

Izbrana poglavja iz višje geodezije in geodetske astronomije
2020/2021

MODERNI TERESTRIČNI KOORDINATNI SISTEMI

doc. dr. Oskar Sterle

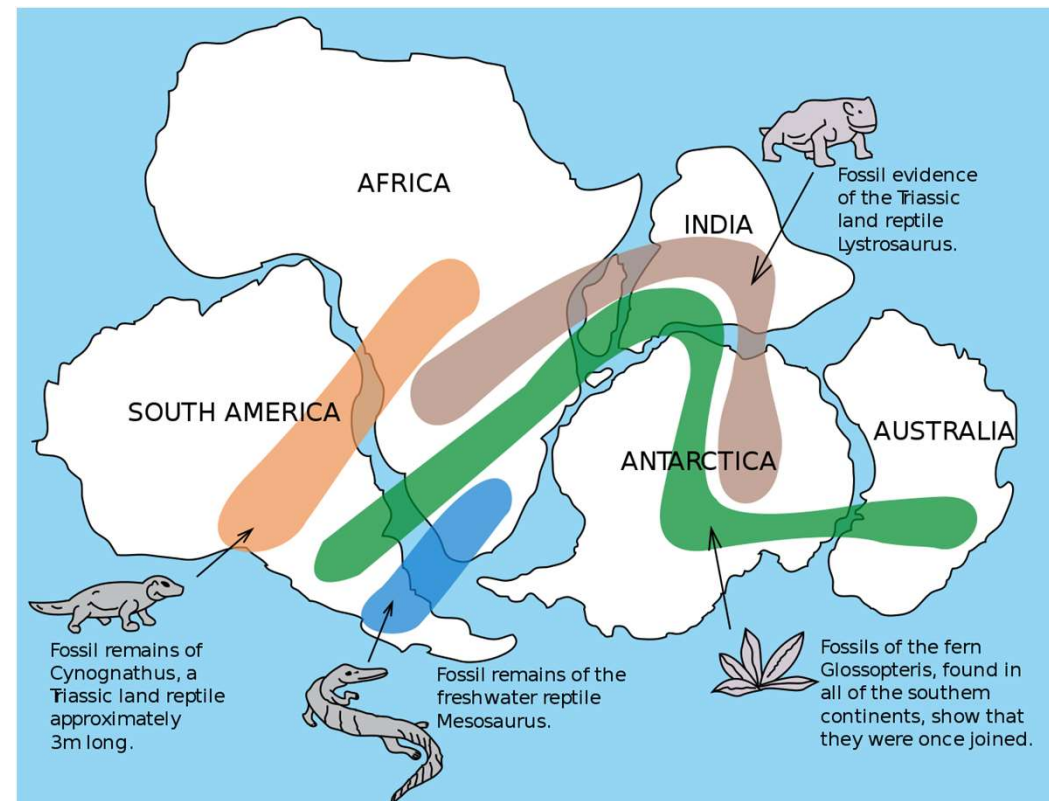
VSEBINA

- Alfred Wegener (1912)
- Geodezija
- Teorija koordinatnih sistemov
- Globalni koordinatni sistem ITRS (ITRFyy)
- Evropski koordinatni sistemi ETRS (ETRFyy)
- Dostop do ITRS in ETRS

ALFRED WEGENER (1912)

- Meteorolog, geofizik...
- 1912 predstavi svojo teorijo o tektoniki litosferskih plošč
- 1922 obsežna monografija z dokazi
- Veliko ne-metričnih dokazov (geologija, geomorfologija...)
- (Satelitska) geodezija (VLBI – 1967, GNSS od 1990 naprej)
- Danes – splošno sprejeto dejstvo
- Ključni poudarek:

VSE SE PREMIKA – NIČ NI STABILNO

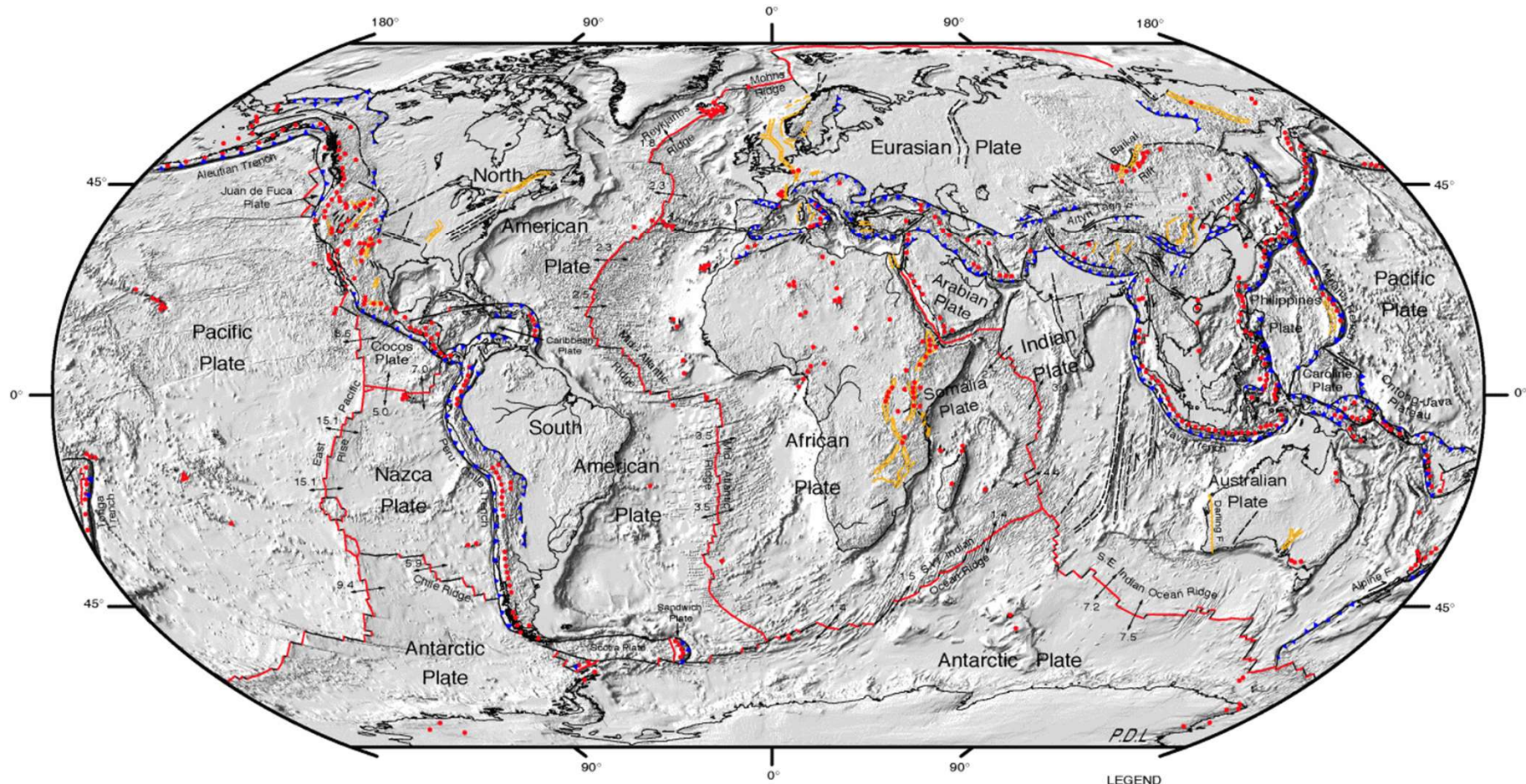


Vir: https://en.wikipedia.org/wiki/Alfred_Wegener#/media/File:Snider-Pellegrini_Wegener_fossil_map.svg

Diapozitiv 3

SO1

Sterle, Oskar; 10. 03. 2019



DIGITAL TECTONIC ACTIVITY MAP OF THE EARTH
 Tectonism and Volcanism of the Last One Million Years
DTAM - 1



NASA/Goddard Space Flight Center
 Greenbelt, Maryland 20771

Robinson Projection
 October 2002

- LEGEND**
- Actively-spreading ridges and transform faults
 - Total spreading rate, cm/year
 - Major active fault or fault zone; dashed where nature, location, or activity uncertain
 - Normal fault or rift; hachures on downthrown side
 - Reverse fault (overthrust, subduction zones); generalized; bars on upthrown side
 - Volcanic centers active within the last one million years; generalized. Minor basaltic centers and seamounts omitted.

GEODEZIJA

- Definicija (veliko definicij):

Znanost, ki se ukvarja z določevanjem velikosti in oblike Zemlje (in drugih nebesnih teles), njenega težnostnega in magnetnega polja ter njihovih sprememb skozi čas.

- Osnovna naloga geodezije – opis geometrije prostora in objektov v njem (+ časovne spremembe)
- Najučinkovitejši način s koordinatami objektnih/karakterističnih točk prostora/objektov v izbranem koordinatnem sistemu
- Geodetu koordinatni sistem NI dan, ampak ga je potrebno vzpostaviti
- Praktična uporaba sistema: geodetska mreža = geodetske točke s koordinatami v koordinatnem sistemu + geodetska opazovanja

TEORIJA KOORDINATNIH SISTEMOV

Teoretično obravnavanje koordinatnih sistemov pomeni zagotoviti:

- Koordinatni sistem
- Koordinatni sestav
- Geodetski datum

V okviru koordinatnega sistema povežemo opazovanja s koordinatami točk – skladnost mora višja od natančnosti opazovanj

Vir: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-85426-5_1.pdf

KOORDINATNI SISTEM

- Predstavlja: niz teoretičnih definicij in konstant
- Primer: ***globalni pravokotni kartezični koordinatni sistem***
 - Izhodišče: težišče Zemlje
 - Primarna Z os: rotacijska os Zemlje
 - Sekundarna X os: presečišče začetnega meridiana in ekvatorja
 - Terciarna Y os: zagotovi desno-sučnost
 - Merilo: meter
 - Pričvrščen za Zemljo in z njo rotira
- Primer: ***ekvatorialni nebesni koordinatni sistem***
 - Izhodišče: masno središče Zemlje
 - Primarna Z os: rotacijska os Zemlje
 - Sekundarna X os: smer pomladišča
 - Terciarna Y os: zagotovi desno-sučnost
 - Merilo: /
 - Pričvrščen za Zemljo a z njo NE rotira

KOORDINATNI SISTEM

- Na lokalnem nivoju: Državni koordinatni sistem države
 - Sovpada z ETRS za izbrano referenčno epoho
 - Elipsoid GRS80
 - Koordinate se skozi čas NE spreminjajo
 - Definirana je projekcija v ravnino

Ključno:

- Koordinatni sistem (definicije, konstante) morajo biti neodvisne od sestava in geodetskega datuma

KOORDINATNI SESTAV

- Predstavlja: Realizacijo ali vzpostavitev koordinatnega sistema
 - Niz fizično stabiliziranih geodetskih točk
 - Koordinate točk določene v tem sistemu iz opazovanj
- Primer: državni koordinatni sistem
 - Z GNSS izmero točkam določimo koordinate v ETRS tako, da se navežemo na že vzpostavljene točke, ki imajo že določene ETRS koordinate
 - Hierarhija navzgor (kje se konča?)

GEODETSKI DATUM

- Predstavlja: povezava med sistemom in sestavom, preko določenih konstant/parametrov
 - Lahko določen iz opazovanj ali iz definicij/konstant/predpostavk
 - Ne sme vplivati na sistem in sestav
- Primer: astro-geodetski datum (4-parametri)
 - 2 premika – astronomske/geodetske koordinate fundamentalne točke (astronomske meritve)
 - 1 zasuk – azimut med izbranimi točkami (astronomske meritve)
 - 1 merilo – dolžinska enota aplicirana na par točk (baza)

Analogija: Horizontalna geodetska mreža pri IR3:

- Opazovanja: horizontalni koti in dolžine
- Zagotovitev geodetskega datuma z minimalnim številom vezi -> geodetski datum ne vpliva na opazovanja in obratno

PRAKTIČNI VIDIK DEFINICIJE DRŽAVNIH KOORDINATNIH SISTEMOV

- Koordinate točk naj se ne spreminjajo bolj, kot je to neizogibno v časovnem razponu vsaj 10 let
- Realizacija sistema (sestav) naj ima daljšo življenjsko dobo
- Ob morebitnih deformacijah površja je le-te potrebno ustrezno modelirati v sklopu koordinatnega sistema
- Državni koordinatni sistem naj bistveno ne odstopa od regionalnega (ETRS) ali globalnega (ITRS) sistema
- Definirana mora biti povezava (transformacija) do regionalnega in globalnega sistema
- Zagotoviti je potrebno povezavo do starejšega koordinatnega sistema

- Neskladja med alinejami - vzrok: premiki točk površja!

Vir: Sterle in sod., 2009. Definicija, realizacija in vzdrževanje modernih koordinatnih sistemov. Geodetski vestnik, 53-4. (http://www.geodetski-vestnik.com/53/4/gv53-4_679-694.pdf)

ZAKAJ POTREBUJEMO REFERENČNE SISTEME (GLOBALNE)

- Izračun preciznih efemerid satelitov:
 - GNSS (GPS, GALILEO, GLONASS, BDS, IRNSS, QZSS)
 - Ostalo: altimetrija, gravimetrija, batimetrija, INSAR, daljinsko zaznavanje...
- Aplikacije zemeljskih znanosti:
 - Globalna geotektonika (tektonski premiki) in deformacije površja
 - Post-glacialno dviganje površja Zemlje (S in J pol)
 - Merjenje višine morske gladine
 - Položaj, orientacija in hitrost rotacije Zemlje
 - ...
- Zagotavljanje koordinatne osnove
 - Naloge navigacije: na Zemlji, na vodi, v zraku
 - Regionalni in državni referenčni koordinatni sistemi
 - Kartografija
- Razno:
 - Biologija – sledenje živalim

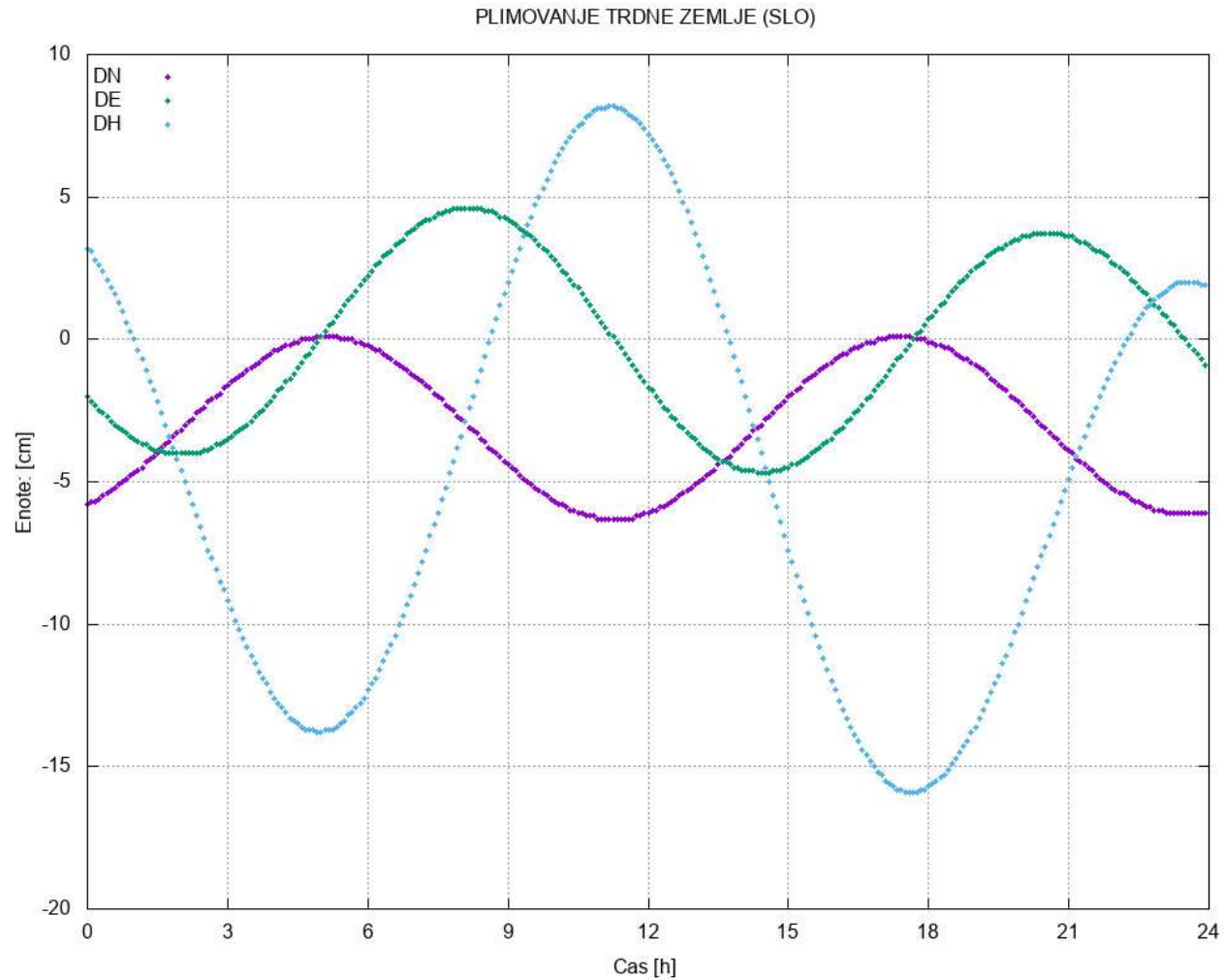
MODERNI KOORDINATNI SISTEMI

- Prostorski (3D) koordinatni sistemi - 7 datumskih parametrov
- Uporaba satelitske geodezije:
 - GPS in kasneje GNSS – revolucija v vzpostavljanju koordinatnih sistemov
 - Po uporabi prednjači GNSS – cenovno ugodno, enostavna uporaba
 - Omrežja stalno delujočih postaj GNSS
- Datumski parametri iz satelitskih opazovanj (SLR, LLR, VLBI, GNSS, DORIS...):
 - GNSS – izhodišče (kroženje satelitov okoli gorišča elipse)
 - VLBI – orientacija glede na kvazarje
 - SLR, LLR – merilo iz merjenih dolžin do satelitov in Lune
- Temeljijo na definiciji CTRS (angl. Conventional Terrestrial Reference Frame) – navezani na Zemljo, nujno poznavanje težnostnega polja Zemlje
- Navezani na CRS (angl. Celestial Reference System – Nebesni referenčni sistem)
- Večinoma časovno odvisni:
 - Položaj točke v določeni epohi in pripadajoč vektor hitrosti (primer: ftp://epncb.oma.be/epncb/station/coord/EPN/EPN_A_IGS14.SSC)
- Geodetska opazovanja že preveč natančna, da bi podajali le koordinate...

OPIS POLOŽAJEV TOČK V TERESTRIČNIH SISTEMIH

- Nič ni stabilno oz. na istem mestu skozi daljše časovno obdobje!
- Premiki točk so lahko (skoraj) linearni:
 - Geotektonike – počasno potovanje tektonskih plošč – premiki v horizontalni ravnini
 - Post-glacialno dviganje površja – ravninski in višinski premiki
 - Deformiranje površja (tektonika) - ravninski in višinski premiki
- Nelinearni premiki točk:
 - Plimovanje trdne Zemlje - ravninski in višinski premik (se ga da dobro modelirati)
 - Vpliv plimovanja oceanov - ravninski in višinski premik
 - Plimovanje atmosfere - ravninski in višinski premik
 - Ekstremni dogodki: vulkansko delovanje, potresi...

PRIMER: Plimovanje trdne Zemlje za območje Slovenije



OPIS POLOŽAJEV TOČK V TERESTRIČNIH SISTEMIH

$$x(t) = x_0 + v(t - t_0) + \sum \Delta x_i \quad (1)$$

- Položaj točke $x(t)$ v epohi/trenutku t se opiše z enačbo (1):
 - x_0 - referenčne koordinate točke v referenčni epohi t_0
 - v – linearna/konstantna hitrost točke (oznaka tudi \dot{x})
 - $\sum \Delta x_i$ - nelinearni vplivi na položaj točke (plimovanja, potresi, vulkani, post-glacialno dviganje površja...)
- Vzpostavitev TRS pomeni:
 - Definirati 7 datumskih parametrov koordinatnega sistema – za trenutek t_0
 - Zaradi vektorjev hitrosti – dodatno definirati še 7 parametrov sprememb koordinatnih datumskih parametrov
 - Moderni terestrični koordinatni sistemi temeljijo na 14 datumskih parametrih (7 za koordinate, 7 za vektorje hitrosti)

ITRS (International Terrestrial Reference System)

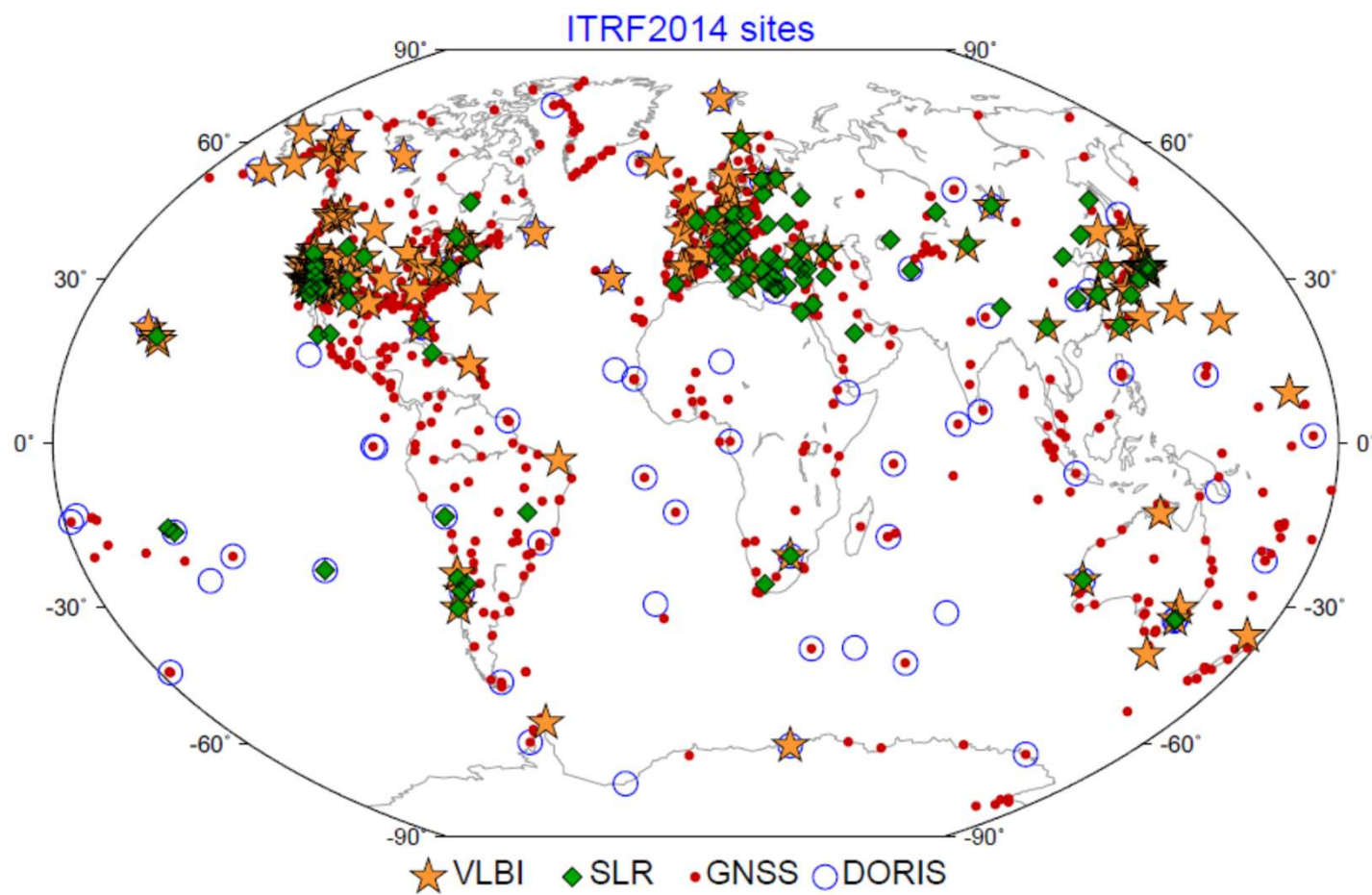
- Najpomembnejši in najkakovostnejši globalni koordinatni sistem
- IERS (International Earth Rotation Service)
https://www.iers.org/iers/en/home/home_node.html
 - Tudi ICRS in parametre rotacije Zemlje
- Definicija (<https://www.iers.org/iers/en/science/itrs/itrs.html>):
 - Geocentričen – izhodišče upošteva Zemljo, vode in atmosfero
 - Merilo: SI meter
 - Pritrjen na Zemljo
 - Orientacija: BIH (sedaj BIPM) orientacija za leto 1984.0 (navezava na ICRS)
 - Ni rotacije glede na premike točk na površini Zemlje („prosta mreža“)
 - Točke imajo podane koordinate v referenčni epohi s konstantnim vektorjem hitrosti

ITRF (International Terrestrial Reference Frame)

- Realizacija ITRS
- Domača spletna stran: <http://itrf.ign.fr/>
- Merske tehnike: VLBI, SLR, GNSS, DORIS
- Povezava med tehnikami: vezne točke (co-location points)
- Zakaj več tehnik – zagotovitev geodetskega datuma in večja nadštevilnost
- Vključeno:
 - nelinearno gibanje (sinusoide) in
 - po-potresne deformacije (post-seismic deformation)

vir: https://www.iers.org/SharedDocs/Publikationen/EN/IERS/Publications/tn/TechnNote38/tn38.pdf?__blob=publicationFile&v=4

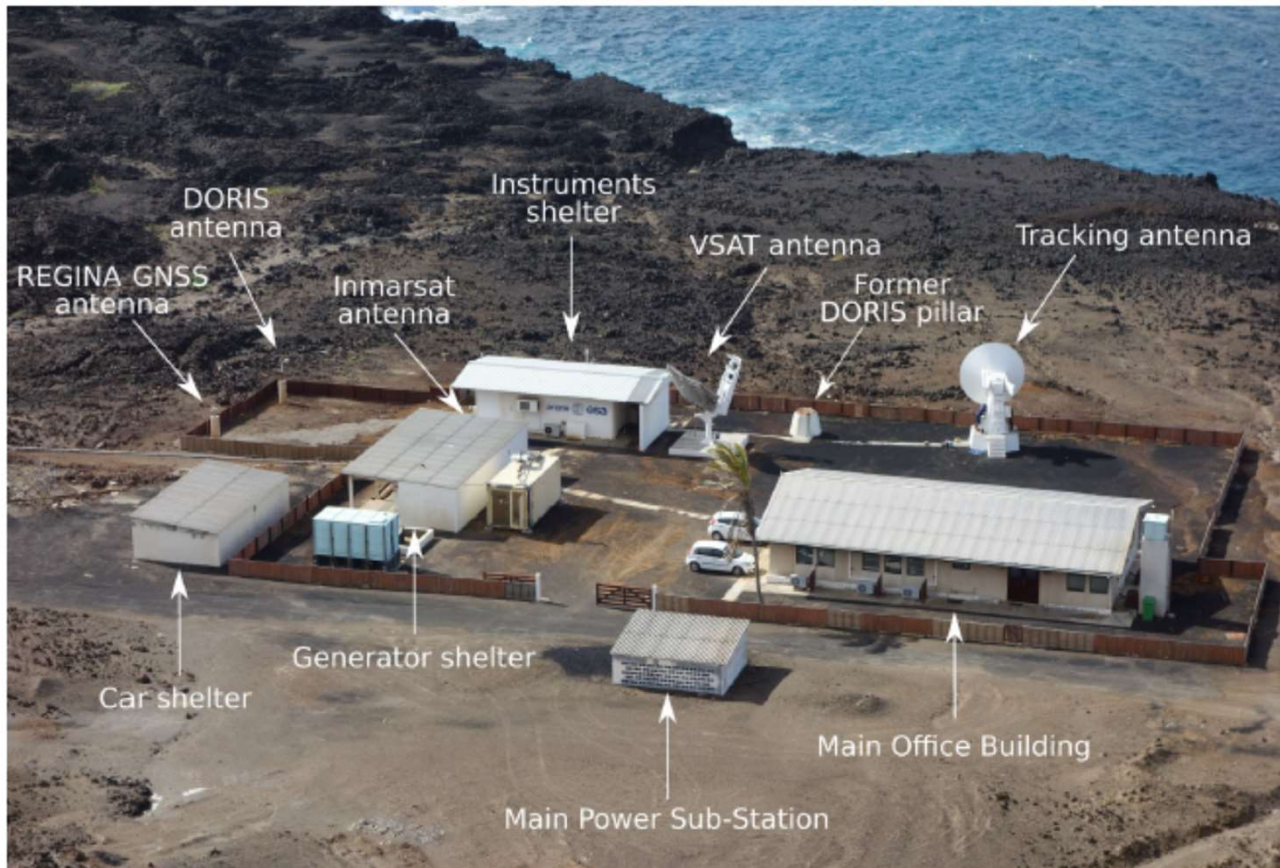
ITRF točke



vir:

https://www.iers.org/SharedDocs/Publikationen/EN/IERS/Publications/tn/TechnNote38/tn38.pdf?__blob=publicationFile&v=4

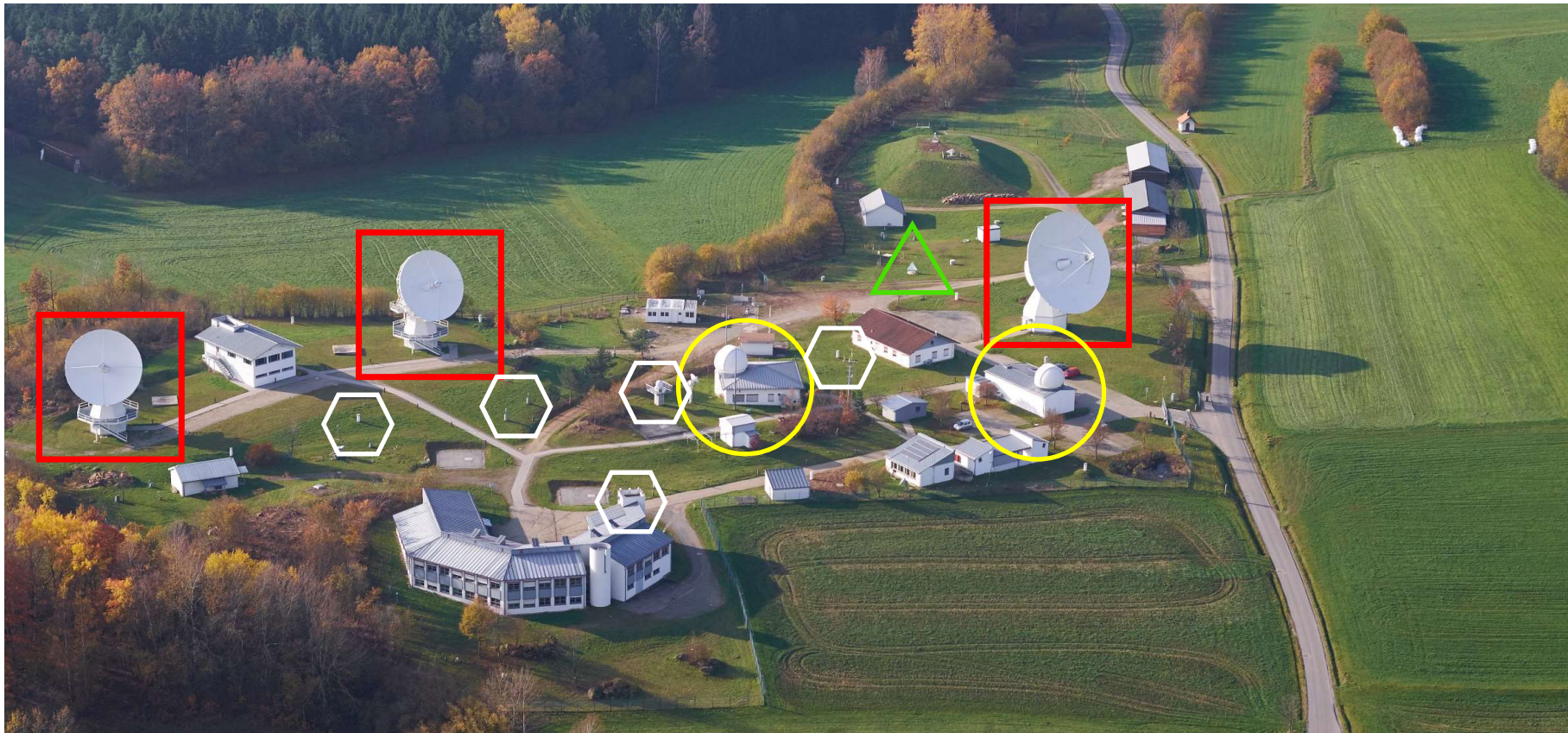
ITRF vezna točka: Ascension



The tracking station and its equipments

Vir: [https://itrf.ign.fr/doc ITRF/RT219 V1 DONAL AscensionITRF2015.pdf](https://itrf.ign.fr/doc_ITRF/RT219_V1_DONAL_AscensionITRF2015.pdf)

ITRF vezna točka: Wettzell, Nemčija



Vir: https://en.wikipedia.org/wiki/Geodetic_Observatory_Wettzell#/media/File:Geod%C3%A4tisches_Observatorium_Wettzell_2014.jpg

ITRF (International Terrestrial Reference Frame)

- Številne realizacije (ITRF88-ITRF2020): http://itrf.ign.fr/ITRF_solutions/index.php
- Zakaj toliko realizacij? Količina podatkov vedno večja – vsaka nova realizacija višje kakovosti
 - Časovne vrste koordinat nekaterih postaj tudi že 30 let
 - Vedno boljše kakovosti

- Zakaj je ITRF za uporabnika pomemben? Precizne efemeride satelitov GNSS so podane v ITRS:

```
#cP2019  2 10  0  0  0.00000000          96 ORBIT IGS14 HLM  IGS  
## 2040          0.00000000  900.00000000 58524 0.00000000000000
```

- Kakovost koordinat: http://www.epncb.oma.be/_productsservices/timeseries/
 - Koordinate postaj: mm natančnost
 - Vektorji hitrosti: pod mm/leto natančnost
- Kaj pa ostali globalni sestavi: WGS84 (GPS), PZ90 (GLONASS), GTRF (GALILEO), CGCS 2000 (BDS), JGS (QZSS)? Vsi so teoretično usklajeni z ITRF, praktično pa na nivoju do 10 cm (WGS84) , celo mm (GTRF)

TRANSFORMACIJA MED ITRFyy IN ITRFxx

Transformation parameters from ITRF2014 to past ITRFs.

SOLUTION	Tx	Ty	Tz	D	Rx	Ry	Rz	EPOCH
UNITS----->	mm	mm	mm	ppb	.001"	.001"	.001"	
	
RATES	Tx	Ty	Tz	D	Rx	Ry	Rz	
UNITS----->	mm/y	mm/y	mm/y	ppb/y	.001"/y	.001"/y	.001"/y	
ITRF2008	1.6	1.9	2.4	-0.02	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.0	0.0	-0.1	0.03	0.00	0.00	0.00	
ITRF2005	2.6	1.0	-2.3	0.92	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.3	0.0	-0.1	0.03	0.00	0.00	0.00	
ITRF2000	0.7	1.2	-26.1	2.12	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.1	0.1	-1.9	0.11	0.00	0.00	0.00	
ITRF97	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF96	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF94	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF93	-50.4	3.3	-60.2	4.29	-2.81	-3.38	0.40	2010.0
rates	-2.8	-0.1	-2.5	0.12	-0.11	-0.19	0.07	
ITRF92	15.4	1.5	-70.8	3.09	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF91	27.4	15.5	-76.8	4.49	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF90	25.4	11.5	-92.8	4.79	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF89	30.4	35.5	-130.8	8.19	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF88	25.4	-0.5	-154.8	11.29	0.10	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	

TRANSFORMACIJA MED ITRF_{yy} IN ITRF_{xx}

$$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -Rz & Ry \\ Rz & D & -Rx \\ -Ry & Rx & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Transformacija koordinat:

- S – transformirane koordinate za trenutek t

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_s \\ \dot{y}_s \\ \dot{z}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{T}x \\ \dot{T}y \\ \dot{T}z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{D} & -\dot{R}z & \dot{R}y \\ \dot{R}z & \dot{D} & -\dot{R}x \\ -\dot{R}y & \dot{R}x & \dot{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix}$$

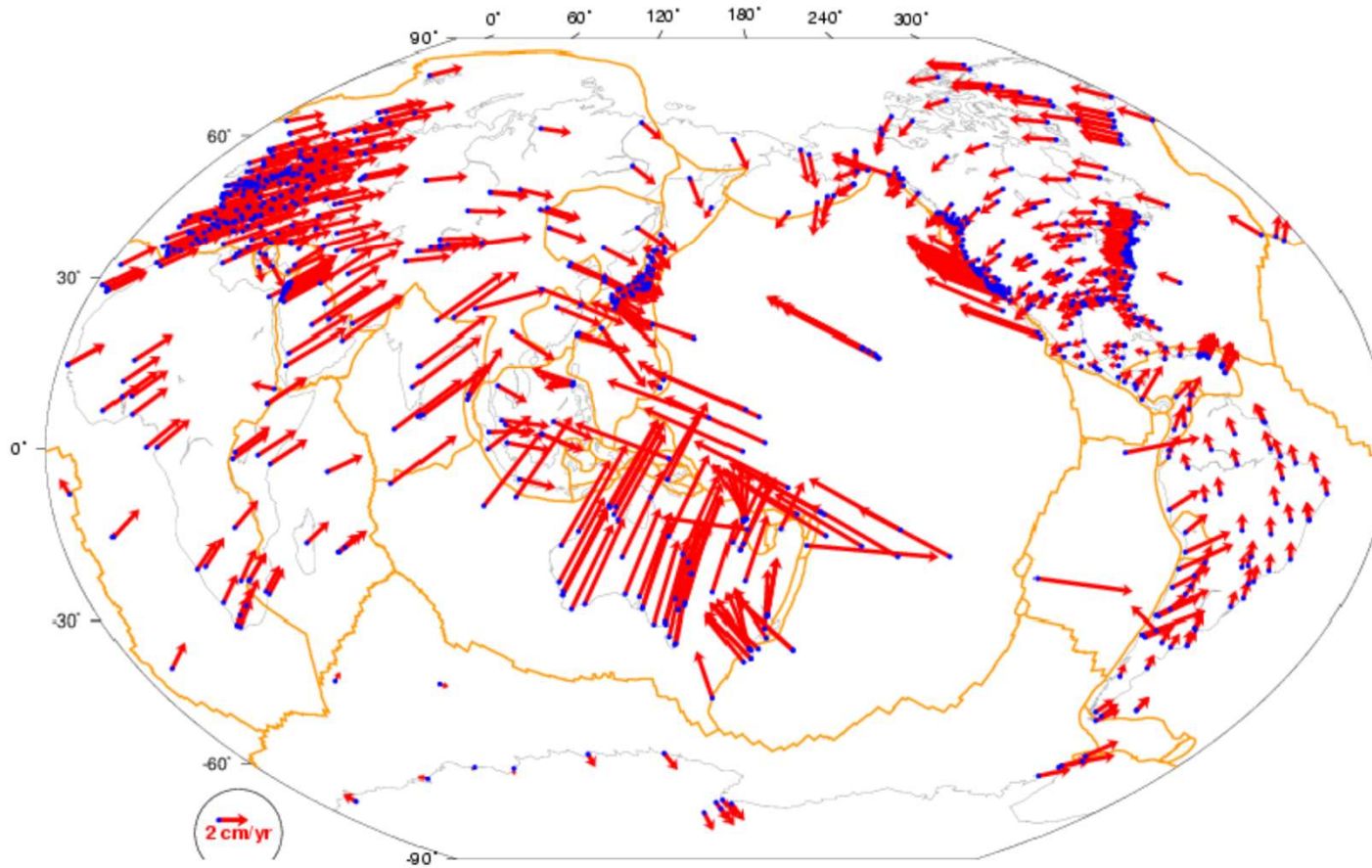
Transformacija vektorja hitrosti:

- S – transformirane komponente vektorja

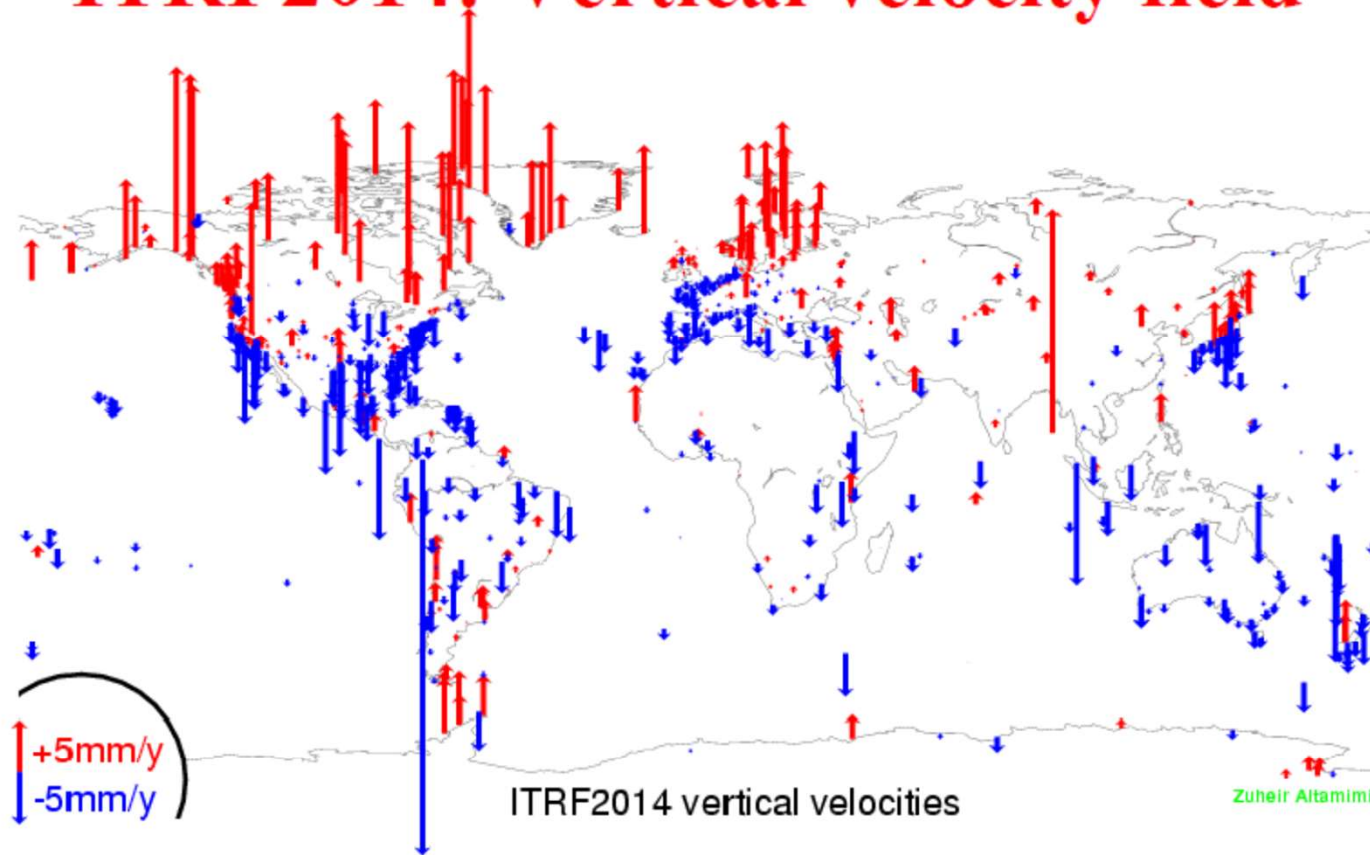
$$P(t) = P(EPOCH) + \dot{P}(t - EPOCH)$$

Transformacijski parametri so časovno odvisni!

ITRF2014: Horizontal velocity field



ITRF2014: Vertical velocity field



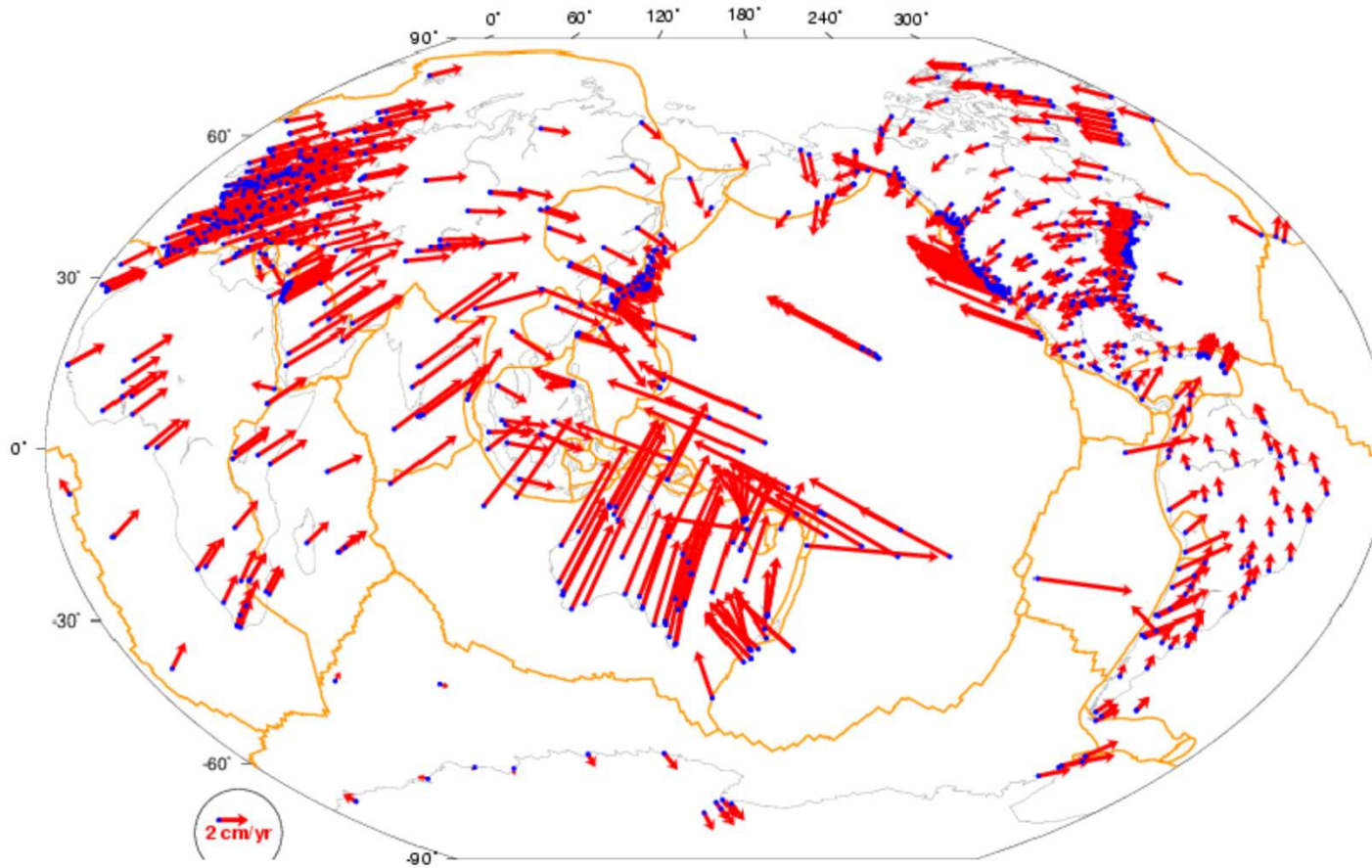
IGS (International GNSS Service) - <http://www.igs.org/>

- Zagotavlja realizacijo ITRF iz opazovanj GNSS
- Svoj lasten koordinatni sistem IGS14
- Orodje: omrežje stalno delujočih postaj (<http://www.igs.org/network>)
- Številni produkti (<http://www.igs.org/products>):
 - Efemeride
 - Atmosfera
 - Koordinate točk
- Podpora vsem, ki uporabljajo GNSS za določevanje položaja

Ključno za ITRS in/ali IGS:

**Položaji satelitov in položaji točk so skladni z opazovanji
GNSS (VLBI, SLR, DORIS)**

ITRF2014: Horizontal velocity field



EUREF (European Reference Frame)

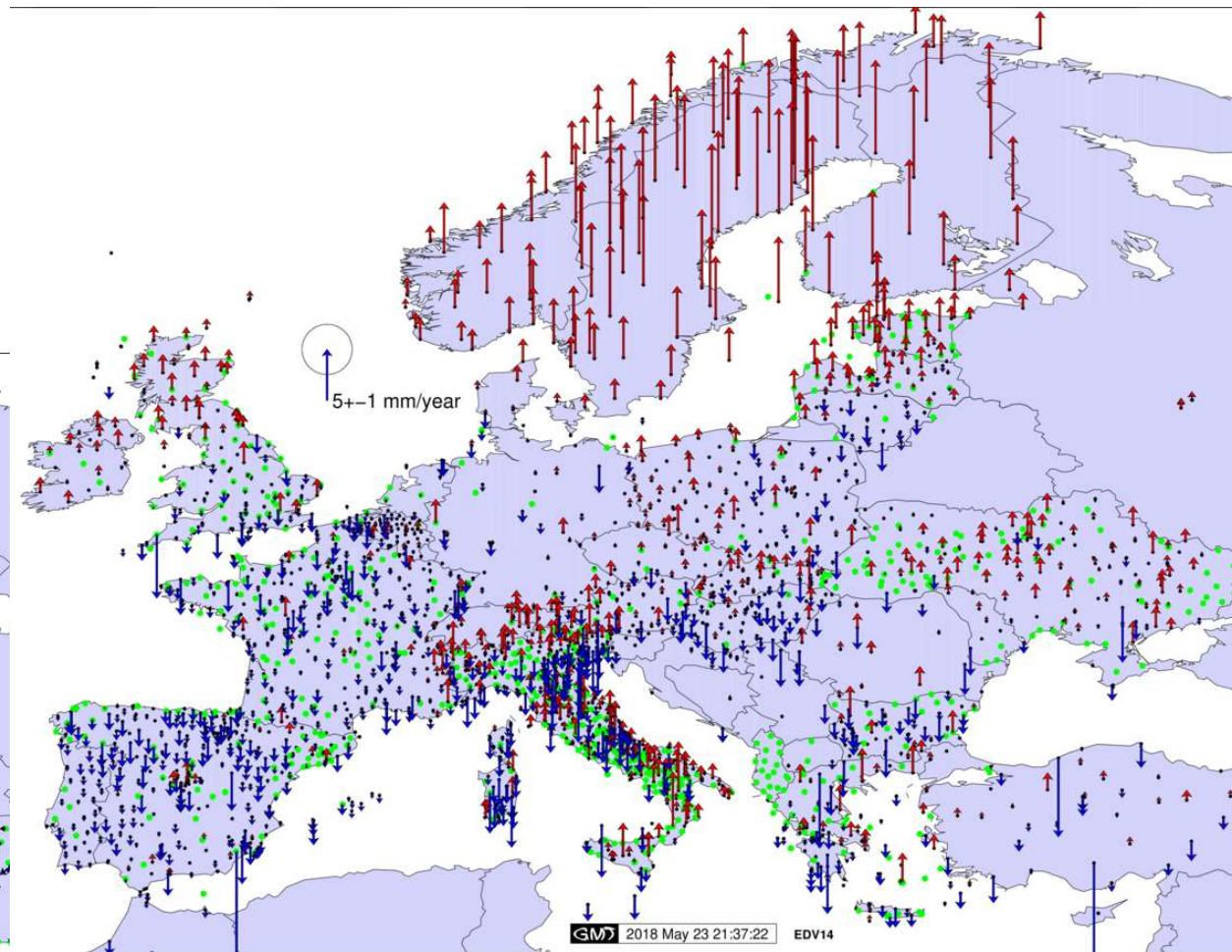
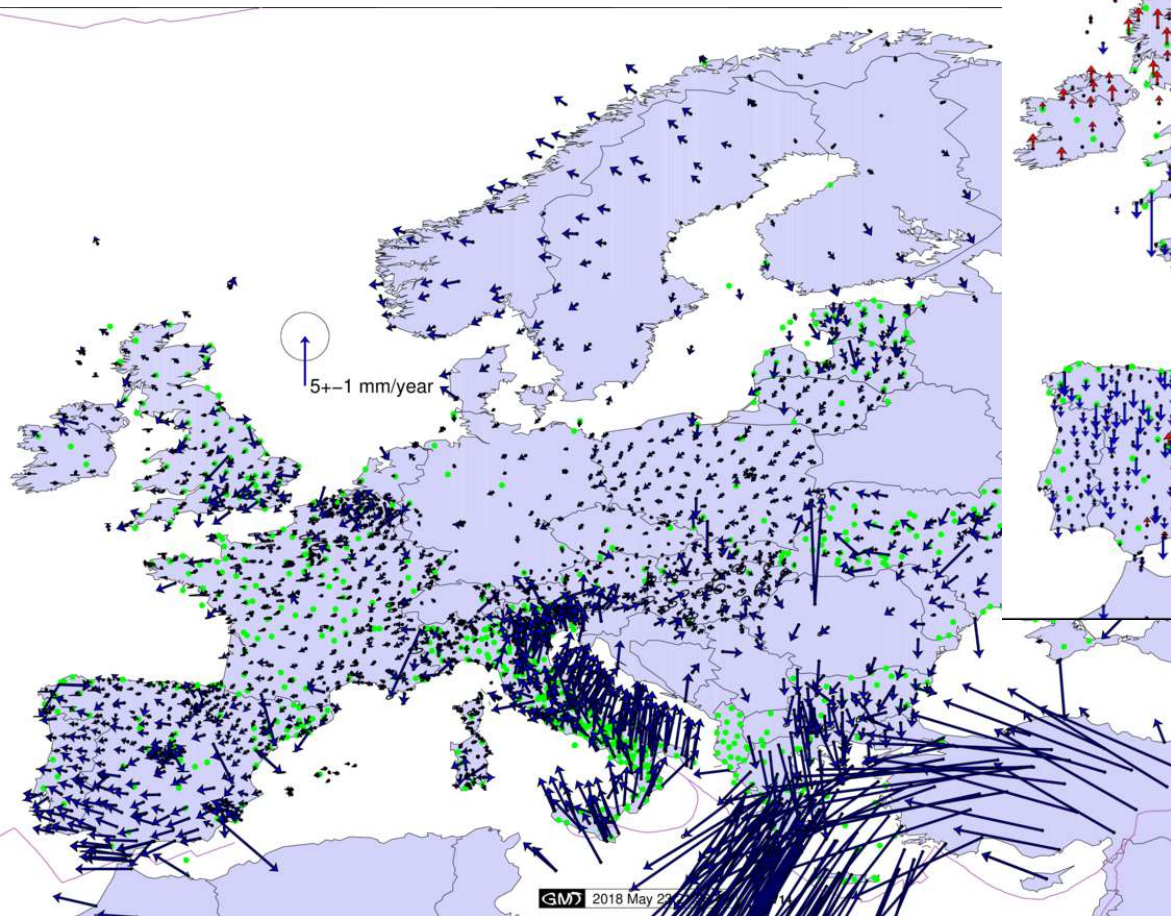
- Pod-komisija IAG za Referenčne sestave za področje Evrope (<http://www.euref.eu/>)
- EUREF vzpostavljen 1987 na glavni skupščini IUGG v Vancouvru, Kanadi
- Namen:
 - Vzpostaviti geodetsko infrastrukturo za multi-nacionalne projekte, kjer se zahteva točno geo-referenciranje (3D in časovno odvisno pozicioniranje, geodinamika, navigacija, geoinformatika...)
- Vzpostavi: EGRS – European Geodetic Reference System:
 - ETRS – European Terrestrial Reference System (horizontalna komponenta)
 - EVRS – European Vertical Reference System (višinska komponenta)

EUREF (European Reference Frame)

- Naloge:
 - Definicija, realizacija in vzdrževanje geodetskega referenčnega sistema Evrope
 - Promocija in pomoč pri uporabi obeh komponent ESRS po državah Evrope
 - Razvoj, vzdrževanje omrežja stalno delujočih postaj GNSS na območju Evrope – EPN (European Permanent GNSS Network - <https://www.epncb.oma.be/>)
 - Razvoj metodologij in tehnologij pri izgradnji geodetskih referenčnih sistemov
 - Sodelovanje z INSPIRE, EuroGeographics in zvezami Geodetskih uprav v Evropi

ETRS (European Terrestrial Reference System)

- Definicija (<http://etrs89.ensg.ign.fr/pub/EUREF-TN-1.pdf>):
 - Definiran na podlagi ITRS
 - Identičen z ITRS89 za epoho 1989,00
 - Pričvrščen na stabilno Evrazijo (glede na ITRS z Evrazijo skupaj rotira)
 - Identičen z WGS84 na nivoju 1m
- Spletna stran: <http://etrs89.ensg.ign.fr/>
- Do sedaj številne realizacije: od ETRS89 do ETRS2014
- Za vsak ITRF svoj ETRF
- Kaj je ključno: vektorji hitrosti so veliko manjši od vektorjev v ITRF (veliko manjša sprememba položajev in geometrije skozi čas)
http://www.epncb.oma.be/densification/coordinates/posvel_map.php



ETRS (European Terrestrial Reference System)

- Predstavlja enega izmed številnih regionalnih koordinatnih sistemov
- Nasledil ED50 (European Datum 1950)-vojni/vojaški produkt
- Prva realizacija: 1989 (GPS, VLBI, SLR) – kampanjske izmere
- Prvotno (leto 1989): koordinate točk se ne spreminjajo
- Od 1994: upoštevanje premikov – vektorji hitrosti
- Vzrok: natančnost opazovanj (GNSS) višja od premikov točk
- Posledica: tudi ETRS časovno odvisen koordinatni sistem
- Premiki stalnih postaj GNSS na območju Evrope najmanjši možni

GSR1: <http://www.epncb.oma.be/productsservices/timeseries/index.php?station=GSR100SVN&type=ETRS89>

ETRF-ITRF TRANSFORMACIJE

- Od leta 1994 – 14 parametrična transformacija, kot pri ITRF:

$$\begin{bmatrix} x_S \\ y_S \\ z_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -Rz & Ry \\ Rz & D & -Rx \\ -Ry & Rx & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Transformacija koordinat:

- S – transformirane koordinate za trenutek t

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_S \\ \dot{y}_S \\ \dot{z}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{T}x \\ \dot{T}y \\ \dot{T}z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{D} & -\dot{R}z & \dot{R}y \\ \dot{R}z & \dot{D} & -\dot{R}x \\ -\dot{R}y & \dot{R}x & \dot{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix}$$

Transformacija vektorja hitrosti:

- S – transformirane komponente vektorja

$$P(t) = P(EPOCH) + \dot{P}(t-EPOCH)$$

Transformacijski parametri so časovno odvisni!

TRANSFORMACIJE ITRF-ETRF

- Od leta 1994 – 14 parametrična transformacija, kot pri ITRF:

$$\begin{bmatrix} x_E \\ y_E \\ z_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_I \\ y_I \\ z_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -Rz & Ry \\ Rz & D & -Rx \\ -Ry & Rx & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_I \\ y_I \\ z_I \end{bmatrix}$$

Ker ETRS sovпада z ITRS za leto 1989 – vsi koordinatni parametri so enaki **0**

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_E \\ \dot{y}_E \\ \dot{z}_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_I \\ \dot{y}_I \\ \dot{z}_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{T}x \\ \dot{T}y \\ \dot{T}z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{D} & -\dot{R}z & \dot{R}y \\ \dot{R}z & \dot{D} & -\dot{R}x \\ -\dot{R}y & \dot{R}x & \dot{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_I \\ \dot{y}_I \\ \dot{z}_I \end{bmatrix}$$

Ker ETRS le rotira glede na ITRS, so parametri vektorjev za premike in merilo enaki **0**

$$P(t) = P(1989.0) + \dot{P}(t-1989.0)$$

Samo še parametri rotacije so časovno odvisni!

TRANSFORMACIJE ITRF-ETRF

- Končna transformacija:
 - Opisuje transformacijo med ITRF_y in ETRF_y
 - Uvede se vektor premika (T_x , T_y in T_z) da se lahko upošteva morebitne razlike v izhodišču koordinatnih sestavov ITRF
 - Postopek: http://www.epncb.oma.be/products_services/coord_trans/

$$\begin{bmatrix} x_E \\ y_E \\ z_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_I \\ y_I \\ z_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\dot{R}_z & \dot{R}_y \\ \dot{R}_z & 0 & -\dot{R}_x \\ -\dot{R}_y & \dot{R}_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_I \\ y_I \\ z_I \end{bmatrix} (t-1989.0)$$

ETRF-ITRF TRANSFORMACIJE

- Splošno – razlike med ITRF in ETRF so okoli:
 - $(t-1989) * \sim 3\text{cm} = \text{okoli } 1 \text{ m sedaj (2020)}$
 - Okoli 50 cm po posamezni koordinatni osi
- Položaji točk v ETRF in položaji satelitov GNSS (ITRF) **NISO** skladni z opazovanji GNSS
- Teoretično: GNSS opazovanja **NE** moremo obdelati preko koordinat ETRS
- Praktično: napaka še sprejemljiva/zanemarljiva (pod mm)
- Kje se to pozna? Omrežje SIGNAL v datotekah RINEX podaja koordinate postaj v D96-17:
 - \sim ETRS na 10 cm
 - \sim ITRS na 1 m

DOSTOP DO KOORDINATNIH SISTEMOV ITRF/ETRF

- Kako praktično dostopati do ITRF/ETRF?
- Precizne efemeride GNSS so podane v ITRF – metoda PPP zagotovi izračunane koordinate v ITRF za trenutek izmere
- Omrežje stalno delujočih postaj GNSS:
 - ITRF: omrežje IGS (<http://www.igs.org/network>)
 - ETRF: omrežje EPN (<http://www.epncb.oma.be/>)
- Vključiti datoteke RINEX postaj IGS ali EPN v obdelavo
- Podatkovni centri:
 - IGS: <http://www.igs.org/about/data-centers>
 - EPN: http://www.epncb.oma.be/networkdata/data_access/
- Koordinate postaj:
 - IGS/ITRF: https://itrf.ign.fr/ITRF_solutions/
 - EPN/ETRF: <http://www.epncb.oma.be/productsservices/coordinates/>