

Geografické informační systémy



Modelování geografického prostoru

Souřadné systémy

Úvod

- ◆ Prostorová poloha je nejdůležitější charakteristikou geo-objektů.
 - ◆ Změřit polohu geo-objektu a zase ho někdy najít (vytyčit).
- ◆ Fyzický povrch Země – evolucí vznikl povrch značně zprohýbaný (hory, údolí, plošiny).
- ◆ Každý bod planety Země může být předmětem geodetického zkoumání ->
 - ◆ potřebujeme ideální tvar zemského tělesa, k jehož povrchu by byly body fyzického povrchu vztaženy.
 - ◆ Chceme pracovat s plochou mapou (list papíru)

Mapa je prostorový model

- ◆ Chceme zpracovávat údaje o terénu pomocí mapy (resp. GISu)
- ◆ Model systému A je jiný systém B, který je mu jaksi podobný
 - ◆ Míra korespondence systémů A a B je klíčová
 - ◆ Výpočet v mapě by měl odpovídat realizaci v terénu
- ◆ Kartografie: věda zabývající se tvorbou a zpracováním map

Geodézie

- ◆ Z řečtiny: “dělit Zemi”
- ◆ Vědní obor zabývající se zkoumáním tvaru, rozměru a fyzikálních vlastností zemského tělesa (Geoidu) nebo části zemského povrchu, případně objektů mimo Zemi.
- ◆ Základním úkolem geodézie je určení vzájemné polohy bodů na zemském povrchu (nebo prostoru) ve zvoleném souřadném systému
- ◆ Geometr, geodet, zeměměřič

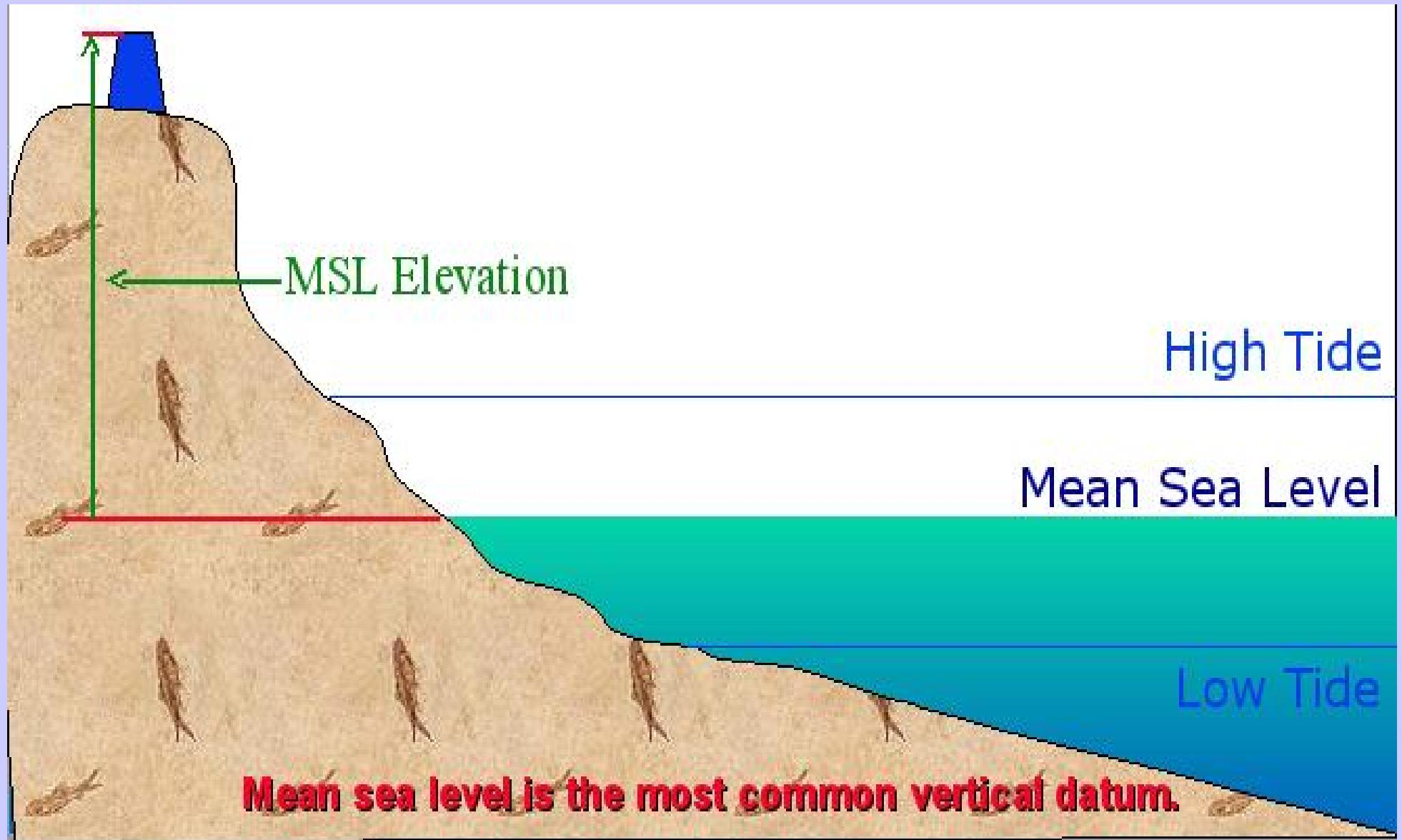
The Earth

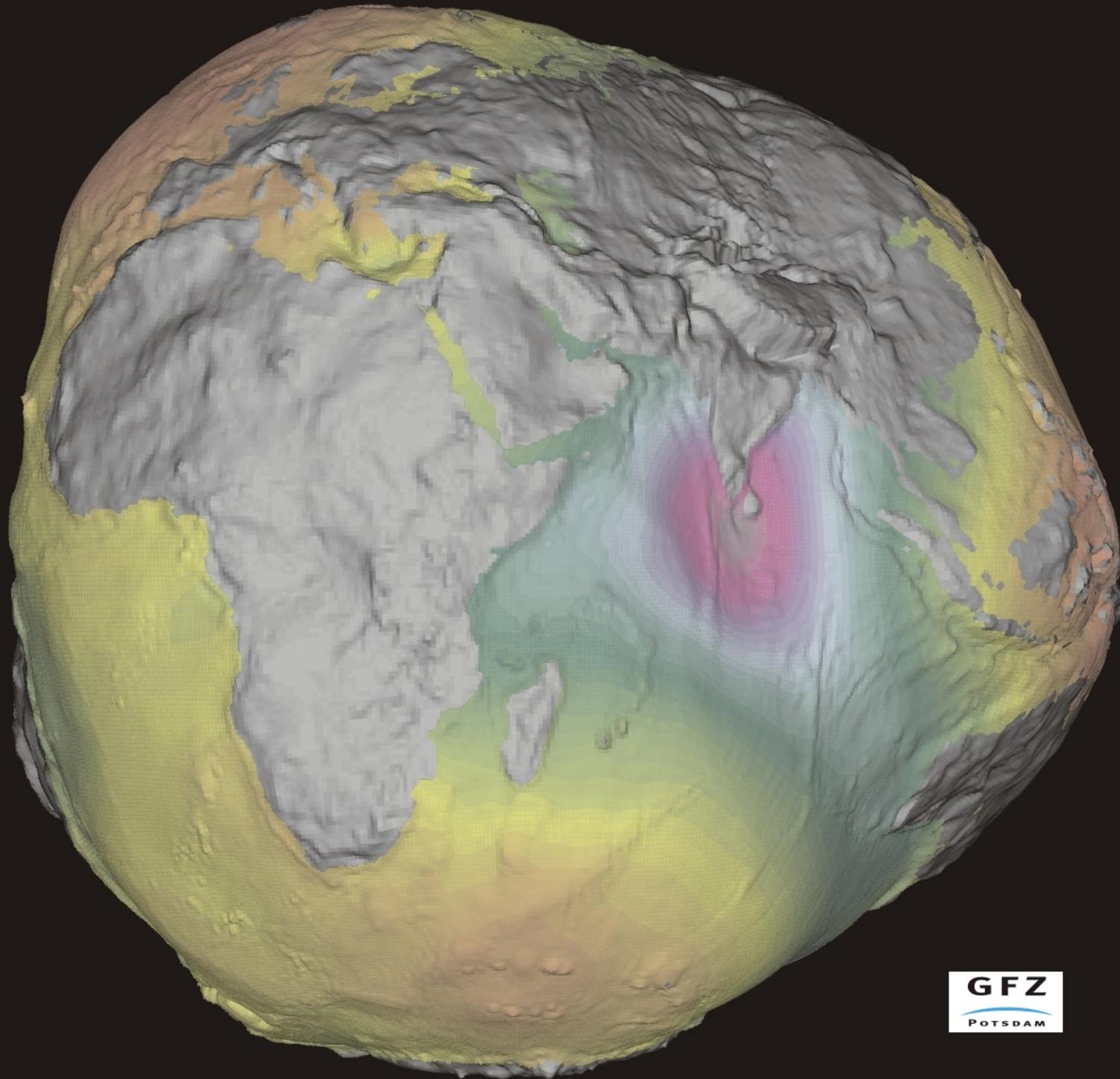
- ◆ Stáří: 4.5 mld let (z rotujících oblaků prachu, který byl gravitací stlačen do koule)
- ◆ Voda: 1.4 mld km³
 - ◆ 97% v mořích, 1% v řekách a jezerech, zbytek v atmosféře a v podzemí
 - ◆ 75% povrchu Země tvoří nepříliš prozkoumané moře o průměrné hloubce 3.8 km
 - ◆ Příliv a odliv. Mořské proudy (5 mil. km³/s)

Geoid

- ◆ Ideální zemský povrch lze definovat jako plochu, na které má tíže v každém místě stejnou hodnotu.
- ◆ Tuto plochu pokládáme na úroveň klidné střední hladiny moří (a tím pádem zasahuje POD pevninu) -- tzv. nulová hladinová plocha -- GEOID.
- ◆ Geoid - myšlená nulová hladinová ekvipotenciální plocha, která je v každém svém bodě kolmá na směr zemské tíže.

Střední hladina moří



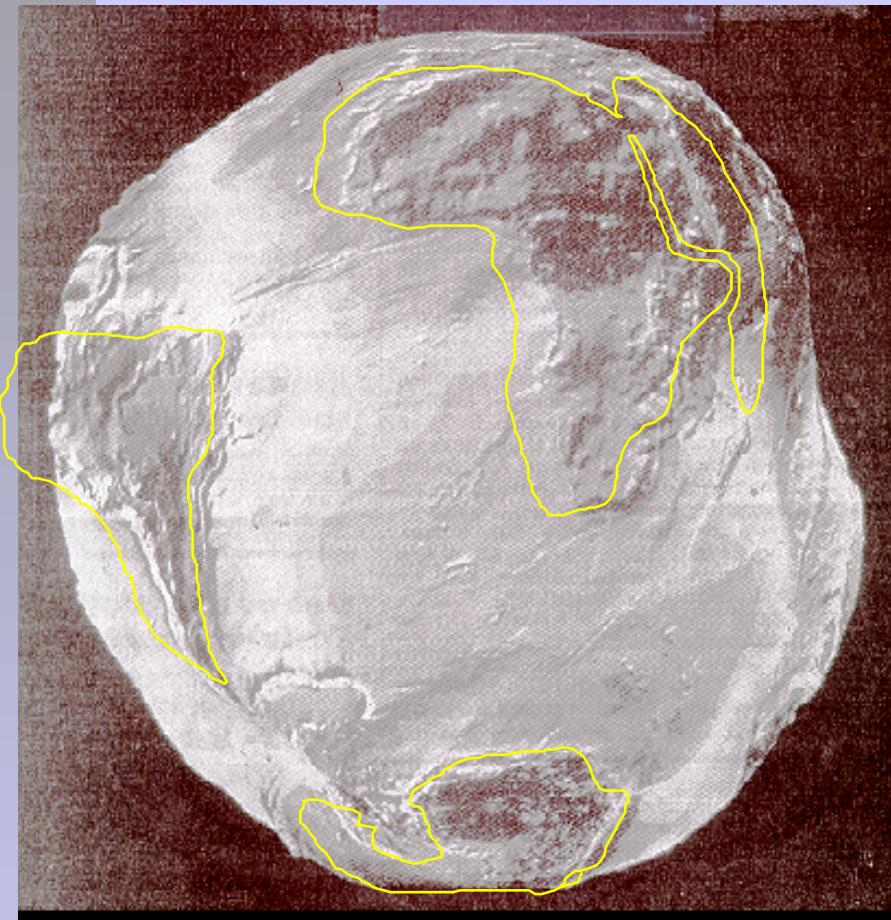


GFZ
POTS DAM



Geoid

European Remote Sensing satellite, ERS-1 from 780Km_



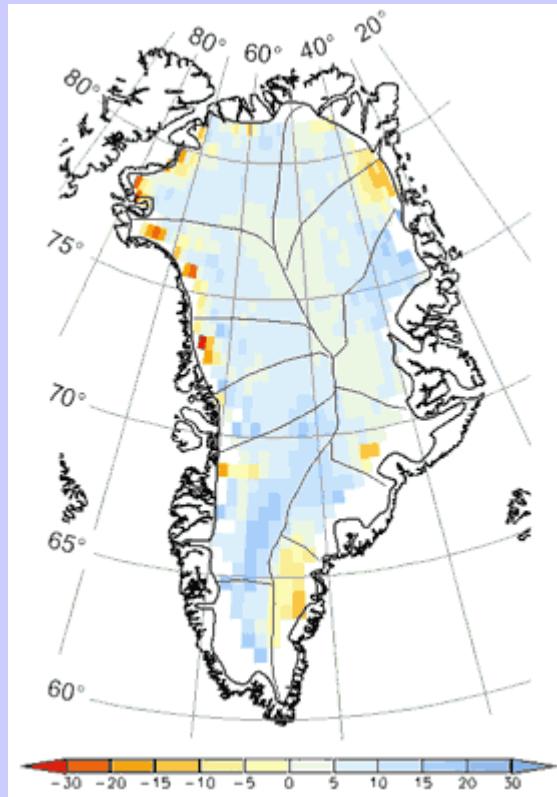
This simplified mathematical surface is an ellipsoid.

This image depicts the earth's shape without water and clouds. It looks like a sloppily peeled potato, not a smoothly shaped ellipsoid.

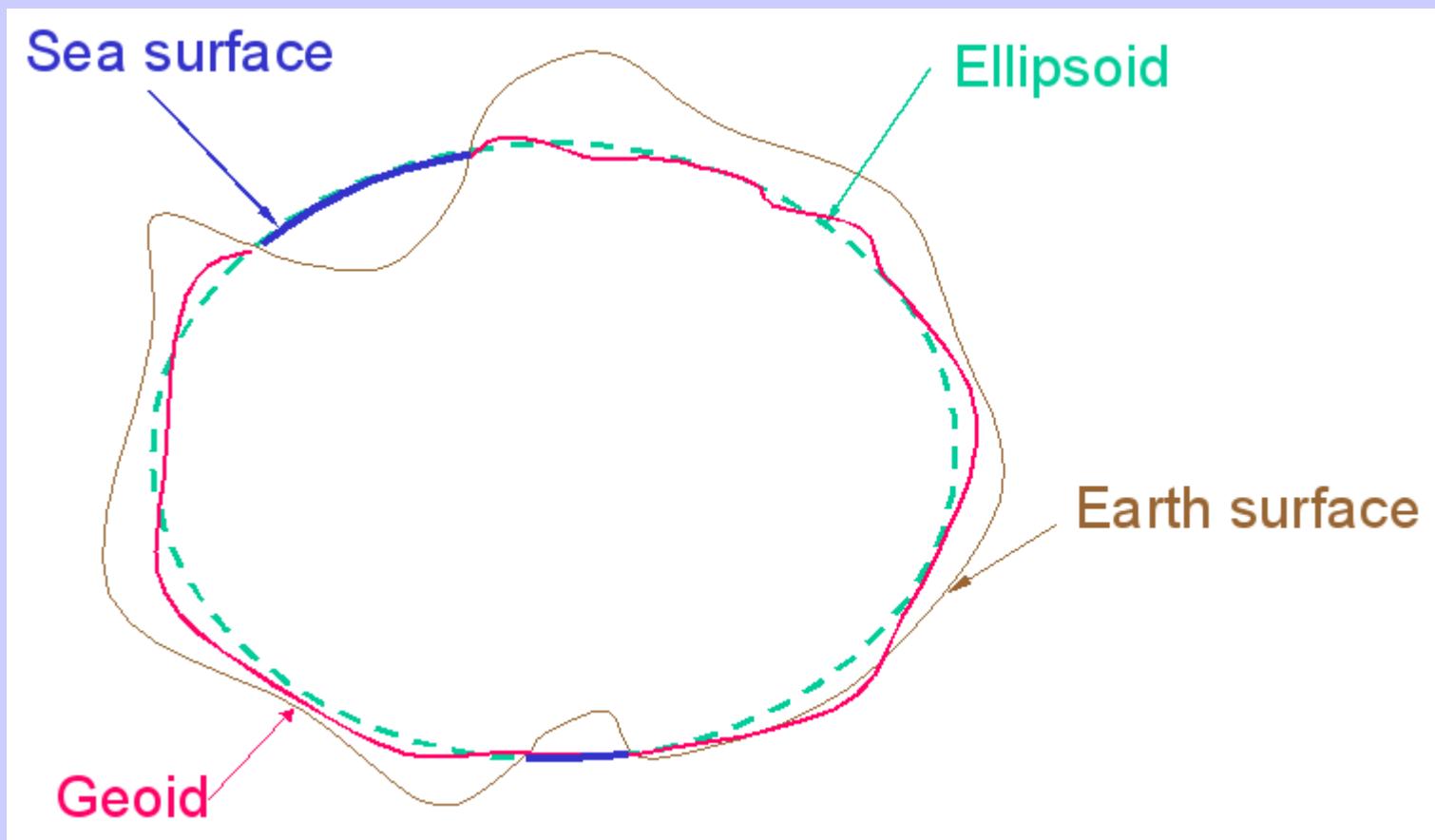
Calculation of geographic position on this irregular surface is very complex. A simpler model is needed.

ERS-1 European Remote Sensing

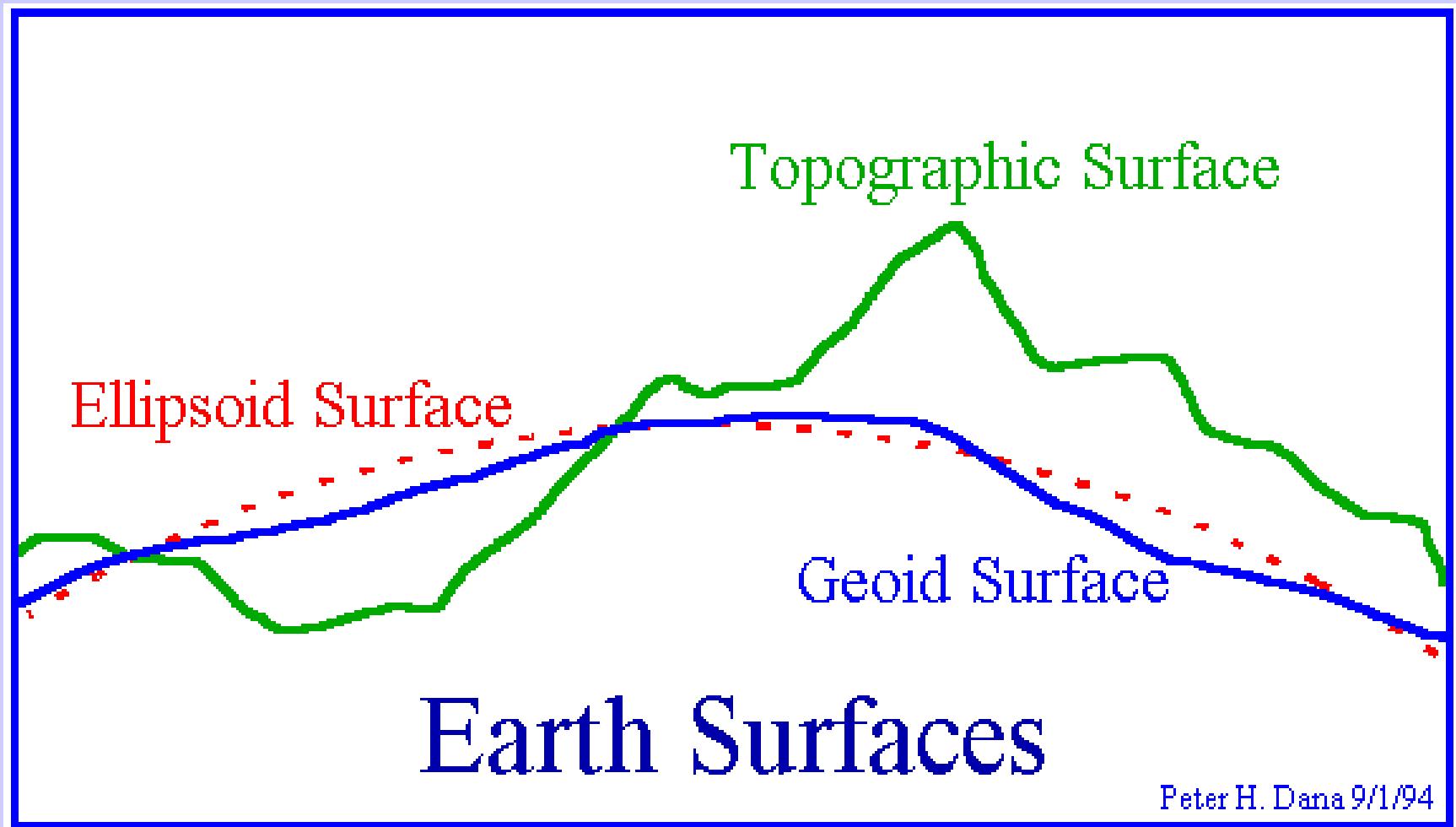
- ◆ rok 1991,
- ◆ radarový výškoměr
- ◆ Altimetry,
bathymetry



Geoid schematicky



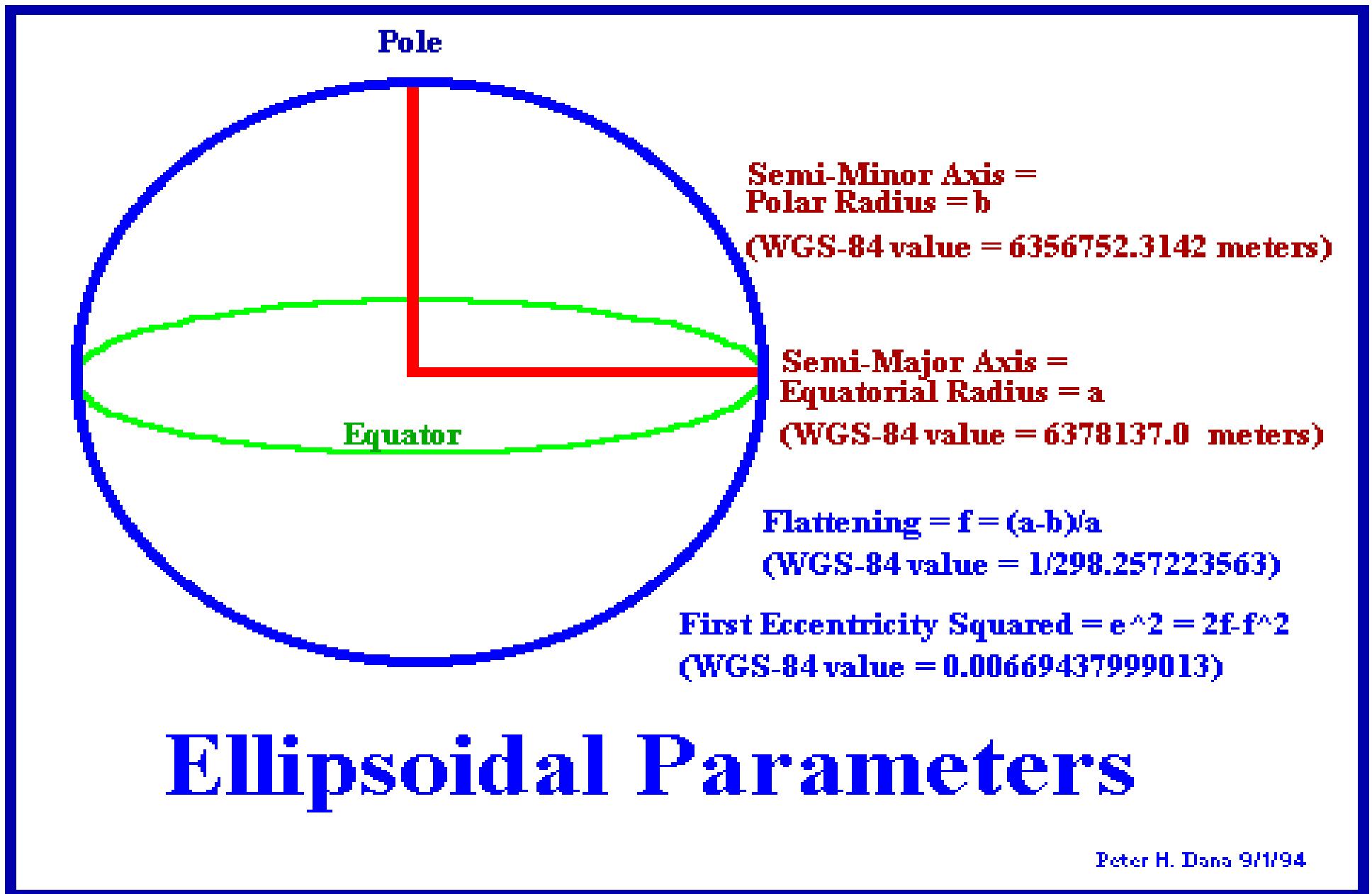
Geoid schematically



Popis geoidu

- ◆ Nadmořská výška = výška nad geoidem.
- ◆ Geoid je první abstrakce tvaru Země (MODEL). Magnetický model Země
- ◆ Plocha geoidu se obtížně matematicky popisuje.
- ◆ Používá se proto přiblížení dané rotačním elipsoidem (elipsa rotující kolem kratší osy).
- ◆ Osa elipsoidu shodná nebo rovnoběžná se zemskou osou rotace (střed elipsoidu nemusí být nutně ve středu Země)

Parametry elipsoidu



K čemu elipsoid?

- ◆ Úhlové souřadnice jsou vztaženy k povrchu elipsoidu
- ◆ Elipsoid je plocha, kterou lze transformovat do roviny mapy
- ◆ Směřujeme k souřadnému systému – ten je ovšem zadán osami v nějakém prostoru – prostorem je elipsoid

Náhradní elipsoid

- ◆ Pokud je rotační elipsoid použit jako náhra-
da geoidu, pak se nazývá referenční elip-
soid
- ◆ Náhradní elipsoid lze zadávat různým způ-
sobem:
 - ◆ Obvykle tím nejvhodnějším pro místní (územ-
ní) approximaci.
 - ◆ Výběr náhradního elipsoidu se v angličtině
nazývá datum (referenční bod, plocha).

Náhradní elipsoidy

- ◆ Besselův elipsoid (1841) – ČR, geodetická a kartografická praxe, země střední Evropy
- ◆ Krasovského el. (1936) – CZ armáda. Optimizace na západní Evropu, SSSR, USA. V ČR pro topo-mapy 1:25000, S-42
- ◆ je snaha zavést světový *elipsoid* – dlouhý vývoj, pak se ustálil WGS-84
- ◆ NAD83 – North American Datum (skoro odpovídá WGS84), NAD27 (USA)

WGS-84

- ◆ World Geodetic System 84
- ◆ univerzální elipsoid pro celou planetu
- ◆ Vypočten pomocí družicových měření.
- ◆ střed určen na těžiště Země (na rozdíl od Bessela, Krasovského)
- ◆ odchylka od geoidu max 60 metrů

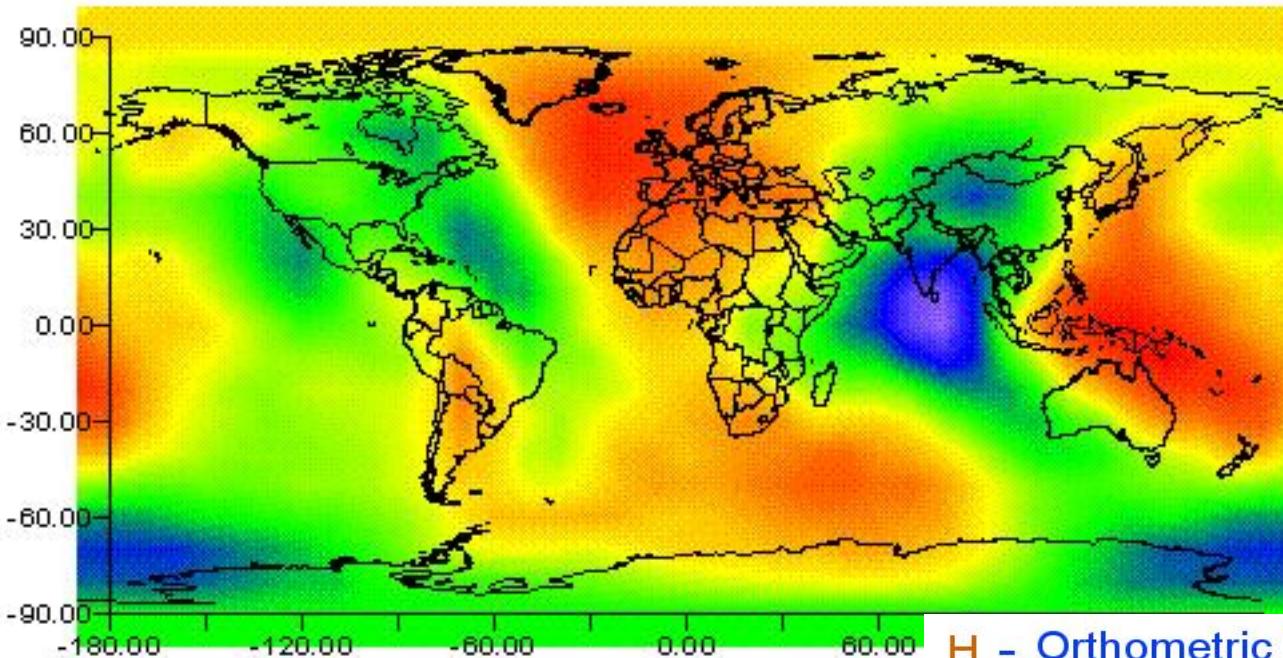
Referenční elipsoidy

Selected Reference Ellipsoids

Ellipse	Semi-Major Axis (meters)	1/Flattening
Airy 1830	6377563.396	299.3249646
Bessel 1841	6377397.155	299.1528128
Clarke 1866	6378206.4	294.9786982
Clarke 1880	6378249.145	293.465
Everest 1830	6377276.345	300.8017
Fischer 1960 (Mercury)	6378166.0	298.3
Fischer 1968	6378150.0	298.3
GRS 1967	6378160.0	298.247167427
GRS 1975	6378140.0	298.257
GRS 1980	6378137.0	298.257222101
Hough 1956	6378270.0	297.0
International	6378388.0	297.0
Krassovsky 1940	6378245.0	298.3
South American 1969	6378160.0	298.25
WGS 60	6378165.0	298.3
WGS 66	6378145.0	298.25
WGS 72	6378135.0	298.26
WGS 84	6378137.0	298.257223563

Geoid - výšky

WGS-84 Geoid Height



From DMA 10 by 10 Degree Geoid

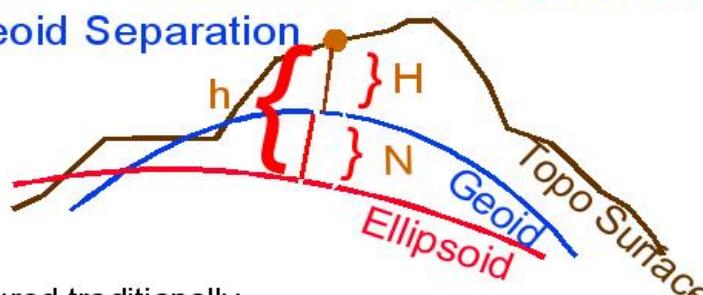
H - Orthometric Height

(Height above Mean Sea Level)

h - Geodetic Height

(Height above Ellipsoid)

N - Geoid Separation



H is measured traditionally

h is approximately = N+H

N is modeled using Earth Geoid Model 96 or 180

Peter H. Dana 11/05/95

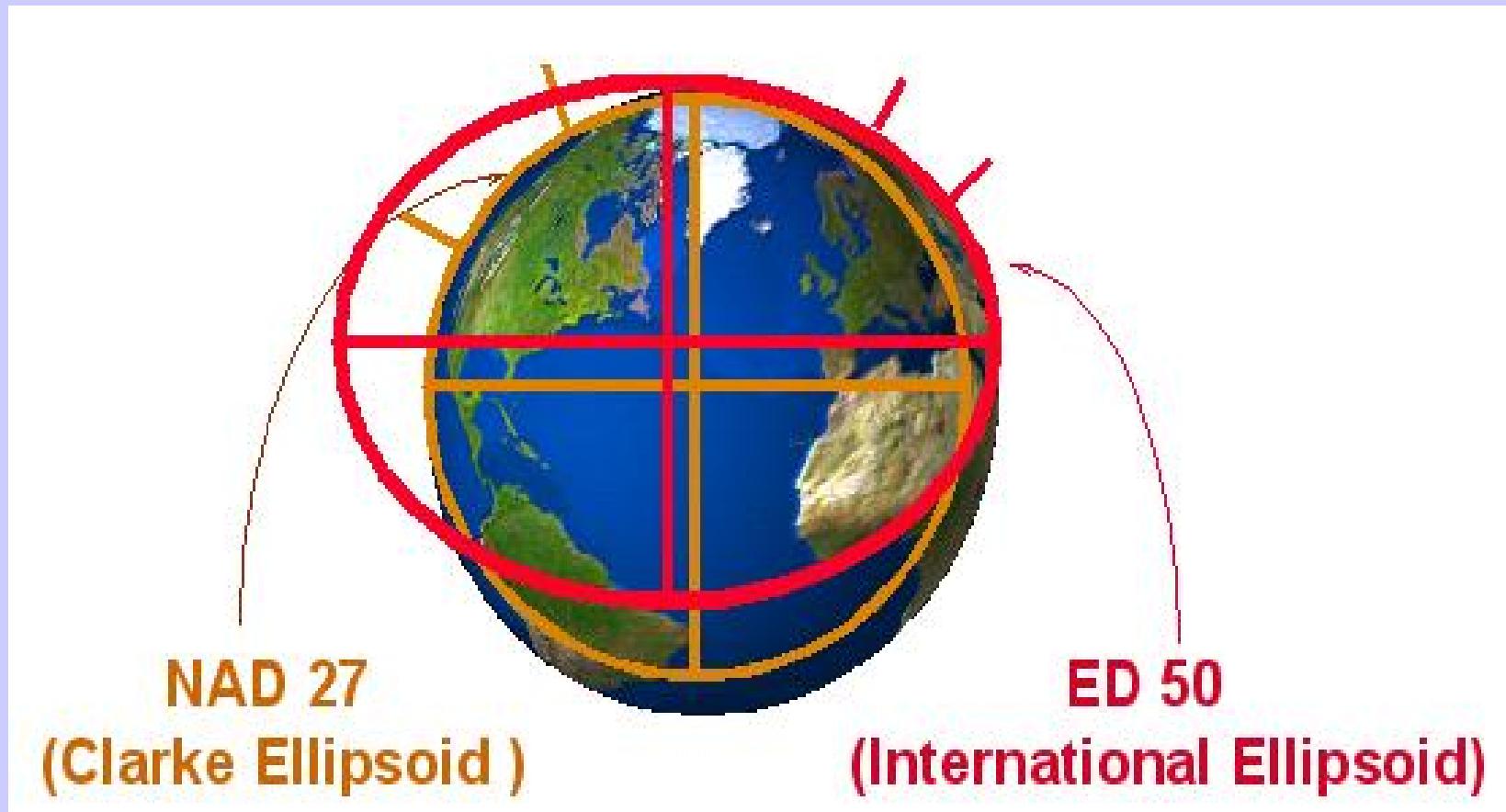
Referenční koule

- ◆ Výpočty na ref. elipsoidu jsou složité. Pro určité geo-aplikace lze dále zjednodušovat na ref. kouli:
 - ◆ pro malá území (do 200 km). Elipsoid se převede na kouli o určitém poloměru R . Použití při tvorbě “Základní mapy ČR (Křovák)”. Například $R=6371\text{km}$
 - ◆ celá Země – pro mapy malých měřítek ($1:1\text{E}6$) – například školní atlasy

Referenční rovina

- ◆ malé území do 700 km^2 – okrouhlé území,
 $r=15\text{km}$
- ◆ lze považovat za ideální rovinu bez
délkového a plošného zkreslení

Rozdíly mezi datumy



....výpočty

- Example (circa 1960): How well can we hit Minsk, USSR with a missile from Kansas?

Minsk (Pulkovo, 1942)

N $53^{\circ} 52' 57.78''$ E $028^{\circ} 01' 58.00''$

Minsk (NAD-27)

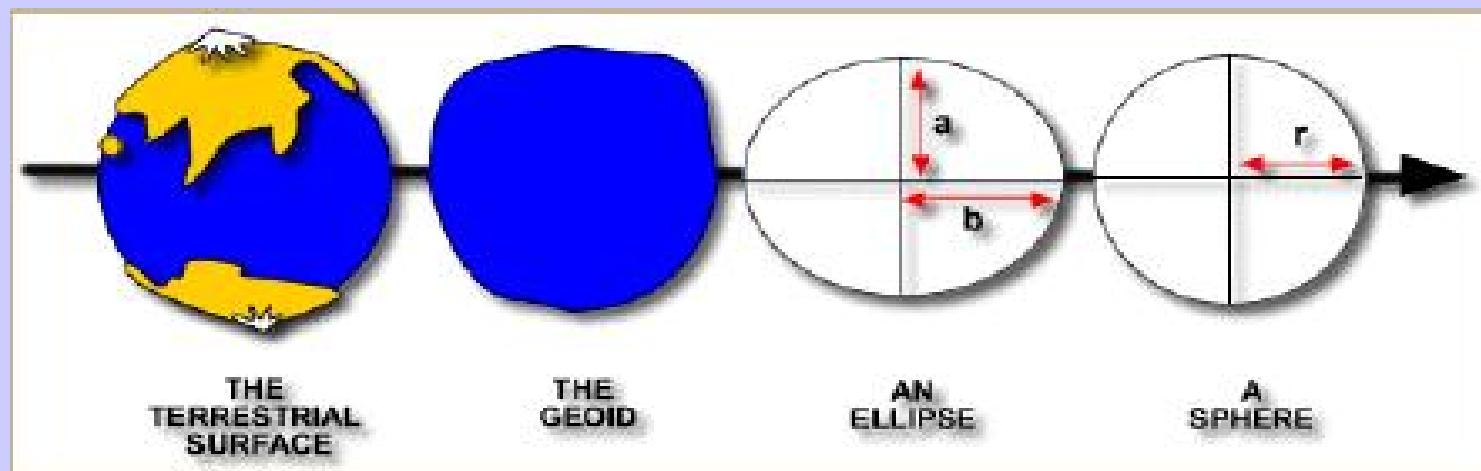
N $53^{\circ} 53' 02.76''$ E $028^{\circ} 01' 43.06''$

Δ Latitude = ~5", Δ Longitude = ~15"

Around 313 meters of error

Poznámky

- ◆ obvod Země kolem rovníku 40,076 km
- ◆ námořní míle je délka 1 minuty na rovníku - 1,855 km
- ◆ uzel (knot) je rychlosť 1 námořní míle za hodinu
- ◆ poloměr Země se obvykle udává 6378 km. Ted' už víme, jak pochybný údaj to je.
- ◆ v ČR má geoid výšku asi 45m



Geografické informační systémy

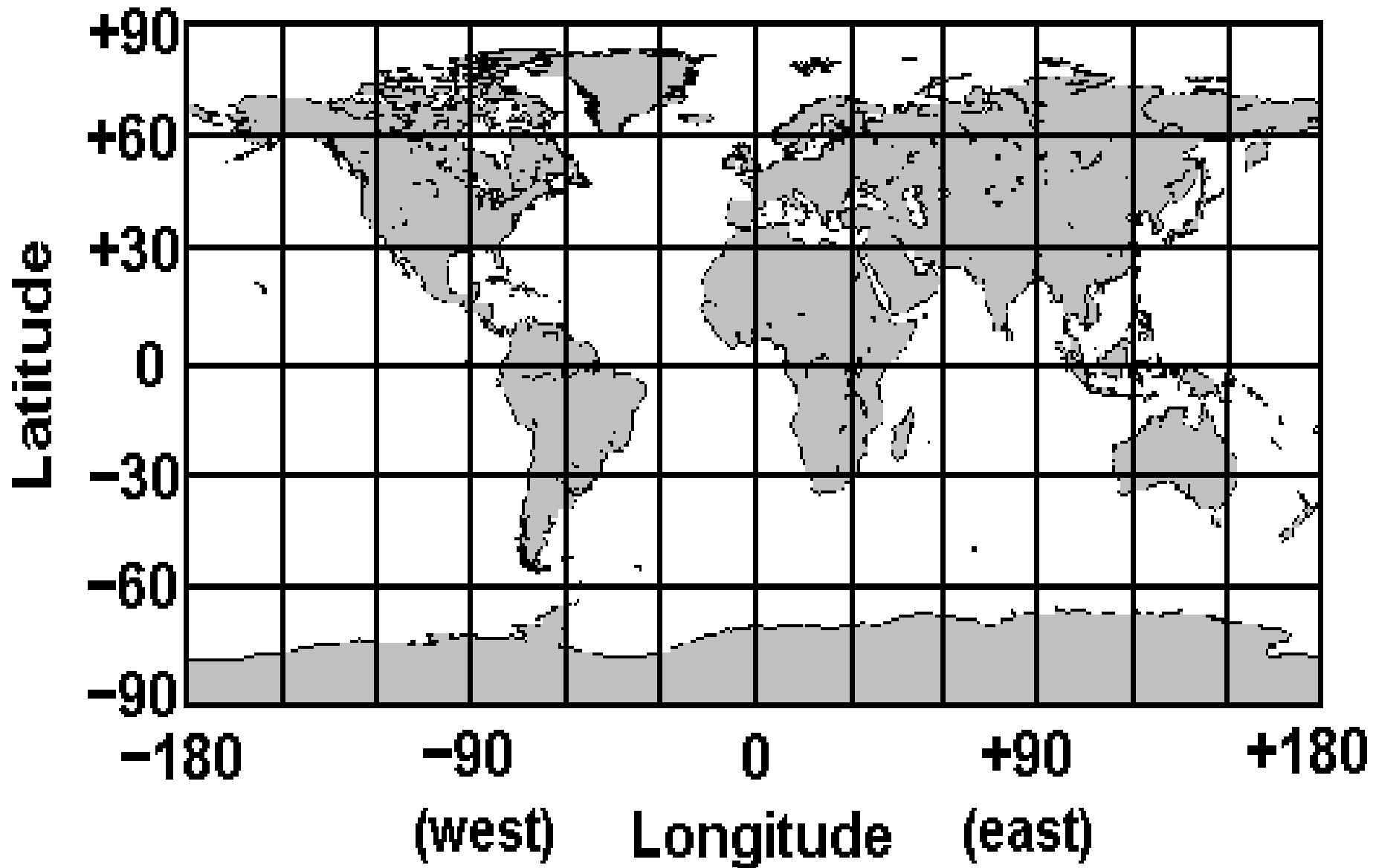
Poloha bodu na zemském tělese
Lat/Lon

Historické názory na svět

- ◆ Babyloňané měli dojem (3000 BC), že svět vypadá jako ústřice.
- ◆ ...pak následovaly další tvary: čtverec, disk, okrouhlá hruška (Kolumbus na sklonku života)
- ◆ Země je placka..... www.flat-earth.org
- ◆ Lidé už před 2500 lety věděli, že Země je kulatá. Jenom na to zapomněli.



Poloha bodu na zemském tělese



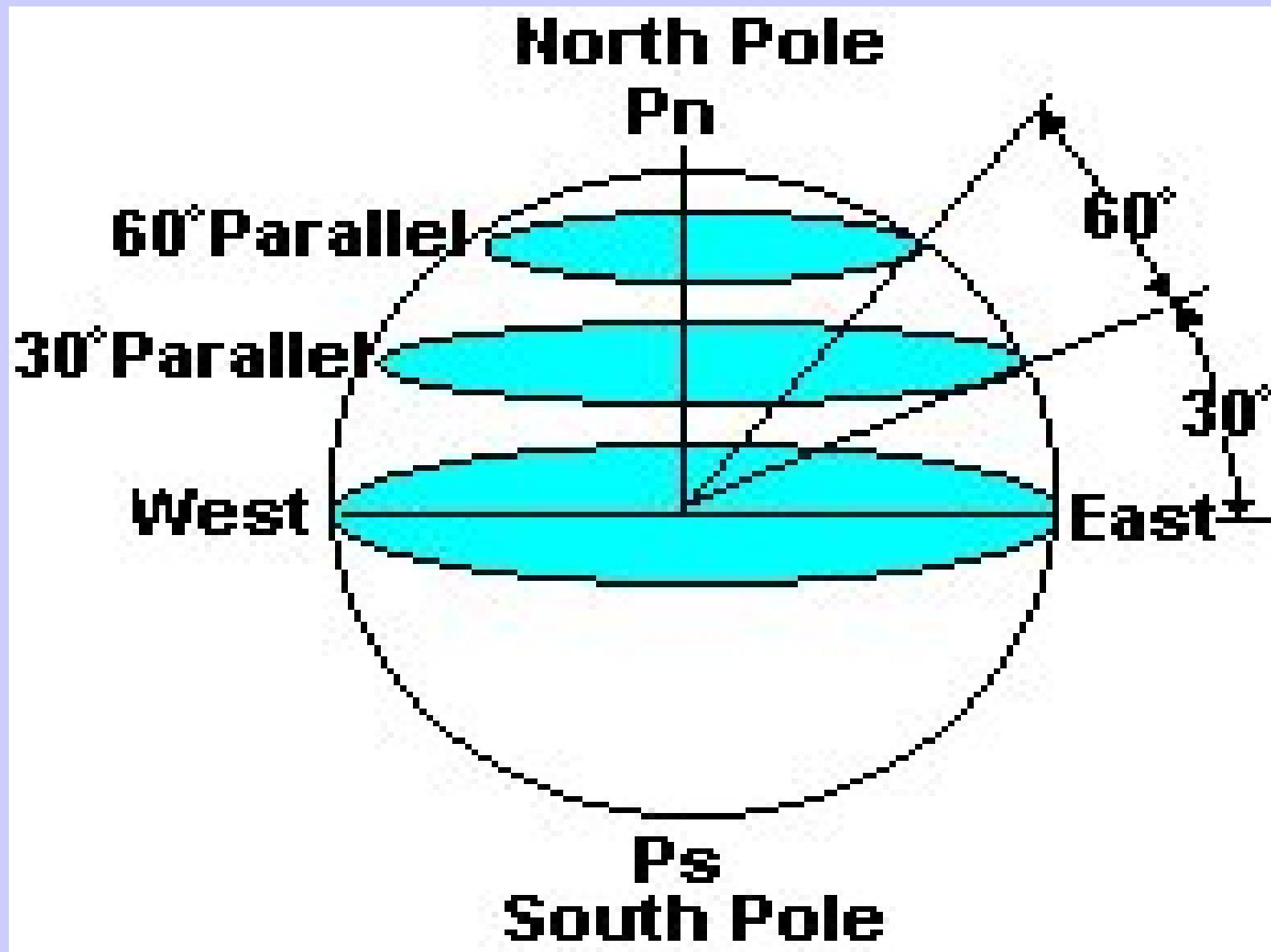
Souřadný systém šířka-délka

- ◆ velmi univerzální a používaný souřadný systém pro popis polohy na povrchu Země
- ◆ zeměpisná šířka (latitude – y-ová souř.)
- ◆ zeměpisná délka (longitude – x-ová souř.)
- ◆ vychází z WGS – WGS poskytuje souřadnicový rámec, elipsoid a gravitační model Země

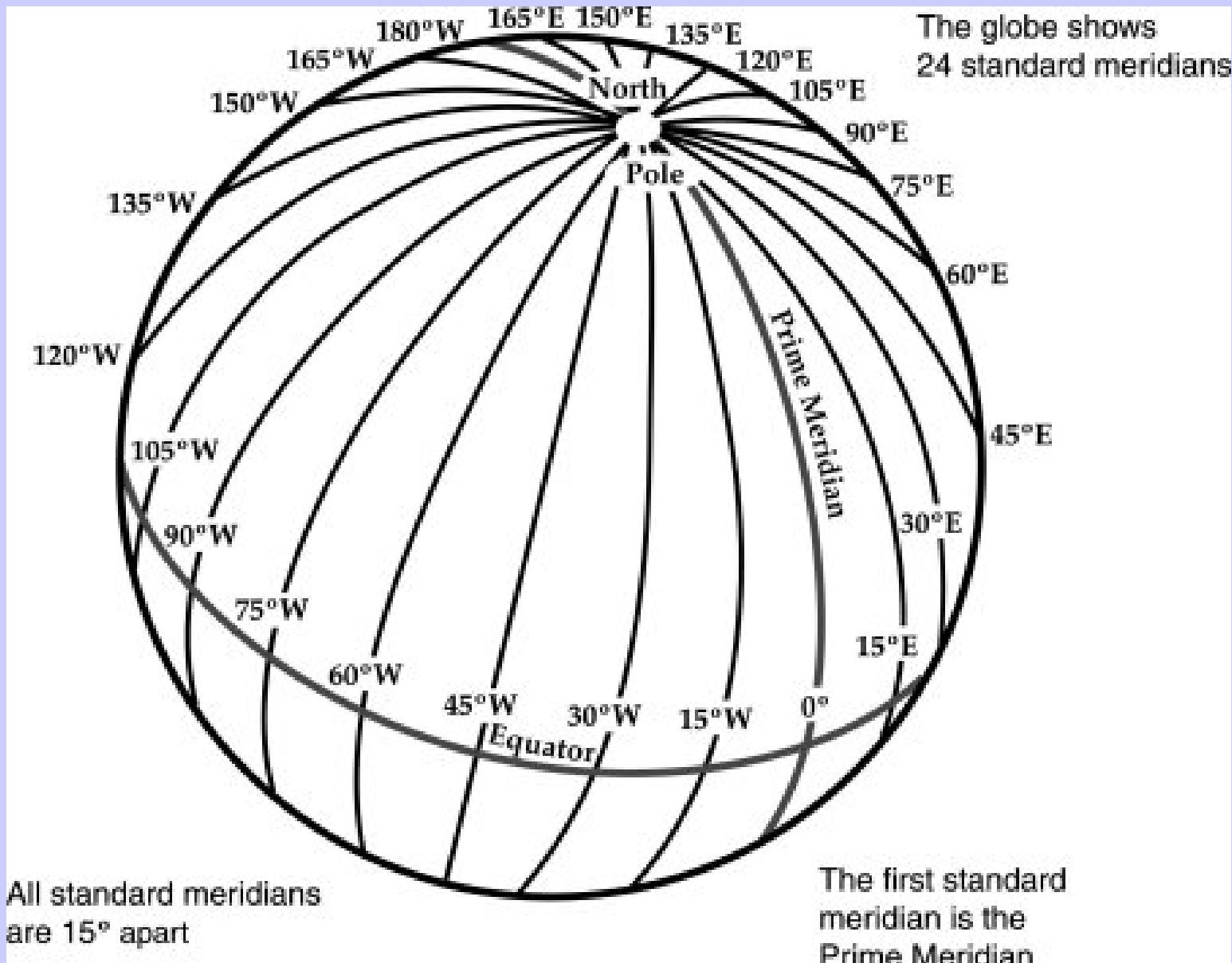
Základní pojmy

- ◆ zemská osa – (myšlená) osa otáčení, protíná matematicky definovaný zemský povrch v bodech severního a jižního pólu
- ◆ střed Země (C)
- ◆ rovník – rovina vedená kolmo k zemské ose v bodě středu Země
- ◆ šířka bodu P – úhel svíraný přímkou PC s rovinou rovníku
- ◆ Základní (počáteční, nulový) poledník – dán úmluvou (angl: meridian, prime meridian)

Zem. šířka



Poledníky

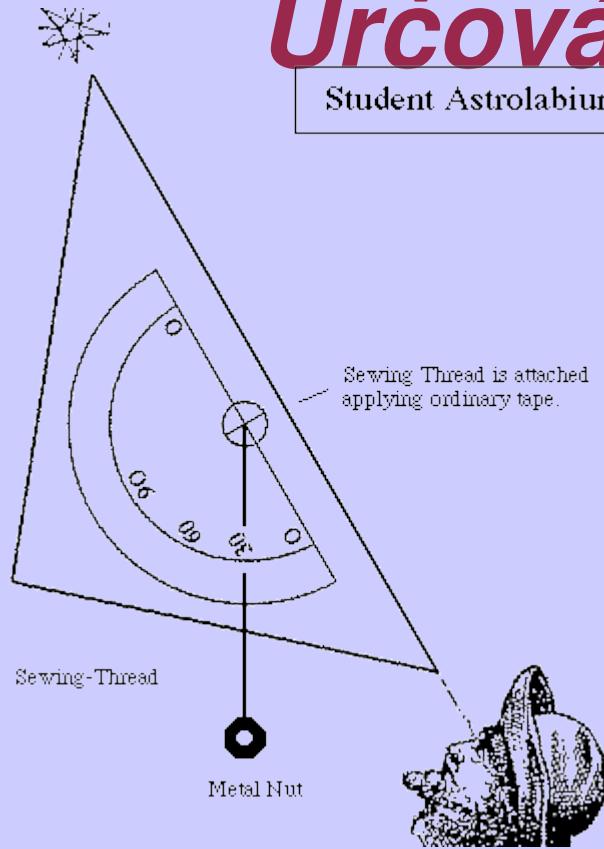


Počítání s Lat/Lon

- ◆ Formáty:
 - ◆ stupeň, minuta, vteřina ($49^{\circ} 34' 56''$)
 - ◆ $1^{\circ} = 60'$, $1' = 60''$
 - ◆ $49^{\circ} 34' 56'' = 49.58222222$
- ◆ Znaménko plus – severní šířka, východní délka
 - ◆ North,South,East,West
 - ◆ $\text{round}(0.5822222 * 60) = \text{minuty....}$, zbytek vteřiny

Určování zeměpisné šířky

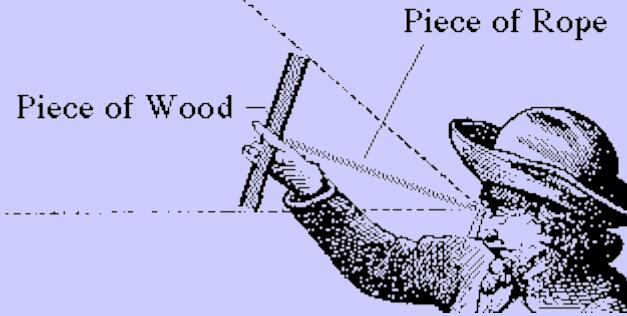
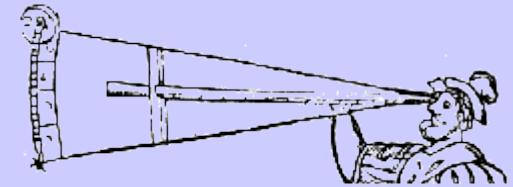
Student Astrolabium



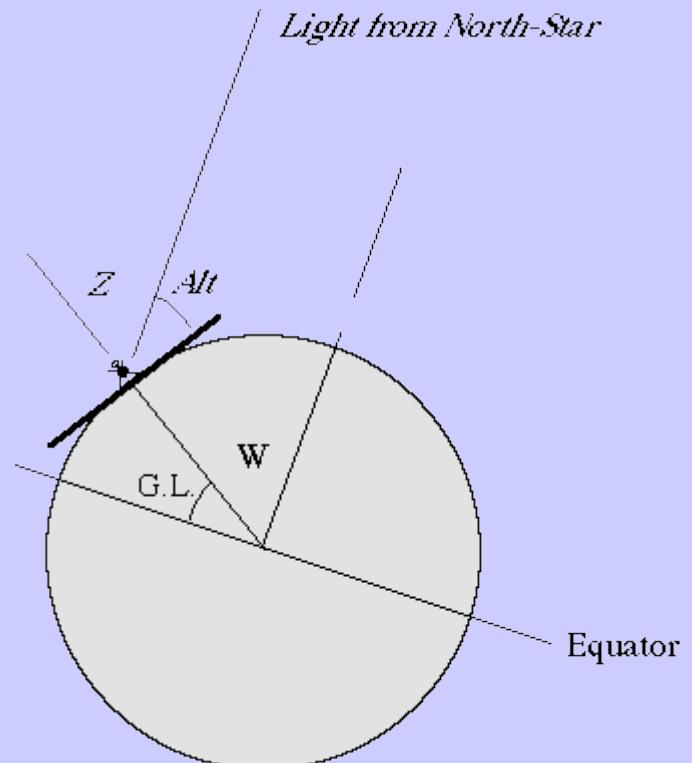
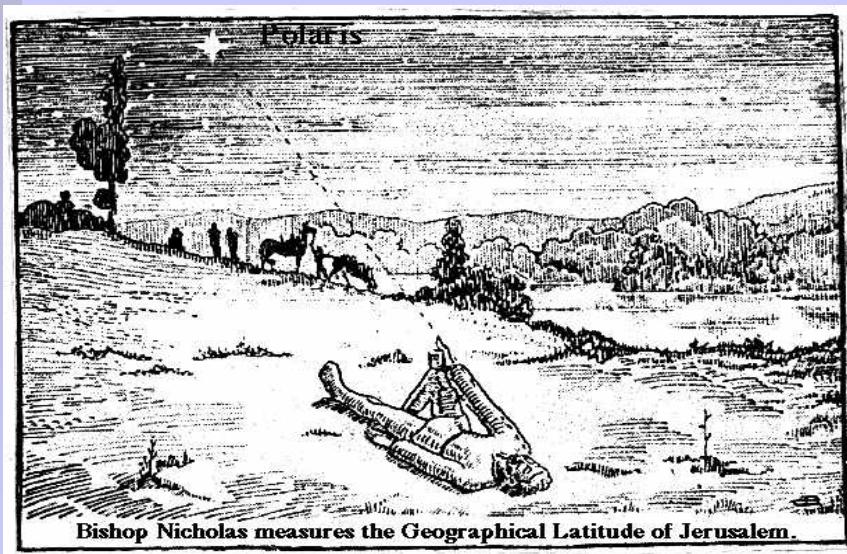
Stern.

Indian Kamal

-as presented to Vasco da Gama .



Light from North-Star



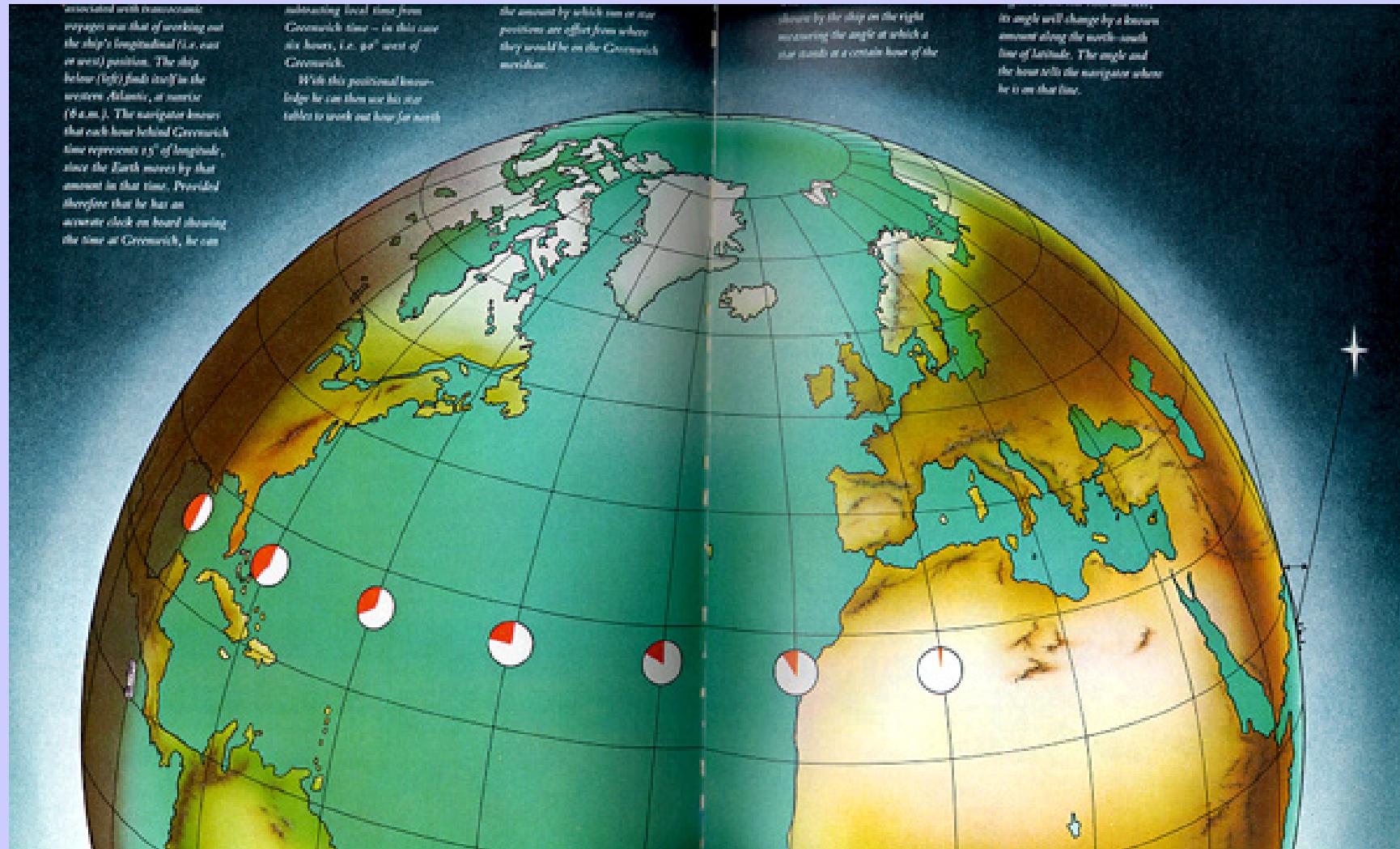
Určení zeměpisné šířky

- ◆ deklinace – naklonění zemské osy (tabulkový údaj, mění se v průběhu roku)
- ◆ kulminace – maximální výška Slunce nad obzorem (by mohla určit šířku, korekce)
- ◆ šířka = 90° + deklinace - kulminace
- ◆
- ◆ dále – heslo “celestial navigation” pro google

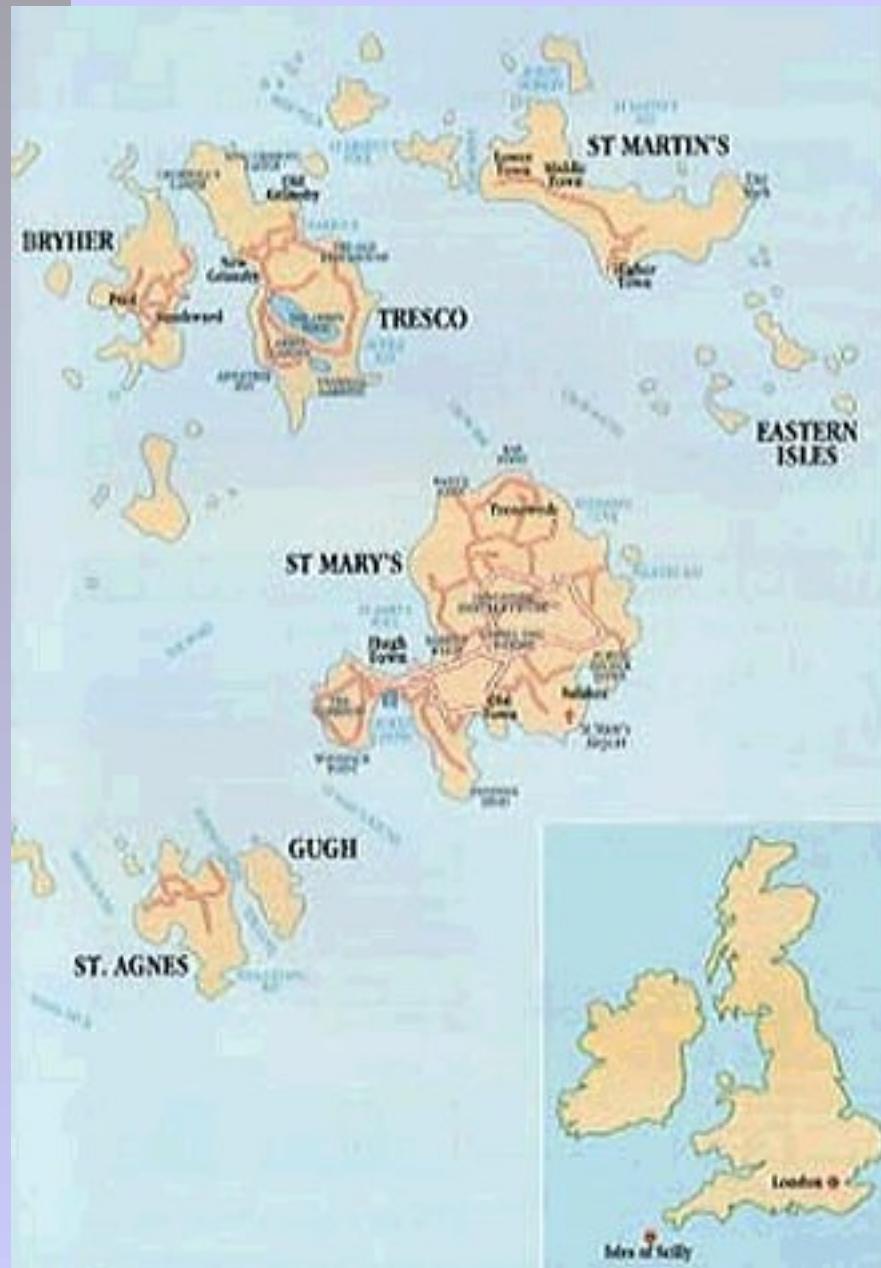
Určování zeměpisné délky

- ◆ kdysi velmi velký problém
- ◆ 22. 10. 1707 – u ostrovů Scilly ztroskotala HM flotila (2000 mrtvých). Po tragédii vypsala královna (?) grant na vyřešení:
- ◆ The longitude problem (řešení):
 - ◆ délka lze odvodit z měření polohy slunce, pokud známe jistý referenční čas
 - ◆ každých 15 minut délky znamená 1 hodinu času ($360^\circ / 24$ hod)
 - ◆ určí se místo (Greenwich) a každý mořeplavec si vezme hodiny s greenwichským časem

Longitude problem



Scilly Isles



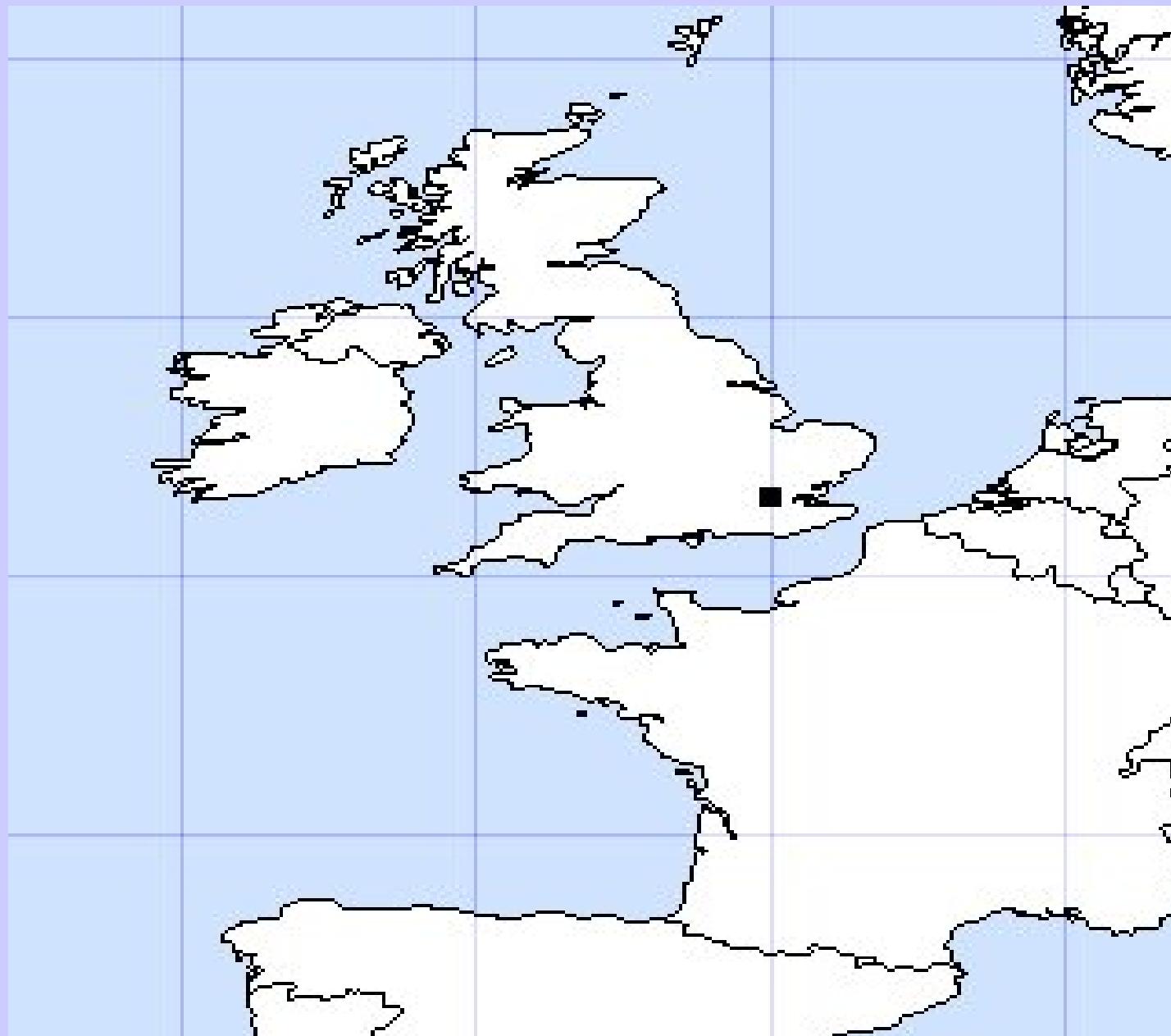
John Harrison, The Longitude problem

- ◆ John Harrison (1693-1776).
- ◆ He built his first longcase clock in 1713, at the age of 20.
- ◆ The watch's error was computed to be 39.2 seconds over a voyage of 47 days,
- ◆ three times better than required to win the £20,000 longitude prize.

Hodiny J. Harrisona



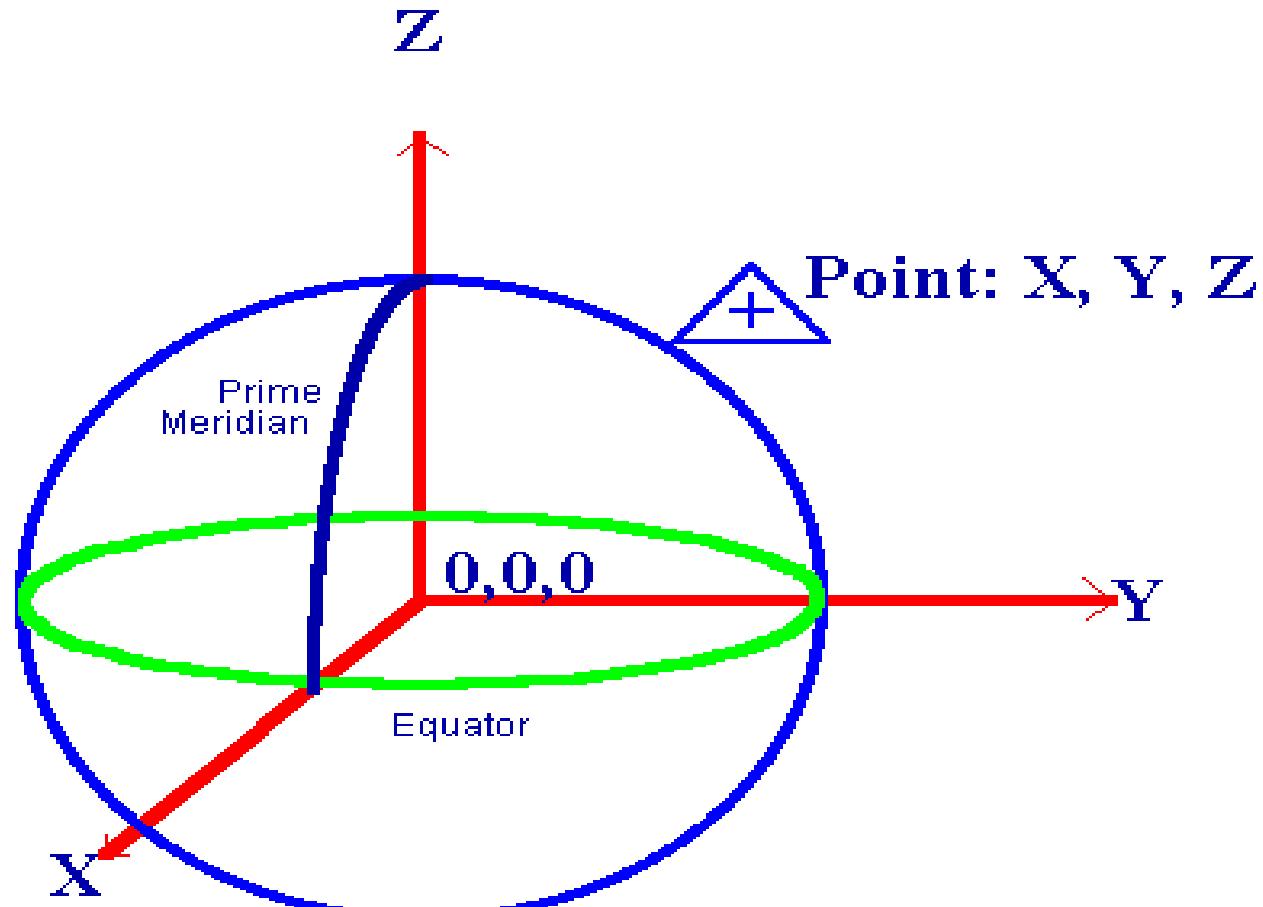
Greenwich



WGS jako 3D souřadnicový systém

- ◆ Zavádíme i jako X-Y-Z 3D pravoúhlý s.s.
- ◆ jeho počátek je ve středu gravitačního pole Země
- ◆ jeho referenční meridián se ztotožní s nultým poledníkem
- ◆ osa Z je paralelní k zemské ose
- ◆ osa X je průsečnice rovin ref. meridiánu a roviny rovníku
- ◆ osa Y je kolmá na osu X

WGS jako 3D souřadnicový systém

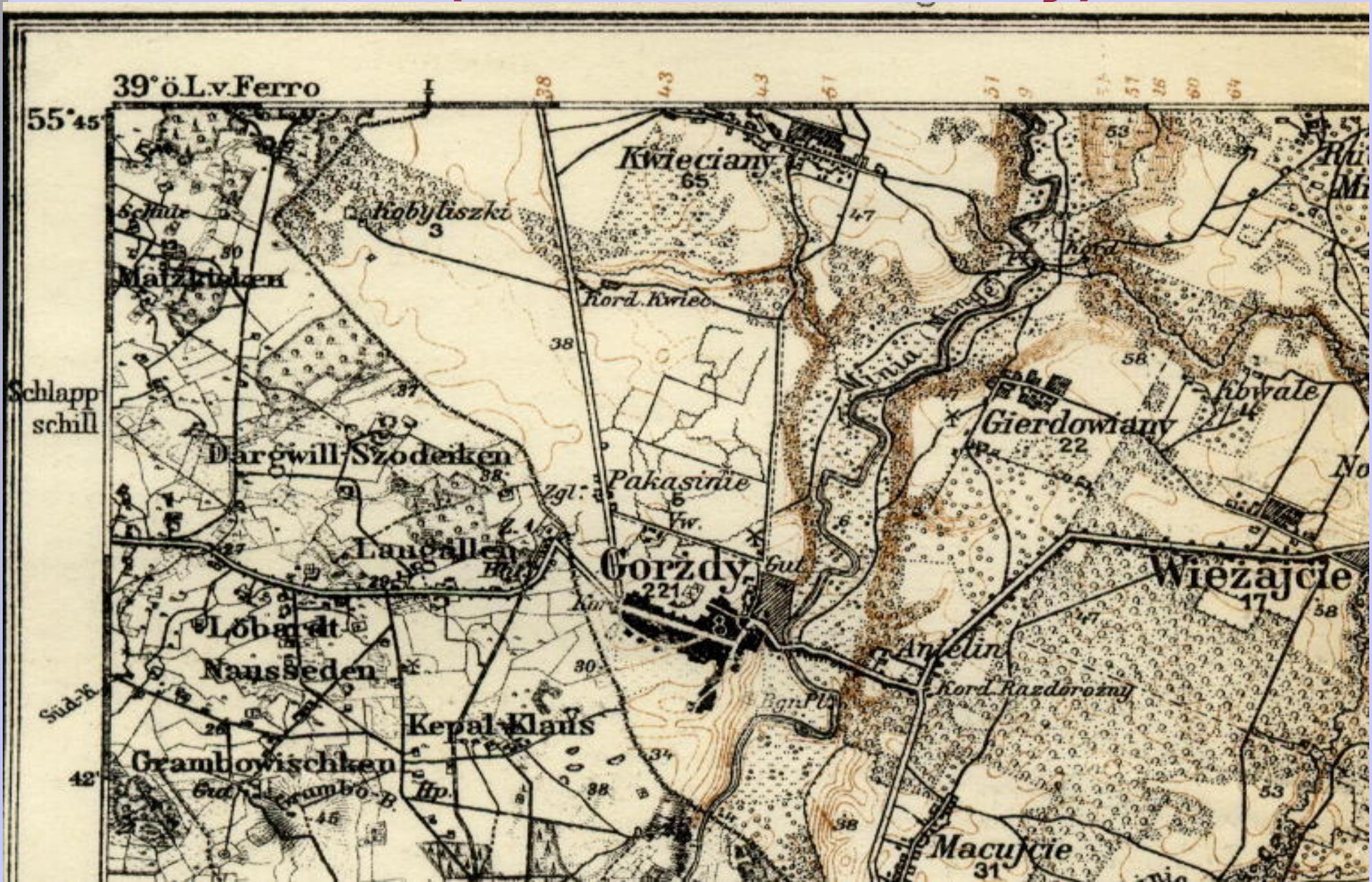


Earth Centered, Earth Fixed X, Y, Z

Shrnutí Lat/Lon

- ◆ popisuje celý povrch Země (globální s.s.)
- ◆ není pravoúhlý, nelze meřit vzdálenosti
(měřit x odhadovat)
- ◆ Elipsoidické souřadnice x pravoúhlé souřadnice
- ◆ počátek poledníků je v Greenwich (v historii byla spousta “počátků”) - Vídeň, Paříž, ..., Ferro (nejzápadnější místo Evropy, snaha mít všechny souřadnice kladné)

Ferro (Kanárské ostrovy)



Souřadné systémy

pro kartografii/geodézii

Souřadné systémy

- ◆ potřebujeme souřadný systém, ve kterém můžeme měřit s přesností na 1cm
 - ◆ pravoúhlý
 - ◆ souřadnice v metrech
 - ◆ zřejmě nelze mít globálně
- ◆ vzhledem k náročným požadavkům na parametry s.s. se omezíme na malá území (univerzálnost a přesnost jsou protichůdné požadavky)

Probereme...

- ◆ S-JTSK – závazný pro ČR
- ◆ S-42
- ◆ Gauss/Kruger – podobný v Německu, základ pro UTM
- ◆ UTM – pseudo-globální (zóny, podporuje GPS)

Přenos na plochu



Přenos na plochu

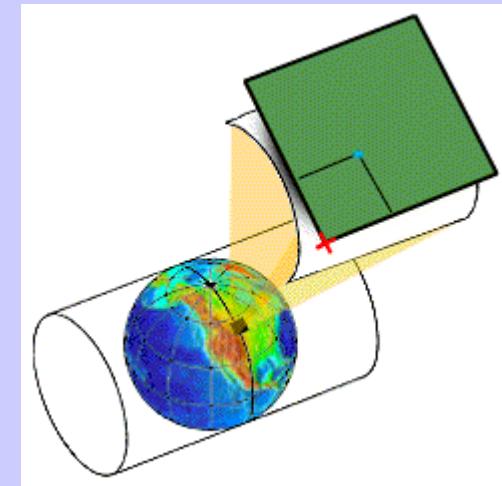
- ◆ Pochopitelnou snahou kartografů je získat mapu ve formě papíru. Naopak – jak může placatá mapa popisovat kulatý svět?
- ◆ Projekce definuje transformaci – plošný model versus realita
- ◆ Referenční plocha – matematicky definovaná plocha (elipsoid, koule), která se co nejvíce přimyká ke geoidu
- ◆ Zobrazovací plocha – válcová nebo kuželová plocha rozvinutelná do roviny. Nebo přímo rovina.

Přenos na plochu

- ◆ Referenční plocha je nerozvinutelná do roviny.
- ◆ Kartografické zobrazení – převod prvků obrazů z referenční plochy do roviny mapy (zobrazovací plocha)
- ◆ Matematická kartografie – vědecký obor, který se zabývá zobrazením referenční plochy do mapy s minimálním zkreslením (VŽDY je nějaké zkreslení, můžeme si ho však zvolit)

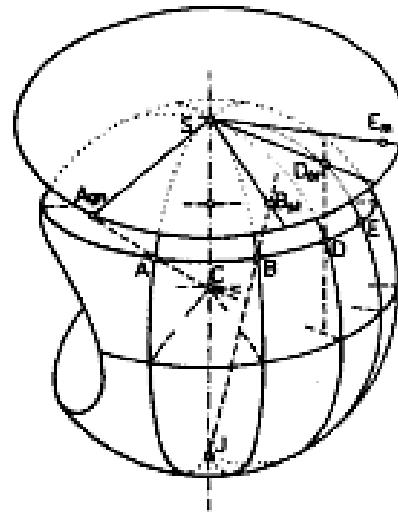
Vlastnosti zobrazení

- ◆ Tři parametry:
 - ◆ jakou zobrazovací plochu použijeme
 - ◆ kam ji přiložíme
 - ◆ jak body z referenční plochy promítáme na zobrazovací
- ◆ Podle zkreslení:
 - ◆ konformní – zachovává úhly (tzn. tvar)
 - ◆ ekvivalentní – zachovává obsahy
 - ◆ ekvidistantní – nezkresluje určitou soustavu čar
 - ◆ kompenzační – všechna zkreslení ve vzájemné harmonii (všechna stejně tlumená)

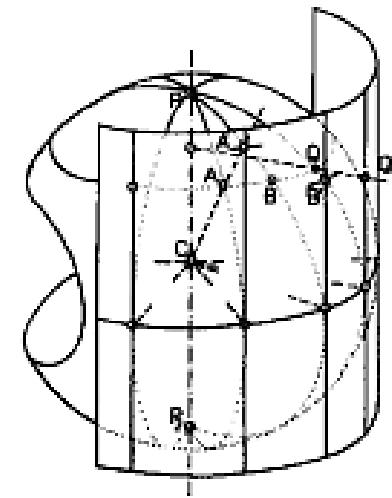


Tvar promítacích ploch

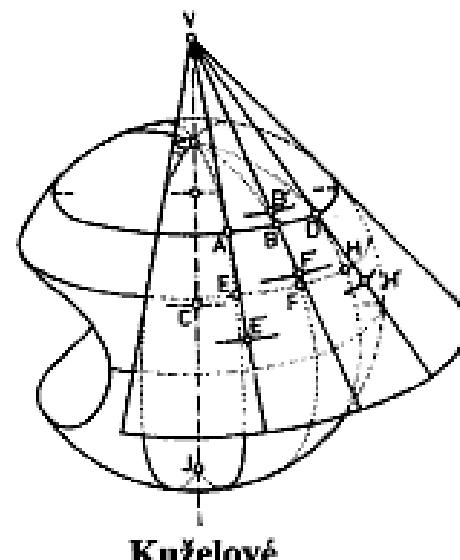
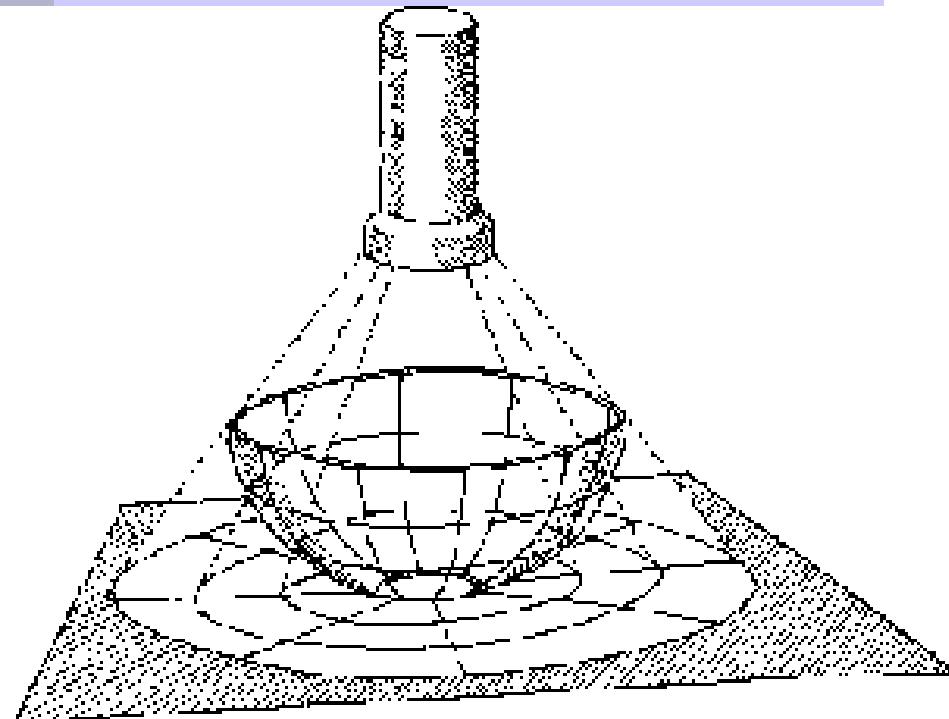
- ◆ Azimutální
- ◆ Válcové
- ◆ Kuželové



Azimutální



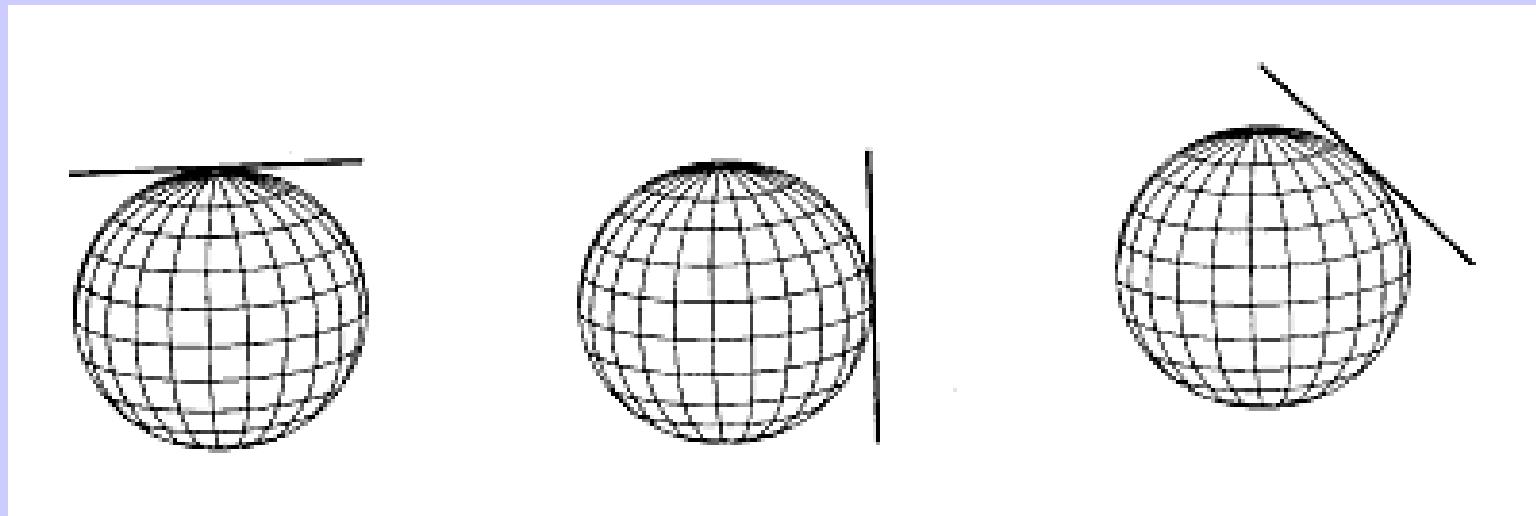
Válcové



Kuželové

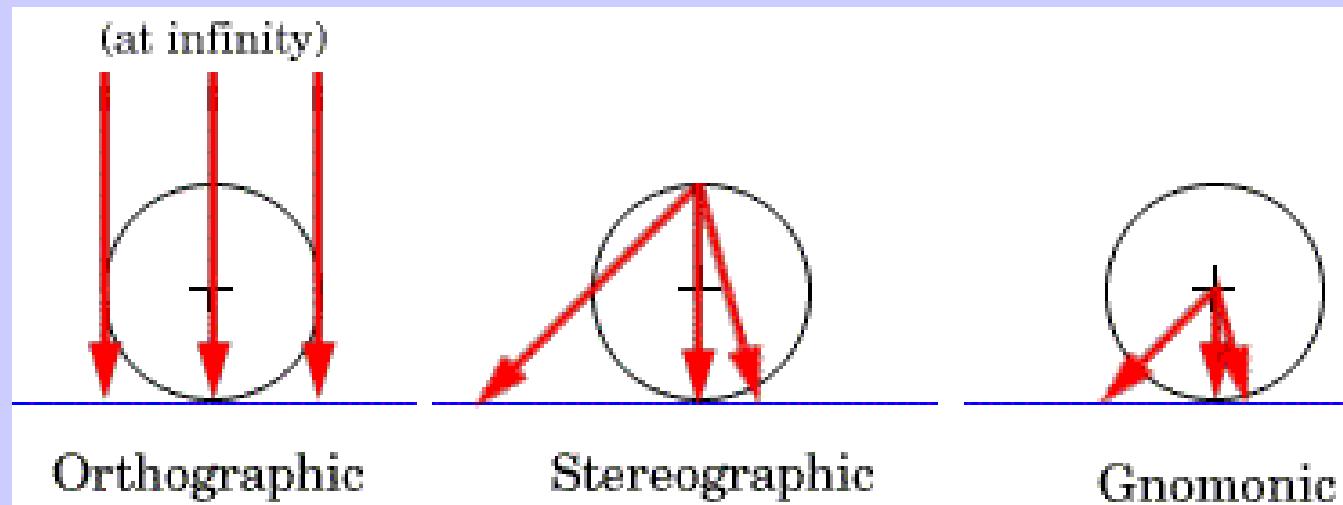
Přiložení plochy

- ◆ normální, příčné, všeobecné



Styl promítání

- ◆ orthographic (ortografický) – promítací prsek je kolmý na plochu
- ◆ stereographic – protipól dotykového bodu (s plochou)
- ◆ gnomonic -



Souřadný systém S-JTSK

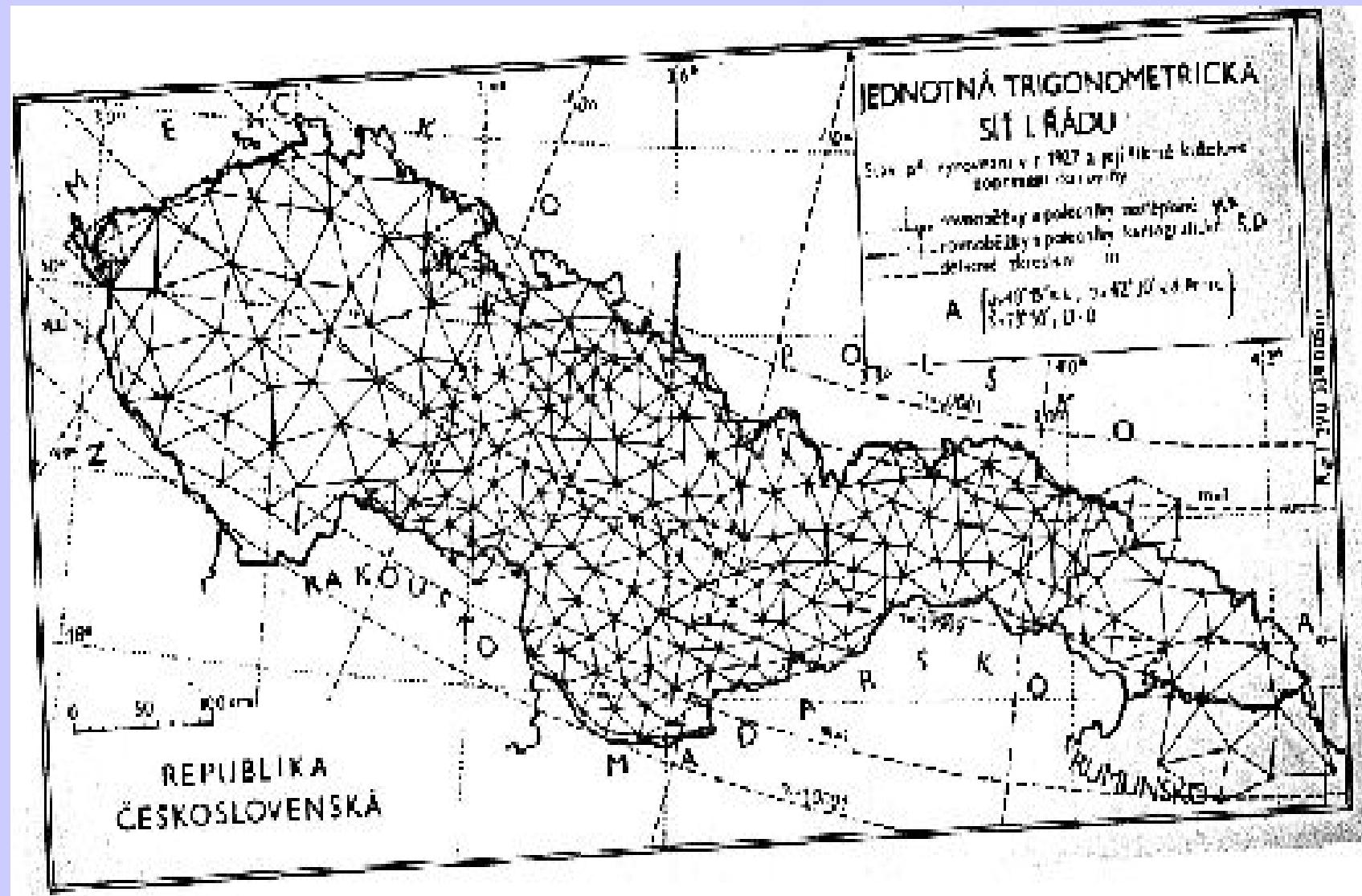
- ◆ Křovákovo zobrazení.Jednotná trigonometrická síť katastrální.
- ◆ Po odtržení od nenáviděného Rakouska-Uherska (systém Cassini-Soldnerovo) byla potřeba zavést nový souřadný systém pro katastr, mapová díla,
- ◆ Veřejná soutěž.
- ◆ Zvítězil Josef Křovák



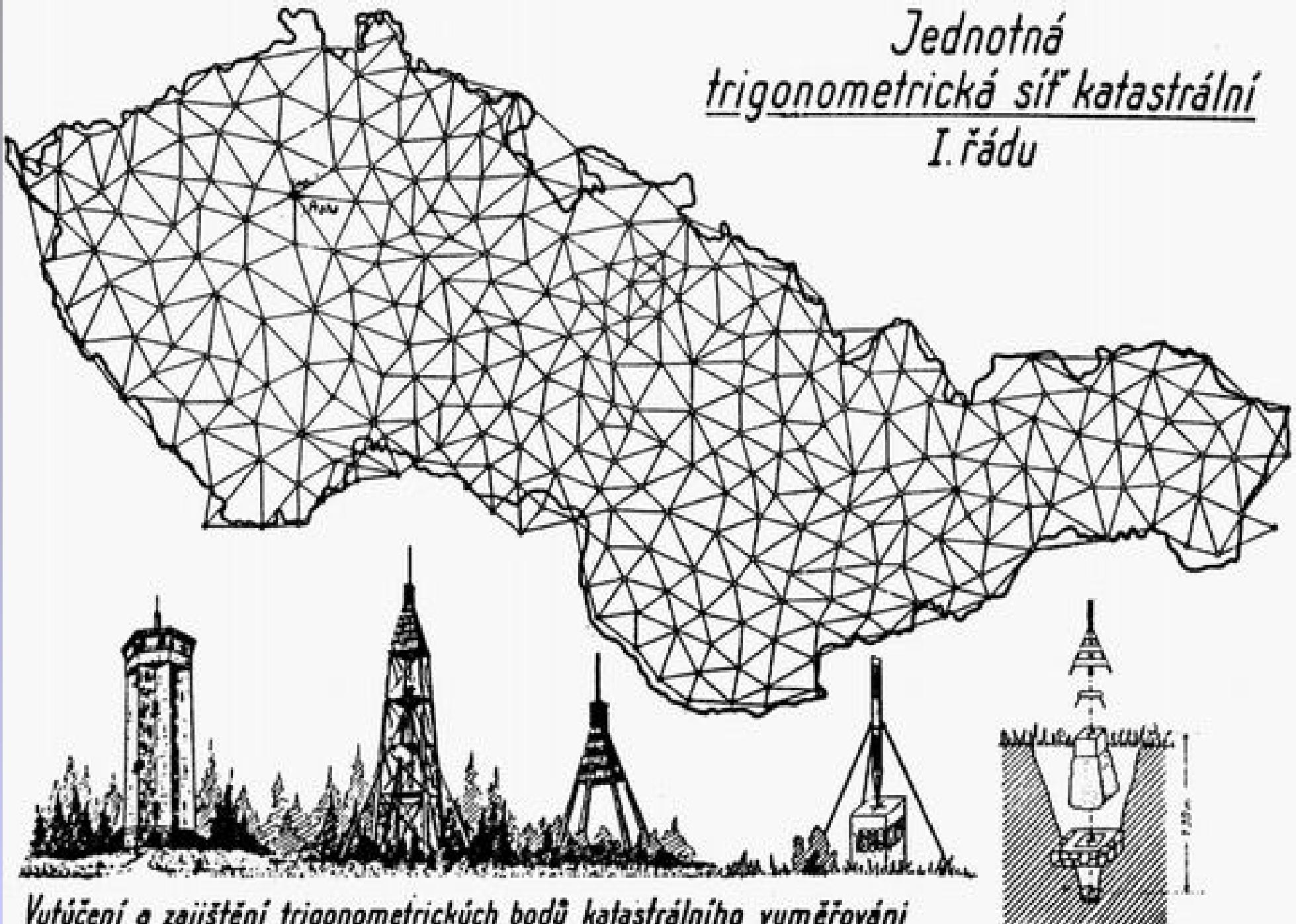
S-JTSK

- ◆ S-JTSK mělo zahrnout ČSR + Zakarpatskou Ukrajinu.
- ◆ Závazný souřadnicový systém pro ČR.
- ◆ Založen na Besselově elipsoidu.
- ◆ Zobrazení Besselova elipsoidu do roviny Křovákovým způsobem.
- ◆ Vyměřování základních referenčních bodů a následné zobecnění systému na JTSK

S-JTSK



*Jednotná
trigonometrická síť katastrální
I. řádu*

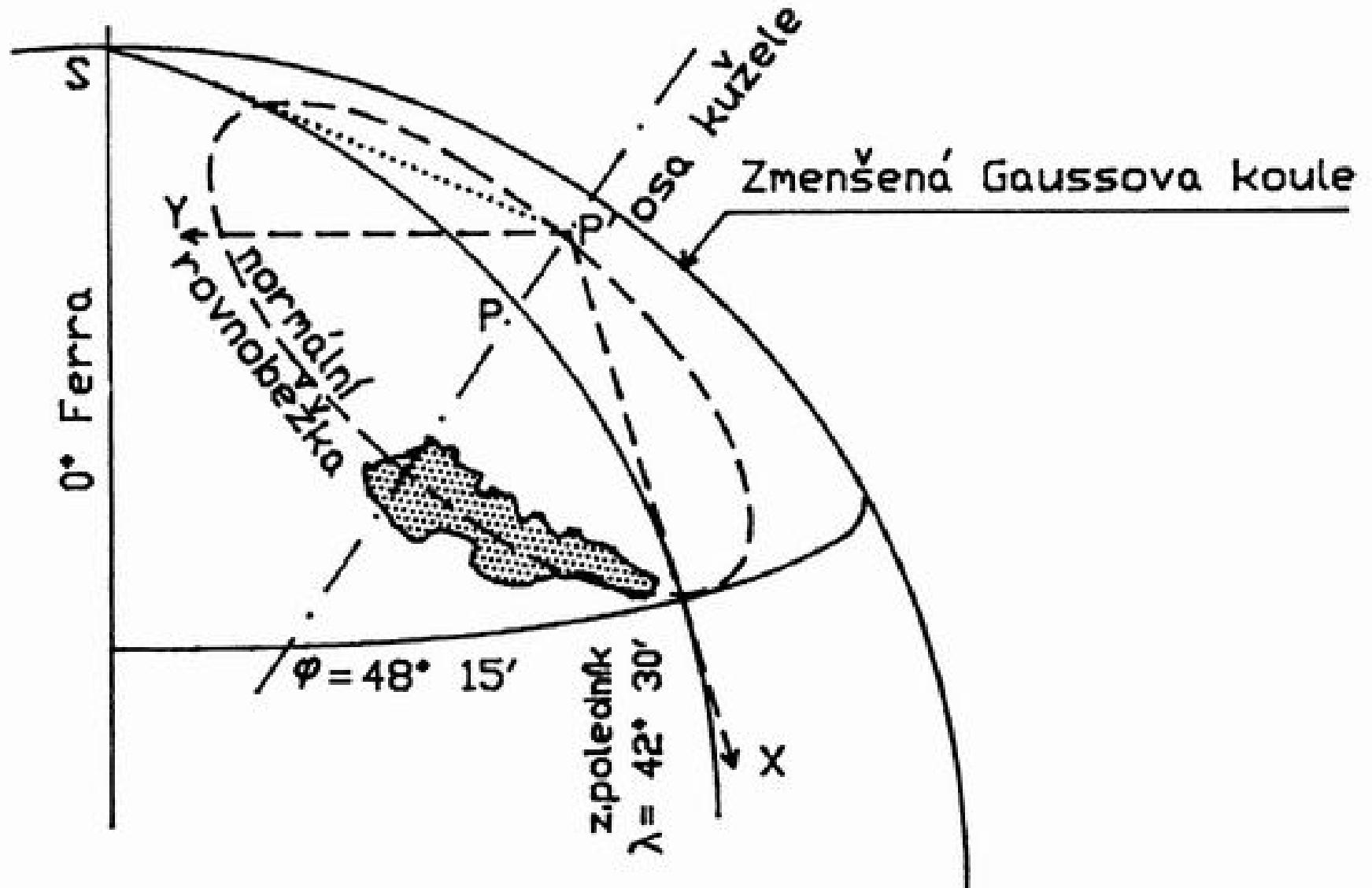


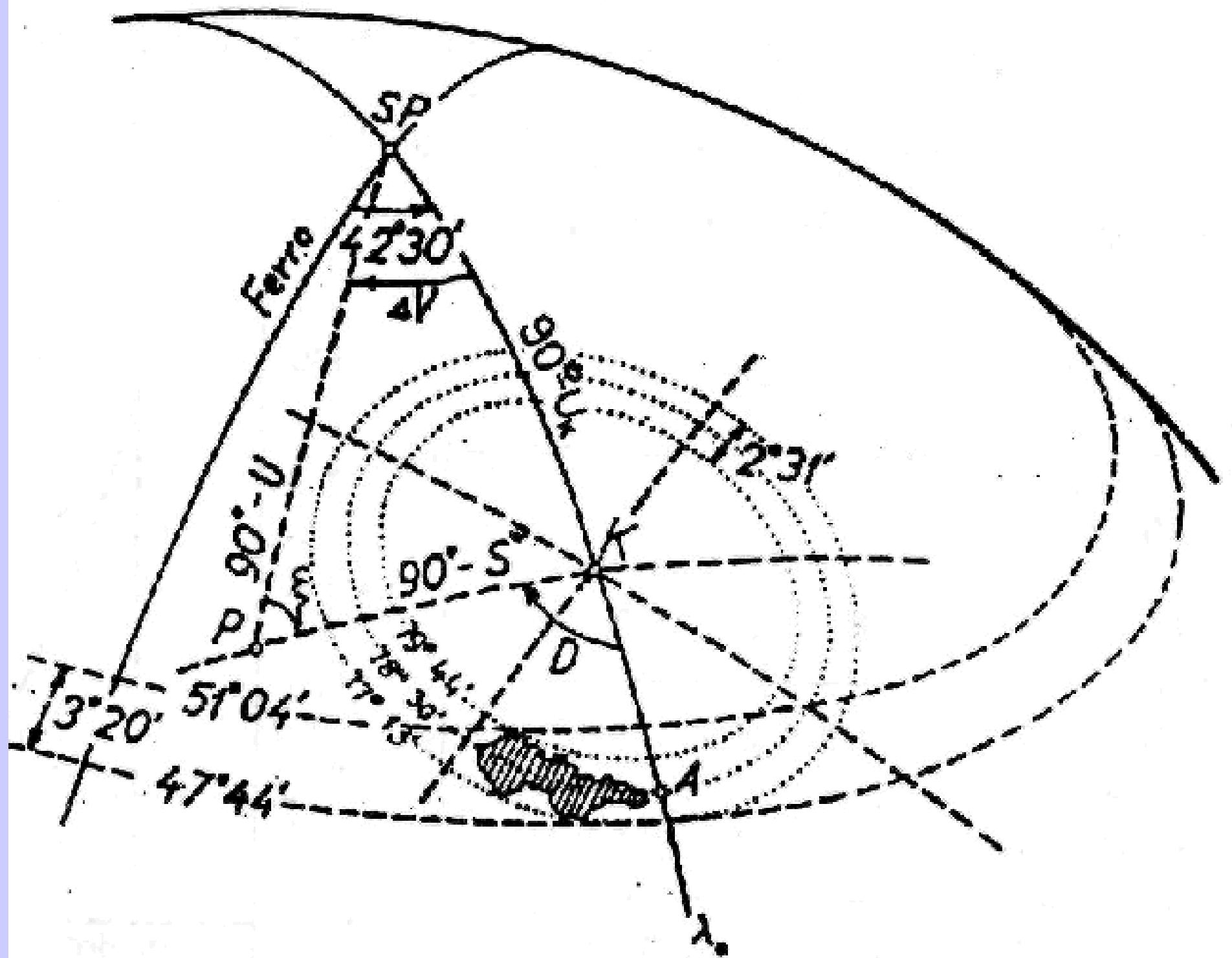
Vytýčení a zajištění trigonometrických bodů katastrálního vyměřování

Křovákovo zobrazení

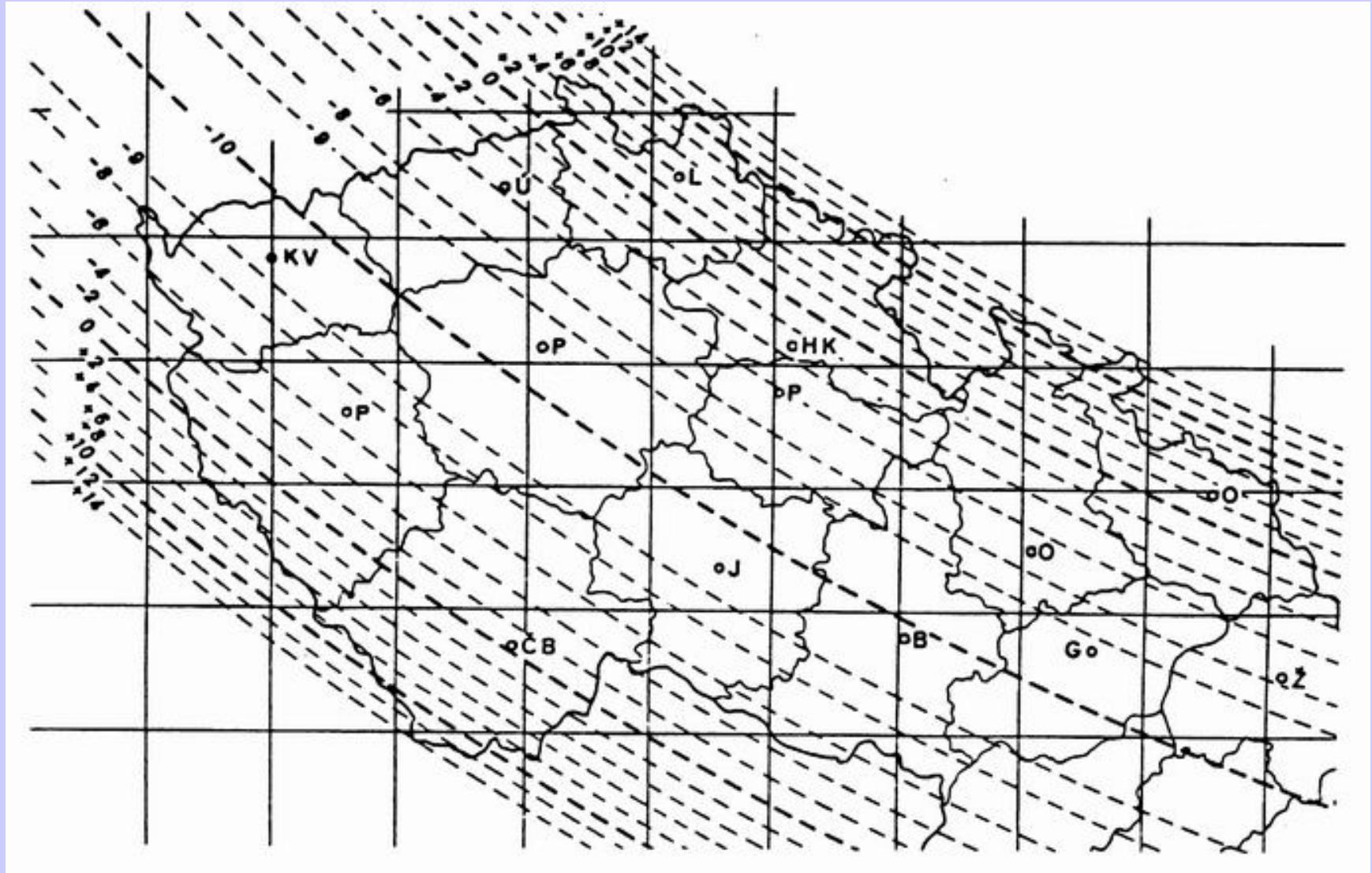
- ◆ ...je dvojité konformní kuželové zobrazení v obecné poloze:
- ◆ Besselův elipsoid je konformně zobrazen na Gaussovou kouli (nebo též Gaussovým způsobem na kouli) a ta je konformně zobrazena na kuželovou plochu obecně položenou
- ◆ Později provedeny astronomickogeodetické korekce (lepší přesnost – SJTSK/95)
 - ◆ Geocentrický systém (lze napojit na GPS)

Dvojité zobrazení

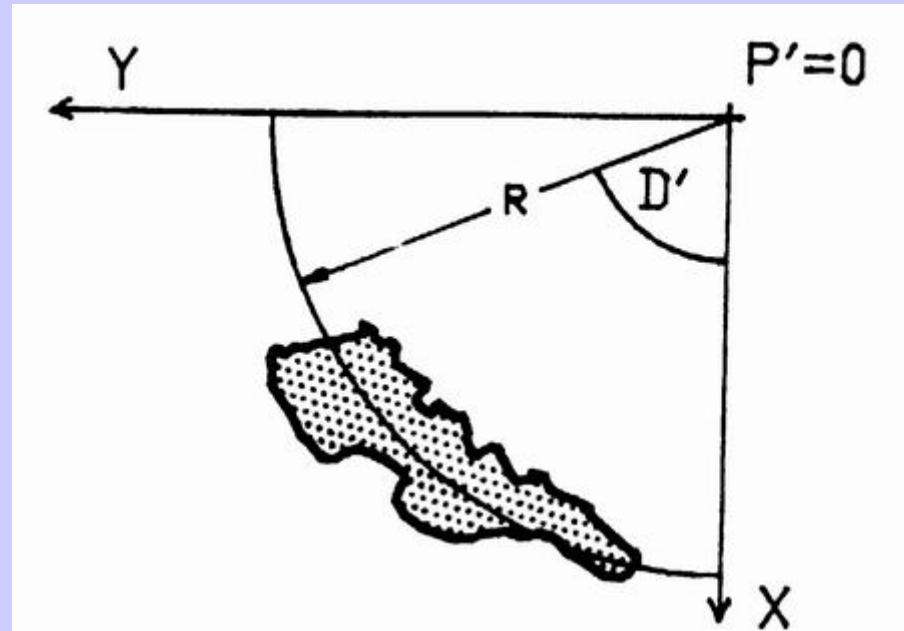




Ekvideformáty (čáry stejného délkového zkreslení)



Kužel na rovinu



$$R = f(\check{S}) \text{ a } D' = \sin \check{S}_o D.$$

Pravoúhlé rovinné souřadnice y a x se určí ze vztahu

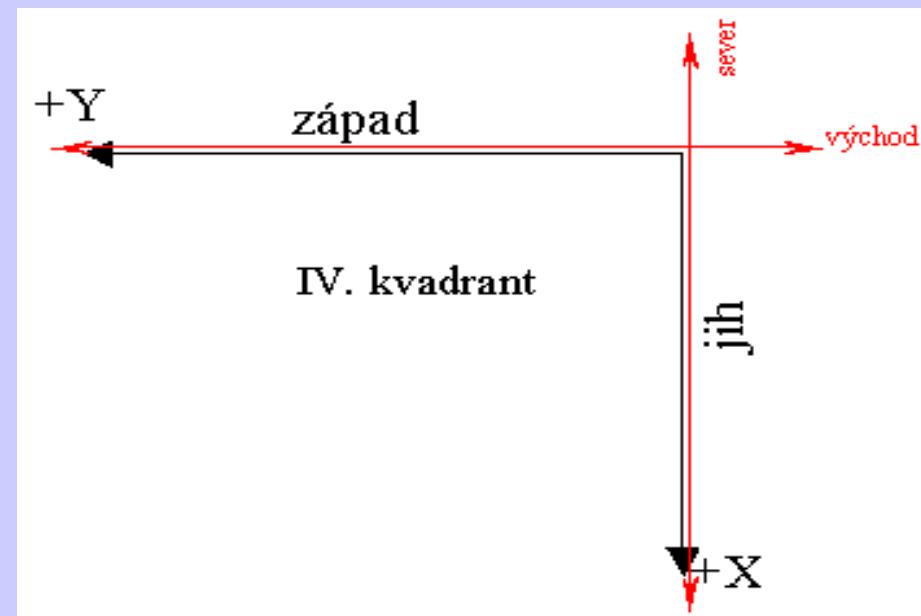
$$y = R \sin D',$$

$$x = R \cos D',$$

$$R = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

Souřadnice v S-JTSK

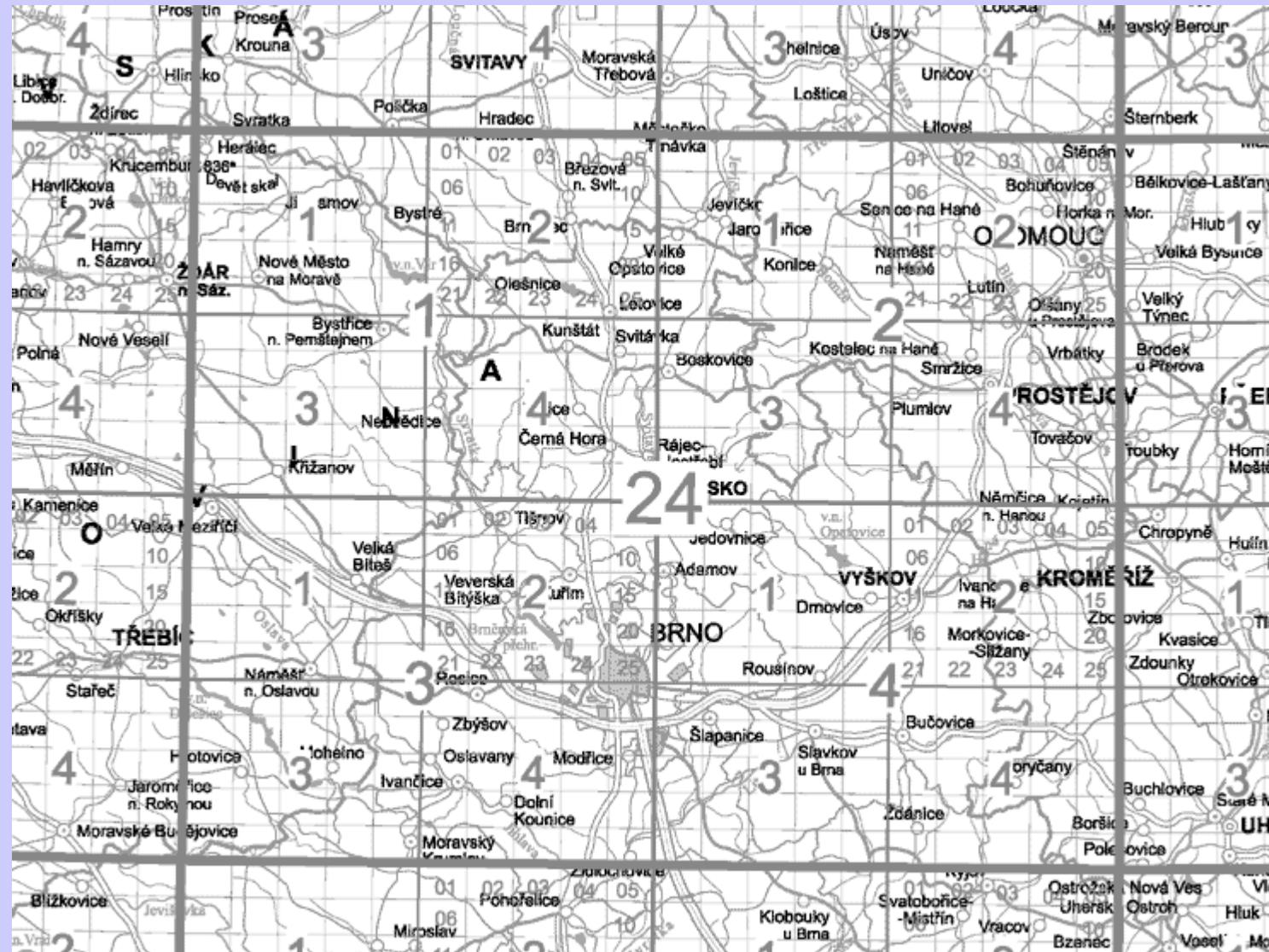
- ◆ Je třeba převádět.
- ◆ V běžných GIS nástrojích lze data v S-JTSK považovat za kartézský systém, jenom se obě složky násobí -1 (IV. kvadrant má být I.)



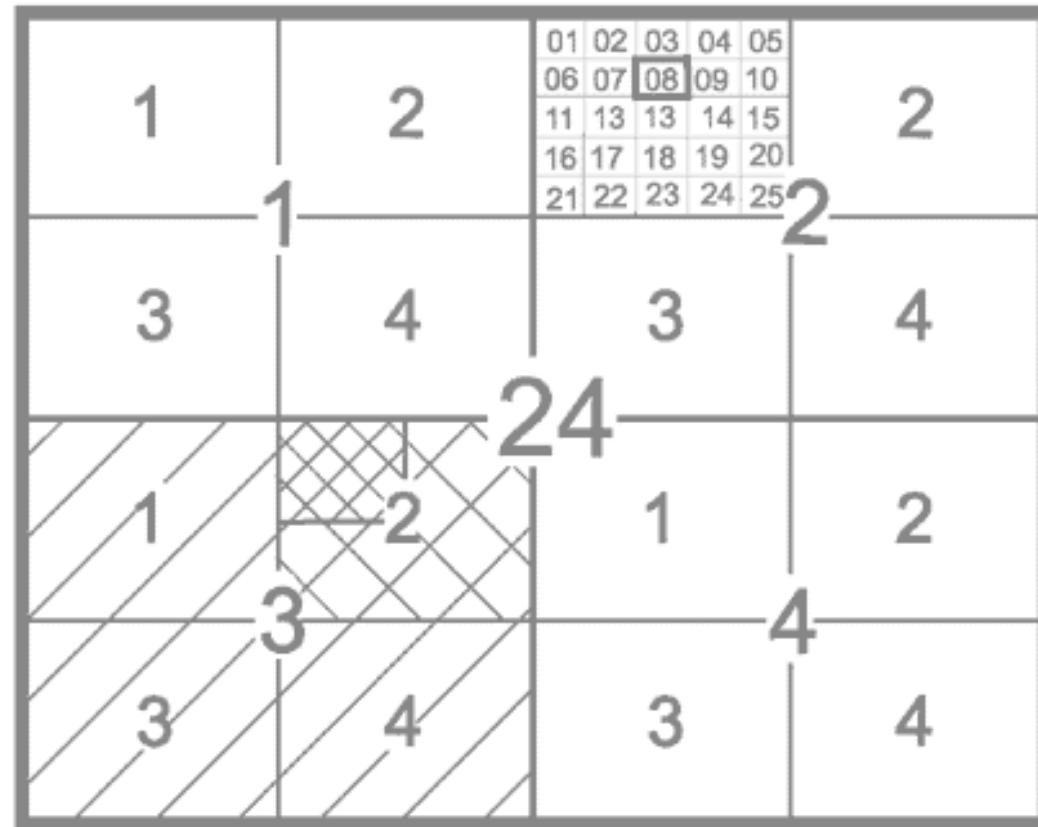
Triangulační/mapový list

- ◆ JTSK dává pravoúhlý souřadný systém, kde souřadnice jsou v metrech
- ◆ Jednotkou mapy je “Základní triangulační list” v měřítku 1:100,000 o velikosti 50x50cm (strana je 50km)
- ◆ pak existují další normy map

Triangulační/mapový list



Triangulační/mapový list



Ohraničení
mapových listů



Měřítko
mapy

1:200 000



24



1:100 000



24-3



1:50 000



24-32



1:25 000



24-321

1:10 000

Příklad označení
mapového listu

24

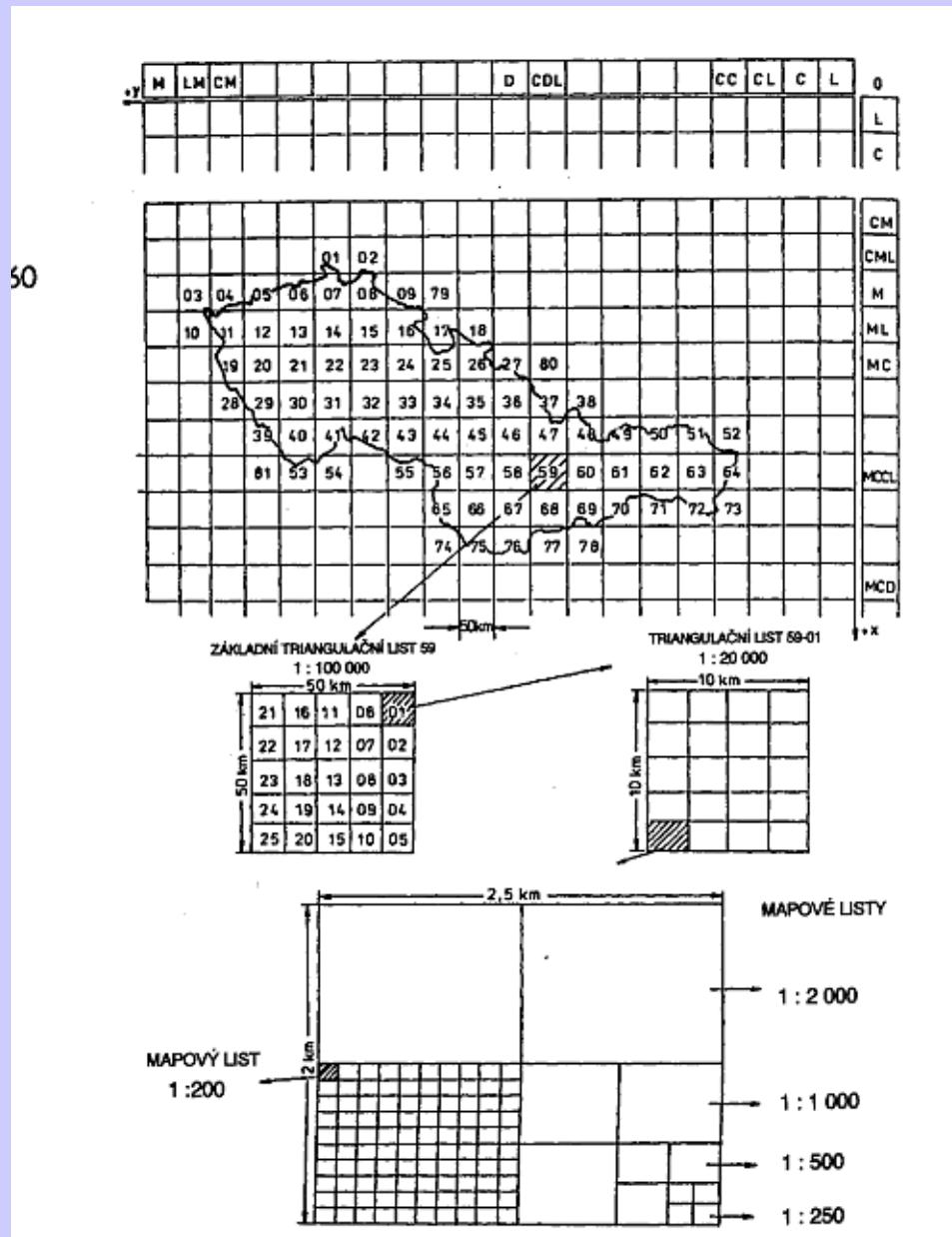
24-3

24-32

24-321

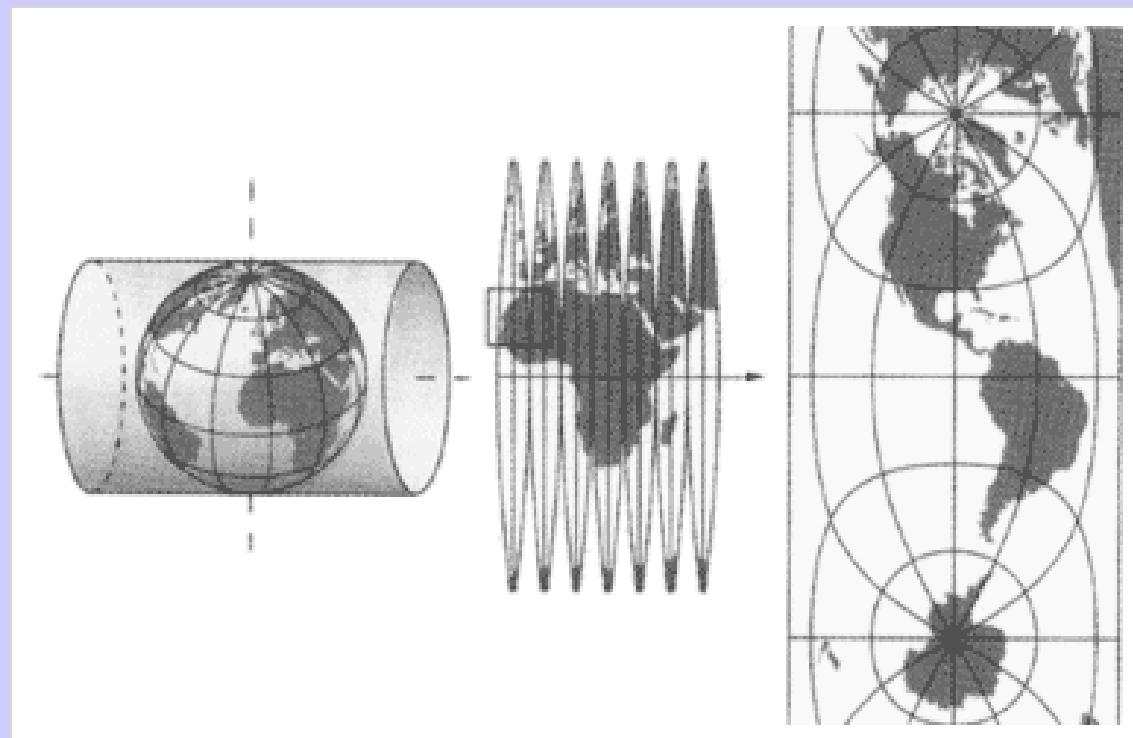
24-21-08

Triangulační/mapový list



UTM

- ◆ Universal Transverse Mercator.
- ◆ Druhý nejvýznamnější globální souřadný systém.
- ◆ Válcové zobrazení. Válec je otočený (transverse)
- ◆ 60 zón
- ◆ chyba max 0.04%

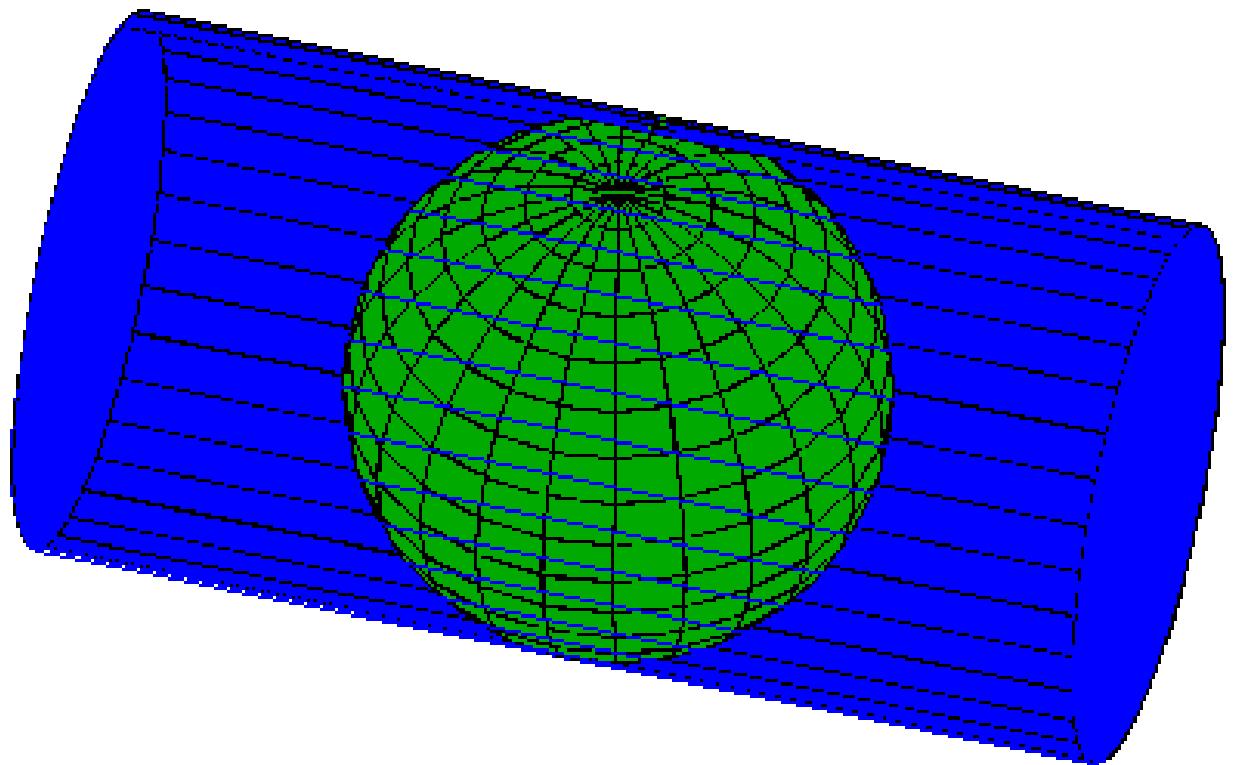
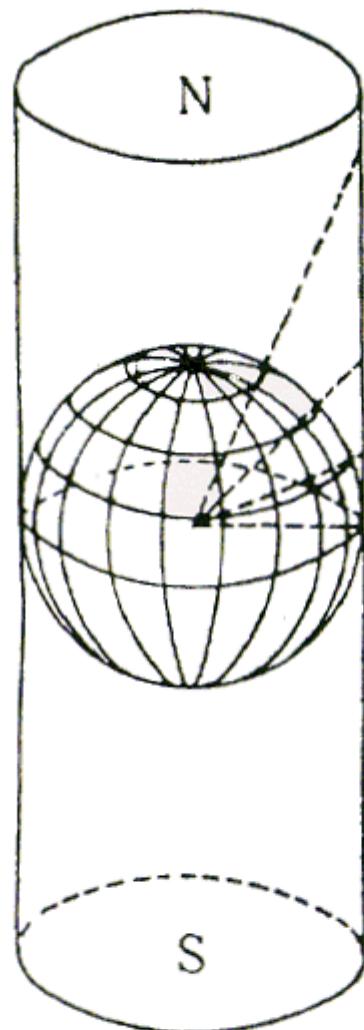


Gaus-Krueger

- ◆ Tento systém se někdy nazývá S-42. CZ armáda na něm založila svoje mapy.
- ◆ Stal se základem systému UTM – závazný systém pro NATO (na elipsoidu WGS84)
- ◆ Jeden z výstupů GPS

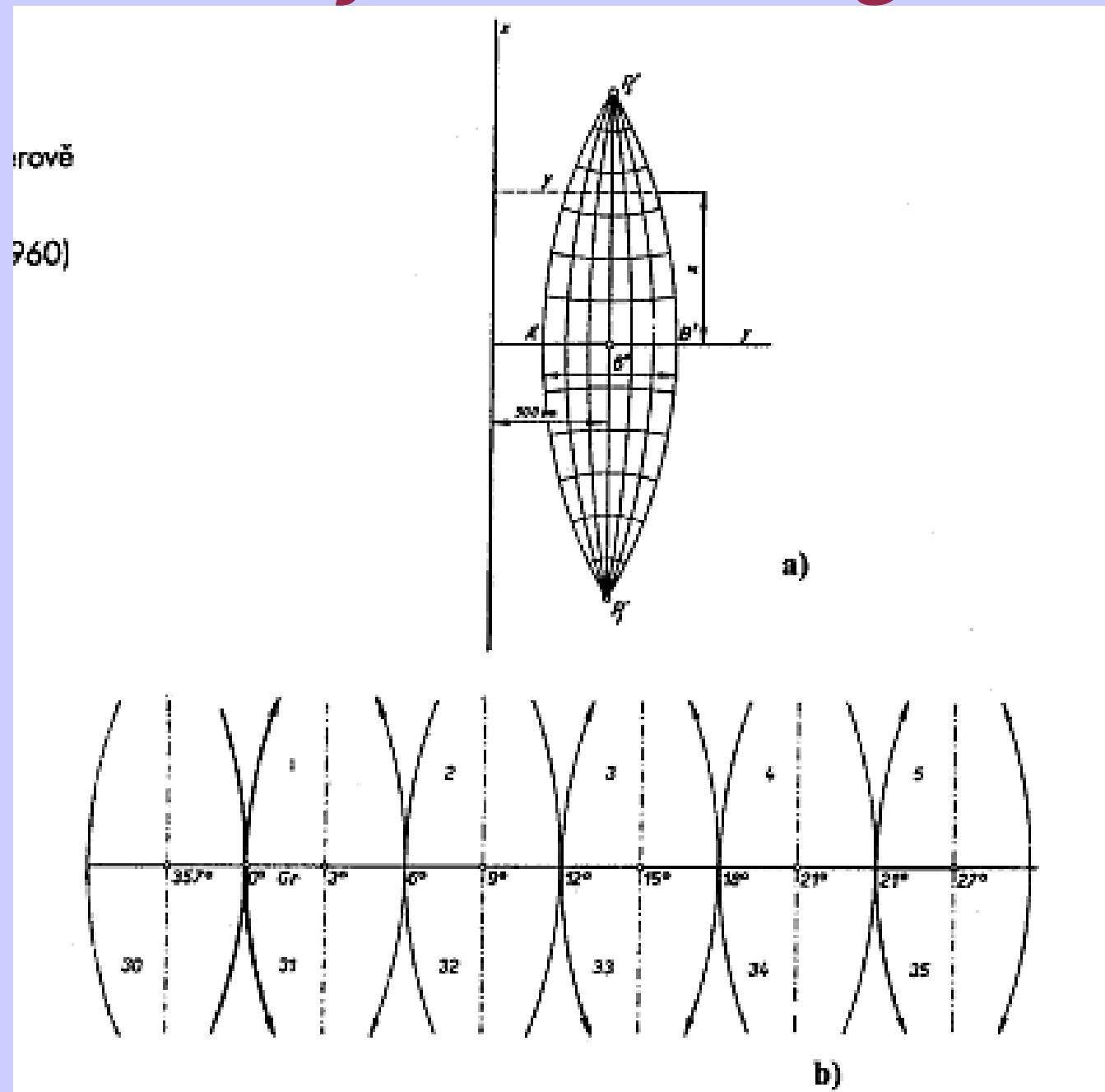
Cylindrická (válcová) projekce poledníku

Peter H. Dana 10/01/94



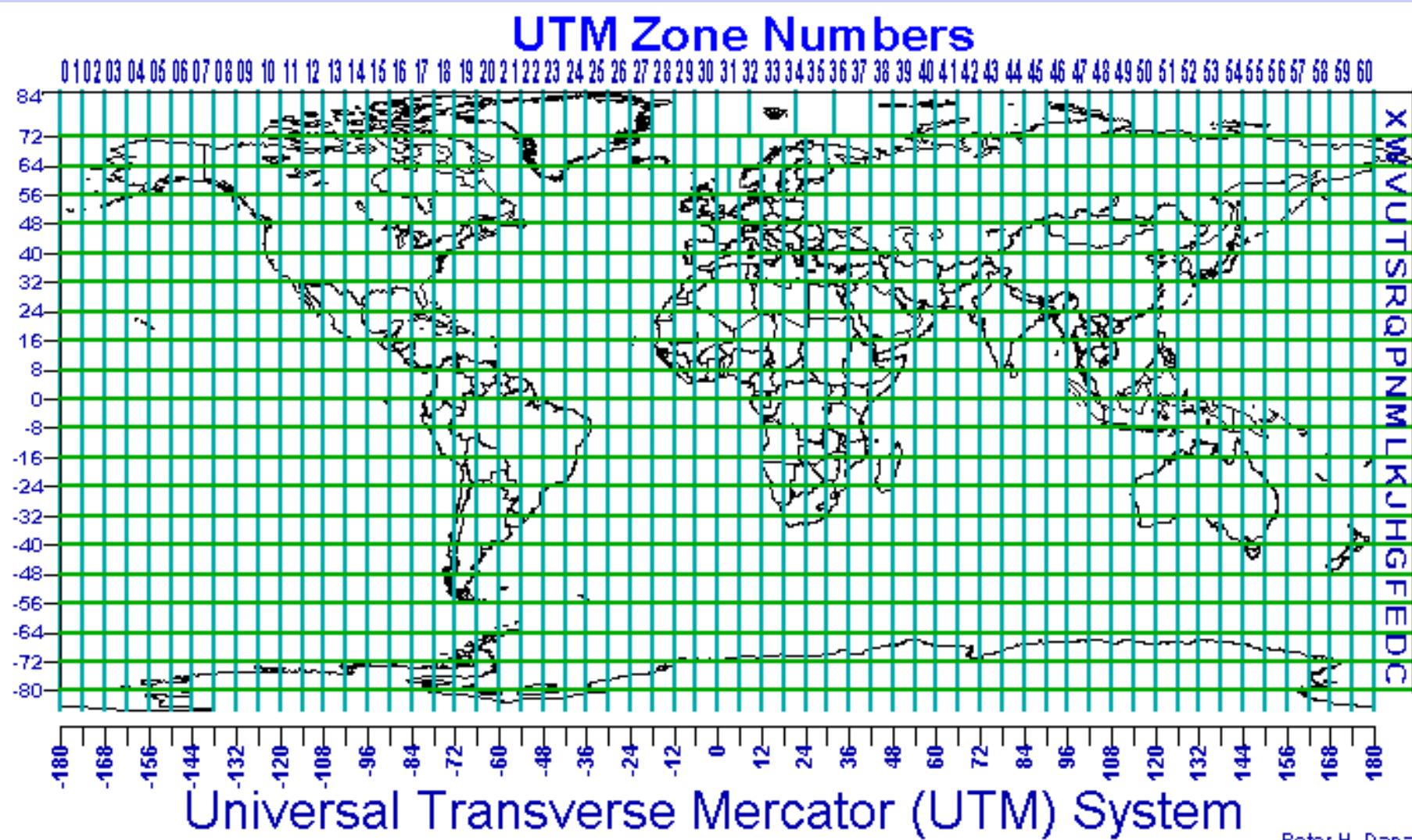
**Transverse Cylindrical
Projection Surface**

Pásy Gaus-Krueger



UTM zóny

UTM Zone Designators



UTM projekce

- ◆ Nelze kombinovat data z dvou různých zón
 - každá zóna používá jinou projekci
- ◆ pravoúhlá (lokální) souřadná síť, v metrech
- ◆ Easting, Northings
- ◆ součástí udání polohy je i

NAD-83 Latitude, Longitude
30:16:28.82 N 97:44:25.19 W

NAD-83 UTM Easting, Northing
621160.98, 3349893.53 meters
Zone 14 R

UTM Example

Význam...

- ◆ Souřadný systém je základ pro ukládání prostorových dat
- ◆ Mapové projekce, převody, propojování
- ◆ Neustálé provázání globální polohy na geoidu – mojí aktuální polohy v realitě – vzdáleností k okolním bodům – plošnému vyjádření v mapě
- ◆ Rektifikace (v GIS: zanesení obrázku do souřadného systému)