

# Geodetické sítě

Jan Kostecký

---

---

---

---

---

---

---

---

## O jaké sítě půjde

- lokální (nejvyšší dosažitelné přesnosti, používá je inženýrská geodézie) (*těch si nebudeme všímat*)
- regionální (národní) – určeny pro praktické geodetické práce (mapování, katastr, ...)
- globální (kontinentální, celosvětové)

---

---

---

---

---

---

---

---

## O jaké typy sítí půjde

- polohové (trigonometrické sítě)
- výškovou (nivelační síť)
- tíhovou (gravimetrická síť)
- geodynamickou síť

– všechny tyto typy sítí souvisí s geodetickými základy

---

---

---

---

---

---

---

---

## Jaké metody měření zmíníme

- „klasické“ – měření úhlů (teodolity) a délek (dálkoměry) (ale i tzv. geodetické základny)
- astronomické – určování astronomických zeměpisných souřadnic
- techniky kosmické geodézie (nejvýznamnější je technologie GNSS)
- měření tíhového zrychlení (gravimetrie)

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nejdříve něco o souřadnicích

---

---

---

---

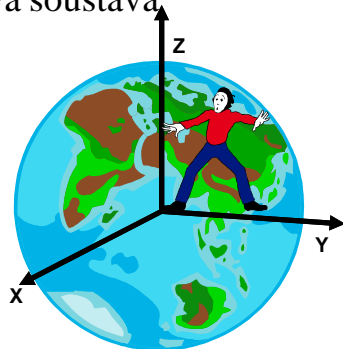
---

---

---

---

## Geodetický referenční systém a souřadnicová soustava



---

---

---

---

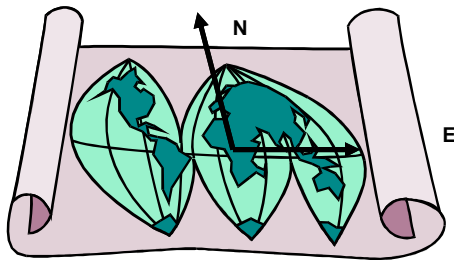
---

---

---

---

## Rovinné souřadnice na mapách



---

---

---

---

---

---

---

---

## Přechod z pravoúhlého prostorového souřadnicového systému do rovinných souřadnic

- Výběr referenčního elipsoidu
- XYZ → geodetické souřadnice na referenčním elipsoidu (zem. šířka a délka)
- Převod geodetických souřadnic na rovinné souřadnice na mapách → je to zobrazení, ne projekce – dochází ke zkreslení buď úhlů, nebo délek, ploch!

---

---

---

---

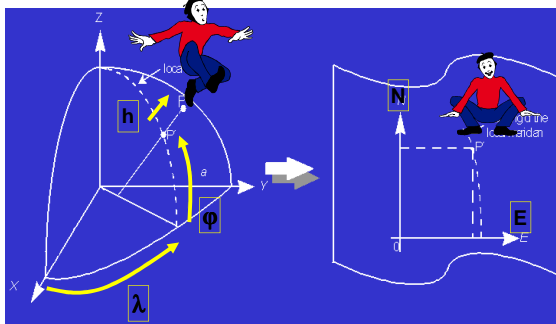
---

---

---

---

## Z elipsoidu do roviny



---

---

---

---

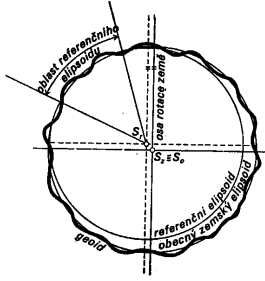
---

---

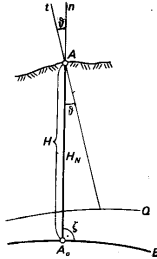
---

---

- Výběr referenčního elipsoidu –
- lokální, nejlépe vyhovuje danému území
  - geocentrický (celosvětový)



Obr. 2



Obr. 3

---

---

---

---

---

---

---

---

A teď již o sítích

---

---

---

---

---

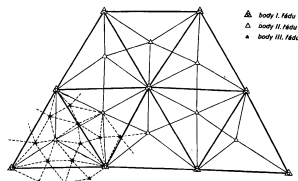
---

---

---

### Realizace souřadnicových systémů

- Trigonometrická síť, zaměřená klasickými metodami – měření úhlů, resp. délek



Obr. 44

---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

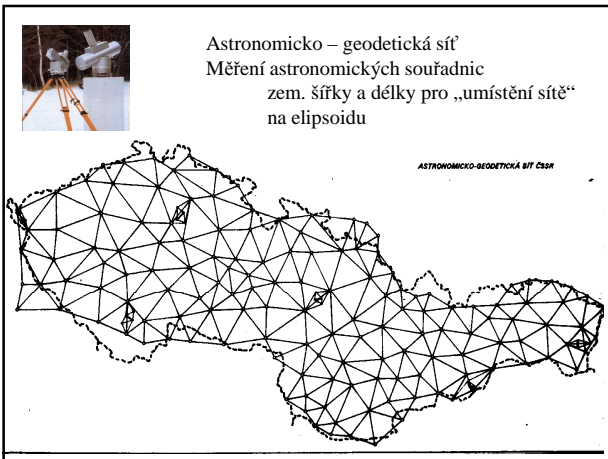
---

---

---

---

---



---

---

---

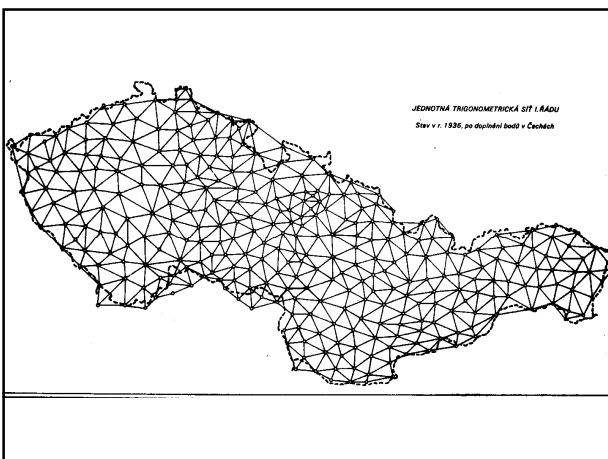
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

## Souřadnicové systémy vzniklé na základě trigonometrické sítě

- **Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální** – S-JTSK, S-JTSK/95, vázány na Křovákovo zobrazení – civilní mapy
- **Systémy S52, S42, S42/83, UTM** – vázány na Gauss-(Kruegerovo zobrazení) – vojenské mapy

---

---

---

---

---

---

---

---

## Základní kartografická zobrazení v ČR

- **Křovákovo** konformní kuželové zobrazení v obecné poloze – používá se pro civilní mapy velkých a středních měřítek
- **Gauss-Kruegerovo** válcové konformní zobrazení v poledníkových páslech – používá se pro vojenské topografické mapy
- **UTM** (Universal Transverse Mercator) prakticky shodné s GK zobrazením – používá NATO
- Pro účelové mapy se používá obojí (Křovákovo i Gauss-Kruegerovo)

---

---

---

---

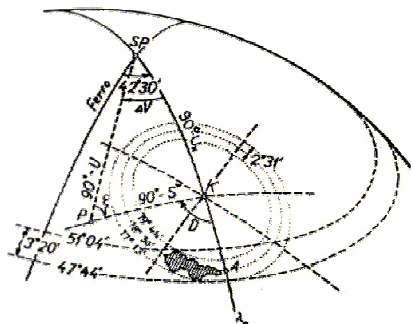
---

---

---

---

Křovákovo zobrazení



---

---

---

---

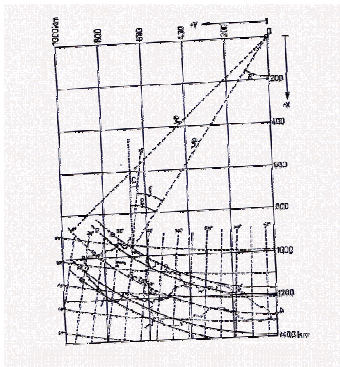
---

---

---

---

### Křovákovo zobrazení



---

---

---

---

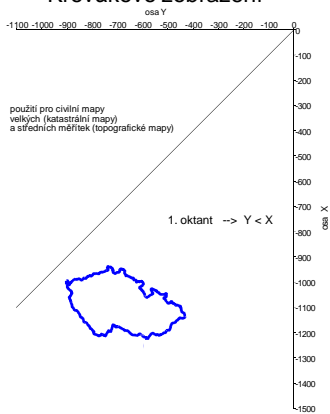
---

---

---

---

### Křovákovo zobrazení



---

---

---

---

---

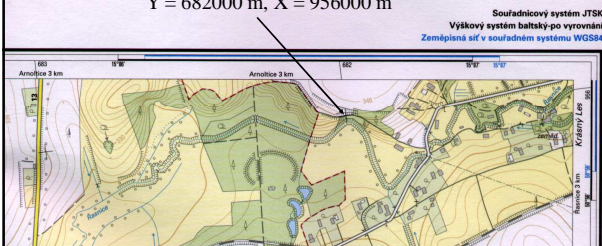
---

---

---

### Mapa v Křovákově zobrazení – topografická mapa 1:10000

Y = 682000 m, X = 956000 m



---

---

---

---

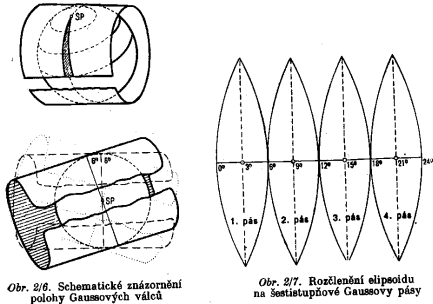
---

---

---

---

Gauss-Kruegerovo zobrazení  
V ČR na Krasovského elipsoidu



Obr. 2/6. Schematické znázornění polohy Gaussových válců

Obr. 2/7. Rozdělení elipsoidu na šestistupňové Gaussovy pásy

---

---

---

---

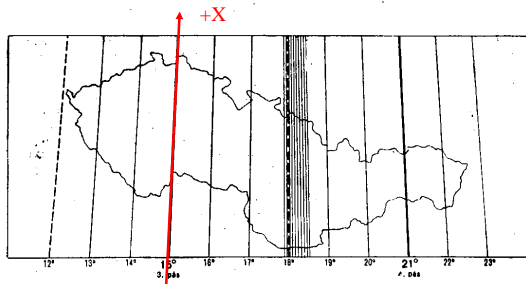
---

---

---

---

Gauss-Kruegerovo zobrazení Československa  
Souřadnice: každý pás má vlastní souřadnicovou soustavu



Obr. 2/8. Šestistupňové pásy Gaussova zobrazení

Souřadnice:  $X = 5\text{ xxx xxx}$ ,  $Y = 3\ 500\ 000 + Y(\text{reduk})$

---

---

---

---

---

---

---

---

Mapa v Gauss-Kruegerově zobrazení – Top. mapa 1:25000

Souřadnice:  $X = 5497000\text{ m}$ ,  $Y = 4312000\text{ m}$

číslo pásu




---

---

---

---

---

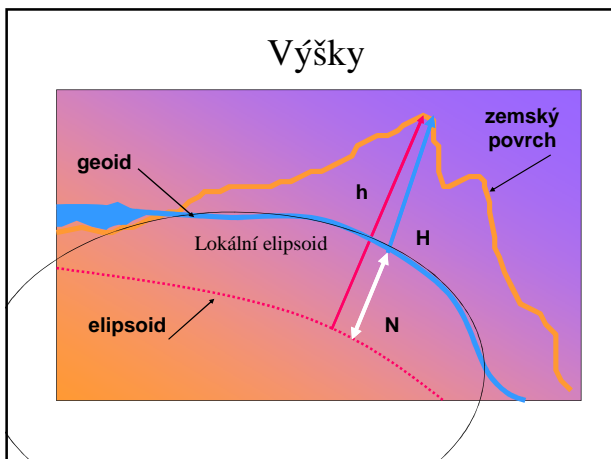
---

---

---



## Výšky



---

---

---

---

---

---

---

---

## Nivelační síť



---

---

---

---

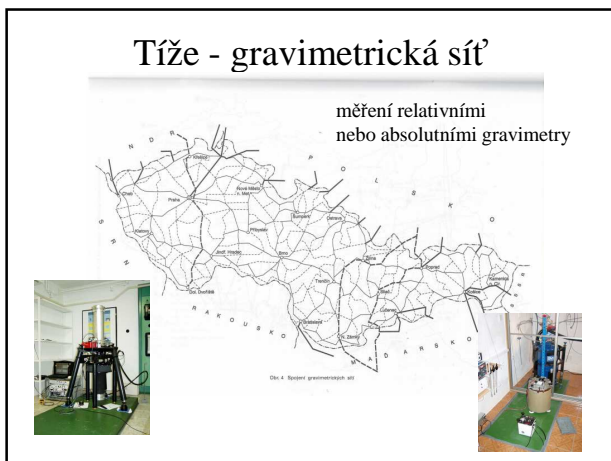
---

---

---

---

## Tíže - gravimetrická síť



---

---

---

---

---

---

---

---

## Geodynamika – geodynamická síť

měření: poloha: GPS  
nadmořská výška: VPN  
tíže: gravimetrie



---

---

---

---

---

---

---

---

## Globální (celosvětové) souřadnicové systémy

- Mohou vznikat až v éře kosmické geodézie, od 60. let se budují na základě družicových pozorování:
  - fotografická, laserová, dopplerovská interferometrická
- Přesnost souřadnic: 60. léta 20. stol. ~ 30 m  
70. léta ~ 1 – 2 m  
90. léta ~ 1 dm

---

---

---

---

---

---

---

---

## Současné globální souřadnicové systémy

- Mezinárodní nebeský souřadnicový systém (ICRS) – realizován souřadnicemi kvazarů
- Mezinárodní terestrický souřadnicový systém (ITRS) – realizován souřadnicemi stabilizovaných bodů na zemském povrchu  
přesnost 2 až 5 cm v jedné souřadnici

---

---

---

---

---

---

---

---

## Realizace

Realizaci ICRS a ITRS koordinuje Mezinárodní služba rotace Země a souřadnicových systémů (Int. Earth Rotation Service and Coordinate Systems IERS)

Jednotlivé pozorovací techniky koordinují:

- International GPS Service (IGS)
- International Laser Ranging Service (SLR)
- International VLBI Service (IVS)
- International DORIS Service (IDS)

---

---

---

---

---

---

---

---

## Vztah mezi ICRS a ITRS (1)

- ICRS je vázáno na hvězdy (kvazary)
- ITRS je vázáno na Zemi
  
- Vzájemný vztah zprostředkovávají tzv. parametry orientace Země (Earth Orientation Parameters - **EOP**) – precese a nutace, variace v rotaci Země, pohyb pólu

---

---

---

---

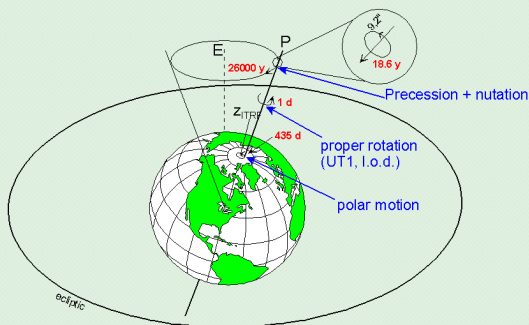
---

---

---

---

### Earth Orientation Parameters:



Czech-Polish Workshop on Recent Geodynamics, Lubawka, November 2002

---

---

---

---

---

---

---

---

## Vztah mezi ICRS a ITRS (2)

- Vzhledem k tomu, že se pro realizaci používají kosmické techniky, jsou pozorování vázána na pohyb družic nebo souřadnice kvazarů
- Pohyb družic umíme popsat v ICRS
- Souřadnice kvazarů máme v ICRS
  - >> **ITRS nelze realizovat bez znalosti (nebo současného určování) EOP**

---

---

---

---

---

---

---

---

## Čtyři základní pozorovací techniky kosmické geodézie

- GNSS – Global Navigation Satellite System
- SLR – Satellite Ranging System
- VLBI – Very Long Baseline systém
- DORIS – Doppler Orbitography

---

---

---

---

---

---

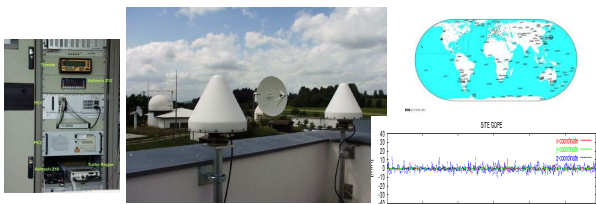
---

---



## Global positioning system - GPS

Určování relativních hodnot **souřadnic stanic**, drah družic a **EOP** z kódových a fázových měření na permanentních stanicích



---

---

---

---

---

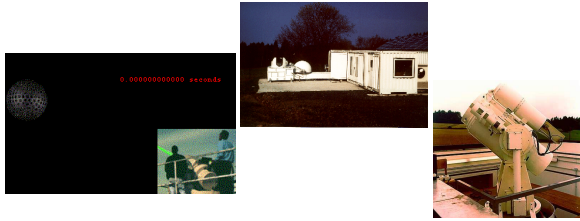
---

---

---

## Satellite Laser Ranging - SLR

určování **absolutních souřadnic stanic**, drah družic a **EOP** pomocí měření vzdáleností stanice – družice pomocí pulsního laseru



---

---

---

---

---

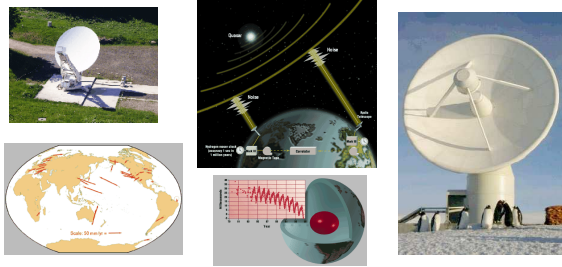
---

---

---

## Very Long Baseline Interferometry – VLBI

Určování **relativních souřadnic stanic**, souřadnic radiozdrojů a **EOP** pomocí pozorování kosmických radiových zdrojů (kvazarů)



---

---

---

---

---

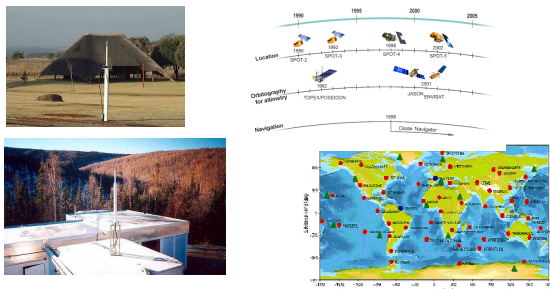
---

---

---

## Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite - DORIS

Určování drah družic, **souřadnic stanic**, **EOP** z Dopplerovských pozorování



---

---

---

---

---

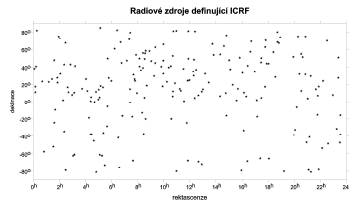
---

---

---

## International Celestial Reference System (ICRS)

- Realizace ideálního inerciálního systému pomocí přesných (chyba 0.0003") rovníkových souřadnic mimogalaktických zdrojů pozorovaných pomocí Very Long Baseline Interferometry (VLBI)




---

---

---

---

---

---

---

---

## International Terrestrial Reference System (ITRS)

Je množina bodů s **určenými souřadnicemi XYZ a časovými změnami (rychlostmi)** který realizuje ideální terestrický referenční systém

- Realizován technikami kosmické geodézie: VLBI, SLR, **LLR**, GPS, DORIS, **PRARE**

---

---

---

---

---

---

---

---

## Genese ITRF (frame, rámec ITRS)

Name	origin	scale	orientation
ITRF0	BTS87	BTS87	BTS87
ITRF88	ITRF0	ITRF0	ITRF0
ITRF89	SLR(SSC(CSR))	SLR(SSC(CSR))	NNR wr ITRF88
ITRF90	SLR(SSC(CSR))	SLR(SSC(CSR))	NNR wr ITRF89
ITRF91	SLR(SSC(CSR))	SLR(SSC(CSR))	NNR wr ITRF90
ITRF92	SLR(SSC(CSR))	SLR(SSC(CSR))	NNR wr ITRF91
ITRF93	special construction, critized later		
ITRF94	SLR + GPS	SLR + GPS + VLBI	NNR wr ITRF92
ITRF96	SLR + GPS	SLR + GPS + VLBI	NNR wr ITRF94
ITRF97	SLR + GPS	SLR + GPS + VLBI	NNR wr ITRF96
ITRF2000	SLR	VLBI + SLR	NNR wr NNR-NUVEL1A
ITRF2005	SLR	VLBI	NNR wr ITRF2000

---

---

---

---

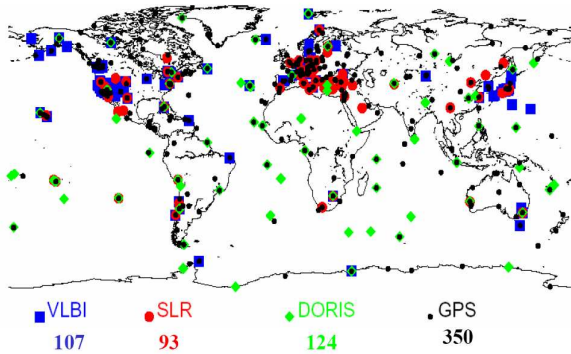
---

---

---

---

### ITRF2005: Co-locations




---

---

---

---

---

---

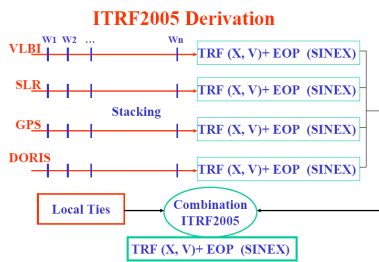
---

---

---

---

### Realizace ITRF2005



výsledek: souřadnice X a rychlosti stanic V +  
+ EOP

---

---

---

---

---

---

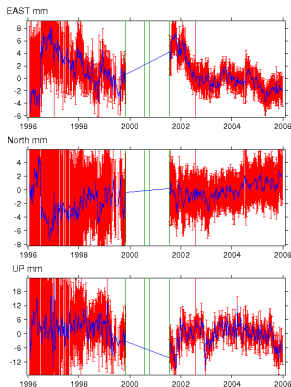
---

---

---

---

11502M002 GOPE Residuals




---

---

---

---

---

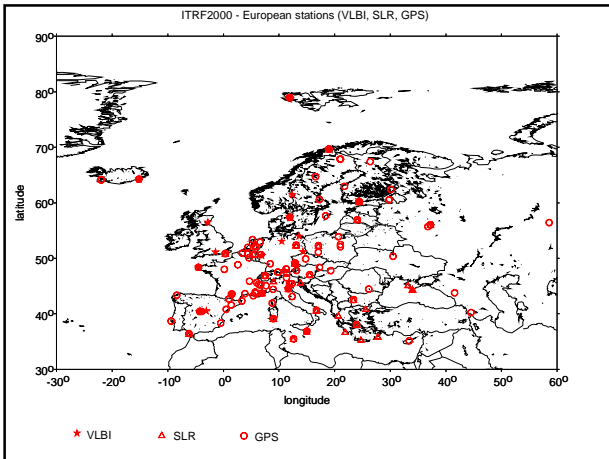
---

---

---

---

---




---

---

---

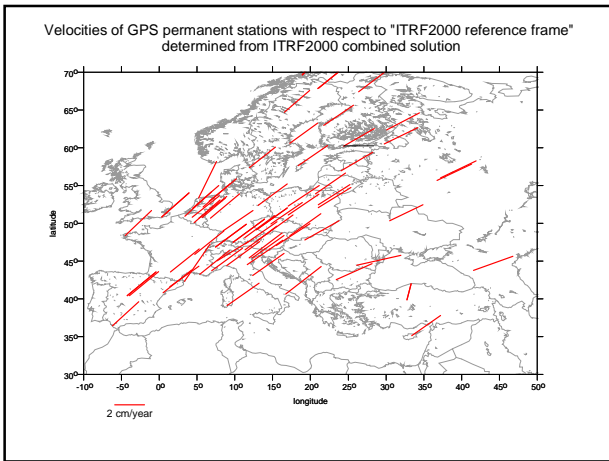
---

---

---

---

---




---

---

---

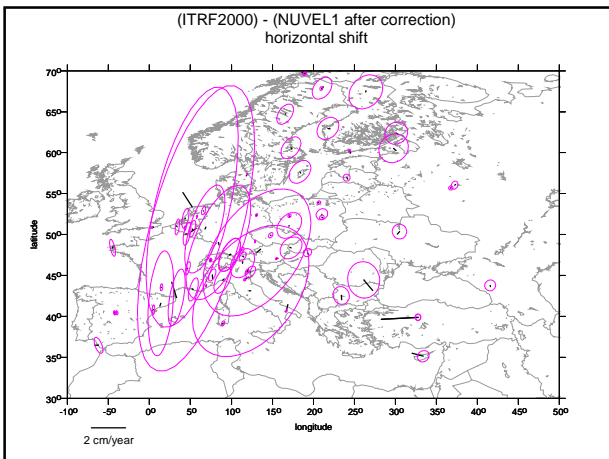
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

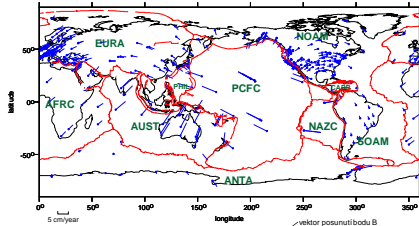
---

---

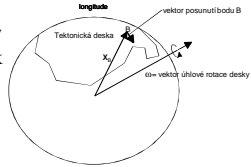


### Tektonické desky

Plate motions according to NUVEL1-NNR



Pohyb euroasijské desky  
zhruba 2.7 cm SV za rok




---

---

---

---

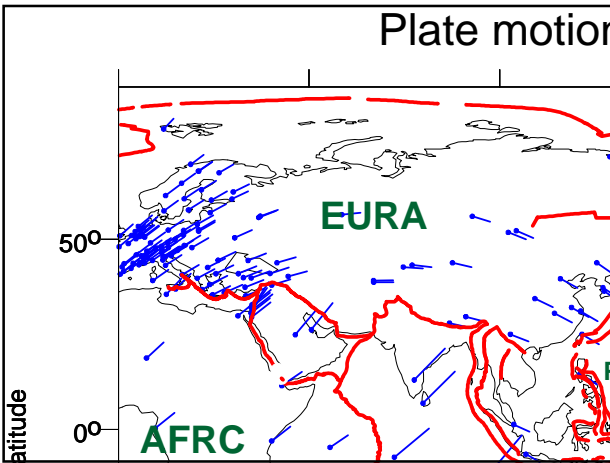
---

---

---

---

### Plate motion




---

---

---

---

---

---

---

---

### Realizace ITRF2008

Datové centrum	časový rozsah dat	Typ dat
IVS (VLBI)	1980.0 - 2009.0	Normální rovnice
ILRS (laser)	1983.0 - 2009.0	Kovarianční matice
IGS (GNSS)	1997.0 - 2009.5	Kovarianční matice
IDS (Doris)	1993.0 - 2009.0	Kovarianční matice

**Kombinované řešení normálních rovnic**  
**výsledek: souřadnice a rychlosti stanic +**  
**+ EOP**

---

---

---

---

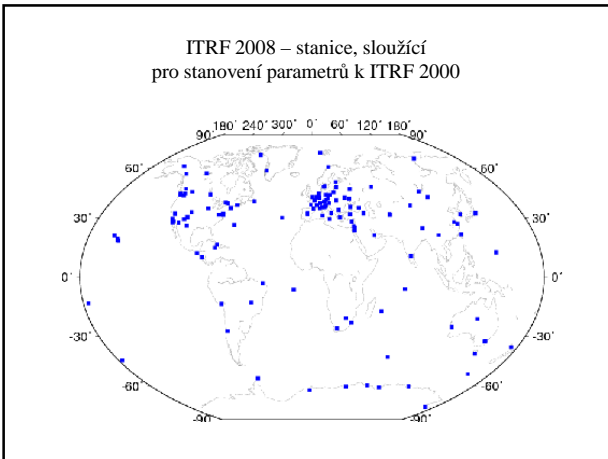
---

---

---

---

ITRF 2008 – stanice, sloužící  
pro stanovení parametrů k ITRF 2000




---

---

---

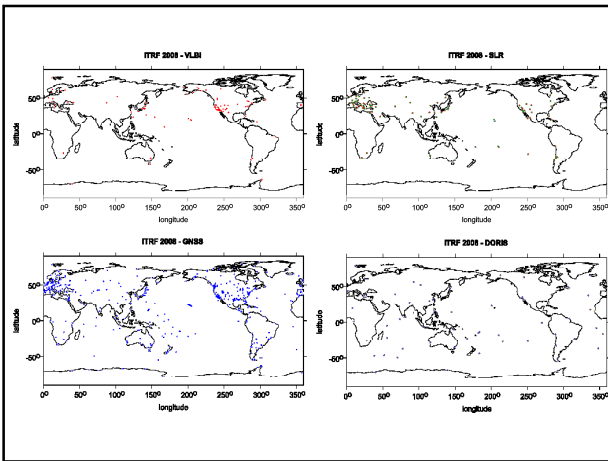
---

---

---

---

---




---

---

---

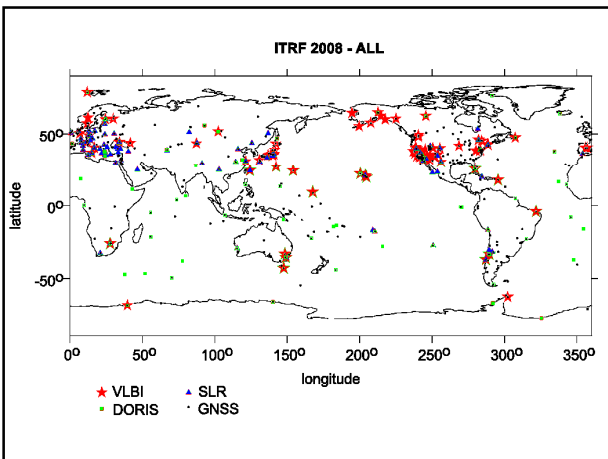
---

---

---

---

---




---

---

---

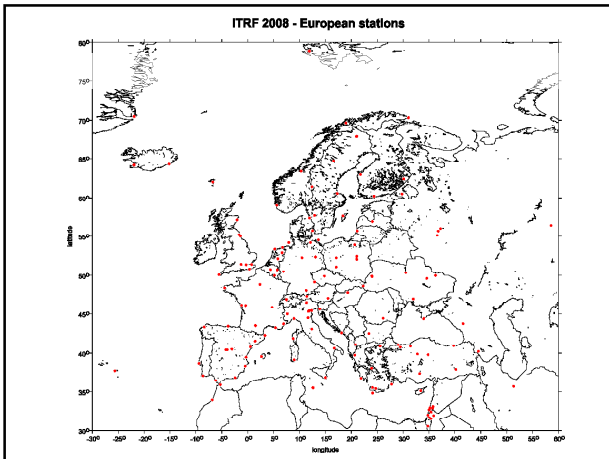
---

---

---

---

---




---



---



---



---



---



---



---



---

## System ETRS

- Zavedení v důsledku pohybu euroasijské tektonické desky >> změna souřadnic vůči ITRS o 3 cm za rok
- Vznikl zakonzervováním souřadnic evropských stanic systému ITRS89 v epoše 1989.0
- Podobně jako ITRS je neustále zpřesňován

---



---



---



---



---



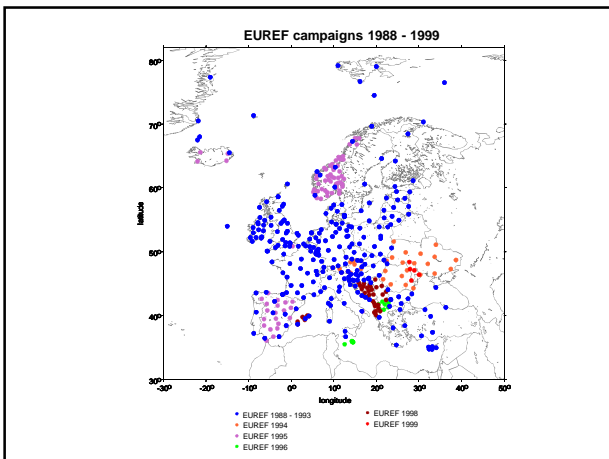
---



---



---




---



---



---



---



---



---



---



---

## Zapojení ČR do Evropských základů (1)

- polohové:
  - 1990 – systém ED87 – zapojení pomocí „klasických“ měření (trig. síť)
  - 1991 – GPS kampaň EUREF-EAST-91 (přejmenovaná na EUREF-CS/H-91)
  - poté národní kampaň ..... současnost: síť permanentních GNSS stanic (CZEPOS, ...)
- navazují systémy S-JTSK/95 a S-JTSK/05

---

---

---

---

---

---

---

---

## Realizace ETRS89 v České republice

- Kampaň EUREF-CS/H-91 (1991)
- Kampaň NULRAD (1992)
- Kampaň CS-BRD-93 (1993)
- Kampaň DOPNUL (1993 – 1994)

Získáno 176 bodů, identických s body trigonometrické sítě

---

---

---

---

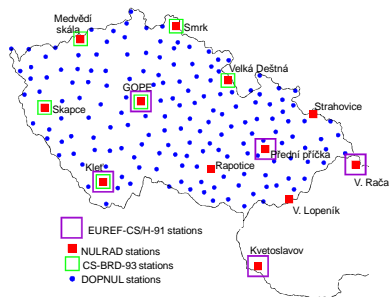
---

---

---

---

Distribution of the stations realized ETRS-89 on the territory of the Czech Republic



---

---

---

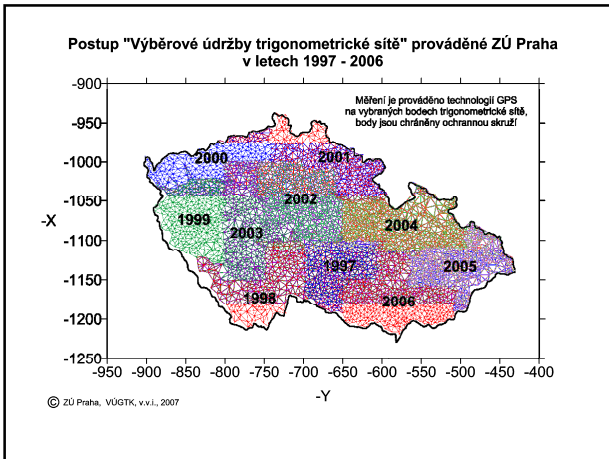
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

## Zapojení ČR do Evropských základů (2)

- výškové:
  - zapojení ČSNS do celoevropské UELN (United European Levelling Network)
  - Spojení s Rakouskem, Saskem (1992)
  - účast na GPS kampani EVRS (1994) – souběžně model kvazigeoidu EGG97 pro sjednocení výškových základů

---

---

---

---

---

---

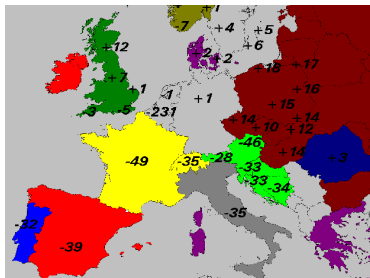
---

---

## Problém s výškami – rozdílné výškové systémy v Evropě

Rozdílné výškové systémy v ČR – hlavní jsou dva: Jadranský – Terst, název „Jadran“  
 Baltický – Kronstadt, název „Balt po vyrovnání“  
 Definice:  $H(Bpv) = H(Jadran) - 0.40 \text{ m (zhruba)}$

Ve vojenských mapách další výškové systémy




---

---

---

---

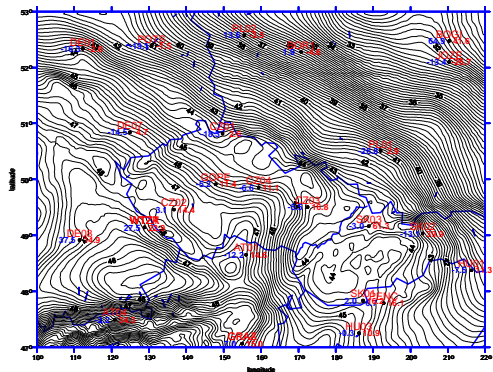
---

---

---

---

### Detailní kvazigeoid pro střední Evropu



---

---

---

---

---

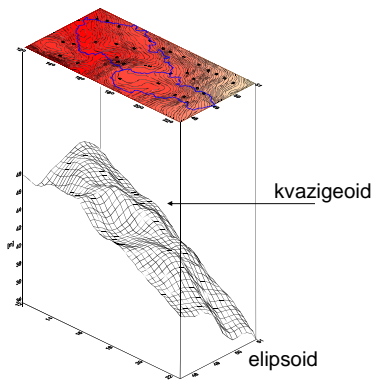
---

---

---

Astro-geodetic quasigeoid [heights in meters]  
related to ellipsoid GRS80  
(solution RIGTC)

Rozdíl  
nadmořských  
a elipsoidických  
výšek v ČR je  
42 – 48 m



---

---

---

---

---

---

---

---

### Zapojení ČR do Evropských základů (3)

- tíhové:
  - absolutní tíhová měření gravimetrem FG5-215  
v ČR, SR a Maďarsku

---

---

---

---

---

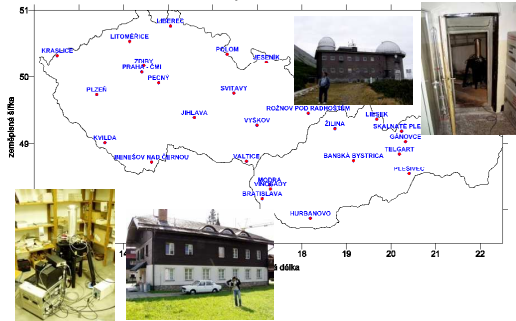
---

---

---

## Absolutní tíhová měření v ČR a SR

Stanice absolutního měření vertikální složky tíhového zrychlení  
měřené gravimetrem VÚGTK FGS No. 215  
v České republice a na Slovensku



---

---

---

---

---

---

---

---

A nyní již detailněji ...

---

---

---

---

---

---

---

---