

Stavební geodézie

Úvod do geodézie

Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

Stavební geodézie SG01

Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

B905

[http://k154.fsv.cvut.cz/~kremen/
tomas.kremen@fsv.cvut.cz](http://k154.fsv.cvut.cz/~kremen/tomas.kremen@fsv.cvut.cz)

Doporučená literatura:

Hánek, P. a kol.: Stavební geodézie. ČVUT v Praze, Praha 2007

Švec, M. a kol.: Stavební geodézie 10 – Praktická výuka. ČVUT v Praze, Praha 1998

Pospíšil, J.- Štroner, M.: Stavební geodézie – Doplnkové skriptum. ČVUT v Praze, Praha 2015

Úvod do geodézie

- Geodézie a stavební geodézie
- Tvar a rozměry zemského tělesa
- Náhradní plochy
- Princip zobrazování zemského povrchu
- Geodetické referenční systémy ČR (stabilní katastr, S-JTSK, S-42, WGS84)
- Náhrada sférické plochy rovinou, vliv nadmořské výšky, vliv zakřivení Země na výšky

Geodézie a stavební geodézie

Geodézie – vědní obor, který se zabývá zkoumáním tvaru a rozměru zemského tělesa a zobrazováním zemského povrchu. Základním úkolem geodézie je určení vzájemné polohy bodů na zemském povrchu nebo v prostoru a zobrazování těchto bodů do roviny. Slovo geodézie pochází z řečtiny a znamená „dělení Země“.

Historie

Egyptané prováděli geodetické práce při stavbách a obnově vlastnických hranic po každoročních nilských záplavách - pozemkový katastr.

Geodézie a stavební geodézie

Antika přinesla rozvoj názorů na Zemi (došli k závěru, že Země je kulatá), techniky měření, snaha o určení rozměru a tvaru Země, základy kartografie. Významní učenci: Pythagoras, Aristoteles, Heron Alexandrijský, Eratosthenes, Claudius Ptolemaios.



Ptolemaiova
mapa světa asi
150 n.l.

Geodézie a stavební geodézie

Evropský středověk byla v oblasti geodézie a kartografie doba temna.

Žaltářová mapa světa od neznámého autora, asi 1265



Geodézie a stavební geodézie

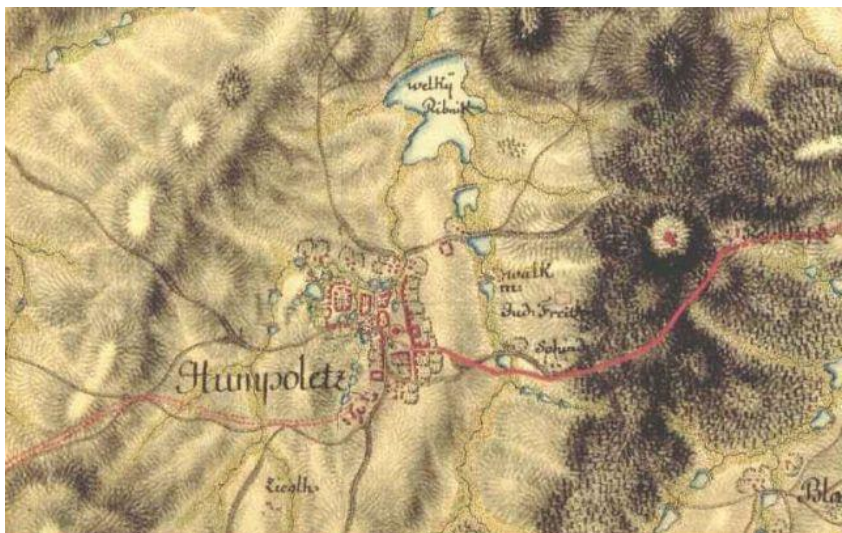
Další rozvoj především astronomie a kartografie přišel až v období zámořských objevů. Významní učenci: Koperník, Galilei, Kepler, Mercator, ...

Portolánová mapa Evropy z Katalánského atlasu

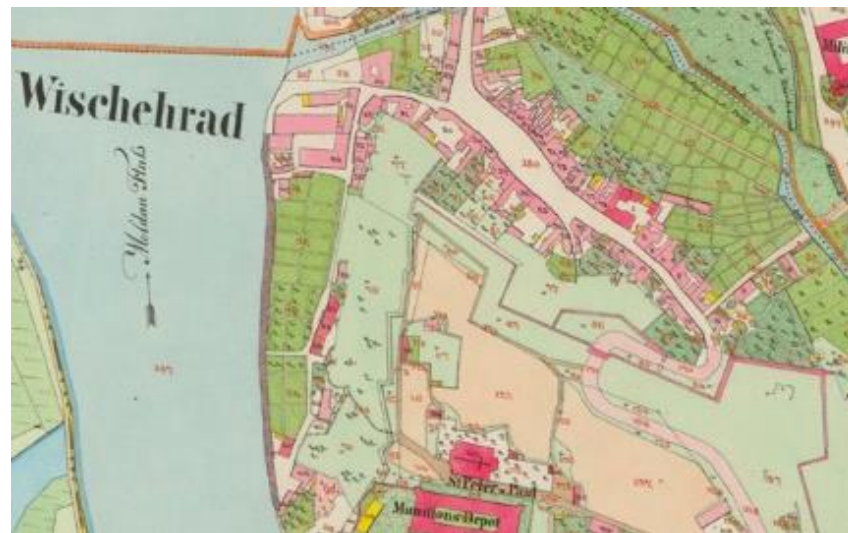


Geodézie a stavební geodézie

Od 18 století na základě potřeb moderních centralizovaných států dochází k budování celostátních geodetických sítí, celostátních mapovacích prací a moderního pozemkového katastru. Významní učenci: Gauss, Helmert, Bessel, Cassini.



1. Vojenské mapování, 18. stol.



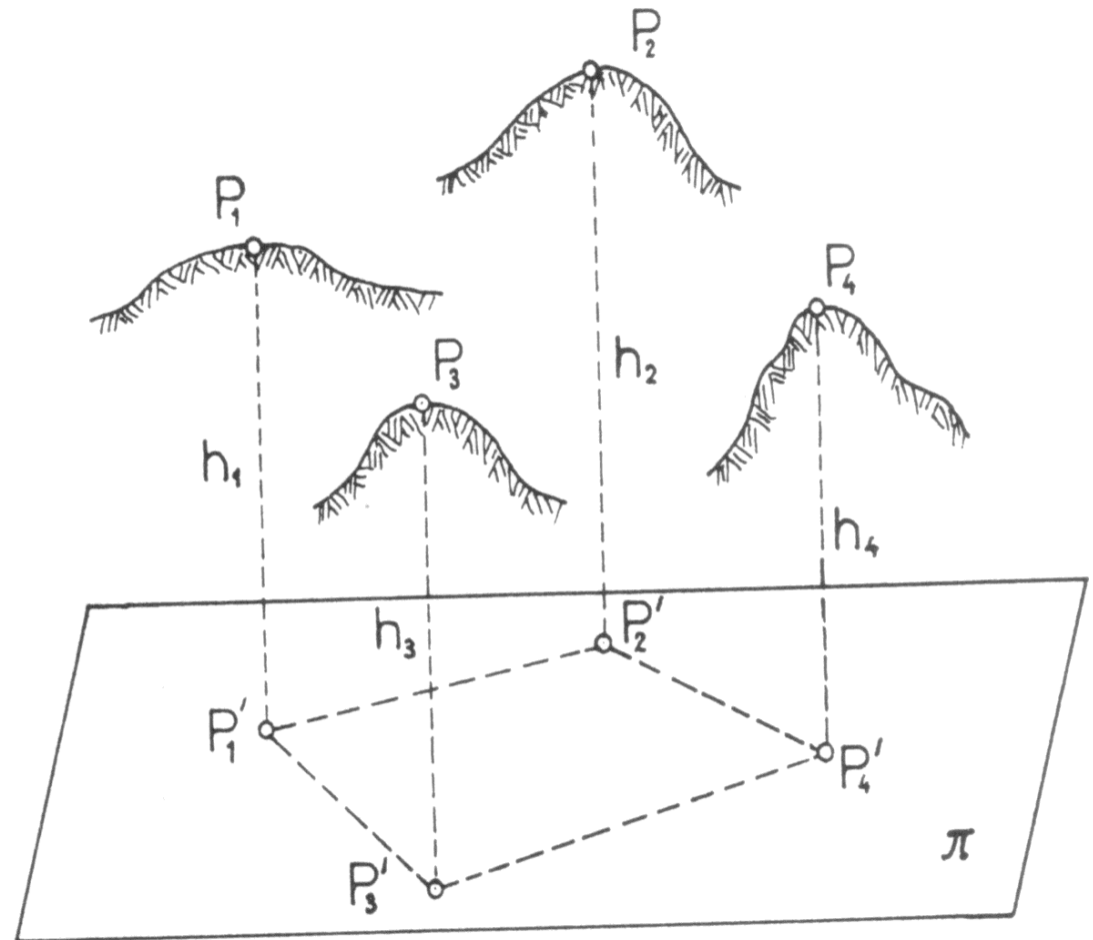
Císařský povinný otisk mapy stabilního katastru, polovina 19. stol.

Úkoly geodézie v investiční výstavbě

- Zobrazení vzájemné polohy jednotlivých bodů fyzického povrchu Země ve směru vodorovném a svislém (polohopis a výškopis)
- Vytyčení projektu v terénu
- Kontrola skutečného provedení stavby
- Dokumentace skutečného provedení stavby
- Měření posunů a přetvoření staveb a konstrukcí

Úkoly geodézie v investiční výstavbě - Polohopis, výškopis

- Polohopis - průmět bodů do vodorovné zobrazovací plochy, jejich vzájemné vztahy, kvalita
- Výškopis – svislé odlehlosti bodů od zobrazovací plochy



Úkoly geodézie v investiční výstavbě

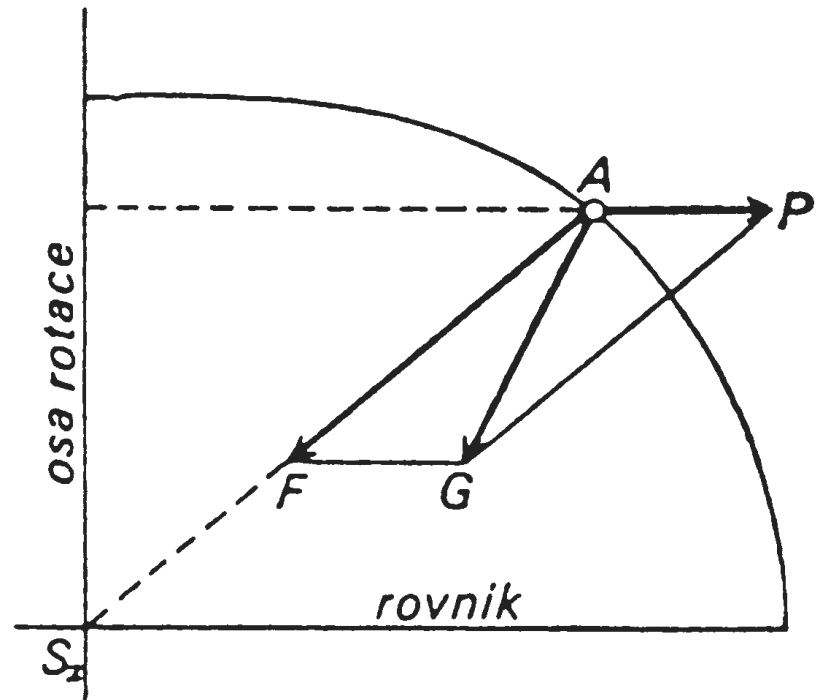
- Vytyčení projektu v terénu
Po dokončení stavby musí na sebe jednotlivé úseky navazovat v rámci předepsaných tolerancí a stavba, jako celek, opět musí navazovat v daných tolerancích na okolní stávající objekty.
- Kontrola skutečného provedení stavby
Ověření požadavků projektu.
- Dokumentace skutečného provedení stavby
Hotové dílo je třeba zaměřit a zdokumentovat (jeden z podkladů pro kolaudační řízení).
- Určování posunů a přetvoření staveb a konstrukcí
Změny mohou ovlivnit funkčnost a především bezpečnost provozu stavby (mosty, přehrady).

Tvar a rozměry zemského tělesa

- Planeta Země je fyzikální těleso, jehož tvar je vytvořený a udržovaný ve svém „stálém“ tvaru působením síly zemské tíže **G**, která je výslednicí síly přitažlivé **F** a síly odstředivé **P**.

F působí podle obecného gravitačního zákona.

P působí v důsledku zemské rotace.



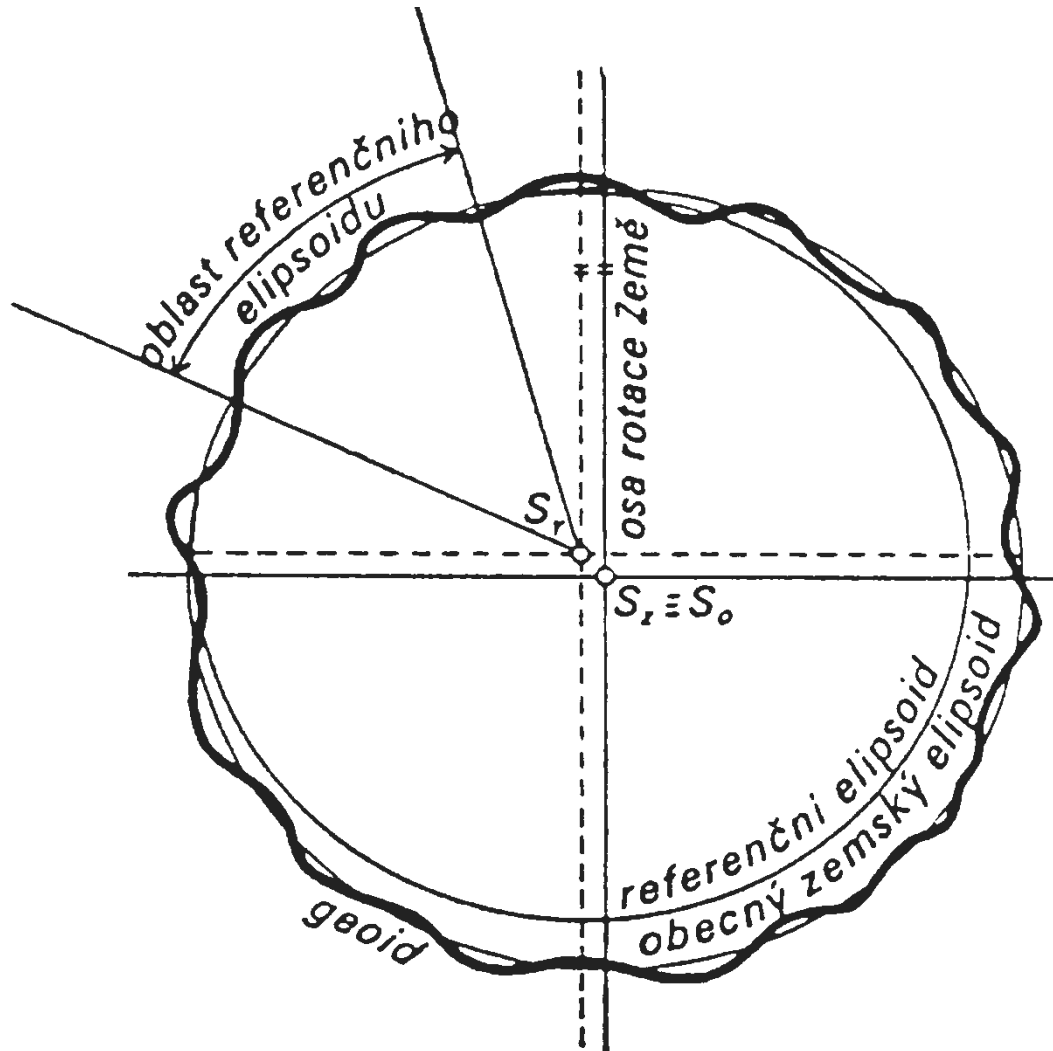
Náhradní plochy - geoid

- Skutečný zemský povrch je nepravidelný a nelze jej přesně matematicky popsat=> idealizuje se
- Idealizace pomocí tíhového pole Země – Země je idealizována tzv. hladinovou plochou, která je v každém bodě kolmá na směr zemské tíže a v každém jejím bodě má konstantní tíhový potenciál. Hladinových ploch je nekonečně mnoho a liší se od sebe hodnotou tíhového potenciálu.
V geodézii se používá tzv. nulová hladinová plocha, která prochází zvoleným nulovým výškovým bodem.
Tato plocha vytváří těleso zvané **geoid**. Povrch geoidu si lze představit jako plochu blízkou střední hladině moří. Pomocí geoidu jsou definovány **výšky**.

Náhradní plochy - elipsoid

- Geoid je těleso velmi složité a pro matematické řešení geodetických úloh nevhodné => idealizace Země rotačním elipsoidem, který je matematicky přesně definovanou plochou.
- Obecný zemský elipsoid – svými rozměry co nejlépe vystihuje geoid a jeho střed je totožný s hmotným středem Země. Malá poloosa je totožná s osou rotace Země.
- Referenční elipsoid – aproximuje geoid jen v určité konkrétní oblasti Země.

Náhradní plochy – geoid a elipsoid



Náhradní plochy – elipsoidy

- Rotačních elipsoidů je mnoho, záleží na oblasti a použitých měření.
- Parametry některých elipsoidů závazných geodetických systémů dle NV č.430/2006 Sb.:

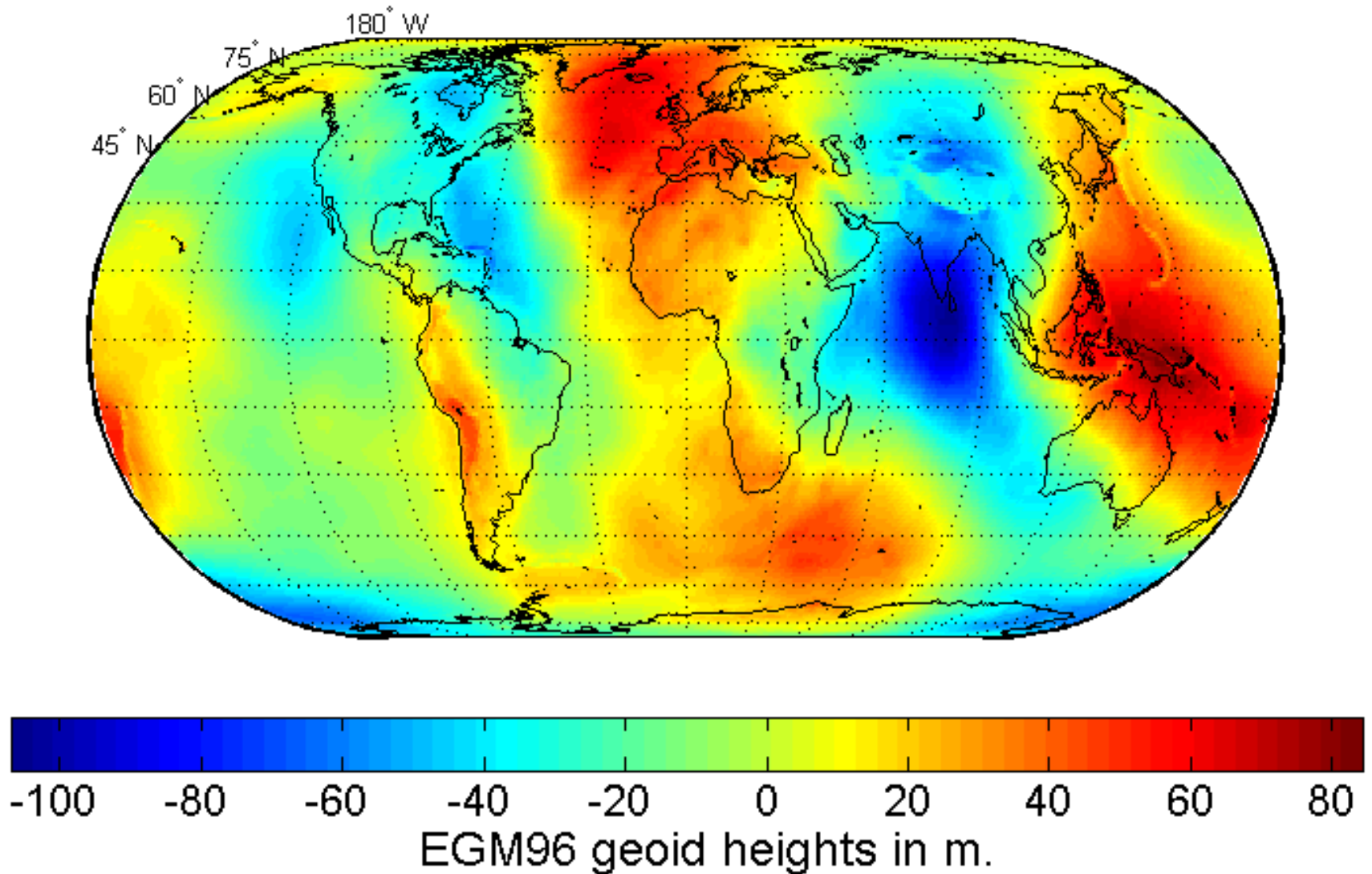
	Besselův elipsoid	Krasovského elipsoid	WGS-84
a	6 377 397,155 m	6 378 245,000 m	6 378 137,000 m
b	6 356 078,963 m	6 356 863,019 m	6 356 752,314 m
i	1 : 299,152	1 : 298,300	1 : 298,257

a – délka hlavní poloosy

b – délka vedlejší poloosy

i - zploštění

Zemský tíhový model 1996



Náhradní plochy - koule

- Pro řešení řady geodetických úloh, kde jsou kladeny nižší nároky na přesnost, lze použít jednodušší zobrazovací plochu, a to kouli o poloměru R . Koule může nahrazovat pouze část elipsoidu (referenční koule).
- Pro Československo (v případě Besselova elipsoidu) nabýval poloměr referenční koule při stejném objemu přibližně hodnoty $R = 6\,370,3$ km. Za podmínky rovnosti poloměru R koule s místním poloměrem křivosti elipsoidu pro $\phi = 50^\circ$ je $R = 6381$ km.

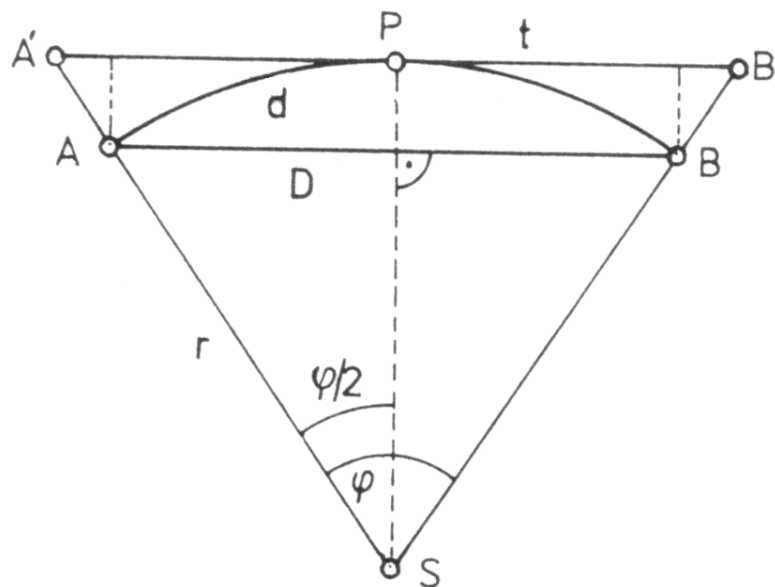
Náhradní plochy - rovina

- Při měření polohopisu na malém území (zhruba do průměru 30 km) lze sférický zemský povrch považovat za rovinu.

Náhrada sférické plochy rovinou

- Odvození rozdílu délky měřené na sférické ploše oproti délce měřené v rovině :

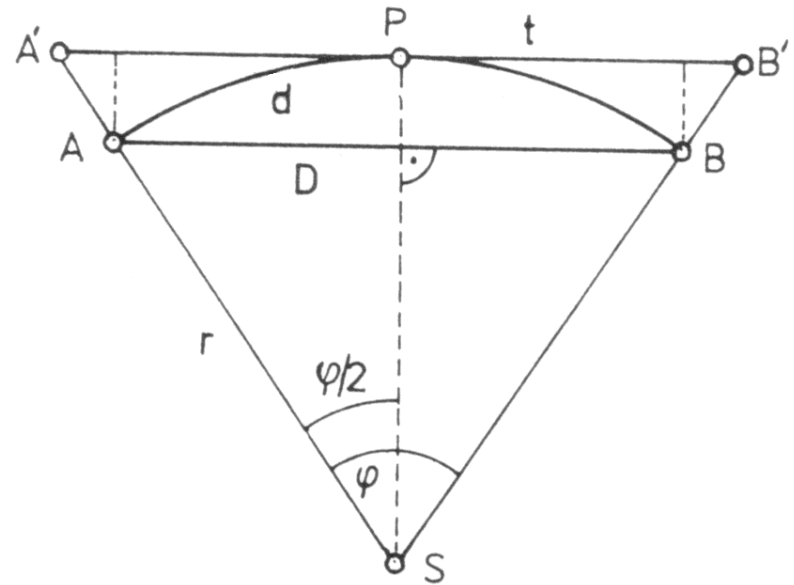
d - vzdálenost měřená v pravém horizontu bodu P ,
 t - vzdálenost měřená ve zdánlivém horizontu bodu P (tečna),
 D - délka přímé spojnice obou bodů A a B (tětiva).



$$\varphi = \frac{d}{r} \Rightarrow d = \varphi \cdot r$$

$$\tan\left(\frac{\varphi}{2}\right) = \frac{t}{2 \cdot r} \Rightarrow t = 2 \cdot r \cdot \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

$$\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) = \frac{D}{2 \cdot r} \Rightarrow D = 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$



$\tan(\varphi/2)$ a $\sin(\varphi/2)$ rozvineme Taylorovým rozvojem a omezíme se na první dva členy:

$$d - D = \frac{d^3}{24 r^2}, \quad t - d = \frac{d^3}{12 r^2}.$$

Po dosazení do vzorců dostaneme ($r=6380$ km):

d / km	(d - D) / mm	(t - d) / mm
1	0	0
5	0	0
10	1	2
15	4	8
20	9	19

Z tabulky vyplývá, že pro délky kratší než 15 km jsou rozdíly délek menší, než nejistota chybami běžného měření. Proto lze při měření polohopisu na ploše do průměru 30 km aproximovat sférický zemský povrch vodorovnou rovinou.

Princip zobrazování zemského povrchu

- Body zobrazené na ploše použitého elipsoidu (koule) je třeba převést do roviny. Pro tento převod se používá kartografické zobrazení, které se volí podle účelu a měřítka mapy.
- Kartografické zobrazení – vyjadřuje zcela určitou závislost mezi mapou a zobrazovanou referenční plochou, tedy umožňuje převod údajů z referenční plochy Země do referenční plochy mapy.
- Postup převodu:
Skutečnost → elipsoid (koule) → rovina (rozvinutelná plocha)

Kartografická zobrazení, kartografická zkreslení

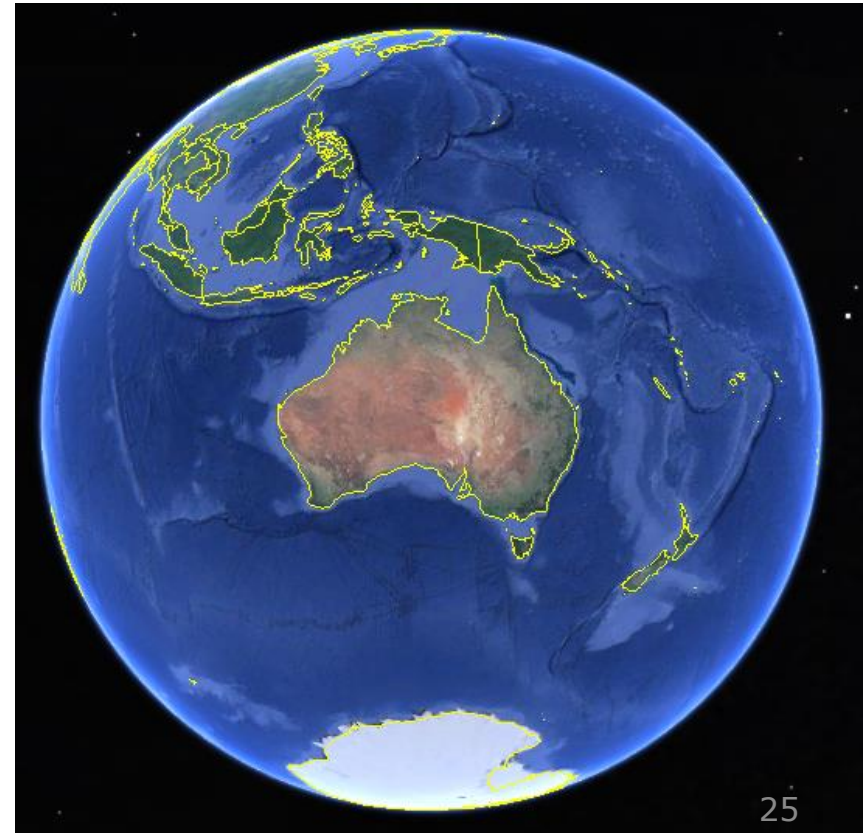
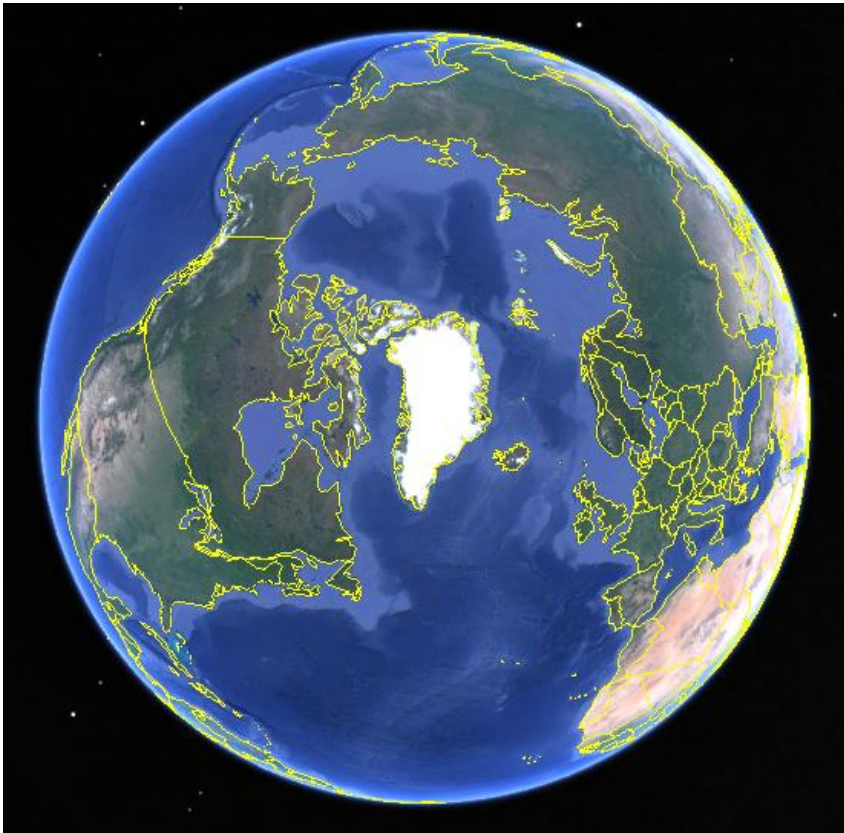
- Převodu údajů z referenční plochy Země do referenční plochy mapy nelze dosáhnout bez **zkreslení** některého ze základních prvků (úhly, plochy délky) =>
- Kartografické zkreslení – délkové, úhlové, plošné
- Kartografická zobrazení podle prvku, který **nebude zkreslen**:
 - konformní – nezkresluje úhly
 - ekvivalentní – nezkresluje plochy
 - ekvidistantní – nezkresluje délky v určitých směrech
 - vyrovnávací – zkresluje vše

Kartografická zobrazení - zkreslení

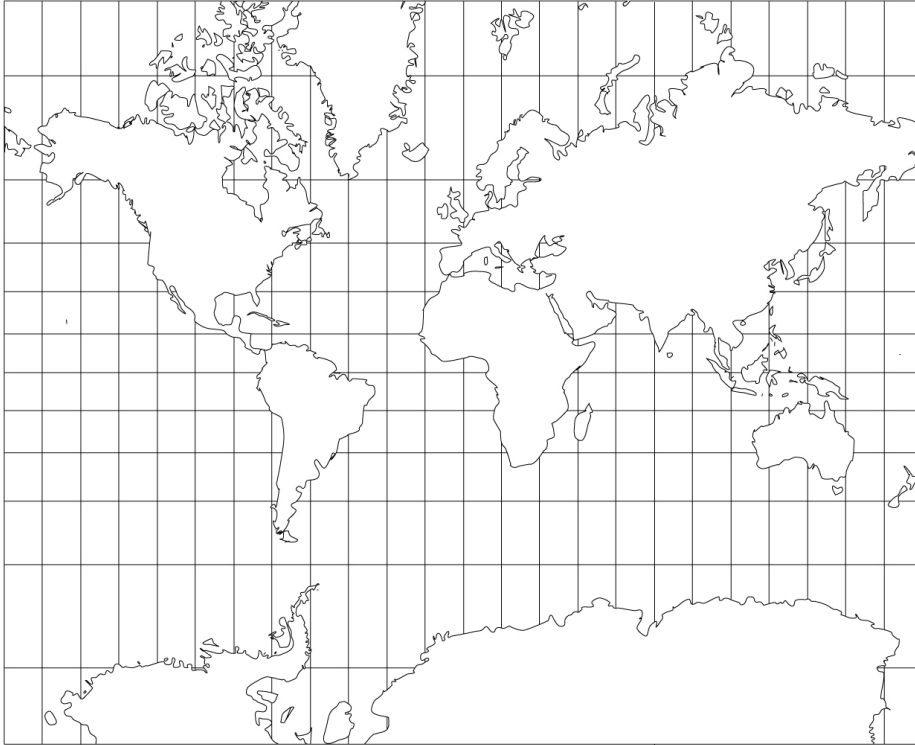
Skutečnost:

Grónsko (2 166 086 km²)

Austrálie (7 741 220 km²).

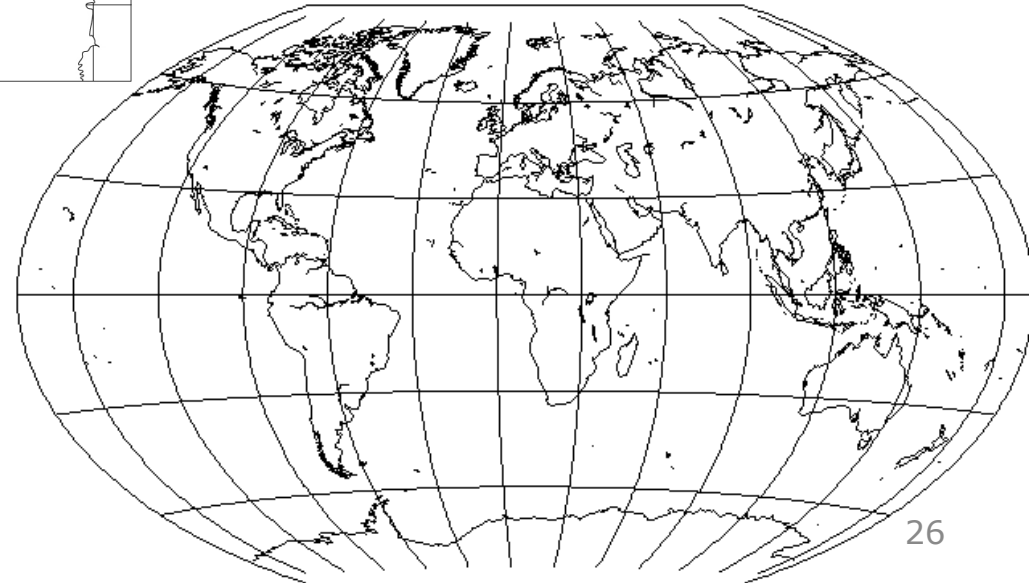


Kartografická zobrazení - zkreslení



Mercatorovo
konformní zobrazení

Winkelovo zobrazení
vyrovnávací



Kartografická zobrazení – další dělení

Kartografická zobrazení lze dělit podle rozvinutelných ploch na:

- Jednoduchá zobrazení
- Další (polykónická, polyedrická, ...)

Jednoduchá zobrazení se dělí podle **rozvinutelné plochy** na:

- Azimutální (rovinné)
- Válcové (cylindrické)
- Kuželové (kónické)

Jednoduchá zobrazení se dělí podle **osy** **rozvinutelné plochy** na:

- Normální
- Příčná
- Obecná

		Poloha		
		normální	příčná	obecná
Zobrazení	azimutální			
	válcové			
	kuželové			

Geodetické referenční systémy ČR

- **Stabilní katastr**

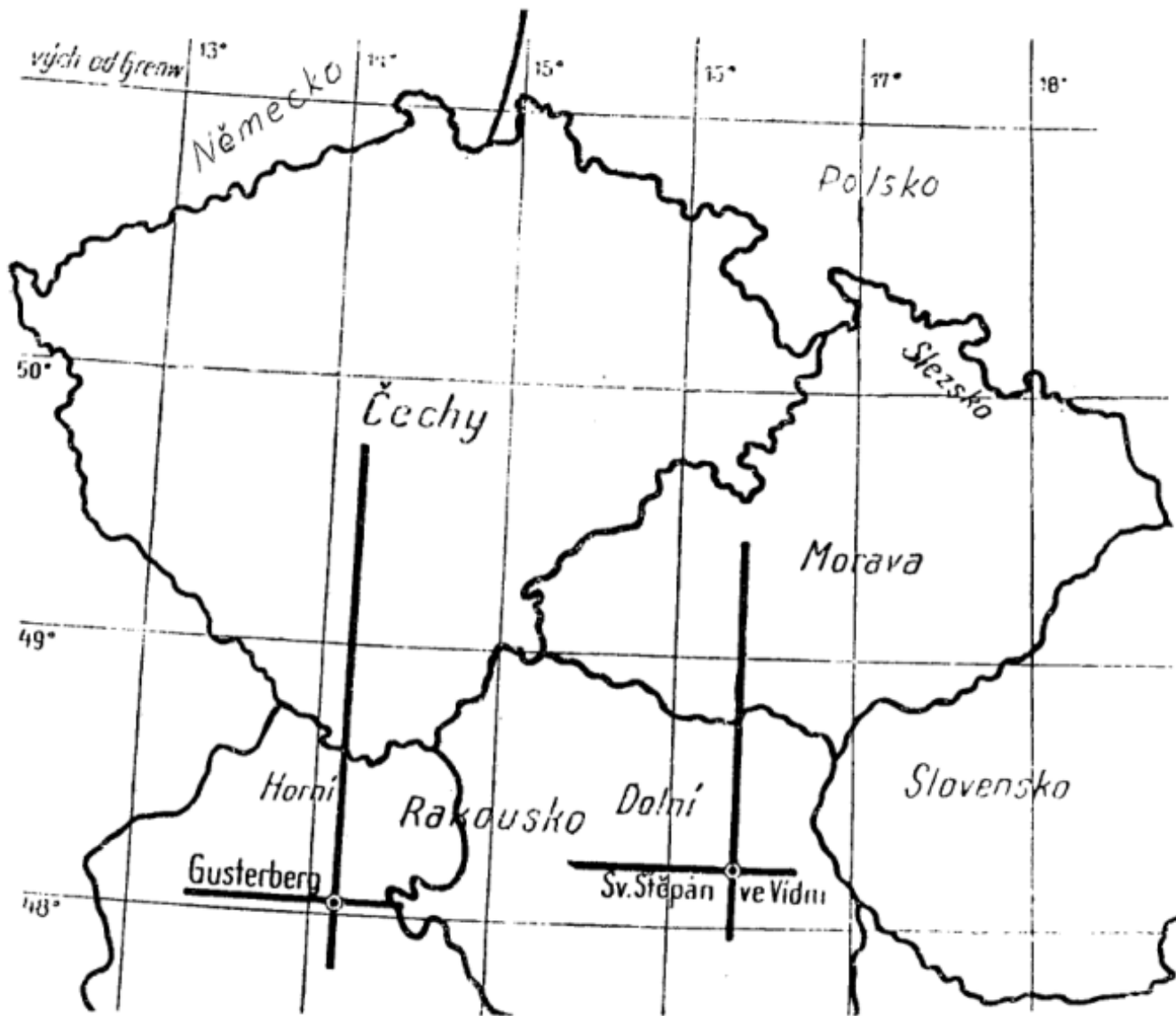
System habsburské monarchie pro katastrální mapy (měřítko 1:2880, později 1:2500).

Zobrazení Cassini-Soldnerovo – ekvidistantní transverzální válcové zobrazení (nezkresluje se základní poledník a k němu kolmé hlavní kružnice).

RU bylo rozděleno na 11 částí, aby nedocházelo k příliš velkému zkreslení. Na našem území se nachází dvě části: Gusterberská a Svatoštěpánská soustava. Počátek souřadnicových os byl vložen do trigonometrického bodu zhruba uprostřed území. Osa +X směřovala k jihu, osa +Y na západ.

Vliv délkového zkreslení dosahuje na okrajích území Čech až 46 cm/km.

V tomto systému je stále vyhotoveno cca 60% dosud používaných katastrálních map.



Geodetické referenční systémy ČR

- **S-JTSK**

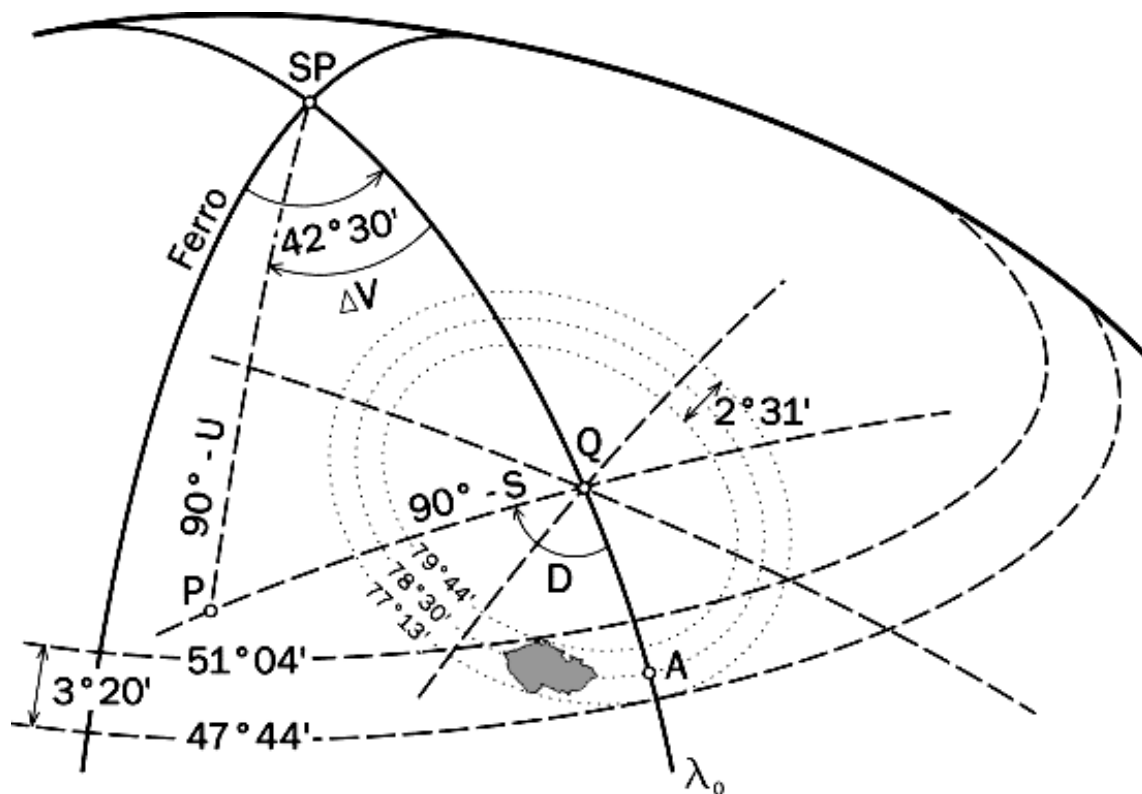
System jednotné trigonometrické sítě katastrální. Křovákovo zobrazení – dvojité kuželové konformní zobrazení v obecné poloze, zavedené v roce 1927 pro tehdejší ČSR, používá se dodnes v **civilním** sektoru.

Převod bodů z Besselova elipsoidu na kouli Gaussovým způsobem, která je dále konformně zobrazena na kuželovou plochu v obecné poloze.

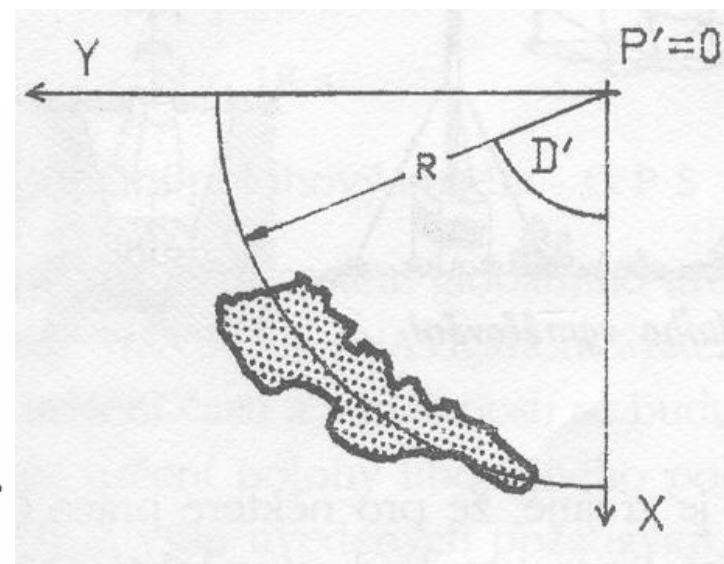
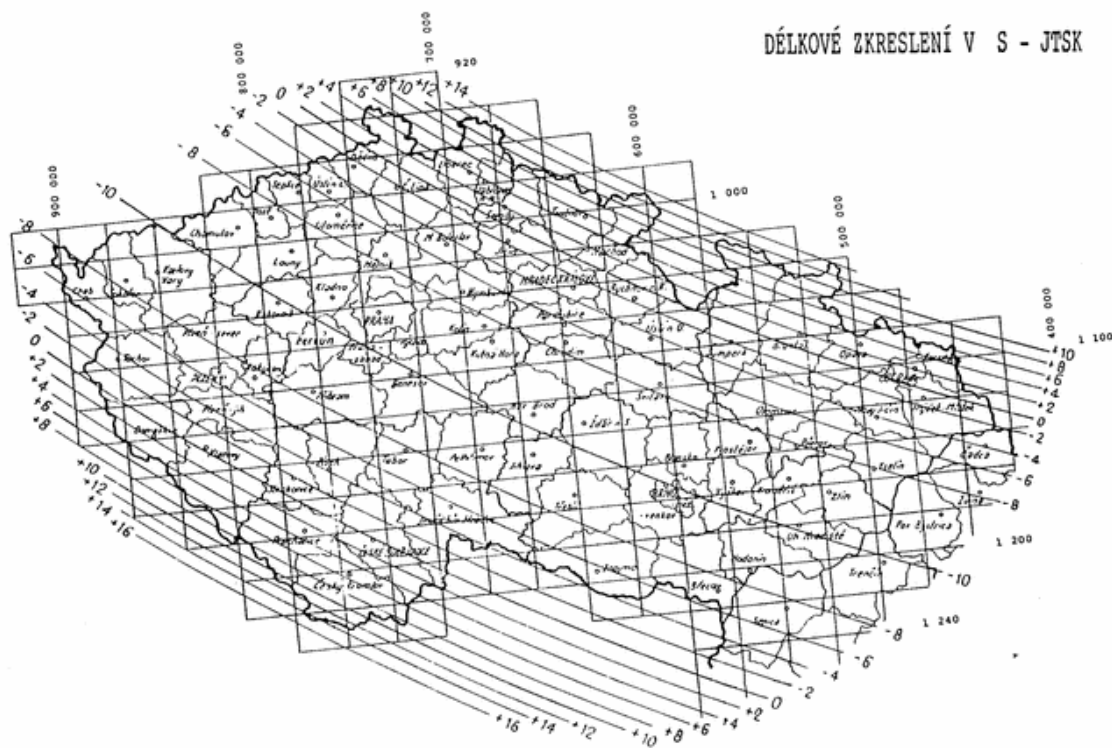
Základní kartografická rovnoběžka byla zvolena kolmo na zeměpisný poledník $\lambda=42^{\circ}30'$ východně od Ferra.

Následovala matematická úprava, kdy se zmenšil poloměr koule na hodnotu $0,9999R$ (nezkreslují se dvě kartografické rovnoběžky a velikost délkového zkreslení na okrajových rovnoběžkách je $1,0001$ a na základní rovnoběžce $0,9999$).

Kužel je plochý. Vrchol kužele je vzdálen od kartografického pólu přibližně 131 km a leží ve Finském zálivu nedaleko Helsinek.



Pravoúhlá rovinná soustava je umístěna tak, že osa $+X$ tvoří obraz základního poledníku a směřuje k jihu. Počátek je vložen do obrazu vrcholu kužele. Osa $+Y$ kolmá na osu X a míří na západ. Tím byla celá ČSR vložena do **I. kvadrantu**. Každý bod má pouze kladné souřadnice a platí, že $Y < X$. Souřadnice bodů se uvádí v pořadí Y, X .



Geodetické referenční systémy ČR

- **S-42**

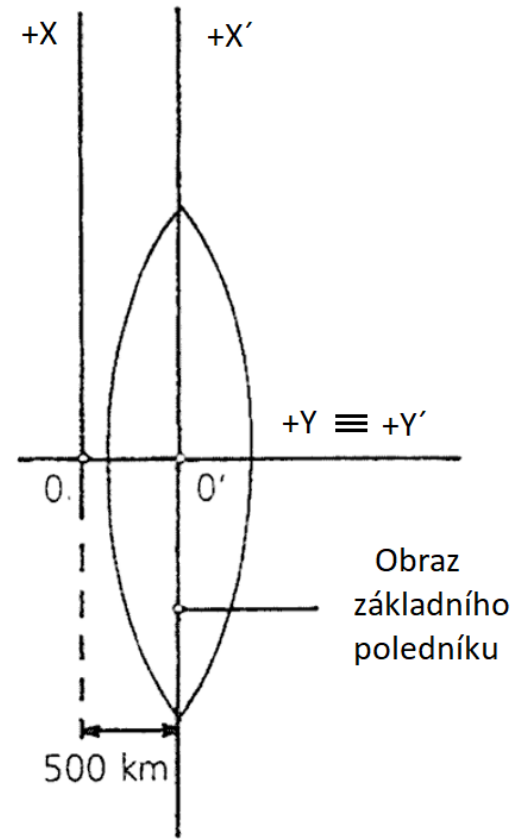
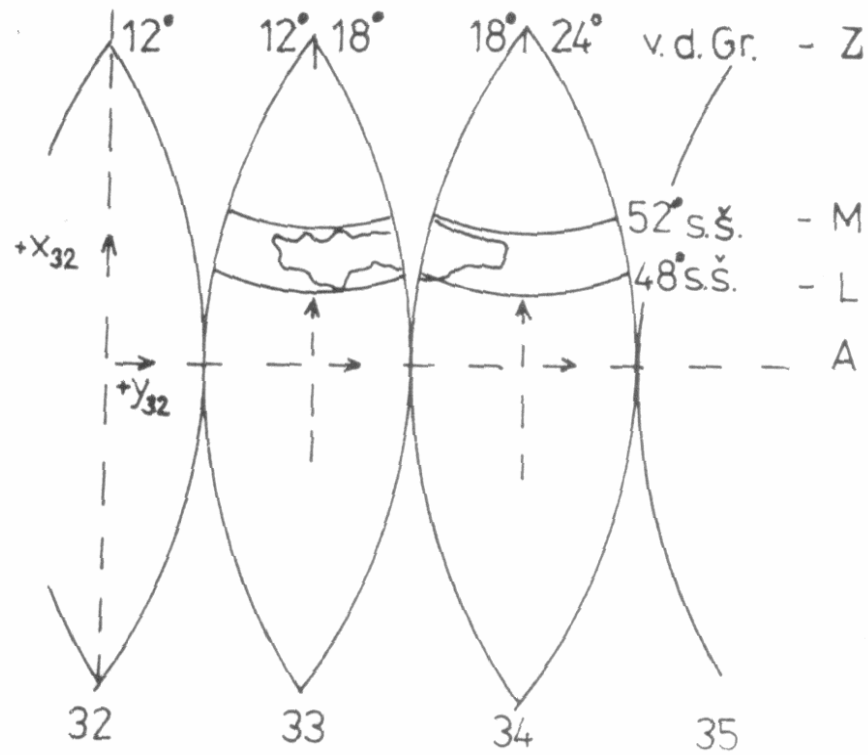
System vojsk Varšavské smlouvy, Krasovského elipsoid, Gauss-Krügerovo zobrazení, tj. příčné konformní válcové zobrazení šestistupňových poledníkových pásů z elipsoidu přímo do roviny.

Střední poledník každého šestistupňového pásu je nezkreslen. Počátek souřadnicové soustavy je volen v průsečíku tohoto poledníku s obrazem rovníku. Osa +X směřuje k severu, osa +Y na východ.

Aby se na našem území nevyskytly záporné souřadnice Y, je k nim připočítáno 500 km, a ještě se přidává předčísli pásu (3 nebo 4 od Greenwiche), tím je poloha zcela jednoznačně určena. Délkové zkreslení na okraji pásu v našich šířkách je +57 cm/km.

Byl používán pro vojenské účely.

S-42



Geodetické referenční systémy ČR

- **WGS84**
World Geodetic System 1984 – Světový geodetický systém 1984, definován ministerstvem obrany USA. Geocentrický souřadnicový systém.

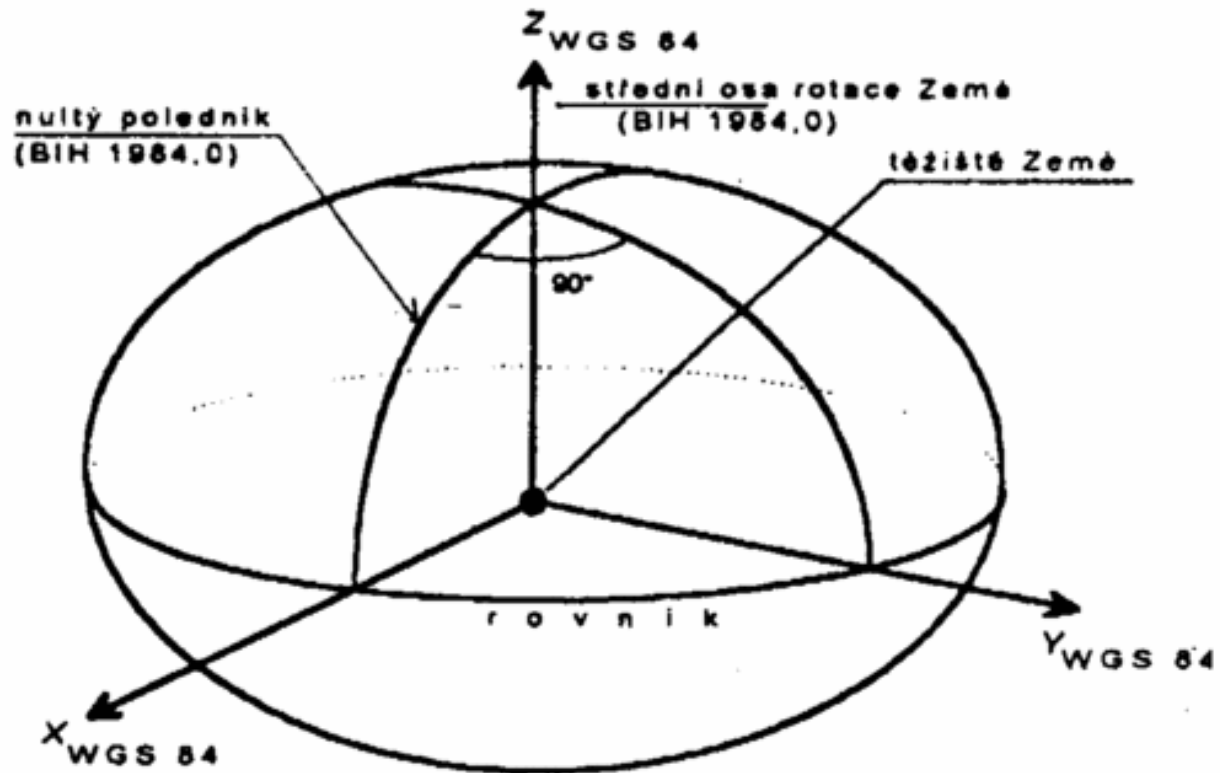
Elipsoid WGS84

Zobrazení UTM (Universal Transverse Mercator). Příčné konformní válcové zobrazení šestistupňových poledníkových pásů z elipsoidu přímo do roviny, nezkrsluje dva poledníky a nepoužívá se pro pólové oblasti. Délkové zkreslení na okraji pásu v našich šířkách je +17 cm/km, střední poledník má zkreslení -40 cm/km.

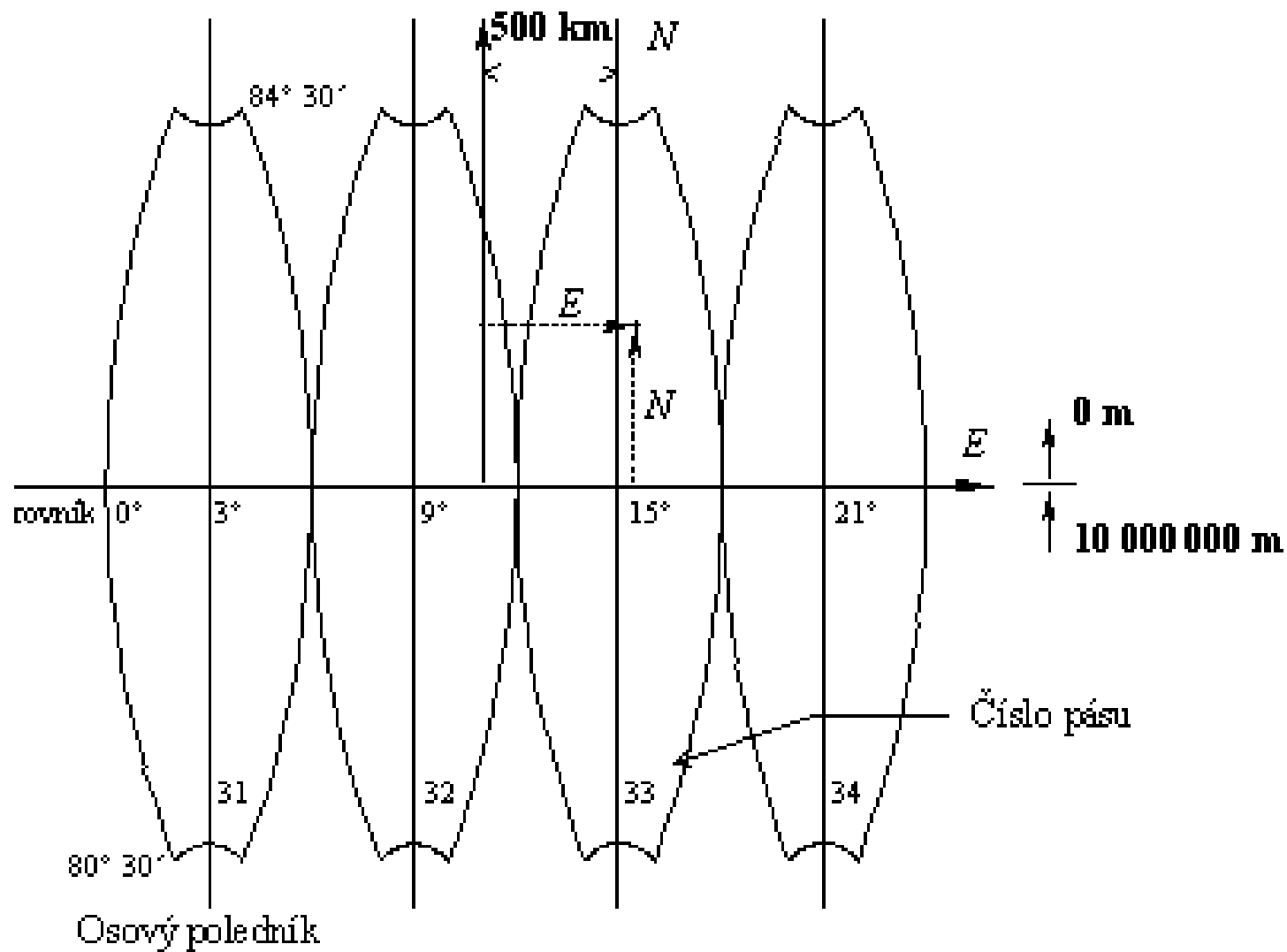
Osa +X směřuje k severu, osa +Y na východ. Je používán pro navigaci a vojenské účely státy NATO.

WGS 84

Schéma geocentrického souřadného systému WGS84



WGS 84 – zobrazení UTM

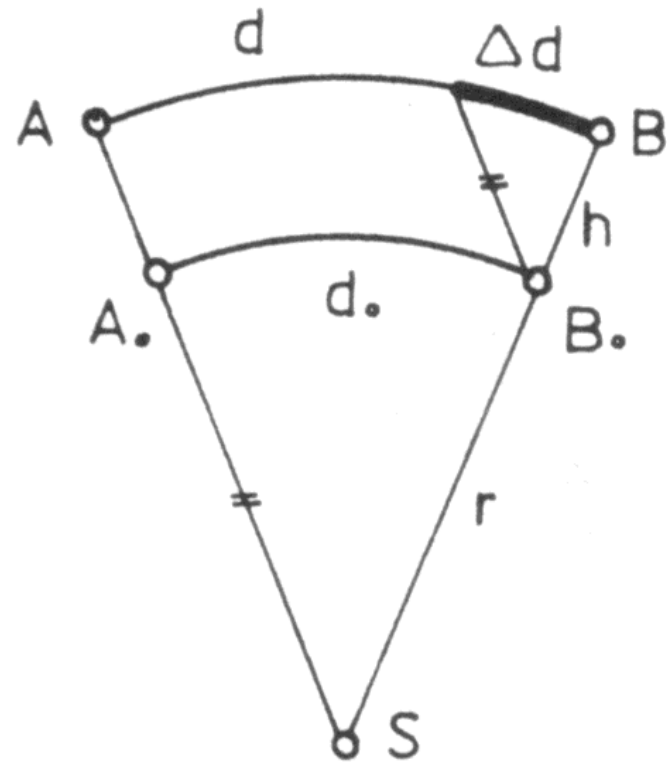


Vliv nadmořské výšky na měřenou délku

$$d_0 = d - \Delta d$$

$$\frac{\Delta d}{h} = \frac{d}{(r+h)}$$

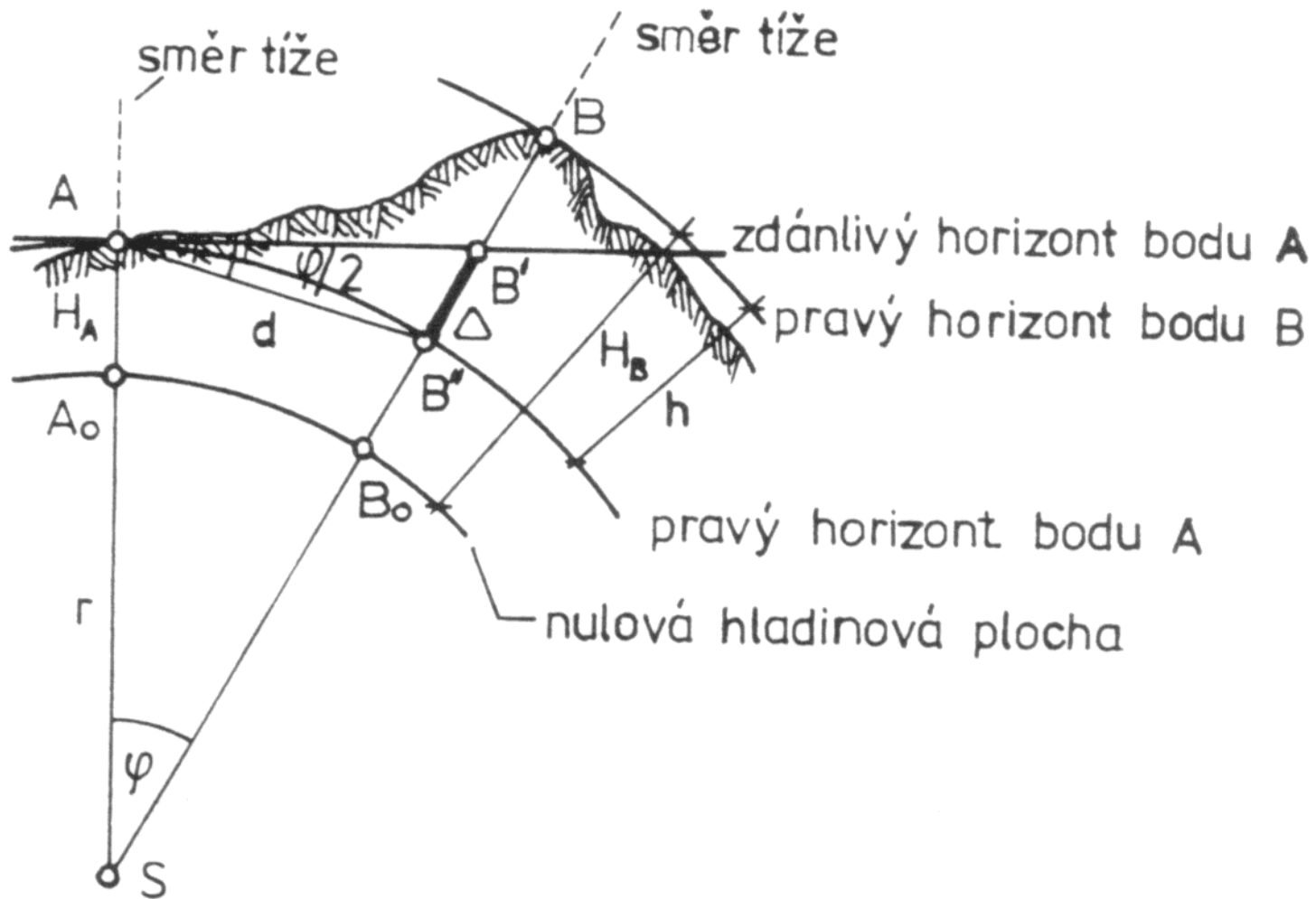
$$\Delta d = d \cdot \frac{h}{(r+h)} \cong d \cdot \frac{h}{r}$$



Opravy délek v závislosti na nadmořské výšce

d [m]	Δd [mm] pro h = 500 m	Δd [mm] pro h = 1000 m
100	8	17
200	17	33
500	42	83
1000	83	167

Vliv zakřivení Země na výšky



Vliv zakřivení Země na výšky

$$\Delta = \frac{d^2}{2 \cdot r}$$

d [m]	Δ [mm]
50	0
100	1
250	5
350	10
1000	83
5000	2083