PEDAGOGICKÁ
FAKULTA
Masarykova univerzita

PLANETÁRNÍ GEOGRAFIE

Základy orientace na Zemi

Země – základní charakteristiky

- Rovníkový průměr = 12 756 km.
- Polární průměr = 12 714 km.
- Perioda rotace okolo osy vůči hvězdám (rotační pohyb) = 23 h 56 min 04 s.

- Oběžná doba (revoluční pohyb)= 365,256 dne.
- Průměrná teplota 290 K (17°C).
- Vzdálenost od Slunce 150 000 000 km, tj. 1 AU.
- Země má jeden měsíc.

Souřadnicové systémy I.

- Pro určení polohy tělesa v prostoru je nutné zavést ***souřadnicovou soustavu*** –> definování ***základní roviny*** a ***počátečního bodu***.
- Souřadnicový systém umožňuje zachytit polohu prvku v prostoru.
- Prostorové odkazování prostřednictvím souřadnic má své základy v matematice a analytické geometrii.
- Poloha je v zásadě popisována sadou souřadnic vztahujících se ke zvolenému souřadnicovému systému.

Souřadnicové systémy II.

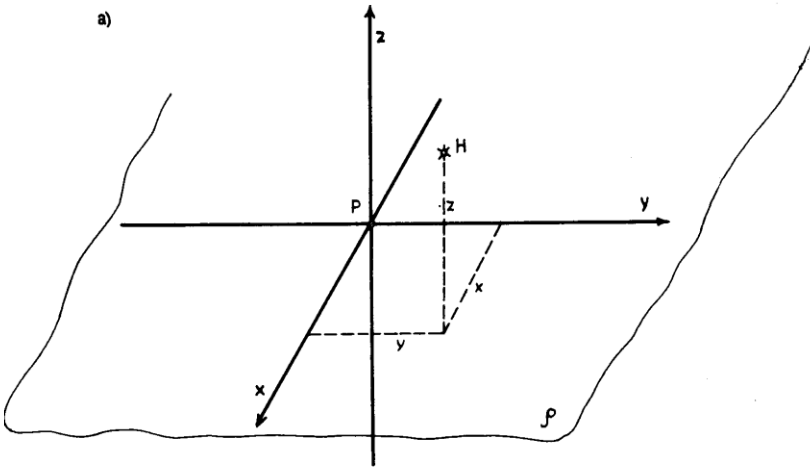
- Podle počátečního bodu lze definovat souřadnice:
  - Topocentrické (počátek v místě pozorování).
  - Geocentrické (počátek ve středu Země).
  - Heliocentrické (počátek ve středu Slunce).
  - Selenocentrické (počátek ve středu Měsíce).
  - Jovicentrické (počátek ve středu Jupitera).

- Dále:
  - Geografický souřadnicový systém.
  - Souřadnicové systémy kartografických zobrazení (polární, na kouli atd.).
  - Sférický diskrétní souřadnicový systém (obzorníkový, rovníkový).

Souřadnicové systémy III.

- Sada matematických pravidel pro specifikování způsobu, jakým jsou souřadnice přiřazovány k bodům v prostoru.
- Nejčastější soustavou je ***pravoúhlá soustava souřadnic***.

- Zpravidla je definována svým:
  - počátkem (místem pozorovatele),
  - souřadnicovými osami a jednotkami,
  - polohou a orientací os (kolmé).



Zeměpisné (geografické) souřadnice I.

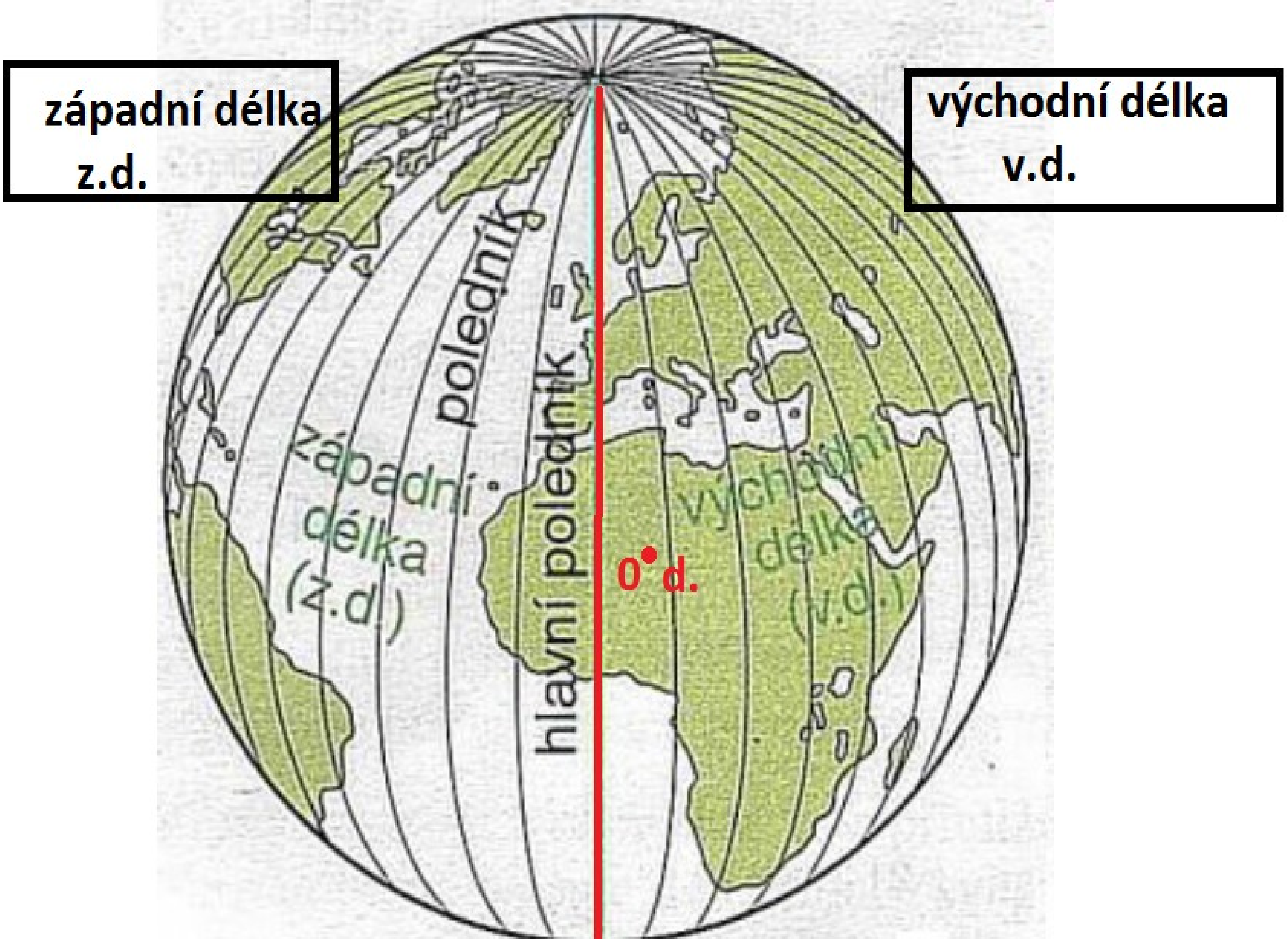
- Hipparchos z Nikáie, 2. stol. př. K.
  - zavádí poledníky a rovnoběžky,
  - nultý poledník přes Rhodos.
- Ptolemaios z Alexandrie, 2. stol. př. K.
  - nultý poledník Ferro (Kanárské ostrovy).

Zeměpisné (geografické) souřadnice II.

- Poledníky (meridiany)
- Zeměpisná délka
- Rovnoběžky (parallely)
- Zeměpisná šířka

Poledníky

- Myšlené čáry, které spojují severní a jižní pól.
- Jsou polokružice, které jsou stejně dlouhé.
- Hlavní poledník má 0° – nazývá se nultý.
- Od hlavního poledníku se počítá 180° na východ a 180° na západ.
- Označují zeměpisnou délku – východní (v.d.) a západní (z.d.).


západní délka
z.d.
východní délka
v.d.
poledník
hlavní poledník
západní délka (z.d.)
východní délka (v.d.)
0° d.

Zeměpisná délka

- = úhel, který svírá rovina místního poledníku, procházejícího určovaným bodem a rovina 0° poledníku.
- Značí se řeckým písmenem lambda (λ), měří se ve stupních.
- Určuje polohu na Zemi směrem k východu nebo západu od 0° poledníku.

Měření zeměpisné délky

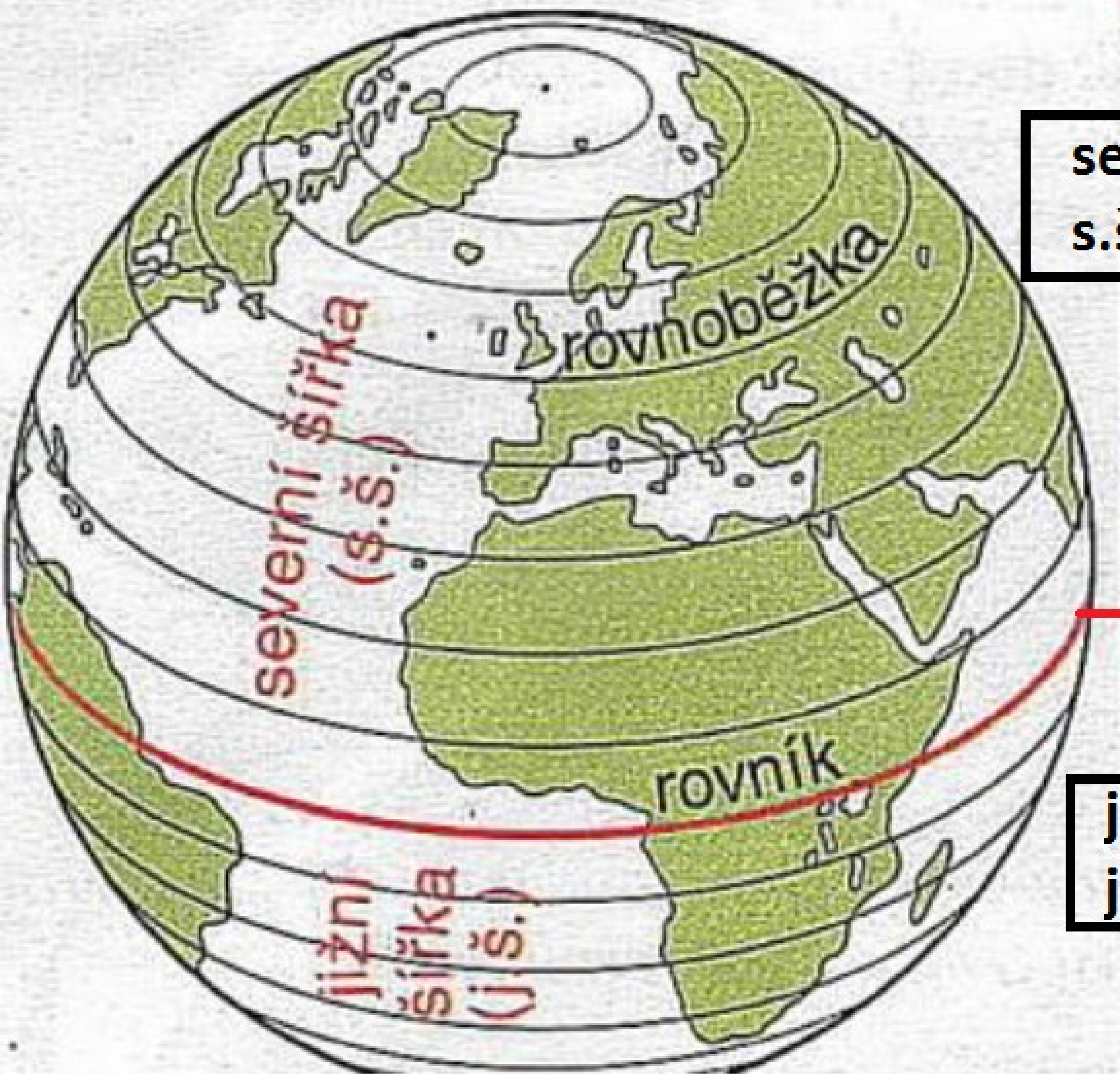
- **Nokturnal** – vzdálenost severky od hvězd ve velkém voze po korekci na den se odečítají hodiny dané svíraným úhlem.

- **Měsíční metoda** – měření ***sextantem*** za použití almanachu. Měří se vzdálenost mezi měsícem a vybranou hvězdou, poté korekce na refrakci a paralaxu a z almanachu se zjišťuje čas na nultém poledníku.

PEDAGOGICKÁ FAKULTA
Masarykova univerzita

Rovnoběžky

- Myšlené čáry, ukazují směr od západu k východu
- Kružnice, které se směrem k pólům se zkracují, nejsou stejně dlouhé!
- Základní rovnoběžkou je rovník – rozděluje Zemi na severní a jižní polokouli – 0°.
- Od rovníku se počítá 90° na sever a 90° na jih
- Označují zeměpisnou šířku – severní (s.š.) a jižní (j.š.)



severní šířka
s.š.

rovník - 0°

jižní šířka
j.š.

Zeměpisná šířka

- = úhel, který svírá rovina rovníku s normálou referenční plochy v příslušném bodě na povrchu Země.
- Značí se řeckým písmenem fí φ, měří se ve stupních.
- Určuje polohu na povrchu Země směrem k severu nebo jihu od rovníku.

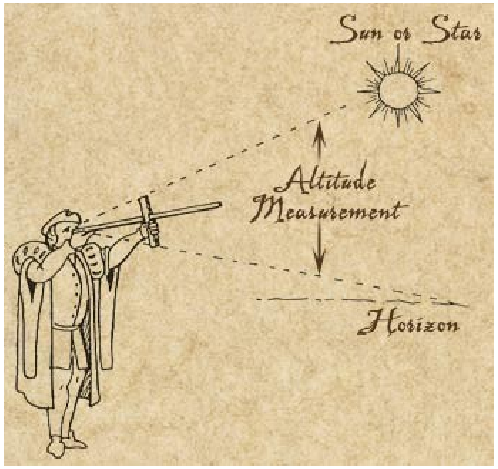
Měření zeměpisné šířky I.

- **Kamal** – úhel polárky v přístavu zaznamenán uzlem (stačí plout po šířce a dopluji do přístavu) – typické pro Arábii.

- **Námořnický astroláb** (od 200 př. K.) – pouze kruh a „ukazovátko“ – měřím úhel který svírá objekt s horizontem, poměřuji s tabulkami známého úhlu objektu (většinou slunce v nejvyšším bodu své dráhy) a přepočítávám na lokální zeměpisnou šířku.

Měření zeměpisné šířky II.

- **Jakubova hůl** – měří se úhel, dívá se jak na horizont tak i na měřený objekt (složité, nepraktické – oslnění).



Davisův kvadrant – měří se úhel, zády k slunci se hýbe pohyblivým ramenem vrhajícím stín na otvor přes který je vidět horizont (pozice ramene dává úhel). Na obrázku vylepšený model (problém s málo jasnými objekty).

Měření zeměpisné šířky III.

- **Kvadrant** – měří se úhel, pouze ¼ kruhu, závaží s provázkem udává úhel.

- **Oktant** – měří se úhel, pouze 1/8 kruhu, sestava zrcátek, přes průhledné lze vidět horizont, druhé připevněné k otočnému ramenu kterým se určuje úhel, je vidět nebeský objekt v zrcátku.

- **Sextant** – měřím úhel, 1/6 kruhu, používá se dodnes velmi přesný.

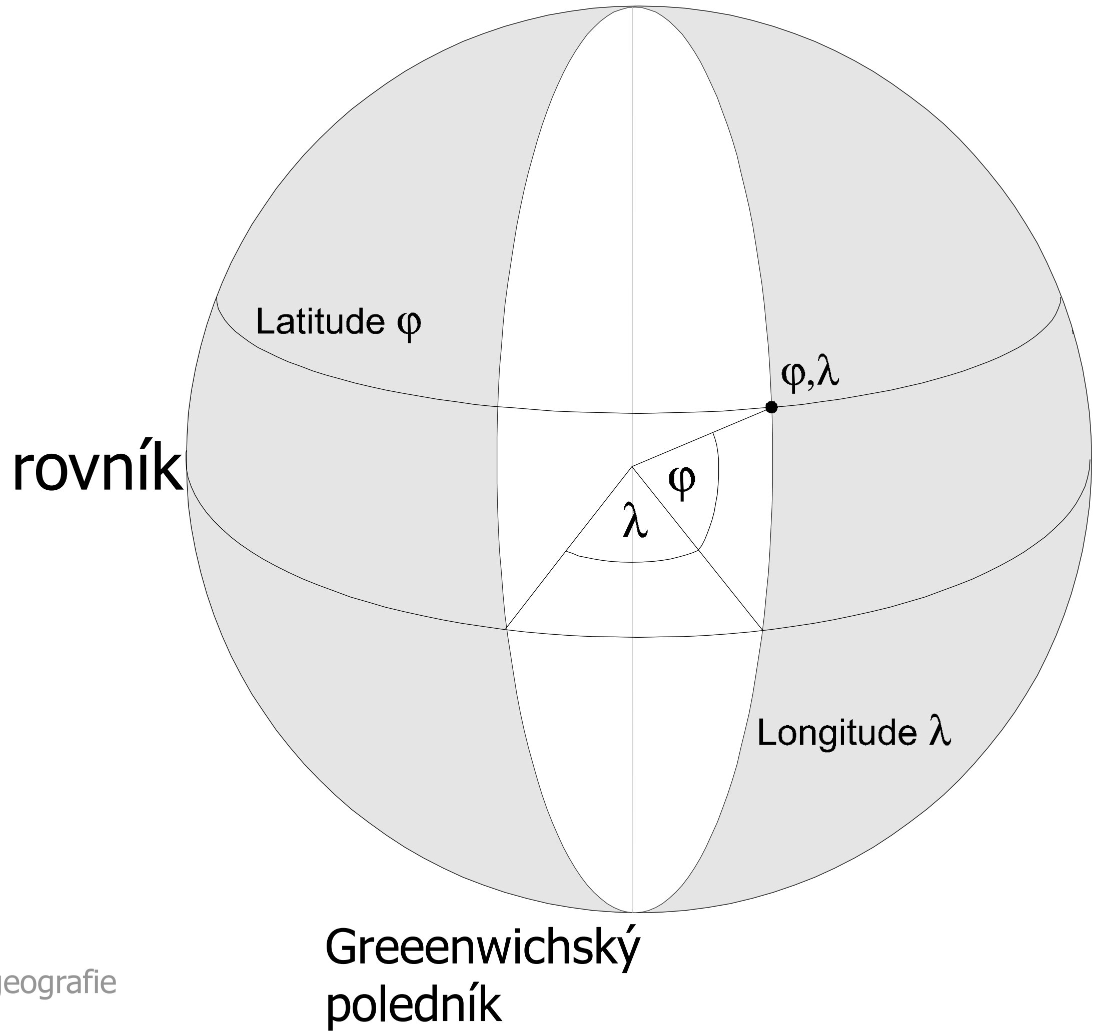
Určení polohy na Zemi

- Zeměpisné poledníky a rovnoběžky vytvářejí na povrchu referenčním elipsoidu zeměpisnou síť (graticule).

- Při klasické tvorbě map je zeměpisná síť důležitým konstrukčním prvkem při zobrazování povrchu elipsoidu do roviny.

- Umožňuje základní orientaci v obsahu map.

Určení polohy na Zemi

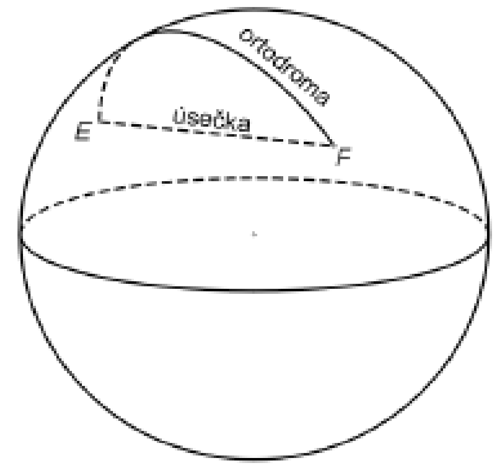


Určení polohy na Zemi

- V matematické kartografii existují důležité křivky, které jdou po povrchu referenční plochy.
- Mají využití při navigaci, námořní či letecké dopravě.
- Ve vybraných kartografických zobrazeních se zobrazují jako přímky, tato zobrazení používána v minulosti pro námořní navigaci.
- Ve vybraných kartografických zobrazeních se zobrazují jako úsečky, přímky, či polopřímky.

- *Geodetická křivka (elipsoid)*
- *Ortodroma*
- *Loxodroma*

Ortodroma I.

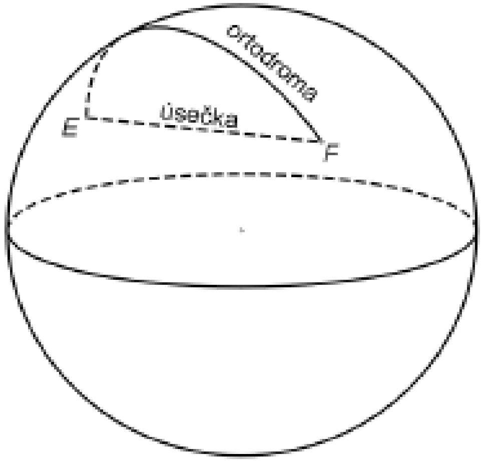


- z řeckého *ortos* – přímý a *dromos* – cesta.

- V klasické euklidovské geometrii: nejkratší vzdálenost dvou bodů je úsečka – technicky nepoužitelná.
- Nejkratší vzdálenost dvou bodů na zemském povrchu – na povrchu referenční koule.

- Ortodroma na rozdíl od loxodromy protíná poledníky pod různými azimuty.
- Vrací se do bodu, ze kterého vychází.
- Poledník je ortodroma, rovnoběžka s výjimkou rovníku není ortodromou.
- Její délka je vždy kratší než délka loxodromy (s výjimkou rovníku a poledníku).

Ortodroma II.



- *Synonyma:* geodetika, geodetická křivka.

- Představuje hlavní kružnici, tj. průsečnici roviny procházející středem koule a koule.
- V kartografických zobrazeních se zobrazuje jako obecná křivka.
- V gnomonické projekci se zobrazí jako úsečka.
- Její délka je vždy konečná.

- *Použití:* geodézie, letecká či námořní doprava.

Azimut

- Úhel mezi ortodromou a poledníkem, měří se od severu ve směru chodu hodinových ručiček.
- Azimut ortodromy se plynule mění z počáteční do koncové hodnoty je nutné při přesunu hodnoty neustále přepočítávat.
- Je třeba dbát na pořadí míst E, F, dosazujeme souřadnice včetně znamének (j.š. a z.d. jsou záporné!!!).
- Pro snadnější navigaci se určuje konstantní úhel pod kterým lze z místa E dorazit do místa F.
- Dráhu pohybu pod tímto konstantním kurzem označujeme jako **loxodromu**.

Využití

- Výpočty základních geodetických úloh.

I. (základní) geodetická úloha

– ze souřadnic počátečního bodu *E*, počátečního azimutu ortodromy a délky ortodromy určete souřadnice koncového bodu *F* a koncový azimut ortodromy.

II. (základní) geodetická úloha – ze souřadnic bodů *E*, *F* určete délku ortodromy a její počáteční i koncový azimut.

Možnosti řešení

1. Dvojice bodů na rovníku (na stejné rovnoběžce).
2. Dvojice bodů na stejném poledníku.
3. Dvojice bodů v obecné poloze.

Dvojice bodů v obecné poloze I.

- Využití sférické trigonometrie:
  - řeší vztahy uvnitř sférického trojúhelníka – daného třemi body a tvořeného oblouky hlavních kružnic.
- Oba body E a F tvoří společně se severním pólem Ps snadno řešitelný sférický trojúhelník.

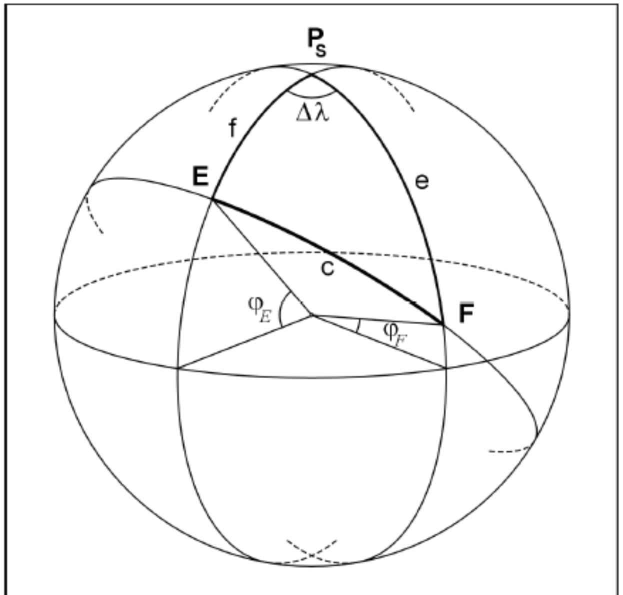
- Pro strany platí:

  $e = 90° - \varphi_F$

  $f = 90° - \varphi_E$

  c … hledaná ortodroma.

  $\gamma \equiv \Delta\lambda = |\lambda_F - \lambda_E|$

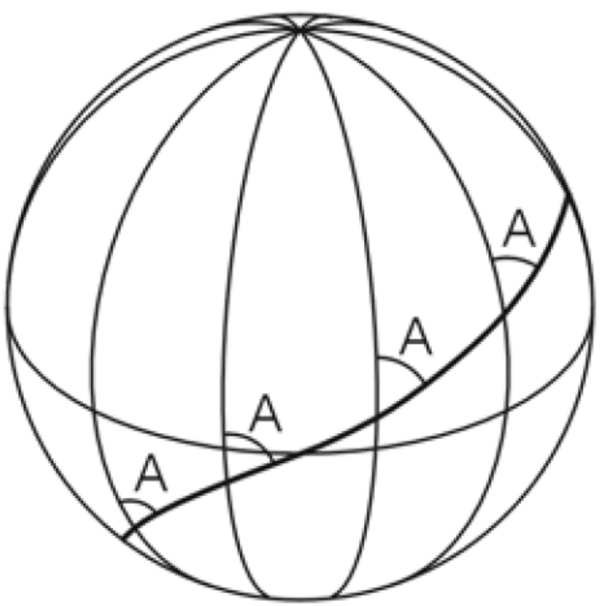


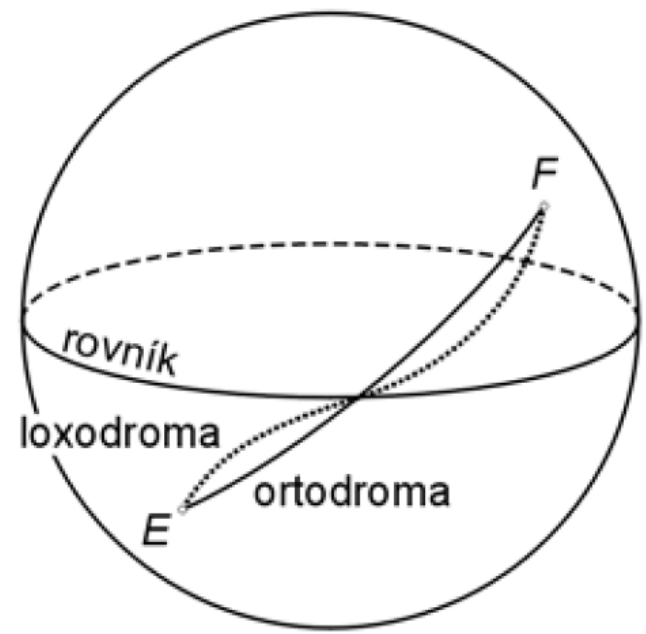
Loxodroma I.

- Z řeckého *loxos* – šikmý a *dromos* – cesta.
- Čára spojující dvě místa na glóbu a protínající všechny poledníky pod týmž úhlem (azimutem *A*).
- Délka l=∞.
- Není nejkratší spojnicí dvou bodů na referenční ploše (s výjimkou rovníku).
- Spirálovitě se blíží k severnímu/jižnímu pólu, kterého však nikdy nedosáhne.
- V Mercatorově zobrazení se zobrazí jako úsečka => použití pro námořní navigaci.
- Využití: letecká, námořní doprava (dnes při navigaci používán GPS).

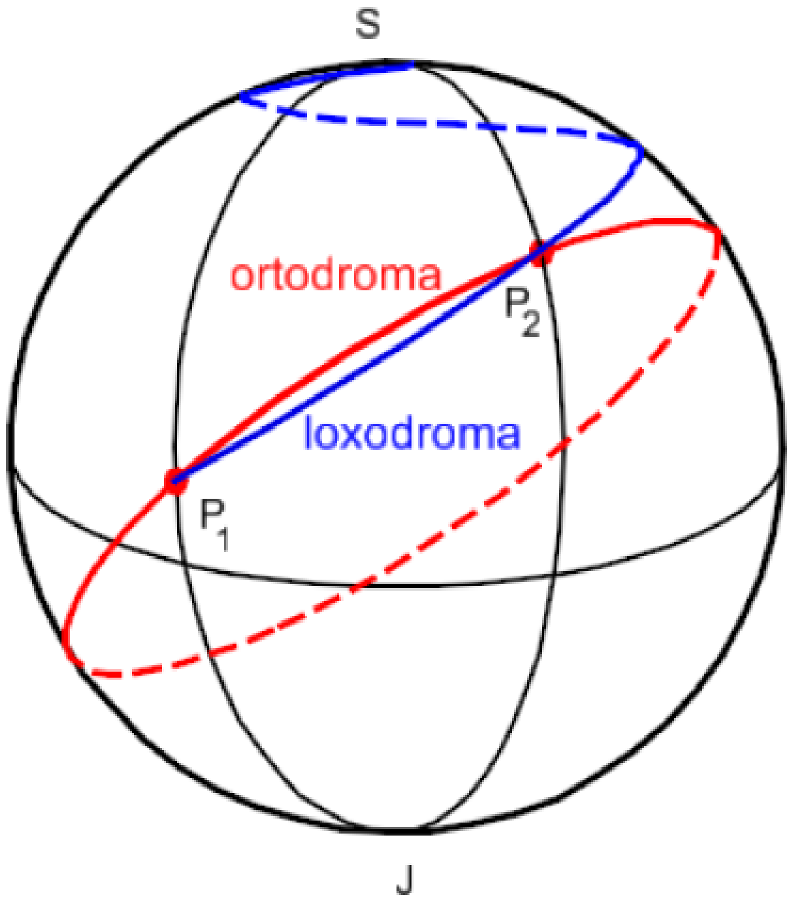
Loxodroma II.

- A=0° ->loxodroma splývá s poledníkem.
- A=90° ->loxodroma splývá s rovnoběžkou.





Ortodroma x loxodroma



Zadání cvičení

- Téma cvičení – Vzdálenost na Zemi

a) Nakreslete orientační náčrt vzájemné polohy míst E a F a spojte je úsečkou znázorňující loxodromu. Hledáte nejkratší vzdálenost, přitom však dávejte pozor na přechod rovníku! Použijte místa z tabulky č. 1.

b) Vypočtěte a zapište azimut loxodromy pro směr cesty z místa E –> F. Pomocí kvadrantů nakreslete směr cesty (azimut).

c) Vypočtěte délku ortodromy mezi E a F. Zapište přitom její úhlovou velikost (c) i délku d_{EF} v kilometrech.

d) Vypočtěte délku loxodromy I_{EF} mezi E a F a porovnejte s výsledkem s d_{EF}. Zapište, která z tras je kratší a uveďte i rozdíl obou vzdáleností v km.

Jak na výpočet – ortodroma? I.

- Pro určení nejkratší vzdálenosti bodů E, F budeme řešit II. geodetickou úlohu. Stačí přitom zjistit délku ortodromy.
- Nejjednodušší je, když místa leží na stejném rovníku, či poledníku.
- Ale co když ne? Pak jde o obecnou polohu, kterou budeme řešit.

Jak na výpočet – ortodroma? II.

- Za ortodromu volíme vždy nejkratší oblouk hlavní kružnice, proto musí být splněno $\Delta\lambda \leq 180°$.
- Pokud vychází $|\lambda_F - \lambda_E| > 180°$, použije se doplněk do plného úhlu $\Delta\lambda = 360° - |\lambda_F - \lambda_E|$.
- Pamatujete na trigonometrické věty (sinova a kosinova věta)?
- Kosinova věta pro stranu c sférického trojúhelníku:

$$\cos c = \cos e * \cos f + \sin e * \sin f * \cos \gamma$$

Jak na výpočet – ortodroma? III.

- Odtud dosazením získáte:

$$\cos c = \cos(90° - \varphi_F) * \cos(90° - \varphi_E) + \sin(90° - \varphi_E) * \sin(90° - \varphi_F) * \cos\Delta\lambda$$

- Pozor na znaménka zeměpisných šířek a vyčíslení goniometrických funkcí!

- Získaná hodnota c určuje velikost oblouku EF v úhlové míře (°), je nutné ji ještě upravit na délku v kilometrech. Jde přitom o oblouk hlavní kružnice o poloměru shodném s poloměrem referenční koule (r_z), proto:

$$d_{EF} = 2\pi r_Z \frac{c}{360°}$$

Jak na výpočet – loxodroma? I.

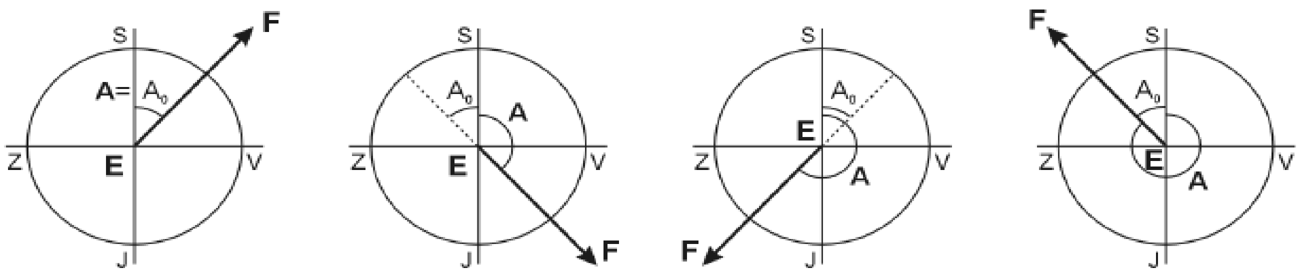
- Loxodroma je v optimálním případě spirála na kulové ploše, blíží se v nekonečně mnoha závitech k oběma pólům.
- Pro správné určení azimutu loxodromy je nutné určení správného pořadí bodů (počáteční a koncový). Délka je potom v obou případech stejná!
- Platí stejné podmínky jako v případě ortodromy.
- Nejprve se ručí azimut A ze vztahu:

$$\operatorname{tg} A = \frac{\lambda_F - \lambda_E}{\ln\left(\dfrac{\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_F}{2} + 45°\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_E}{2} + 45°\right)}\right)} * \frac{\pi}{180°}$$

Jak na výpočet – loxodroma? II.

- Platí stejné podmínky jako v případě ortodromy.

- Z hodnoty tg A lze matematicky vyčíslit pouze úhel A_0, který leží v intervalu základní periody funkce tangens ($-90°; +90°$). Protože ale azimut A se měří v intervalu ($0°, 360°$), je nutné opravit hodnotu A_0 podle vzájemné polohy měst do správného kvadrantu.



	$A = A_0$	$A = A_0 + 180°$	$A = A_0 + 180°$	$A = A_0 + 360°$
Př.:	$A_0 = 40°$	$A_0 = -40°$	$A_0 = 40°$	$A_0 = -40°$
	$A = 40°$	$A = 140°$	$A = 220°$	$A = 320°$

Jak na výpočet – loxodroma? III.

- Délka loxodromy se následně určí podle vzorce:

$$l_{EF} = \frac{r_Z}{\cos A} * (\varphi_F - \varphi_E) * \frac{\pi}{180°}$$

- Pro nejkratší možnou loxodromu je nutné opět splnit podmínku $\Delta\lambda \leq 180°$.
- Pro nejkratší možnou loxodromu je nutné opět splnit podmínku $\Delta\lambda \leq 180°$.
- Pokud vychází $|\lambda_F - \lambda_E| > 180°$, použije se doplněk do plného úhlu $\Delta\lambda = 360° - |\lambda_F - \lambda_E|$.
- Protože se tentokráte ve výpočtu nepoužívá absolutní hodnota, dosazuje se doplněk s opačným znaménkem než původní rozdíl $|\lambda_F - \lambda_E|$, (např. místo 290° se dosazuje –70°, místo –190° se dosazuje 170°)

Pro dnešek vše!

Teď už jen ten výpočet…