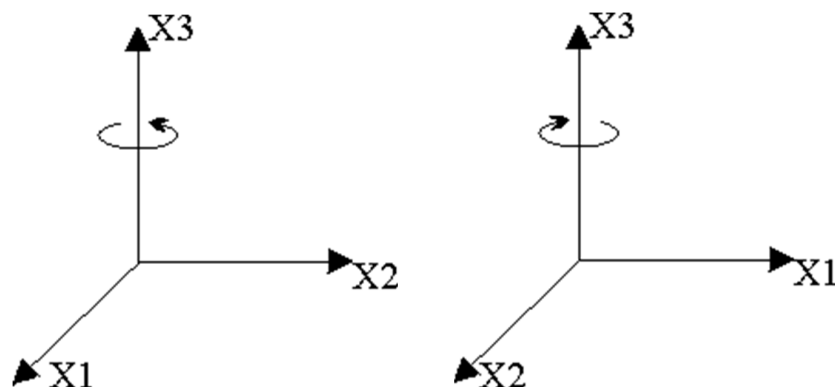
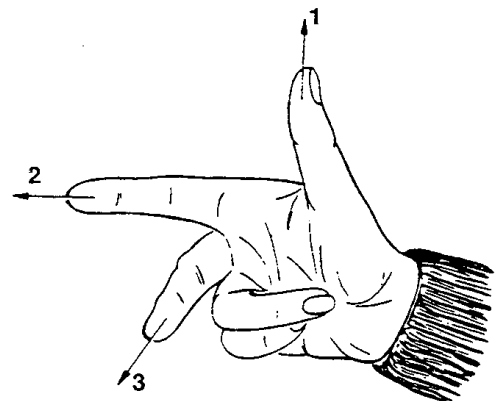


Referenčni sistemi v Satelitski geodeziji

- Dejstvo je, da živimo v tridimenzionalnem Evklidskem prostoru. To je aksiom, ki ga ni potrebno dokazovati. Da bi lahko podali geometrijski položaj točke v tem prostoru je primerno sredstvo vzpostavitve koordinatnega sistema.
- Položaj točke zato podajamo s štirimi komponentami. Poleg geometrijskih komponent položaja podamo tudi časovno komponento.
- Koordinatni sistemi v geodeziji predstavljajo primerno sredstvo za izražanje splošnih fizikalnih zakonov in podajajo zvezo z geodetskimi meritvami. V osnovi je izbira koordinatnega sistema poljubna, vendar je smiselno izbrati takšne koordinatne sisteme, ki bodo v čim večji meri poenostavili predstavitev rezultatov meritev oz. različnih izračunov.

Pravokotni in krivočrtni koord. sistemi (1)

- Pravokotni, kartezični koord. sistem:
 - René Descartes (lat. Cartesius), XVII. st.
 - desni in levi pravokotni k.s.

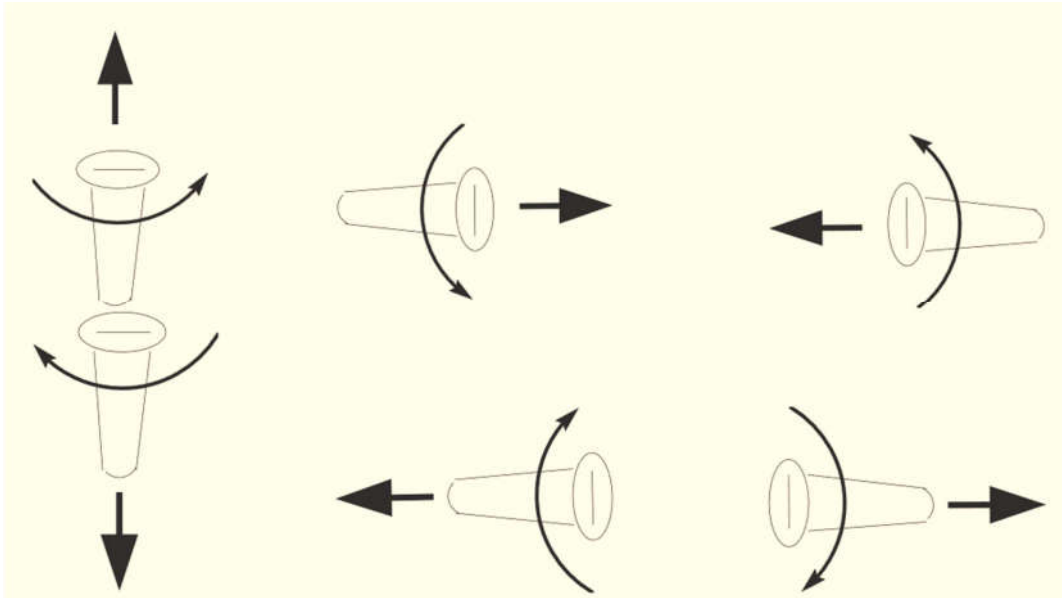


P: $X = 4277514,3$
 $Y = 1013544,2$
 $Z = 4611430,6$

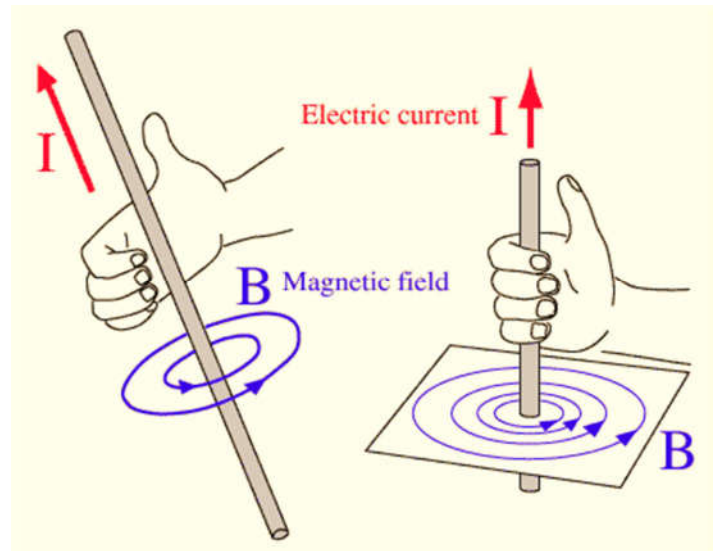
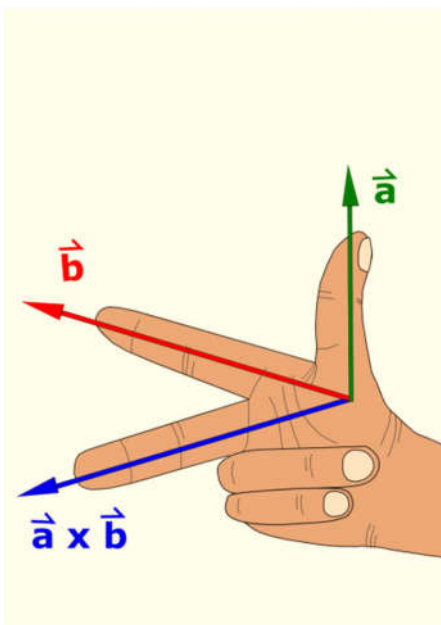
P: $\phi = 46^\circ 22' 13,4''$
 $\lambda = 13^\circ 19' 48,8''$

Desnosučni, levosučni k.s. (desna oz. leva orientacija)

- Pravilo desnega vijaka: večina vijakov je desnih. To pomeni, da ga privijamo, ko ga vrtimo v negativni smeri (↻) in odvijamo, ko ga vrtimo v pozitivni smeri (↺). Op: pozitivna smer je tu levosučna (matematika)!
- Temu dejstvu pravimo pravilo desnega vijaka.

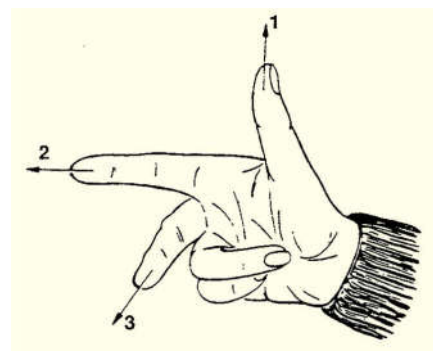


Desnosučni, levosučni k.s. (desna oz. leva orientacija)



Pravilo desne roke:

Če na desni roki iztegnemo palec, kazalec in sredinec tako, da trije prsti tvorijo pravi kot; pri tem palec kaže v smeri vektorja \mathbf{a} → kazalec v smeri vektorja \mathbf{b} in sredinec v smeri (vektorskega produkta) vektorja \mathbf{c} .



Pravokotni in krivočrtni koord. sistemi (2)

- Krivočrtne koordinate (q_1, q_2, q_3) izpeljemo iz kartezičnih kot:

$$q_i = q_i(x, y, z), \quad i=1, 2, 3$$

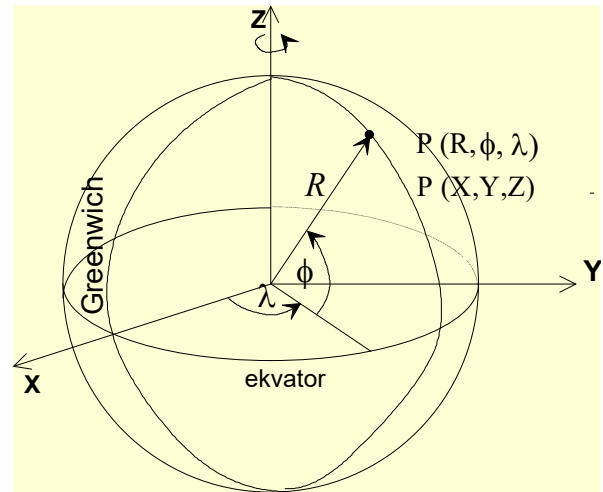
Zgornja enačba lahko vsebuje poljubno število parametrov.

- Primer ne-parametričnega koordinatnega sistema so *krogelne (sferne) koordinate* R, ϕ, λ .
- Primer pretvorbe: Pretvorba iz (R, ϕ, λ) v (X, Y, Z) :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \lambda \\ \cos \phi \sin \lambda \\ \sin \phi \end{bmatrix}$$

- Pretvorba iz (X, Y, Z) v (R, ϕ, λ) :

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \lambda \\ R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan \frac{Z}{d}; \arcsin \frac{Z}{R} \\ \arctan \frac{Y}{X} \\ \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \end{bmatrix} \quad d = \sqrt{Y^2 + X^2}$$



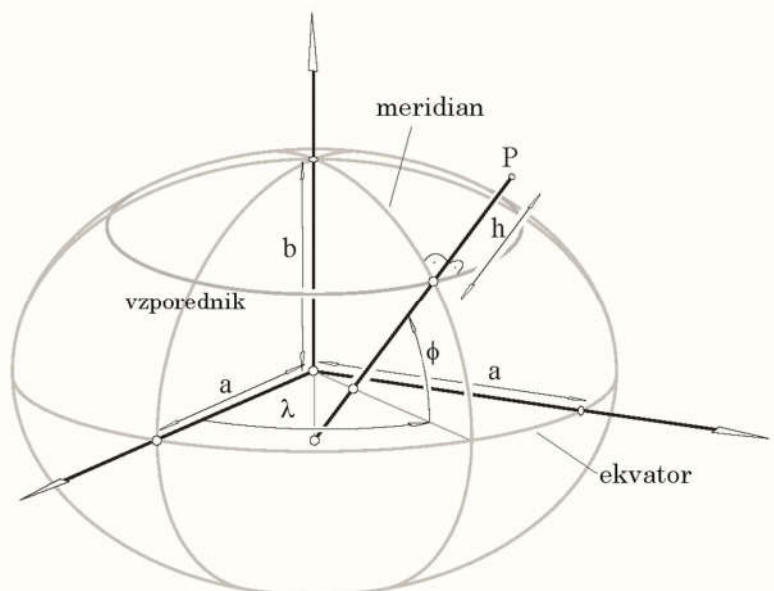
Pravokotni in krivočrtni koord. sistemi (2)

- Geodetske (elipsoidne) koordinate* ϕ, λ predstavljajo dvoparametrični sistem krivočrtnih koordinat (parametra sta a, f).
- Pretvorba iz (ϕ, λ, h) v (X, Y, Z) :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + h) \cos \phi \cos \lambda \\ (N + h) \cos \phi \sin \lambda \\ [(1 - e^2)N + h] \sin \phi \end{bmatrix}$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}}$$

$$e^2 = 2f - f^2$$



Definicija in orientacija koordinatnih sistemov (2)

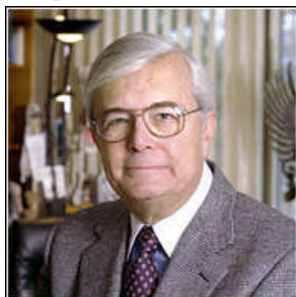
- ❑ Orientacija koordinatnega sistema se poda z definicijo naslednjih pojmov:
 - 1) prva osnovna smer oz. prva koordinatna os (os rotacije Zemlje, navpičnica);
 - 2) prva osnovna ravnina, ki je vedno pravokotna na prvo osnovno smer (ravnina ekvatorja, horizontalna ravnina);
 - 3) druga osnovna ravnina, ki je pravokotna na prvo osnovno ravnino in vsebuje prvo osnovno os; Drugo ravnino pogosto izberemo dogovorno (Greenwich), ali pa je določena z naravnimi pojavi (ravnina kolurja enakonočja);
 - 4) druga osnovna os je presečišče prve in druge osnovne ravnine (os X);
 - 5) tretja koordinatna os se izbere tako, da bo k.s. desni oz. levi.
 - 6) Definirati je potrebno začetek in smer štetja kotov v osnovni ravnini.

Referenčni sistemi in sestavi (1)

- ❑ Koordinatni sistem moramo:
 1. teoretično definirati,
 2. praktično realizirati,
 3. uveljaviti, kot sistem, ki je primeren za vsakdanjo uporabo.
- ❑ Teoretična definicija in praktična izvedba sta bila bili pogoj za uvedbo pojmov: **referenčni sistem ("reference system") in referenčni sestav ("reference frame")**.
- ❑ nem. "der Bezugrahmen", fr. "Le Système/Repère de référence", hr.(bos., sr.) "referentni okvir".
- ❑ V slov. fizikalni literaturi najdemo tudi izraz "opazovalni sistem".

Referenčni sistemi in sestavi (2)

- ❑ Referenčni sistem je višji pojem, ki vključuje tudi pojem referenčni sestav, nanaša se na množico fizikalnih in matematičnih teorij različnih pojavov, ki jih upoštevamo pri definiciji referenčnega sistema samega.
- ❑ Referenčni sestav predstavlja praktično realizacijo (materializacijo) referenčnega koordinatnega sistema.
- ❑ V teorijo uvedla Ivan Istvan Müller in Jean Kovalevsky (v osemdesetih letih XX. stoletja).



Ivan Müller (1930-2023),
profesor geodezije na
Ohio State University



Jean Kovalevsky (1929 – 2018),
Astronomer Emeritus at the
Observatoire de la Côte d'Azur

Referenčni sistemi in sestavi (3)

- ❑ V obeh primerih definicije podajajo samo temeljni princip (zasnovo) za idealni primer: **idealni referenčni sistem**. Izraz "idealni" predstavlja samo pojem (pojmovno definicijo), brez sredstev kako ustvariti tak sistem.
- ❑ Dejanska zasnova takšnega sistema pomeni izbiro ustrezne fizikalne teorije, kjer nastopajo številni parametri in konstante. Vemo, da vse eksperimentalno dobljene konstante in parametri, ne glede na kakovost instrumentarija in izpopolnjenost merskih tehnik, vsebujejo napake. To še tako dobrem koordinatnem sistemu daje določeno stopnjo pomanjkljivosti. Zaradi tovrstne negotovosti modelov jim dodajamo pridevnik **konvencionalen**, ki to negotovost poudarja.
- ❑ V praksi so realizirani samo **konvencionalni (dogovorjeni)** referenčni sistemi.

Inercialni referenčni sistemi (1)

- ❑ Opazovanja položaja in gibanja teles Sončevega sistema služijo za proučevanje in dokazovanje veljavnosti zakonov dinamike in gravitacijskega zakona. Da bi tovrstne raziskave bile uspešne, potrebujemo **inercialni referenčni sistem**.
- ❑ Inercialni referenčni sistem je sistem v katerem veljajo Newtonovi zakoni mehanike: zakon o vztrajnosti, Newtonov zakon o sili in zakon o vzajemnem učinku.

Inercialni referenčni sistemi (2)

- ❑ Inercialni sistem mora izpolnjevati naslednje zahteve:
 - koordinatne osi sistema ne smejo rotirati glede na ostali del Vesolja;
 - izhodišče sistema se ne sme gibati pospešeno glede na celotno Vesolje.
- ❑ Inercialni sistem se lahko giblje premočrtno s konstantno hitrostjo!
- ❑ Zahteve inercialnega referenčnega sistema so navezane predvsem na prvi Newtonov zakon – zakon vztrajnosti.
- ❑ Lastnost inercialnega sistema je v tem, da na nobeno telo znotraj sistema ne deluje sila, čigar izvor bi bil v samem gibanju sistema – na sistem v celoti ne deluje nobena zunanja sila.

Newtonovi zakoni klasične mehanike

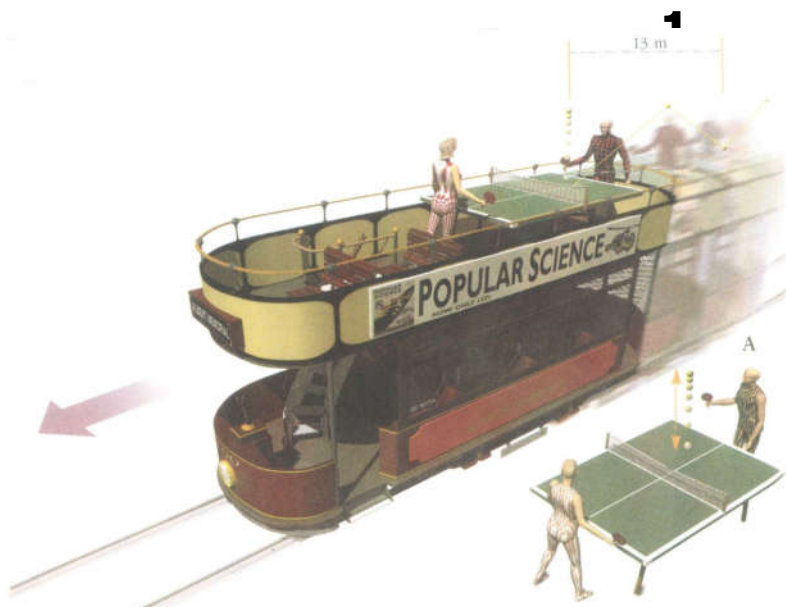
- Newtonovi zakoni klasične mehanike:
 - če na telo deluje sila, ali če je rezultanta vseh sil, ki učinkujejo na telo, enaka nič, se telo giblje enakomerno in premočrtno (poznamo še naslednjo definicijo: vsako telo teži ohraniti stanje mirovanja ali enoličnega premočrtnega gibanja. Omenjena stanja telo spremeni ob delovanju zunanjih sil na to telo).
 - Pospešek telesa je premo sorazmeren s silo, ki učinkuje na telo in obratno sorazmeren z njegovo maso.
 - Sili medsebojnega učinkovanja teles sta enako veliki, a nasprotno usmerjeni.

- Newtonovi zakoni mehanike so osnovni zakoni mehanike. Mehanika, zgrajena na teh zakonih – Newtonova mehanika, je uspešna teorija. Njene napovedi se skladajo z izidi poskusov, če gre za telesa, ki se gibljejo z dovolj majhno hitrostjo.

Inercialni referenčni sistemi (2)

- Newtonovi zakoni klasične mehanike predpostavljajo obstoj inercialnih sistemov, vendar ne podajajo načina za njihovo izbiro v praksi.
- V Newtonovem času je prevladovalo mnenje, da zvezde ne spreminjajo svojega položaja, ter zato tvorijo inercialni sistem, ki je v stanju absolutnega mirovanja.
- Obstoj **absolutnega časa** ter **absolutnega prostora**.
- Pojem absolutnega prostora je v neposredni zvezi z absolutnim in relativnim gibanjem.

Absolutno in relativno gibanje -



absolutno in relativno gibanje

<https://www.youtube.com/watch?v=wD7C4V9smG4>

Vozilo cestne železnice se s hitrostjo 48 km/h giblje mimo mirujočega igralca namiznega tenisa **A**.

S stališča igralca **A** se zdi, da se žogica odbije v dveh točkah v razdalji 13 m. Igralcu na vozilu se zdi, da se je odbila na eni točki, prav tako kot se je zdelo igralcu **A**.

Toda **A** se giblje po prostoru na planetu Zemlji in opazovalcu na Soncu bi se zdelo, da se je žogica med odbojem premaknila za kakih 30 000 m.

Absolutno in relativno gibanje -2



Če bi **B** hodil v severni smeri s hitrostjo 8 km/h na vozilu, ki bi se s to hitrostjo 8 km/h peljalo proti jugu, bi se opazovalcu na tleh zdelo, da miruje (**A**). Toda če bi **B** z enako veliko hitrostjo hodil na vozilu, ki bi se peljalo proti severu (**C**), bi se istemu opazovalcu zdelo, da se giblje s hitrostjo 16 km/h.

Inercialni referenčni sistemi (3)

- ❑ Iz Newtonovih zakonov sledi, da ni enotnega mirovnega sistema oz. ne obstaja absolutno merilo za mirovanje. Torej, ni mogoče ugotoviti ali sta se dva dogodka, ki sta se zgodila v različnem času, dogodila na istem kraju.
- ❑ Ker ni absolutnega pravila za mirovanje, dogodka ne moremo absolutno umestiti v prostoru.

Inercialni referenčni sistemi (4)

- ❑ Po Newtonu, čas v različnih koordinatnih sistemih enako hitro teče, čas je skupen vsem koordinatnim sistemom \Rightarrow čas je univerzalen (absoluten).
- ❑ Z drugimi besedami, lahko bi nedvoumno izmerili časovni interval med dvema dogodkoma in ta čas bi bil enak ne glede na to, kdo bi ga meril, če bi le imeli dobro uro. Čas bi bil torej povsem ločen in neodvisen od prostora.
- ❑ Zdravorazumsko pojmovanje nam lepo služi, dokler se ukvarjamo s telesi, ki se gibljejo razmeroma počasi, povsem pa odpove pri telesih, ki se gibljejo s hitrostjo, ki je enaka ali skoraj svetlobni hitrosti.

Inercialni referenčni sistemi (5)

- ❑ Posebna teorija relativnosti priznava obstoj inercialnih sistemov, vendar ne v absolutnem prostoru ampak v štirirazsežnem prostoru (kontinuumu) **prostor–čas**.
- ❑ Posebna teorija relativnosti velja v prostoru brez gravitacijskega polja (n.pr. štiridimenzionalnem prostoru, ki ga tvorijo tri dimenzije evklidskega prostora in čas).
- ❑ Splošna teorija relativnosti ne priznava obstoja inercialnih sistemov, torej stvari še nekoliko bolj zapleta.

Inercialni referenčni sistemi (6)

- ❑ Primer: poševni met.
- ❑ **Koordinatni sistem je toliko natančno inercialen, kolikor znamo to določiti z meritvami.**
- ❑ Vpliv posebne teorije relativnosti za sistem, ki se giblje z Zemljo znotraj Osončja je reda velikosti 10^{-8} .
- ❑ Vpliv splošne teorije relativnosti pa reda velikosti 10^{-9} .
- ❑ 10^{-8} ustreza razdalji na površini Zemlje 6 cm.

Galilejevo načelo relativnosti in simetrijska načela (1)

- Za inercialne sisteme velja Galilejevo načelo relativnosti:
 - za opazovalca v katerem koli inercialnem referenčnem sistemu veljajo enaki zakoni mehanike.

- Z enakimi zakoni ne mislimo, da imajo vse količine, ki nastopajo v njih, v vseh sistemih enake vrednosti. S tem samo mislimo, da imajo zakoni enako obliko.

Galilejevo načelo relativnosti in simetrijska načela (2)

- Tri geometrijska simetrijska načela:
 - **načelo o homogenosti časa**: enako pripravljene merilne naprave dajo v enem trenutku in v naslednjem trenutku enake rezultate, če se ne spremenijo zunanje okoliščine → poljubno lahko izberemo izhodišče časa.
 - **Načelo o homogenosti prostora** pravi, da dajo enako pripravljene merilne naprave v tej točki in v bližnji točki enake rezultate, če se ne spremenijo zunanje okoliščine → poljubno lahko izberemo izhodišče koordinatnega sistema.
 - **Načelo o izotropnosti prostora** pravi, da dajo enako pripravljene merilne naprave v tej smeri in nekoliko drugačni smeri enake rezultate, če se ne spremenijo zunanje okoliščine → poljubno lahko usmerimo osi koordinatnega sistema.

Ohranitveni zakoni

- ❑ Tri simetrijska načela povedo na prvi pogled pravzaprav le to, kar pričakujemo. Če ne bi veljala, bi sploh težko opisovali in proučevali pojave v naravi. Iz simetrijskih načel sledijo trije zelo pomembni ohranitveni zakoni fizike.
- ❑ Iz načela o homogenosti časa sledi **zakon o ohranitvi energije**.
- ❑ Iz načela o homogenosti prostora sledi **zakon o ohranitvi gibalne količine**.
- ❑ Iz načela o izotropnosti prostora sledi **zakon o ohranitvi vrtilne količine**.
- ❑ **Ohranitveni zakon: skupna polna energija ali gibalna količina ali vrtilna količina sistema teles, ki je popolnoma neodvisen od okolice, ostane nespremenjena.**

Nebesni referenčni sistemi (1)

- ❑ Nebesni koordinatni sistemi se uporabljajo v satelitski geodeziji (astrodinamiki) in astronomiji za določitev koordinat nebesnih teles.
- ❑ Definirani so s smermi proti nebesnim telesom (zvezdam) oz. so navezani na izvengalaktične izvore radijskega valovanja (kvazarji). Predstavljajo približek t.i. **inercialnih** koordinatnih sistemov.
- ❑ Nebesni ref. sistemi → "**space fixed reference systems**".
- ❑ Vse dogovorjene inercialne referenčne sisteme lahko uvrstimo med t.i. **Conventional Celestial Reference System – CCRS**, Konvencionalne nebesne referenčne sisteme.

Nebesni referenčni sistemi (2)

- ❑ Obstajata dve osnovni zasnovi nebesnih referenčnih sistemov (glede na izbiro točk navezave):
 - kinematična,
 - dinamična.
- ❑ Obe zasnovi naj bi, saj v smislu Newtonove mehanike, vodile k enakemu rezultatu.

Nebesni referenčni sistemi (3)

- ❑ **Konvencionalni kinematični sistemi** slonijo na predpostavkah, da poznamo statistične lastnosti lastnih gibanj določenih nebesnih teles. Pritrjeni so na zvezde ali zunajgalaktične izvore radijskega valovanja (kvazarji).
Op: (Predpostavka je še, da oddaljeni objekti (kvazarji) ne vsebujejo rotacijskih komponent v svojem gibanju).
- ❑ Kinematična zasnova nam poda "nosilce" sistema v obliki kataloga (položaji objektov – "nosilcev").
- ❑ **Konvencionalni dinamični sistemi** slonijo na teoriji gibanja teles znotraj Osončja (vključno z umetnimi sateliti), ki je izvedena tako da, enačbe gibanja ne vsebujejo rotacijskih členov.
- ❑ Dinamična zasnova podaja določeno teorijo gibanja "nosilcev" referenčnega sistema (efemeride planetov, satelitov...)

Nebesni referenčni sistemi (4)

- Kinematični in dinamični nebesni ref. sistemi:

"nosilci" ref. sistema	zasnova	
	kinematična	dinamična
kvazarji	katalog položajev (vključno z lastnim gibanjem itd.)	kozmozologija
zvezde	katalog položajev (vključno z lastnim gibanjem itd.)	zvezdna dinamika
planeti	efemeride planetov	teorija planetov
Luna	efemeride Lune	lunarna teorija
um. Zemljini sateliti	satelitske efemeride	teorija gibanja um. Z. sat.

- Zaradi različne natančnosti praktične realizacije, nebesne ref. sisteme vzpostavljamo v hierarhičnem smislu.

IERS



- **IERS - International Earth Rotation and Reference System Service**, mednarodna znanstvena ustanova, članica FAGS (Federation of Astronomical and Geophysical Data Services). Ustanovili so jo leta 1988 IUGG in IAU (International Astronomical Union).
- IERS pripravlja podatke, publikacije in splošne informacije o rotaciji Zemlje (Earth Orientation Parameters – EOP) in skrbi za vzpostavitev in uveljavitev nebesnih in terestričnih referenčnih sistemov in sestavov.
- Vsi sedanji primarni nebesni in terestrični referenčni sistemi in sestavi vsebujejo predpono IERS.
- <https://ggos.org/products/>

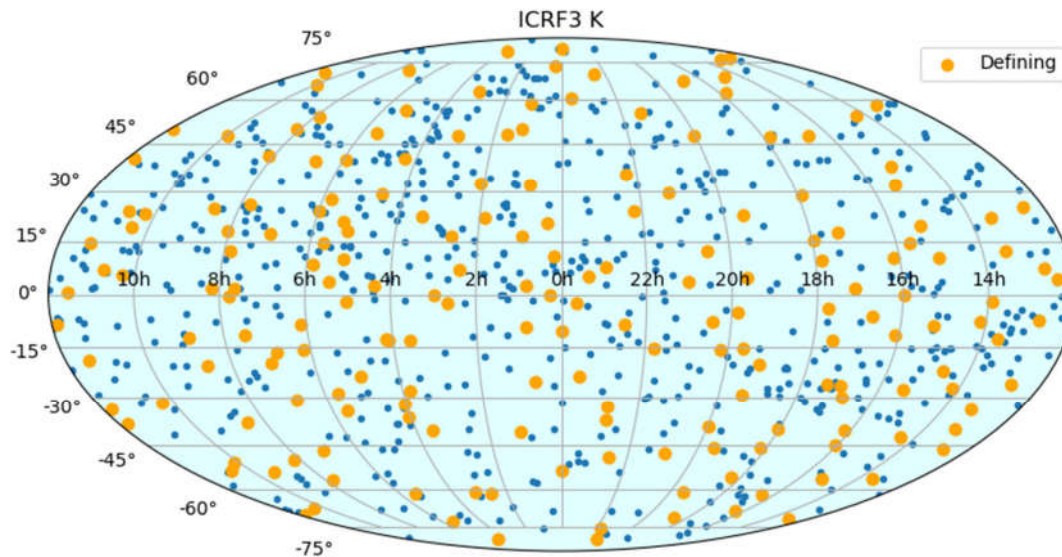
(IERS) ICRS

- ❑ ICRS - International Celestial Reference System je primarni nebesni referenčni sistem. Njegova realizacija je
- ❑ ICRF – International Celestial Reference Frame:
 - primarni ICRF tvori katalog ekvatorskih koordinat 608 izvengalaktičnih izvirov radijskega valovanja (kvazarji) določenih s tehniko **VLBI (Very Long Baseline Interferometry)**. Od tega je 212 osnovnih izvirov ("defining sources"). Položaji so podani z negotovostjo 0,5 mas ("miliarcsecond" – tisočinka ločne sekunde).



ICRF2 in ICRF3

- ❑ Druga realizacija ICRF (2010), tretja realizacija ICRF3 (2019).
- ❑ Rezultat 40-letnega opazovanj s tehniko VLBI 1979-2018.
- ❑ skupaj 4536 izvirov; stabilnost osi $10 \mu\text{as}$ ("microarcsecond"). [Primer](#)



M

31

ICRF v optičnem področju

- ❑ V optičnem področju tvori ICRF [HIPPARCOS](#) katalog 144 000 zvezd (večina zvezd ima negotovost položaja 1 mas ; "mas" miliarcsecond).
- ❑ [HCRF](#) Hipparcos Celestial Reference Frame.
- ❑ Primer: [zvezda Severnica \(\$\alpha\$ Umi\)](#)
- ❑ Starejši znani zvezdni katalogi so:
 - FK 5, FK 6 ("Fundamental Katalog").



Efemeride nebesnih teles (1)

- Vse efemeride so izračunane z numerično integracijo enačbe gibanja z začetnimi pogoji. Tirnice teles se pri numeričnem računanju vklopijo ("fit") v opazovanja. Med te sodijo:
 - opazovanja prehodov (kulminacij) planetov v observatorijih;
 - astrometrična fotografska in CCD opazovanja zunanjih planetov in satelitov;
 - registrirani trenutki mrkov satelitov;
 - astronomska opazovanja s pomočjo astrolabov;
 - radiometrična opazovanja Jupitrovih in Saturnovih satelitov;
 - izmerjene razdalje do planetov in vesoljskih sond (npr. natančnost merjenja razdalj do Marsa, Merkurja in Venere znaša pribl. 100 m);
 - izmerjene razdalje do sond, ki so pristale na planetih;
 - VLBI opazovanja do vesoljskih sond;
 - LLR opazovanja.

Efemeride nebesnih teles (2)

- Najbolj znane so efemeride inštitucije JPL - Jet Propulsion Laboratory Development Ephemeris "**JPL DE/LE xxx**". LE je kratica Lunar Ephemeris. Uporabljajo se pri izračunu in sestavljanju efemerid nebesnih teles Osončja v Astronomskem Almanahu in za podporo navigacije vesoljskih sond, ki letijo v Osončju.
- JPL je začel z sestavljanjem efemerid davnega leta 1960. Od takrat je objavil večje število efemerid. Dejansko po izstrelitvi vsake pomembnejše vesoljske sonde, objavi JPL novo verzijo efemerid, ki se uporabljajo za posebne vrste nalog v astrodinamiki.
- Za širšo uporabo obstajajo efemeride, ki "veljajo" dalj časa. Trenutno je zadnja verzija je model JPL DE/LE 430, ki se uporablja za sestavo Astronomskega almanaha od leta 2014 naprej.
- On-line verzija efemerid uz imenom HORIZON:
<https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>

Efemeride nebesnih teles (3)

- ❑ Poleg JPL, sestavljajo efemeride tudi
- ❑ v Pariškem observatoriju - **INPOP** ("Intégration Numérique Planétaire de l'Observatoire de Paris"),
- ❑ in v Laboratoriju za efemeridno Astronomijo Ruske akademije znanosti (Институт прикладной астрономии Российской академии наук) - **EPM** "Ephemerides of the planets and the Moon".

Terestrični referenčni sistemi

- ❑ Terestrični koordinatni sistemi so "pritrjeni" na Zemljo in skupaj z njo rotirajo v prostoru. Definirajo koordinate točk na zemeljskem površju. Med njimi ločimo:
 - geocentrične koordinatne sisteme,
 - topocentrične koordinatne sisteme.
- ❑ Vsak terestrični referenčni sistem je definiran z določenim številom materialnih točk na zemeljski površini (npr. observatoriji) in rotira skupaj z Zemljo.

Idealni terestrični ref. sistem

- ❑ Izhodišče v masnem središču Zemlje (vse mase skupaj: Zemlje, oceani in atmosfera).
- ❑ Z -os bi naj sovpadala z vrtilno osjo Zemlje.
- ❑ Masno središče ni dostopno, trenutno vrtilno os ni možno določiti z meritvami.
- ❑ Idealnega terestričnega ref. sistema ni možno ustvariti, zato se skuša z izbiro ustreznih dogovorov (konvencij) temu čimbolj približati.

Int. Terrestrial Reference System (ITRS)

- ❑ **(IERS) ITRS** je približek idealnega terestričnega ref. sistema:
 - Izhodišče v masnem središču Zemlje.
 - Dolžinska enota SI-meter. Merilo v skladu z dosežki splošne teorije relativnosti.
 - Orientacija osi je usklajena z orientacijo sistema BIH (Bureau International de l'Heure) za epoho 1984. S tem se želi doseči konsistenca s prejšnjimi realizacijami globalnih koord. sistemov.
 - Za časovne spremembe je podana zahteva, da je vsota vseh rotacij na Zemljini obli glede premikov tektonskih plošč enaka nič.
 - elipsoid: GRS80.
- ❑ Realiziran je s tehnikami VLBI, SLR, LLR, GNSS in DORIS.
- ❑ Terrestrial Reference Frames - Connecting the World through Geodesy:
https://www.youtube.com/watch?v=vvNXv05646M&list=PLIIfsJS7iAux5FEFB4tkVkdV_MJRhACc

ITRF (1)

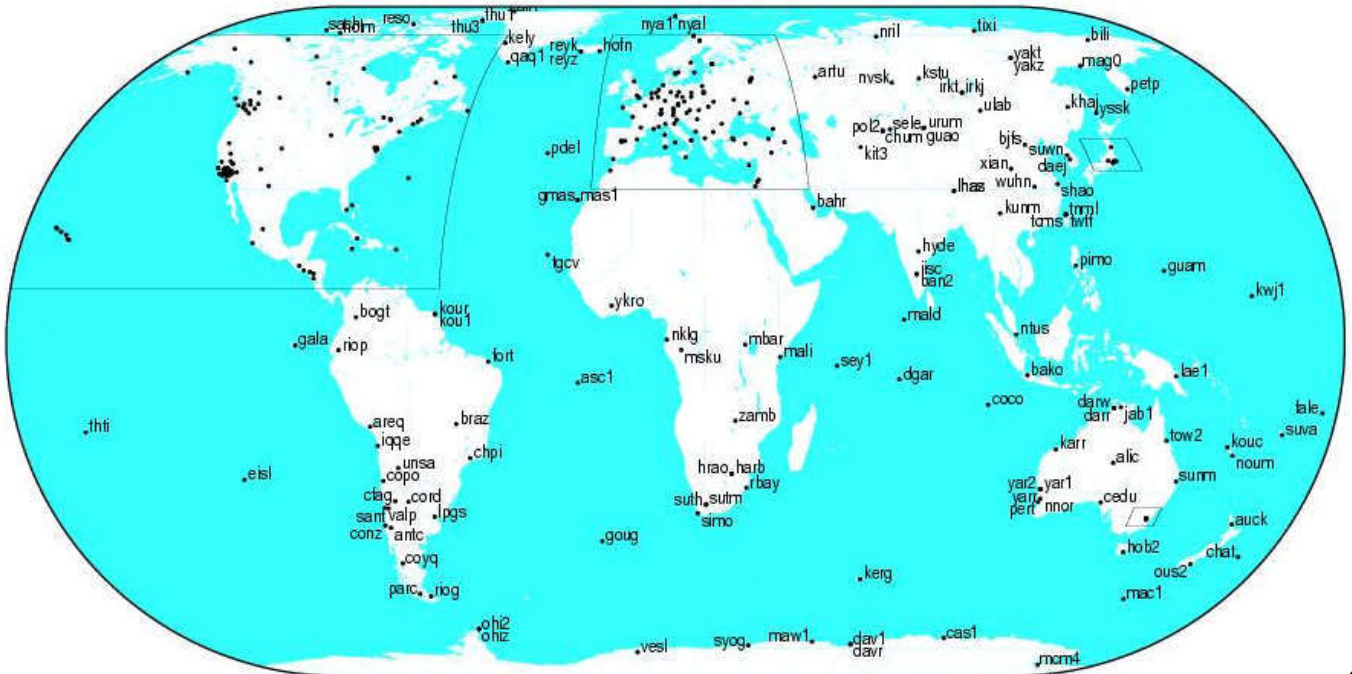
- ❑ **ITRF_{yy}** je verzija koordinatnega sestava, kot ga definira izbrana množica točk za praktično realizacijo ITRS koordinatnega sistema. Končnica **yy** označuje posamezno realizacijo sistema oziroma časovno epoho realizacije.
- ❑ Posamezne časovne realizacije zaradi modeliranja časovno odvisnih vplivov:
 - premiki tektonskih plošč,
 - plimovanje trdne Zemlje (Zemljine skorje),
 - post-ledenodobna dvigovanja zemeljskega površja,
 - premikanje Zemljinih polov,
 - instrumentalni pogoški.

ITRF (2)

- ❑ Koordinate točke v poljubni epohi v izbranem ref. sestavu dobimo kot:
$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}(t_0) + \mathbf{v} \cdot (t - t_0) + \Sigma \Delta \mathbf{x}(t)$$
 - kjer so: t_0 referenčna epoha, \mathbf{v} vrednost lokalne spremembe položaja točke (hitrost) in $\Delta \mathbf{x}$ popravek koordinat zaradi časovno odvisnih vplivov.
- ❑ Realizirane verzije: ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF94, ITRF95, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008, ITRF2014.
- ❑ Trenutno zadnja verzija je **ITRF20** za leto 2020.

IGS

- IGS - International GNSS Service; dvesto ustanov po svetu, ki obdeluje opazovanja permanentnih GNSS-postaj.



M. Kuhar - Satelitska geodezija in navigacija

WGS 84

- World Geodetic System 1984.** Vzpostavil ga je Ameriško Obrambno ministrstvo za operative potrebe tehnologije GPS.
- Izhodišče in orientacija koordinatnih osi WGS-84 koordinatnega sistema sta realizirana s poznanimi položaji nadzornih postaj GPS sistema.
- Leta 2002 je stopila v veljavo nova verzija sistema WGS84(G1150): ponovno določene koordinate nadzornih postaj GPS. Globalna natančnost točk znaša približno 1 cm.



M. Kuhar - Satelits

WGS84 posodobitve

- Realizacije:
 - Prva leta 1984.
 - Druga leta 1994; WGS84 (G730)*, skladen z ITRF91, epoha 1994.0.
 - Tretja leta 1997; WGS84 (G873), skladen z ITRF94 epoha 1997.0
 - Četrta leta 2002; WGS84 (G1150), skladen z ITRF00, epoha 2001.0
 - Peta leta 2012; WGS84 (G1674), skladen ITRF08, epoha 2005.0
 - Šesta leta 2013; WGS84 (G1762), skladen z ITRF08, epoha 2005.0
- Vse realizacije od druge naprej so skladne z rešitvami ITRF znotraj 10 cm.
- Zadnja realizacija je skladna na 1 cm.
- *Gxxx - zaporedna številka GPS-tedna. Pomeni neprekinjeno štetje tednov od začetne epohe 6. Januar 1980 (GPS - UTC = 0 s).

Referenčne postaje WGS 84 (G1150)

Table 1. WGS 84 (G1150) Cartesian coordinates* and velocities for epoch 2001.0

Station Location	NIMA Station Number	X (km)	Y (km)	Z (km)	\dot{X} (cm/yr)	\dot{Y} (cm/yr)	\dot{Z} (cm/yr)
Air Force Stations							
Colorado Springs	85128	-1248.597295	-4819.433239	3976.500175	-1.8	0.1	-0.4
Ascension	85129	6118.524122	-1572.350853	-876.463990	-0.3	-0.5	1.0
Diego Garcia	85130	1916.197142	6029.999007	-801.737366	-4.2	2.0	3.1
Kwajalein	85131	-6160.884370	1339.851965	960.843071	2.1	6.7	2.7
Hawaii	85132	-5511.980484	-2200.247093	2329.480952	-1.0	6.3	3.0
Cape Canaveral	85143	918.988120	-5534.552966	3023.721377	-1.0	-0.2	0.2
NGA Stations							
Australia	85402	-3939.182131	3467.075376	-3613.220824	-4.08	0.36	4.73
Argentina	85403	2745.499065	-4483.636591	-3599.054582	0.21	-1.00	0.70
England	85404	3981.776642	-89.239095	4965.284650	-1.38	1.65	0.77
Bahrain	85405	3633.910757	4425.277729	2799.862795	-2.97	0.91	2.53
Ecuador	85406	1272.867310	-6252.772219	-23.801818	0.30	0.04	0.99
US Naval Observatory	85407	1112.168358	-4842.861664	3985.487174	-1.48	-0.01	0.10
Alaska	85410	-2296.298410	-1484.804985	5743.080107	-2.22	-0.36	-0.92
Alaska**	85410	-2296.298460	-1484.805050	5743.080090	-2.22	-0.36	-0.92
New Zealand	85411	-4780.787068	436.877203	-4185.258942	-2.35	1.92	2.20
South Africa	85412	5066.232133	2719.226969	-2754.392735	0.01	2.09	1.40
South Korea	85413	-3067.861732	4067.639179	3824.294063	-2.90	-0.76	-1.02
Tahiti	85414	-5246.403866	-3077.285554	-1913.839459	-4.25	4.68	2.91

* Coordinates are for the electrical phase centers of the antennas.

** Post 3 November 2002 earthquake. Steady-state velocity is assumed to be unchanged.

WGS 84 (G1150 – G873)

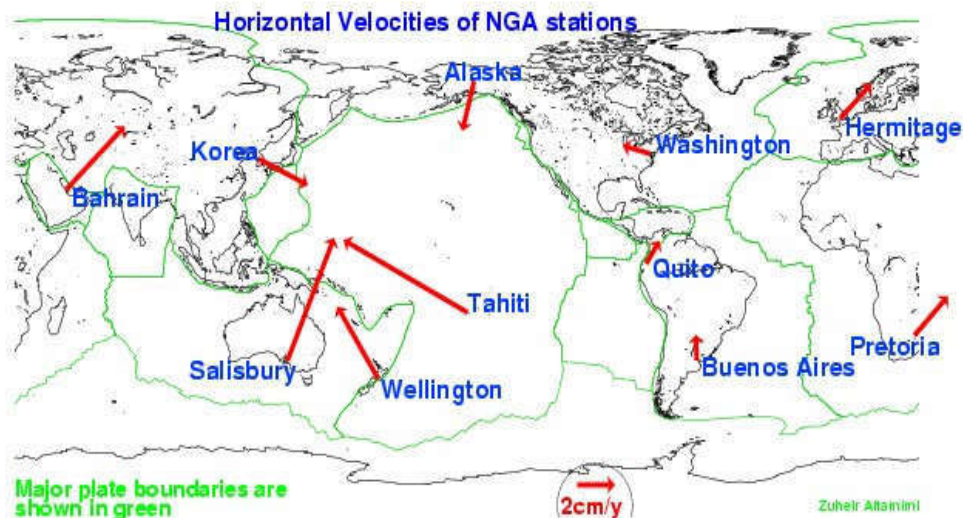
Table 3. WGS 84 (G1150) minus WGS 84 (G873) for epoch 1997.0

Station Location	NIMA Station Number	ΔX (cm)	ΔY (cm)	ΔZ (cm)	Total (cm)
Air Force Stations*					
Colorado Springs	85128	-0.2	0.3	-0.3	0.5
Ascension	85129	-8.2	-0.5	5.8	10.1
Diego Garcia	85130	-1.2	-7.0	2.8	7.6
Kwajalein	85131	10.8	1.0	-1.4	10.9
Hawaii	85132	2.6	1.7	-4.5	5.5
NGA Stations					
Australia	85402	-0.8	2.1	-2.2	3.2
Argentina	85403	3.7	-0.2	-5.8	6.9
England	85404	2.1	0.8	-1.0	2.5
Bahrain	85405	3.5	1.3	-1.7	4.1
Ecuador	85406	-2.0	-4.6	-3.2	6.0
US Naval Observatory	85407	2.4	-5.0	3.3	6.5
Alaska	85410	0.5	0.4	0.4	0.8
Alaska**	85410	-4.5	-6.1	-1.3	7.7
New Zealand	85411	0.0	2.5	-1.6	3.0
South Africa	85412	1.3	3.9	-4.6	6.2
South Korea	85413	-4.3	-0.3	2.8	5.2
Tahiti	85414	-1.2	-3.2	0.5	3.4

* Cape Canaveral was not included in the WGS 84 (G873) values.

** Post 3 November 2002 earthquake.

WGS84 - NGA postaje v ITRF2008



Kontinentalni oz. regionalni referenčni sistemi

- ❑ SIRGAS – Južna Amerika,
- ❑ NAD 83 (North American Datum 1983),
- ❑ AFREF (The African Geodetic Reference Frame),
- ❑ ETRS (Europeana Terrestrial Reference System),
- ❑ APREF (Asia-Pacific Reference Frame).

SIRGAS - Sistema de Referencia Geocéntrica para Las Américas

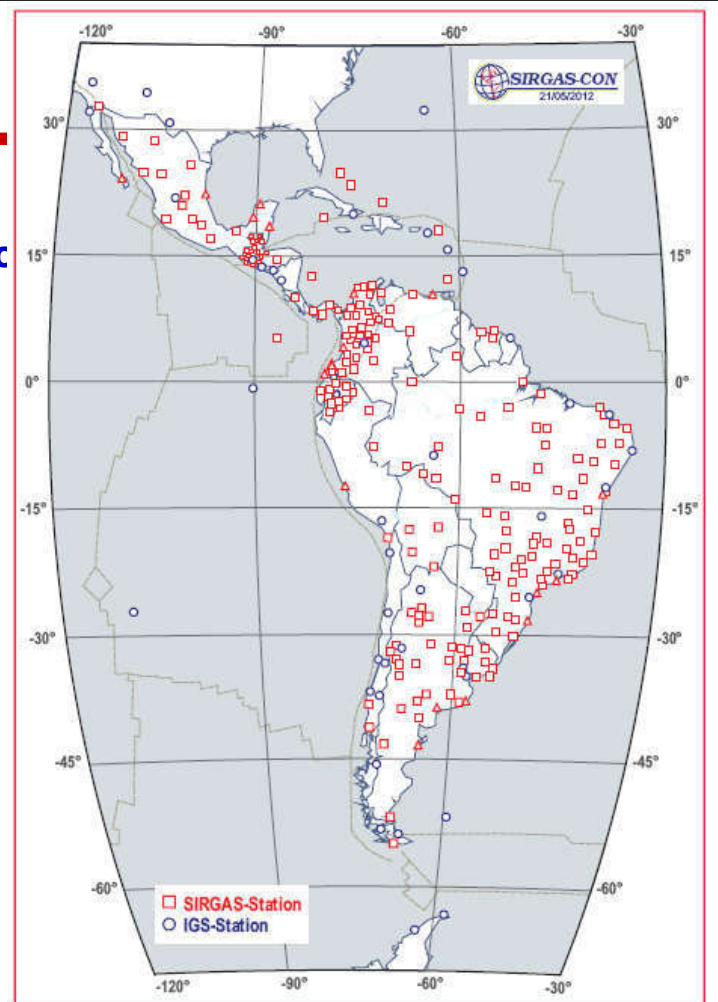


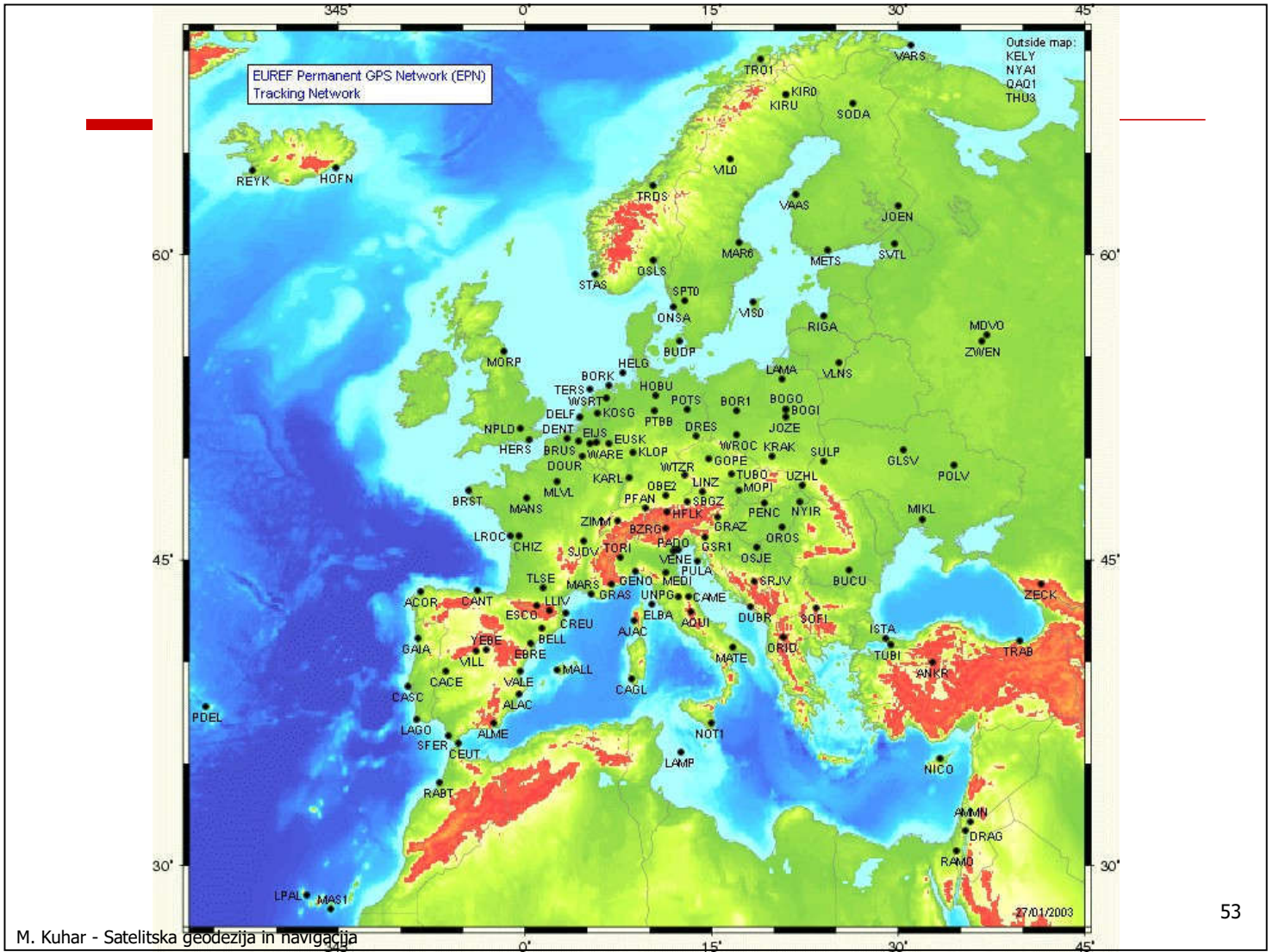
Figure 2: SIRGAS Continuously Operating Network (SIRGAS.CON), status May, 2012.

ETRS89

- ❑ ETRS89 koordinatni sistem in njegova realizacija ETRF89.
- ❑ ETRS89 je identičen z ITRS89 za leto 1989 in je fikisiran glede na evroazijsko tektonsko ploščo \Rightarrow koordinate točk "stabilne" na območju Evrope.
- ❑ Za vsak ITRFyy se lahko izračuna realizacija ETRS89 in izrazi kot ETRFyy.
- ❑ ETRF89 je bil določen na osnovi prve EUREF GPS kampanje EUREF GPS89, z navezavo na izhodiščne točke, dane v ETRF89 koordinatnem sistemu, in izvedenemi povezavami med točkami SLR/VLBI ter EUREF GPS89. Zgoščevanje ETRF koordinatnega sestava poteka predvsem z evropskimi GPS kampanjami.
- ❑ Vsaka država članica EUREF komisije je realizirala nacionalni referenčni sestav v okviru evropskega.

ETRS89 realizacija

- ❑ Realizacija ETRS89 prek mreže permanentnih GNSS-postaj in nacionalnih EUREF GPS-kampanj.
- ❑ ETRS89 so sprejele mnoge evropske države kot uradni koordinatni sistem.
- ❑ EPN – EUREF Permanent Network, skoraj 250 permanentnih GNSS-postaj.



EPN vektorji hitrosti hor. komponent



Figure 2. ETRF2000 horizontal velocities of EPN stations.

EPN vektorji hitrosti vertikalne komponente



Figure 3. ITRF2000/ETRF2000 vertical velocities of EPN stations.

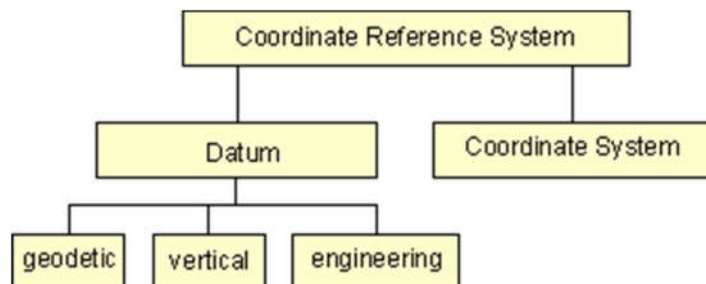
Referenčni koordinatni sistemi – standardi

- ❑ Standardi organizacije International Organization for Standardization (ISO):
 - SO/TC211 Geographic information/Geomatics;
 - ISO/DIS 6709: Standard representation of geographic point location by coordinates, 2007;
 - ISO/DIS 19104: Terminology, 2003;
 - ISO/TC 211 1013: Spatial referencing by coordinates, 2000;
- ❑ **Koordinate** ("coordinate"): n števil, ki določajo položaj točk v n-raszežnem prostoru.
- ❑ **Koordinatni sistem** ("coordinate system"): množica (matematičnih) pravil (zakonitosti), ki definira kako se bodo koordinate pripisale točkam (preslikale v točke).
- ❑ **Sestavljen koordinatni sistem** ("compound coordinate system"): opis položaja s pomočjo dveh neodvisnih referenčnih koordinatnih sistemov (običajno položaj + višina)



Referenčni sistem tvorita:

- datum,
- koordinatni sistem,



- V večini primerov horizontalna in vertikalna sestavina koord. sistema izhajata iz dveh (različnih) koord. sistemov. Takrat govorimo o "compound Coordinate Reference System" (CCRS)



Evropski referenčni koordinatni sistem (ECRS)

Komponente ECRS:

