

Geodézie pro architekty

Úvod do geodézie

Geodézie pro architektky

Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

B905

<https://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 pro obor A. ČVUT v Praze, Praha 2010

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, WGS84)
- Náhrada sférické plochy rovinou, vliv nadmořské výšky, vliv zakřivení Země na výšky
- Měřické body

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. Geodézie = dělení Země

Rozdělení geodézie:

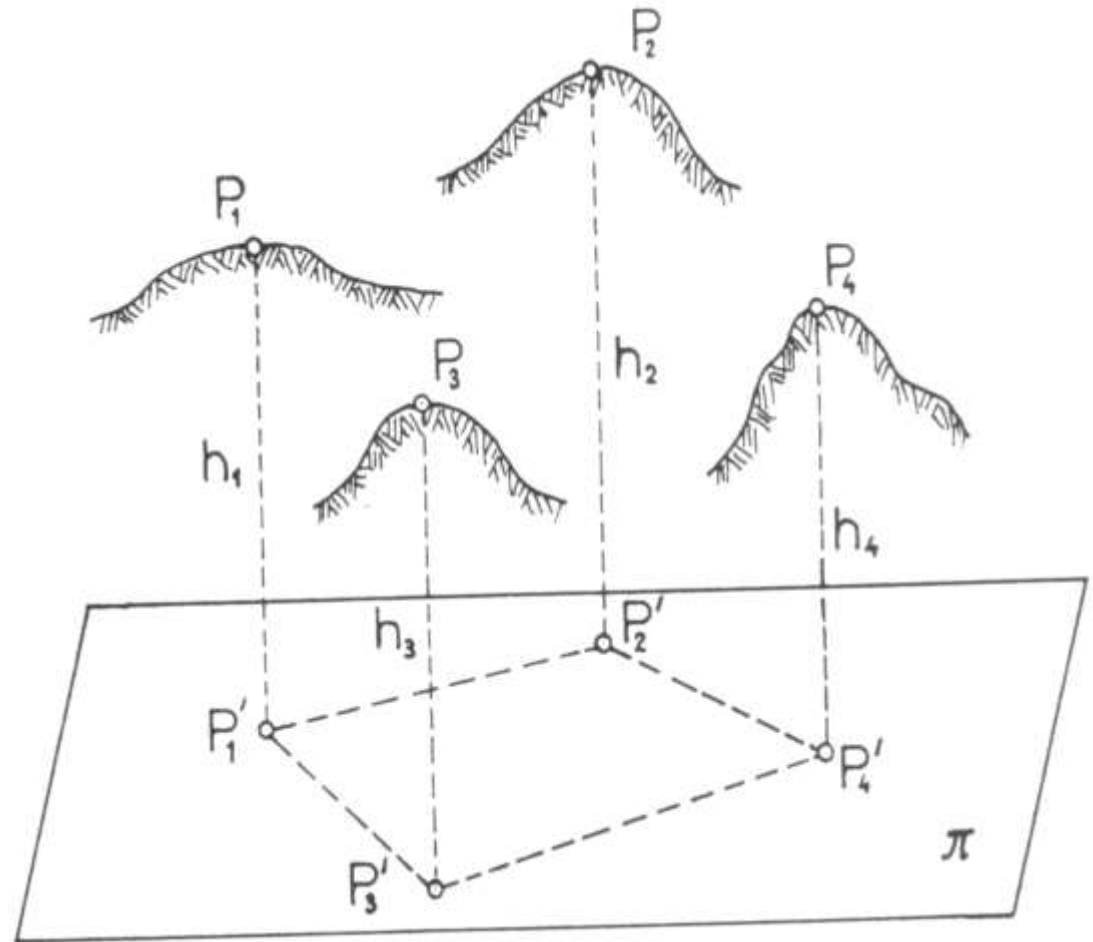
- Vyšší geodézie
- Technická (nižší) geodézie
 - Inženýrská geodézie

Úkoly geodézie v investiční výstavbě

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

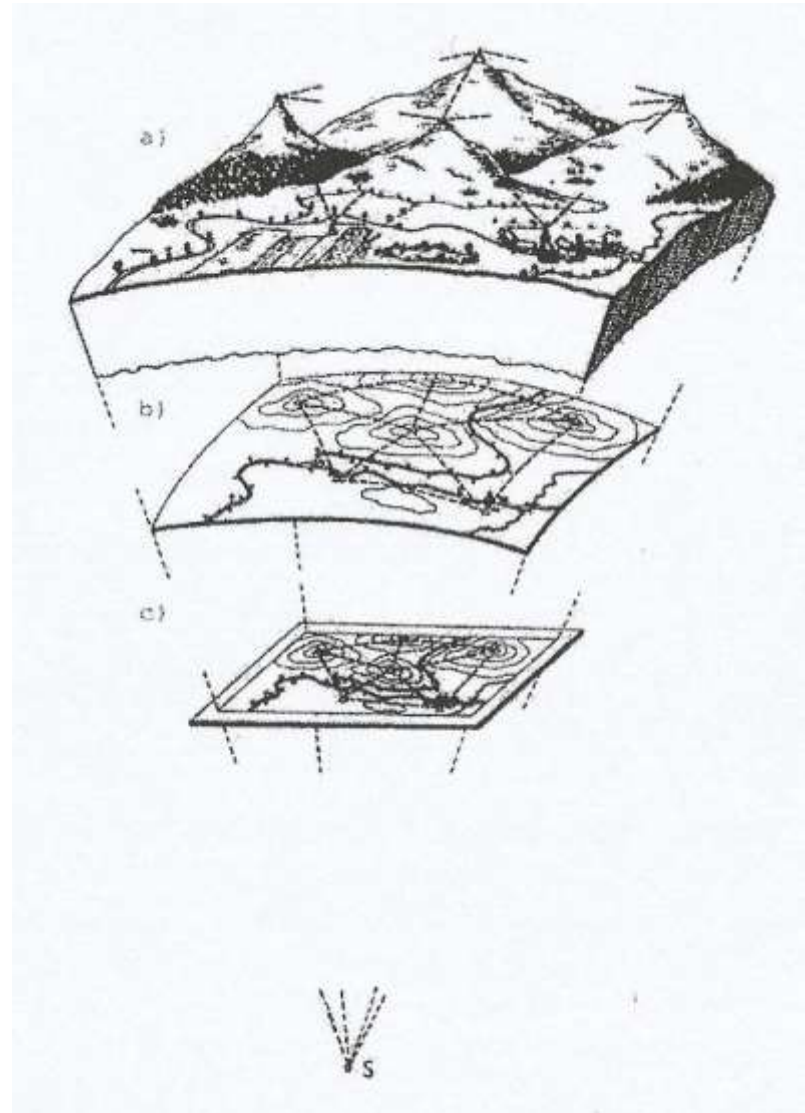
Polohopis, výškopis

- Polohopis - průmět bodů do vodorovné zobrazovací plochy a jejich pospojování včetně popisu
- Výškopis – svislé odlehlosti bodů od zobrazovací plochy



Převedení terénu do roviny

- a) Reálný zemský povrch
- b) Zobrazení na zvolenou sférickou referenční plochu
- c) Zobrazení do roviny



Úkoly geodézie v investiční výstavbě

- Příprava a projektování staveb
Tvorba či doplnění geodetických podkladů, návržení a vybudování vytyčovací sítě, vytyčovací výkresy, projekt měření posunů.
- 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.
Prostorové vytyčení stavby, vytyčení tvaru a rozměrů objektu.

Úkoly geodézie v investiční výstavbě

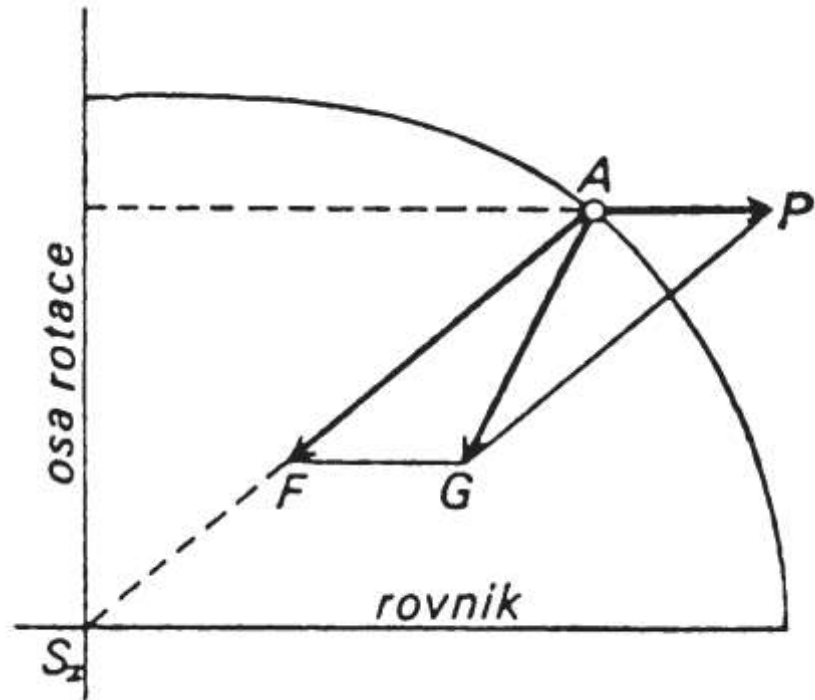
- Kontrola skutečného provedení stavby
Ověření požadavků projektu.
- Dokumentace skutečného provedení stavby
Hotové dílo je třeba zaměřit a zdokumentovat (jeden z podkladů pro kolaudační řízení).
- Určování posunů a přetvoření staveb a konstrukcí
Změny mohou ovlivnit funkčnost a především bezpečnost 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.



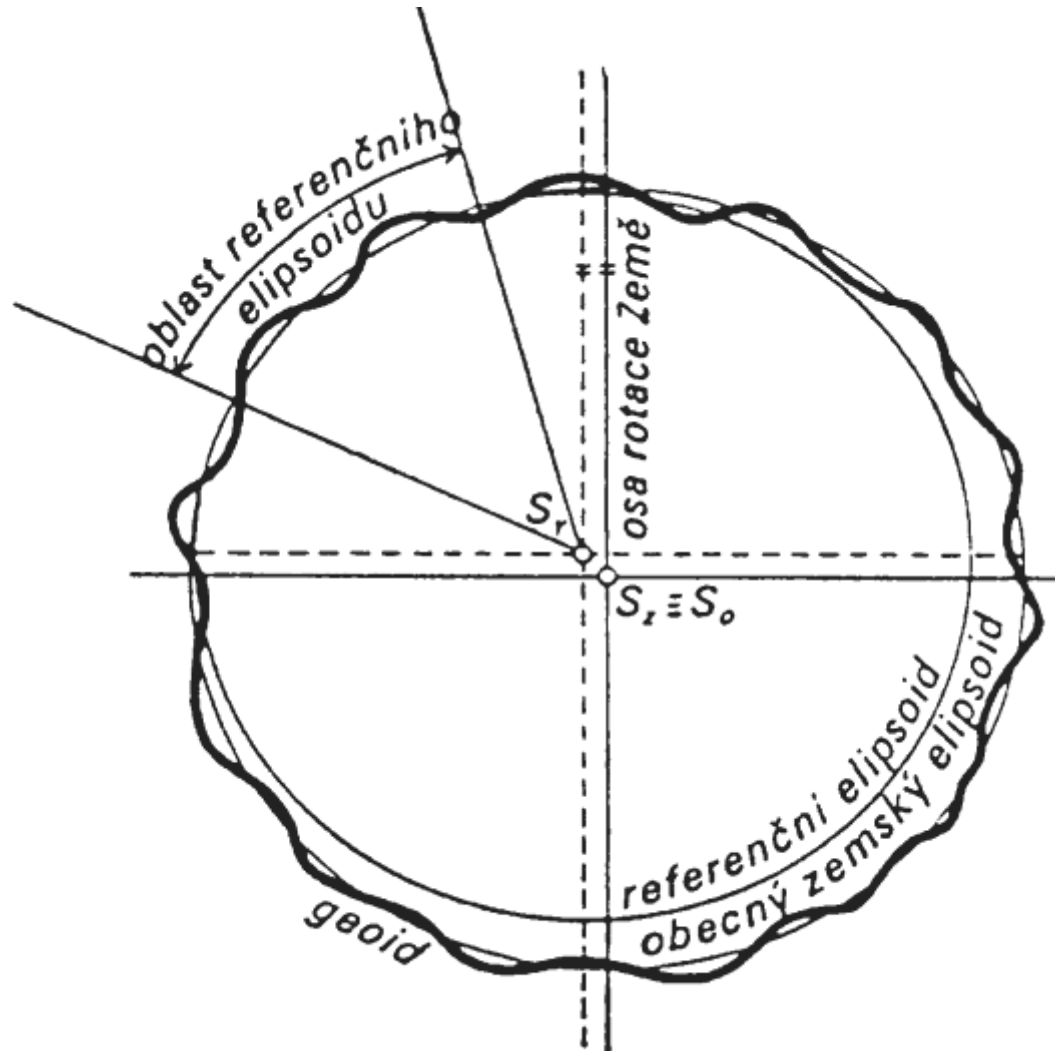
Náhradní plochy - geoid

- 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.159/2023 Sb.:

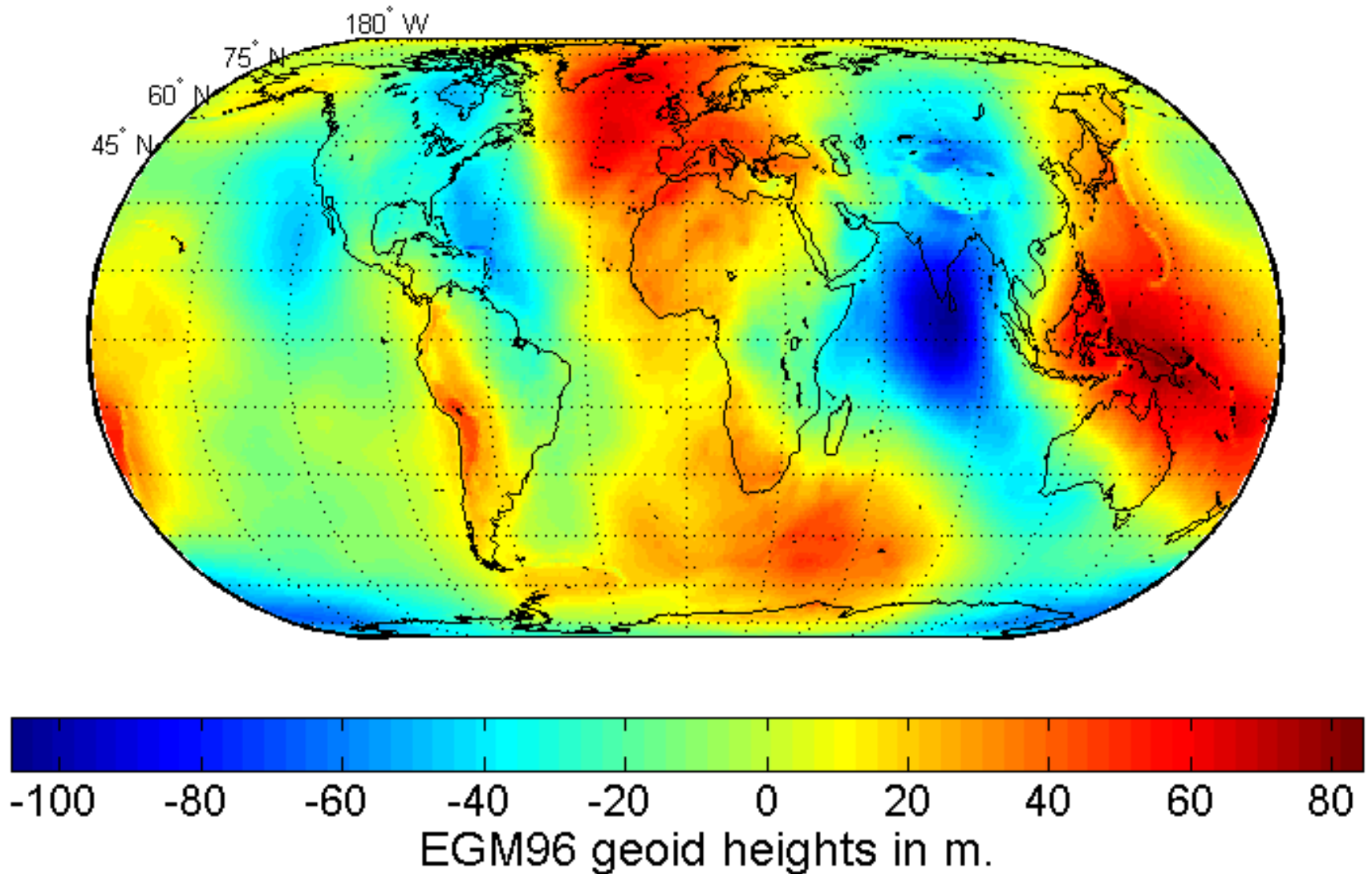
	Besselův elipsoid	WGS-84
a	6 377 397,155 m	6 378 137,000 m
b	6 356 078,963 m	6 356 752,314 m
i	1 : 299,152	1 : 298,257223563

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.

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

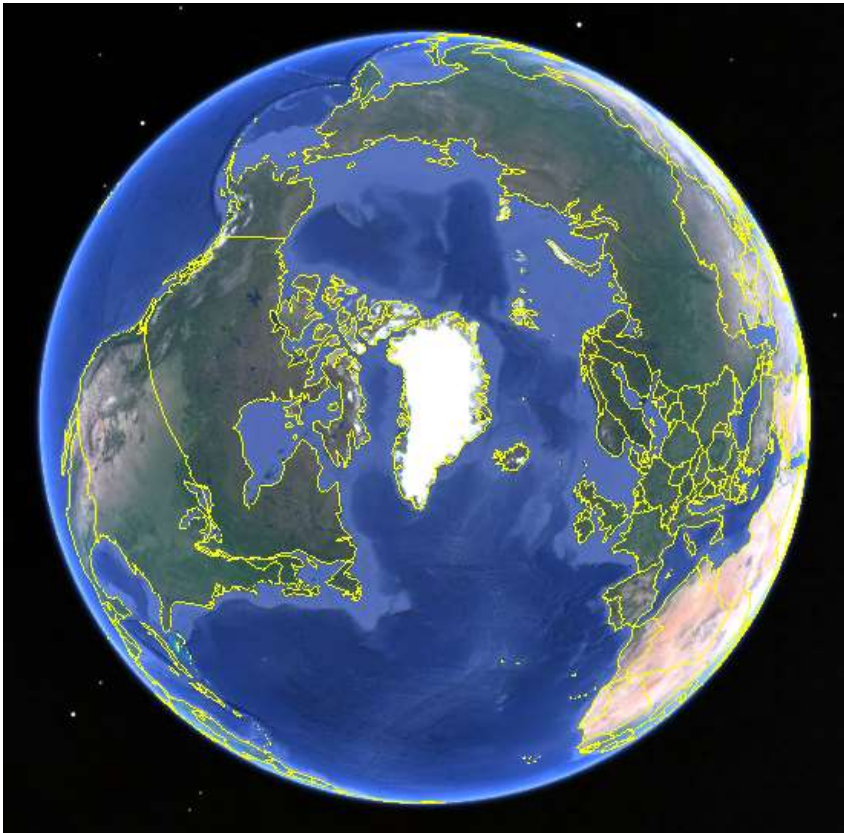
- Převodu údajů z referenční plochy Země do referenční plochy mapy nelze dosáhnout bez **zkreslení** některého ze základních prvků (úhly, plochy délky) =>
- Kartografické zkreslení – délkové, úhlové, plošné
- Kartografická zobrazení podle prvku, který **nebude** zkreslen:
 - konformní - nezkresluje úhly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

Kartografická zobrazení - zkreslení

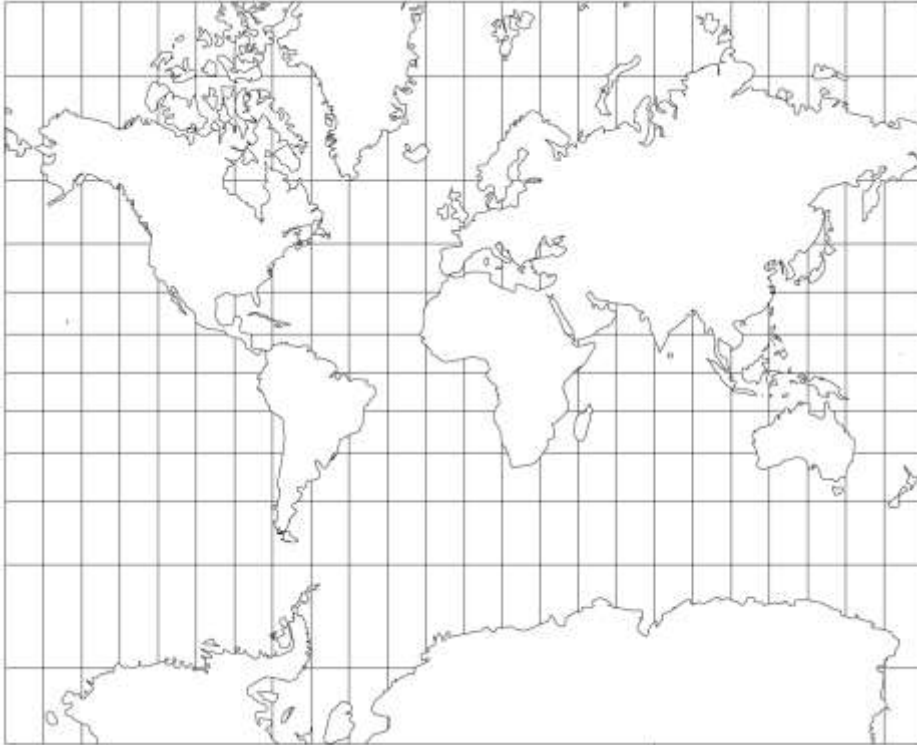
Skutečnost:

Grónsko (2 166 086 km²)

Austrálie (7 741 220 km²).

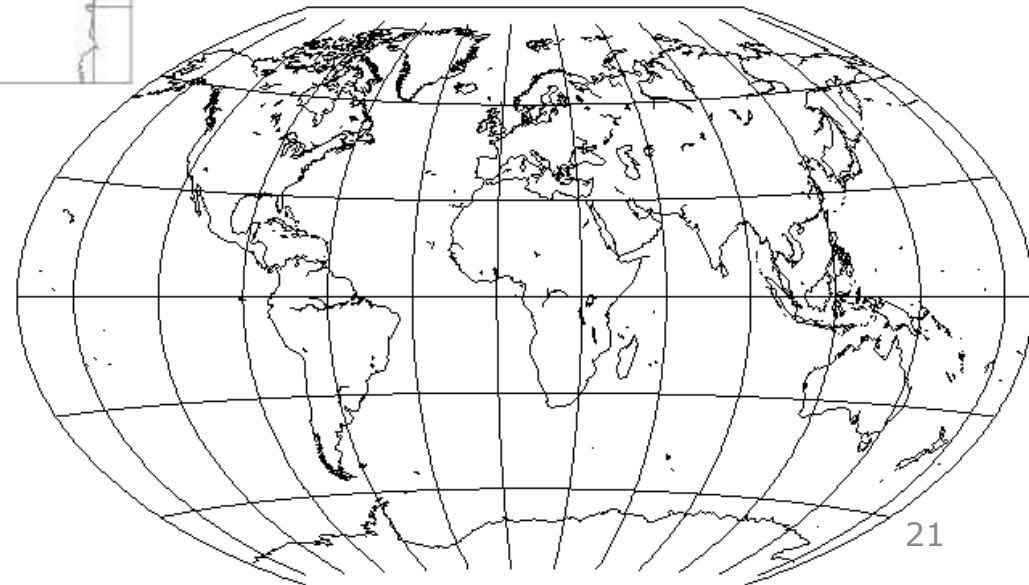


Kartografická zobrazení - zkreslení



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			

Vybrané geodetické referenční systémy ČR

- **Souřadnicový systém**

system umožňující určitými geometrickými prostředky jednoznačně určit polohu libovolného bodu na ploše nebo v prostoru, např. systém pravoúhlých souřadnic, systém geodetických (zeměpisných) souřadnic, polární souřadnicový systém; souřadnicový systém je charakterizován počátkem souřadnic, souřadnicovými osami a jejich orientací.

- **Vybrané geodetické referenční souřadnicové systémy na našem území**

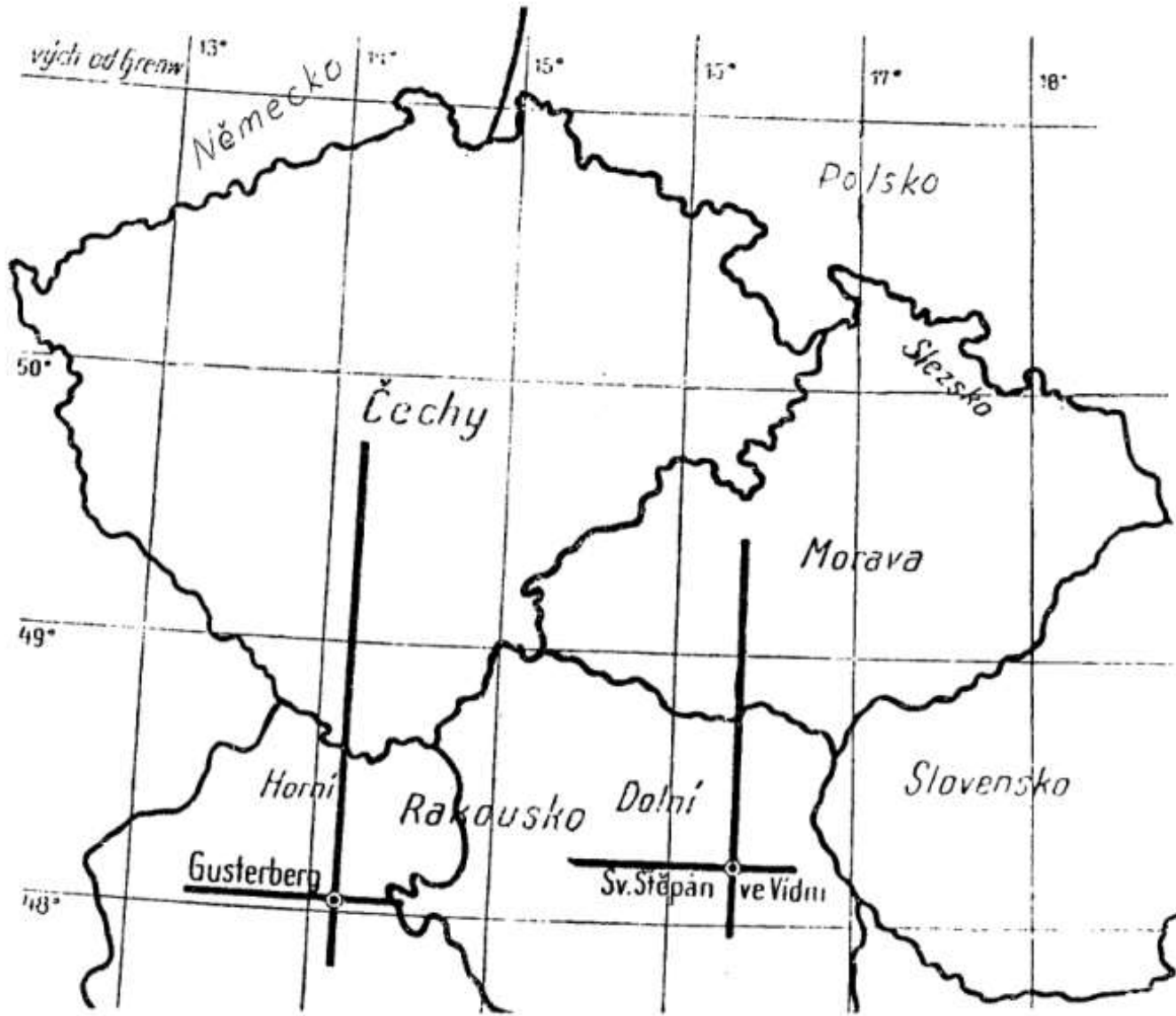
System stabilního katastru

System jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK)

Světový geodetický systém 1984 (WGS84)

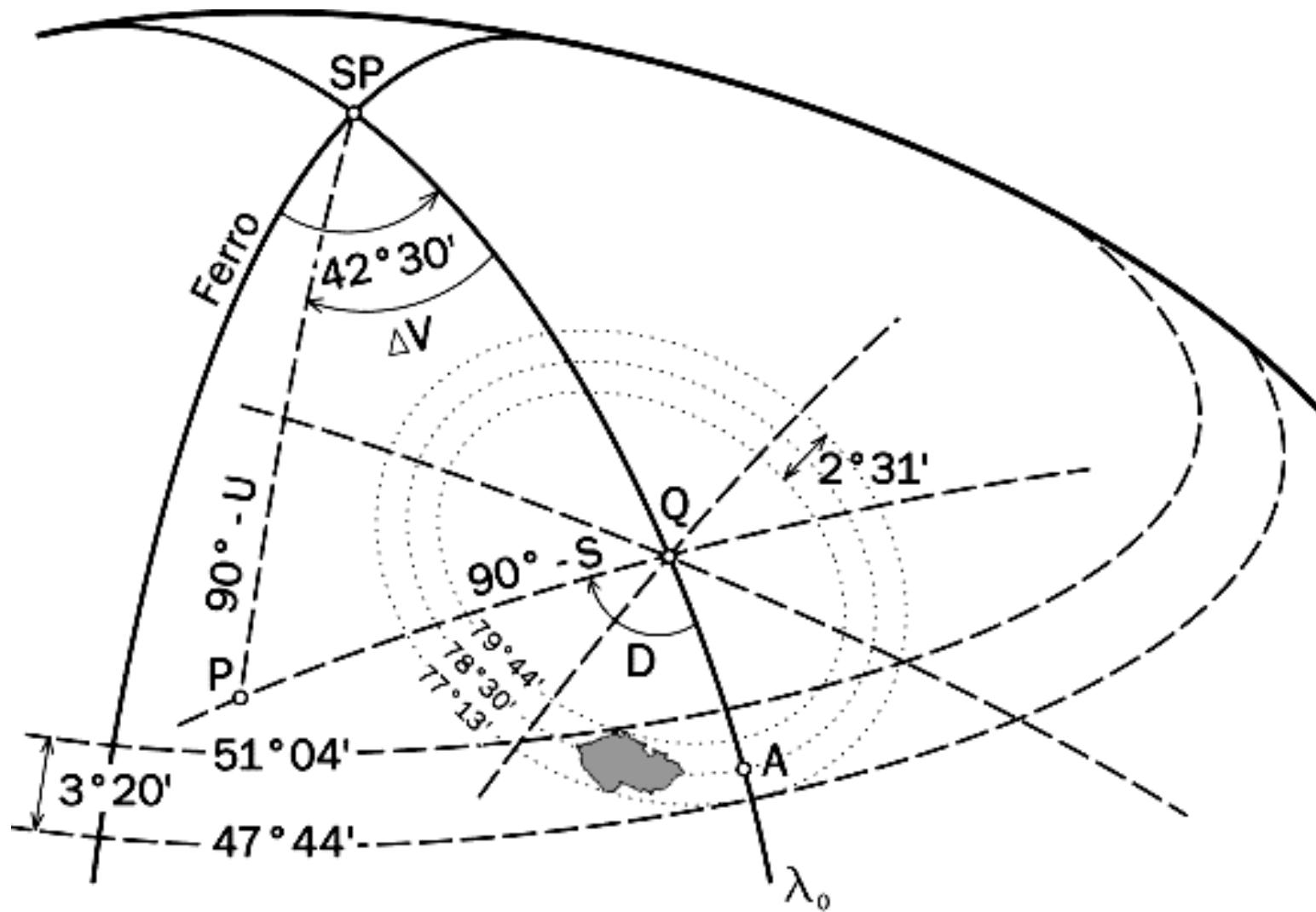
Stabilní katastr

- Systém habsburské monarchie pro katastrální mapy (měřítko 1:2880 a 1:2500).
- Zobrazení Cassini-Soldnerovo – ekvidistantní transverzální válcové zobrazení.
- 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.
- V tomto systému je stále vyhotoveno cca 60% dosud používaných katastrálních map.

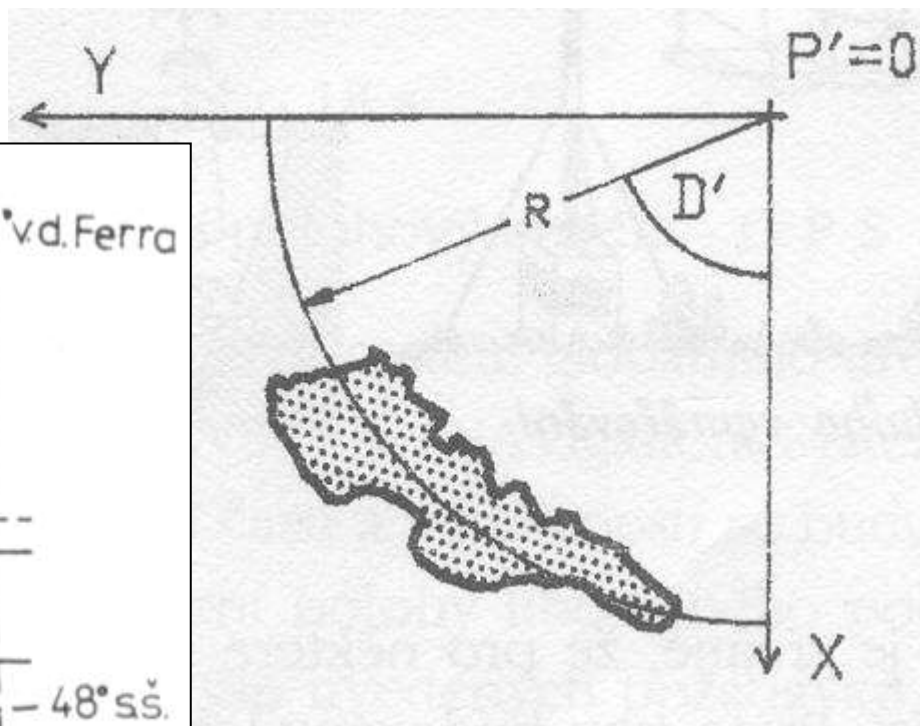
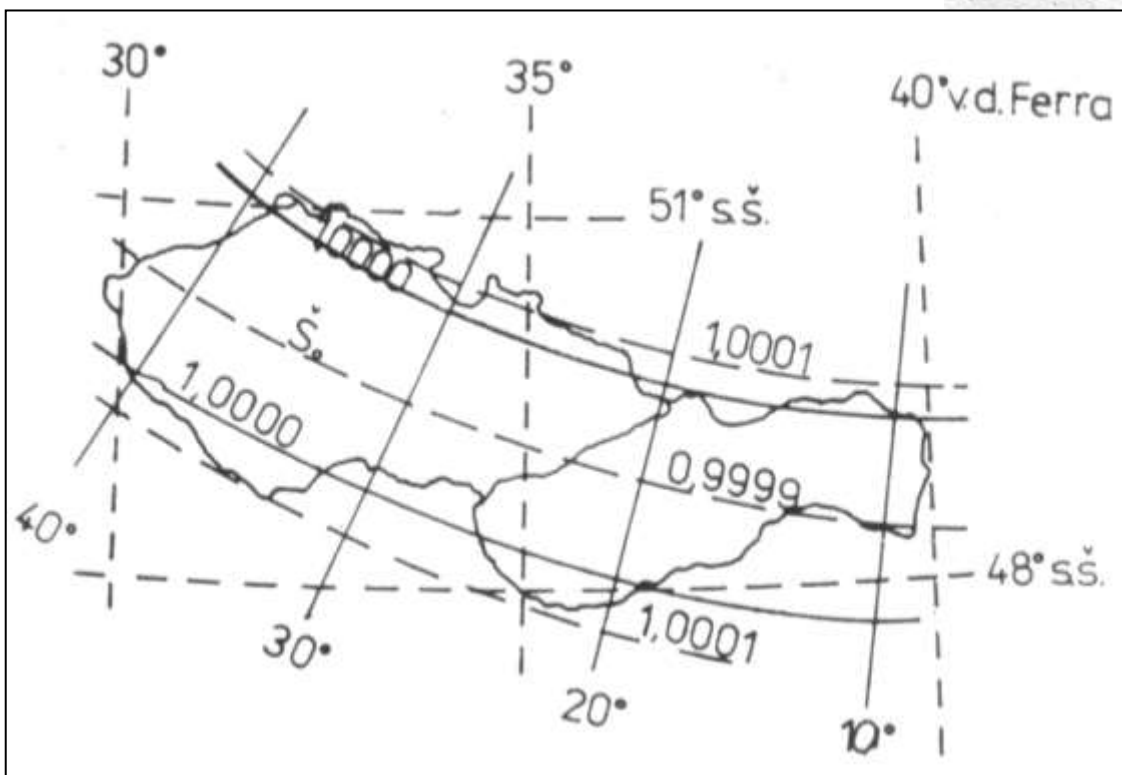


S-JTSK

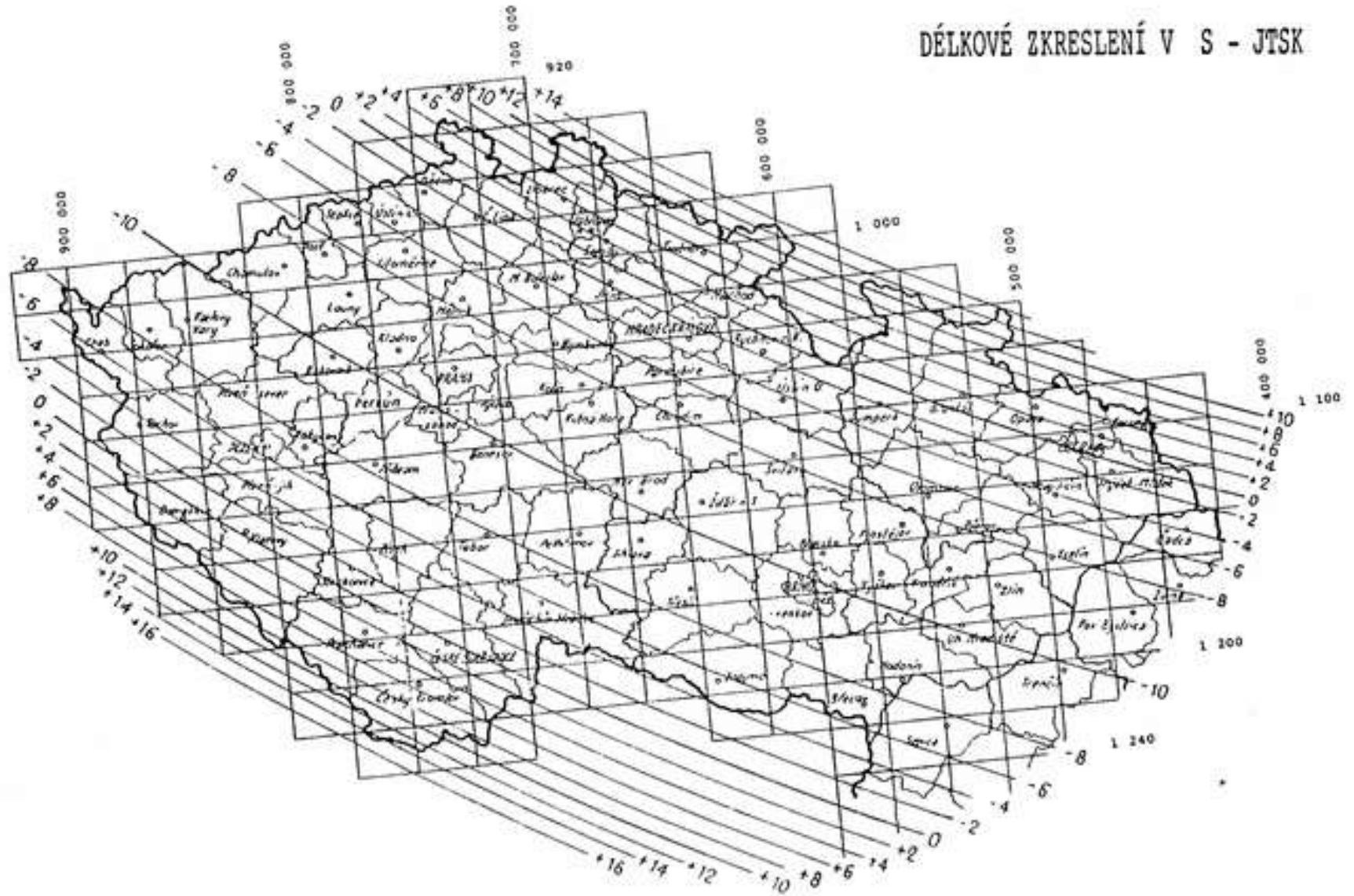
- Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální. Křovákovo zobrazení – dvojitě kuželové konformní zobrazení v obecné poloze, zavedené v roce 1927 pro tehdejší ČSR, **používá** se dodnes v **civilním** sektoru.
- Převod bodů z Besselova elipsoidu na kouli Gaussovým způsobem, která je dále konformně 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 je na okrajích $1,0001$ a uprostřed $0,9999$).



Pravoúhlá rovinná soustava je umístěna tak, že osa +X tvoří obraz základního poledníku a směřuje k jihu. Počátek je vložen do kužele (leží ve Finském zálivu). Osa +Y 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.



DÉLKOVÉ ZKRESLENÍ V S - JTSK

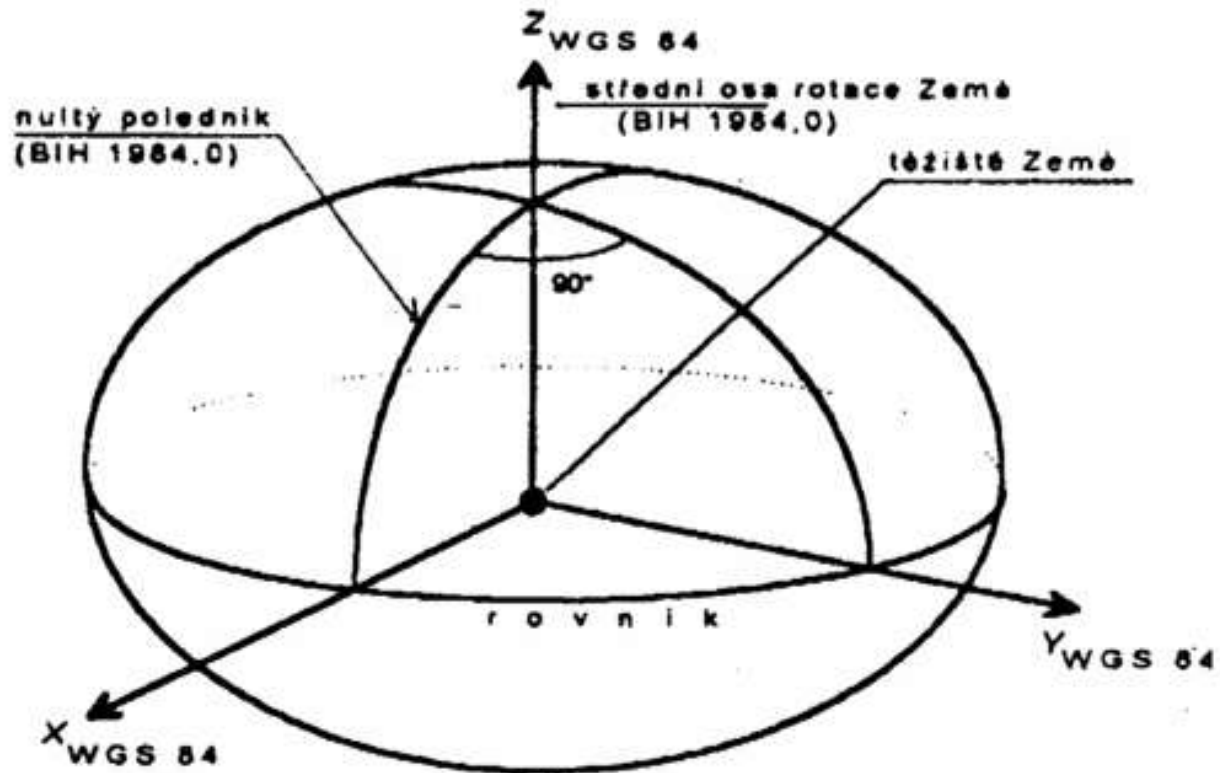


Světový geodetický systém 1984

- Zkratka názvu **WGS84** (World Geodetic System 1984), definován ministerstvem obrany USA. Používá elipsoid WGS84. **Jedná se o geocentrický souřadnicový systém.**
- Prostorové souřadnice
- Počátek souřadnicového systému se nachází ve středu elipsoidu WGS 84. Kladná osa X směřuje k průsečíku nultého poledníku a rovníku, kladná osa Y leží v rovině rovníku a je pootočena o 90° na východ od osy X a osa Z splývá s rotační osou elipsoidu a kladná část směřuje na sever.
- Na našem území je dále určen souborem souřadnic WGS84 v realizaci G873

WGS 84

Schéma geocentrického souřadného systému WGS84



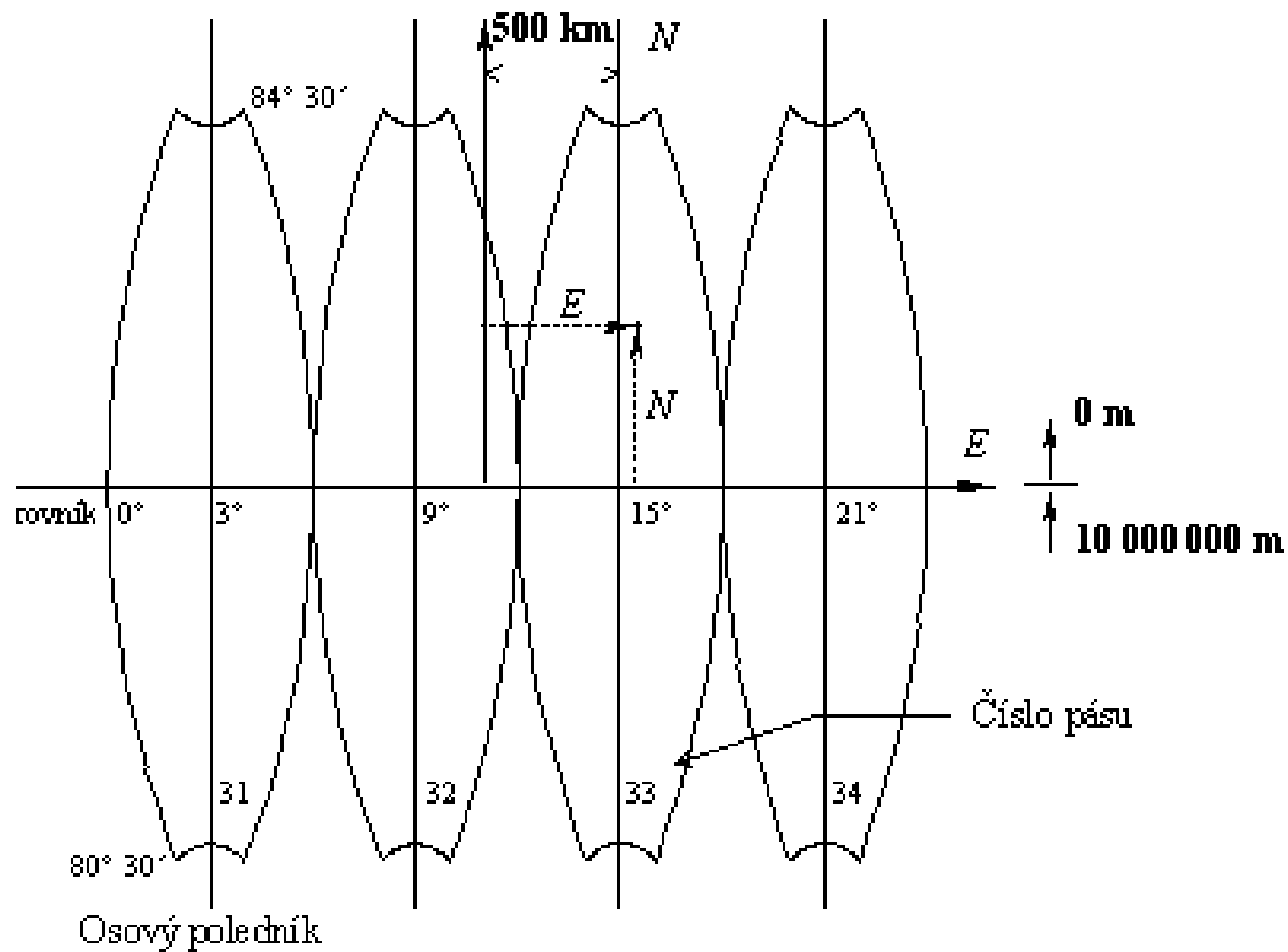
Geodetické referenční systémy ČR

- Rovinný souřadnicový systém
- **Zobrazení UTM (univerzální transversální Mercatorovo zobrazení / Universal Transverse Mercator).**

Příčné konformní válcové zobrazení šestistupňových poledníkových pásů (zón) 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.

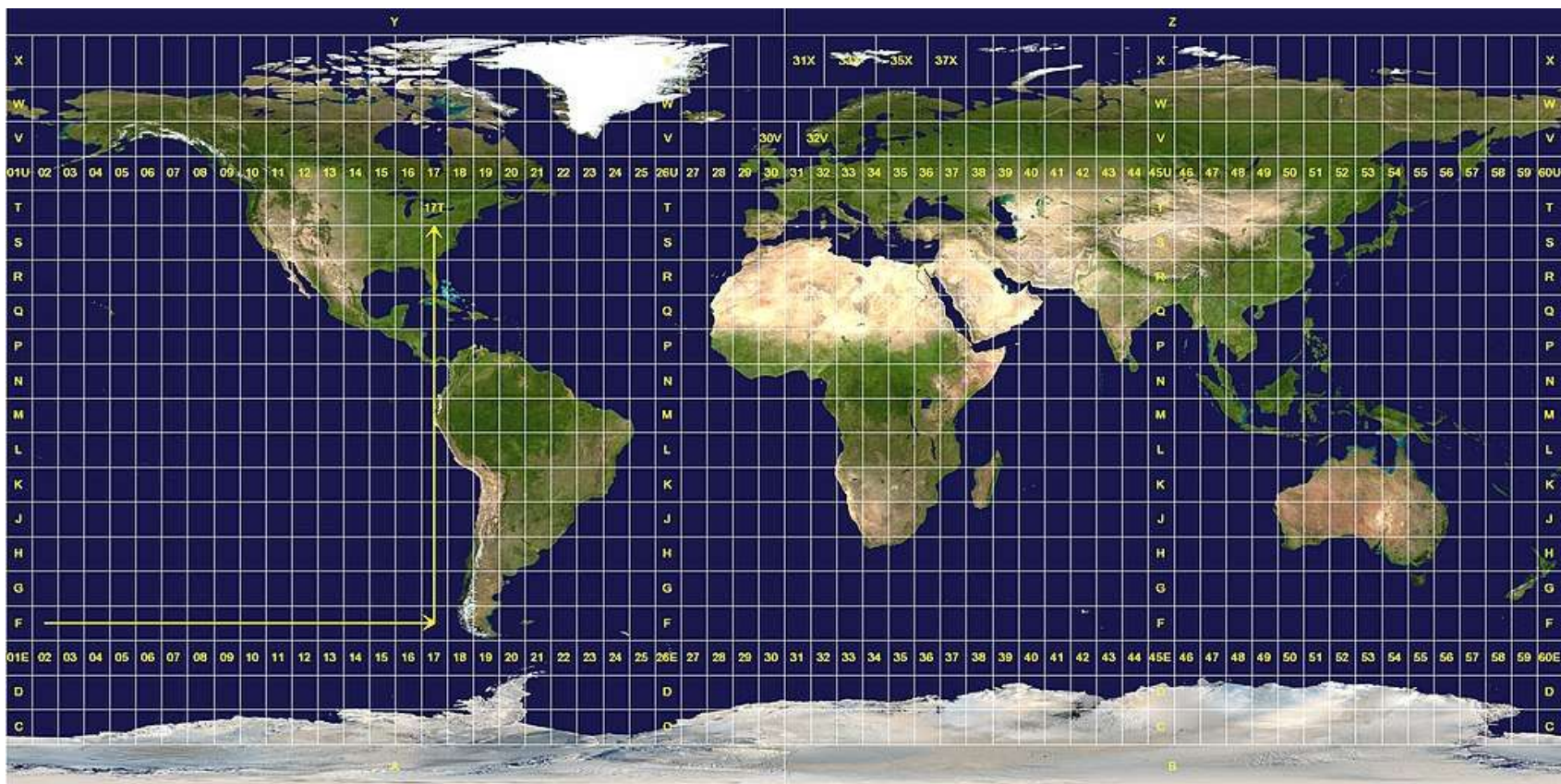
Osa +N (northing) směřuje k severu, osa +E (easting) na východ. Je používán pro navigaci a vojenské účely státy NATO.

WGS 84 – zobrazení UTM, znázornění 6° pásů



Síť zón UTM

Česká republika se nachází v zónách 33 a 34

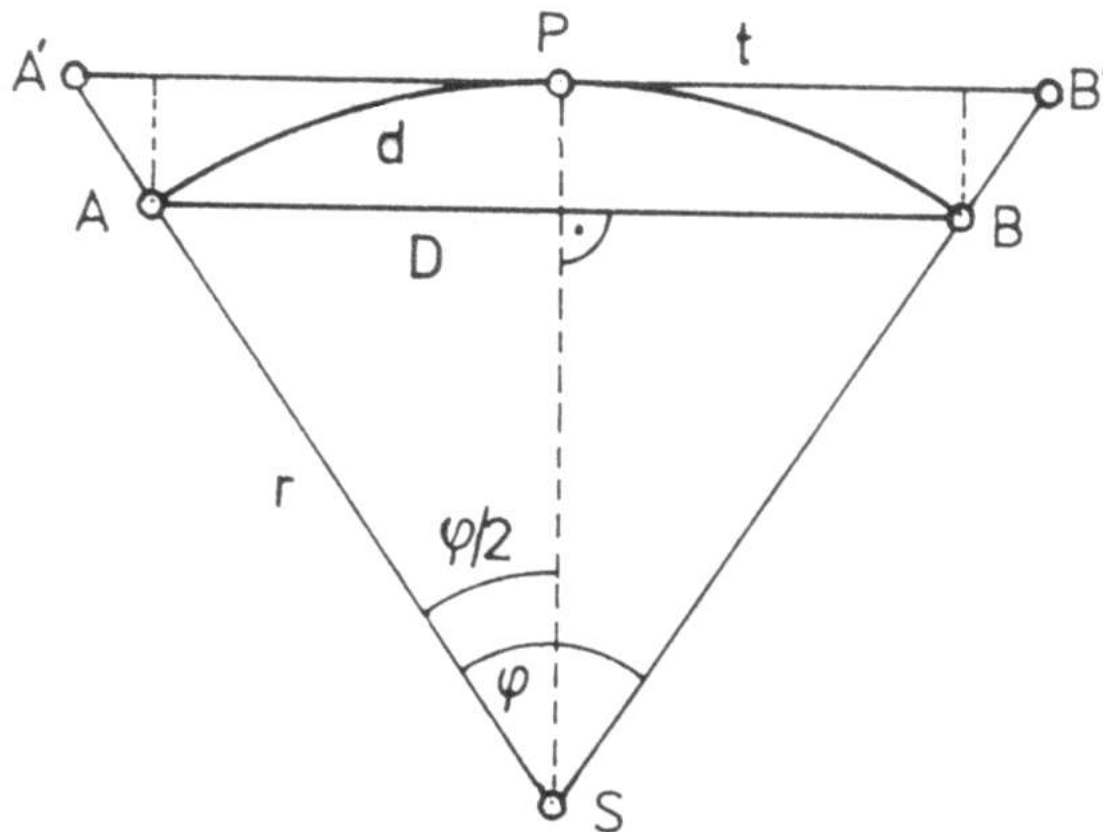


Náhrada sférické plochy rovinou

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).



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

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

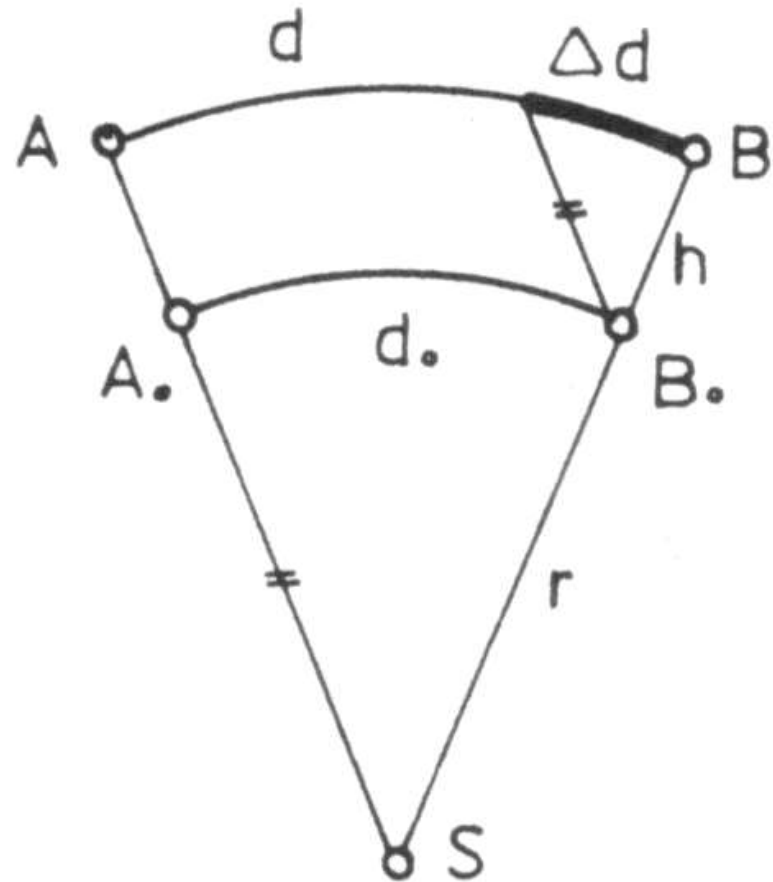
Z tabulky vyplývá, že pro délky kratší než 15 km jsou rozdíly délek menší, než nejistota chybami běžného měření. Proto lze při měření polohopisu na ploše do průměru 30 km aproximovat sférický zemský povrch vodorovnou rovinou.

Vliv nadmořské výšky na měřenou délku

$$d_0 = d - \Delta d$$

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

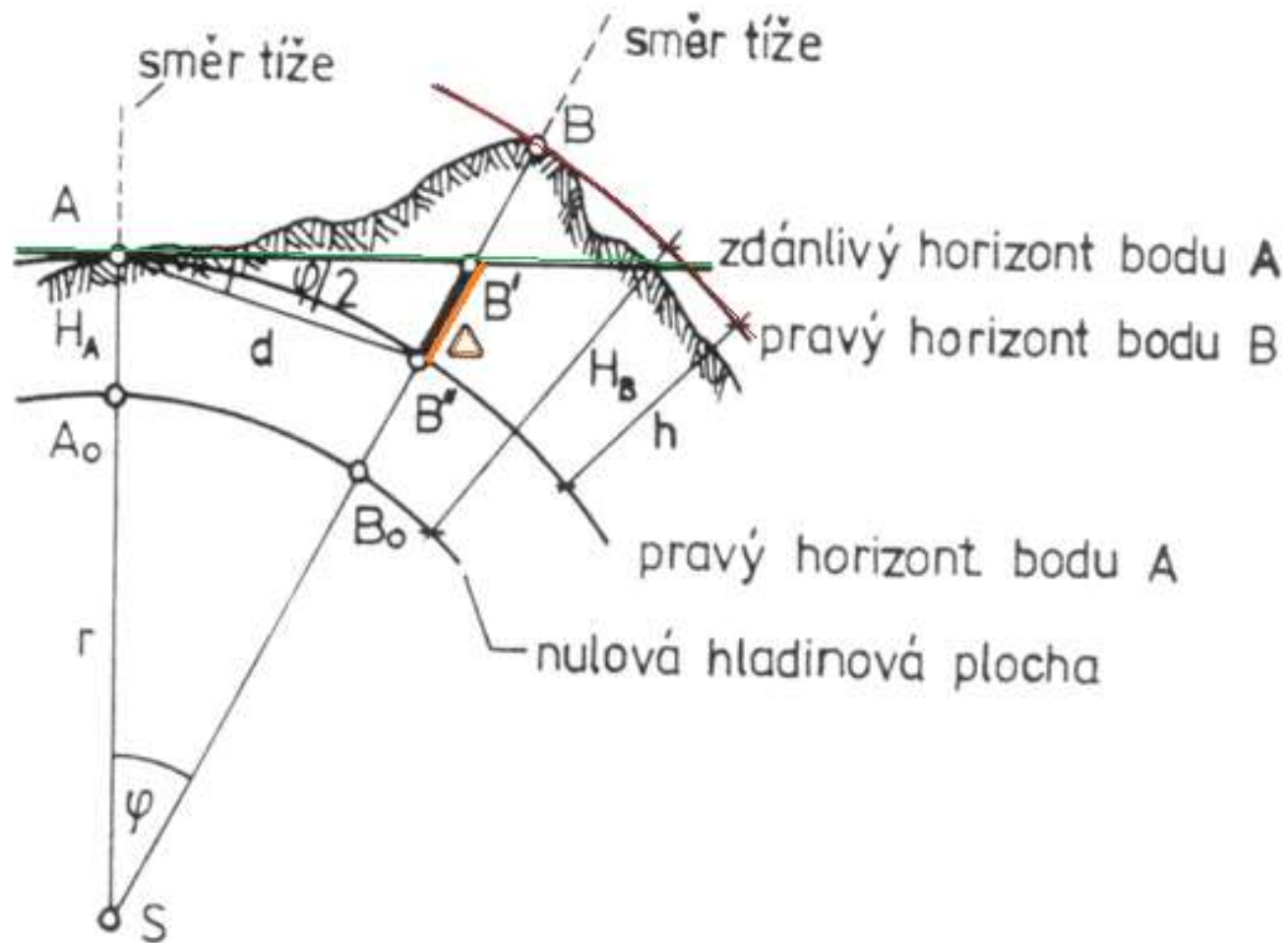
$$\Delta d = d \cdot \frac{h}{(r+h)} \cong d \cdot \frac{h}{r}$$



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

Měřické body

Body geodetické

Trvale stabilizovány, je k nim vyhotovena dokumentace geodetických údajů.

Body ostatní

Pouze dočasná stabilizace (dřevěné kolíky s křížkem nebo hřebíčkem, křížky vyznačené křídou).

Geodetické body

- Polohové
- Výškové
- Tíhové: slouží především k vědeckým účelům

Vytváří bodová pole a geodetické sítě.

Každý má číslo, případně i název.

Geodetický bod může patřit do více bodových polí.

Ke každému se vyplňuje formulář s geodetickými údaji (uživatel si je sám musí ověřit).

Dokumentace geodetického bodu

Geodetické údaje:

Ke každému GB se vyplňuje předepsaný formulář. U každého bodu si uživatel musí sám ověřit, zda se údaje nezměnily.

Veřejně dostupné na

www.cuzk.cz

GEODETICKÉ ÚDAJE
Trigonometrického bodu

Okres: Jihočeský
Město: Písek
Stav: Orlik nad Vltavou

úřad: 1/1
rok: 1989

Vydáno dne: 31.07.2011

Dle z. č. 145/2002 Sb.		21	Plechov	3°	
Číslo	Typ	770548.02	1306486.22	449.70	hraniční
21.1	OB1	průměra drůta*			
21.3	OB3	umělná drůta*		448.32	hraniční

Stereometrické údaje (viz měřičský)					
Číslo	Průměr	Průměr drůta	Číslo	Průměr	Průměr drůta
21.1	303.55	58.6		301.000	
21.3	257.10	06.0		105.200	

* Umělná drůta: Délka je 1,4 km (v. od kapličky v Probošově, na rozhraní v lesním páseku). Bod 21.2 je nyní ZNB 255.

Číslo	21		21.1		21.3	
	Typ	Průměr	Průměr	Průměr	Průměr	Průměr
OB1	16.16.91	10.16.75	16.16.79	16.16.79	16.16.79	
	30.30.10	30.30.10	30.30.14	30.30.14	30.30.14	
OB3	16.16.05					

Číslo	Průměr	Průměr drůta	Číslo	Průměr	Průměr drůta
21	477	477	21.1	477	477
21.3	477	477	21.3	477	477

Dokumentace geodetického bodu

Nivelační údaje:

Ke každému GB se vyplňuje předepsaný formulář. U každého bodu si uživatel musí sám ověřit, zda se údaje nezměnily.

Veřejně dostupné na

www.cuzk.cz

NIVELAČNÍ ÚDAJE


Formulář: 1 Přesnost od: 1.6.1990 dle:

Nivelační pole / Přesnost nivelačního síť:		Firma: Jihobanský		Listový: 33 - 11	
Název: Nda Třebon' - Veselí		Okres: Jindřichův Hradec		Třída: 1:50000	
		Obec: Třebon'		SMO - 1: Třebon'	
		Kat. úst.: Třebon'		3 - 2	

Plachetový bod: NZ ₁₄ -55.1	Úroveň bodu	Indikátor od příslušného pole	Nivelační přečtení	Střed odměry	Oporná z úpravami	Národní výška bodu - po úpravě	Převod do jednotky
	m	m	m	m	m	m	+
Nivelační bod: 0.1	0,210	0,210	+0,236 05	-0,04	+0,61	439,167 2	0,392 5

Situční popis:
č. Třebon' II (Jindřichův Hradec),
dům č.p.1042, 0,4 m nad zemí

Podrobný:



Druh značky	Stupeň stabilizace	Stabilizace (datum, jméno, číslo)	Druh bodu	Věk a rok	Převod z roku
Čepová VI a	3 Druh stabilizace N	GKP Kreps 1988		1988-dod. 5.2	1988

Starší a starší stavby, stavební čísla, plán vlastnosti:
zachovalá omítnutá podsklepená cihlová stavba z roku 1965

Situční popis:

Geomorfologická vlastnosti místa: mírný spád k východu

NZ vyšetřeno (datum, jméno, číslo):	škrtáno	GKP, Kreps, 6.1988	klasifikováno	<i>Li X. Hro</i>
	neškrtáno	Kleinová, 9.1.1990		

Jméno země: