

*Seminář s mezinárodní účastí  
Družicové metody v geodézii a katastru  
VUT v Brně – Ústav geodézie, 4. února 2016*

# **SOUČASNÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GNSS V GEODETICKÉ VĚDĚ A NĚKTERÉ INTERDISCIPLINÁRNÍ APLIKACE**

*Jaroslav Šimek*

*Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.*

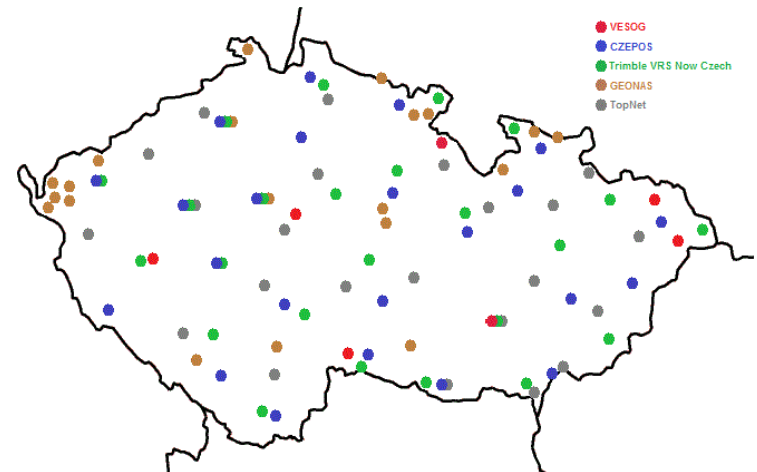
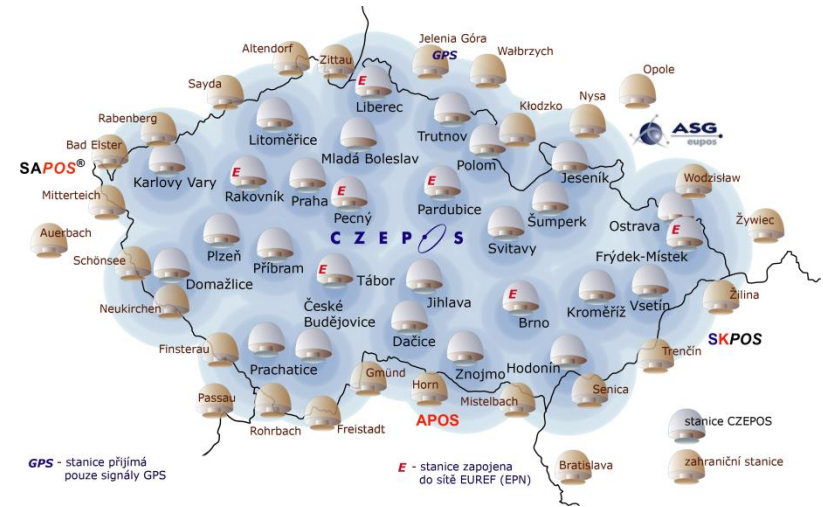


*Geodetická observatoř Pecný*

*CZ-251 65 Ondřejov 244*

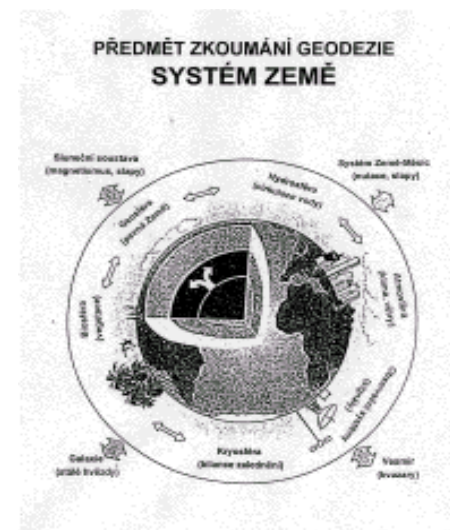
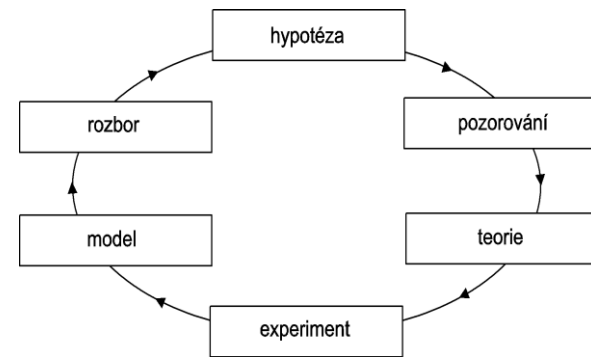
# Úvod

- Počátky GNSS v ČSFR v r. 1991
- Budování GZ nové generace 1991 – 2010
- Implementace ETRS89 v letech 1994 a 2010
- ~ 46 000 bodů v ETRS89
- Rektifikace S-JTSK
- CZEPOS 2004 – 2005
- Počet přijímačů GNSS v ČR je několik tisíc
- ~1400 uživatelů CZEPOS
- 98 permanentních stanic

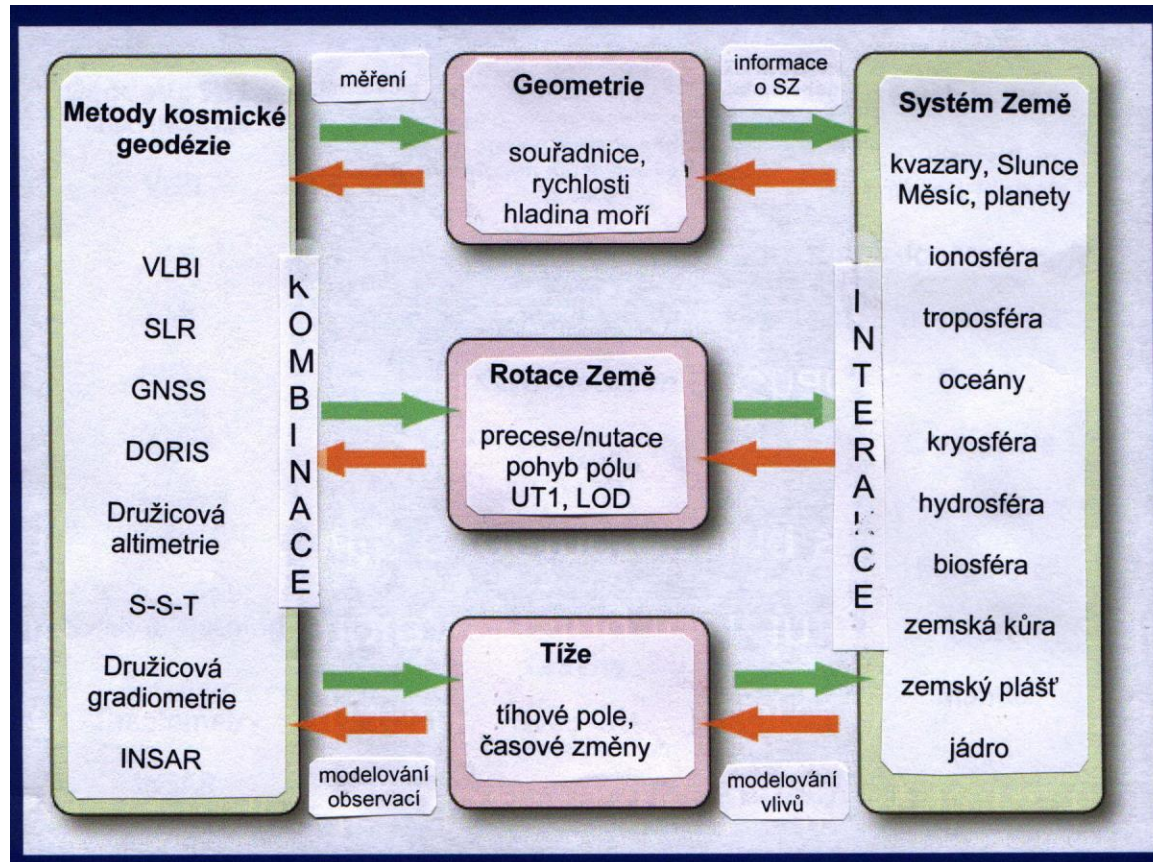


# Geodézie jako věda

- Geodézie se zabývá určováním
  - geometrického tvaru Země a jeho variací,
  - orientace Země v prostoru jako funkce času,
  - tíhového pole Země a jeho variací
- Cíl: časová posloupnost metriky objektů hmotného prostoru
- Metoda: modelování hmotného prostoru nebo jeho částí pomocí geometrických nebo fyzikálních modelů, založených na pozorování
- **Definování a realizace referenčních systémů těchto modelů**



# Role geodézie ve výzkumu Systému Země



# Hlavní cíle vědecké geodézie

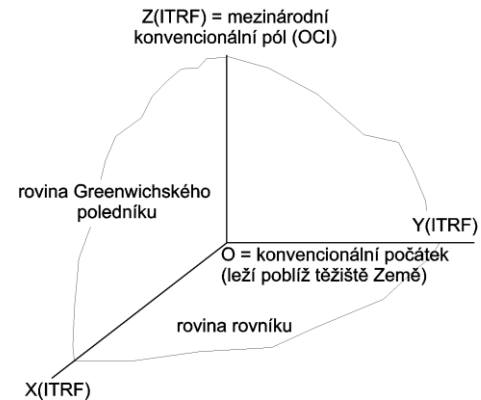
- Nebeský a terestrický referenční systém – definice a realizace
- Souřadnicový a tíhový referenční systém – definice a realizace
- Pozorování → matematické a fyzikální modely
- Časové řady parametrů rotace a orientace Země
- Definování, určování a udržování konstant, modelů atd. nebeských a terestrických referenčních systémů
- Časové řady parametrů statického a proměnného tíhového pole
- Časové řady tvarových parametrů povrchu, kryosféry a hladiny oceánů
- Časové řady parametrů popisujících stav ionosféry a troposféry
- Geometrické a fyzikální parametry popisující transport hmot v geosféře a mezi geosférou a ostatními sférami hmotného prostoru

# Požadavky na přesnost vědeckých produktů geodézie

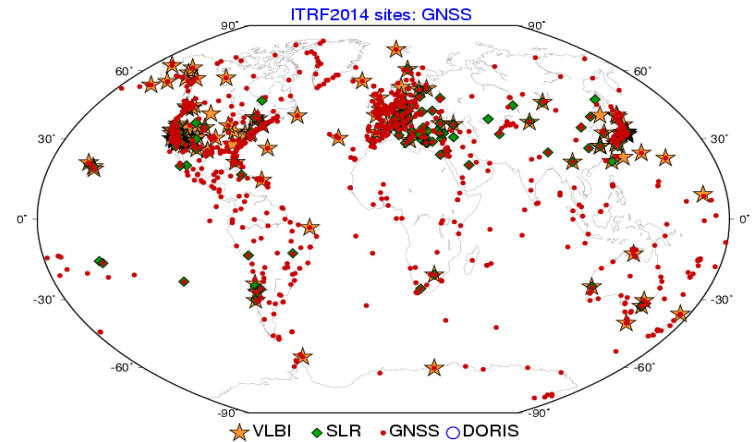
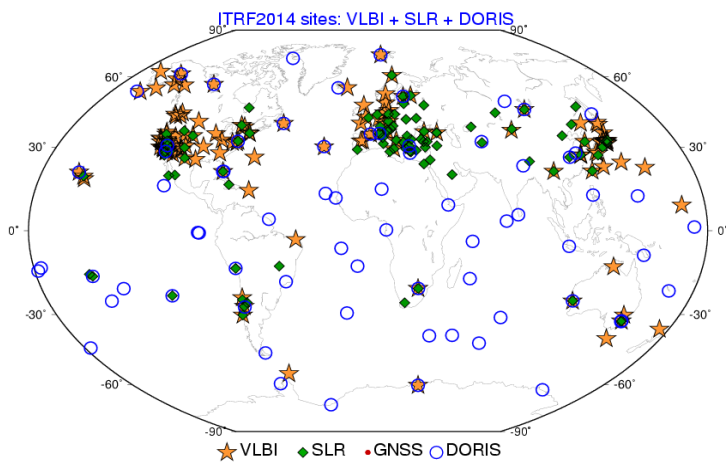
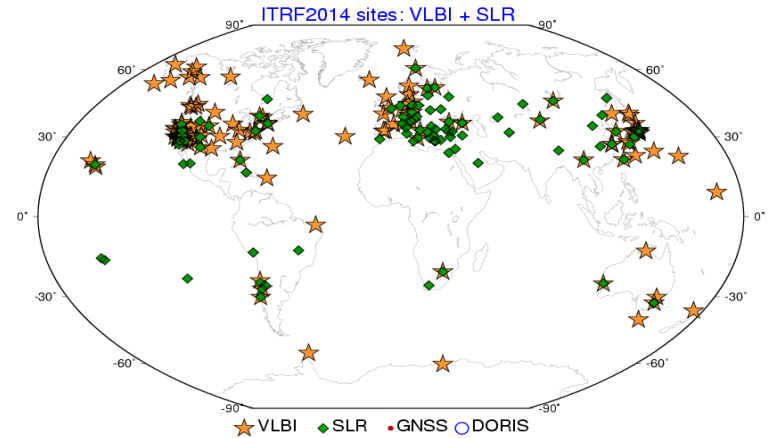
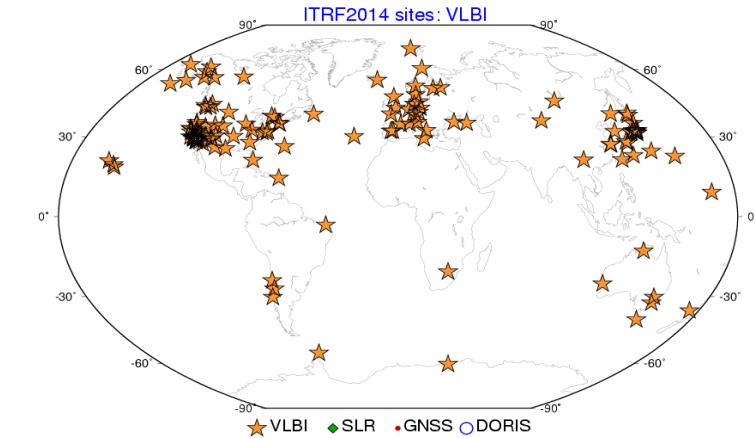
- **Nebeský referenční rámeček:** 25  $\mu\text{as}$ , stabilita 3  $\mu\text{as}/\text{rok}$
- **Terestrický referenční rámeček:** 1 mm, stabilita 0,1 mm/rok vč. geocentra; měřítko  $0,1 \times 10^{-9}$ , stabilita  $0,01 \times 10^{-9}/\text{rok}$
- **Parametry orientace Země:** 1 mm se zpožděním 2 týdnů, 3 mm v kvazireálném čase, časová rozlišitelnost 1 den
- **Statický geoid:** 1 mm, stabilita 0,1 mm/rok, rozlišitelnost 10 km
- **Časově proměnný geoid:** 1 mm, stabilita 0,1 mm/rok, rozlišitelnost 50 km, časová rozlišitelnost 10 dní

# Terestrický referenční rámec ITRF2014

- Produkt IERS
- Vstup: časové řady souřadnic a EOP ze čtyř služeb IAG – **IGS**, ILRS, IVS, IDS do konce r. 2014 z reprocessingu!
- **2 inovace**: pro stanice s dostatečně dlouhou dobou pozorování určen roční a půlroční člen (pro všechny techniky); na základě dat z GNSS vytvořen model post-seismických deformací
- **Počátek**: nulové translace mezi ITRF2014 a řešením ILRS
- **Měřítko**: nulový rozdíl mezi ITRF2014 a průměrem z IVS/ILRS
- **Orientace**: nulové rotace mezi ITRF2014 a ITRF2008 pro epochu 2010.0; aplikováno na stanice „opěrné sítě“, použité pro výpočet transformačních parametrů



# ITRF2014: observace VLBI, SLR, GNSS, DORIS → kombinace IERS











# Mezinárodní služba GNSS (IGS)

- Jedna z vědeckých služeb IAG: **IGS**, ILRS, IVS, IDS → IERS
- 200 organizací z 80 států
- 400 observačních stanic, datová a analytická centra
- Cíl: uspokojování potřeb širokého spektra multidisciplinárních vědeckých a praktických aplikací
- Produkty: dráhy družic GPS a GLONASS (< 5 cm), souřadnice a rychlosti stanic (1 cm, resp. 1 mm/rok), korekce palubních a staničních hodin (< 1ns), ZTD, globální ionosférické mapy, parametry rotace a orientace Země (1 cm)
- Produkty v režimu PP, NRT a RT (IGS RT síť >150 stanic)
- Archivace všech observací od r. 1991

# Kosmický segment GNSS

(převzato z Beutler, 2015; stav červen 2015)

System		Blocks	Signals	Sats <sup>*)</sup>
GPS		IIA	L1 C/A, L1/L2 P(Y)	3
		IIR	L1 C/A, L1/L2 P(Y)	12
		IIR-M	+L2C	7
		IIF	+L5	9
GLONASS		M	L1/L2 C/A+P	23
		M+	L1/L2 C/A+P, L3 (CDMA)	1
		K1	L1/L2 C/A+P, L3 (CDMA)	(2)
BeiDou		GEO	B1, B2, B3	5
		IGSO	B1, B2, B3	5
		MEO	B1, B2, B3	3
		3 <sup>rd</sup> generation	(B1,B3)	(1)
Galileo		IOV	E1, (E6), E5a/b/ab	3+(1)
		FOC	E1, (E6), E5a/b/ab	(2)+(2)
QZSS		IGSO	L1 C/A, L1C, SAIF L2C, E6 LEX, L5	1
IRNSS		IGSO	L5, S	4

<sup>\*)</sup> Status June 2015; brackets indicate satellites not declared healthy/operational

# IGS: Projekt MGEX

- Vývoj nových GNSS – kromě GPS a GLONASS jsou zde BeiDou, Galileo, IRNSS, QZSS + regionální podpůrné (augmentační) systémy (SBAS) – WAAS, EGNOS, SCDM, GAGAN
- MGEX od r. 2012: posouzení možnosti využití pozorování všech 6 GNSS pro tvorbu standardních produktů IGS
- Pozorování několika GNSS v síti >100 stanic
- Hlavní pozornost věnována určování přesných drah a korekcí palubních hodin
- První fáze experimentu sloužila k seznámení uživatelů s novými systémy a signály

# Projekt MGEX – hlavní cíle

- Zvětšování počtu multi-GNSS observačních stanic
- Zahrnutí systémů BeiDou, IRNSS a SBAS do procesu výpočtu přesných drah
- Určování systematik z diferencí z kódových měření s použitím multi-GNSS signálů a jejich zahrnutí do určování parametrů ionosféry
- Určování charakteristik družic nových systémů: offsety antén, orientace na dráze, modely tlaku slunečního záření, manévry
- Vývoj jednotných standardů pro určování přesných drah a korekcí hodin
- Vývoj nástrojů pro kontrolu kvality multi-GNSS signálů a jejich aplikace při monitorování sítě (šum, multipath, skoky aj.)

# Hlavní trendy výzkumu v rámci IGS

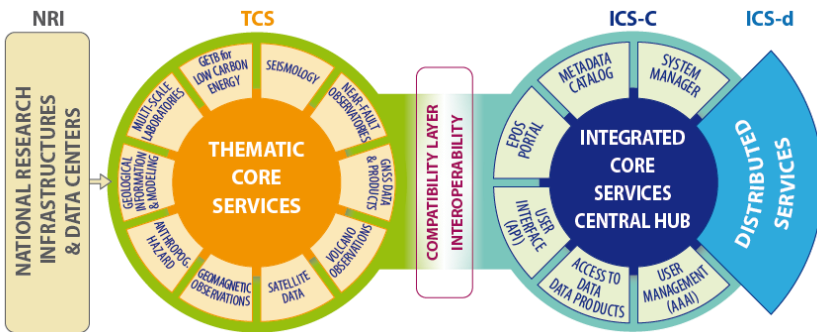
- Vývoj konzolidovaných produktů založených na multi-GNSS
- Určování parametrů rotace Země s rozlišitelností  $< 1$  den
- Příspěvek GNSS pro určování nutace
- Příspěvek GNSS k určování časově proměnného tíhového pole
- Určování stochastických charakteristik ionosféry
- Přesnější určování nízkých drah družic (pozorování Země, mapování tíhového pole)
- Výzkum ionosféry s využitím pozorování družicových misí na nízkých drahách

# Příspěvek GNSS ke studiu geodynamiky Evropy: EPOS (implementace 2016 – 2020)

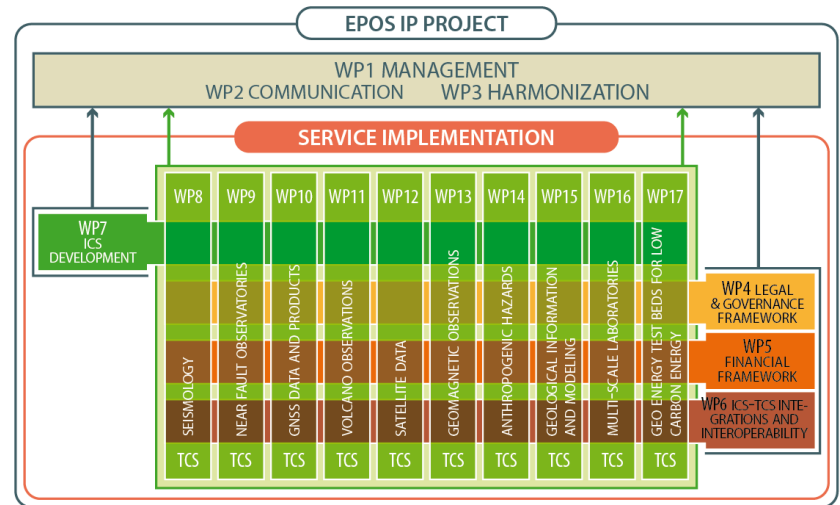
- European Plate Observing System – dlouhodobý projekt pro integraci výzkumných infrastruktur, jeden ze tří prioritních projektů EC v ESFRI
- 25 států, 4 mezinárodní organizace, 256 národních výzkumných infrastruktur
- 4939 seismických stanic
- 2272 GNSS přijímačů
- 118 laboratoří
- 828 přístrojů
- 464 TB seismických dat
- CzechGeo – 8 geovědných institucí z ČR: GFÚ, ÚSMH, VÚGTK, MFF UK, PřF UK, ÚG, MU Brno, ČGS

# EPOS - struktura

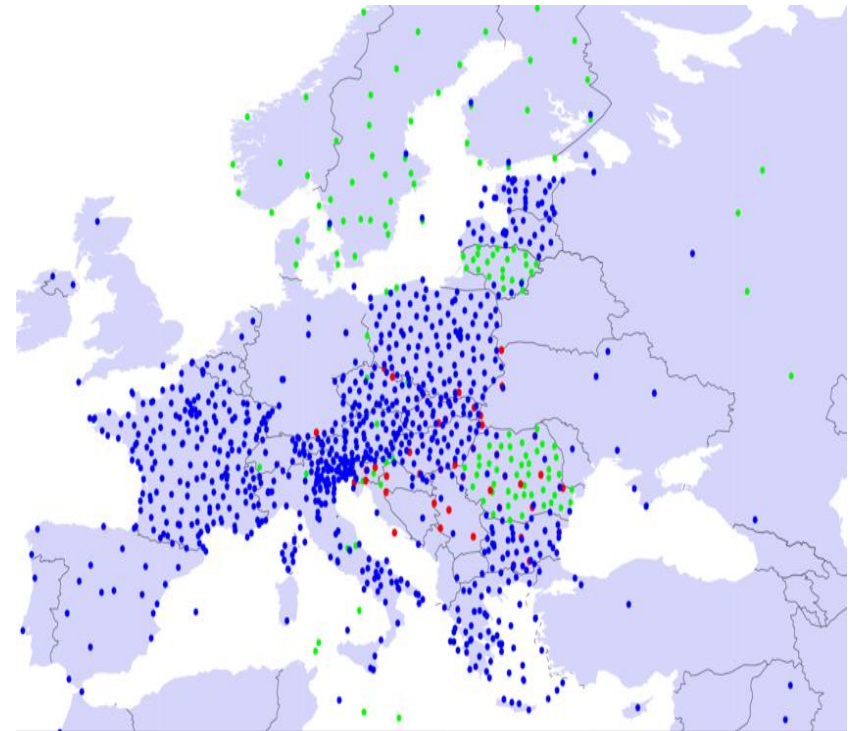
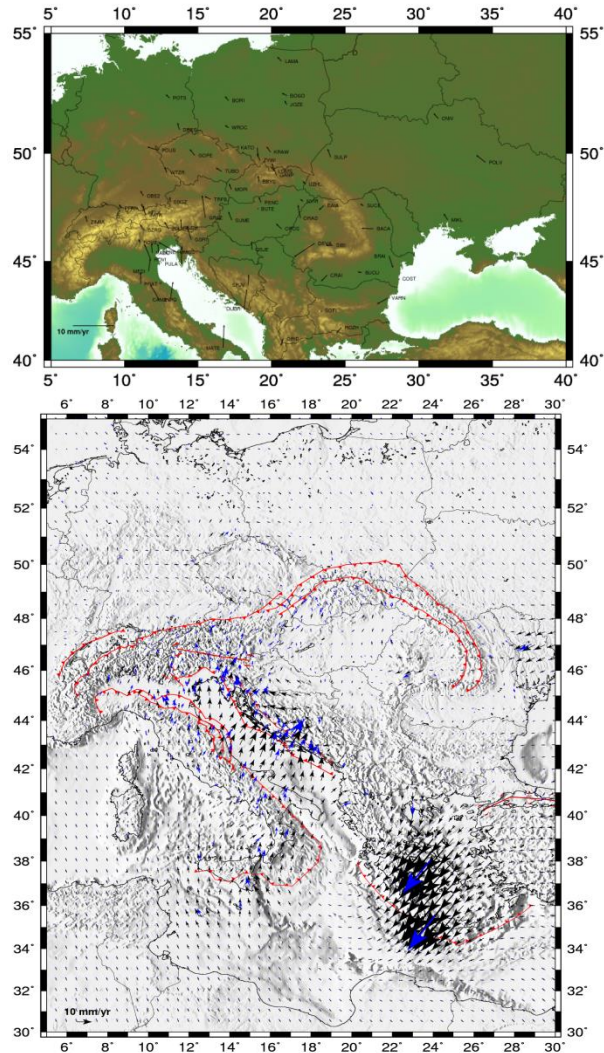
## Funkční schéma EPOS



## EPOS – pracovní balíčky



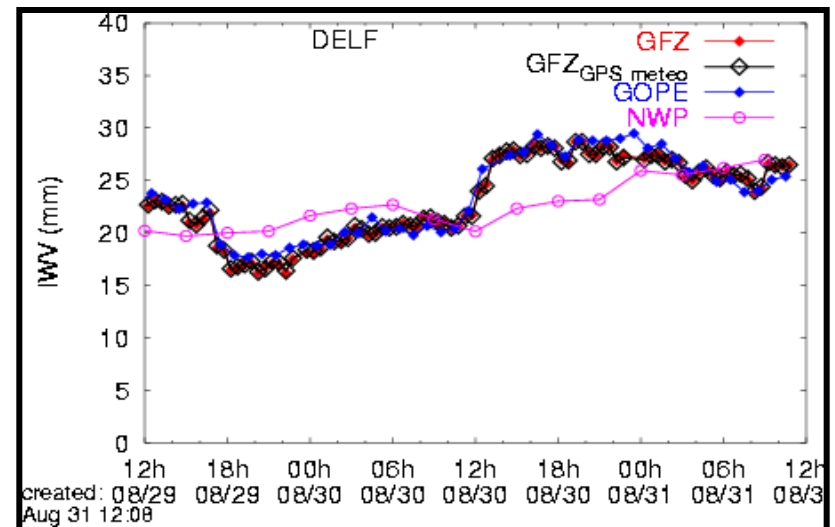
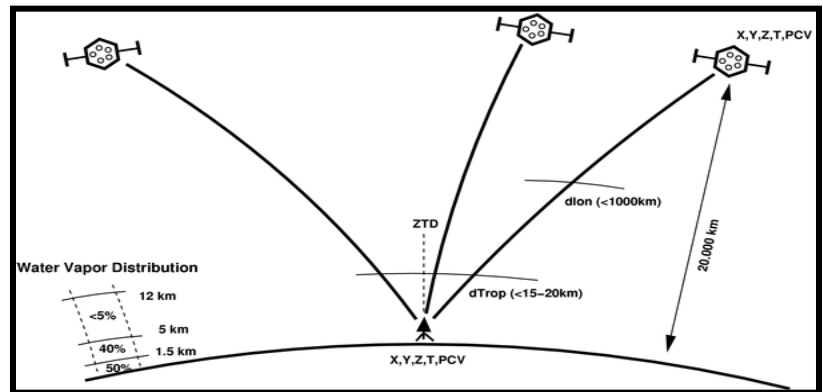
# Příspěvek GNSS ke studiu geodynamiky Evropy: CEGRN a ECC





# GNSS a studium atmosféry

- Známa přesná poloha přijímače a dráha
- Eliminace ionosféry a korekce hodin UDZ a přijímače
- Aplikace modelů (APC, oceánické zatížení atd.)
- Odhadovaným parametrem je ZTD

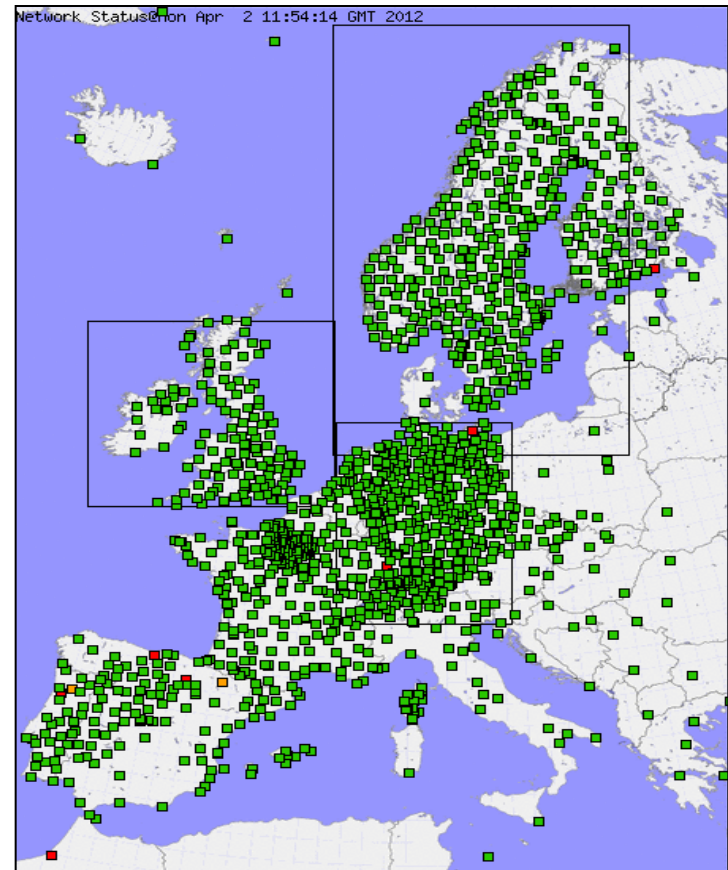


# GNSS v meteorologii

- COST 716, TOUGH, E-GVAP I, II, III, GNSS4SWEC (COST 1206)
- Koordinovaný vývoj nových metod a produktů na báze multi-GNSS
- Lepší pochopení krátkodobých procesů v atmosféře
- Nové zpracování dlouhých časových řad GNSS ZTD pro klimatologii
- Kooperace s IGS a EUREF ve prospěch E-GVAP
- Koordinované využití GNSS a meteorologických dat k oboustrannému prospěchu

# GNSS4SWEC – cíle WG1

- WG1: RT Demonstration Campaign
- Vývoj sofistikovaných troposférických produktů pro numerické předpovědi
- Konzistentní troposférické produkty pro klimatologii
- Využití dat numerických modelů pro přesné určování polohy z GNSS (mapovací funkce, gradienty, troposférické modely pro RT)



# Výzkum v oblasti vědeckých aplikací GNSS v ČR

- ČVUT – FEL (Prof. F. Vejražka): GNSS systémy a signály, vývoj navigačních zařízení
- ČVUT – FJFI: (Prof. I. Procházka) European Laser Timing (ESA) – velmi přesné měření času
- ČVUT – FS – Katedra geomatiky (Prof. L. Mervart): dlouholetý podíl na vývoji vědeckého SW paketu Bernese; vývoj SW pro RT aplikace v IGS, EPN, ..., účast na analýzách multi-GNSS experimentu, PPP
- VÚGTK, v.v.i. (Dr. J. Douša et al.): EPN datové a analytické centrum, dedikované centrum pro reprocessing, IGS ultrarychlé dráhy, dlouhodobá činnost v oblasti GNSS meteorologie (akce COST 716, TOUGH, E-GVAP I, II, III, GNSS4SWEC), vývoj vědeckého SW – G-Nut knihovny s řadou nástrojů, pro analýzu kvality dat; EPOS – WG10; observace GOP v rámci MGEX a MGM

# Mezinárodní aktivity ČR v oblasti GNSS

- GSA (Evropský úřad pro GNSS) od roku 2012 sídlí v Praze
- 9th ICG Meeting, listopad 2014, Praha (Shromáždění Mezinárodního výboru pro GNSS při Kanceláři OSN pro záležitosti kosmického prostoru)
- 26. Valné shromáždění Mezinárodní unie geodetické a geofyzikální (jejíž součástí je IAG), Praha, červen/červenec 2015
- WMESS 2015 (Světové multidisciplinární geovědné symposium), Praha, 7. – 11. 9. 2015
- 15. Kongres IAIN (Mezinárodní asociace institutů navigace), Praha, 20. – 23. 10. 2015
- Living Planet, Praha, 9. – 13. 5. 2016 (ESA, MD, MŽP, MŠMT); EO strategie, aplikace...; 9 sekcí
- WMESS 2016, Praha, 5. – 9. 9. 2016

# Shrnutí, závěry, výhled (1)

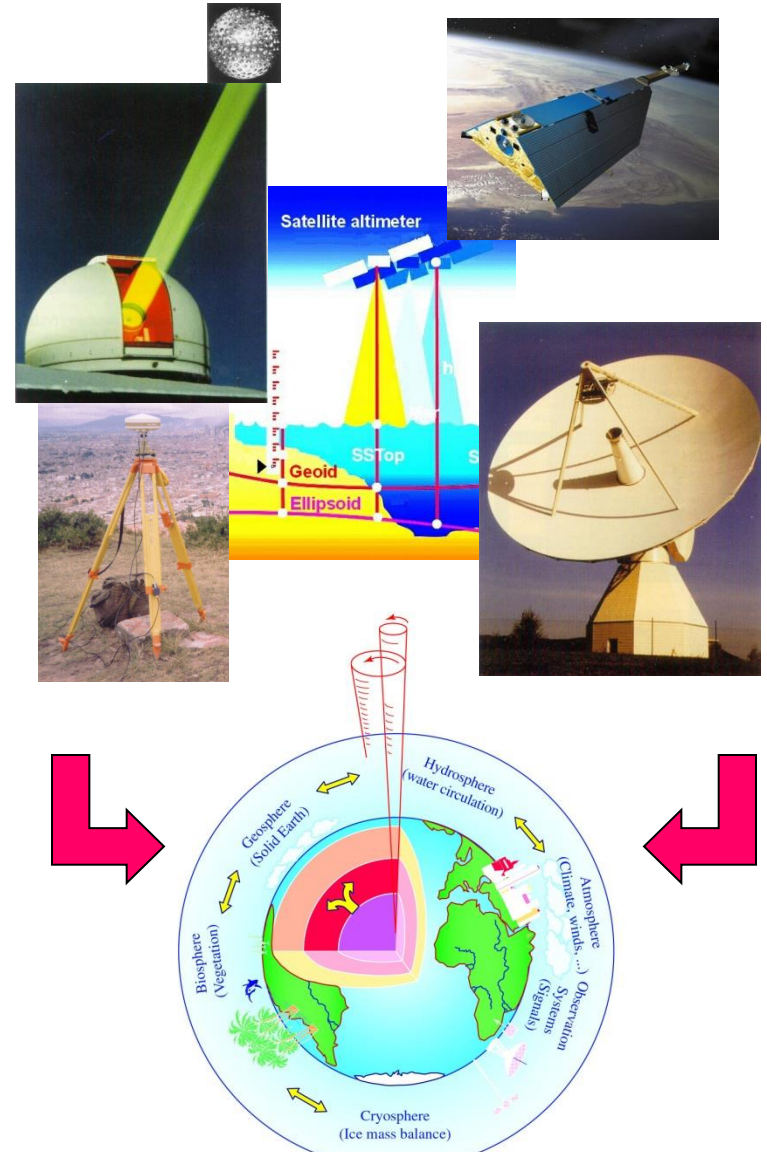
- Geodézie je disciplína orientovaná na poznávání časoprostoru
- Poskytování metrických informací vztažených k exaktním referenčním rámcům hraje integrační úlohu mezi současnými geovědnými disciplínami
- Geodézie vytváří základ pro kosmický výzkum, navigaci, technické obory, katastr, globální infrastrukturu prostorových dat, územní plánování a rozvoj atd.

# Shrnutí, závěry, výhled (2)

- Během tří desetiletí se přesnost geodetických pozorování zvýšila o dva řády
- Geodézie je jediný nástroj pro pozorování integrovaného přesunu hmot v systému Země
- Geodézie se stala novým nástrojem pro monitorování klimatických a geofyzikálních změn s neustále se zvyšující citlivostí a rozlišitelností

# Shrnutí, závěry a výhled (3)

- GNSS je významnou součástí GGOS
- GGOS integruje různé geodetické observační metody a modely; poskytuje vědeckou infrastrukturu pro veškerý geovědný výzkum globálních změn





# Shrnutí, závěry, výhled (4)

- Plně funkční multi-GNSS prostředí přispěje k řešení interdisciplinárních vědeckých problémů
- Větší počet družic přinese zlepšení konvergence při PPP, obohatí výzkum atmosféry, přispěje k dekorelaci parametrů troposféry, hodin a výšek
- Zdokonalené signály povedou ke snížení multipathu a k větší robustnosti v případě slabého signálu
- Stabilní hodiny zkvalitní PPP metodu v RT a přispějí k přesnější predikci drah
- Rozmanitost (různé orbitální periody s možností souměřitelnosti a možnost lepší dekorelace určovaných parametrů – dráhy, ERP)

# Shrnutí, závěry, výhled (5)

Požadavky geodetů na provozovatele GNSS:

- Vybavení všech družic laserovými odražeči
- Poskytnutí údajů o parametrech družic (hmotnost, povrch, reflektivita)
- Informace o orientaci družic na dráze
- Informace o vlastnostech palubních hodin

LAGEOS vs GNSS



**Děkuji Vám za pozornost!**