



Referenční plochy a souřadnice
na těchto plochách
Zeměpisné, pravoúhlé, polární a
kartografické souřadnice

Kartografie
přednáška 5

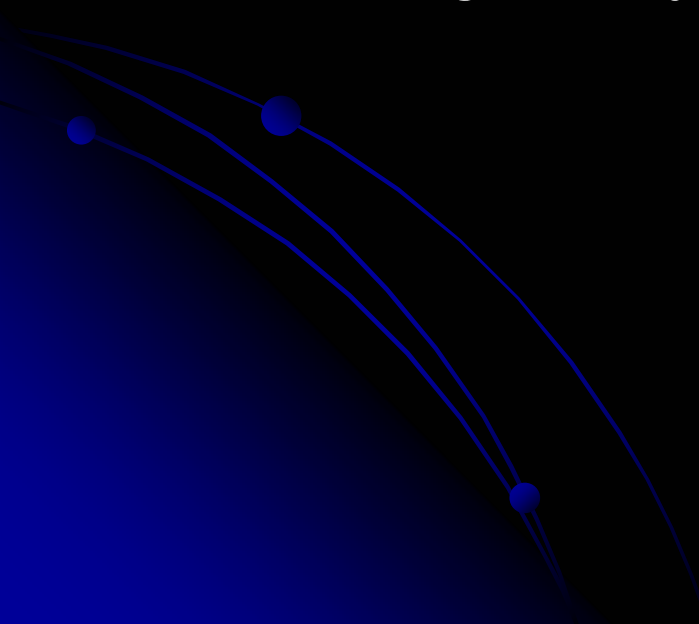
Referenční plochy souřadnicových soustav

- slouží k lokalizaci bodů, objektů a jevů na zemském povrchu (určení polohy - souřadnice)
- povrch zemského tělesa je velice složitý, členitý a těžko zobrazitelný
- proto je nahrazován topografickou plochou
 - část povrchu Země se všemi nerovnostmi (bez budov, objektů, porostů apod.)
 - spojitá plocha vyhlazující mikrostrukturu a ty terénní tvary, které jsou z hlediska rozlišovací úrovně bezvýznamné
- topografická plocha je však stále poměrně složitá pro přímé zobrazování do map nebo pro definování digitálních modelů
- pro účely mapování a tvorby modelů terénu se tato plocha nahrazuje referenčními plochami
- jsou jednodušší a matematicky nebo fyzikálně přesně definované

Referenční plocha

- referenční plochou pro výšková měření je geoid
 - plocha, na které všechny body mají stejný geopotenciál (potenciál tíhové síly)
 - nejlépe odpovídá nerušené střední hladině světových moří, protažené i pod kontinenty
 - tato plocha je ve všech bodech kolmá na směr tíže
 - geoid je definován jako fyzikální těleso => jeho matematické vyjádření je značně složité
 - pro potřeby praktické geodézie, mapování a kartografie je nahrazován:
 - referenčním elipsoidem
 - referenční koulí
 - referenční rovinou

- souřadnice bodů na těchto plochách jsou vyjádřeny:
 - zeměpisnými souřadnicemi φ, λ (elipsoid) nebo U, V (na kouli)
 - pravoúhlými souřadnicemi x, y, z (Kartézské)
 - polárními souřadnicemi
 - kartografickými souřadnicemi \check{S}, D (na kouli)



Referenční elipsoid

- výchozí referenční plochou v matematické kartografii je rotační elipsoid
- parametry rotačního elipsoidu jsou voleny tak, aby v maximální míře nahrazoval geoid v zájmové části Země nebo aby nahrazoval celý geoid
- elipsoid je plně definován dvěma parametry, kterými mohou být:
 - a, b - velikost hlavní a vedlejší poloosy
 - a, e - velikost hlavní poloosy a numerická výstřednost (excentricita)
 - a, e' - velikost hlavní poloosy a druhá excentricita
 - a, f - velikost hlavní poloosy a zploštění

$$f = (a - b) / a$$

- referenční elipsoidy jsou jako výchozí referenční plocha používány tehdy, chceme-li definovat zobrazení s minimálními hodnotami zkreslení rovinného obrazu
- tento způsob se volí u kartografických zobrazení používaných při definici státních souřadnicových systémů nebo mezinárodních systémů
- použití při tvorbě státních mapových děl
- na území České republiky se používá:
 - **Besselův elipsoid** - pro civilní státní mapová díla
 - **Krasovského elipsoid** - pro vojenské topografické mapy (v systému S-1942/83)
 - **elipsoid WGS84** - pro celosvětový systém WGS84

Parametry referenčních elipsoidů používaných na území České republiky

Elipsoid	Besselův	Krasovského	WGS84
Velká poloosa a [m]	6 377 397,155	6 378 245,000	6 378 137,000
Malá poloosa b [m]	6 356 078,963	6 356 863,019	6 356 752,314
Excentricita e^2	0,006 674 372 2	0,006 693 421 6	0,006 694 380 1
Druhá excentricita e'^2	0,006 719 218 7	0,006 738 525 3	0,006 739 496 8
Reciproká hodnota zploštění $1/f$	299,152 815 4	298,300 003 2	298,257 220 1

Souřadnicové soustavy na referenčním elipsoidu

Zeměpisné souřadnice

- poloha libovolného bodu na ploše elipsoidu je vyjádřena zeměpisnými souřadnicemi:
 - zeměpisnou šířkou φ
 - zeměpisnou délkou λ
- používáme je k vyjádření polohy trigonometrických bodů I.řádu a počátku libovolné souřadnicové soustavy

Zeměpisná šířka

- úhel, který svírá normála bodu s rovinou rovníku v rovině určitého poledníku
- nabývá hodnot -90° až 90°
- severní šířka: pro hodnoty 0° až $+90^\circ$ (north) => severní pól
- jižní šířka: pro hodnoty -90° až 0° (south) => jižní pól

Zeměpisná délka

- úhel, který svírá poledníková rovina určitého bodu s rovinou základního poledníku
- vyjadřuje se ve stupňových jednotkách
- nabývá hodnot $0^\circ - 360^\circ$
- východní délka: pro hodnoty 0° až $+180^\circ$ (east)
- západní délka: pro hodnoty 0° až -180° (west)

Základní poledník

- dohodou přijatý výchozí poledník, procházející významnou hvězdárnou
 - **Greenwichský** (Londýn)
 - **Ferro** (v prostoru Kanárských ostrovů) - $17^\circ 39' 44''$ západně od Greenwich - používal se do počátku 20. století
 - **Pulkovo**

Rovník

- rovina procházející středem zemského tělesa kolmá k zemské ose
- rovnoběžka s maximálním průmětem

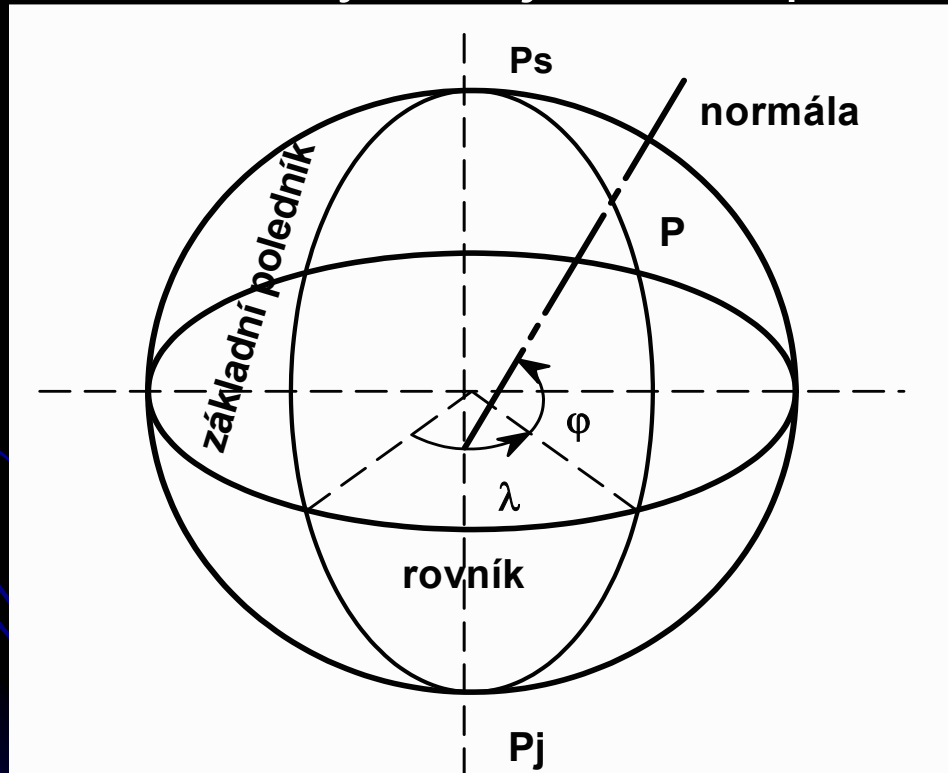
- čáry s konstantní hodnotou λ , respektivě φ jsou nazývány zeměpisné poledníky a zeměpisné rovnoběžky

Zeměpisný poledník

- tvořen průsečnicí libovolné roviny procházející zemskou osou a matematickým povrchem

Ravnoběžka

- kružnice vytvořená body o stejné zeměpisné šířce



Loxodroma

- dráha protínající všechny poledníky pod stejným úhlem

Ortodroma

- nejkratší vzdálenost mezi dvěma body na zemském povrchu, která vede po hlavní kružnici (letecká doprava)
- zeměpisné rovnoběžky a poledníky vytvářejí na povrchu referenčního elipsoidu zeměpisnou síť
- při klasické tvorbě map je důležitým konstrukčním prvkem při zobrazování povrchu elipsoidu do roviny
- zeměpisná síť umožňuje základní orientaci v obsahu map

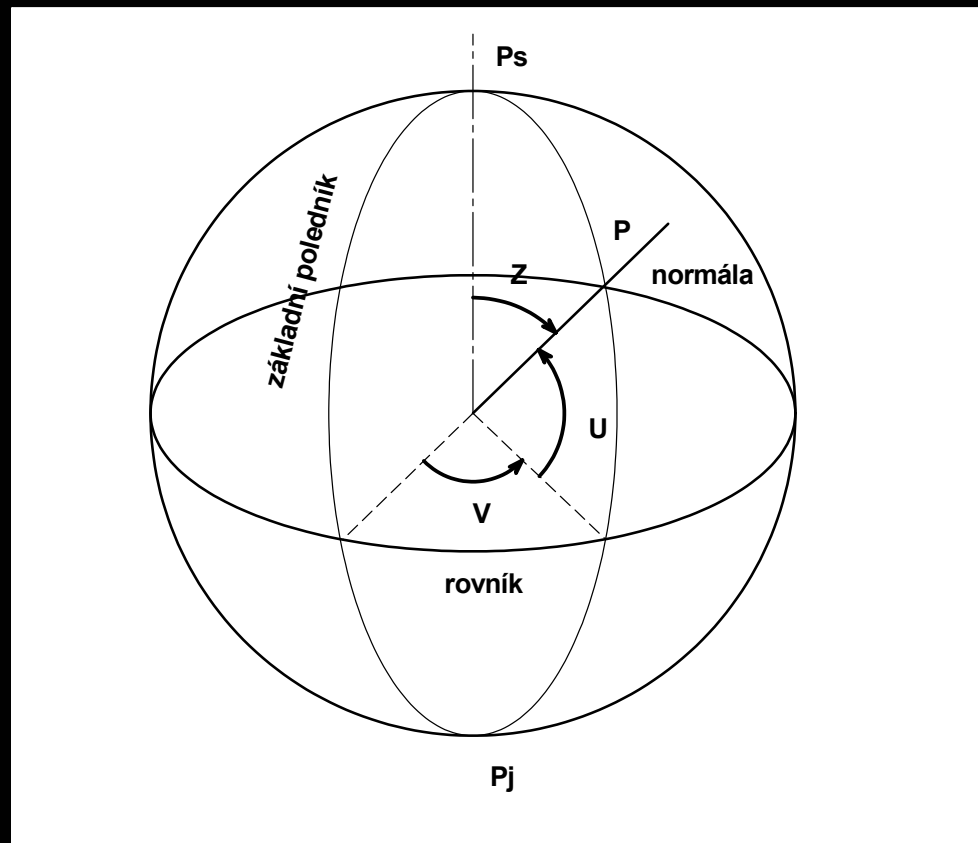
Referenční koule

- používá se není-li vyžadována vysoká přesnost prostorové lokalizace modelovaných objektů a jevů
- uplatňuje se zejména:
 - při tvorbě map malých měřítek (atlasy, nástěnné mapy)
 - při vizualizaci digitálních dat s menšími nároky na minimalizaci zkreslení
 - při řešení jednodušších navigačních úloh
- zvláštním případem je použití referenční koule při tzv. dvojitém zobrazení:
 - referenční elipsoid je nejprve zobrazen na kouli
 - ta se poté zobrazuje do roviny
 - tento postup je používán zejména při obecné poloze konstrukční osy zobrazení

- poloměr referenční koule je možné volit na základě různých hledisek:
 - je-li zobrazované území podél rovnoběžky o zeměpisné šířce φ_0 je vhodné zvolit poloměr koule R rovný příčnému poloměru křivosti elipsoidu (pro naše území $R = 6\,380$ km)
 - pro mapy velmi malých měřítek zobrazujících rozsáhlé části Země či celou planetu je poloměr možné odvodit z požadavku přibližné rovnosti objemu a povrchu elipsoidu a koule (pro všechna místa na Zemi $R = 6\,371$ km)

Souřadnicové soustavy na referenční kouli

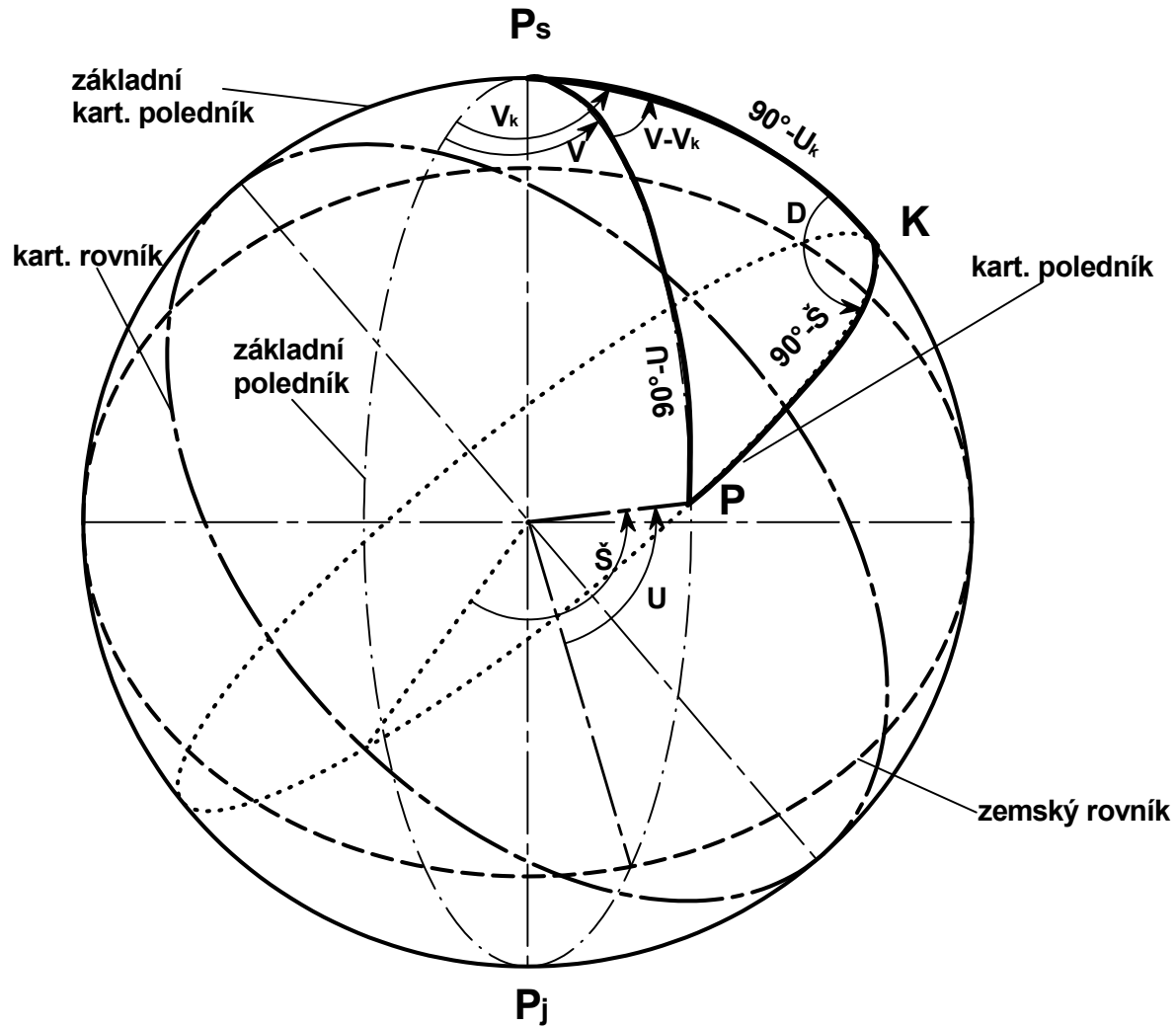
- na referenční kouli jsou též základní souřadnicovou soustavou zeměpisné souřadnice
- na rozdíl od souřadnic na elipsoidu jsou často nazývány zeměpisnými souřadnicemi sférickými nebo kulovými
- jsou označovány zeměpisná šířka U (na kouli, sférická, kulová) a zeměpisná délka V (na kouli, sférická, kulová)
- při zobrazení oblastí blízkých pólům se používá i zenitový úhel Z ($Z = 90^\circ - U$)
- rozsah hodnot zeměpisných souřadnic na kouli a jejich použití v praxi je obdobné jako u zeměpisných souřadnic na elipsoidu



- ❑ na referenční kouli je možno také definovat soustavu kartografických souřadnic vztaženou ke kartografickému pólu **K**
- ❑ kartografické souřadnice se zpravidla používají při šikmém zobrazení

- poloha kartografického pólu se volí podle specifiky zobrazení referenční koule do roviny
- kartografické souřadnice tvoří:
 - kartografická šířka S
 - kartografická délka D
- tyto souřadnice jsou ve vztahu ke kartografickému pólu definovány obdobně jako zeměpisné souřadnice ve vztahu k zemskému pólu
- kartografické poledníky a rovnoběžky mají obdobný průběh jako poledníky a rovnoběžky zeměpisné
- zeměpisný poledník procházející kartografickým pólem je současně i kartografickým poledníkem
- bývá používán jako základní kartografický poledník kartografické soustavy souřadnic

Vztahy mezi zeměpisnými a kartografickými souřadnicemi na referenční kouli



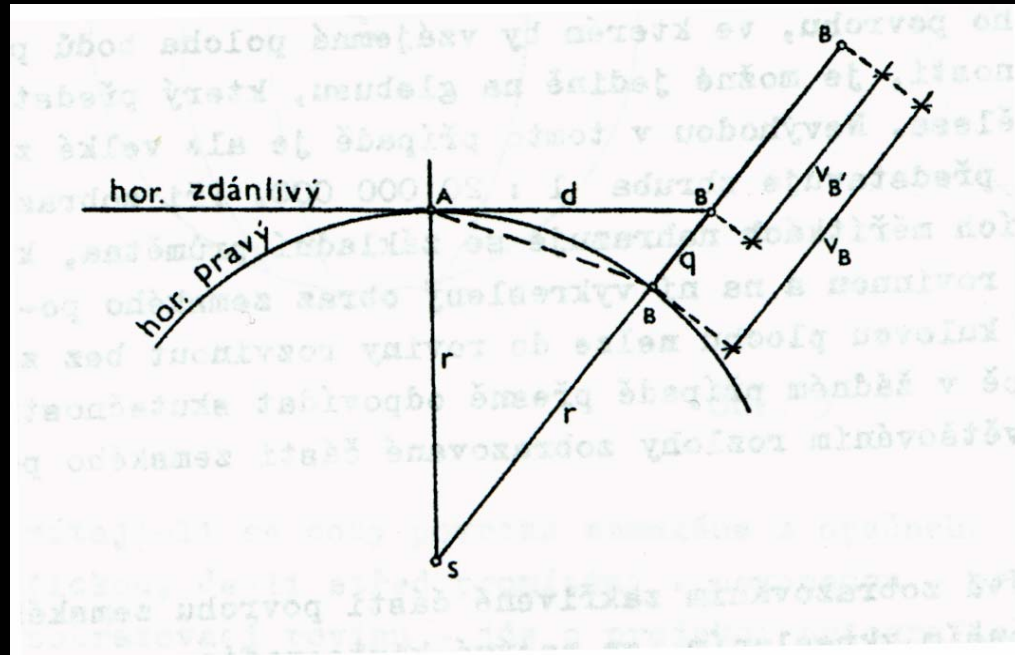
Referenční rovina

- nahrazuje zakřivený povrch Země na územích menšího rozsahu
- použití při tvorbě map a plánů z velmi malého území (poloměr do 20 km)
- vodorovné úhly na zakřivené ploše jsou téměř stejné jako v rovině
- zkreslení délek, ploch a úhlů je minimální a tudíž zanedbatelné
- pro výšková měření je ale nutné zakřivení Země uvažovat

Vliv zakřivení Země na měření výšek

- při výškovém měření zaměřujeme hladinovou plochu proloženou bodem **A** (horizont pravý) tečnou rovinou k hladinové ploše v bodě **A** (horizont zdánlivý)
- výška bodu **B** je dána kolmou vzdáleností V_B od hladinové plochy procházející bodem **A**
- záměnou pravého horizontu za zdánlivý určíme místo hodnoty V_B hodnotu $V_{B'}$
- rozdíl označíme jako chybu q , kde platí :

$$V_B = V_{B'} + q$$



- chybu q určíme z trojúhelníka SAB'
- délku d považujeme až do hodnoty 30 km za rovnou délce oblouku AB

$$(r + q)^2 = r^2 + d^2$$

$$d^2 = q^2 + 2rq$$

- hodnota chyby q je proti délce zemského poloměru r nepatrná \Rightarrow kvadrát zanedbáváme a pak platí:

$$q = d^2 / 2r$$

- při $r = 6\,371$ km a různých délkách d zjistíme, že při měření výšek není možno vliv zemského zakřivení zanedbat ani na krátké vzdálenosti, viz. tab.

délka s /v metrech/	100	500	1 000	10 000	20 000
chyba q /v metrech/	0,0008	0,020	0,078	7,848	31,397

Souřadnicové soustavy v zobrazovací rovině

Pravoúhlé souřadnice

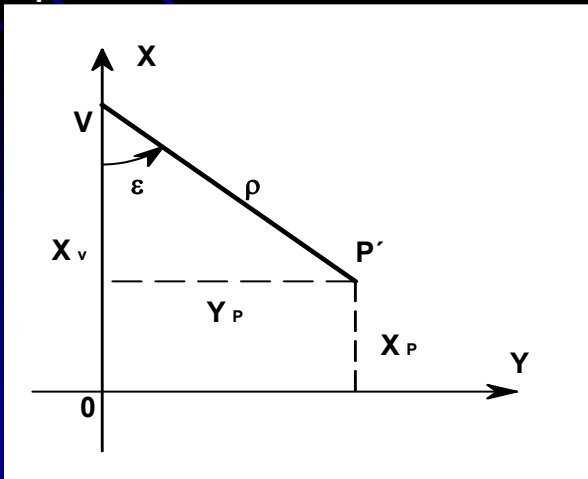
- soustava je definována polohou počátku 0 a směrem souřadnicových os X a Y
- vyjadřují polohu trigonometrických bodů nižších řádů, zhušťovacích bodů a ostatních měřických bodů
- v této soustavě mohou být řešeny všechny úlohy praktické geodézie a kartografie (za použití vzorců analytické geometrie v rovině)
- z charakteru některých zobrazení ale plyne, že při transformaci referenční plochy do roviny je výhodnější nejprve použít polárních souřadnic v rovině

Polární souřadnice

- poloha bodu je vyjádřena jeho průvodičem ρ od počátku 0 a úhlem ε , který svírá tento průvodič se zápornou částí osy X
- poloha počátku 0 může být pevná nebo se může měnit v závislost na hodnotě zeměpisné šířky
- v praxi se používají dvě základní řešení:
 - s různými počátky obou soustav
 - totožnými počátky obou soustav

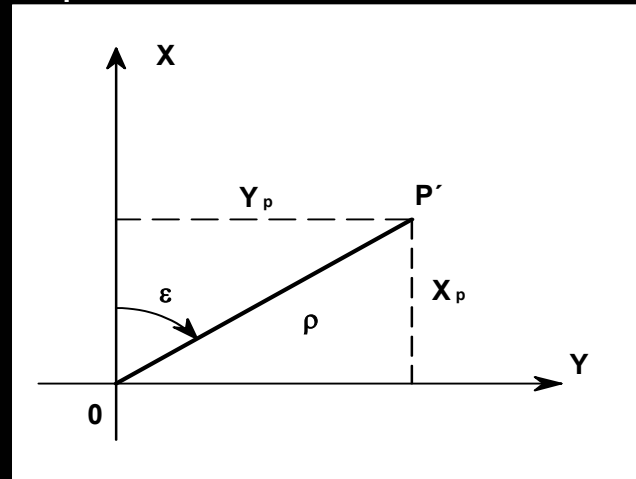
$$X_P = X_V - \rho \cdot \cos \varepsilon$$

$$Y_P = \rho \cdot \sin \varepsilon$$

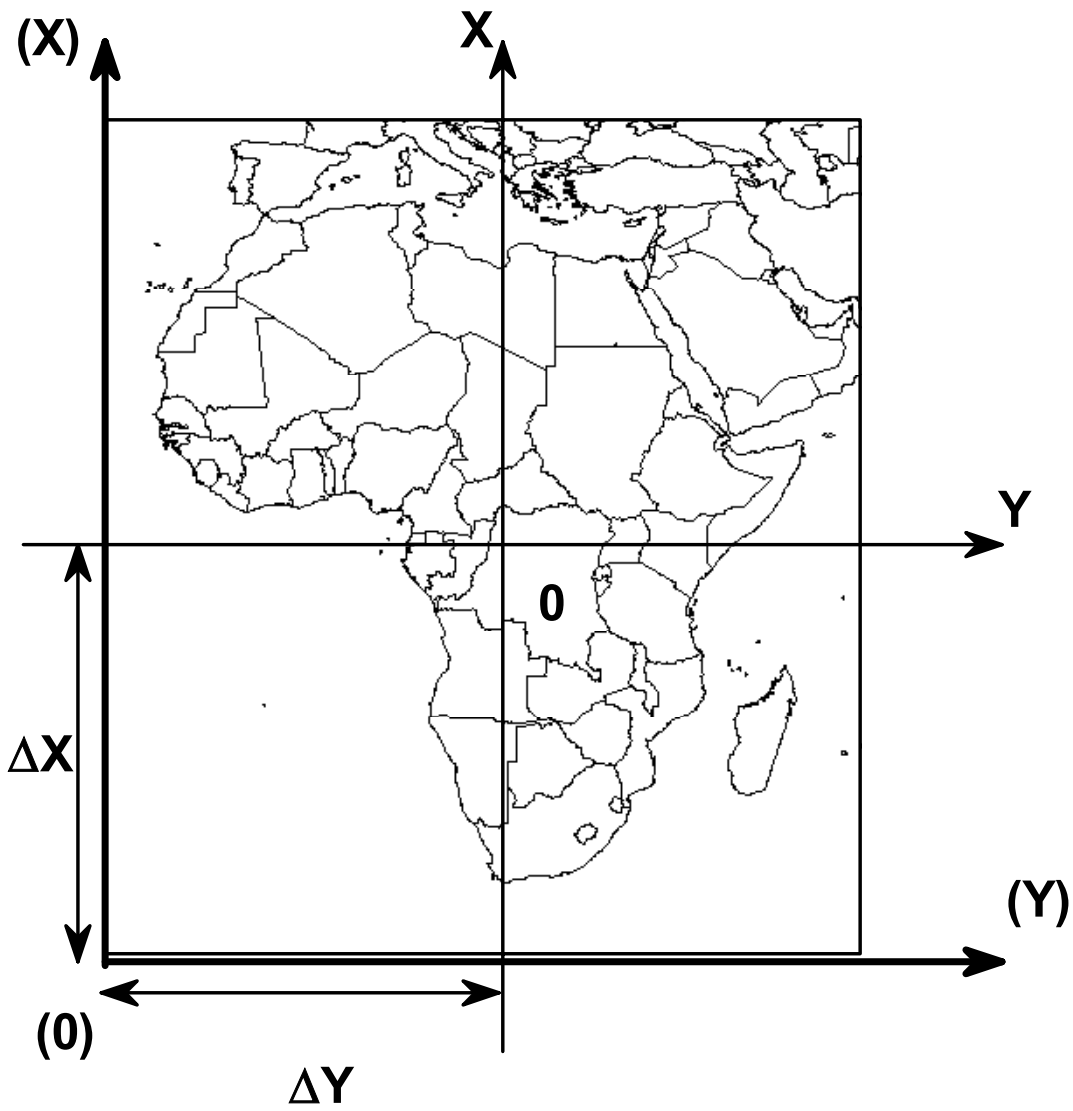


$$X_P = \rho \cdot \cos \varepsilon$$

$$Y_P = \rho \cdot \sin \varepsilon$$



- při ztotožnění počátků pravoúhlé i polární soustavy se měří polární úhel ε od kladného směru osy X
- hodnoty ε bývají uvažovány v rozsahu 0° až 360°
 - 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



Transformace souřadnicových systémů

- existuje řada vzorců pro převody mezi jednotlivými souřadnými systémy
- v současnosti většina geoinformačních systémů obsahuje tyto vzorce a umožňuje převod souřadných systémů
- výchozími souřadnicemi jsou zpravidla zeměpisné souřadnice na referenčním elipsoidu φ, λ
- v některých případech (mapy malých měřítek) zeměpisné souřadnice na referenční kouli U, V
- konečné souřadnice jsou vždy rovinné pravoúhlé souřadnice x, y

□ v praxi se lze setkat s různými kombinacemi transformace:

- zobrazení **vojenských topografických map** je přímou transformací mezi zeměpisnými souřadnicemi a rovinnými pravoúhlými souřadnicemi x, y
- zobrazení **základních map České republiky** je naopak postupnou transformací:

zeměpisné souřadnice na referenčním elipsoidu => zeměpisné souřadnice na referenční kouli => kartografické souřadnice => polární souřadnice => rovinné pravoúhlé souřadnice

Příklady transformace

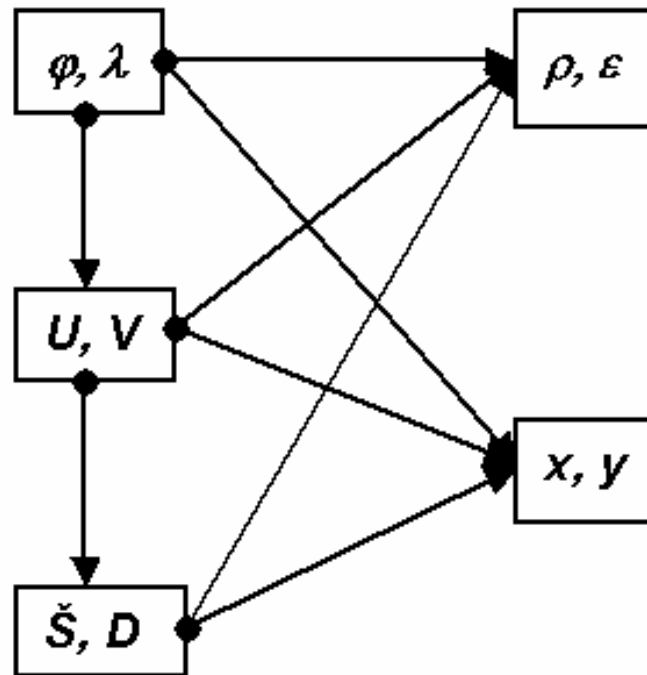
REFERENČNÍ PLOCHA

ZOBRAZOVACÍ ROVINA

ZEMĚPISNÉ
SOUŘADNICE NA
REFERENČNÍ
PLOŠE

ZEMĚPISNÉ
SOUŘADNICE NA
REFERENČNÍ
KOULI

KARTOGRAFICKÉ
SOUŘADNICE NA
REFERENČNÍ
KOULI



POLÁRNÍ
SOUŘADNICE

PRAVOÚHLÉ
SOUŘADNICE