

## Z historie navigačních přístrojů

Zdeněk Šustr

nav@sustr.net

12. května 2015

# Obsah

- 1 Pojmy a principy
  - Definice
- 2 Pravěk a starověk
- 3 Východ
  - Blízký východ
  - Dálňý východ
- 4 Objevitelské cesty Evropanů
- 5 Na pevnině
  - Měření bez horizontu
  - Mapování severní Ameriky
  - Dobývání pólů

# Definice

*Plavectví (nautika, navigace) jest umění stanovití místo lodi kdekoliv na moři anebo dle toho naléztí vždy nejkratší cestu.*

– Ottův slovník naučný

***Navigation**, science of directing a craft by determining its position, course, and distance traveled. Navigation is concerned with finding the way to the desired destination, avoiding collisions, conserving fuel, and meeting schedules.*

– Encyclopedia Britannica

*Navigace se odvozuje od latinského *navis* („lod“) a *agere* („řídít“).*

# Terestrické metody

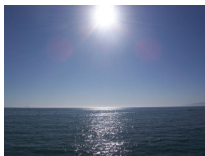
- Základem je lokální znalost
  - Výrazné prvky v krajině
    - ... i pod hladinou
  - Převládající směr větrů
  - Rozpoznání typů oblačnosti v blízkosti pevniny
  - Specifika chování biologických druhů
- Využití
  - Cestování po většině souší
  - ... anebo alespoň na dohled od pobřeží





# Astronomické metody

- Základem je znalost astronomických těles a jevů, které umožní zjistit (v pořadí dle náročnosti):
  - 1 Kam jdeme
    - ... pokud ovšem víme odkud jsme vyšli
  - 2 Kde jsme
- Využití
  - Cestování po celé Zemi, zejména však tam, kde nelze použít terestrické metody
  - Moře, pouště, polární oblasti
- Dále se budeme věnovat převážně metodám astronomickým.



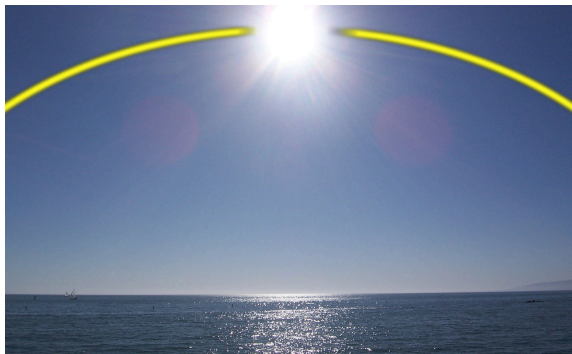
# Světové strany, souřadnicový systém a jejich vztah k obloze

Světové strany odvozené od pohybu Slunce po obloze během dne

- Východ, jih (poledne), západ, sever (půlnoc)
  - Platí pro severní polokouli. Na jižní polokouli prochází Slunce na severu. Mezi obratníky je třeba přemýšlet.
- Hvězdy se chovají stejně, navíc v průběhu roku nemění polohy
  - U cirkumpolárních lze pozorovat i spodní průchod
    - Za polárním kruhem může být cirkumpolární i Slunce



# Šířka a délka

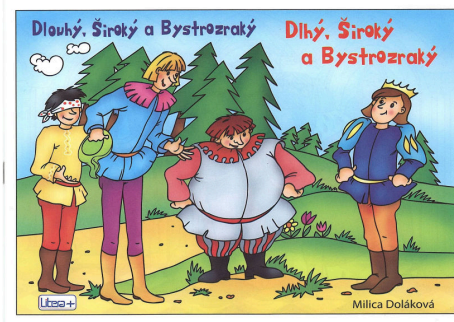


- Na různých zeměpisných šířkách prochází Slunce různě vysoko nad obzorem.
- Na různých délkách prochází v různou dobu.

**Průchod** vztážen k místnímu poledníku – Slunce nejvýš na obloze

# Původ

Proč vlastně šířka a délka?

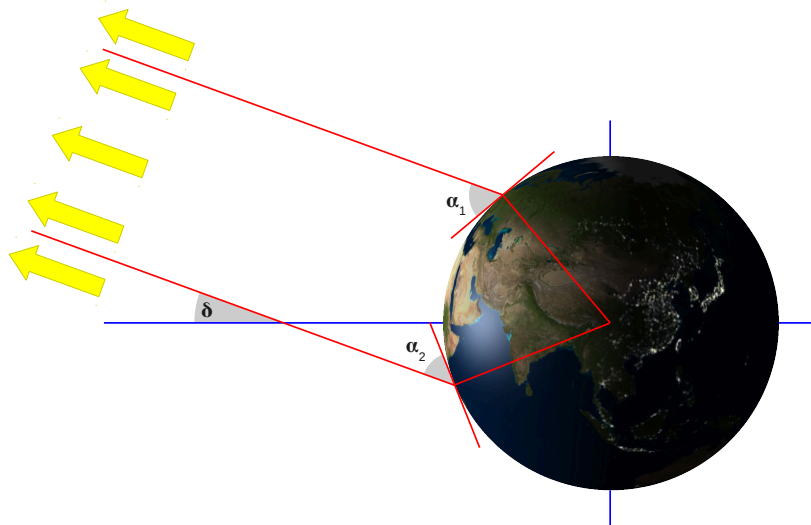


# Původ

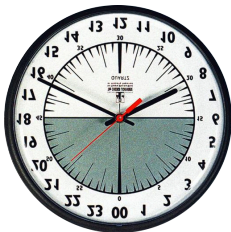
Proč vlastně šířka a délka?



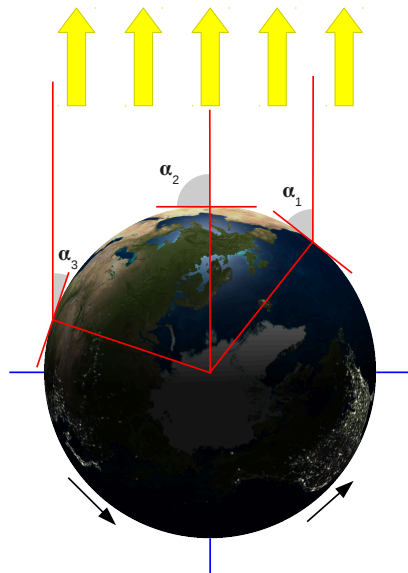
# Zeměpisná šířka ( $\varphi$ )



# Zeměpisná délka ( $\lambda$ )

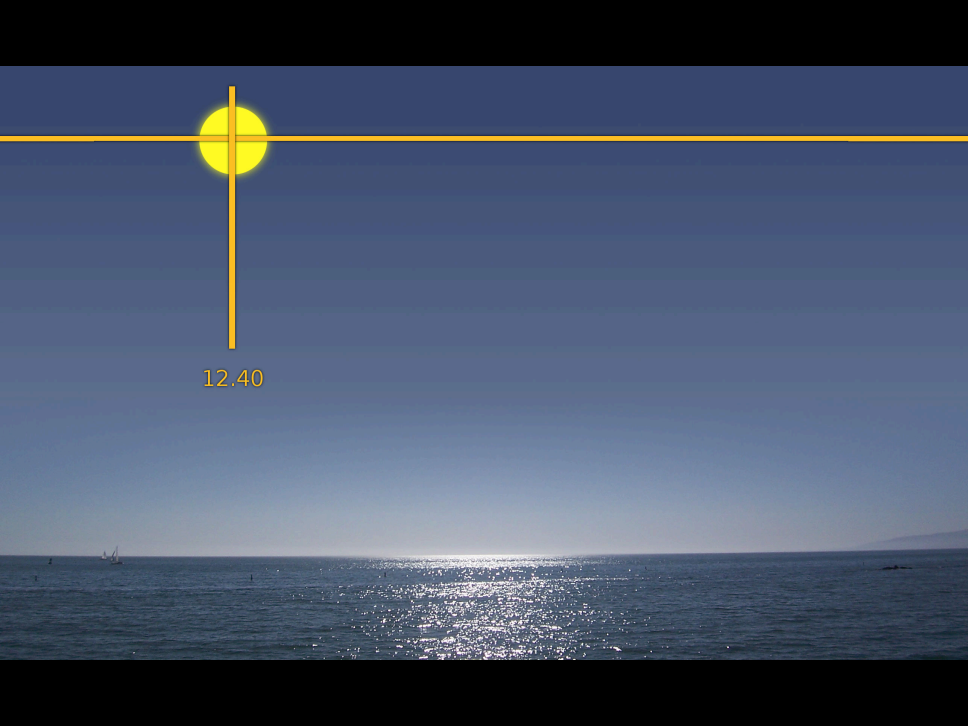


- $\alpha_1$  Slunce bude procházet místním poledníkem.
- $\alpha_2$  Slunce prochází místním poledníkem.
- $\alpha_3$  Slunce už místním poledníkem prošlo.

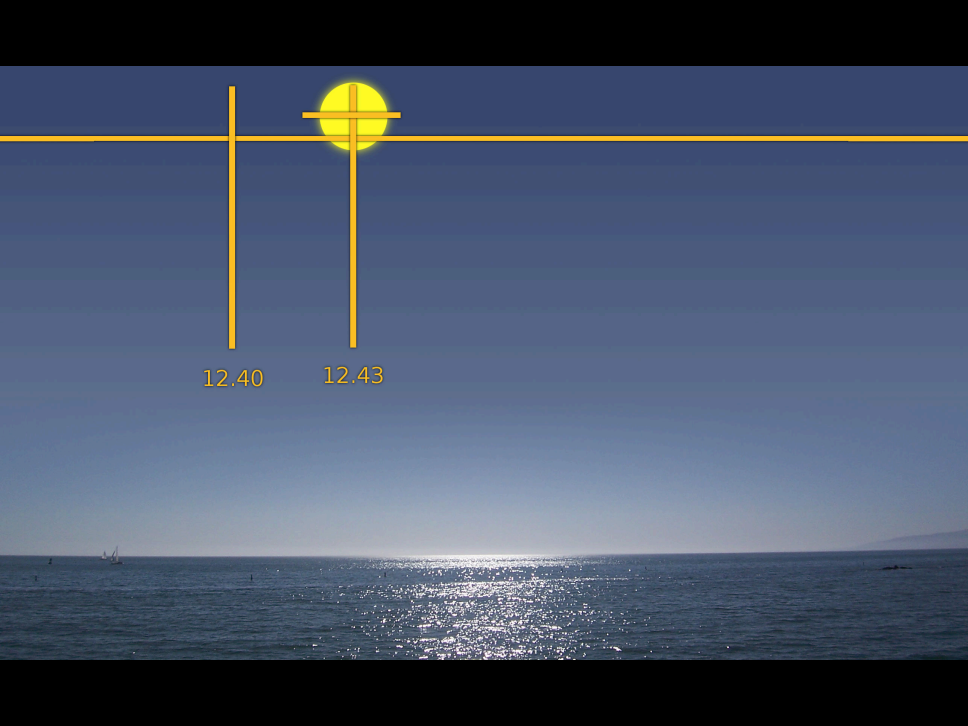






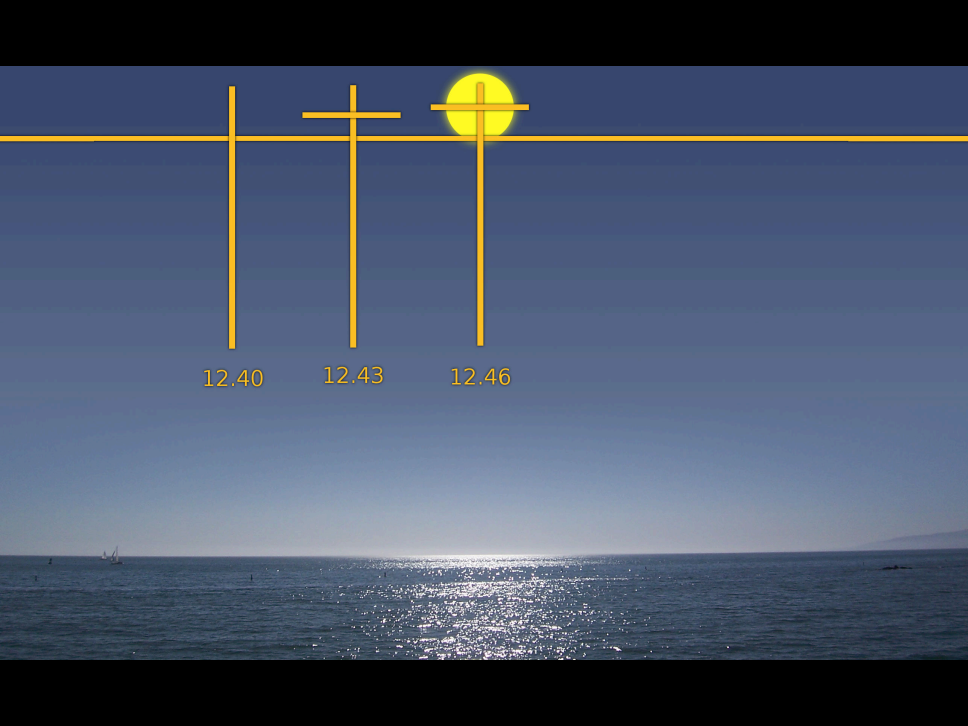


12.40



12.40

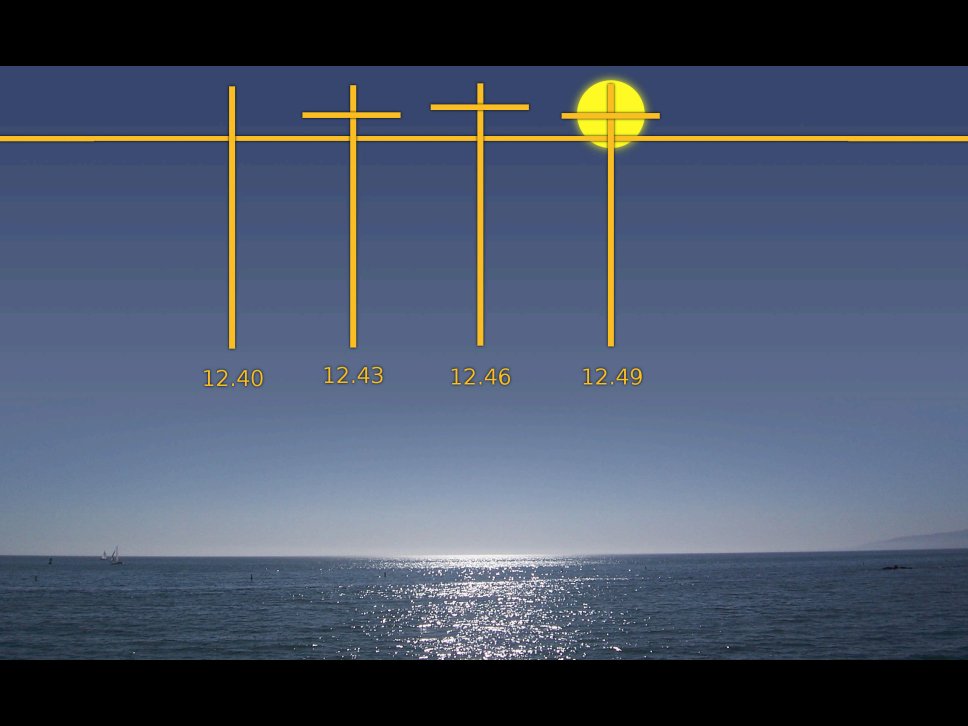
12.43



12.40

12.43

12.46

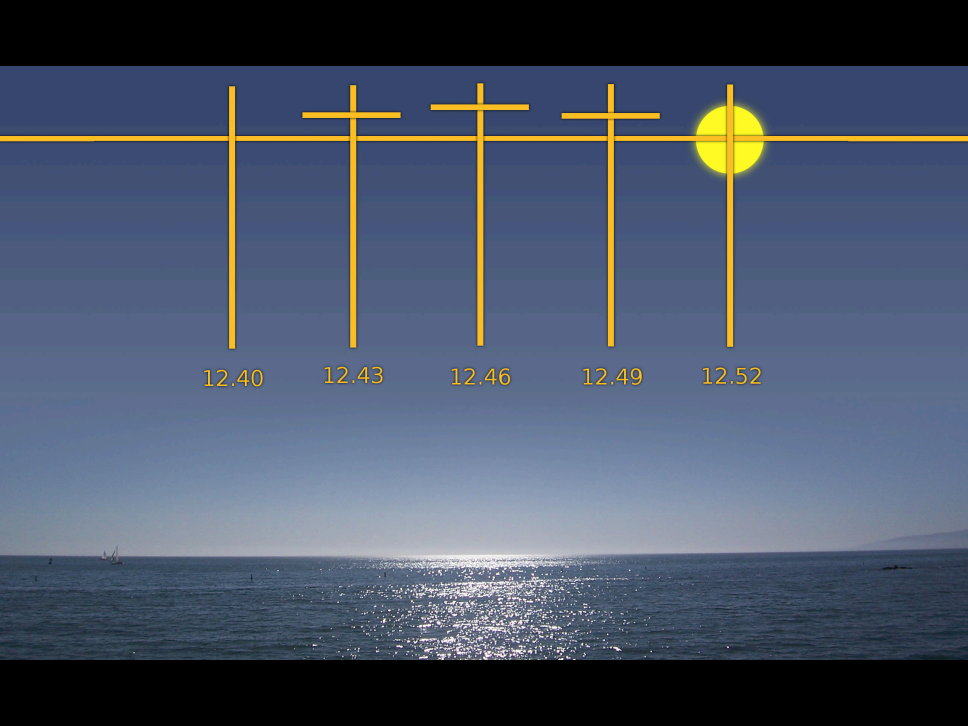


12.40

12.43

12.46

12.49



12.40

12.43

12.46

12.49

12.52

# Pravěk

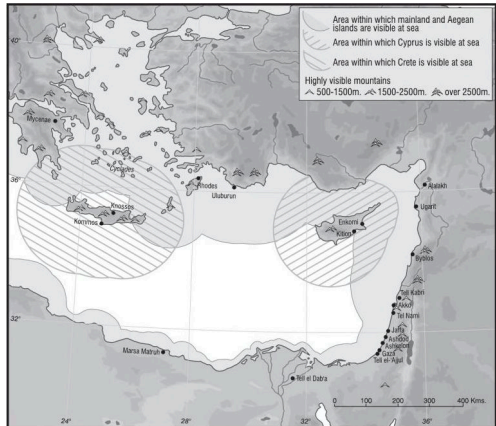
- Astronomicky
  - Známé polohy, východy a západy významnějších hvězd
    - Světové strany
- Terestricky



# Pobřežní plavby v antice

## Féničané, Řekové

- Plavby při pobřeží
- Orientace podle terénu
- Postupné objevování až k Egyptu
- Volné moře překážkou
  - I krátké „přeskoky“ dlouho čekaly na objevení
- Plavby pouze za příznivého počasí



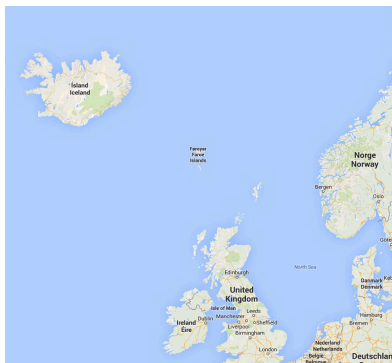
# Terestricky

## Flóki Vilgerðarson

- 9. stol. – první navigovaná cesta na Island (z Faerských ostrovů)
- Tři krkavci

## Měření hloubek

- V Baltském moři





# Astronomicky

## Hvězdy a Slunce

- Azimutové stupnice
  - zlom nebo stupnice?
- měření výšky Slunce gnómonem na vyznačených křivkách

## Sluneční kámen

- Mýtický minerál umožňující poznat směr ke Slunci i pod mraky
  - polarizací, stačí kus modré oblohy
- Několik kandidátů (islandský křišťál, vápenec, cordierit, ...), zatím znovu neobjeven



# Arábie

Jiné problémy v navigaci než evropská kultura:

- plavby především v severojižním směru podle východního pobřeží Afriky
- případně napříč Indickým oceánem

Navigace

- Hlavní indikátor: Výška polárky nad obzorem
- Navigace podle úhlových rozměrů ruky
  - prst (*issabah*):  $1,5^\circ$ , ruka, pěst
- Kamal
  - Značení uzlíky na míru pro konkrétní přístav
  - Nepraktický ve větších zeměpisných šířkách
- Pro představu: Suez je na  $30.^\circ$  s. š.
  - ... a dobové záznamy hovoří o použití ve středozemním moři v době evropských objevů

Blízký východ

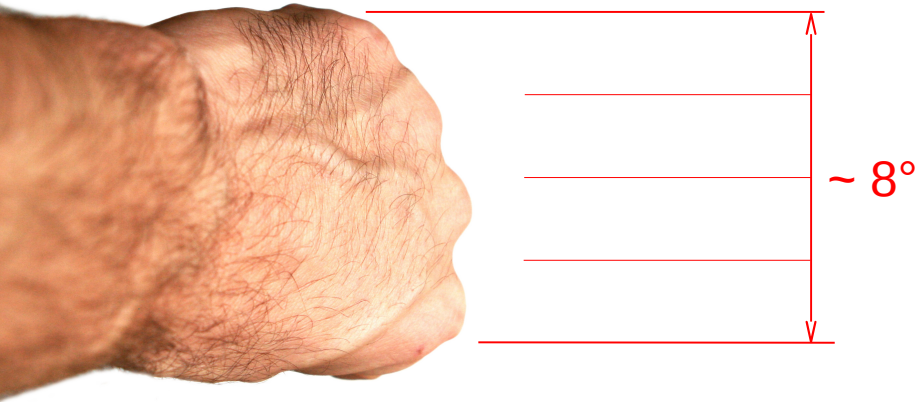
# Měření rukou



# Měření rukou

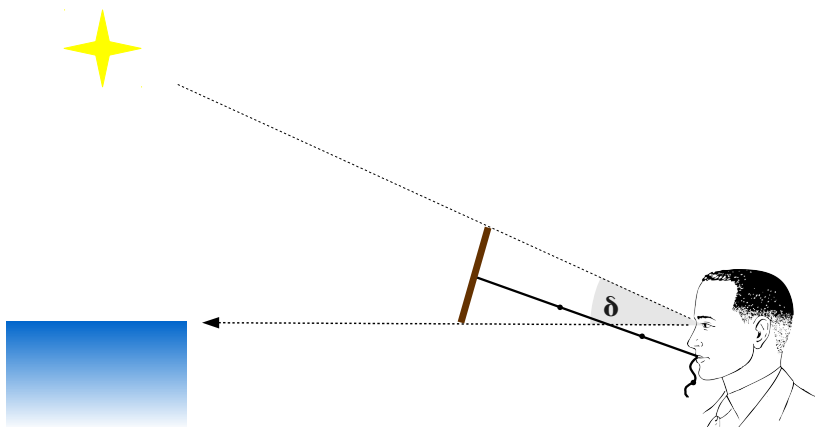


# Měření rukou



Blízký východ

# Kamal



# Čína

## Mimo vynález kompasu

- Astronomické znalosti
- „Spolehlivé“ monzuny

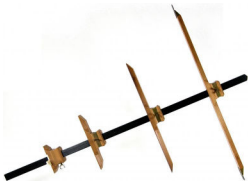
## Kompas

- Přesná historie neznámá
- Pravděpodobně vynalezen již v době dynastie Chan (2. stol. př. n.l. – 1. stol. n.l.)
  - Nejprve přírodní magnetit, později zmagnetizovaný kov
- Použití k námořní navigaci však až v 11. stol.
- Již v té době znám rozdíl mezi geografickým pólem a indikací kompasu
- První zmínky v (západní) Evropě kol. r. 1200.



# Jakubova hůl

- První zmínka Levi ben Gerson, 1342, Provence
  - teolog a matematik
- Podobnost trojúhelníků
- Několik posuvných pravítek pro různé úhlové rozsahy
- Značení délkovými jednotkami, převod na úhel s pomocí tabulek





# Námořní astroláb

- První známý popis z r. 1551
  - znám již před r. 1500
- Měření úhlové odchylky od svislice
  - Přímo nebo podle stínu
  - Materiály s velkou hustotou
  - Náchylnost na vítr a pohyb



# Námořní astroláb

- První známý popis z r. 1551
  - znám již před r. 1500
- Měření úhlové odchylky od svislice
  - Přímo nebo podle stínu
  - Materiály s velkou hustotou
  - Náchylnost na vítr a pohyb
- Neplést s planisférickým astrolábem:



# Námořní astroláb

- První známý popis z r. 1551
  - znám již před r. 1500
- Měření úhlové odchylky od svislice
  - Přímo nebo podle stínu
  - Materiály s velkou hustotou
  - Náchylnost na vítr a pohyb



**Kvadrant** – obdobná pomůcka na stejném principu

# Log

První zařízení na tomto principu

- přelom 15. a 16. stol.
- plovák na provázku, měření doby mezi dvěma vyznačenými místy na trupu

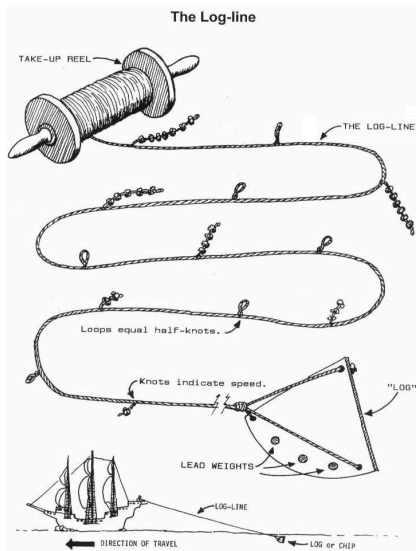
„Moderní“ log

- ca. od 16. stol.
- uzly v pravidelném rozestupu (8 sáhů  $\approx$  14,6 m)

Vyjma kompasu jediná klasická pomůcka nezávislá na počasí



Základní pomůcky pro navigaci výpočtem.



# Log

První zařízení na tomto principu

- přelom 15. a 16. stol.
- plovák na provázku, měření doby mezi dvěma vyznačenými místy na trupu

„Moderní“ log

- ca. od 16. stol.
- uzly v pravidelném rozestupu (8 sáhů  $\approx$  14,6 m)

Vyjma kompasu jediná klasická pomůcka nezávislá na počasí



Základní pomůcky pro navigaci výpočtem.



Deska „renard“ pro záznam směru (nahore) a rychlosti (dole) negramotnou posádkou

# Sextant

## Davisův kvadrant

- John Davis, 1594
- postupné zdokonalování až do 18. stol.
- Měření zády ke Slunci – měření vrženého stínu vůči obzoru



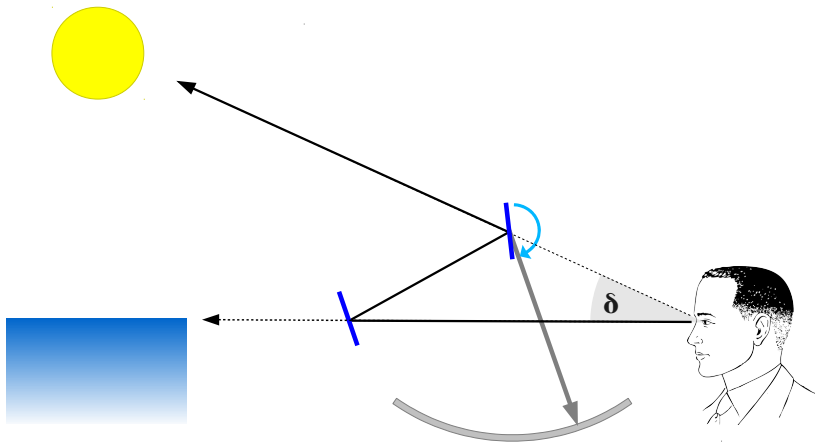
## Sextant

- objevil Isaac Newton, nepublikoval
  - až dodatečně nalezeno v jeho rukopisech
- kol. r. 1730 nezávisle vynalezli John Hadley, Thomas Godfrey

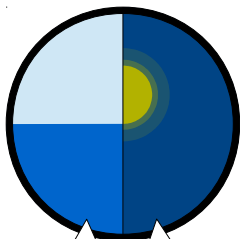


Sextant

# Princip



# Odečet a korekce



Průhled  
přímo  
vpřed na  
horizont

Pohled  
soustavou  
zrcátek  
na Slunce

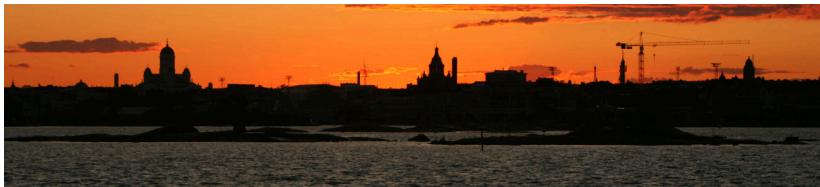
- 1 Chyba indexového zrcátka / alhidády
  - do 6' se neseřizuje, jen koriguje
- 2 Výška pozorovatele

1,5 m	2'
3,0 m	3'
4,5 m	4'
7,5 m	5'
12,0 m	6'

- 3 Poloměr slunečního kotouče
  - průměrně +16', s tabulkami přesněji
- 4 Refrakce
  - těsně u obzoru asi 30'
  - smysl má pouze do výšky ca. 25° nad obzorem

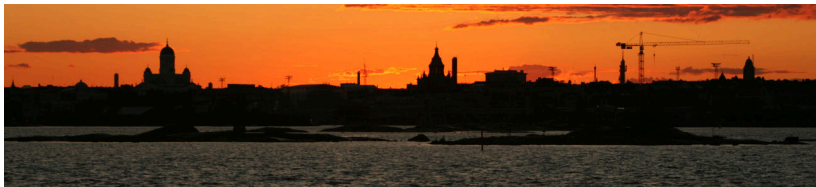


# Použití jako pelorus



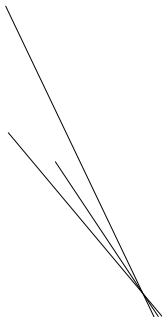
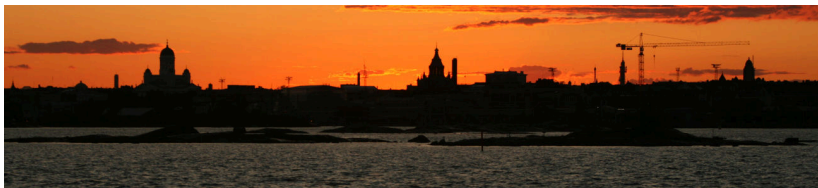
Sextant

# Použití jako pelorus



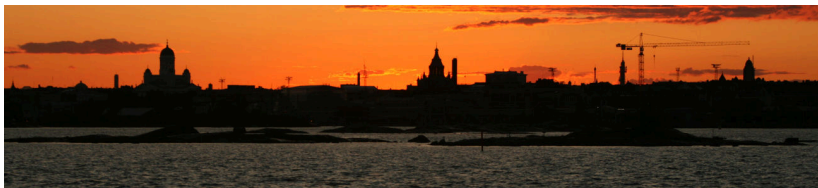
## Sextant

# Použití jako pelorus



## Sextant

## Použití jako pelorus



# Chronometr

S kyvadlem to nejde

- Houpání lodi
- Změny gravitačního zrychlení

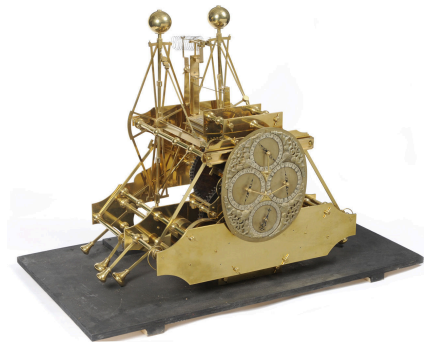
Christiaan Huygens

- 1617 – chronometr se setrvačkou poháněný pružinou
- stále nedostatečná přesnost

1714 – Longitude Prize (£20,000 za přesnost  $> 1/2^\circ$ )

John Harrison získal cenu r. 1761

- na problému pracoval od r. 1730



# Chronometr

S kyvadlem to nejde

- Houpaní lodi
- Změny gravitačního zrychlení

Christiaan Huygens

- 1617 – chronometr se setrvačkou poháněný pružinou
- stále nedostatečná přesnost

1714 – Longitude Prize (£20,000 za přesnost  $> 1/2^\circ$ )

John Harrison získal cenu r. 1761

- na problému pracoval od r. 1730



# Chronometr

S kyvadlem to nejde

- Houpání lodi
- Změny gravitačního zrychlení

Christiaan Huygens

- 1617 – chronometr se setrvačkou poháněný pružinou
- stále nedostatečná přesnost

1714 – Longitude Prize (£20,000 za přesnost  $> 1/2^\circ$ )

John Harrison získal cenu r. 1761

- na problému pracoval od r. 1730



# Chronometr

S kyvadlem to nejde

- Houpání lodi
- Změny gravitačního zrychlení

Christiaan Huygens

- 1617 – chronometr se setrvačkou poháněný pružinou
- stále nedostatečná přesnost

1714 – Longitude Prize (£20,000 za přesnost  $> 1/2^\circ$ )

John Harrison získal cenu r. 1761

- na problému pracoval od r. 1730



Konečně známe délku!



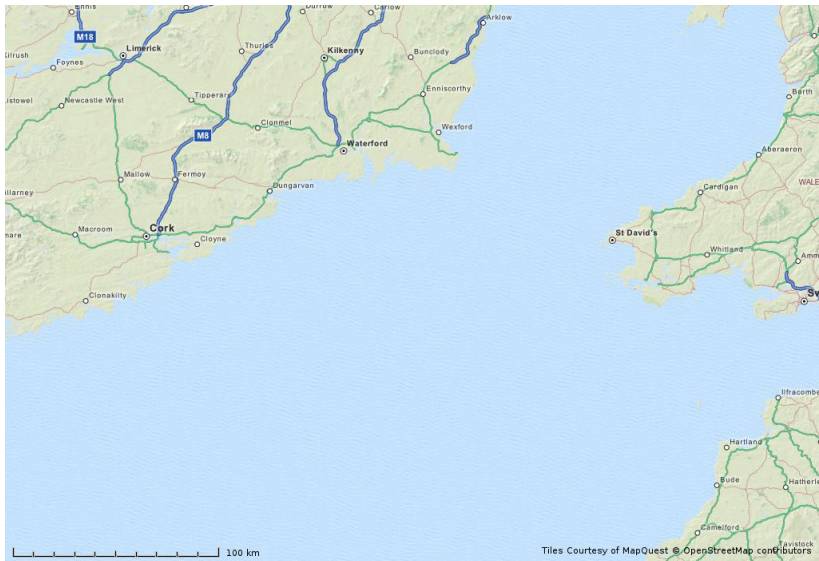
## Poziční linie – metoda interceptu

Thomas Hubbard Sumner (1807 – 1876)

- r. 1837 na cestě z Jižní Karolíny do Greenocku ve Skotsku
  - Navigace po několik dnů pouze výpočtem
  - Pak určení „polohy“ z jednoho pozorování (viz mapu)
- Capt. Thomas H. Sumner, *A New and Accurate Method of Finding a Ship's Position at Sea, by Projection on Mercator's Chart*, 1843, Boston

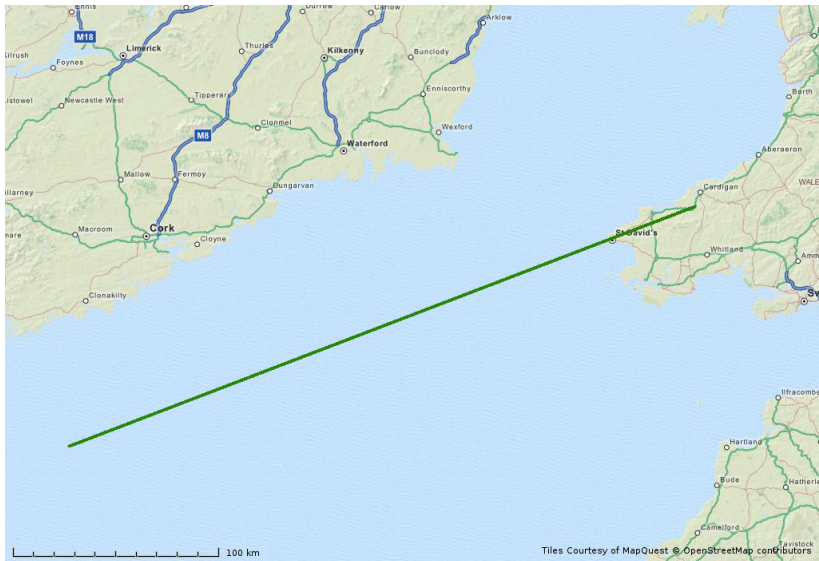
## Objevy ve výpočtech

## Poziční linie – metoda interceptu



## Objevy ve výpočtech

## Poziční linie – metoda interceptu



## Poziční linie – metoda interceptu

Linii lze vynést také podle terestrického pozorování

- spojnice mezi dvěma známými body
- azimut ke známému bodu apod.

Přesná poloha pak leží na průsečíku dvou linií.

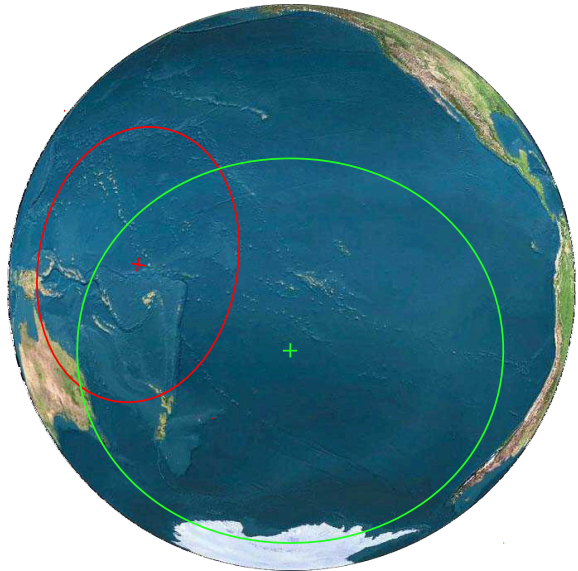
# Poziční linie – metoda interceptu

Ve skutečnosti:  
**kružnice**

Výška jednoho objektu nad obzorem dává kružnici, na které jsme.

Pozorování libovolných dvou objektů se známou polohou vede typicky ke dvěma možným pozicím, z nichž si už dokážeme vybrat na základě předchozí navigace výpočtem.

Křížek (+, +) označuje místo, kde je zvolený astronomický objekt (hvězda, planeta, ...) v nadhlavníku.



# Použití sextantu na souši



Co když obzor vypadá takto?

## Použití sextantu na souši

Zatím jsme nehovořili o rozdílu mezi *obzorem* a *obzorníkem*.

**Obzor** je křivka kde se krajina stýká s oblohou.

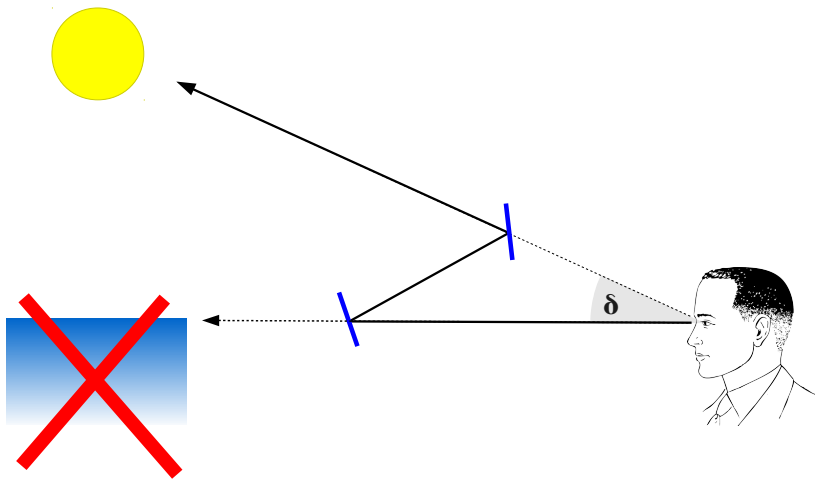
**Obzorník** je myšlená kružnice tam, kde rovina tečná k Zemi na místě, kde stojíme, protíná nebeskou sféru.



- Pouze když obzor tvoří voda jsou si obzor s obzorníkem dostatečně (resp. *korigovatelně*) blízko.
- Kromě nerovností suchozemského obzoru je problém i s neznámou relativní výškou pozorovatele proti obzoru.  
... zatímco na lodi obvykle víme, jak vysoko nad hladinou jsme.

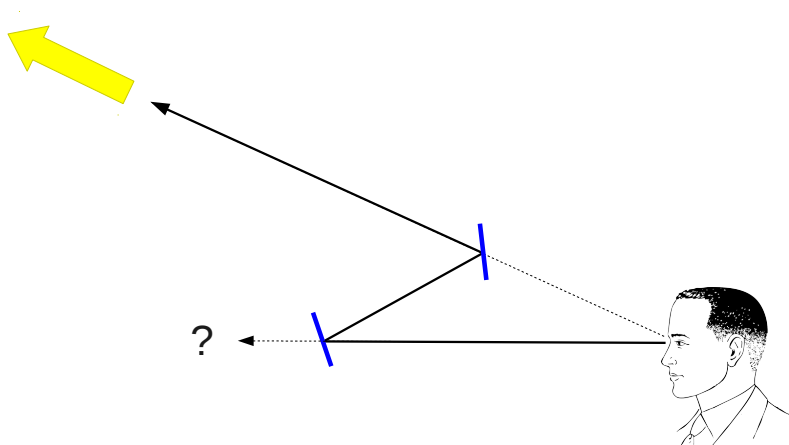
Měření bez horizontu

# Použití sextantu na souši



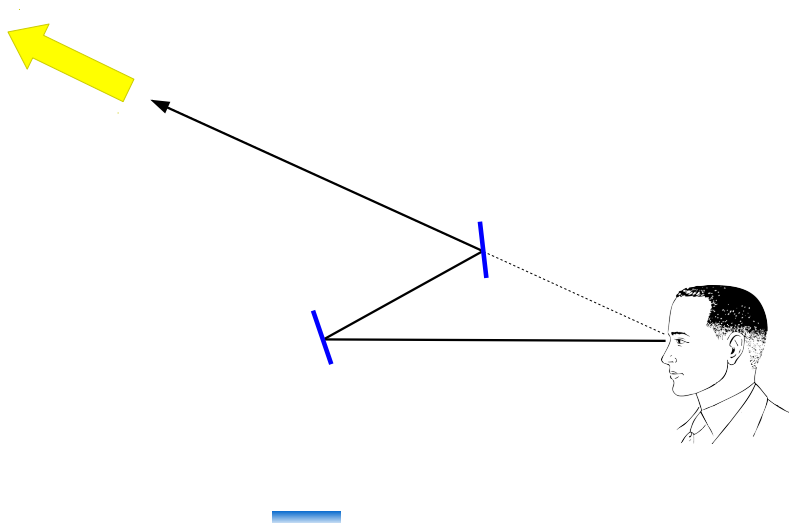


# Použití sextantu na souši



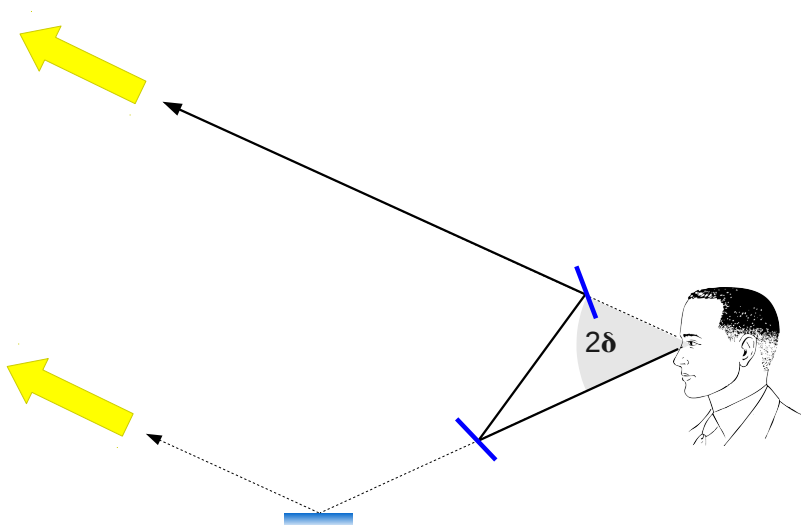
Měření bez horizontu

# Použití sextantu na souši



Měření bez horizontu

# Použití sextantu na souši



Měření bez horizontu

# Použití sextantu na souši



Umělý rtuťový horizont

Měření bez horizontu

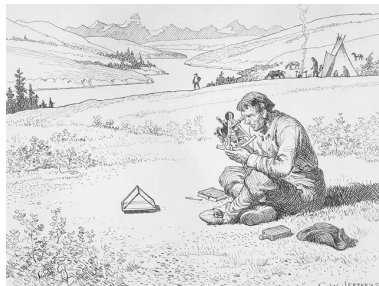
# Použití sextantu na souši



Umělý skleněný horizont

# Vytýčení hranic mezi spojenými státy

- Pěkný příklad rozsáhlého programu měření na souši.
- 2. pol. 19. století (po občanské válce): vytýčení hranic mezi členskými státy, které dosud hranici stanovenou neměly
  - poledníky  $25^\circ$ ,  $27^\circ$ ,  $32^\circ$ ,  $34^\circ$ ,  $37^\circ$ ,  $39^\circ$  od Washingtonu
  - rovnoběžky  $37^\circ$ ,  $40/41^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $49^\circ$  s. š.



# Jak to dopadlo?

US – Can hranice:  
odchylka  $\phi$  100 m

Největší odchylka  
UT – CO: 2,5 km

Four Corners:  
odchylka 550 m

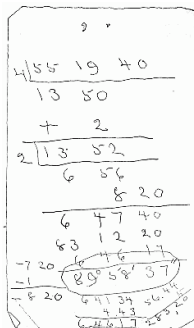
Sagebrush war,  
Susanville  
CA/NE, 1863



Památník Four Corners  $\frac{UT}{AZ} \frac{CO}{NM}$

# Severní pól – Robert Peary, 1909

- sextant, chronometr, rtuťový horizont
  - Zákryt ze sněhových kvádrů
  - Podložení kožešinou (tání, oslnění)
  - Nádobka horizontu plněná po okraj
  - Teodolit nepoužit (Slunce nízko)
- Vlastní odhad přesnosti 5 mil
- Camp Jesup, ca. 5 mil od pólu
- Odtud opakované měření a 10mílové pochody směrem k pólu a zpět
- *“at some moment during these marches and countermarches, I had passed over or very near the point”*
- *“Jdu na sever . . . a už jdu na jih.”*



Měření ca. 2,5 km od pólu



Ross Marvin při měření



## Severní pól – Frederick Cook, 1908

Apr. 21<sup>st</sup> 08 Sit. Long 97<sup>W</sup>.  
Bar. 29.83 Temp. 37.7. (S. alt. #1)  
Wind - N. 14-17 by 20-25... wind by W

W. alt. 2 23.33 - 25<sup>-</sup>

5.4	2/23	30	25
6.2			
34.0		11	47
60) 325			42.5
5 2 5			+ 15
11 48 58		10	3 38
11 54 23		11	54 38
		90	
		78	5 22
		11	54 23
		89	59 45

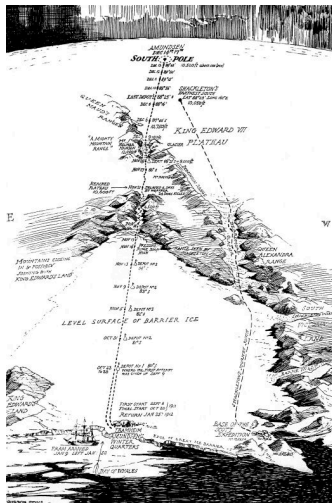
3. alt. 28/1



- Neprokázané tvrzení o dosažení pólu r. 1908
- Již dříve zdiskreditován „výstupem“ na Mt. McKinley
- skleněný horizont
  - Černé sklo
  - Ustavení lihovou vodováhou

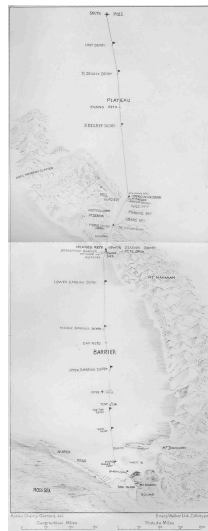
# Jižní pól – Roald Amundsen, 1911

- tábor ca. 2,5 km od pólu, Hanssen projel ca. 200 m od pólu
- Větší počet navigátorů (4 z 5), jednodušší postup.
  - Pouze sextanty
  - Vlastní odhad přesnosti  $\approx 1$  míle
- Po dosažení pólu vytýčení čtverce: 10 mil na všechny strany, pak opakované měření a další vykrývání.



# Jižní pól – Robert Scott, 1912

- Jediný navigátor (Evans)
- Měření theodolitem
- Exaktní, výpočetně náročné metody
  - Hodina počítání (v mrazu) vs. odchylka v řádu 100 m
- Tříštění sil
  - Měření nadmořských výšek (pól s odchylkou ca. 70 m), tloušťky ledu ...



# Shrnutí

Co říci závěrem . . .

- 1 Bez výhledu na oblohu to nikdy moc nešlo (rozhodně ne na volném moři).
- 2 Při hvězdné navigaci jde vždy o úhly  
... a snadno pochopitelnou matematiku (alespoň pro maturanta z 20. století).
- 3 Dokud nebylo spolehlivé měření času, dalo se navigovat jen v šířce.
- 4 Znat svou polohu s rozumnou přesností je možné až od konce 18. stol.
- 5 Tyto postupy se používají dodnes.

## Známí cestovatelé, aneb jak to dělal . . .

- **Marco Polo** (≈1300) – po Středozezemním moři podél pobřeží, dále po souši s průvodci, nebo do Hormuzu a pak znovu při pobřeží.
- **Cristoforo Colombo** (1492 – 1503) – známou cestou na Azorské ostrovy, dále na západ na stejné šířce
  - Zejména výpočtem (tj. kompas + log)
  - Cestou pokusy s kvadrantem a námořním astrolábem
- **Fernão de Magalhães** (1519 – 1522) – Kolem Jižní Ameriky, přes souostroví JV Asie, kolem Afriky zpět do Evropy.
  - Výpočtem (kompas + log)
  - Námořní astroláb
- **James Cook** (≈1770) – Zmapování a objevy mnoha souostroví, zejména v tichomoří
  - Chronometr (kopie Harrisonova) a Sextant
  - Pokusy s úhlovou vzdáleností Měsíce od ostatních těles



# Poděkování

Google Maps  
 welcometomyisland@flickr  
 Conrad Kuiper  
 Ježíšek  
 Bořivoj Zeman et al.  
 taka\_itaha@flickr  
 Jason Pratt  
 Celestia  
 Royal Museums Greenwich  
 Rémi Kaupp  
 Open Street Map  
 Michel Labrecque  
 S. W. Manning  
 L. Hulin  
 Arni Ein

Hélène Adeline Guerber  
 Milica Doláková  
 National Maritime Museum,  
 Greenwich, London  
 Rich Torres  
 Houston Wood  
 Charles William Jefferys  
 Jared Benedict  
 l'association Méridienne  
 Duane A. Cline  
 Geofizički Odsjek  
 Prirodoslovno-  
 matematičkog fakulteta  
 u Zagrebu  
 Peter Shorer

Sage Ross  
 Apsley Cherry-Garrard  
 Olav Bjaaland  
 Gordon Home  
 Henry Bowers  
 Frederick A. Cook  
 Daderot  
 Nicolàs de Hilster  
 Job Kwakman  
 Zdeněk Burian  
 Jerome Bon  
 Rear Admiral Harley  
 D. Nygren  
 Tennants Auctioneers  
 Ed Estlow

– To už je opravdu konec –