



Lesnická
a dřevařská
fakulta

2012, Brno

Ing. Tomáš Mikita, Ph.D.

Mendelova
univerzita
v Brně



Geodézie a pozemková evidence

Přednáška č.2 - Kartografická zobrazení,
souřadnicové soustavy



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Podpořeno projektem Průřezová inovace studijních programů Lesnické a dřevařské fakulty MENDELU v Brně (LDF) s ohledem na discipliny společného základu (reg. č. CZ.1.07/2.2.00/28.0021) za přispění finančních prostředků EU a státního rozpočtu České republiky.

- Pojmem kartografické zobrazení nazýváme vzájemné přiřazení plochy na dvou různých referenčních plochách.
- Zobrazení je jednoznačně matematicky definováno vztahem mezi souřadnicemi bodů na obou referenčních plochách tomuto vztahu říkáme zobrazovací rovnice (předpis pro převod souřadnic ze Země na kartografickou plochu).
- Pro zobrazení elipsoidu do roviny budou mít zobrazovací rovnice tento explicitní tvar:

$$X = f(\varphi, \lambda) \quad Y = g(\varphi, \lambda)$$

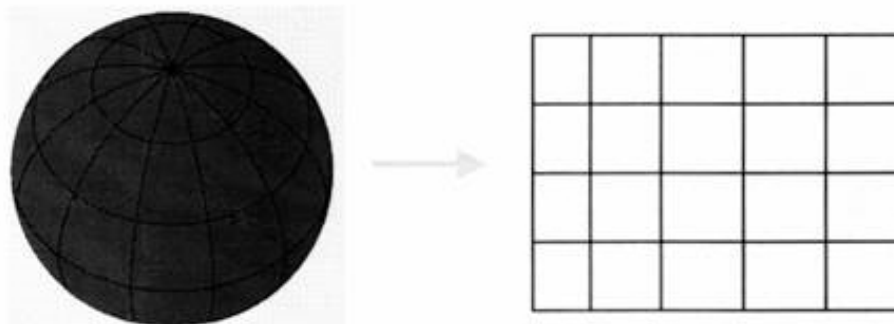
- Podle rovnic odpovídá každému bodu v originále jeden jediný bod v obraze.
- Výjimku představují tzv. singulární body (póly) \Rightarrow zde uvedená vlastnost není obecně splněna.
- Dosazením zeměpisné šířky 90° , při libovolné zeměpisné délce, dostáváme:

$$X = f(90^\circ, \lambda) \quad Y = g(90^\circ, \lambda)$$

- Tento zápis značí rovnici křivky, která je obrazem pólu.
- Pokud by se měl pól zobrazit jako bod, musí být X a Y nezávislé na zeměpisné délce.

Převod souřadnic elipsoidu do roviny

Vzájemné přiřazení polohy bodů dvou různých referenčních ploch



Kartografické zobrazení

Přehled základních kartografických zobrazení



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Ideální zobrazení zemského povrchu možné jen na globusu, nevýhodou zobrazení je příliš velké zmenšení zhruba 1:20 000 000.
- Při zobrazování zemského povrchu ve větších měřítkách se nahrazuje základní průmět, kterou je kulová plocha, plochou rovinnou a na ní vykreslený obraz zemského povrchu nazýváme mapou.
- Kulovou plochu nelze rozvinout do roviny bez zkreslení, zobrazení na mapě proto nikdy nemůže zcela přesně odpovídat skutečnosti.
- Zkreslování mapy roste se zvětšováním rozlohy zobrazované části zemského povrchu.
- Základem kartografického zobrazování je souvislá síť rovnoběžek a poledníků, která je rovnoměrně rozprostřena po celém povrchu zemského tělesa. Ideální zobrazení této sítě je opět možné jen na globusu.

- Při kartografickém zobrazování převádíme zeměpisnou síť z povrchu zemského do roviny (zobrazení rovinné) nebo na takovou plochu, která je do roviny rozvinutelná (zobrazení válcové a kuželové).
- Překreslená síť se po rozvinutí do roviny použije jako kostra k zakreslení podrobností zobrazovaného zemského povrchu.
- Existuje řada zobrazovacích způsobů, každý z nich má poněkud odlišné vlastnosti zkreslení (jsou dány vlivem různé křivosti referenčních zobrazovacích ploch):
 - **konformní (rovnoúhlá)** - nezkreslují úhly (nejvhodnější pro geodetické účely), značné zkreslení ploch
 - **ekvivalentní (rovnoplošná)** - odstraňují plošná zkreslení, značné zkreslení úhlů
 - **ekvidistantní (délkojevné)** - nezkresluje délkově určitou soustavu čar (poledníky), délkové zkreslení není zatím možné úplně odstranit
 - **kompensační (vyrovnávací)** - zmenšují zkreslení jednoho prvku na úkor druhého, hodnoty zkreslení odpovídají údajům někde mezi zobrazením konformním a ekvivalentním

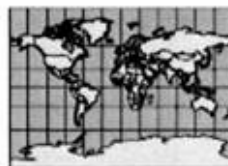
Přehled základních kartografických zobrazení

- Pro geodetické účely je nejvhodnější zobrazení konformní.
- Zkreslení délky není možné stoprocentně odstranit.
- V zásadě lze rozlišit tři základní kartografická zobrazení:
 - **rovinné** (azimutální)
 - **kuželové**
 - **válcové**

Kartografická zobrazení – druhy

◆ Klasifikace podle zobrazovací plochy

Válcová



Kuželová



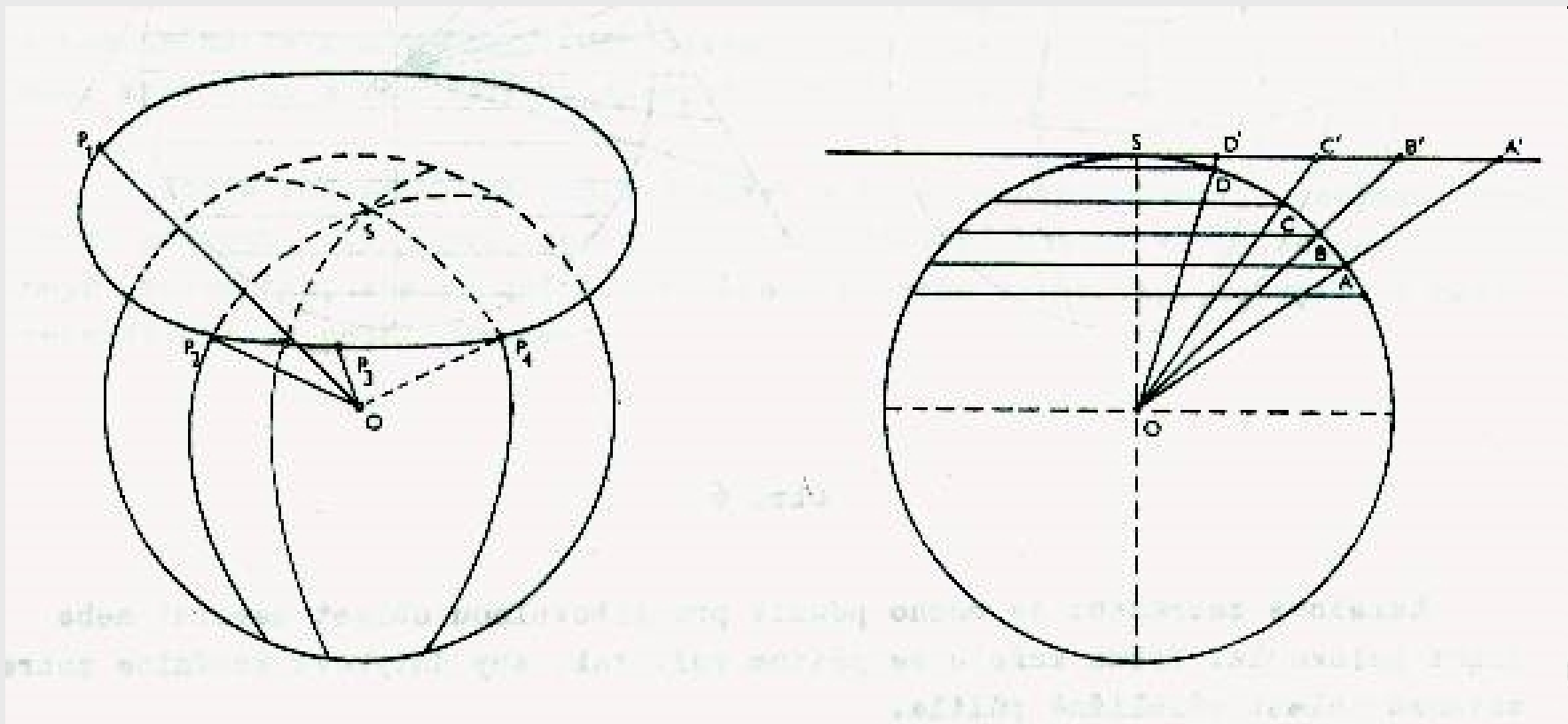
Azimutální



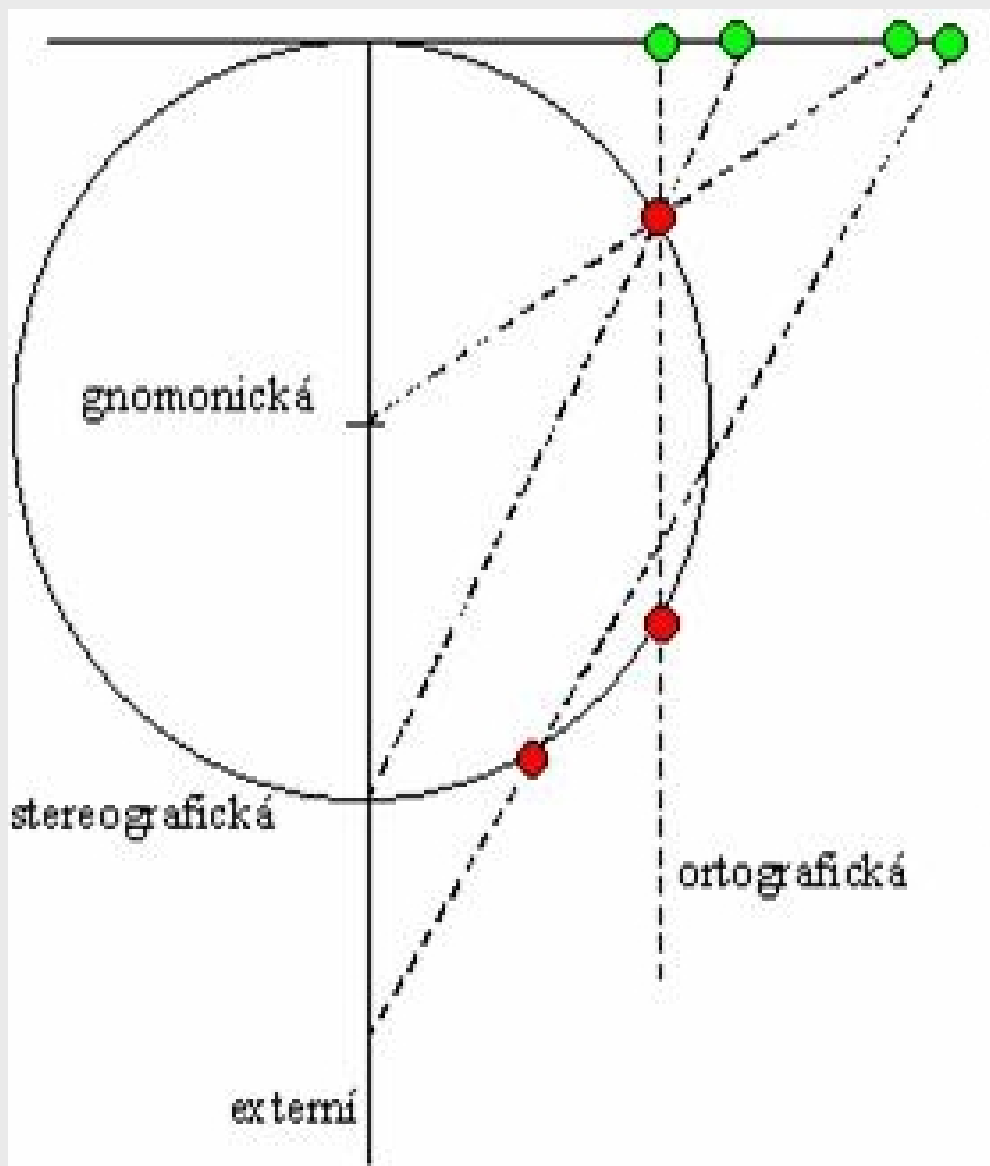
polyedrická,
polykonická,
nepravá, ...

- Body zemského povrchu se promítají na rovinu dotýkající se zeměkoule přibližně ve středu zobrazované oblasti.
 - gnómičké – body se promítají ze středu Země
 - stereografické – body se promítají z opačného pólu \Rightarrow konformní
 - ortografické – střed promítání je v nekonečnu, promítací paprsky jsou kolmé \Rightarrow nejsou zkresleny rovnoběžky
- Zobrazení rovinné je nejvhodnější pro území nepravidelného kruhového tvaru.
- Zkreslení je nejmenší v místech dotykového bodu a zvětšuje se s rostoucí vzdáleností od něj.
- Vhodné pro území zhruba do 100 km².

Zobrazení rovinné



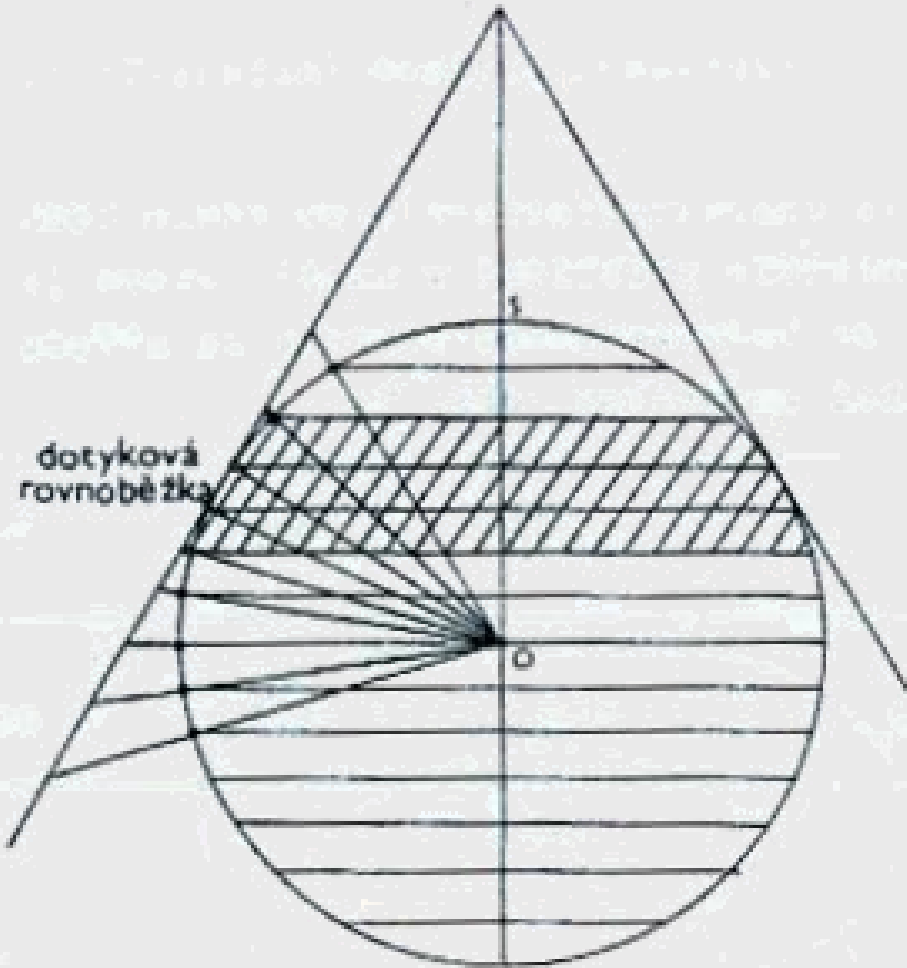
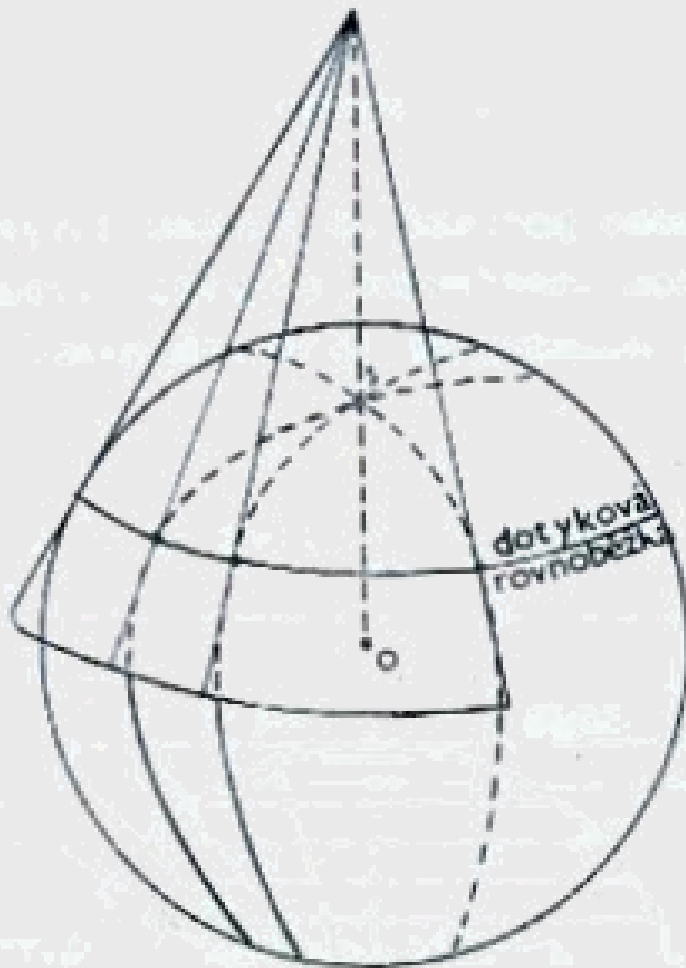
Druhy rovinného zobrazení



- Zobrazovací plocha tvořena pláštěm kužele, který je umístěn tak, aby se dotýkal zeměkoule podle rovnoběžky nebo jiné kružnice.
- Zkreslení je nejmenší v místech dotykové kružnice a zvětšuje se od ní na obě strany.
- Zobrazení kuželové je možné použít pouze k zobrazení části území v blízkosti dotykové kružnice, výška kužele se volí tak, aby dotyková kružnice půlila zobrazovanou oblast.
- Rovnoběžky se zobrazují jako soustředné kružnice se středem rovněž ve vrcholu kužele.
- Zemské poledníky (v normální poloze) a kartografické poledníky (v příčné nebo obecné poloze) se zobrazují jako svazek paprsků se středem ve vrcholu kužele.
- Vhodné pro zobrazení menších částí zemského povrchu (tímto způsobem je zobrazena mapa České Republiky).

Zobrazení kuželové

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

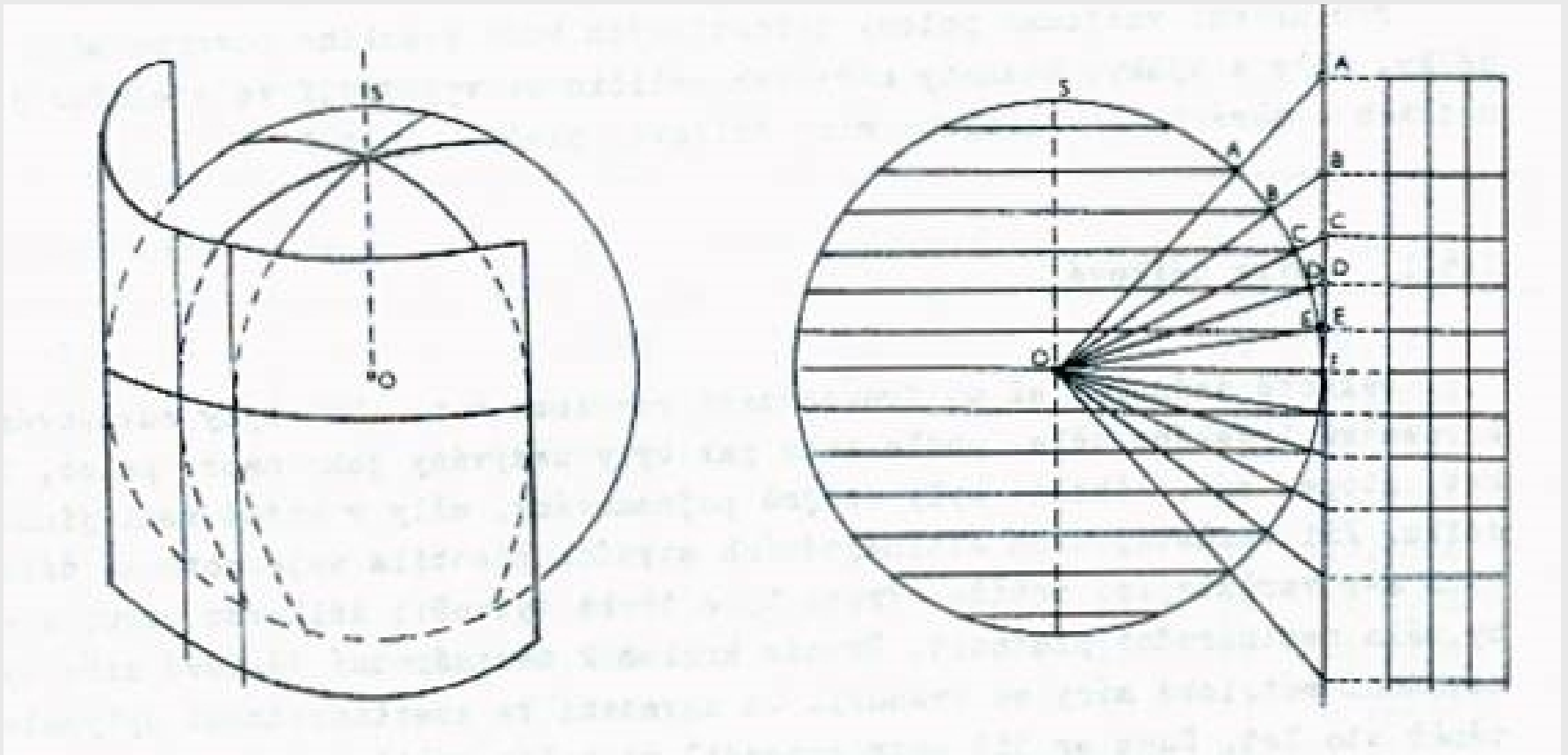


Zobrazení válcové

- Zobrazovací plocha tvořena pláštěm válce, který je umístěn tak, aby se dotýkal zeměkoule podle rovnoběžky nebo jiné kružnice.
- Obrazy poledníků se zobrazí jako přímky kolmé na obraz rovníku.
- Obrazy rovnoběžek vytvářejí soustavu přímek rovnoběžných s obrazem rovníku.
- Zobrazení válcové se používá k zobrazování takových oblastí, které jsou rozloženy podél některé hlavní kružnice.
- Všechny obrazy rovnoběžek jsou stejně dlouhé (včetně pólů).
- Obraz zeměpisné sítě neodpovídá pohledu na glóbus (vyjma rovníkových území).
- Stejně jako u kužele se zkreslení zvětšuje na obě strany od dotykové kružnice, která se zobrazuje nezkresleně.

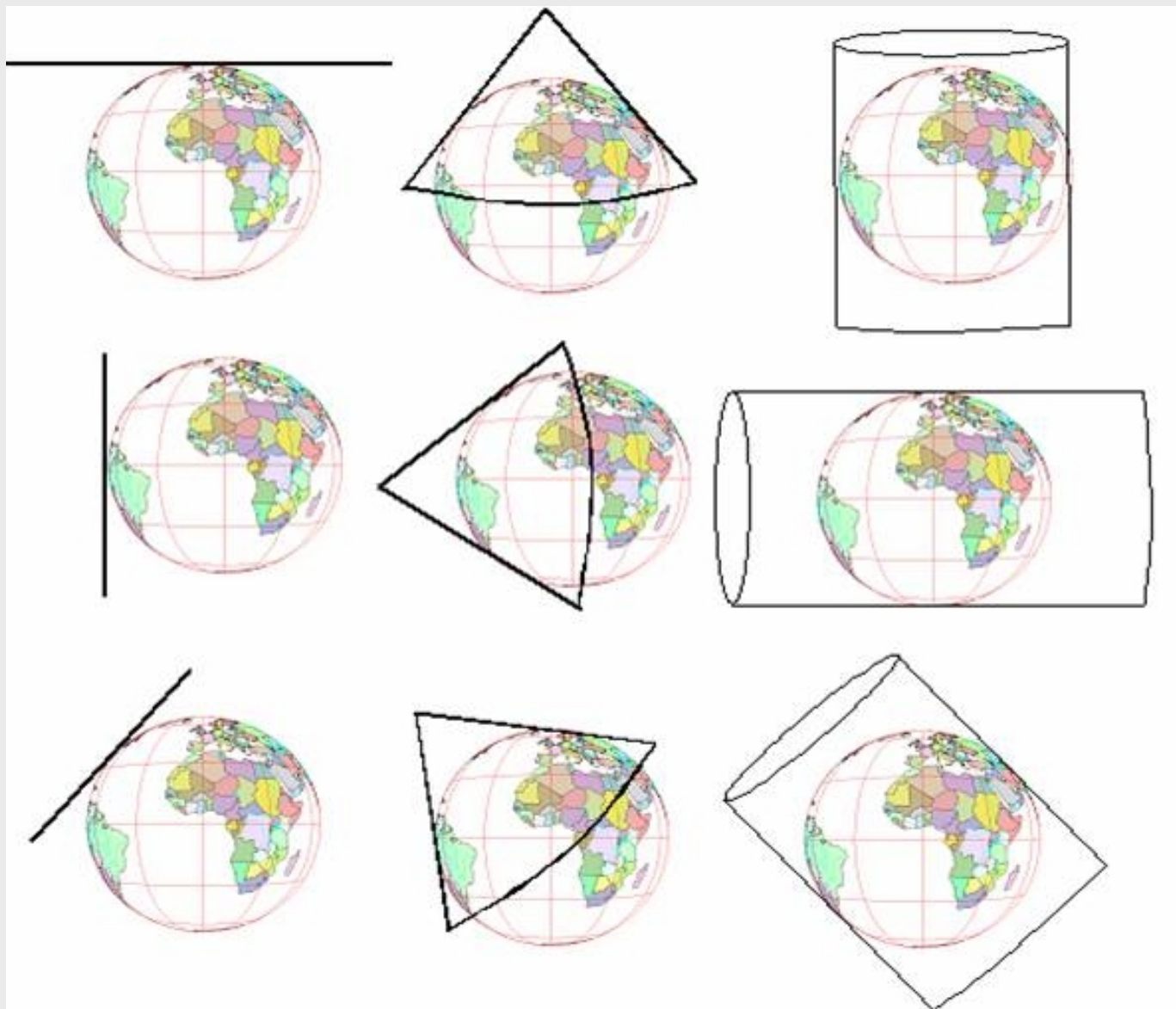
Zobrazení válcové

- Používáme pro oblasti, které jsou rozloženy podél některé hlavní kružnice.
- Není vhodné pro přehledné mapy, vhodné pro mapy světa.



- **normální (polární)** - osa plochy, na kterou zobrazujeme, je totožná s osou plochy referenční (dotýká se referenční plochy v zemském pólu)
- **příčná (transverzální, rovníková)** - osa kužele či válce leží v rovině zemského rovníku a prochází středem Země, dotykový bod zobrazovací roviny je na rovníku
- **obecná (šikmá)** - osa kužele či válce jde středem Země, neprochází však pólem ani neleží na rovníku, zobrazovací rovina se dotýká referenční plochy jinde než v pólu či na rovníku

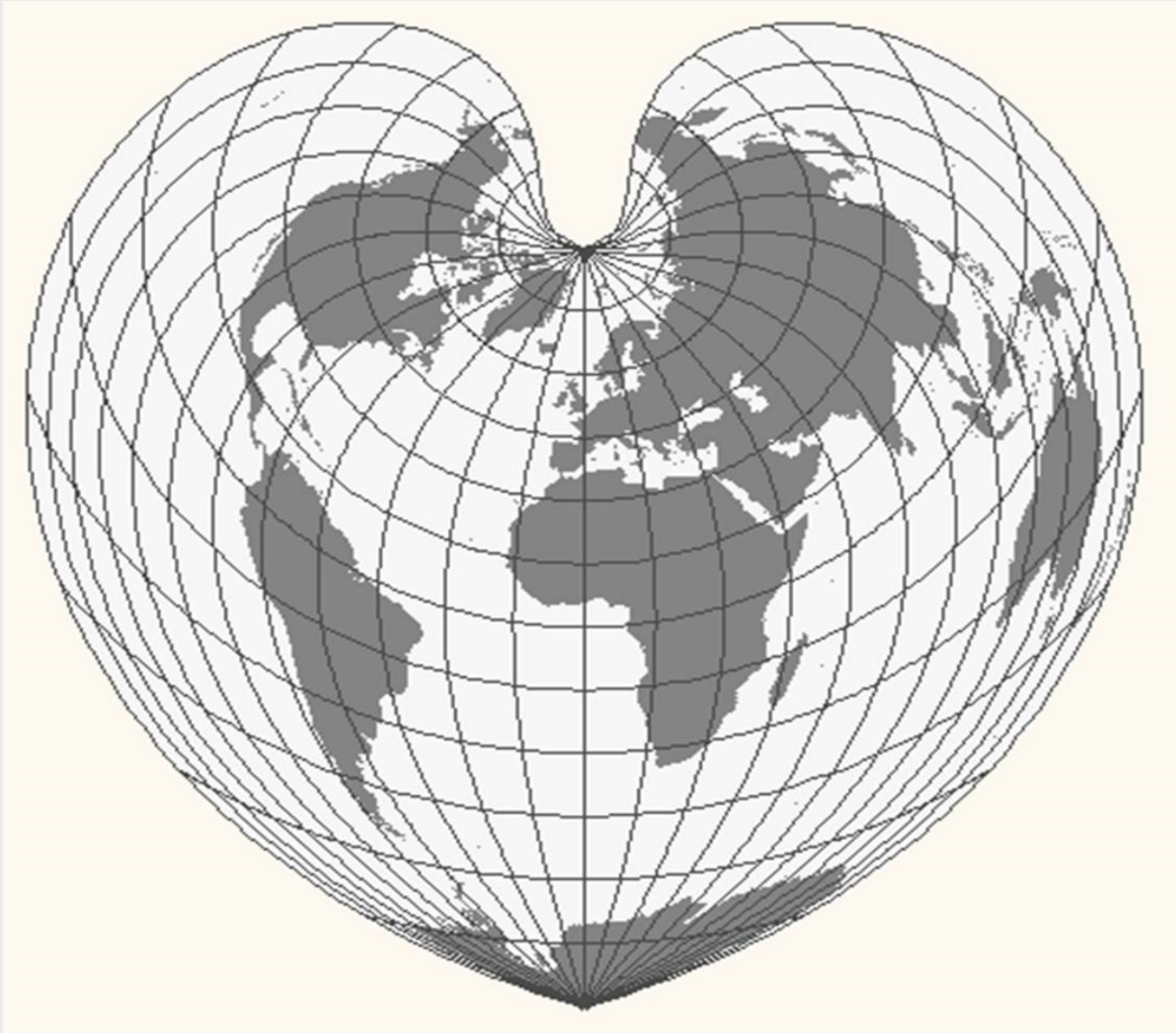
Dělení dle polohy zobrazovací plochy



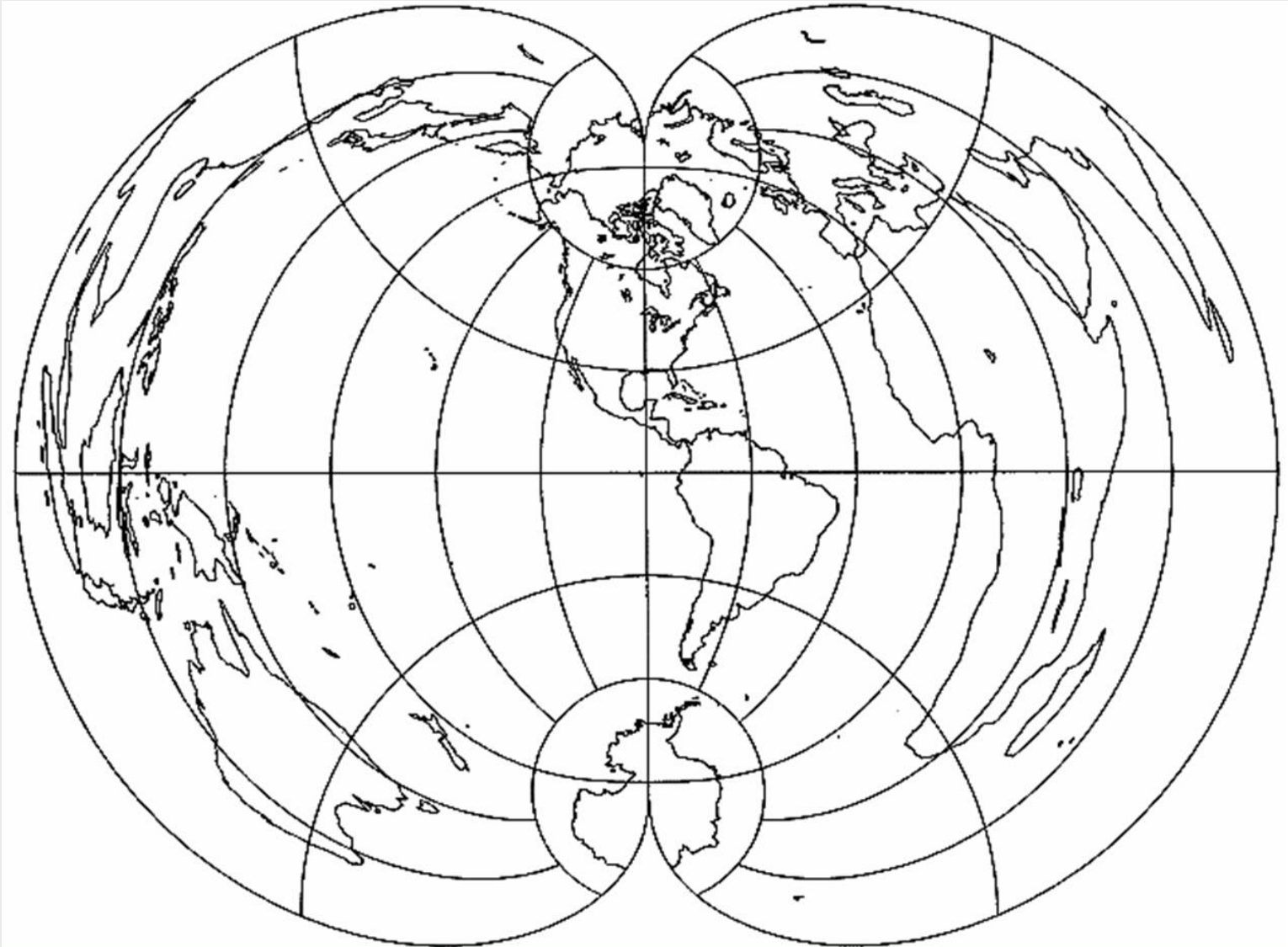
Další typy kartografických zobrazení

- Zobrazení nepravá
- Zobrazení polyedrická
- Zobrazení polykónická

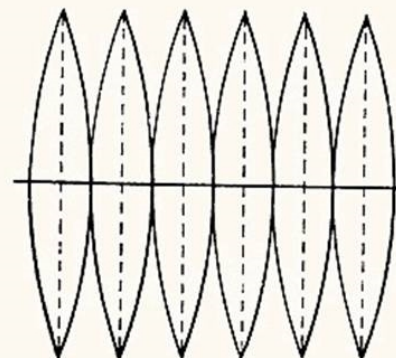
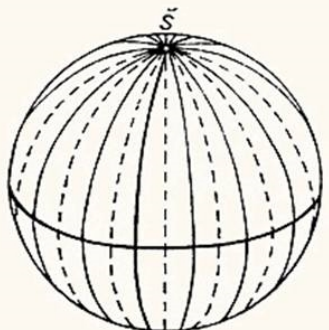
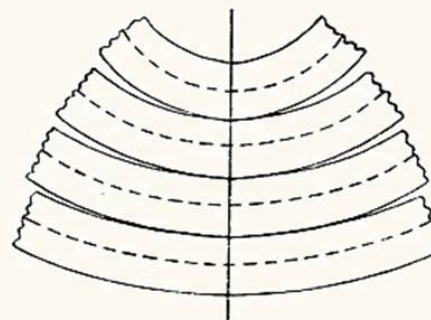
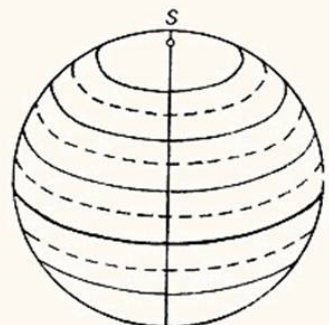
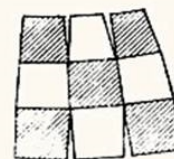
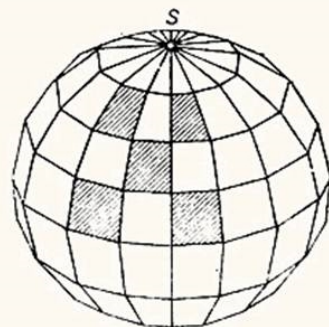
Zobrazení nepravé



Zobrazení polykónické



Zobrazení polyedrické



- Existuje několik metod, jak vybrat vhodné kartografické zobrazení pro danou mapu.
- **Podle tvaru zobrazovaného území:**
 - Pro protáhlá území - válcová zobrazení
 - Pro území kruhového tvaru (ale do určité velikosti) - např. kolem pólů - azimutální
 - Pro území ve vyšších zeměpisných šířkách - kuželová zobrazení
- **Podle požadavků na zkreslení**
 - Rozhoduje vždy účel mapy, např. v geografické kartografii se téměř nepoužívají konformní zobrazení, na druhou stranu u map velkých měřítek a pro navigační mapy vždy.
- Při výběru zobrazení má vždy hlavní slovo **účel mapy**.

- Všechny objekty a jevy na zemském povrchu modelované v modelech terénu je nutné prostorově lokalizovat.
- K tomu slouží souřadnicové soustavy, ve kterých je lokalizace uvedených objektů dána dvojicí nebo trojicí prostorových či rovinných souřadnic.
- V geodézii, kartografii a jiných vědních oborech se užívá pro určení polohy bodů souřadnic zeměpisných, pravoúhlých a polárních.
 - **Zeměpisné souřadnice** – poloha libovolného bodu na ploše elipsoidu je vyjádřena zeměpisnými souřadnicemi a to zeměpisnou šířkou a zeměpisnou délkou.
 - **Pravoúhlé souřadnice** – poloha bodu je vyjádřena souřadnicemi x a y , soustava je definována polohou počátku a směrem souřadnicových os x a y .
 - **Polární souřadnice** – poloha bodu vyjádřena průvodičem daného bodu od počátku a úhlem, který svírá tento průvodič se zápornou částí osy x .

- Jako výchozí prostorové souřadnice jsou často používány tzv. souřadnice geocentrické.
- Geocentrický souřadnicový systém má počátek ve středu Země a souřadnicové osy X, Y, Z. Osa X leží v rovině rovníku a prochází greenwichským poledníkem, osa Y leží též v rovině rovníku a prochází poledníkem 90° východní zeměpisné délky a osa Z leží v ose rotace Země.
- Pro kartografické účely a pro lokalizaci objektů digitálních modelů jsou však i tyto souřadnice transformovány do prostorových souřadnic na elipsoidu (zpravidla WGS84).
- Proto v dalším textu bude pojednáváno pouze o souřadnicových soustavách, které mají vztah k matematické kartografii.

1. Souřadnicové soustavy na referenčních plochách

- souřadnicové soustavy na referenčním elipsoidu
- souřadnicové soustavy na referenční kouli
- Souřadnice bodu jsou vyjádřeny zeměpisnými souřadnicemi φ, λ (často užívané pouze pro referenční elipsoid, pro referenční kouli časté označení U, V).

2. Souřadnicové soustavy v zobrazovací rovině

- Souřadnice bodu vyjádřeny pomocí pravoúhlých nebo polárních souřadnic.

Souřadnicové soustavy na referenčním elipsoidu

- Základní souřadnicovou soustavou na referenčním elipsoidu jsou zeměpisné souřadnice, označované též geodetické zeměpisné souřadnice nebo pouze geodetické souřadnice.
- Souřadnice tvoří zeměpisná (geodetická) šířka φ a zeměpisná (geodetická) délka λ .
- Čáry s konstantní hodnotou λ , resp. φ jsou nazývány zeměpisné poledníky, resp. zeměpisné rovnoběžky.
- Zeměpisné poledníky a rovnoběžky vytvářejí na povrchu referenčním elipsoidu zeměpisnou síť, která je při klasické tvorbě map důležitým konstrukčním prvkem při zobrazování povrchu elipsoidu do roviny.

- Zeměpisná síť umožňuje základní orientaci v obsahu map.
- Zvláštní význam mají rovník, tedy rovnoběžka s maximálním průměrem, a základní (Greenwichský, nultý) poledník procházející observatoří v Greenwichi v Londýně.
- Při konstrukci map má specifický význam i tzv. základní konstrukční poledník, kterým zpravidla bývá poledník procházející těžištěm zobrazovaného nebo modelovaného území.

- Poloha libovolného bodu na ploše elipsoidu je vyjádřena zeměpisnými souřadnicemi a to zeměpisnou šířkou a zeměpisnou délkou.

a) Zeměpisná šířka φ (φ):

- úhel, který v rovině určitého poledníku svírá normála bodu s rovinou rovníku
- vyjadřuje se ve stupňových jednotkách ($0^\circ - 90^\circ$)
- severní šířka - od rovníku na sever, znaménko +
- jižní šířka – od rovníku na jih, znaménko –

b) Zeměpisná délka λ (lambda):

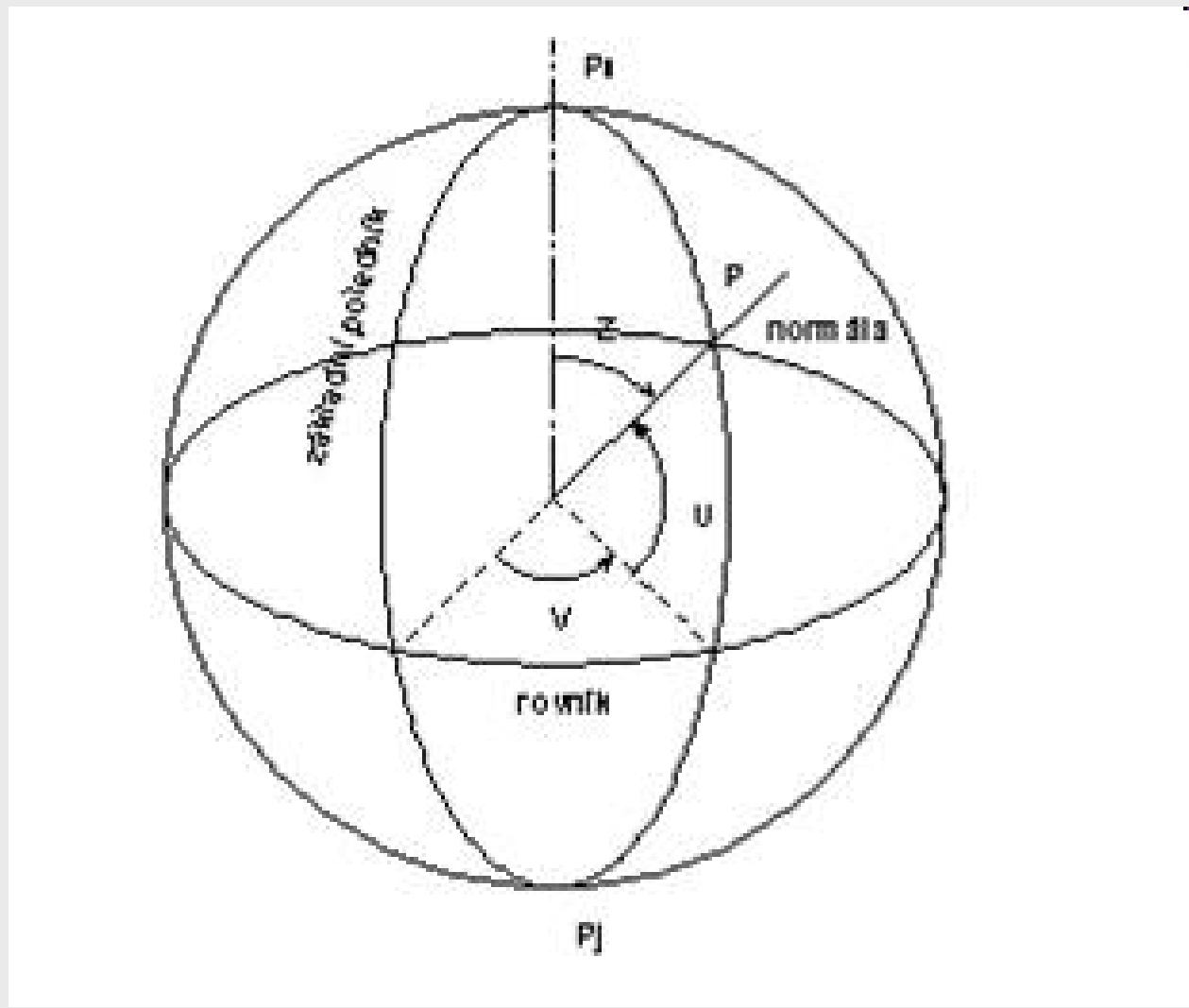
- úhel, který svírá poledníková rovina určitého bodu s rovinou základního poledníka
- vyjadřuje se ve stupňových jednotkách ($0^\circ - 180^\circ$)
- západní délka – od základního poledníku na západ (znaménko -)
- východní délka – od zákl. poledníku na východ (znaménko +)

- Základní poledník – dohodou přijatý výchozí poledník, obvykle procházející významnou hvězdárnou.
- Užívané základní poledníky:
 - Greenwichský (Londýn) - prochází hvězdárnou v Greenwichi v Londýně.
 - Ferrský (20° na západ od pařížské hvězdárny) - prochází Faerskými ostrovy, užívaný do počátku 20. století.
- Vzájemný převod zeměpisných délek mezi soustavami umožňují vztahy:
$$\lambda_{gr} = \lambda_{fer} - 17^{\circ}39'44,02''$$
$$\lambda_{fer} = \lambda_{gr} + 17^{\circ}39'44,02''$$
- Kvůli rozdílům mezi geoidem a elipsoidem se rozlišují:
 - astronomické zeměpisné souřadnice – určené astronomickým měřením
 - geodetické zeměpisné souřadnice – získané výpočty z geodetických měření

Souřadnicové soustavy na referenční kouli

- Na referenční kouli jsou též základní souřadnicovou soustavou zeměpisné souřadnice.
- Na rozdíl od souřadnic na elipsoidu jsou často nazývány zeměpisnými souřadnicemi sférickými nebo kulovými a jsou označovány zeměpisná šířka (na kouli, sférická, kulová) U a zeměpisná délka (na kouli, sférická, kulová) V .
- Pokud se zobrazují oblasti blízké pólům, často se používá i zenitový úhel Z počítaný podle vztahu $Z = 90^\circ - U$.
- Rozsahy hodnot zeměpisných souřadnic na kouli a jejich použití v praxi je obdobné jako u zeměpisných souřadnic na elipsoidu.

Souřadnicové soustavy na referenční kouli



- V zobrazovací rovině se převážně používá pravoúhlá souřadnicová soustava definovaná počátkem 0 a osami X a Y. V této soustavě mohou být řešené i všechny úlohy praktické geodézie a kartografie za použití vzorců analytické geometrie v rovině.
- Převod prvků z referenční plochy do mapové roviny se označuje jako kartografické zobrazení nebo kartografická projekce.
- Každé kartografické zobrazení je provázeno zkreslením geometrických prvků obrazu úhlů, délek a plošných obsahů.
- Počátek rovinných souřadnicových soustav se zpravidla volí uprostřed zobrazovaného území.
- Z hlediska konstrukce map, jejich používání nebo používání prostorových geoinformací je však výhodné, aby celé území leželo pouze v 1. kvadrantu.
- Proto se často k vypočteným souřadnicím přičítají vhodné konstanty Δx a Δy .

Souřadnicové soustavy v zobrazovací rovině

