

Časovni sistemi (1)

- Čas definirajo ponavljajoči se dogodki, kot na primer: nihalo, prehodi Sonca čez pomladišče ali zvezde čez meridian opazovalca ter drugi, strogo periodični pojavi v naravi.
- Vzpostavitev časovnega sistema terja definiranje naslednjih terminov:
 - Interval časa med zaporednima izbranimi dogodkoma definira **časovno enoto**. Osnovni časovni enoti sta **zvezdni dan** in **srednji sončev dan**, zasnovani na rotaciji Zemlje. Manjše enote so ure, minute in sekunde, ki definirajo manjše dele dneva. Definicije večjih enot so zasnovane na gibanju Lune okoli Zemlje – meseci, ali gibanju Zemlje okoli Sonca – leta.
 - Neprekinjeno zaporedje časovnih enot definira **časovno skalo**.

Časovni sistemi (2)

- Časovna skala z izbrano časovno enoto, skupaj z dogovori o izhodišču skale (ničelna epoha), načinu štetja, ustvarjajo čas oz. **časovni sistem**.
- Teorija in praksa sta terjali uvedbo več vrst sistemov časa:
 - zvezdni čas,
 - sončev (svetovni) čas,
 - atomski čas,
 - dinamični čas,
 - lastni čas,
 - koordinatni čas.
- Vsi današnji časovni sistemi slonijo na atomski SI-sekundi.

Teoretični in praktični vidiki časa – mednarodno sodelovanje

- Zaradi pomena časa, strokovnjaki vlagajo velik napor v izboljšanje definicij časov, njihovemu povezovanju, vzdrževanju in diseminaciji (razširjanju). Pri tem sodelujejo naslednje organizacije in ustanove:
 - **BIPM** Mednarodni urad za uteži in mere ("Bureau International des Poids et Mesures"),
 - **ITU** ("International Telecommunication Union")
 - **IAU, IERS, IUGG.**
- vodijo skrb o vseh teoretičnih in praktičnih vidikih časa.

Datacija dogodka

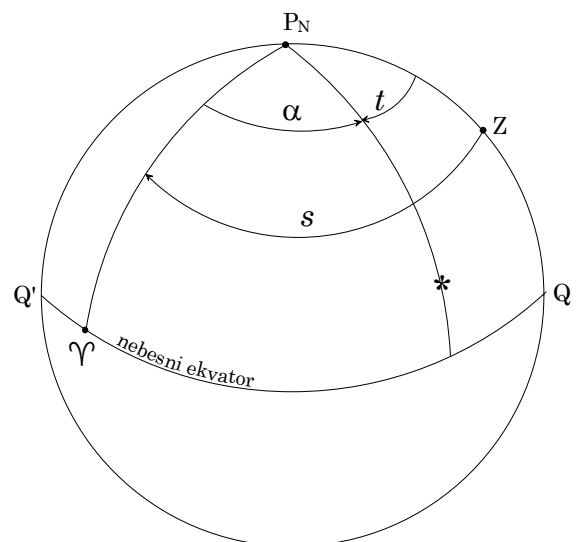
- Enakomerne časovne skale in nedvoumno definirani časi so potrebni v zaradi natančne **datacije dogodkov** ⇒ povezovanje trenutka dogodka s časovno skalo.
- V astronomiji in satelitski geodeziji datacijo dogodka imenujemo **epoha** – trenutek, v katerem se je določeni dogodek zgodil.
- Glede na določeno časovno skalo, določitev epohe predstavlja (določa) izmero **absolutnega časa**.
- Za veliko primerov (npr. za določitev časa potovanja signala) je pomembna izmera relativnega časa, kar je v resnici določitev časovnega intervala med dvema epohama. V veliko primerih je določitev relativnega časa mnogo bolj natančna kot določitev absolutnega časa.
- V satelitski geodeziji je datacija dogodka običajno poimenovana "**time-tag**".

Točnost datacije dogodka

- Za današnje je praktične potrebe je potrebno povezati čase med seboj z najvišjo možno stopnjo točnosti. V satelitski geodeziji uporabljamo čas za potrebe določitve položaja v različnih konceptih.
- Običajna stopnja točnosti položaja je v današnjem času 1 cm, čemur ustreza:
 - 1 cm premika točke na ekvatorju zaradi vrtenja Zemlje ustreza vrednosti $2 \cdot 10^{-5}$ s.
 - 1 cm premika satelita v nizkih tirnicah ustreza vrednosti $1 \cdot 10^{-6}$ s.
 - 1 cm v razdalji med satelitom in sprejemnikom na osnovi časa potovanja signala ustreza vrednosti $1 \cdot 10^{-10}$ s, oz.
 - neuskkljenost časov ure GPS-satelita in sprejemnika $1 \mu\text{s}$ ustreza pogrešku v izmerjeni razdalji 300 m, kar pomeni da, če hočemo določiti razdaljo satelit sprejemnik z natančnostjo 1 cm, bi bila ustrezna natančnost merjenja časa $3 \cdot 10^{-11}$ s (0,03 ns)

Zvezdni čas ("siderial time")

- Zvezdni čas definira časovni kot pomladišča.
- Zvezdni dan je časovni presledek med dvema zaporednima kulminacijama pomladišča. Zvezdni dan se prične v trenutku zgornje kulminacije pomladišča; ob zgornji kulminaciji je 0^{h} , ob spodnji kulminaciji pa 12^{h} zvezdnega časa.
- Če v danem trenutku zvezdnega časa, nebesno telo ima časovni kot t , rektascenzijo α , zveza med t in α znaša:
 - $s = \alpha + t$
- Zvezdni čas je enak rektascenziji zenita, kar izhaja iz definicije rektascenzije in znane zveze med časovnim kotom poljubnega nebesnega telesa in njegovo rektascenzijo.



Pravi in srednji zvezdni čas (1)

- Čeprav je zvezdni čas določen z rotacijo Zemlje, ta ni pravo merilo za Zemljino rotacijo, ker je gibanje pomladišča podvrženo vplivu precesije in nutacije. Če iz gibanja pomladišča odstranimo vpliv periodičnega vpliva nutacije (v astronomski dolžini) dobimo t.i. **srednje pomladišče**. **Pravo pomladišče** je rezultat dejanskega gibanja Zemljine rotacijske osi, vsebuje sekularen vpliv precesije (zelo enakomeren) in periodične vplive nutacije.
- Časovni kot pravega pomladišča imenujemo navidezni oz. **pravi zvezdni čas**. Vsak kraj na Zemlji ima svoj navidezni (pravi) krajevni zvezdni čas **LAST** ("Local Apparent Siderial Time"). Zvezdni čas na Greenwiškem meridianu imenujemo **Greenwiški navidezni zvezdni čas GAST** ("Greenwich Apparent Siderial Time").
- V priročnikih astronomske navigacije se ta čas imenuje **GAST=GHA γ** ("Greenwich hour angle of the first point of Aries").

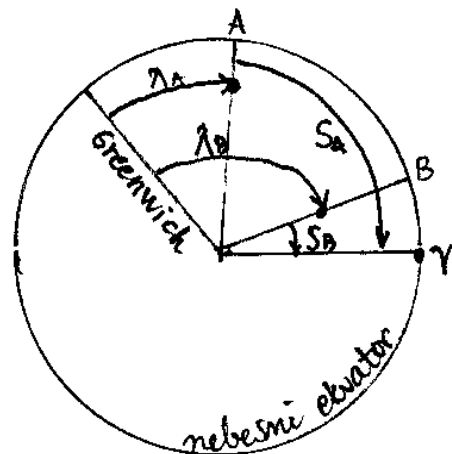
Pravi in srednji zvezdni čas (2)

- Časovni kot srednjega pomladišča imenujemo **srednji zvezdni čas** in vsak kraj na Zemlji ima svoj **srednji krajevni zvezdni čas LMST** ("Local Mean Siderial Time") - oznaka pri nas **s**.
- Za Greenwich velja **Greenwiški srednji zvezdni čas GMST** "Greenwich Mean Siderial Time"); pri nas uporabljamo oznako **S**.
- Razlika med srednjim in pravim Greenwiškim zvezdnim časom predstavlja t.i. **enačbo ekvinokcija (pomladišča)**:
$$\text{GMST} - \text{GAST} = \Delta\psi \cos\epsilon$$

pri čemer je člen $\Delta\psi$ nutacija v astronomski dolžini; ϵ naklon ekliptike. Razlika lahko doseže maksimalno $\pm 1,2\text{s}$. (zaradi nutacije se pravo pomladišča giblje naprej in nazaj po ekliptiki, za časovni kot potrebujemo pa njegovo projekcijo na ekvator, zato množimo s $\cos\epsilon$).
- Srednji zvezdni dan se razlikuje od časa enega obrata Zemlje, zaradi delovanja precesije. Tako se giblje srednje pomladišče hitreje od pravega $0,14''$ dnevno, (vrednost vpliva precesije na rektascenzijo v enem dnevu), tako da je srednji zvezdni dan krajši od pravega za okoli $0,0084\text{s}$ (krajši je od enega vrteža Zemlje).

Zvezdni čas in geografska dolžina

- Vsi kraji na istem meridianu imajo v istem trenutku isti zvezdni čas. V tem trenutku imajo kraji na drugem meridianu drugačen zvezdni čas. Zvezdni čas je krajevni čas, na vsakem meridianu je drugačen. Kraja A in B na različnih meridianih imata v istem absolutnem trenutku različna zvezdna časa s_A in s_B :



- $s_A - s_B = \Lambda_B - \Lambda_A$,
- Dogovorno velja, da je krajevni zvezdni čas povezan z Greenwiškim z naslednjo enačbo:
- $LMST = GMST +$ vzhodna geogr. dolžina (Λ)

Sončev (svetovni) čas – "Universal time"

- Čas, ki ga določamo po časovnem kotu Sonca imenujemo **sončev (svetovni) čas** ("Universal Time").
- Sonce, kot tudi vsa ostala nebesna telesa vsebuje dvojno navidezno gibanje, dnevno in letno. Dnevno gibanje Sonca je enakomerno in se odvija vsak dan po določenem vzporedniku.
- Navidezno letno gibanje Sonca po ekliptiki pa ni enakomerno, kar je posledica neenakomernega gibanja Zemlje okoli Sonca (hitrost gibanja Zemlje po ekliptiki je spremenljiva). To je posledica drugega Keplerjevega zakona.
- Da bi odklonili neenakomernost navideznega gibanja Sonca po ekliptiki, so astronomi definirali pomožno fiktivno točko → **srednje sonce** (UMS "Universal Mean Sun"), ki se enakomerno giblje po ekvatorju in opravi po njem en obhod v istem času, kot pravo Sonce opravi en obhod po ekliptiki.

Pravi sončev čas (LAT)

- Pravi sončev čas (p) (LAT "Local Apparent Time") ima časovno enoto pravi sončev dan, tj. 24 Sončevih ur, ki predstavlja časovni presledek med dvema zaporednima zgornjima kulminacijama Sonca (njegovega središča).
- Pravi sončev čas ne izpolnjuje dovolj točno osnovne zahteve po merjenju časa in to je enakomernosti. Pravi sončev dan ni med letom stalen, spreminja se. Razlika med najdaljšim in najkrajšim pravim sončevim dnevom znaša 51^s .
- Variacije dolžine pravega sončevega dne nastajajo zaradi dva vzroka: prvi je eliptična tirnica Zemlje (II. Keplerjev zakon), spremenljiva hitrost gibanja Zemlje na njeni poti okoli Sonca; drugi vzrok je naklon ekliptike, saj četudi bi Zemljina tirnica bila krog, bi se Sonce gibalo enakomerno po ekliptiki, ne pa njena projekcija na ekvator.

Pravi sončev čas (2)

- Pravi sončev čas merimo po časovnem kotu Sonca, le tako, da ga začnemo šteti ob spodnji kulminaciji Sonca:
 - $p = t_{\odot} + 12^h$
- Pravi sončev čas, ki ga izmerimo s časovnim kotom Sonca je krajevni čas, saj je časovni kot Sonca v določenem trenutku za kraje, ki ležijo na različnih meridianih, različen.

Srednji sončev čas (1)

- Srednji sončev čas (m) (LMT "Local Mean Time") ima enoto srednji sončev dan. Srednji sončev čas teče enakomerno in šteje ure srednjih dni. Srednji sončev dan je aritmetična sredina dolžin pravih sončevih dni v enem letu. Srednji sončev dan je časovni presledek med dvema zaporednima kulminacijama srednjega Sonca.
- Srednji sončev čas merimo s časovnim kotom srednjega sonca plus 12 ur, torej:

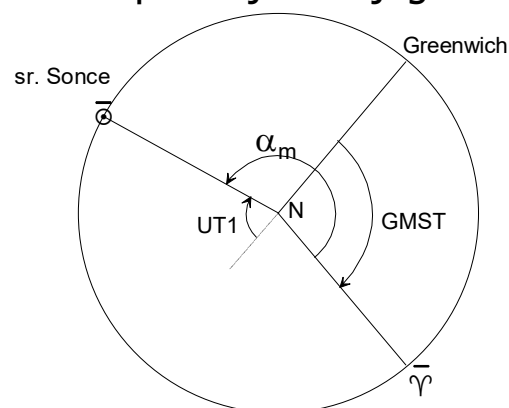
$$\square m = t_m + 12^h$$

Svetovni čas (UT)

- Časovni kot srednjega Sonca, glede na meridian Greenwicha, imenujemo Svetovni čas M (mednarodna oznaka je UT "Universal Time").
- IAU (Mednarodna astronomska zveza) ga je vpeljala v prakso leta 1928 kot zamenjavo za GMT "Greenwich Mean Time". Svetovni čas UT je osnova civilnega vzdrževanja časa. Popolnoma sloni na rotaciji Zemlje, podobno kot zvezdni čas, zato ga lahko obravnavamo kot poseben primer zvezdnega časa.
- Svetovni čas ne določamo na osnovi gibanja Sonca. V preteklosti se je določal na osnovi navideznega dnevnega gibanja zvezd, danes pa se z vesoljskimi merskimi tehnikami določa Zemljina orientacija v prostoru (EOP).

Srednji sončev čas (2)

- Srednji sončev čas je s pomočjo točnih matematični enačb izpeljan iz zvezdnega časa. Enačba dejansko pove kje natančno na svoji poti okoli Sonca se nahaja Zemlja, tako je možno točno določiti položaj srednjega Sonca.
- Enačba, ki podaja zvezo med UT časom in srednjim Greenwiškim zvezdnim časom (GMST) je naslednja:
- $GMST = UT1 - 12^h + \alpha_m$
- UT in GMST sta dejansko dva izraza ene iste časovne skale z dvema različnima časovnima enotama.



Svetovni čas UT – UT0

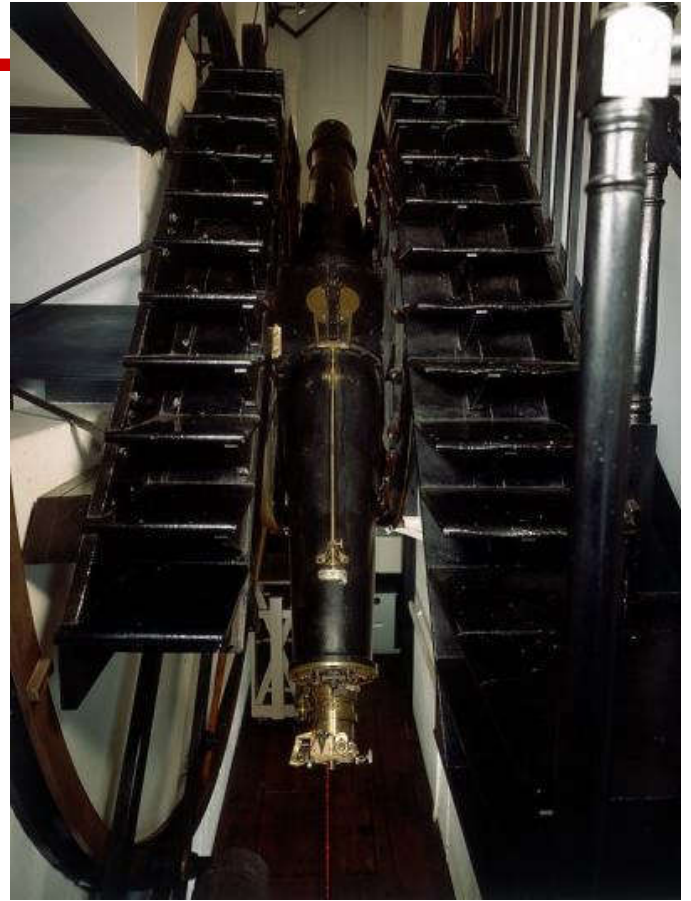
- V praksi obstajajo tri časovne skale svetovnega časa.
- Prva je skala **UT0**.
- To je svetovni čas trenutnega Greenwiškega meridiana. To je zvezdni čas določen iz opazovanj, reduciran na meridian Greenwicha, ter izveden iz omenjene enačbe. Nanaša se na položaj trenutnih zemljinih polov (odvisen od trenutnega položaja meridiana opazovalca).
- Svetovni čas UT0 popravljen za vpliv premikanja zemljinih polov označujemo z **UT1**.

Svetovni čas UT - T1

- UT1 je čas srednjega Greenwiškega meridiana, določen s srednjim položajem Zemljinih polov (popravki za prehod z UT0 na UT1 ne presegajo vrednosti 35 ms).
- S sodobnimi merskim tehnikami za določitev parametrov Zemljine orientacije (EOP) se hkrati določata UT1 in komponente premikanja polov, torej UT0 časa dejansko ni.
- Zaradi majhnih nepravilnosti in periodičnih sprememb v rotaciji Zemlje, je čas UT1 neenakomeren.
- Svetovni čas UT1 popravljen za vpliv majhnih periodičnih sprememb rotacije Zemlje imenujemo svetovni čas UT2.

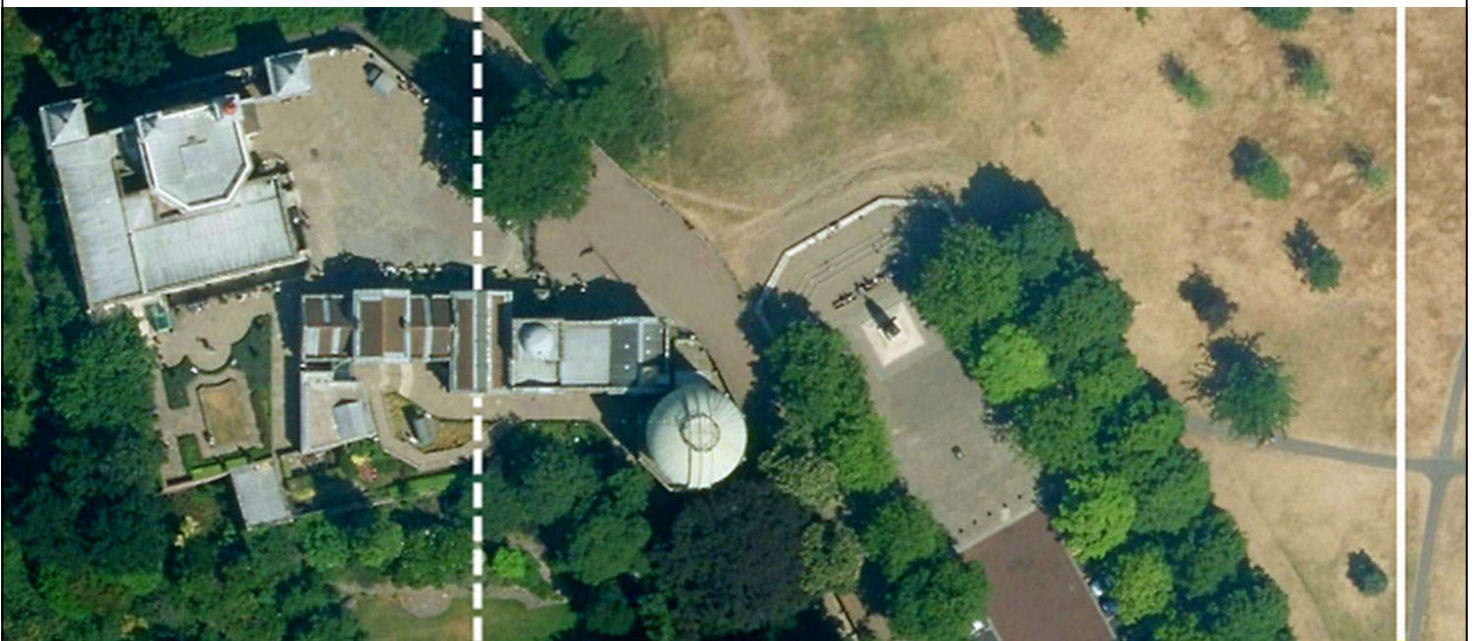
Svetovni čas UT – UT2

- UT2 se lahko določi točno samo naknadno iz opazovanj. Možno je dobiti tabelirane vrednosti UT2 časa za nekaj mesecev vnaprej, pridobljene z ekstrapolacijo (vir IERS: Bulletin A : Rapid Service/Prediction of Earth Orientation). Popravki UT1 na UT2 znašaja največ 30 ms.
- UT2 je enakomerna časovna skala, ki se lahko predvidi na osnovi Zemljine rotacije. Zaradi možnosti uporabe bolj točnih in enakomernih časovnih skal (na primer atomski čas), ta skala dejansko nima praktične uporabe, zato se v praksi (pri obdelavi podatkov) uporablja svetovni čas UT1.



M. Kuhar - Satelitska geodezija

Astronomski in geodetski Greenviški meridian



M. Kuhar - Satelitska geodezija

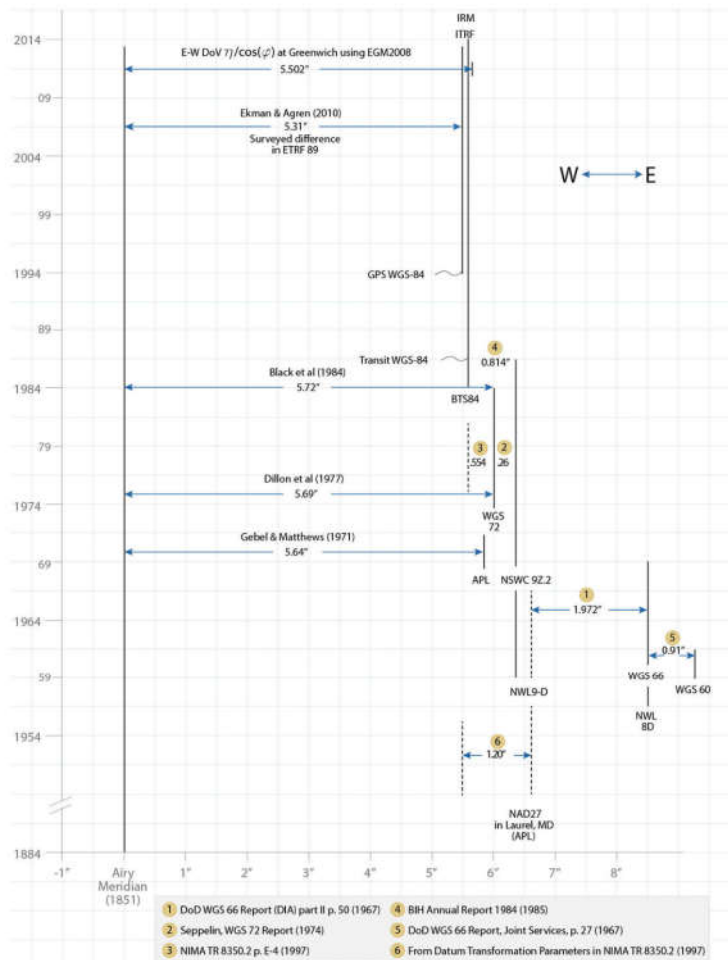


Fig. 3 Selected offsets among prime meridians from the "Space Age" and the Airy Transit Circle. The yellow circle provides a reference for each documented offset.

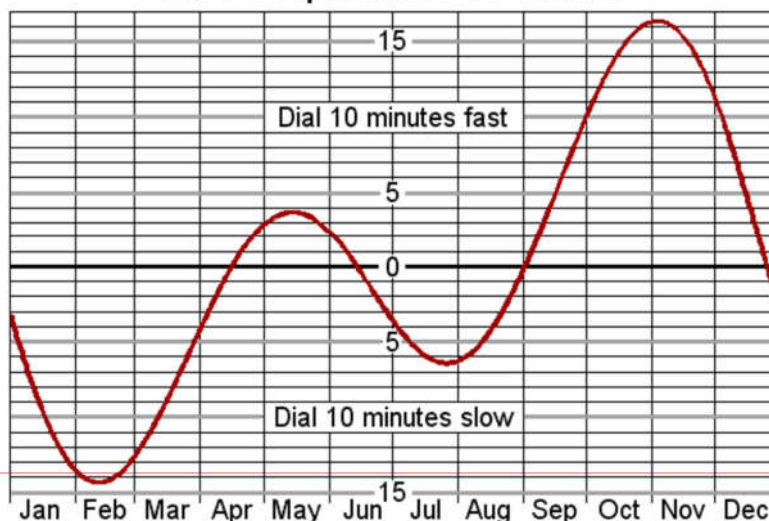
Časovna enačba (1)

- Razlika med pravim in srednjim sončevim časom je časovna enačba "Equation of time":

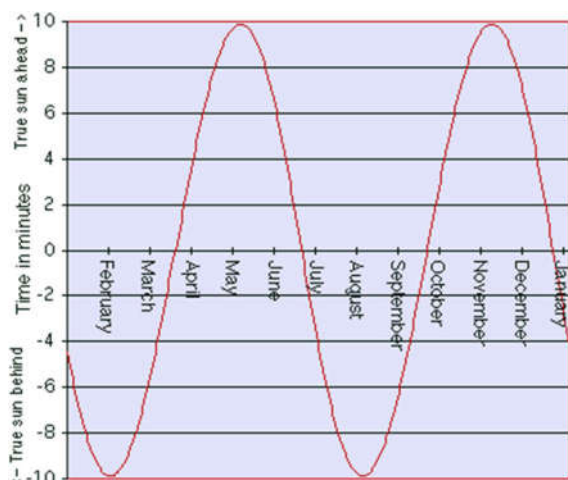
$$\square e = p - m$$

- To je količina, ki se med letom spreminja in jo odštejemo od pravega sončevega časa, da dobimo srednji sončev čas. Razlika je v mejah $-14,4m$ $+16,4m$.

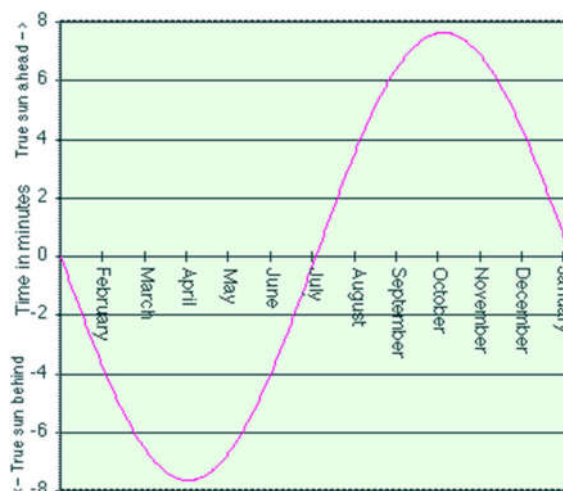
The Equation of Time



Časovna enačba (2)



Equation-of-Time Graph for One Year - Tilt = 23.43°



Equation-of-Time Graph for One Year - Elliptical Orbit

Pasovni čas

- Dneve štejemo od polnoči. Če bi uporabljali krajevno štetje časa, bi se v krajih, ki imajo nekoliko različno geografsko dolžino od danega kraja, časi tudi nekoliko razlikovali. To bi bilo zelo nepraktično in bi povzročilo veliko zmedo. Na vsakem meridianu bi imeli svojo uro. Zato so leta 1884 sprejeli **pasovni čas**.

*To the Library of Trinity College
from Professor Adams*

INTERNATIONAL CONFERENCE

HELD AT WASHINGTON

FOR THE PURPOSE OF FIXING

A PRIME MERIDIAN

AND

A UNIVERSAL DAY.

OCTOBER, 1884.

PROTOCOLS OF THE PROCEEDINGS.

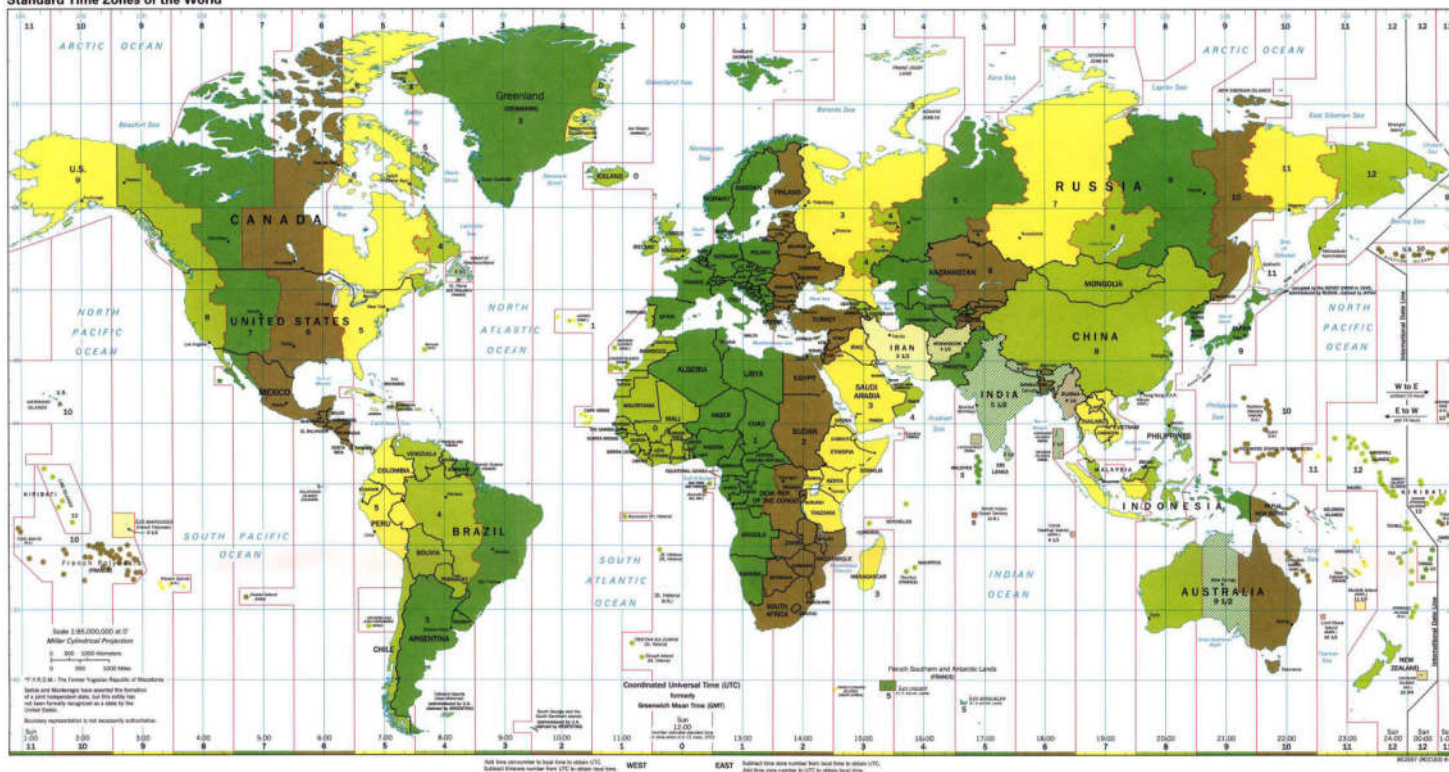
WASHINGTON, D. C.
GIBSON BROS., PRINTERS AND BOOKBINDERS.
1884.

Pasovni čas - 2

- Vso površino Zemlje so razdelili na 24 pasov tako, da sta meridiana, ki omejujeta nek pas, drug od drugega oddaljena za 15° , t.j. za eno uro. Privzeli so, da se vsi kraji v pasu ravnaajo po času srednjega meridiana pasu. Položaj minutnih kazalcev v vseh deželah na svetu, ki se držijo pasovnega časa, je v določenem trenutku ista. Razlikujejo se le položaji urinih kazalcev glede na pas, kjer smo.
- Srednji meridian začetnega ali ničelnega pasu je Greenwiški meridian. V tem pasu, ki zajema kraje $7,5^\circ$ zahodno in $7,5^\circ$ vzhodno od Greenwicha, je veljavni čas Svetovni čas UT (M).

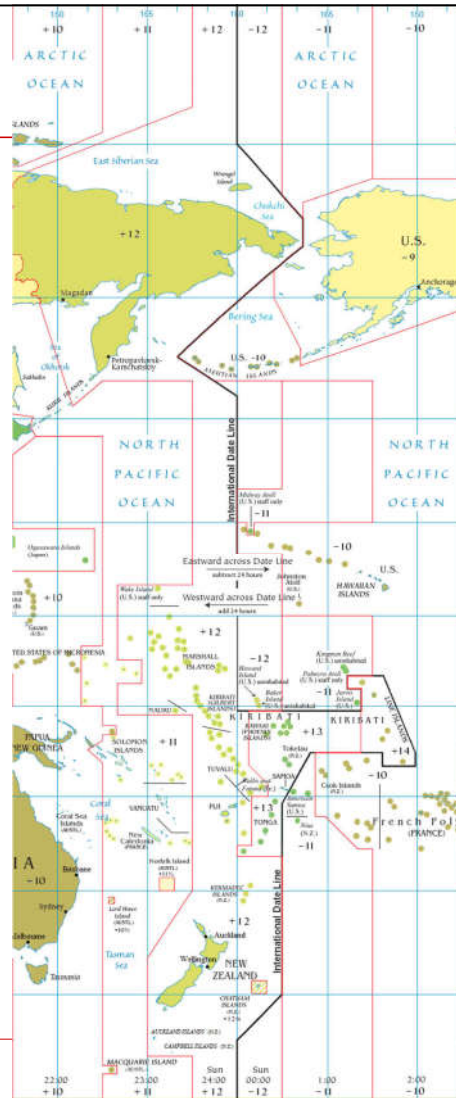
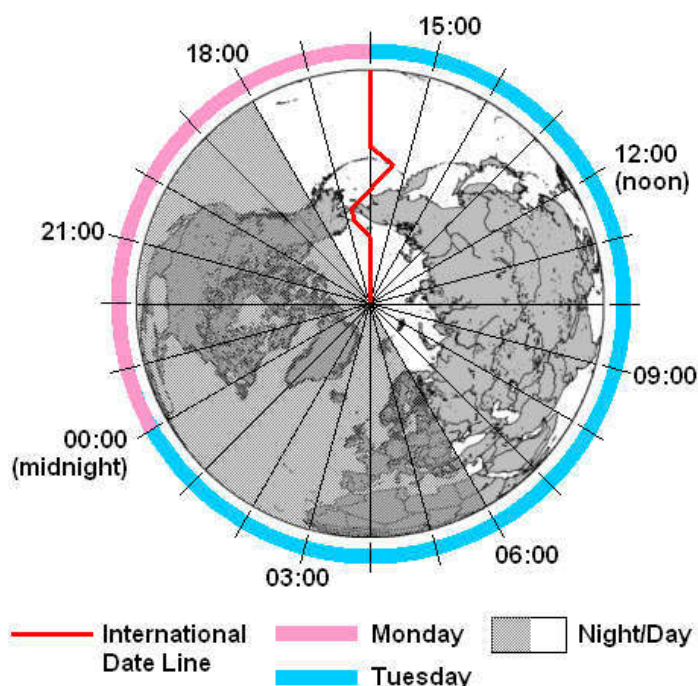
Časovne cone po svetu

Standard Time Zones of the World



Mednarodna datumska črta

- Potnik, ki potuje proti vzhodu, odšteje en dan, nasprotno proti zahodu prišteje en dan.



M. Kuhar - Satelitska geodezija

27

Srednjeevropski čas

- Srednjeevropski čas – SEČ (slovensko);
- mednarodna kratica CET, "Central European Time" je srednji sončev čas meridiana z geografsko dolžino 15° vzhodno od Greenwicha (–15°=–1h). V praksi se meje med pasovi urejajo z državnimi mejami.
- Med svetovnim in srednjeevropskim časom velja zveza:
 - $SEČ = M + 1^h$
- Zakon o računanju časa (ZRC, ZRC-A, UL RS 8/96).
 - V Republiki Sloveniji velja čas, ki ustreza univerzalnemu koordiniranemu času, povečanemu za eno uro (srednjeevropski pasovni čas).
 - Glede na čas iz prejšnjega člena se uvede poletno računanje časa tako, da se ura pomakne za šestdeset minut naprej.
 -

M. Kuhar - Satelitska geodezija

28

Poletno računanje časa - "poletni čas"

- ❑ Veliko držav na svetu uvaja med letom t.i. letni čas ("Summer Time", "Daylight Saving Time").
- ❑ Letni čas je pasovni čas povečan za eno uro. Običajno je v veljavi v letnih mesecih oz. med aprilom in oktobrom tekočega leta. S tem naj bi se omogočilo manjša poraba energije in daljši čas za večerno sprostitev.
- ❑ Ker se uvaja z odločbo (zakonom) ga nekje imenujejo "ukazno vreme".
- ❑ Pri nas CEST - Central European Summer Time.

UTC čas (1)

- ❑ Razširjanje UT časa se izvaja prek [svetovnega koordiniranega časa UTC](#) ("Coordinated Universal Time"). Uporablja se kot mednarodni standard na katerem sloni čas običajnih uporabnikov.
- ❑ Značilnost UTC-ja je, da je to atomski čas, vzdrževan na atomskih urah. Na ta način predstavlja UTC povezavo atomskega časa z svetovnim časom.
- ❑ UTC čas sprejemamo prek radijskih, televizijskih, telefonskih signalov, računalniških mrež... Signale UTC-ja oddaja več za to zadolženih služb. Najbolj točen pristop omogočajo signali GNSS.

UTC čas (2)

- Kratica UTC se ne prevaja, ker je neke vrste kompromis med večnimi tekmeci Francozi in Angleži. Angleška kratica bi se morala namreč glasiti UCT ([Universal Coordinated Time](#)), francoska pa TUC ([Temps Universel Coordonné](#)).
- Drugi narodi kličejo UTC različno:
 - češko "koordinovaný světový čas", nemško "Die koordinierte Weltzeit", špansko "tiempo universal coordinado", hrvaško "koordinirano (uskladjeno) svjetsko vrijeme", italijansko "Il tempo coordinato universale", rusko "Всемирное координированное время", madžarsko "egyezményes koordinált világidő" ,...

UTC čas (3)

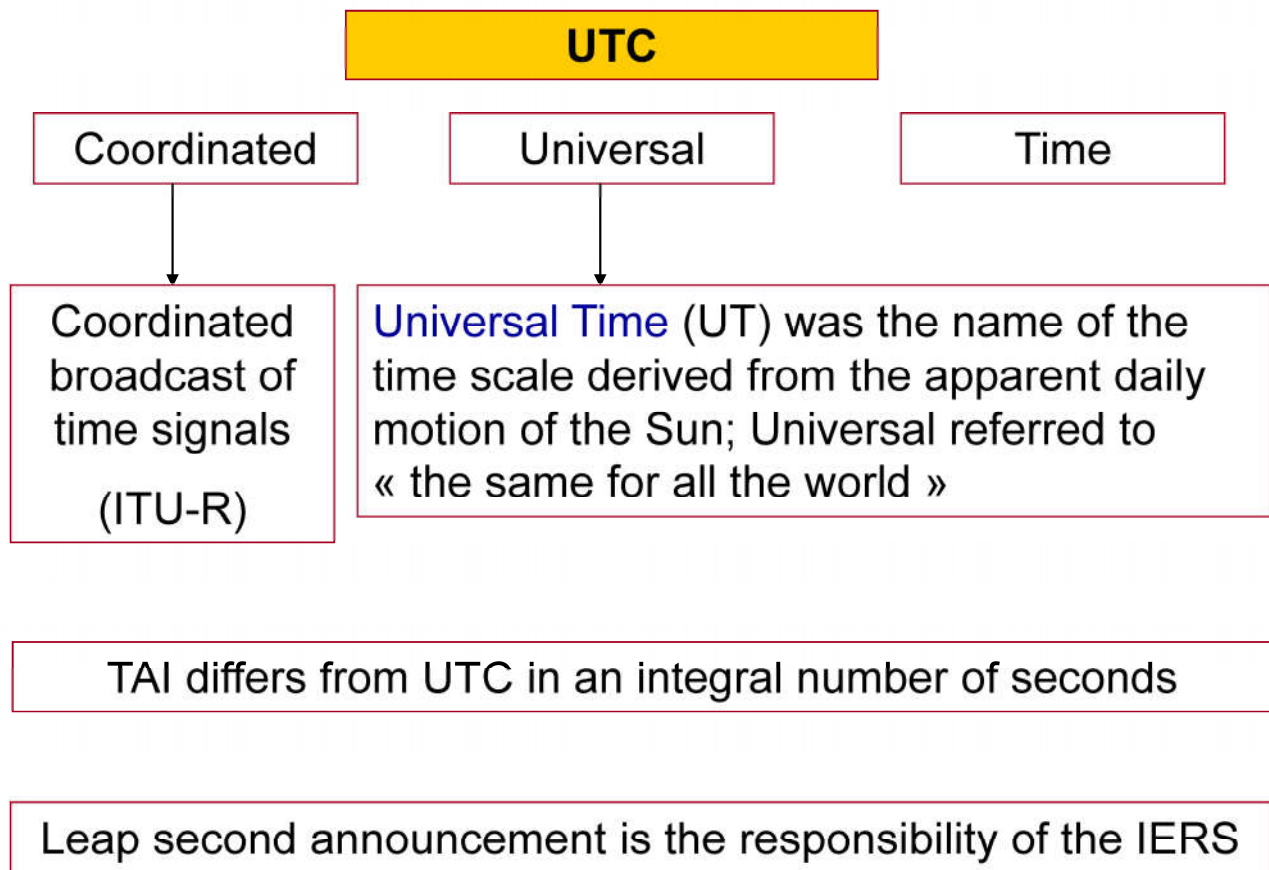
- Med UTC in UT1 nastaja razlika zaradi različnih enot skal. Enota UTC časa je atomska SI-sekunda, ki je pa je v času definiranja določena kot točen del tropskega leta 1900. Zemljina rotacija se nenehno upočasnuje, predvsem pa so astronomi odkrili nepravilne spremembe v dolžini dneva (LOD) "[Length of the Day](#)". Od leta 1900 se je Zemljina rotacija upočasnila za pribl. 1,3 ms na dan.
- Na ta način sta enoti UTC in UT časa neuskklajeni. Razlika skal nanese v približno 18 mesecih 1^s. Vendar, razlika nikoli ne preseže 0,9^s, kar dosežejo z uvedbo [prestopnih](#) sekund UTC časa.
- [Prestopna sekunda "leap second"](#).
- Njihovo uvedbo objavlja vnaprej IERS. Nastopijo lahko v začetku oz. v sredini leta.

UTC čas - "koordiniran svetovni čas"

- Termin "koordiniran čas" -> leta 1960 so inštitucije iz VB in ZDA začele z koordinacijo (usklajeno sodelovanje) pri izdaji navtičnih tabel (almanahov) in oddaji radijskih časovnih signalov.
- Od 1961 do 1972 se je pri vzdrževanju UTC-ja speminjala frekvenca "elastic second"), ter dodajali "koraki" ("steps").
- [UTC TimeSteps-history.txt](#)
- [Prestopne sekunde](#)
- Leta 1972 je skali UTC dodan zamik -0,1077580 s. S tem je nastala razlika med UTC in TAI točno 10 s.
- Sekundi UTC in TAI skale sta bili usklajeni na isto frekvenco.
- Ostalo je samo pravilo uvajanja prestopnih sekund.
- Od leta 1972 so uvedli 37 prestopnih sekund (vse pozitivne). (stanje: konec leta 2023).

Popravki časa DUT1

- Popravki DUT1 so razlike med UTC in UT1.
$$DUT1 = UT1 - UTC.$$
- Napovedane vrednosti DUT1 objavlja služba IERS v svojem biltenu "Bulletin A".
- Tedenske ažurirane vrednosti DUT1 oddajajo posamezne službe točnega časa, na primer ruska postaja [RWM](#).
(... http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a5/2013-03-31_1948z_RWM_Time_Signal.ogg ...)

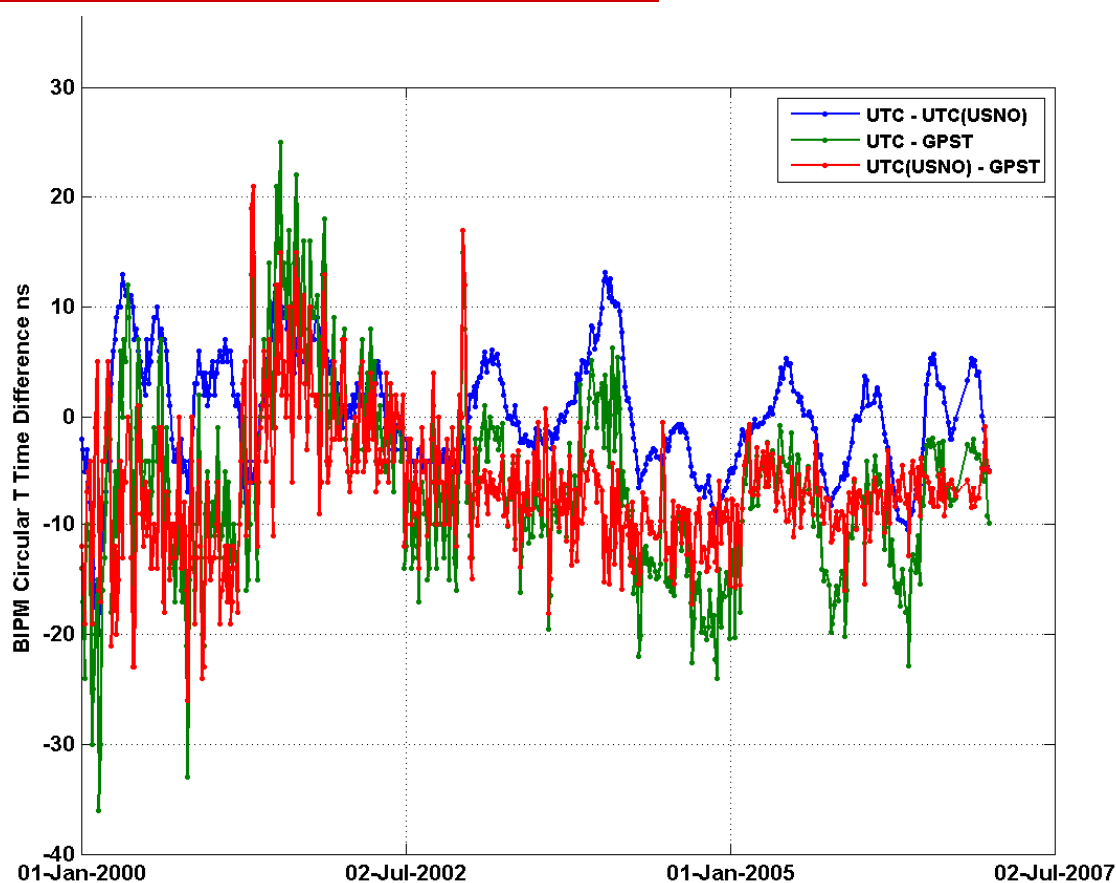


UTC (*k*)

- Časovno skalo UTC pripravljajo v BIPM. Za čimbolj enakomerno in točno generiranje skale UTC danes skrbi okrog 400 atomskih ur v 70 različnih laboratorijih po svetu. Pravo dolžino sekunde določa 13 primarnih frekvenčnih standardov, katerih uteženo povprečje glede na točnost posameznih ur, določa uradno dolžino sekunde.
- Laboratoriji (centri) po svetu generirajo lastne ocene UTC, ki se imenujejo **UTC (*k*)**, kje indeks "k" označuje ime posameznega centra. Ko posamezni centri sporočajo meritve v BIPM sporočijo odstopanje meritev posameznih ur v odnosu do lokalnega UTC (*k*).

-
- [BIPM Circular - T](#)
 - V Sloveniji za vzdrževanje UTC časa skrbi Slovenski inštitut za kakovost in meroslovje – SIQ. SIQ je v izračun TAI oz. UTC vključen od 1. 8. 2007.
 - [BIPM Circular T](#)
 - Časovna skala, ki jo ustvarjajo primarni frekvenčni standardi in ostale atomske ure po svetu se imenuje mednarodni atomski čas [TAI \(Temps Atomique International\)](#). Dolžini sekunde v TAI in UTC skalah sta enaki. Obe skali se razlikujeta le v številu dodanih prestopnih sekund k skali UTC. Razlika med TAI in UTC znaša danes 37 sekund.

BIPM Circular C



Atomski čas

- Da bi zadovoljili praktičnim potrebam realizacije dinamičnih časov so uvedli atomske časovne skale. Atomski čas AT sloni na nihanjih znotraj atomov in molekul. To je čas, ki ga kažejo atomske ure.
- Atomske ure imajo lastne časovne skale odvisne od lastnosti uporabljenih materialov. Enota skale mora biti usklajena z osnovno enoto mednarodnega atomskega časa TAI ("International Atomic Time"), ki so ga uvedli v prakso leta 1972. Osnovna enota TAI je atomska SI sekunda:
 - "Definirana je kot trajanje 9.192.631.770 period elektromagnetnega valovanja, ki ustrezajo prehodu med hiperfinima energijskima nivojema cezijevega atoma 133 v osnovnem stanju."

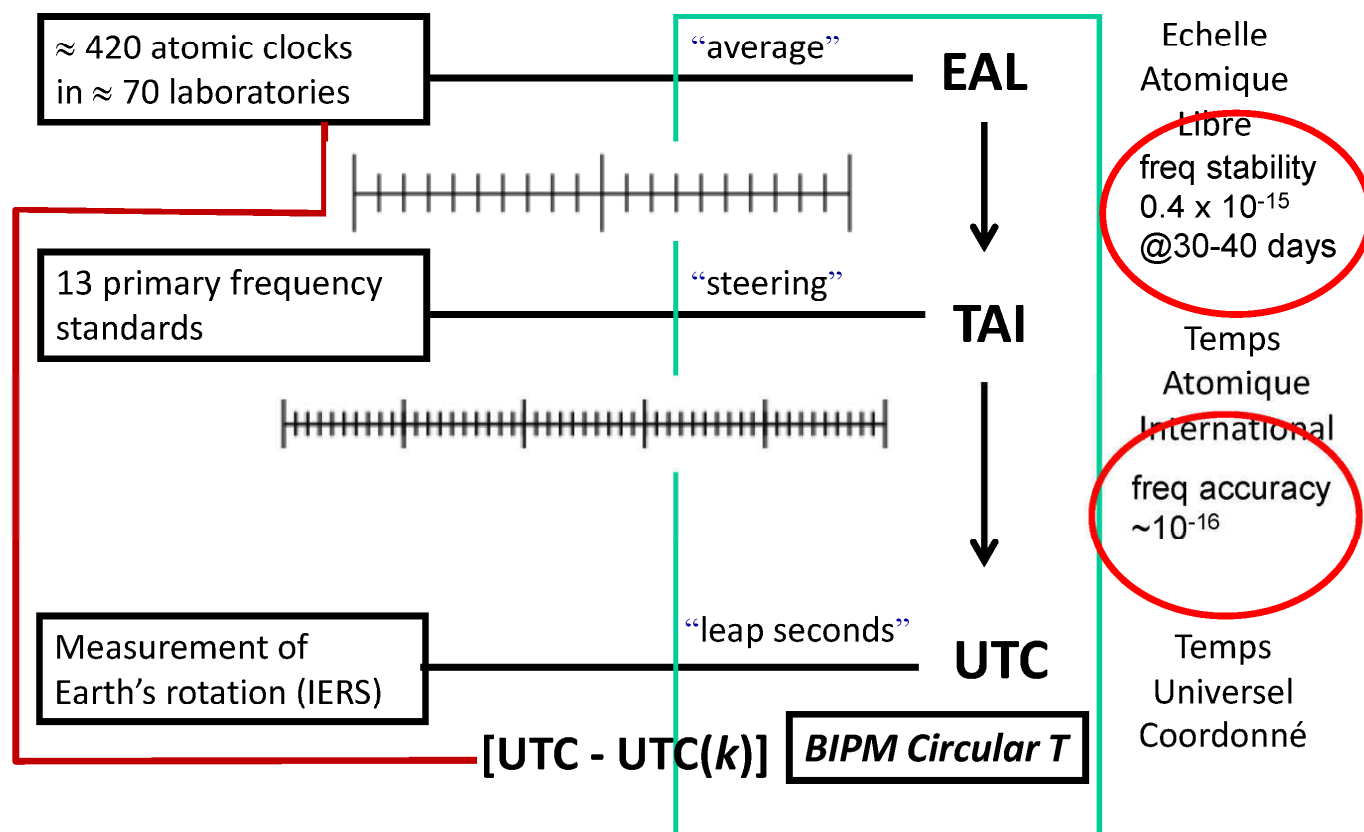
Atomski čas

- Seveda, noben fizikalni zakon ne določa koliko oscilaciji moramo vzeti, da bi definirali sekundo. Mednarodna skupnost se je pač leta 1967 odločila za zgornje število in s tem uskladila enoto z delovanjem atomskih ur. Število oscilacij v definiciji sekunde je usklajeno s srednjo rotacijo Zemlje za leto 1900. **SI atomska sekunda je identična 1/31 556 925,9747 delu tropskega leta 1900.**

TAI (Temps Atomique International)

- TAI je neprekinjena časovna skala, ki je začela delovati leta 1955 z začetkom delovanja prve atomske ure.
- Danes TAI ustvarjajo primarni frekvenčni standardi in ostale atomske ure po svetu (okrog 420 atomskih ur v 70 različnih laboratorijih po svetu). TAI lahko obravnavamo kot povprečje odčitkov vseh udeleženi ur (statistična časovna skala).
- Uradni začetek današnje skale je 01.01.1977.
- Od takrat naprej se skupina atomskih ur, ki ustvarja atomski čas imenuje **Echelle Atomique Libre (Free Atomic Time Scale) – EAL**. Stabilnost frekvence $0,4 \times 10^{-15}$ (na 30-40 dni).
- Natančnost TAI $\sim 10^{-16}$.

Elaboration of TAI and UTC - ALGOS



Responsibilities on time scales



General Conference on Weights and Measures (CGPM)

- ✓ Defined the second – 1967
- ✓ Adopted International Atomic Time (TAI) - 1971
- ✓ Endorsed Coordinated Universal Time (UTC) – 1975



International Telecommunication Union (ITU)

- ✓ Fixes de rules for t&f dissemination by signals
- ✓ Rec ITU-R TF.460-6 (describes the process for synchronizing UTC to UT1 better than 0.9 s)

M. Kuhar - Satelitska geodezija

Responsibilities on time scales (cont.)



International Bureau of Weights and Measures (BIPM)

- ✓ Calculates UTC based on data provided by ~ 70 institutes world-wide spread
- ✓ Coordinates activities for accomplishing this mandate



International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS)

- ✓ Monitors the rotation of the Earth and provides EOP
- ✓ Announces the dates of application of leap seconds

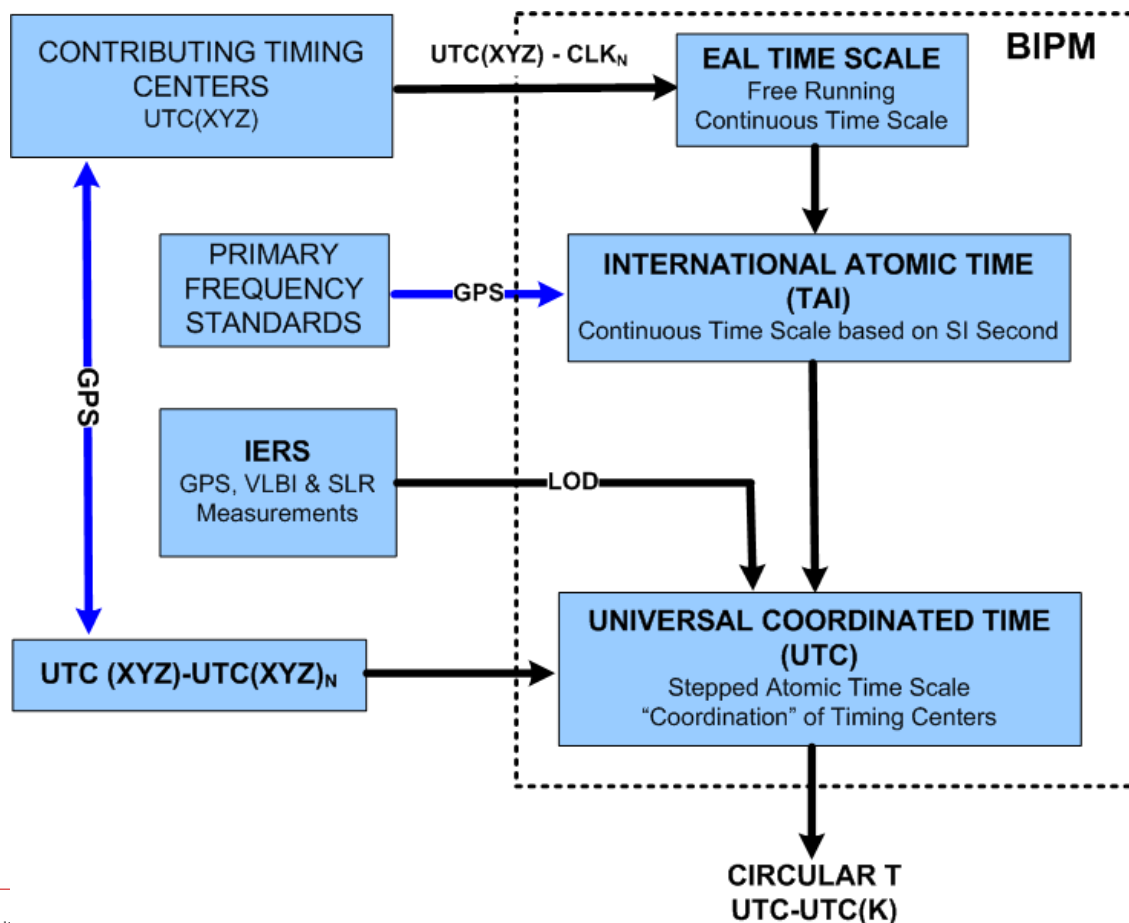


National institutes (72)

- ✓ Maintain local approximations to UTC (UTC(k))
- ✓ Broadcast UTC(k)

M. Kuhar - Satelitska geodezija

Časovne skale BIPM



Pojmovanje časa v teoriji relativnosti

- Einsteinovi teoriji relativnosti sta v popolnosti spremenili predstave o času. Einstein je zavrgel pojem absolutnega časa, absolutnega prostora in istočasnosti. Potek časa na določenem telesu je odvisen od hitrosti gibanja glede na drugo telo s katerega se ta čas meri.
- Postulat klasične fizike je, da obstaja en čas. Teorija relativnosti trdi, da obstaja nešteto potekov časa oz. vsako telo ima ustrezen čas glede na drugo telo, ki je odvisen od njihovega medsebojnega gibanja. Prostor in čas sta povezana v kontinuum prostor–čas ("space–time") in sta odvisna eden od drugega. V gravitacijskem polju sta prostor in čas odvisna tudi od mase. Ob večji masi so tudi večje spremembe prostora in poteka časa. Lastnosti časa po teoriji relativnosti pogojuje razporeditev in gibanje mase.
- Navedene trditve so uspeli tudi eksperimentalno dokazati. Ugotovili so razliko v časovnih skal atomskih ur v Brunswicku (Kanada) in Boulderju (ZDA), ki znaša $5,4\mu\text{s}/\text{leto}$. Razlika nastaja zaradi različnih geopotencialov na katerih se nahajata uri.

Lastni in koordinatni čas

- **Lastni čas** je čas, ki ga meri opazovalec pri svojem gibanju v prostor–času po svetovnici. (V teoriji relativnosti vsaki točki prostora–časa ustreza dogodek. Množica dogodkov, ki določa gibanje točkastega telesa, sestavlja štirirazsežno krivuljo – **svetovnico** "worldline"). Čas merjen na katerikoli uri predstavlja lastni čas opazovalca n.pr. čas na atomski uri. Lastni čas lahko priredimo vsakemu nebesnemu telesu. Merimo lahko samo lastni čas na Zemlji.
- **Koordinatni čas** je čas referenčne ure v izbranem izhodišču. Ta ura se ne giblje glede na vse druge ure. Ima svojo lastno časovno skalo. Koordinatnega časa ni mogoče meriti, vendar njegova definicija bolj ustreza sodobnim dinamičnim teorijam, skladnim s splošno teorijo relativnosti. Koordinatni čas služi za nedvoumno označevanje dogodkov v izbranem referenčnem sistemu in je samo četrta koordinata pri izražanju enačb gibanja.

Popravki ur zaradi teorije relativnosti (1)

- Po teoriji lahko merimo samo krajevni čas. To je lastni čas ure ali opazovalca v neposredni bližini opazovališča. Če ga uporabimo kot argument v enačbi gibanja v širšem prostoru (recimo Osončje) in pri tem bi naj bile te enačbe čimbolj preproste, postane čas samo prosto izbrana "četrta" koordinata. To je potem koordinatni čas v poljubno izbranem sistemu koordinat prostor–časa.
- V teoriji relativnosti imamo tri osnovne situacije, ki so za merjenje časa ključne:
 - relativno gibanje ur;
 - razlike v gravitacijskih potencialih v katerih se nahajajo ure;
 - problem rotacijskega referenčnega sistema kakršen je Zemljin v katerem živimo.

Popravki ur zaradi teorije relativnosti (2)

- Osnovno načelo relativnosti pravi, da je svetlobna hitrost v vakuumu enaka za vse inercialne opazovalce. To nam omogoča, da lahko ure primerjamo med seboj in jih sinhroniziramo brez težav.
- Kmalu po Einsteinovem odkritju pa je G. Sagnac pokazal, da v rotirajočem (neinercialnem) referenčnem sistemu hitrost svetlobe ni konstantna. Posledica tega je, da ne moremo predpostaviti konstantnosti svetlobne hitrosti, kot jo vidimo z vrteče se Zemlje in potem opraviti sinhronizacijo ur na Zemljini površini.
 - Primer: za oddajo signala z ekvatorja na geostacionarni satelit (višinski kot 45°) v vzhodni smeri znaša Sagnacov učinek 137 ns).
- Odprava problema:
 - Zamislimo referenčni sistem z izhodiščem v središču Zemlje, ki pa se glede na oddaljene zvezde ne bo vrtil. To je ponazoritev \Rightarrow
 - geocentričnega inercialnega sistema - [ECI \(Earth-Centered Inertial System\)](#). Zemlja se zavrti glede na ECI enkrat na dan.

Popravki ur zaradi teorije relativnosti (3)

- Ure v ECI sistemu lahko sinhroniziramo in sintoniziramo* s pomočjo konstantne c . Vendar se realne ure na površini Zemlje in na okoliških satelitih gibljejo glede na ECI in so v Zemljinem gravitacijskem polju. Zato moramo računsko dodati korekcije k časom, ki jih izmerijo realne ure, tako da vse ure kažejo čas, kot bi ga kazala ura, ki miruje v sistemu ECI.
 - Primer: idealna ura na Zemlji (natančneje na geoidu) bi zaostajala za uro v središču Zemlje 22 ms / leto.
- Relativistični vpliv na čas se v primeru umetnih zemljinih satelitov kaže v naslednjem:
 - zaradi gibanja satelita teče ura na satelitu počasneje glede na enako uro na Zemlji,
 - zaradi šibkejšega gravitacijskega polja Zemlje teče ta ista ura hitreje glede na enako uro na Zemlji.
 - Dejanski seštevek obeh vplivov se kaže v vsakem satelitskem sistemu posebej.
- *sintonizacija - uskladitev oscilatorjev, da delajo na enaki frekvenci

Dinamični časi (1)

- Dinamični čas je čas, ki ga določimo na osnovi opazovanj nebesnih teles v Osončju (praktična definicija).
- Dinamični čas je enakomerna časovna skala, ki upravlja gibanje nebesnih teles v gravitacijskem polju.

Je neodvisna spremenljivka v enačbi gibanja v določenem referenčnem sistemu u skladu z ustrežno gravitacijsko teorijo (Newtonovo mehaniko oz. teorijo splošne relativnosti). Žal, dinamični čas nima povezave z rotacijo Zemlje.

Dinamični časi (2)

- Sodobna zasnova definicije časa je zasnovana na splošni teoriji relativnosti in inercialnih referenčnih sistemih. Kot vemo, je merjenje časa odvisno od referenčne točke položaja opazovalca. Za astronomske potrebe so referenčne točke:
 - Zemljino površje (oz. geoid),
 - njeno težišče (geocenter), ter
 - težišče Osončja (baricenter).
- V splošnem ločimo med:
 - geocentričnim dinamičnim časom in
 - baricentričnim dinamičnim časom.
- Za podano ustrežno teorijo relativnosti obstaja transformacija med geocentričnim in baricentričnim časom, torej skali nista enotni (saj sta odvisni od uporabljene teorije).

Dinamični časi v preteklosti

- **Efemeridni čas ET** ("Ephemeris Time") je bil prvi dinamični čas, ki so ga uvedli v prakso. Efemeridna sekunda je bila definirana kot točno določen del tropskega leta 1900. SI-sekundo so svojčas definirali na osnovi efemeridne sekunde (približno enaki). V praksi je bil efemeridni čas določen na osnovi opazovanj gibanja Lune, naknadno.
- Leta 1977 sta ET zamenjala:
- **Terestrični dinamični čas TDT** ("Terrestrial Dynamical Time") kot neposredni naslednik ET; enakomerna časovna skala za računanje gibanje v gravitacijskem polju Zemlje. TDT je bil osnovna časovna skala za izračun vseh fundamentalnih geocentričnih efemerid, torej tudi za izračun tirov gibanja umetnih zemljinih satelitov.
- **Baricentrični dinamični čas TDB** ("Barycentric Dynamical Time"), skala za računanje gibanja v gravitacijskem polju Sonca (Osončju).
- Skala TDB se razlikuje od skale TDT samo v nekih periodičnih členih. Razlike med skalami znašajo največ 10 msec, kar je za vse praktične potrebe zanemarljivo.

Dinamični časi danes (1)

- **TT – Terrestrial Time**, definirala IAU leta 1991, v uporabi od leta 2001. TT čas v popolnosti ustreza terestričnemu dinamičnemu času TDT. **TT je koordinatni čas za referenčni sistem v Zemljinem središču**, vendar "ure TT časa" tečejo na geoidu (zato obstaja razlika med njim in TCG časom). Izbran je kot idealni časovni argument za računanje geocentričnih efemerid.
- Časovna enota je SI-sekunda na geoidu in izhodišče skale je **1977 Januar 1, 0h 0m 32,184** točno. S črtanjem pridevnika "dinamični" so hoteli poudariti, da je TT idealna oblika TAI*, ki ne sloni na dinamičnih teorijah Efemeridnega časa. Velja:
- $TT(TAI) = TAI + 32,184 \text{ s}$
domneva, da je TAI "brez napak" od začetne epohe 1977 Januar 1, 0:00:32,184 TT. 32,184 je najboljša takratna ocena razlike med ET in TAI.

*(TAI je praktična realizacija TT časa).

JD 2 443 144,5003725

Dinamični časi danes (2)

- TCG ("Geocentric Coordinated Time") iz francoščine "Temps-coordonnée géocentrique";
- TCB ("Barycentric Coordinated Time"), tudi iz francoščine "Temps-coordonnée barycentrique".
- TCG in TCB sta koordinatna časa za Zemljo in Osončje.
- TCG je koordinatni čas za geocentrični nebesni referenčni sistem (GCRS), (inercialni; Zemljino središče ne rotira).
- Zveza med TT in TCG časom je: $TCG = TT + L_G \times (JD - 2\,443\,144,5) \times 86\,400s$
 - kjer je $L_G = 6,969290134 \times 10^{-10}$ konstanta;
 - $L_G = \frac{W_g}{c^2}$ kvocient med potencialom na geoidu in svetlobno hitrostjo (velja za leto 2000).
- TCB je koordinatni čas za baricentrični nebesni referenčni sistem (BCRS).

Čas TT - primeri efemerid

- The Astronomical Almanac
 - <http://asa.usno.navy.mil/index.html>
- Ephemerides of Minor Planets
 - <https://iaaras.ru/html/emp2021/emp2021.html><https://iaaras.ru/html/emp2021/emp2021.html>
- (Miriade computation of the positional ephemerides of solar system objects) - Observatoire de Paris:
 - <http://vo.imcce.fr/webservices/miriade/?forms>

GNSS-časi

- GNSS meritve slonijo na meritvah časa.
- Na krovu satelitov atomske ure.
- GNSS-časi so koordinatni časi geocentričnega referenčnega koord. sistema. Obravnavamo jih samo kot tehniški parameter posameznega sistema GNSS (sistemski časi). Trenutno:
 - GPS-čas;
 - GLONASS-čas;
 - Galileo System Time (GST);
 - BeiDou System Time (BST).
- Obravnavajo so kot psevdo časovne skale; sinhronizacija poteka z "zunanji" referenčnimi časovnimi skalami, npr. UTC (k).

GNSS-časi lastnosti

GPS time: steered to UTC(USNO) modulo 1s

- ✓ $[TAI - \text{GPS time}] = 19 \text{ s} + C_0$
- ✓ $[\text{UTC} - \text{GPS time}] = -16 \text{ s} + C_0$
- ✓ Tolerance is 1 μs

GLONASS time: steered to UTC(SU) with leap second

- ✓ $[TAI - \text{GLONASS time}] = 35 \text{ s} + C_1$
- ✓ $[\text{UTC} - \text{GLONASS time}] = C_1$
- ✓ Tolerance is 1 ms

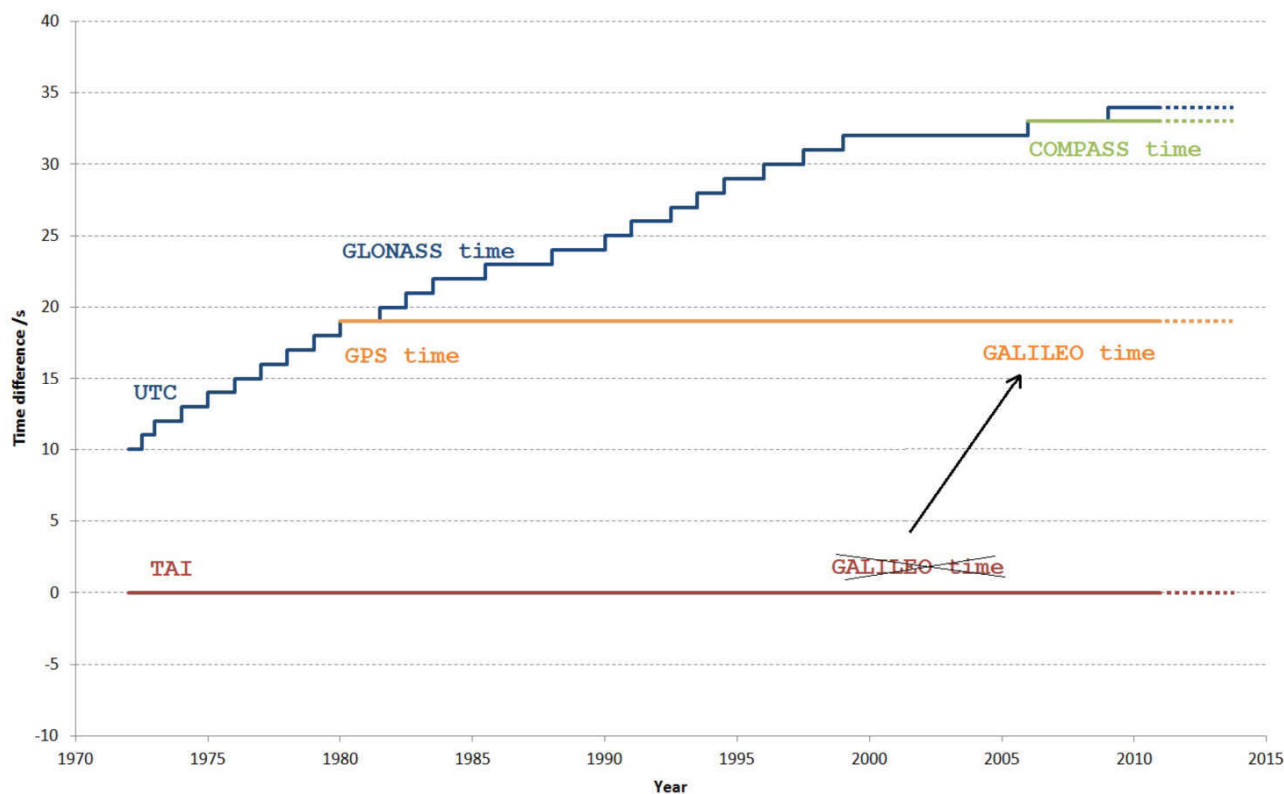
Galileo time: steered to a set of EU UTC(k); using GPS time seconds, GGTO

- ✓ $[TAI - \text{Galileo time}] = 19 \text{ s} + C_2$
- ✓ $[\text{UTC} - \text{Galileo time}] = -16 \text{ s} + C_2$
- ✓ Tolerance is 50 ns

BeiDou time: will be steered to set of Chinese UTC(k)

- ✓ $[TAI - \text{BeiDou time}] = 33 \text{ s} + C_3$
- ✓ $[\text{UTC} - \text{BeiDou time}] = -2 \text{ s} + C_3$
- ✓ Tolerance is 100 ns

Razlike med UTC



Natančnost sistemskih časov GNSS

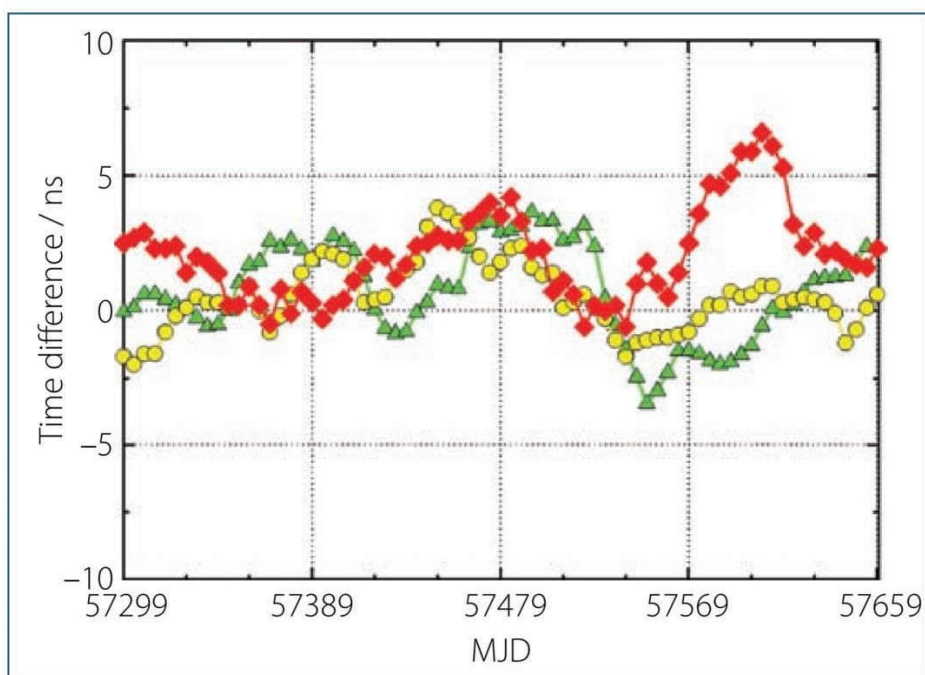
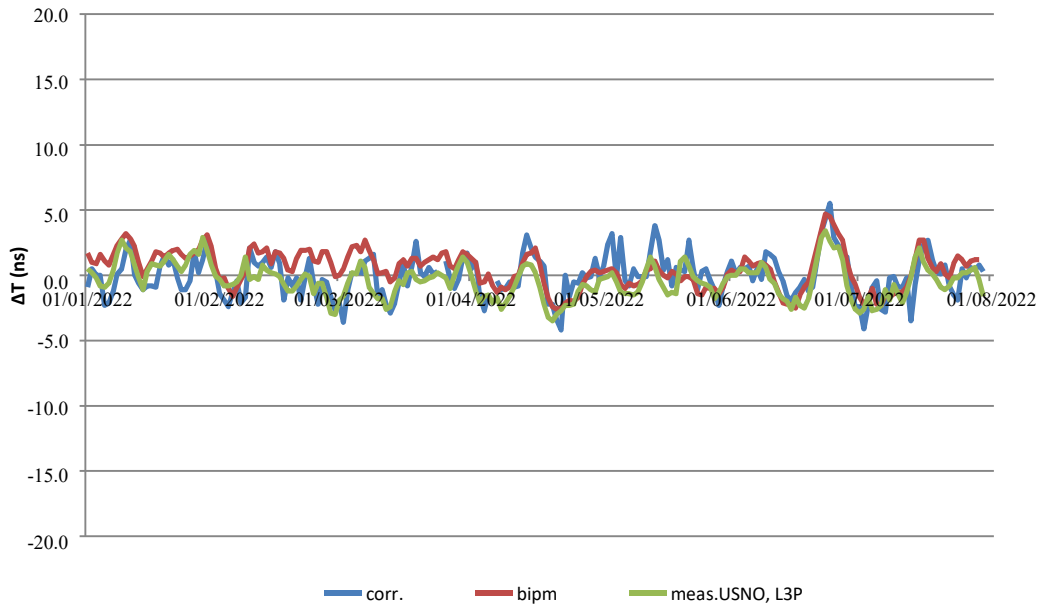
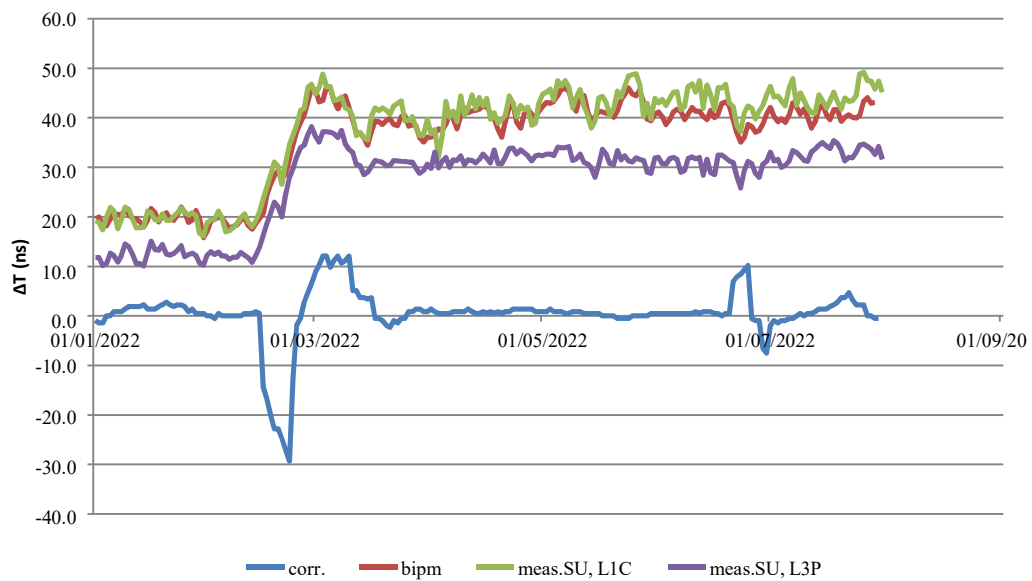


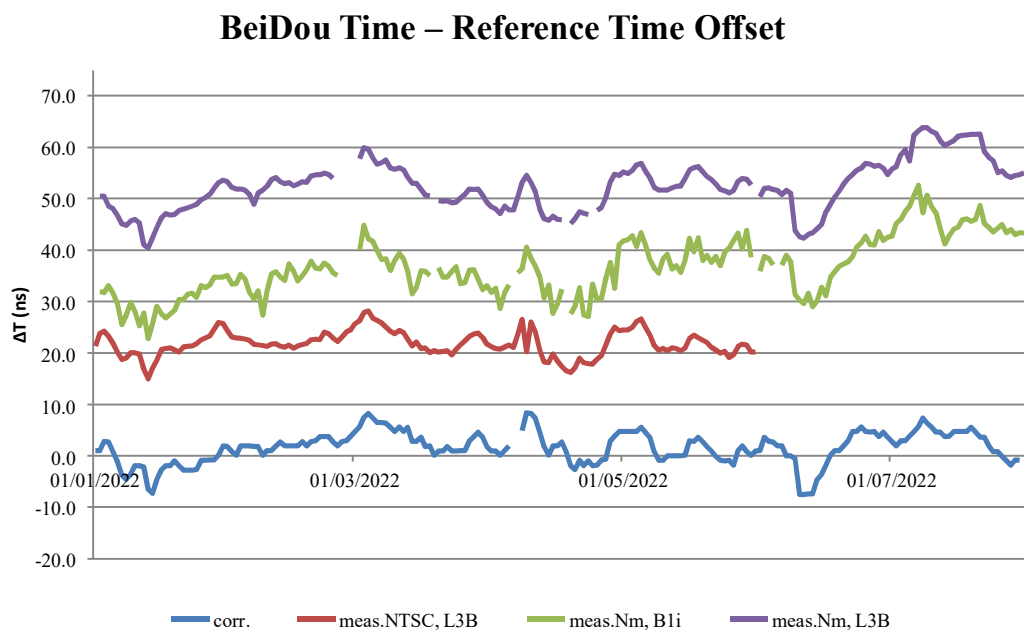
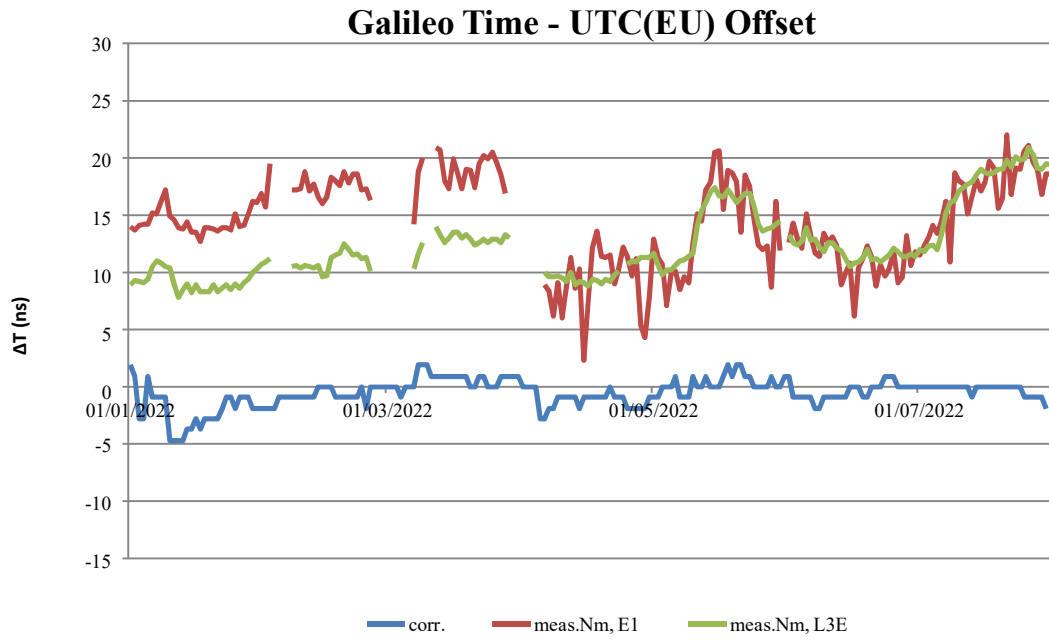
FIGURE 1 Reference time scales for GPS (yellow), GLONASS (red) and Galileo (green) in comparison with UTC during one year, ending at Modified Julian Day (MJD) 57659, September, 28 2016.

GPS Time - UTC(USNO) Offset



GLONASS Time - UTC(SU) Offset

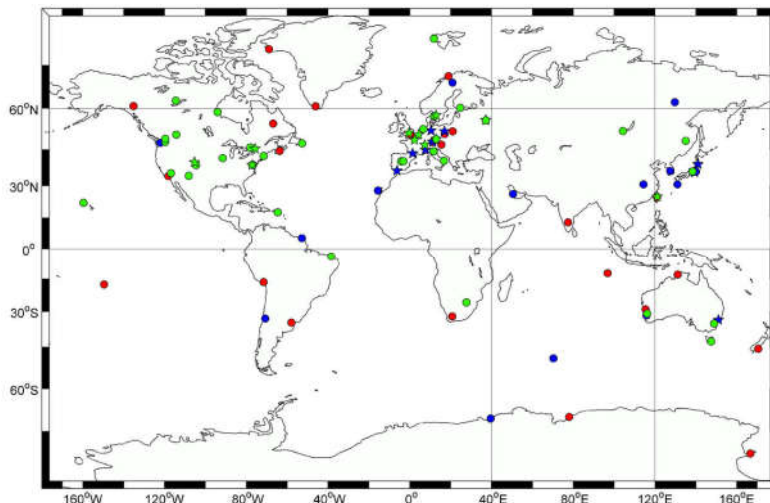




IGS/BIPM primerjava časa s pomočjo meritev GNSS

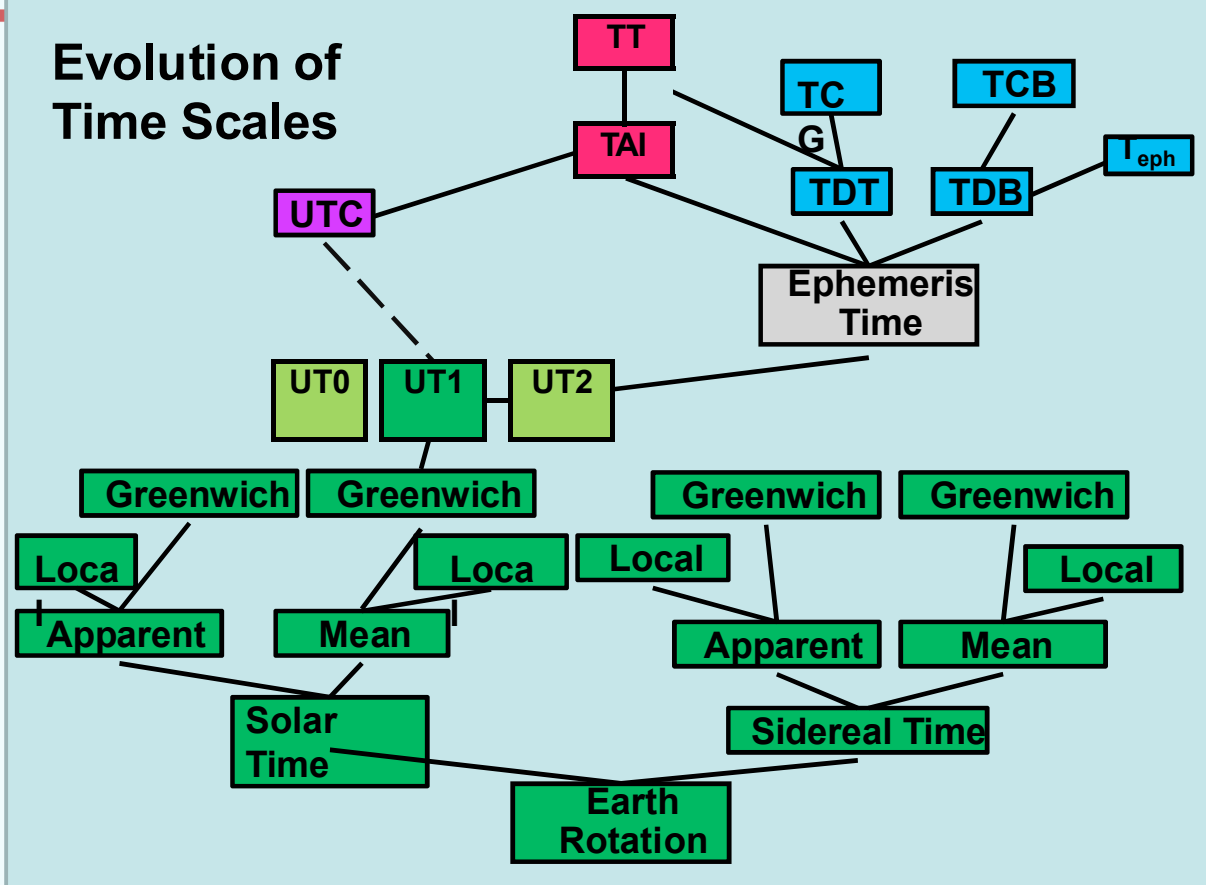
IGS Site	Time Lab	Freq. Std.	Location
AMC2	AMC	H-Maser	Colorado Springs, CO USA
BOR1	AOS	Cesium	Borowiec, Poland
BRUS	ORB	H-Maser	Brussels, Belgium
IENG	IEN	Cesium	Torino, Italy
KGN0	CRL	Cesium	Koganei, Japan
MDVJ	VNIIM	H-Maser	Mendeleevo, Russia
MIZU	NAO	Cesium	Mizusawa, Japan
NISU	NIST	H-Maser	Boulder, CO USA
NPLD	NPL	H-Maser	Teddington, UK
NRC1	NRC	H-Maser	Ottawa, Canada
NRC2	NRC	H-Maser	Ottawa, Canada
OBE2	DLR	Rubidium	Oberpfaffenhofen, Germany
OPMT	OP	H-Maser	Paris, France
PENC	SGO	Rubidium	Penc, Hungary
PTBB	PTB	H-Maser	Braunschweig, Germany
SFER	ROA	Cesium	San Fernando, Spain
SPT0	SP	Cesium	Boras, Sweden
SYDN	NMI	Cesium	Sydney, Australia
TLSE	CNES	Cesium	Toulouse, France
TWTF	TL	Cesium	Taoyuan, Taiwan
USNO	USNO	H-Maser	Washington, DC USA
USN3	USNO	H-Maser	Washington, DC USA
WAB2	CH	H-Maser	Bern, Switzerland
WTZA	IFAG	H-Maser	Wetzell, Germany
WTZR	IFAG	H-Maser	Wetzell, Germany

IGS točke z atomskimi urami

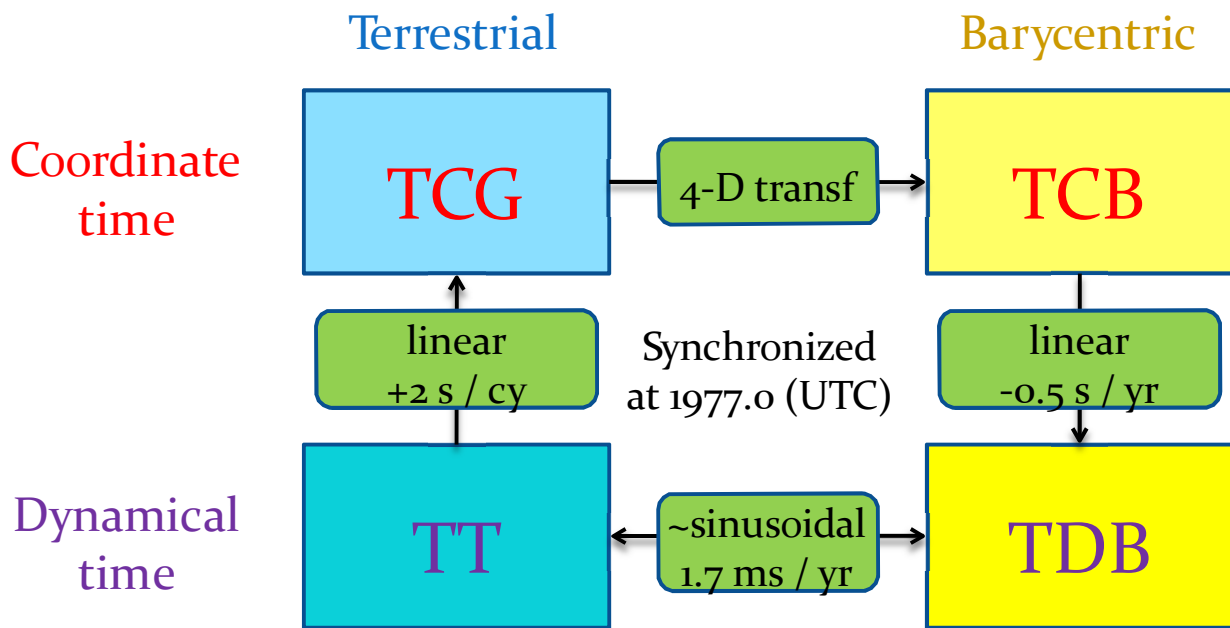


- masers (54)
- cesiums (32)
- rubidiums (27)
- ★ time lab stations (25)

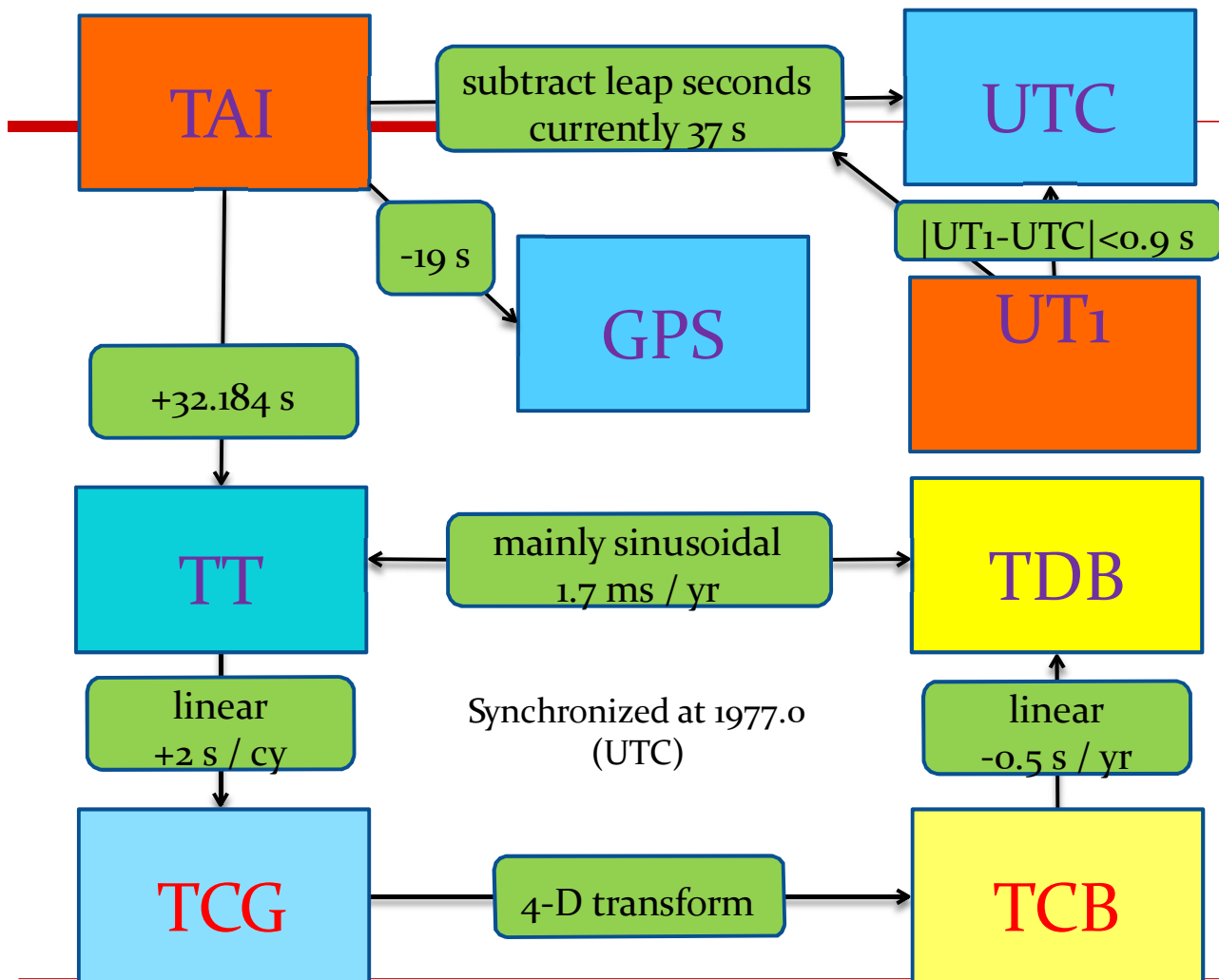
Evolution of Time Scales



Practical Time Scales Model



67



16 68