



Lesnická  
a dřevařská  
fakulta

Geodézie  
Přednáška

# Souřadnicové systémy

## Souřadnice na referenčních plochách

Mendelova  
univerzita  
v Brně



- ❑ každý stát nebo skupina států si volí pro souvislé zobrazení celého území vhodný souřadnicový systém
- ❑ slouží k lokalizaci objektů a jevů na zemském povrchu, případně nad ním nebo pod ním
- ❑ liší se od sebe volbou počátku souřadnicového systému, orientací (směrem) a počtem souřadnicových os a rozměry a číslováním triangulačních a mapových listů
- ❑ z důvodu snížení hodnot zkreslení se území bývalého Rakousko-Uherska rozdělilo na menší celky (každý měl vlastní souřadnicový systém)
- ❑ bývalé a současné systémy na území našeho státu:
  - souřadnicové systémy stabilního katastru
  - souřadnicové systémy reambulovaného katastru
  - souřadnicový systém S-JTSK
  - souřadnicový systém S-1942
  - souřadnicový systém WGS-84
  - souřadnicový systém ETRS-89

## Souřadnicové systémy stabilního katastru

- ❑ katastrálním mapováním území bývalého Rakouska-Uherska (1817-1864)
- ❑ velká rozloha a členitost území => naše republika rozdělena na tři části ve směru poledníků
- ❑ počátky souřadnicových soustav (základní body) jsou:
  - pro Čechy – trigonom. bod na kopci **Gusterberk** v Horních Rakousích
  - pro Moravu – věž chrámu **Svatý Štěpán** ve Vídni
  - pro Slovensko – trigonometrický bod na kopci **Gellertheygy** u Budapešti

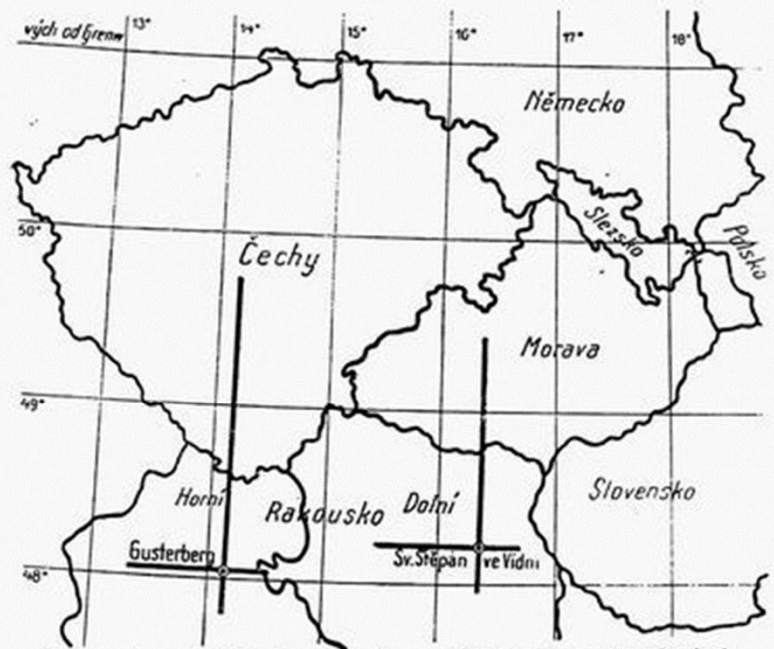


## Souřadnicové systémy stabilního katastru

- ❑ použito Cassini-Soldnerovo příčné válcové zobrazení a Zachův elipsoid
- ❑ pro každou část byla zvolena samostatná souřadnicová soustava
- ❑ území bylo pokládáno za rovinné
- ❑ základní mapové měřítko bylo 1 : 2 880 (odvozeno ze sáhové míry)
- ❑ orientace soustav byla volena tak, že osa X (obraz základního poledníku vedeného počátkem soustavy) směřuje kladnou větví k jihu a kladná část osy Y k západu => jižníková soustava
- ❑ souřadnicové osy rozdělují každou soustavu na čtyři kvadranty
- ❑ rovnoběžky se souřadnicovými osami X a Y vytvářejí sloupce a vrstvy, které vymezují jednotlivé fundamentální (triangulační) listy - 4 000 x 4 000 sáhů (1 : 14 400)
- ❑ dalším dělením na 4 sloupce a 5 řad vzniklo 20 tzv. sekcí, které nazýváme sekčními nebo mapovými listy

## Souřadnicové systémy stabilního katastru

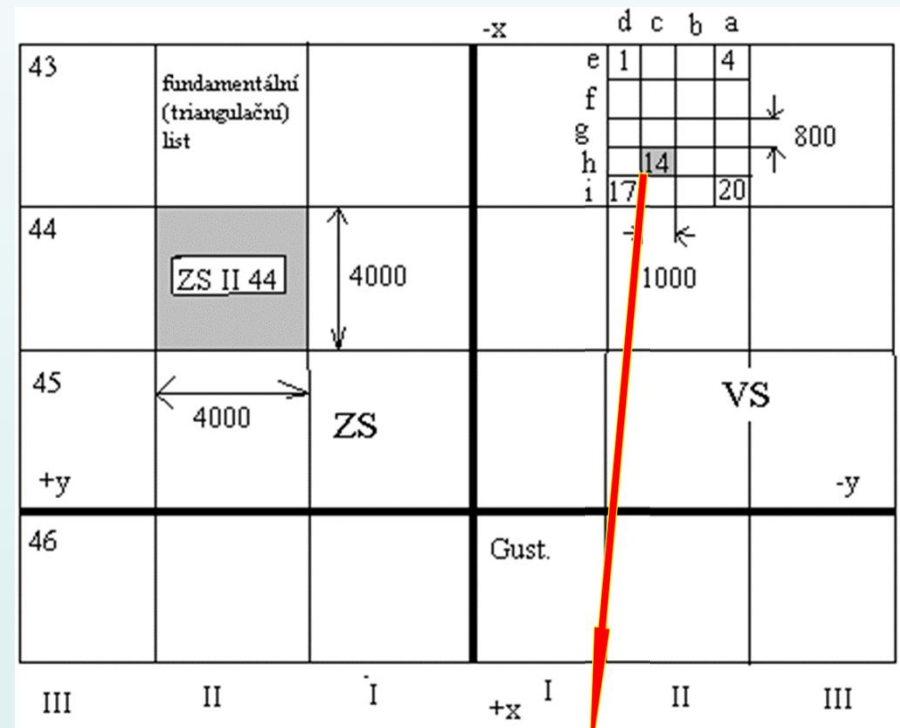
*Souřadnicové pravoúhlé soustavy stabil. katastru a rozdělení jejich kvadrantů*



*Čtvereční rakouská míle – fundamentální (triangulační) list, sekce – sekční (mapový) list*



Klad sekčních (mapových) listů v měřítku 1 : 2 880



VS II 43 sekce c/h, později VS II 43-14



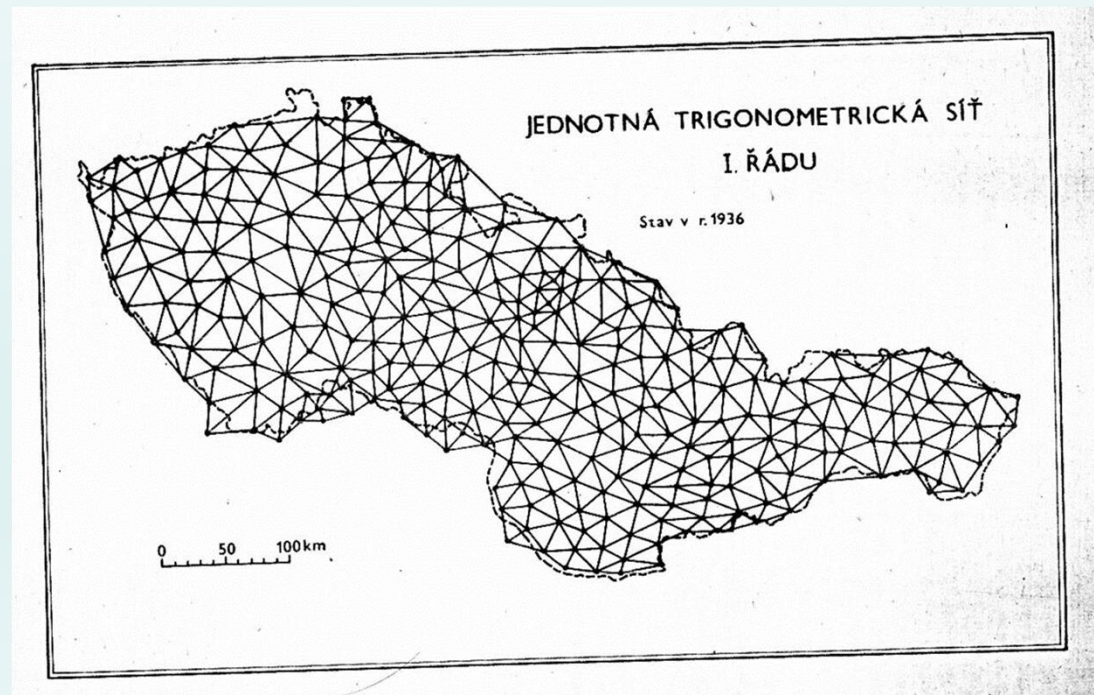


## Souřadnicový systém S - JTSK

- ❑ po roce 1918 vyvstala potřeba urychleně vytvořit vhodný geodetický systém pro potřeby civilních geometrů
- ❑ Cassini-Soldnerovo zobrazení nemohlo uspět:
  - nová republika měla tři souřadnicové soustavy
  - stará katastrální triangulace byla nepřesná
- ❑ za těchto okolností by nebylo vhodné přesná měření "napínat" do nepřesných triangulačních základů minulého století
- ❑ proto byla v roce 1919 zřízena Triangulační kancelář => přednostou se stal Ing. Josef Křovák
- ❑ úkolem bylo co nejrychleji vybudovat spolehlivé geodetické základy (na celém území ČSR) včetně vhodného kartografického zobrazení
- ❑ Křovák nakonec uspěl se svým kuželovým zobrazením (především proto, že vyhotovil převodní tabulky)
- ❑ v roce 1920 započaly měřické práce spojené s budováním nové sítě na Moravě a pokračovali směrem na východ

## Souřadnicový systém S - JTSK

- ❑ v roce 1927 byly měřické práce ukončeny a základní síť, čítající celkem 268 bodů byla vyrovnána
- ❑ roku 1928 započaly práce na zhušťování sítě body II., III. a IV. řádu a podrobnou trigonometrickou sítí V. řádu
- ❑ měřické práce byly ukončeny v roce 1958



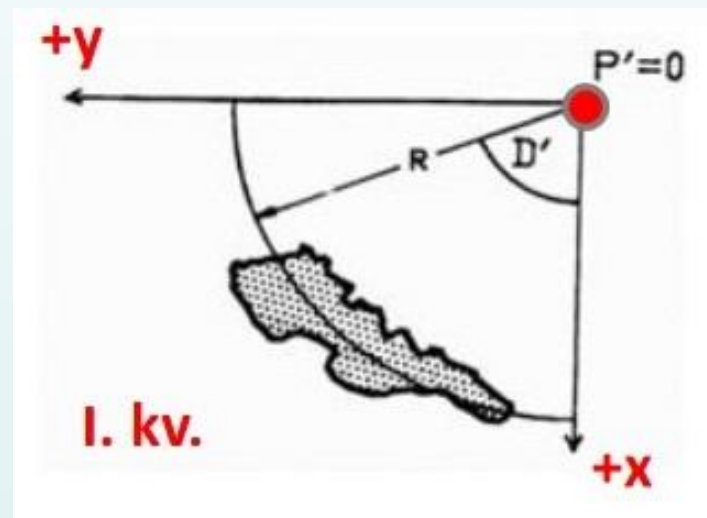
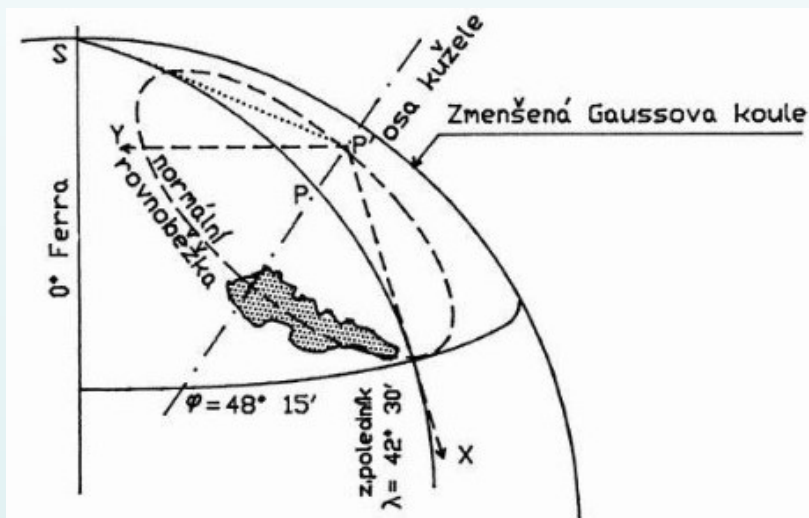


## Souřadnicový systém S - JTSK

- ❑ vydáním nového katastrálního zákona roku 1927 zavedeno nové měřítko map 1 : 2 000 (1 : 1 000, 1 : 500)
- ❑ geometrickým základem nového katastrálního mapování byla jednotná trigonometrická síť katastrální
- ❑ pro převod sítě pevných bodů do roviny bylo zvoleno dvojité konformní (stejnouhlé) kuželové zobrazení v obecné poloze
  - elipsoid → koule → kužel
  - zmenšení koule dvě nezkreslené rovnoběžky (délkové zkreslení -10 až +14 cm/km)
- ❑ Besselův elipsoid s referenčním bodem Herrmanskogel
- ❑ poloha všech bodů byla vyjádřena v jediné soustavě pravoúhlých souřadnic
- ❑ JTSK I. až V. řádu pokrývá celé území bývalé ČSSR
- ❑ obsahuje více než 47 000 trigonometrických bodů
- ❑ průměrná délka stran mezi body V. řádu činí asi 2 km

## Souřadnicový systém S - JTSK

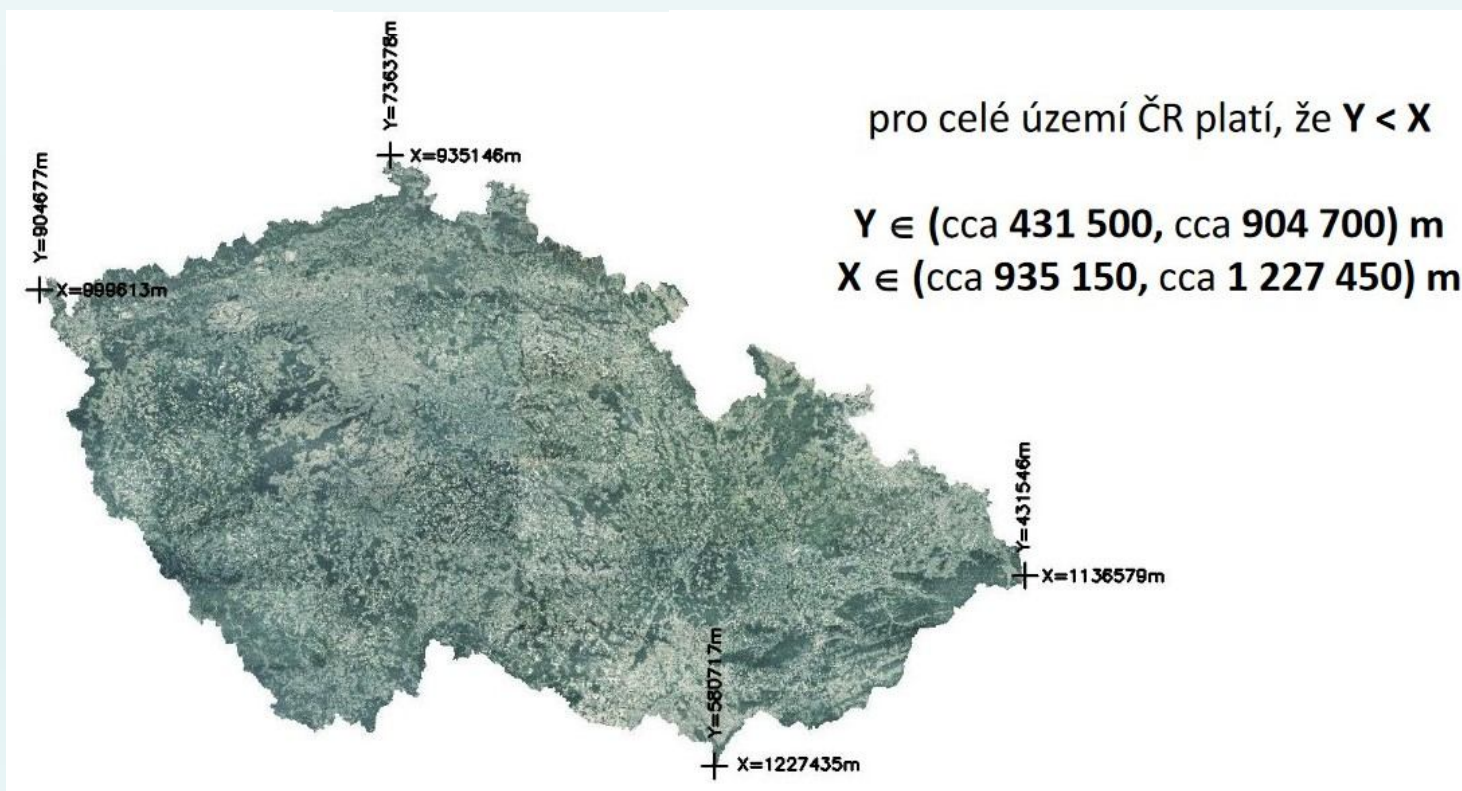
- ☐ počátek soustavy byl zvolen mimo území naší republiky - nad Finským zálivem (poledník  $42^{\circ}30'$  východně Ferra)



- ☐ kladná poloosa X směřuje na jih a kladná poloosa Y na západ
- ☐ celé území republiky je v prvním kvadrantu
- ☐ souřadnice všech bodů zůstávají kladné
- ☐ celá soustava je opět rozdělena rovnoběžkami se souřadnicovými osami na sloupce a vrstvy

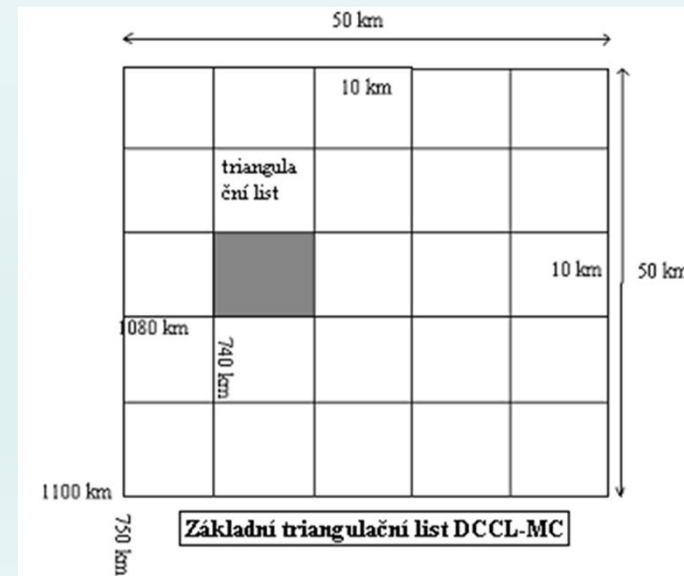
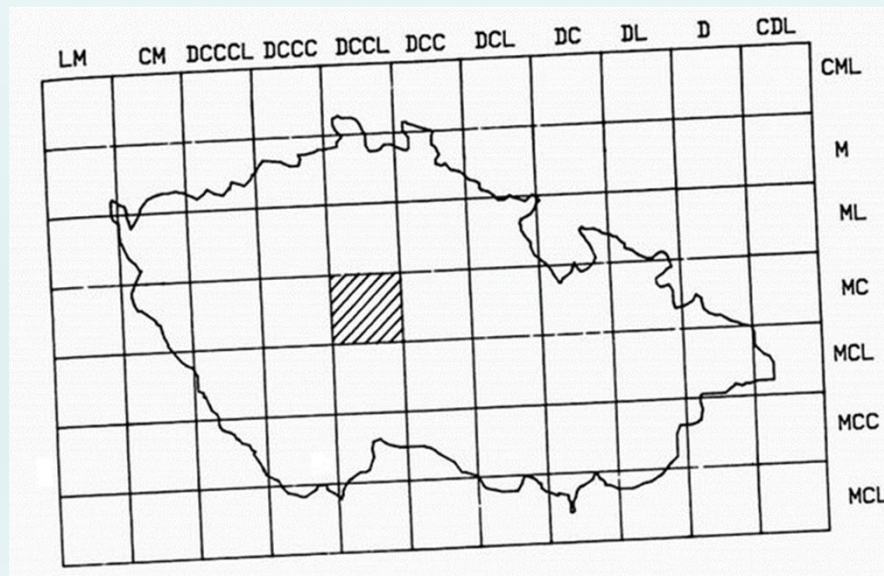
## Souřadnicový systém S – JTSK

- ☐ v Křovákově zobrazení jsou mapy orientovány přesně na sever, oproti obvyklému znázornění (sever nahoře) jsou mapy pootočený a odchýleny doprava
- ☐ výpočet odchylky:  $\alpha = \frac{24^{\circ}50' - \lambda}{1,34}$

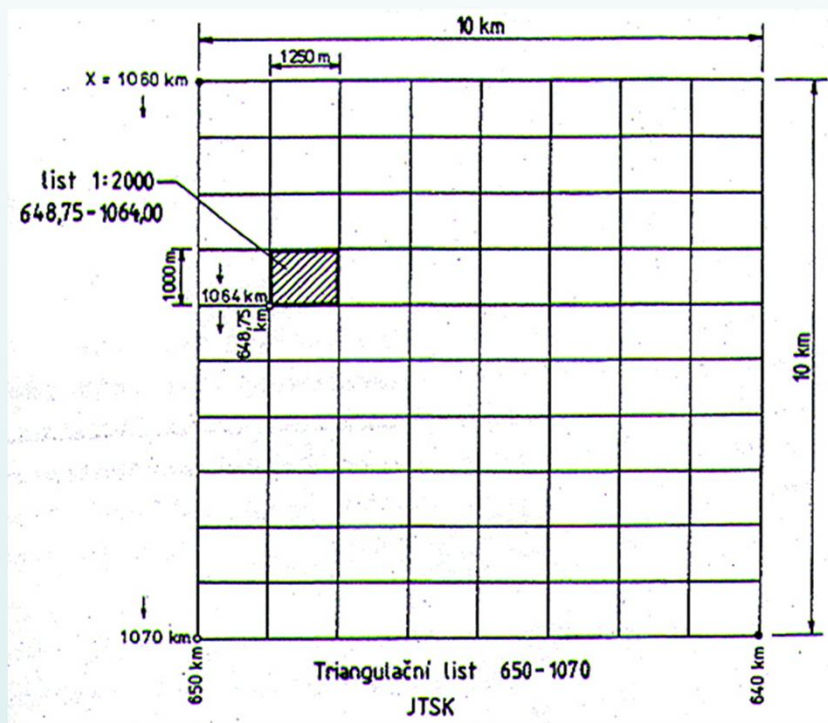


## Souřadnicový systém S - JTSK

- ❑ základní triangulační listy (ZTL) o rozměrech 50 x 50 km
- ❑ triangulační listy (TL) o rozměrech 10 x 10 km (25 listů v ZTL)
- ❑ tyto jsou pak rozděleny 8 sloupci a 10 vrstvami na 80 mapových listů o rozměrech 1 250 x 1 000 m
- ❑ mapové listy se zobrazují v základním měřítku 1 : 2 000 (62,5 x 50 cm)



## Souřadnicový systém S - JTSK



Dělení TL na ML  
1 : 2 000

Označování ZTL, TL a ML

Měřítko	Rozměr zobrazeného území (km)	Rozměr rámu listu (cm)	Příklad označení j.záp. rohu listu v nadpise
1:100 000	50 x 50	50 x 50	DCL - MCL
1: 20 000	10 x 10	50 x 50	650 - 1150
1: 4 000	2,5 x 2,0	62,5 x 50	675,0 - 1078,0
1: 2 000	1,25 x 1,0	62,5 x 50	648,75 - 1064,00
1: 1 000	0,625 x 0,500	62,5 x 50	601,625 - 1150,500



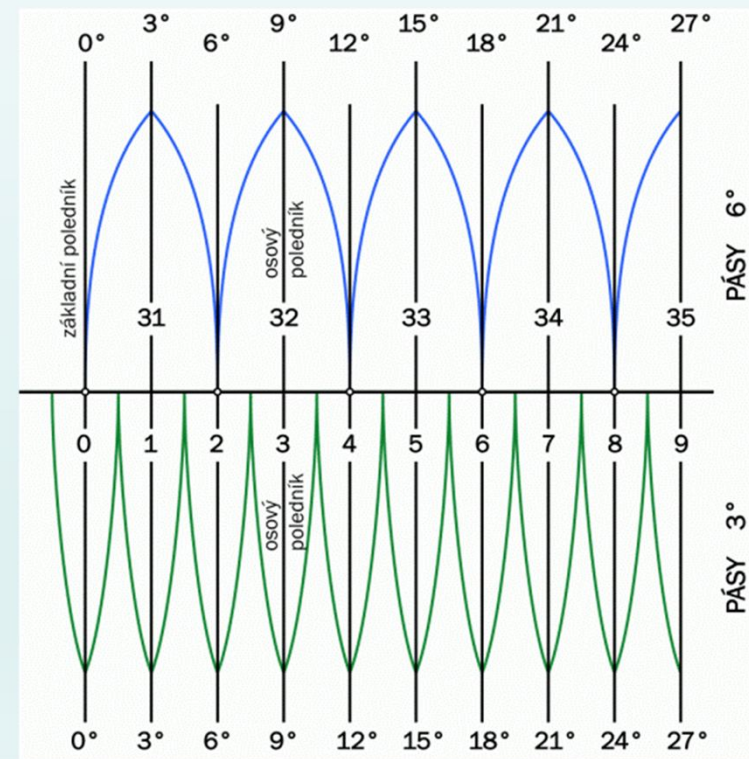
## Souřadnicový systém S - 1942

- původní název z ruštiny: systéma 1942 goda
- používal severníkový systém (kladná poloosa X směřuje k severu a kladná poloosa Y k východu)
- použití:
  - v neveřejných mapách (pro vojenské účely)
  - v některých turistických mapách
- určen Krasovského elipsoidem s referenčním bodem Pulkovo
- použito Gauss - Krügerovo válcové (příčné) konformní zobrazení
- zemský plášť rozdělen na 3° nebo 6° pásy (podle měřítek map)
- číslování začíná na 180° a postupuje východním směrem
- naše území leží ve třetím, částečně ve čtvrtém 6° pásu
- každý pás má svůj vlastní souřadný systém
- obraz základního poledníku je osou úseček X (kladný směr k severu)
- obraz rovníku je osou pořadnic Y (kladný směr na východ)



## Souřadnicový systém S - 1942

- ❑ tyto souřadnice se používají jen při převodech mezi pásy a pro výpočet souřadnic rohů mapových listů ze zeměpisných souřadnic
- ❑ pro ostatní výpočty:
  - X-ová souřadnice je stejná
  - k Y-ové souřadnici se přičte 500 km a předradí číslo pásu zmenšené o hodnotu 30
- ❑ délkové zkreslení na okraji pásu je 57 cm/km (6° pás) a 14 cm/km (3° pás)
- ❑ od 1. 1. 2006 byl nahrazen systémem WGS-84!!!



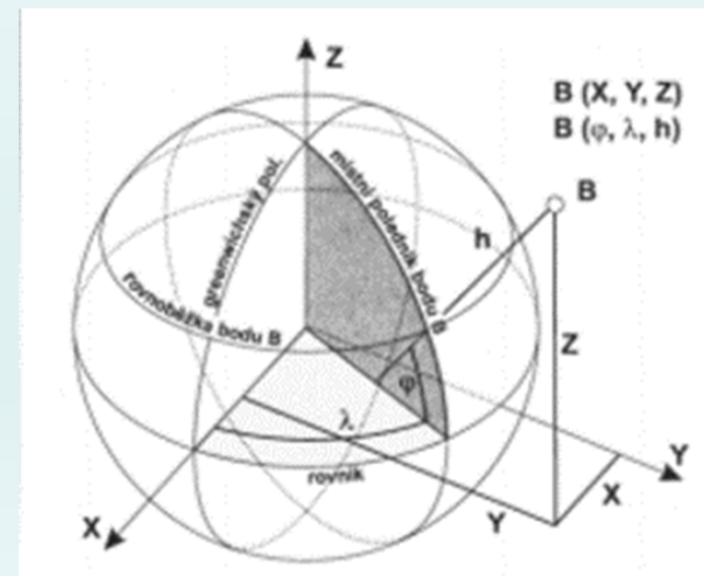
Obrázek 5: Rozdíl mezi 3° a 6° pásy [11]

## Souřadnicový systém WGS - 84

- ❑ geocentrický souřadnicový systém armády USA, standardizovaný pro armády států NATO
- ❑ jedná se o pravoúhlý pravotočivý systém pevně spojený se Zemí prostřednictvím souboru přesných souřadnic WGS-84
- ❑ referenční plochou je elipsoid WGS 84
- ❑ pro mapy použito zobrazení UTM (Univerzální Transverzální Mercatorovo)
- ❑ je realizovaný na základě modifikace námořního navigačního družicového systému NNSS
  - posun počátku souřadnicové soustavy
  - rotace a změna měřítka doplerovského systému NSWC 92-2
- ❑ geodetický systém WGS84 definují:
  - poloha počátku a orientace os pravoúhlé prostorové souřadnicové soustavy
  - parametry referenčního (vztažného) elipsoidu - primární parametry
  - gravitační model Země a geoid - sekundární parametry

## Souřadnicový systém WGS - 84

- ❑ počátek geodetického systému je umístěn do těžiště Země (geocentra) - totožný se středem referenčního elipsoidu WGS-84
- ❑ osa Z prochází referenčním pólem definovaným IERS (International Earth Rotation Service) - totožná s osou rotačního elipsoidu
- ❑ osa X je průsečnicí roviny referenčního poledníku a roviny rovníku (rovina kolmá k ose Z procházející počátkem systému)
- ❑ osa Y doplňuje soustavu na pravoúhlou pravotočivou (leží v rovině rovníku 90° východně od osy X)
- ❑ počátek a orientace os jsou realizovány pomocí 12 pozemních stanic kontrolního segmentu GPS
- ❑ od 1.1.1998 je WGS zaveden ve vojenském i civilním letectvu



## Souřadnicový systém WGS - 84

polohu bodu vyjadřujeme pomocí:

- pravouhlých prostorových souřadnic (X, Y, Z)
- zeměpisných souřadnic
  - $\varphi$  - zeměpisná šířka
  - $\lambda$  - zeměpisná délka
  - $H_{el}$  - elipsoidická výška
- pravouhlých rovinných souřadnic v zobrazení UTM (Universal Transverse Mercator) a UPS (Universal Polar Stereographic) pro polární oblasti
  - E - Easting
  - N - Northing
- souřadnic v hlásném systému MGRS (Military Grid Reference System)

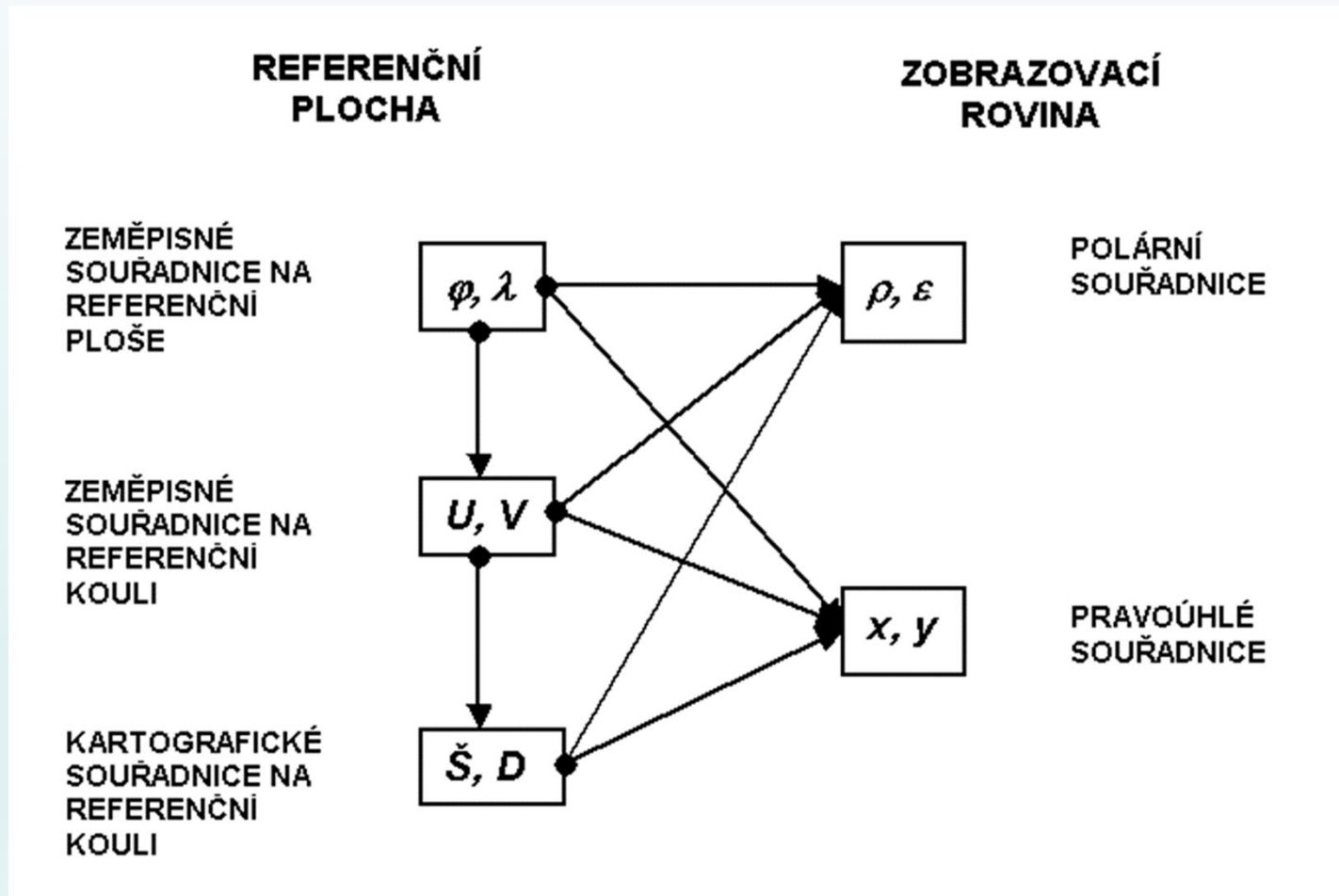
## Souřadnicový systém ETRS - 89

- ❑ ETRS (European Terrestrial Reference System) tvoří jednotný souřadnic. systém, jehož realizace započala nástupem technologie GPS
- ❑ ETRS je tvořen referenčním rámcem (soubor hvězd a bodů, kterým jsou přiřazeny souřadnice a změny těchto souřadnic v čase) a příslušnými soubory algoritmů, konstant a technologií
- ❑ je odvozen od ITRS a spojen s euroasijskou kontinentální deskou (roční časové změny jsou max. v řádu milimetrů) → nemá konstantní polohu os
- ❑ je realizován souřadnicemi stabilizovaných bodů na zemském povrchu
- ❑ systém využívá zeměpisné souřadnice  $(\varphi, \lambda, H_{el})_{ETRS}$  a rovněž pravoúhlé souřadnice  $(X, Y, Z)_{ETRS}$
- ❑ je založen na elipsoidu GRS-80 (Geodetic Reference System 1980), který svými parametry velice blízký elipsoidu WGS84
- ❑ v ČR jsou na něj navázány bodová pole pro systém JTSK
- ❑ do určité míry přesnosti lze souřadnice bodů v systémech ETRS a WGS zaměňovat

- ❑ existuje řada software pro převody mezi jednotlivými souřadnými systémy
- ❑ v současnosti většina geoinformačních systémů obsahuje transformační vzorce a umožňuje převod souřadných systémů
- ❑ výchozími souřadnicemi jsou zpravidla zeměpisné souřadnice na referenčním elipsoidu  $\varphi, \lambda$
- ❑ 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 ČR je naopak postupnou transformací:
    - zeměpisné souřadnice na referenčním elipsoidu => zeměpisné souřadnice na referenční kouli => kartografické souřadnice => polární souřadnice => rovinné pravoúhlé souřadnice



## Příklady transformace



- ❑ objekty a jevy na zemském povrchu je nutné prostorově lokalizovat
- ❑ k tomu slouží souřadnicové soustavy ve kterých je poloha objektu určena skupinou čísel, které nazýváme souřadnicemi (koordinátami)
- ❑ souřadnice daného objektu mohou obecně představovat vzdálenosti nebo úhly vzhledem k referenčním bodům a přímkám vybrané souřadnicové soustavy
- ❑ pro určení polohy objektu (bodu) jsou základními údaji:
  - druh soustavy souřadnic (kartézská, polární, válcová aj.)
  - volba počátku soustavy souřadnic (výchozí bod)
  - směr a počet souřadnicových os (význačných směrů)
  - jednotky, pomocí jejichž násobků se vyjadřují hodnoty souřadnic
- ❑ povrch zemského tělesa je velice složitý, členitý a těžko zobrazitelný
- ❑ pro účely mapování a tvorby modelů terénu se nahrazuje referenčními plochami, které jsou jednodušší a přesně definované
- ❑ pro potřeby praktické geodézie, mapování a kartografie je povrch nahrazován referenčním elipsoidem, referenční koulí a referenční rovinou

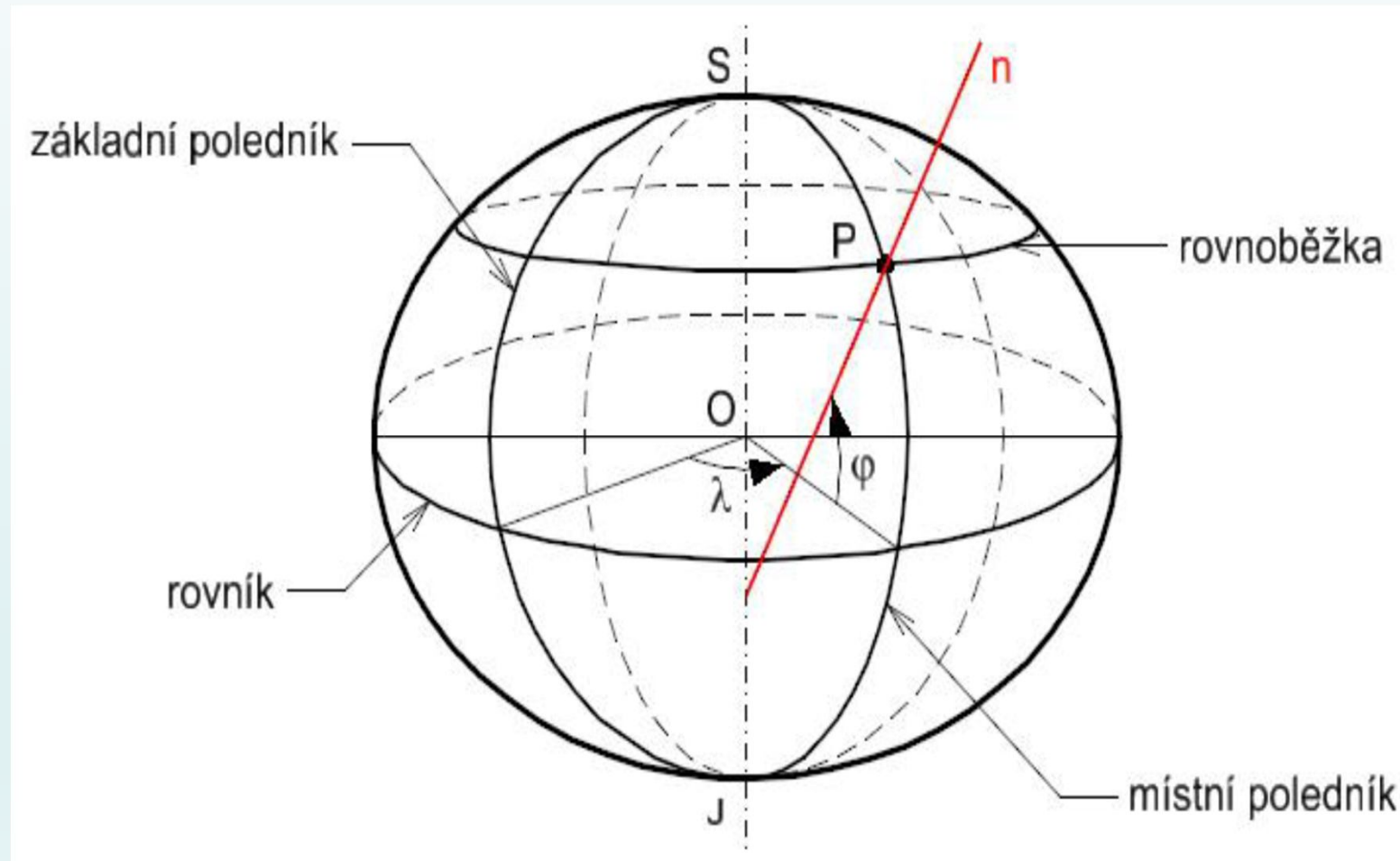
## Souřadnice na referenčním elipsoidu

- zeměpisné souřadnice ( $\varphi$ ,  $\lambda$ )
- prostorové pravoúhlé souřadnice (X, Y, Z)
- geocentrická šířka  $\beta$
- redukovaná šířka  $\psi$

## Zeměpisné souřadnice

- používáme je k vyjádření polohy trigonometrických bodů I.řádu a počátku libovolné souřadnicové soustavy
  - Zeměpisná šířka  $\varphi$  - úhel, který svírá normála bodu s rovinou rovníku v rovině místního poledníku (nabývá hodnot  $0^\circ$  až  $90^\circ$  na severní polokouli a  $0^\circ$  až  $-90^\circ$  na jižní polokouli)
  - Zeměpisná délka  $\lambda$  - úhel, který svírá rovina místního poledníku s rovinou základního poledníku (nabývá hodnot  $0^\circ$  až  $180^\circ$  na východní polokouli a  $0^\circ$  až  $-180^\circ$  na západní polokouli)

## Znázornění zeměpisných souřadnic



Základní poledník – dohodou přijatý výchozí poledník, procházející významnou hvězdárnou

- Greenwich (Londýn)
- Ferro - do počátku 20. století (v prostoru Kanárských ostrovů)
- Pulkovo - hvězdárna v Petrohradě

Rovník – rovina procházející středem zemského tělesa kolmá k zemské ose, rovnoběžka s maximálním průmětem

Zeměpisný poledník – tvořen průsečnicí libovolné roviny procházející zemskou osou a elipsoidu

Ravnoběžka – průsečnice elipsoidu a roviny rovnoběžné s rovinou rovníku (kružnice vytvořená body o stejné zeměpisné šířce)

- ☐ rovnoběžky a poledníky vytvářejí na povrchu referenčního elipsoidu zeměpisnou síť
  - umožňuje základní orientaci v obsahu map
  - důležitý konstrukční prvek při zobrazování povrchu elipsoidu do roviny

## Prostorové pravoúhlé souřadnice

- ❑ počátek se nachází ve středu elipsoidu, osa Z prochází osou rotace, osa X prochází průsečnicí roviny rovníku a roviny místního poledníku, osa Y je kolmá na osy X a Z

Bod P na povrchu:

$$X = N \cos \varphi \cos \lambda$$

$$Y = N \cos \varphi \sin \lambda$$

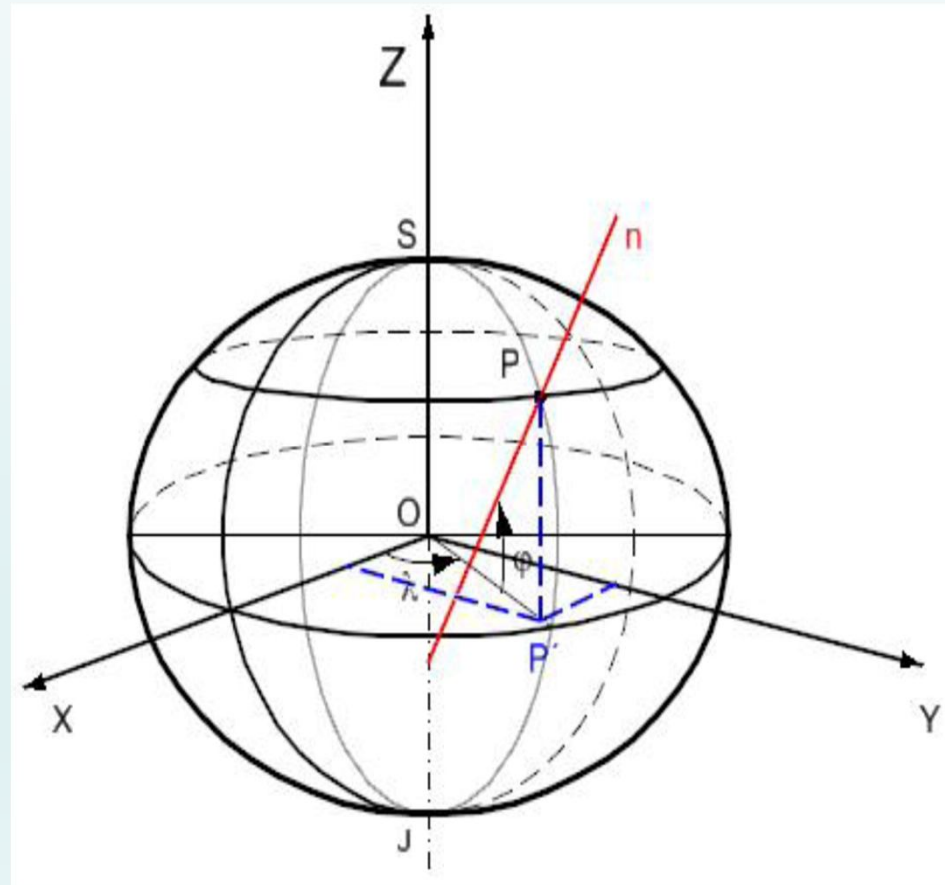
$$Z = N (1 - e^2) \sin \varphi$$

Bod P s výškou H:

$$X = (N + H) \cos \varphi \cos \lambda$$

$$Y = (N + H) \cos \varphi \sin \lambda$$

$$Z = (N (1 - e^2) + H) \sin \varphi$$



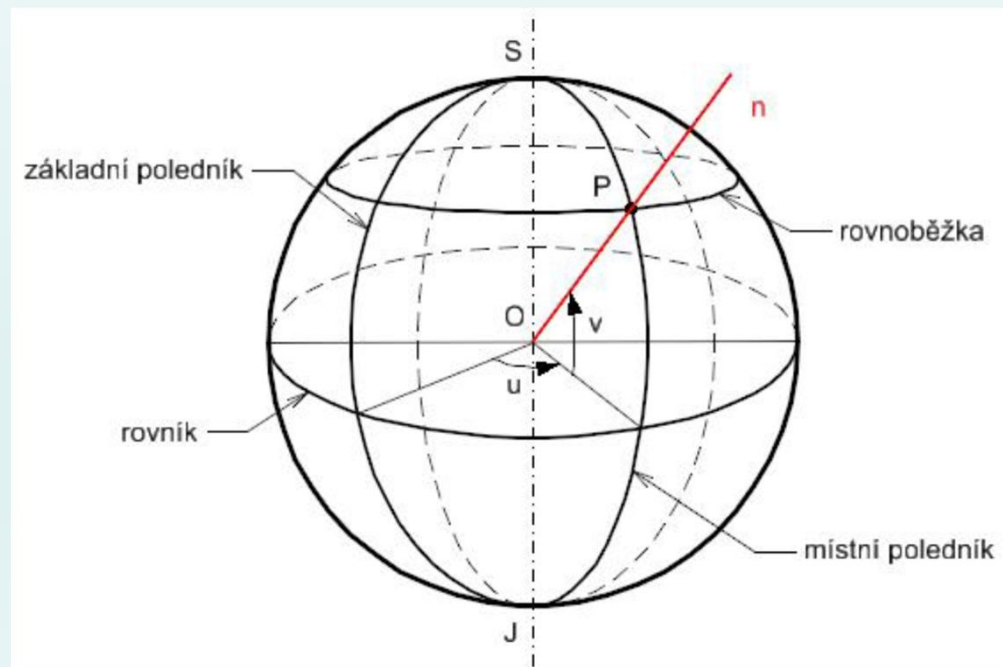


## Souřadnice na referenční kouli

- zeměpisné souřadnice ( $u, v$ )
- kartografické souřadnice ( $\check{s}, d$ )

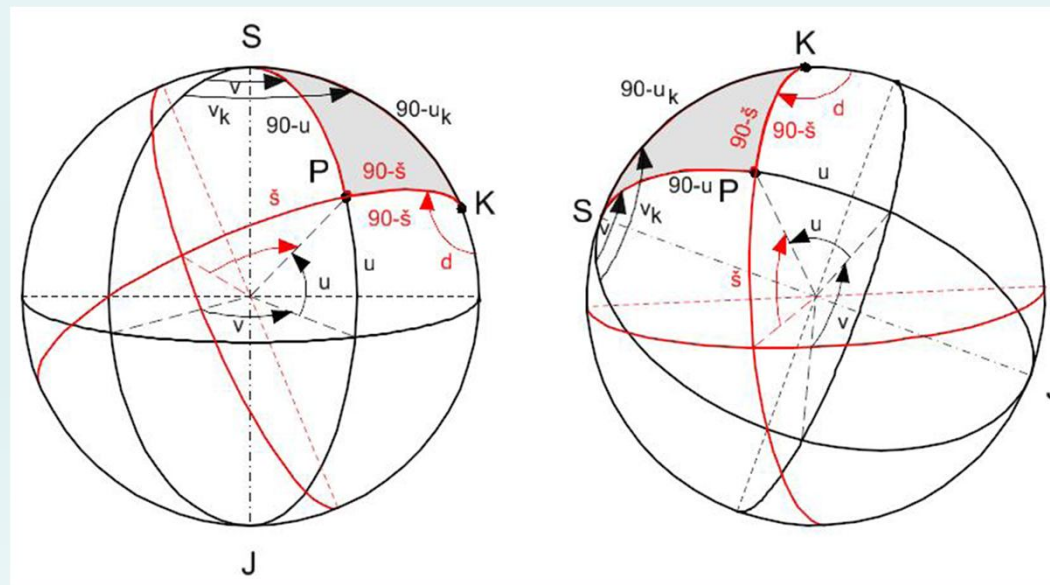
## Zeměpisné souřadnice

- ☐ definice souřadnic je stejná jako na elipsoidu
  - Zeměpisná šířka  $u$
  - Zeměpisná délka  $v$



## Kartografické souřadnice (konstrukční)

- ❑ jsou vztaženy ke kartografickému pólu K
- ❑ obraz referenční (zobrazovací) plochy se co nejvíce přimyká k zobrazovanému území - nižší hodnoty kartografických zkreslení
- ❑ osa zobrazovací plochy nebude rovnoběžná s osou zemskou
  - Kartografická šířka  $\check{s}$  - měří se od kartografického rovníku
  - Kartografická délka  $d$  - měří se od zeměpisného poledníku procházejícího kartografickým (a severním) pólem



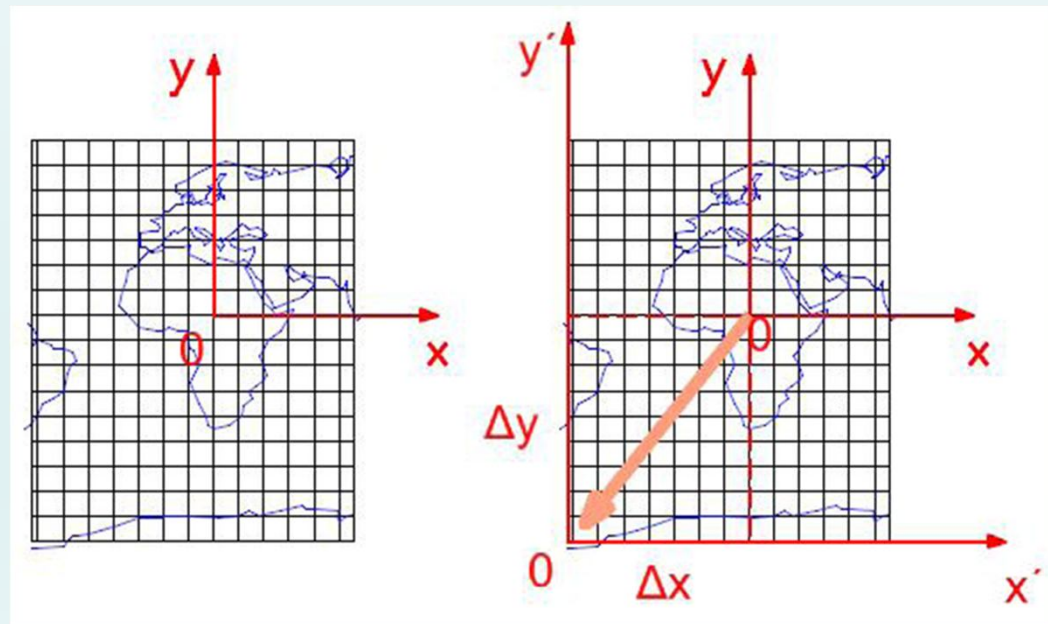
## Souřadnice na referenční rovině

- pravouhlé souřadnice  $(x, y)$
- polární souřadnice  $(\rho, \varepsilon)$

## **Pravouhlé souřadnice**

- využití ve většině kartografických zobrazení
- soustava je definována polohou počátku a směrem souřadnicových os
- 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
- počátek může být vložen do obrazu kartografického pólu nebo průsečíku obrazů základního poledníku a rovníku

- ❑ počátek rovinných souřadnicových soustav se obvykle volí uprostřed zobrazovaného území (využití optimálních vlastností zobrazení - nízké hodnoty zkreslení délek, úhlů a ploch)
- ❑ z hlediska konstrukce map, jejich používání nebo používání prostorových geoinformací je však výhodné, aby celé území leželo pouze v 1.kvadrantu (kladné souřadnice)
- ❑ proto se často k vypočteným souřadnicím  $x$ ,  $y$  přičítají vhodné adiční konstanty  $\Delta x$  a  $\Delta y$
- ❑ orientace os:
  - matematický systém
  - Gauss, UTM (S-42)
  - JTSK (Křovák)
  - speciální (Cad systémy)



## Polární souřadnice

- ❑ používají se u kuželových a azimutálních zobrazení (snadnější vyjádření zobrazovacích rovnic)
- ❑ poloha bodu je vyjádřena jeho vzdáleností (délkou)  $\rho$  (ró) od počátku a vodorovným úhlem  $\varepsilon$ , který svírá tato délka (strana) s osou  $X$ , případně její rovnoběžkou
- ❑ poloha počátku 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
  - s totožnými počátky obou soustav
- ❑ při ztotožnění počátků pravoúhlé i polární soustavy se měří polární úhel  $\varepsilon$  od kladného směru osy  $X$
- ❑ hodnoty  $\varepsilon$  bývají uvažovány v rozsahu  $0^\circ$  až  $360^\circ$

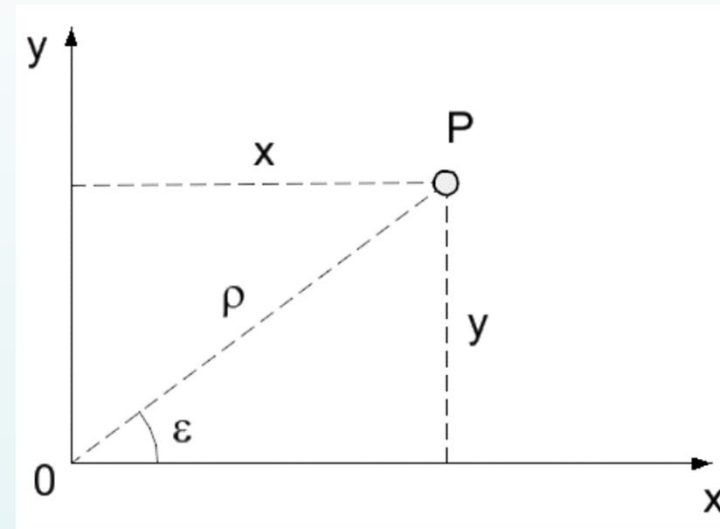
Shodné počátky:

$$x = \zeta \cdot \cos \varepsilon$$

$$y = \zeta \cdot \sin \varepsilon$$

$$\zeta = \sqrt{x^2 + y^2}$$

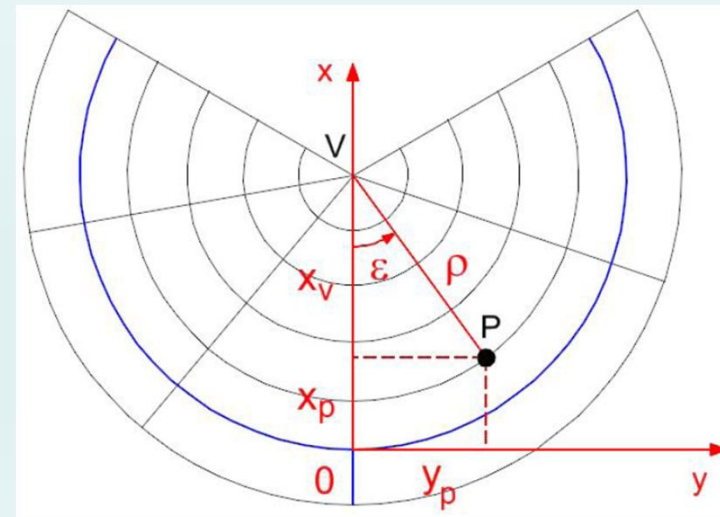
$$\varepsilon = \operatorname{arctg}\left(\frac{y}{x}\right)$$



Různé počátky:

$$x = x_V - \zeta \cdot \cos \varepsilon$$

$$y = \zeta \cdot \sin \varepsilon$$





**Děkuji za pozornost  
Ing. Miloš Cibulka, Ph.D.**

**Ústav hospodářské úpravy lesů a aplikované geoinformatiky  
Lesnická a dřevařská fakulta  
uhulag.mendelu.cz  
tel.: 545 134 015**