



# MĚŘENÍ METRU POMOCÍ MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ

Karolína Šobrová & Jakub Chlum  
FJFI · Fyzikální seminář · 30. 10. 2019

# OBSAH

- vývoj jednotek délky
- zavedení univerzální jednotky délky
- vývoj definic metru
- měření obvodu Země
- měření rychlosti světla

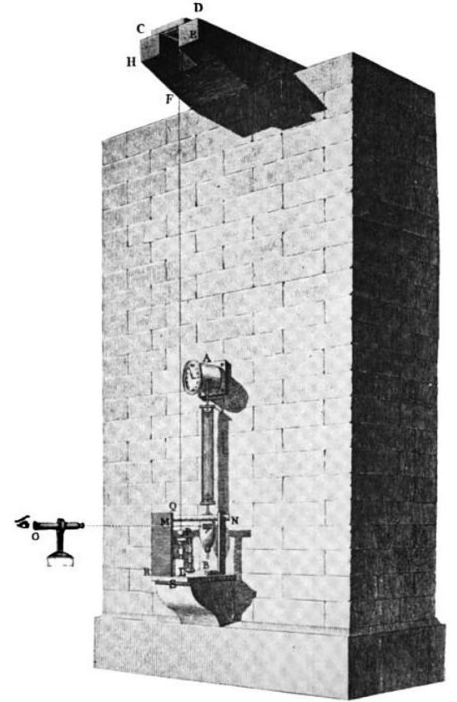
# JEDNOTKY DÉLKY V HISTORII

- Egypt 4 tisíciletí př. n. l. - královský loket (52,5 cm), posvátný loket (70 cm)
- Česko
  - Přemysl Otakar II. 1268
    - pražský loket (59 cm) = 3 pídě
    - píd' = 10 prstů
    - prst = 4 ječné zrna
  - Marie Terezie 1764
    - palec (2,6 cm), stopa (31,6 cm), loket (77,7 cm), sáh (189,6 cm), poštovní míle (7,585 km)
- Anglicky hovořící země
  - palec = inch (2,54 cm), stopa = foot (30,48 cm), yard (91,44 cm), míle (1 609,344 m)

# SEKUNDOVÉ KYVADLO

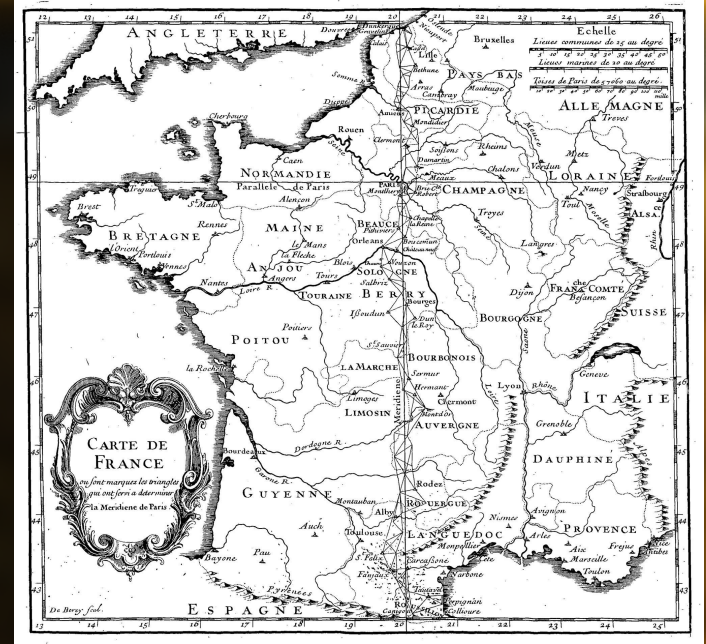
- Marin Mersenne
  - první naměřená délka sekundového kyvadla 1644
- John Wilkins
  - návrh univerzální soustavy jednotek 1668
- Jean Richer
  - měření odchylky 0,3% 1671-73

J. C. Borda and J. D. Cassini de Thury - 'Experiences pour connaître la longueur de pendule qui bat les secondes à Paris'



# POLEDNÍKOVÝ METR

- 1791 Francouzská akademie věd
  - Pierre-Simon Laplace, Joseph Lagrange, Gaspard Monge
  - Pařížský poledník
- Pierre Méchain, Jean-Baptiste-Joseph Delambre
  - 1792 - 1798
  - Dunkerq - Barcelona
  - později François Arago
- Mètre des Archives 1799



D'après travaux de J. Cassini - BnF, Gallica

# ERATOSTHENOVO MĚŘENÍ

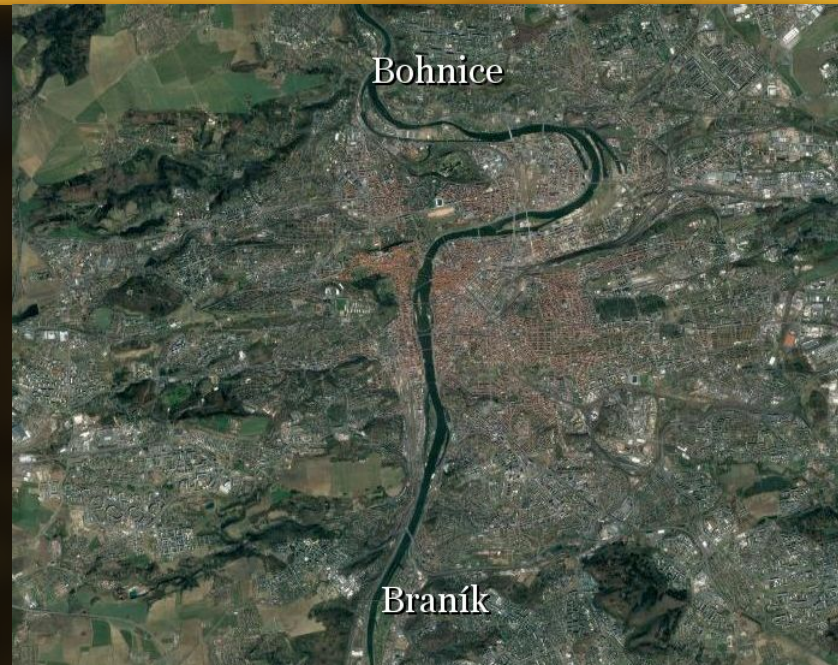


Bernardo Strozzi, Ératosthène enseignant à Alexandrie, Musée des beaux-arts de Montréal



Snímky ©2019 Google, Landsat / Copernicus, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, upraveno

# NAŠE MĚŘENÍ



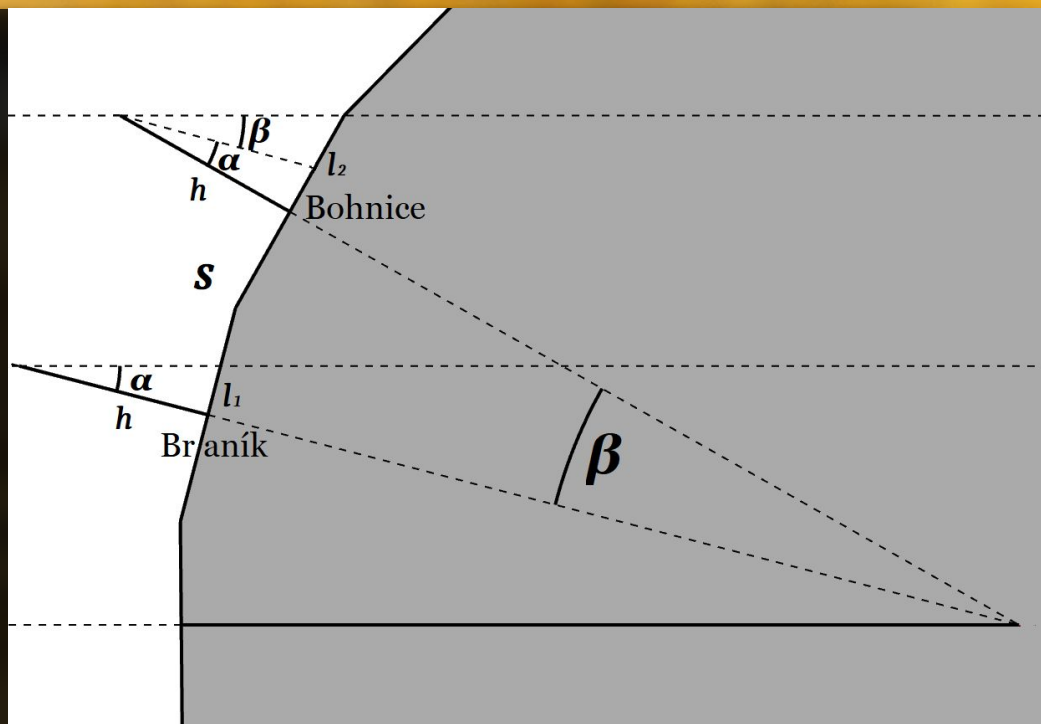
Snímky ©2019 Google, upraveno

# NAŠE MĚŘENÍ

- $h$  ... výška tyče
- $s$  ... vzdálenost míst měření
- $l_1$  ... délka stínu na Braníku
- $l_2$  ... délka stínu v Bohnicích
- $\alpha$  ... úhel paprsků na Braníku
- $\beta$  ... rozdíl úhlů

$$\frac{\beta}{360^\circ} = \frac{s}{o} \quad \beta = \arctg \frac{l_2}{h} - \arctg \frac{l_1}{h}$$

$$o = \frac{s \cdot 360^\circ}{\arctg \frac{l_2}{h} - \arctg \frac{l_1}{h}}$$





# NAŠE MĚŘENÍ

- $h = 108$  „cm“
- $s = 11,35$  „km“

# NAŠE MĚŘENÍ

- $h = 108$  „cm“
- $s = 11,35$  „km“
- sobota 19. 10. 2019, Braník
  - $l_1 = 184$  „cm“

# NAŠE MĚŘENÍ

- $h = 108$  „cm“
- $s = 11,35$  „km“
- sobota 19. 10. 2019, Braník
  - $l_1 = 184$  „cm“
- pondělí 21. 10. 2019, Bohnice
  - $l_2 = 193$  „cm“

# NAŠE MĚŘENÍ

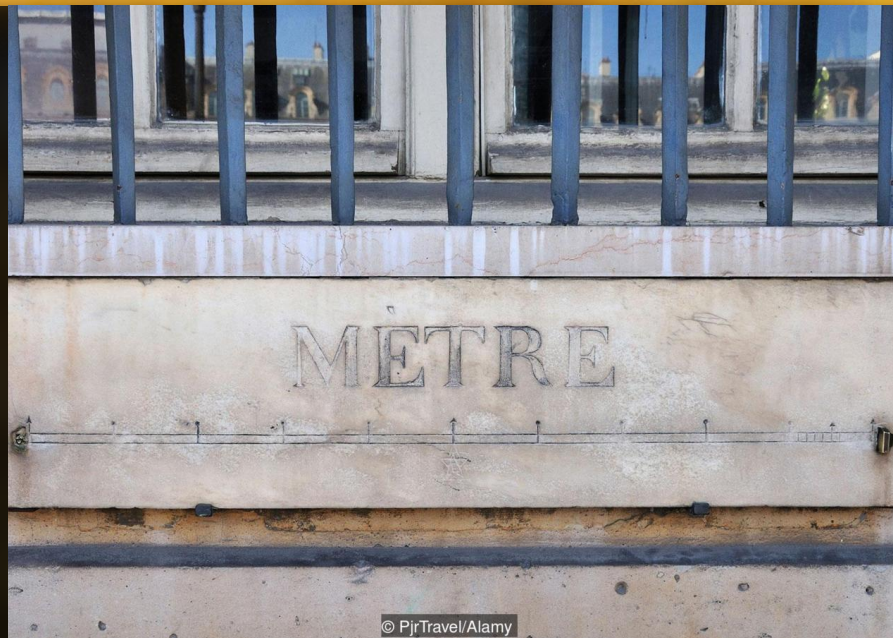
- $h = 108$  „cm“
- $s = 11,35$  „km“
- sobota 19. 10. 2019, Braník
  - $l_1 = 184$  „cm“
- pondělí 21. 10. 2019, Bohnice
  - $l_2 = 193$  „cm“
- obvod Země
  - $O = 3\,462$  „km“

## VÝSLEDEK

$$1 \text{ m} \cong 8,7 \text{ „cm“}$$

# TYČOVÝ METR

- Mètre des Archives 1799
- Mesures usuelles 1812 - 1840
  - Napoleon Bonaparte
- Metrická konvence 1875
  - mezinárodní smlouva
  - Mezinárodní úřad, výbor pro míry a váhy



PjrTravel/Alamy - Metre

# TYČOVÝ METR

- Generální konference pro míry a váhy 1889
- mezinárodní metr
  - 90 % platina, 10 % iridium



US National Length Meter

# KRYPTON A RYCHLOST SVĚTLA

- 1960 - první definice pomocí konstanty:

Metr = 1 650 763,73 násobku vlnové délky spektrální čáry ve vakuu, které přísluší přechodu kryptonu 86 mezi energetickými hladinami  $2p_{10}$  a  $5d_5$

- 1983 - metr = vzdálenost kterou urazí světlo za  $1/299\,792\,458$  s
- Květen 2019 - fixní rychlost světla, frekvence Cs



# MĚŘENÍ RYCHLOSTI SVĚTLA POMOCÍ MIKROVLN

- Teorie:
  - Čokoláda
  - Mikrovlnná trouba
  - Měření
  - Výpočet
  - → Rychlost světla

# MĚŘENÍ RYCHLOSTI

- Teorie:
  - Čokoláda
  - Mikrovlnná trouba
  - Měření
  - Výpočet
  - → Rychlost světla



# Í MIKROVLN

# MĚŘENÍ RYCHLOSTI SVĚTLA A POMOCÍ MIKROVLN

- Teorie:
  - Čokoláda
  - Mikrovln
  - Měření
  - Výpočet
  - → Rychl



# MĚŘENÍ

# KROVLN

- Teorie:
  - Čokolád
  - Mikrovln
  - Měření
  - Výpočet
  - → Rych



# VÝSLEDKY

- Frekvence: 2,45 GHz = 2 450 000 000 Hz

- Vlnová délka:

- $\lambda/2 = 6 \text{ „cm} = 0,06 \text{ „m“}$

- $\lambda = 0,12 \text{ „m“}$

- Rychlost světla podle vzorce  $c = f \cdot \lambda$ :

**294 000 000 „m“/s**

- Reálná rychlost světla :

**299 792 458 m/s**

# NAŠE DÉLKA METRU Z RYCHLOSTI SVĚTLA

$$1 \text{ m} \approx 98,1 \text{ „cm“}$$

# ZÁVĚRY

- Něco málo z historie metru
- Při měření obvodu Země se nevyplatí čekat
  - $1 \text{ m} \cong 8,7 \text{ „cm“}$
- Definice podle rychlosti světla je přesnější a o trochu snazší na měření
  - $1 \text{ m} \cong 98,1 \text{ „cm“}$

# ZDROJE

- Madhvi Ramani, *How France created the metric system*, <http://www.bbc.com/travel/story/20180923-how-france-created-the-metric-system>
- kol. autorů, *History of the metre*, [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_metre](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_metre)
- kol. autorů, *Seconds pendulum*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Seconds\\_pendulum](https://en.wikipedia.org/wiki/Seconds_pendulum)
- Anthony Abreu, *How did Eratosthenes measure the circumference of the earth?*, <https://anthonybloggeneral.wordpress.com/2012/07/03/eratosthenes-earth-circumference/>
- Tesařík Bohumil, *Z historie měření*, <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/fyzika-a-klasicka-energetika/1064-z-historie-mereni>
- kol. autorů, *Metre Convention*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Metre\\_Convention](https://en.wikipedia.org/wiki/Metre_Convention)
- kol. autorů, *Metre*, <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1639>
- Length: Unit of length (metre), <https://www.bipm.org/metrology/length/units.html>
- Pozadí prezentace: arielrobin, Pixabay