

2. előadás

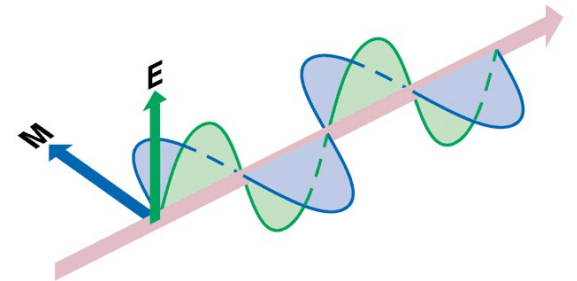
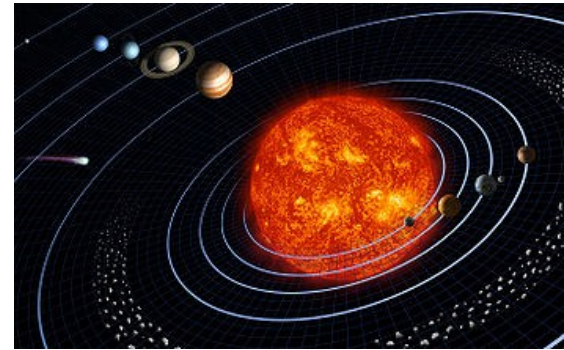
- Időrendszerek
- Szintfelületi koordináták és azimut meghatározása
 - szintfelületi szélesség és hosszúság meghatározásának elve
 - szintfelületi azimut fogalma és meghatározásának elve

Időrendszerek áttekintése

- mérés
 - mikor? – t időpont
 - mióta? – t_0 epocha
 - mennyi ideig? – $t - t_0$ időtartam
- jelenségek
 - jól reprodukálható
 - nagy megbízhatóságú
 - periodikus
- időpont és időköz (egység) határozza meg

Jelenségek

- Föld forgása
 - mihez képest?
 - Nap állása : **szoláris idő**
 - csillagok, Tavaszpont (Υ): **csillagidő**
- Föld, Hold, bolygók keringése
 - **efemerisz idő**
 - **dinamikai idő**
- elektromágneses rezgések
 - **atomidő**



Szoláris idők

☉: valódi Nap

☉̄: fiktív egyenlítői közép Nap

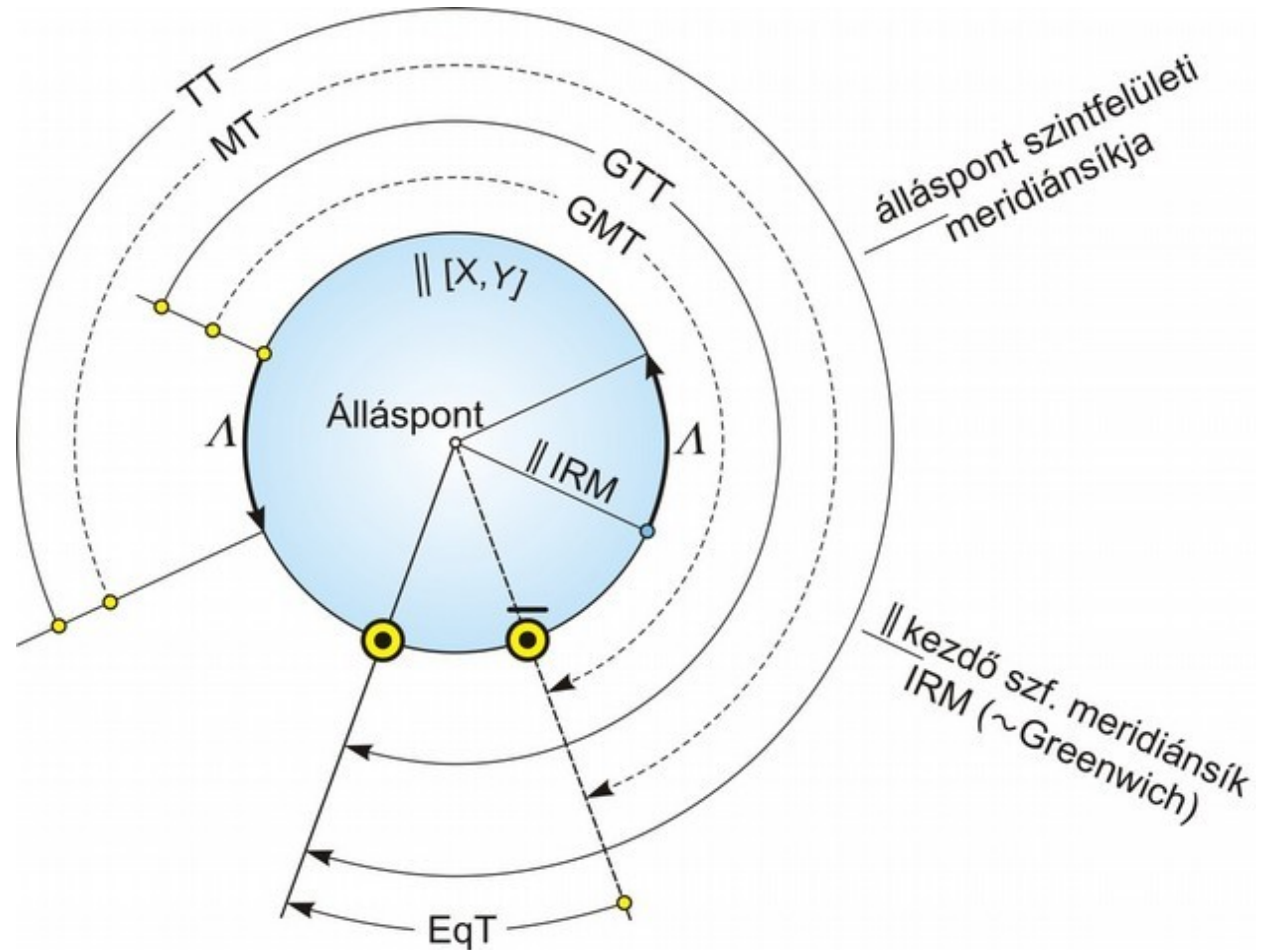
TT: valódi idő (napórák)

MT: közép idő

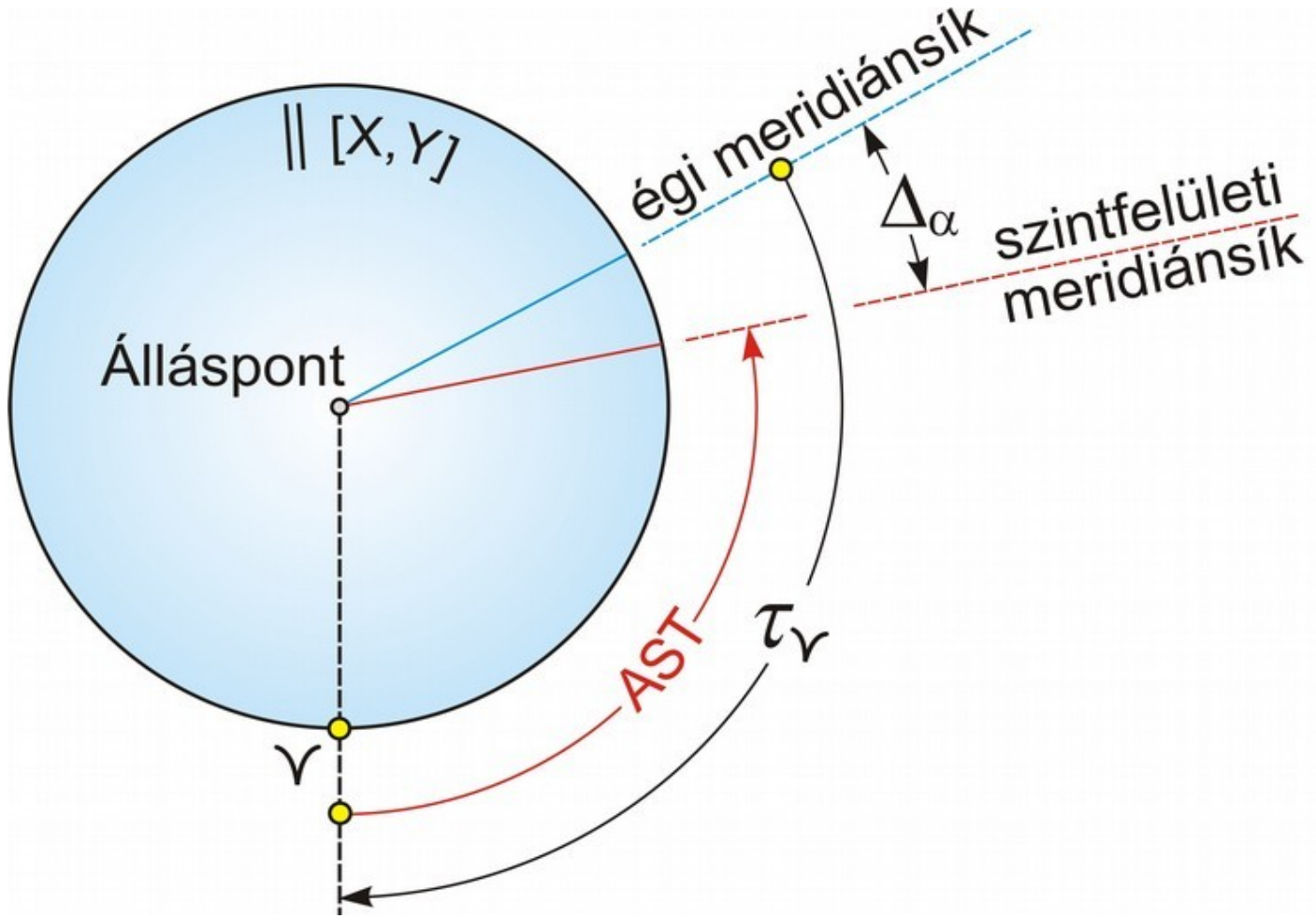
GTT: Greenwichi valódi idő

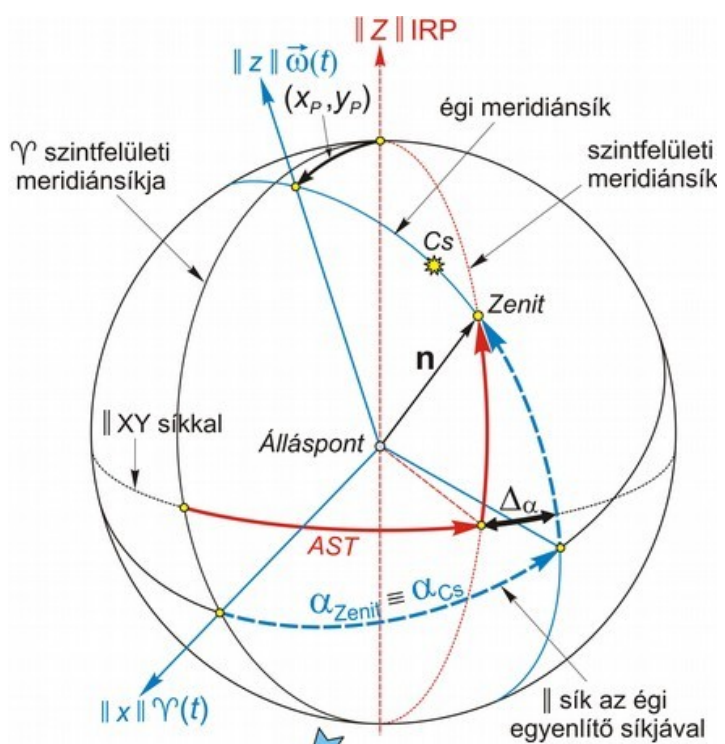
GMT: Greenwichi közép idő

EqT: időegyenlítés

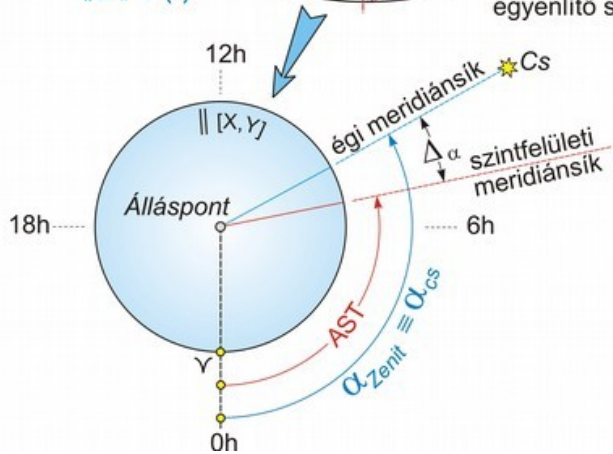


Valódi csillagidő (AST)

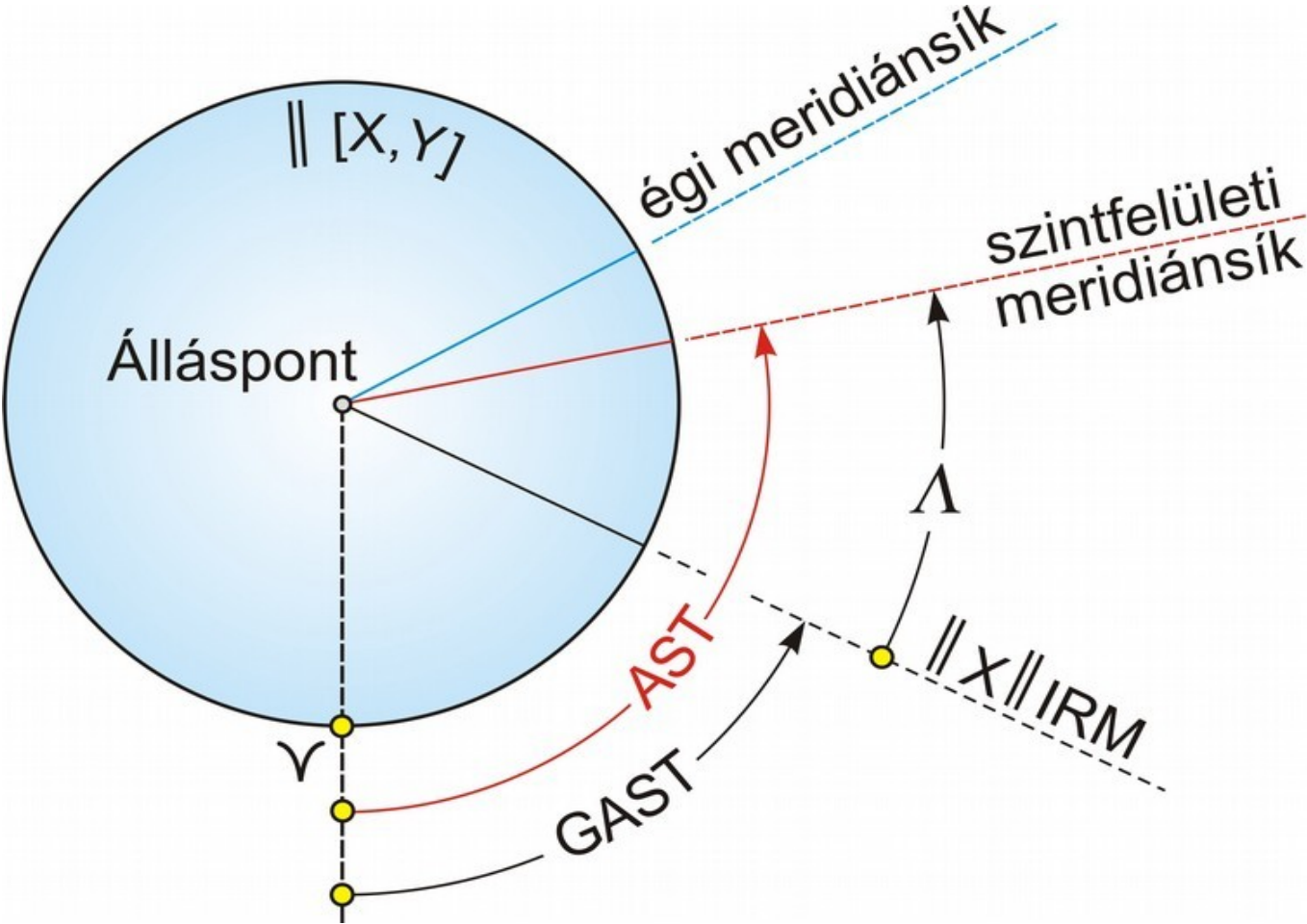




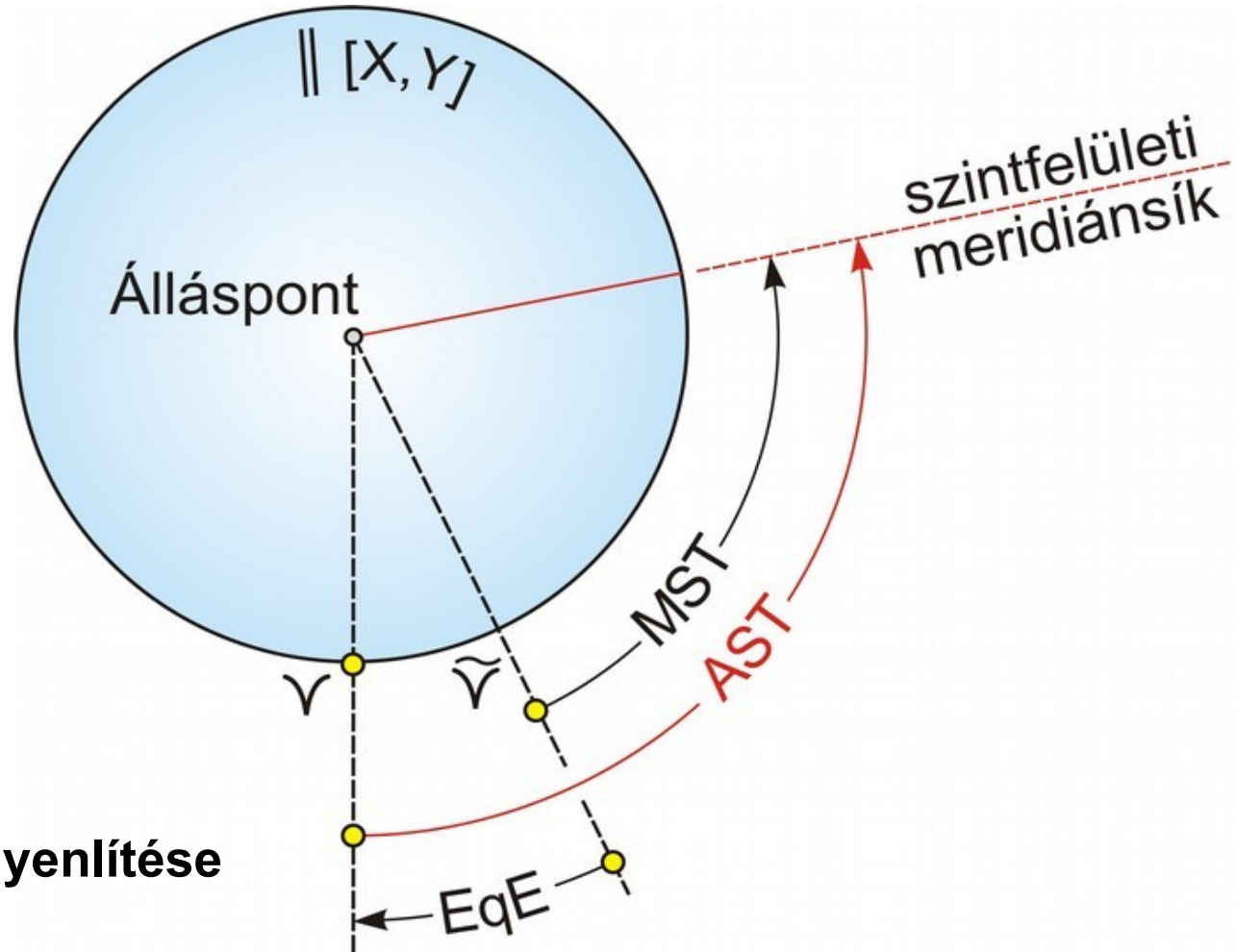
A valódi csillagidő (AST) meghatározása, ha a csillag az álláspont égi meridiánsíkjában van



Greenwichi valódi csillagidő (GAST)



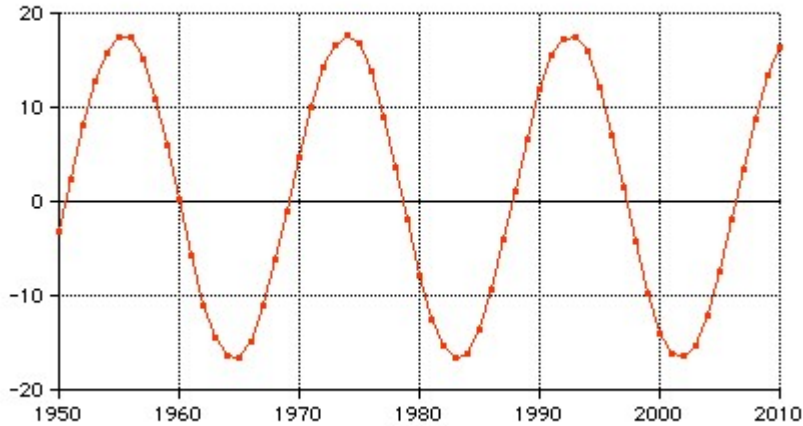
A közepes csillagidő (MST)



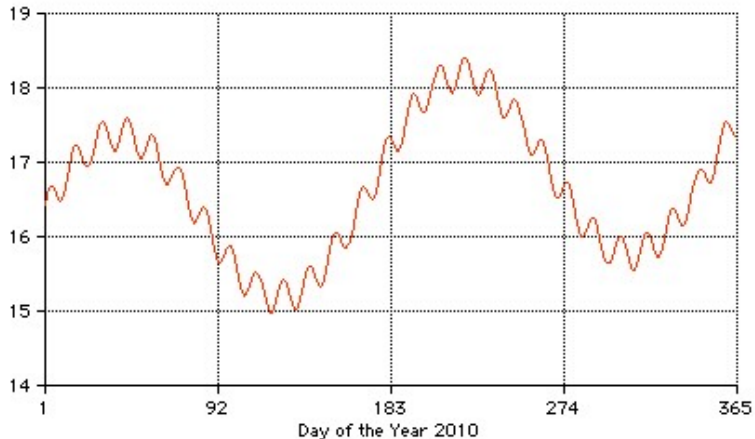
EqE: Tavaszpont időegyenlítése

Tavaszpont időegyenlítése

Nutation in Longitude (arcsec)



2010 Nutation in Longitude (arcsec)



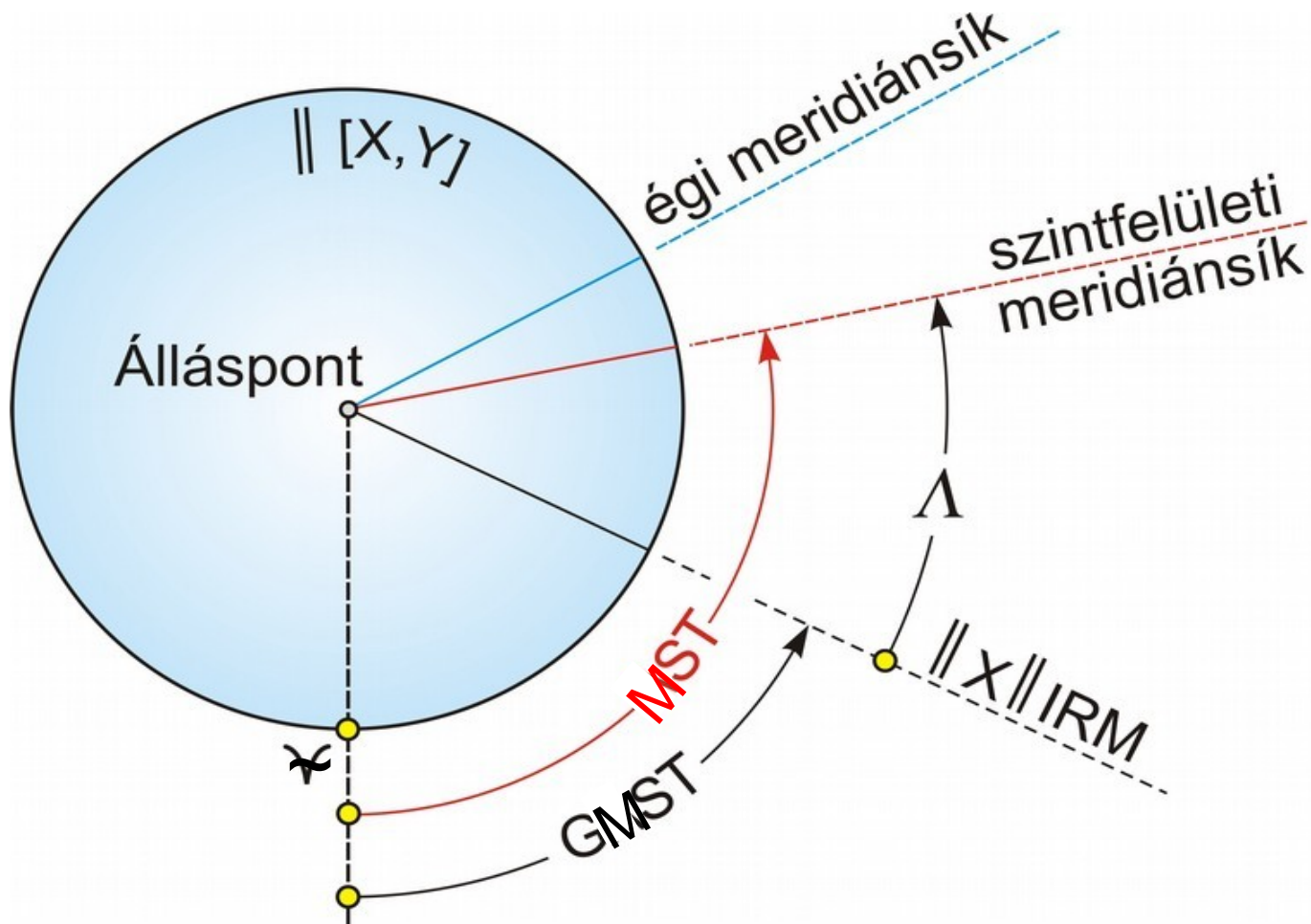
$$EqE = AST - MST = GAST - GMST$$

EqE: csillagászati nutáció hatása a hosszúságra (rektaszcenzió)
 $\pm 17.2''$ – es amplitúdó (± 1.15 sec,
 ± 530 m)

18.6 éves periódus

féléves és sziderikus hónapi periódus

Greenwichi közepes csillagidő (GMST)



UT1 világidő

- IRM szoláris jellegűvé átszámított közepes csillagideje
- GMST-ből megegyezésszerű átszámító képlettel (IAU 1982, C5 határozat, Aoki et al. 1982)

$$\text{GMST1 of } 0^{\text{h}} \text{ UT1} = 24110^{\text{s}}54841 + 8640184^{\text{s}}812866 T_u^{\text{v}} \\ + 0^{\text{s}}093104 T_u^{\text{v}2} - 6^{\text{s}}2 \cdot 10^{-6} T_u^{\text{v}3}.$$

$$\text{UT1} = \text{GMST} - \bar{\alpha}(T) + 12^{\text{h}}$$

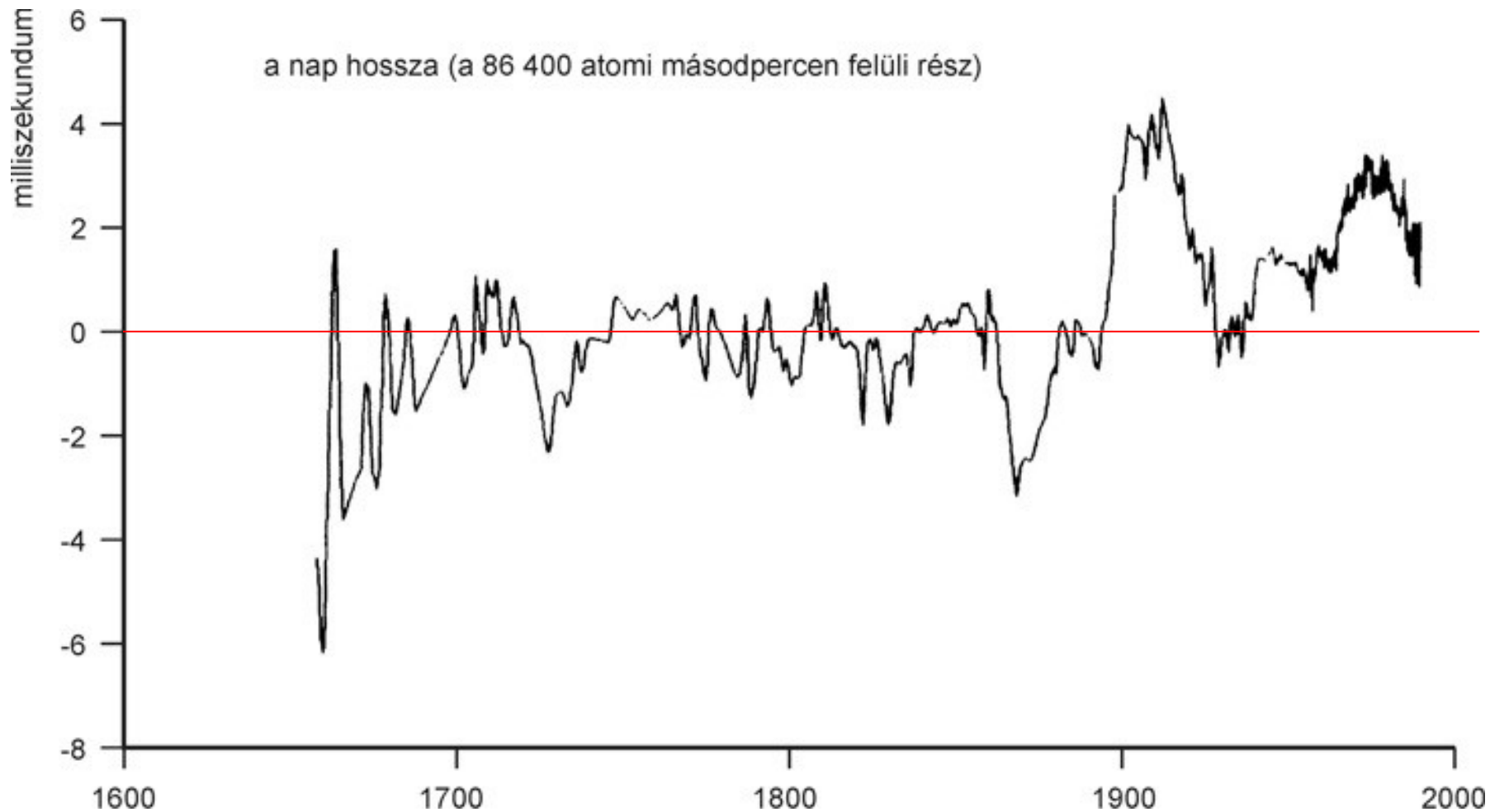
$$\bar{\alpha}(T) = a + bT_u + cT_u^2 + dT_u^3$$

T_u : 2000. jan. 1. 12^h óta eltelt Julián évszázad

$$\text{GMST of } 0^{\text{h}} \text{ UT1} = 6^{\text{h}}41^{\text{m}}50^{\text{s}}54841 + 8640184^{\text{s}}812866 T_u + 0^{\text{s}}093104 T_u^2 - 6^{\text{s}}2 \times 10^{-6} T_u^3$$

- a Föld forgásának egyenetlenségei (10^{-8}) miatt nem teljesen egyenletes idő

A nap hosszának változása



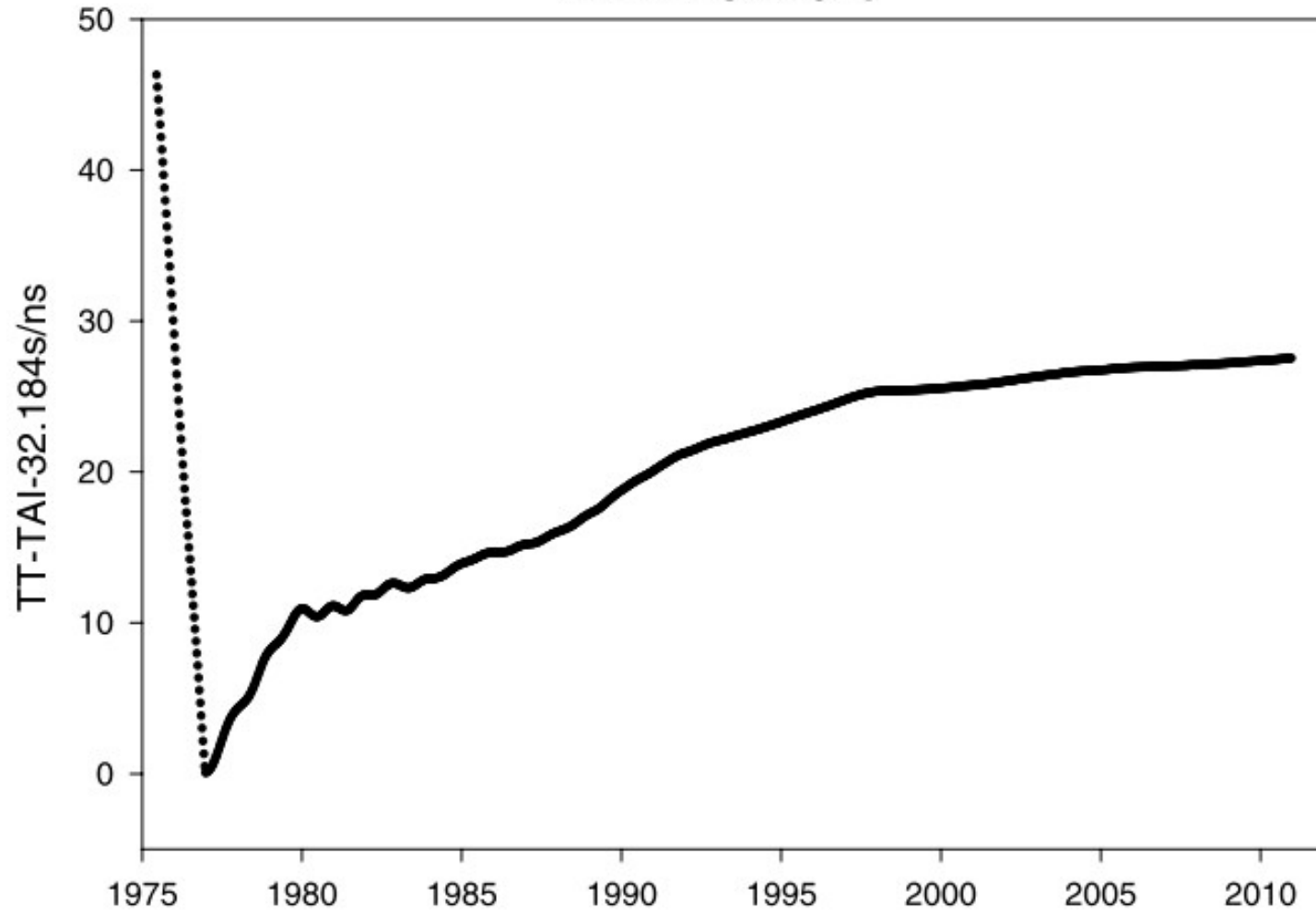
Efemerisz idő, dinamikai idő

- ET, efemerisz idő (1960-83)
 - Nap, Hold, bolygók megfigyelt és előrejelzett helyzeteinek (efemeridák) összehasonlításával képezhető
 - helyzetük számításában alapvetően fontos
 - utólag és nehézkesen határozható meg
- TDT (1984), TT (1991-): dinamikai, földi idő
 - $TT = TAI + 32.184 \text{ s}$
 - TCG: geocentrikus koordinátaidő
 - TCB: baricentrikus koordinátaidő
($TCB - TCG = +47 \text{ s} / 100 \text{ év}$)

TT – TAI

TT-TAI-32.184s

nanomásodperc!

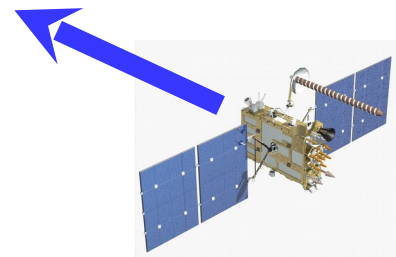


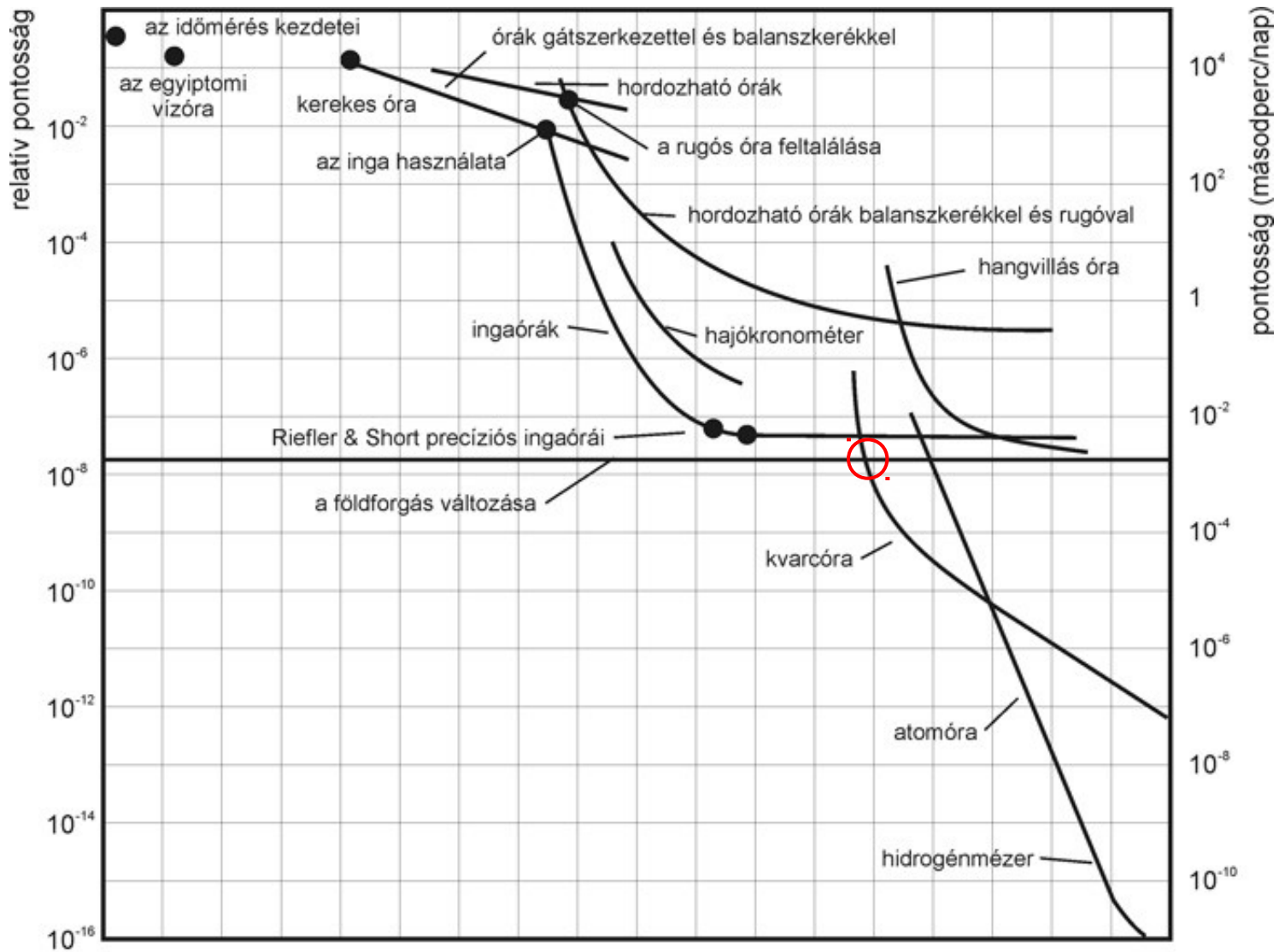
TAI / IAT nemzetközi atomi idő

- **SI másodperc**: Cézium 133 hiperfinom átmenete során kibocsátott mikrohullámú sugárzás 9 192 631 770 periódusának időtartama (~9.2 GHz)
- 60 időlaborban >200 atomóra súlyozott középkezéssel előállított átlaga (BIPM Time Section)
- 10^{-15} /nap, 10^{-13} /év szinten állandó
- **kezdete**: 1958. jan. 1. 0^h : TAI=UT1
- időegysége eltér az UT1 világidőtől

Időmérési igények

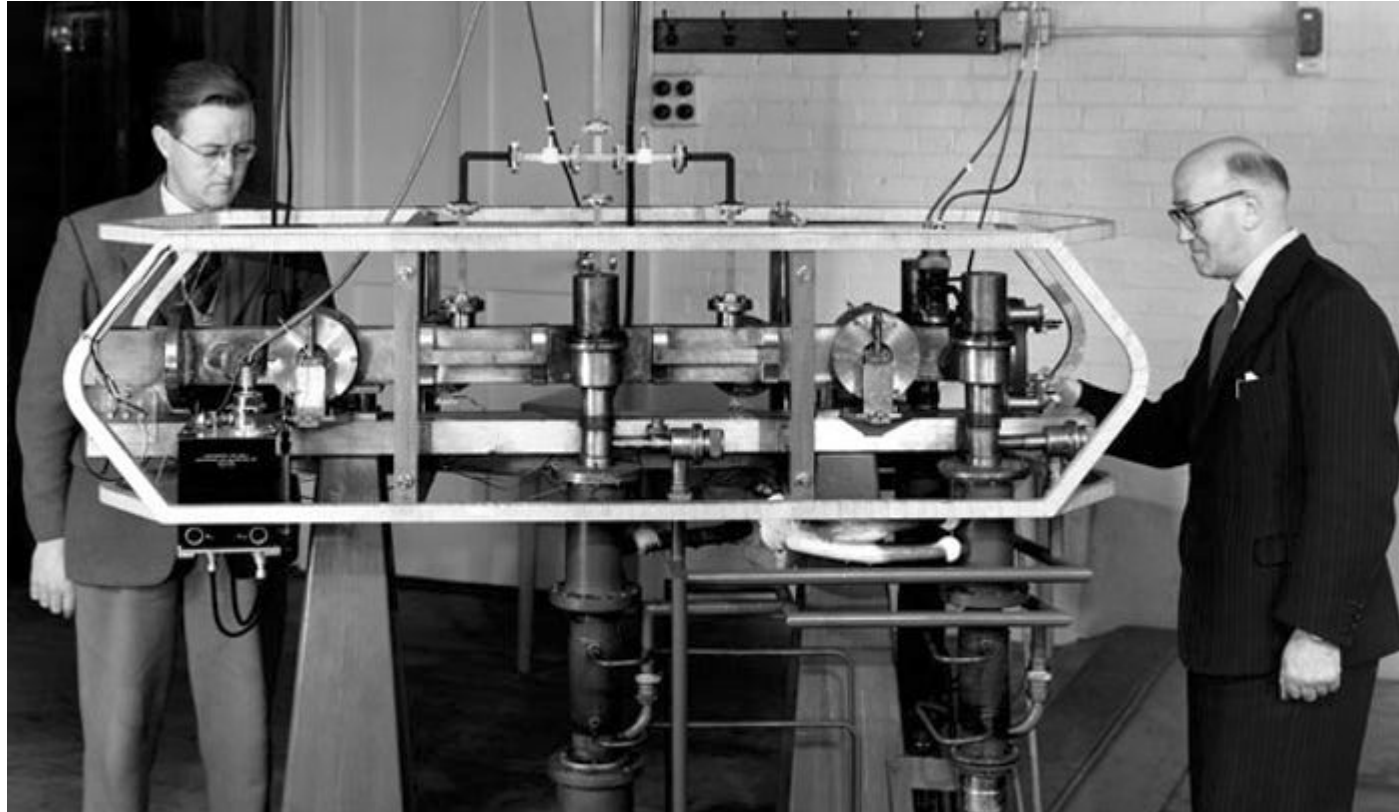
- földforgás
(egyenlítőn $1 \text{ cm} = 22 \mu\text{s}$)
- mesterséges holdak mozgása
($1 \text{ cm} = 1 \mu\text{s}$)
- GPS mérőjel futási ideje
($1 \text{ cm} = 33 \text{ ps}$)





A világ első atomórája, 1955

- Louis Essen, Jack Parry, Anglia (10^{-10} , 1s/300év)



Chip méretű atomóra (mikrohullámú)

- 51 mm × 51 mm, 5 W fogyasztás
- stabilitás: 3×10^{-11} / 1 s
- öregedés: 1×10^{-10} / 1 hónap
- hőmérsékleti stabilitás: 1×10^{-10} / 80 °C
- <120 mW fogyasztás
- stabilitás: 1.5×10^{-10} / 1 s
- öregedés: 3×10^{-10} / 1 hónap
- hőmérsékleti stabilitás: 5×10^{-10} / 80 °C

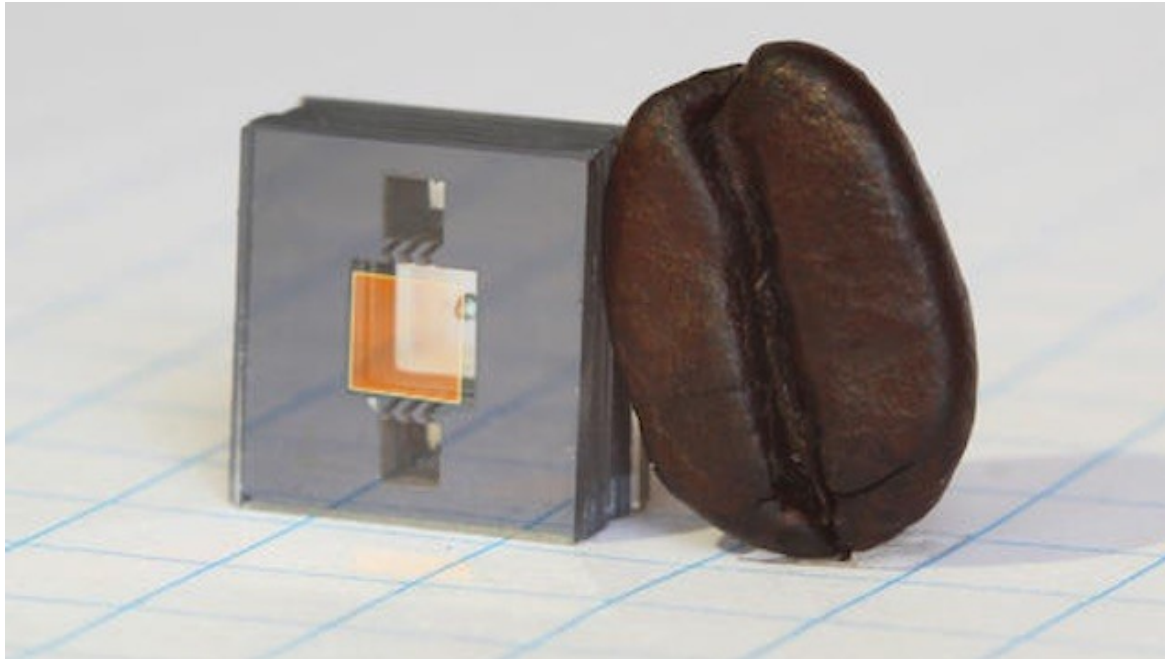


1300-1700 USD
cél: 300 USD



Chip méretű atomóra (optikai)

- NIST prototípus (2019. május)
- Rb atomok rezgése (THz frekvencián)
- stabilitás: 1.7×10^{-13} /4000 s
 - ⇒ 100-szor jobb a mikrohullámúnál
- 275 mW fogyasztás
- infravörös lézer stabilizátor
- konvertálás mikrohullámú (GHz) frekvenciára (frekvenciafésű)



UTC koordinált világidő

- Egyenletesen folyó, időnként önkényesen eltolt atomi idő, polgári célra (1961-től)
- jan. 1. / júl. 1. ± 1 s-t ugratják, hogy $|\text{UT1} - \text{UTC}| < 0.9$ s legyen (1972-től)
- Jelenleg $\text{UTC} - \text{TAI} = -37$ s (2017.01.01)
2019. év végén nem lesz új szökőmásodperc beillesztve
(Bulletin C, 2019.07.04.)
- $\text{UT1} - \text{UTC}$: IERS szolgáltatja

Szökőmásodpercek

1972 Jan. 1

1972 Jul. 1

1973 Jan. 1

1974 Jan. 1

...

1981 Jul. 1

1982 Jul. 1

1983 Jul. 1

1985 Jul. 1

...

2009 Jan. 1

2012 Jul. 1

2015 Jul. 1

2017 Jan. 1

27 + 1 alkalom

IERS Bulletin C

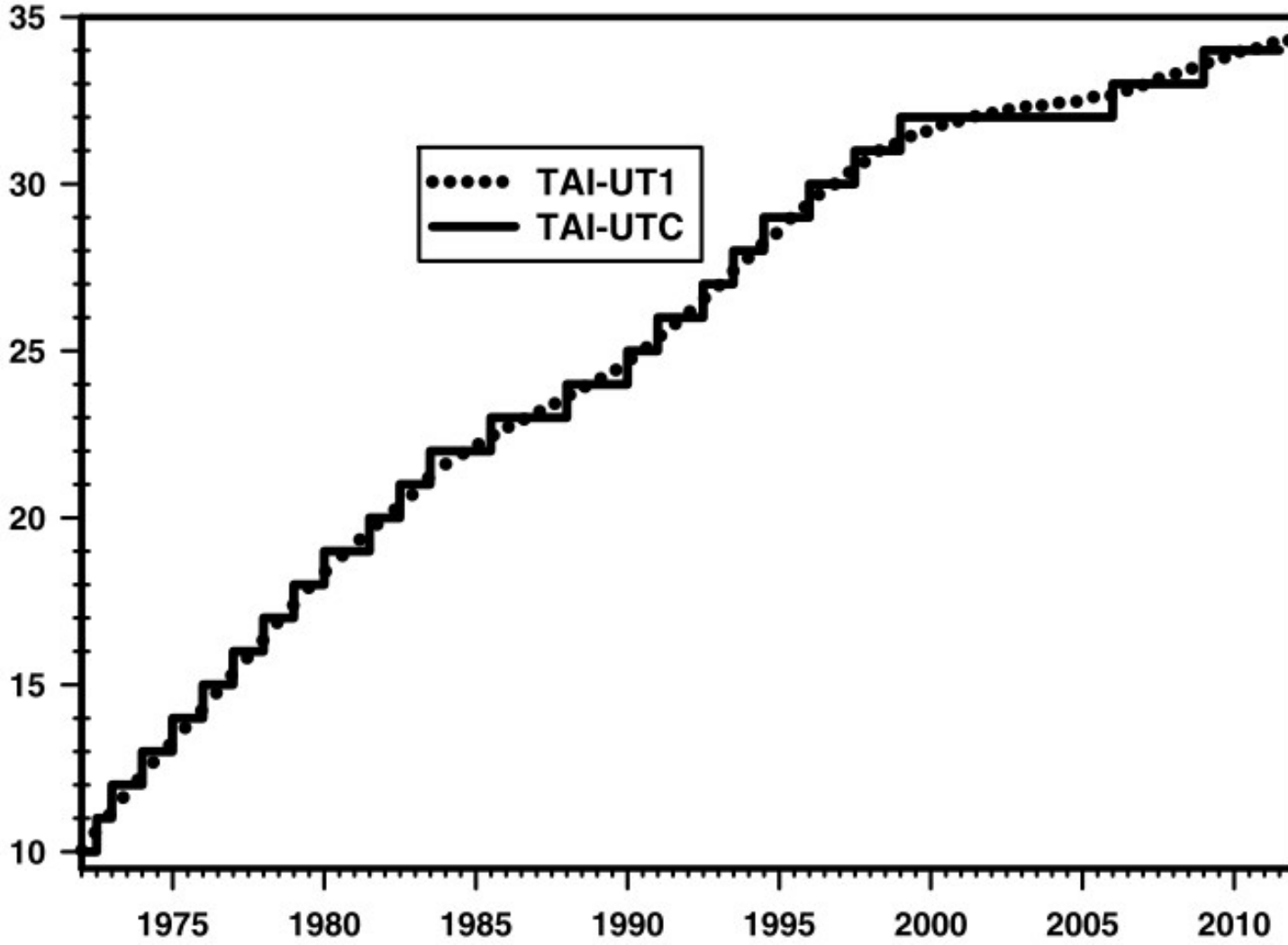
INFORMATION ON UTC - TAI

NO leap second will be introduced at the end of December 2020.
The difference between Coordinated Universal Time UTC and the
International Atomic Time TAI is :

from 2017 January 1, 0h UTC, until further notice : $UTC-TAI = -37 \text{ s}$

Leap seconds can be introduced in UTC at the end of the months of December or June, depending on the evolution of UT1-TAI. Bulletin C is mailed every six months, either to announce a time step in UTC, or to confirm that there will be no time step at the next possible date.

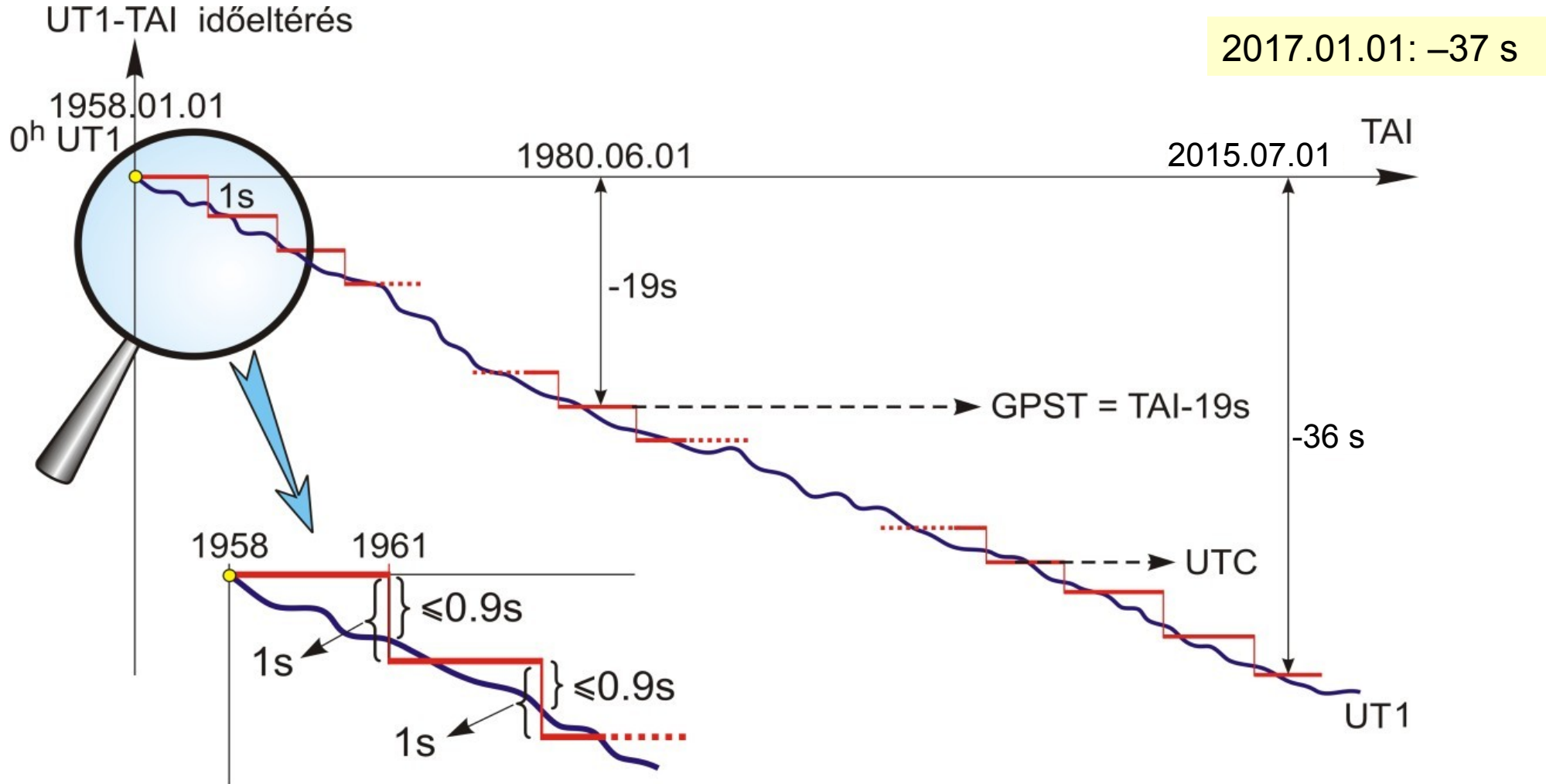
TAI - UTC

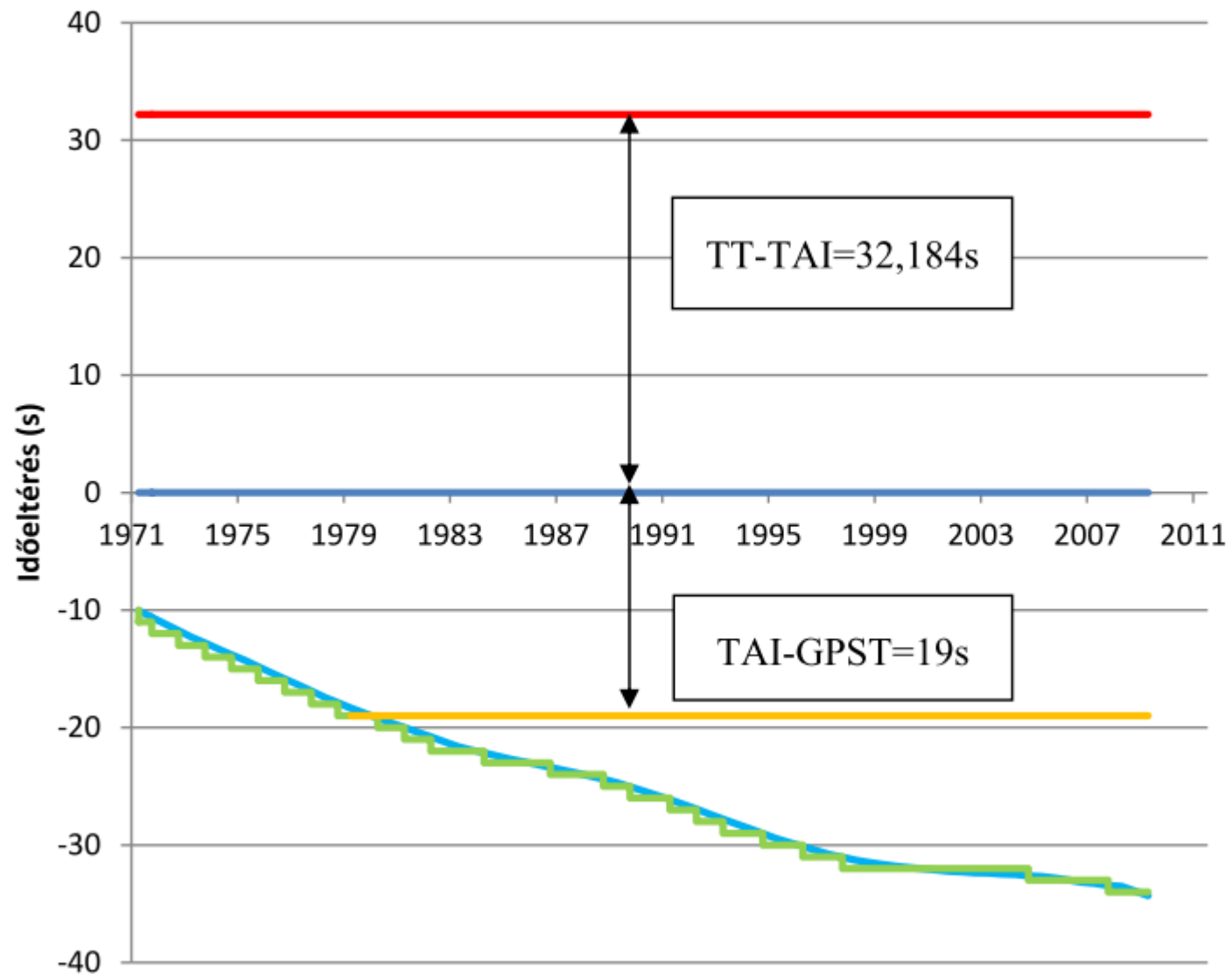


GPST : GPS idő

- GPS saját időrendszere, 1980. jan. 6-tól
- $GPST = TAI - 19 \text{ s}$
- UTC – GPST: navigációs üzenetben
- GLONASS: UTC + 3^h

Időrendszerek kapcsolata





- TT
- TAI
- UT1
- UTC
- GPS

Az év

- Föld Nap körüli keringési periódusa – viszonyító síkon való áthaladásai között eltelt idő
 - állócsillag: **sziderikus év**
 - Υ : **tropikus év** (naptári év alapja)
- **Julián év**: 365.25 nap
- **Julián évszázad**: 36525 nap
- **Julián dátum** (nap) JD: i.e. 4713 jan. 1. 12h UT óta eltelt középnapok száma
pl. 2000. jan. 1. 12h UT = 2 451 545 JD
- **Módosított Julián dátum** MJD = JD – 2 400 000.5
2013.10.02. 12h UT = 2 456 568.0

BIPM: Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal



- 1875-ben alapították (Párizs, Sévres)
- fenntartja és fejleszti a nemzetközi mértékegységrendszert (SI)
- CIPM: Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Bizottság, tagjai:
 - **Kruspér István** (1818-1905); 1879-1894 között
 - **Bodola Lajos** (1859-1936); 1894-1929 között
- feladata az atomi idő mérésének nagy pontosságú fenntartása (TAI, 1988-tól)

Az idő- és frekvenciamérés nemzeti etalonja (BFKH, Metrológiai és Műszaki Felügyeleti Főosztály)



HP 5071A
cézium
atomóra
(5 mFt)



Szintfelületi koordináták meghatározása

- Az álláspont Φ és Λ *szintfelületi földrajzi koordinátáinak* meghatározása.
- Ez az álláspont *helyi függőlegese* térbeli irányának meghatározását jelenti a Földhöz kötött, vele együttforgó *földi térbeli derékszögű koordináta-rendszer* (ITRS) alapirányaihoz viszonyítva
- Fontossága: ez a felállított műszereink koordinátarendszere

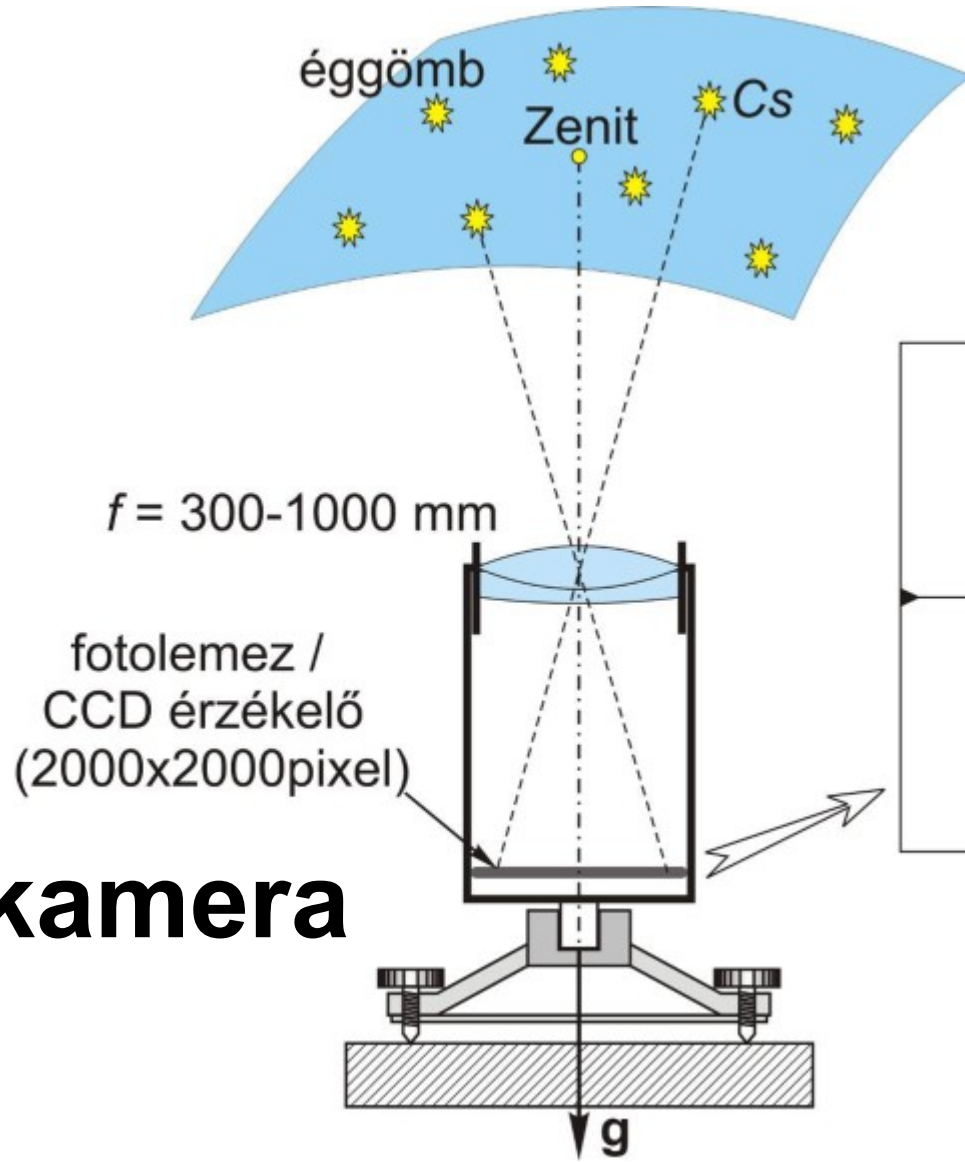
Szintfelületi koordináták és azimut meghatározása

- A meghatározás elve
- A számítás lépései
- Digitális zenitkamerák
- Geodéziai alkalmazások
- BME QDaedalus mérések
- Szintfelületi azimut meghatározása

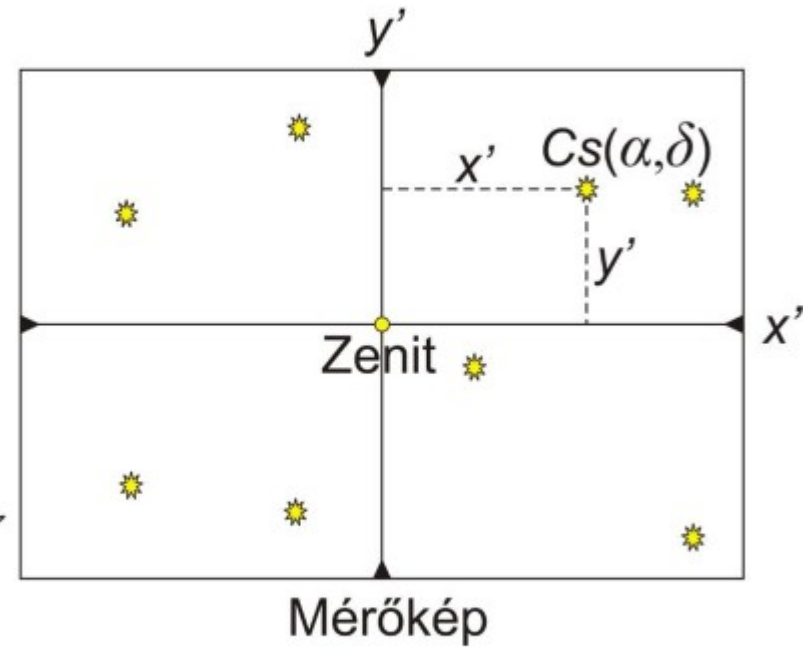
A meghatározás elve

- *függetlenes tengelyű* kamarával *mérőképet* készítünk a Zenitpont környezetében lévő csillagokról
- *észlelési időpontot* rögzítjük UTC-ben
- a Zenitpont δ_{Zenit} *deklinációját* és α_{Zenit} *rektaszencióját* meghatározzuk a mérőkép kiértékelésével
- $(\delta_{\text{Zenit}}, \alpha_{\text{Zenit}})$ -et átszámítjuk ITRS-be: (Φ, Λ)

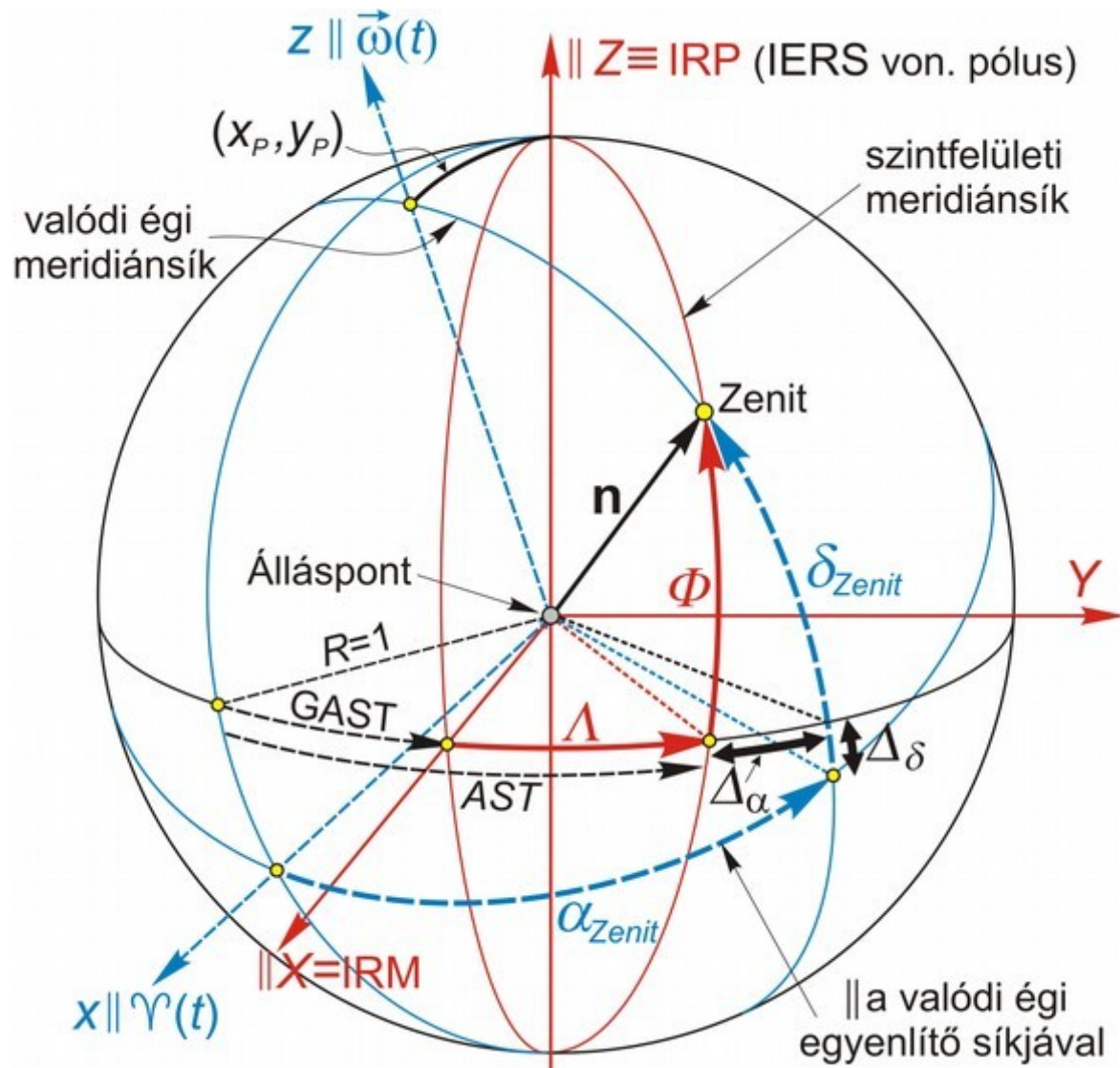
A zenitkamera



és a mérőkép



Zenitpont átszámítása ITRS-be



Átszámítás lépései

$$UT1 = UTC + (UT1 - UTC)$$

$$UT1 \xrightarrow{\text{IAU 1982}} GMST \xrightarrow{\text{precesszió, nutáció}} GAST$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\Phi, \Lambda} = R_y(-x_P) \cdot R_x(-y_P) \cdot R_z(\text{GAST}) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{(\alpha, \delta)_{\text{Zenit}}}$$

TZK2-D zenitkamera

- Főbb részei:
 - kamera (Zeiss Mirotar, $f=1020$ mm, \varnothing 200 mm)
 - CCD érzékelő (KX2E, Apogee)
 - GPS-vevő (Z12, Ashtech)
 - dőlésmérők (HRTM)
 - PC (automatikus mérésfeldolgozás)
 - állvány, forgórész, 5 motor



A meghatározás pontossága

- 1 felvétel, 25-30 s, 40-100 csillag, $\pm 0.2''$
- 40-50 felvétel, 20-25 perc, 2000-5000 csillag, $\pm 0.08''$
- >100 felvétel, >50-60 perc, >10000-20000 csillag, $\pm 0.05''$
- Hagyományos földrajzi helymeghatározás:
 - ~40 csillag(pár), >5 éjszaka, $\pm 0.1''$ - $\pm 0.2''$

A földrajzi helymeghatározás mérések geodéziai hasznosítása

- GNSS előtti
 - a Föld *alakjának* és *méreteinek* meghatározása
 - geodéziai alaphálózatok térbeli *elhelyezése* és *tájékozása* az ITRS alapirányaihoz viszonyítva
- GNSS utáni
 - a szintfelületek, különösképpen a *geoid* alakjának, részleteinek meghatározása
 - a *nehézségi erőter* geometriai szerkezetének tanulmányozása
 - precíz *mérnökgeodéziai* hálózatok létesítése

Asztrogeodéziai geoidmeghatározás

- **CHGeoid2004** svájci kvázigeoid:
68 függővonal-elhajlás mérése
(ECGN kampány, 2003)
- Portugália, 2004; Görögország, 2006;
Németország, Hollandia: **450 álláspont**

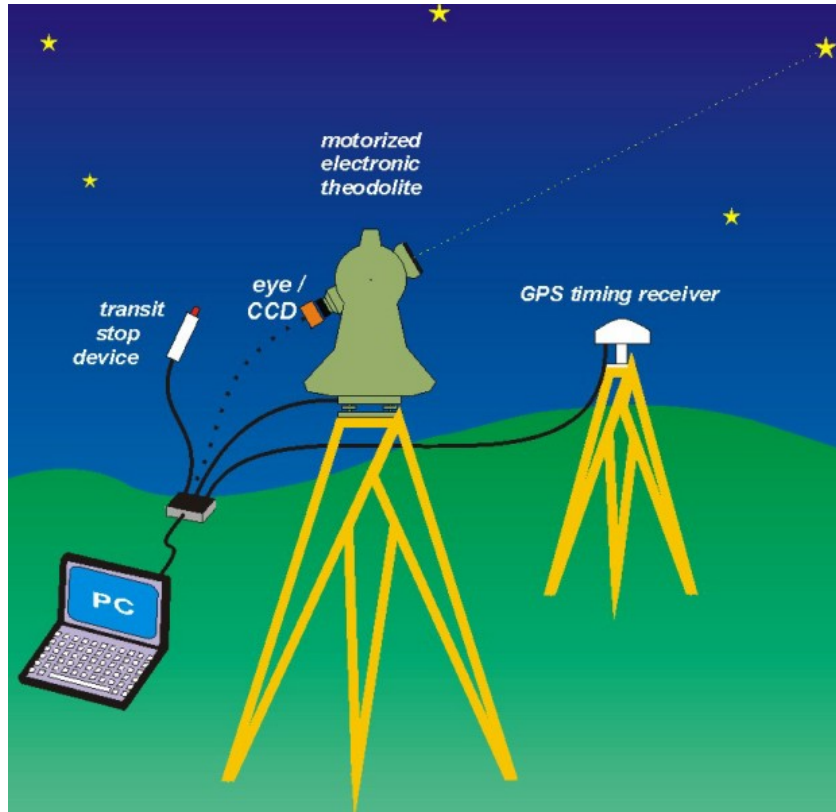
Mérnökgeodézia - AlpTransit

- 57 km-es alagút a svájci Alpok alatt
- 5 fontos alagút állomáson TZK2-D és DIADEM függővonal-elhajlás mérések 2005-ben (0.1"-es pontossággal)



Mérnökgeodézia - AlpTransit

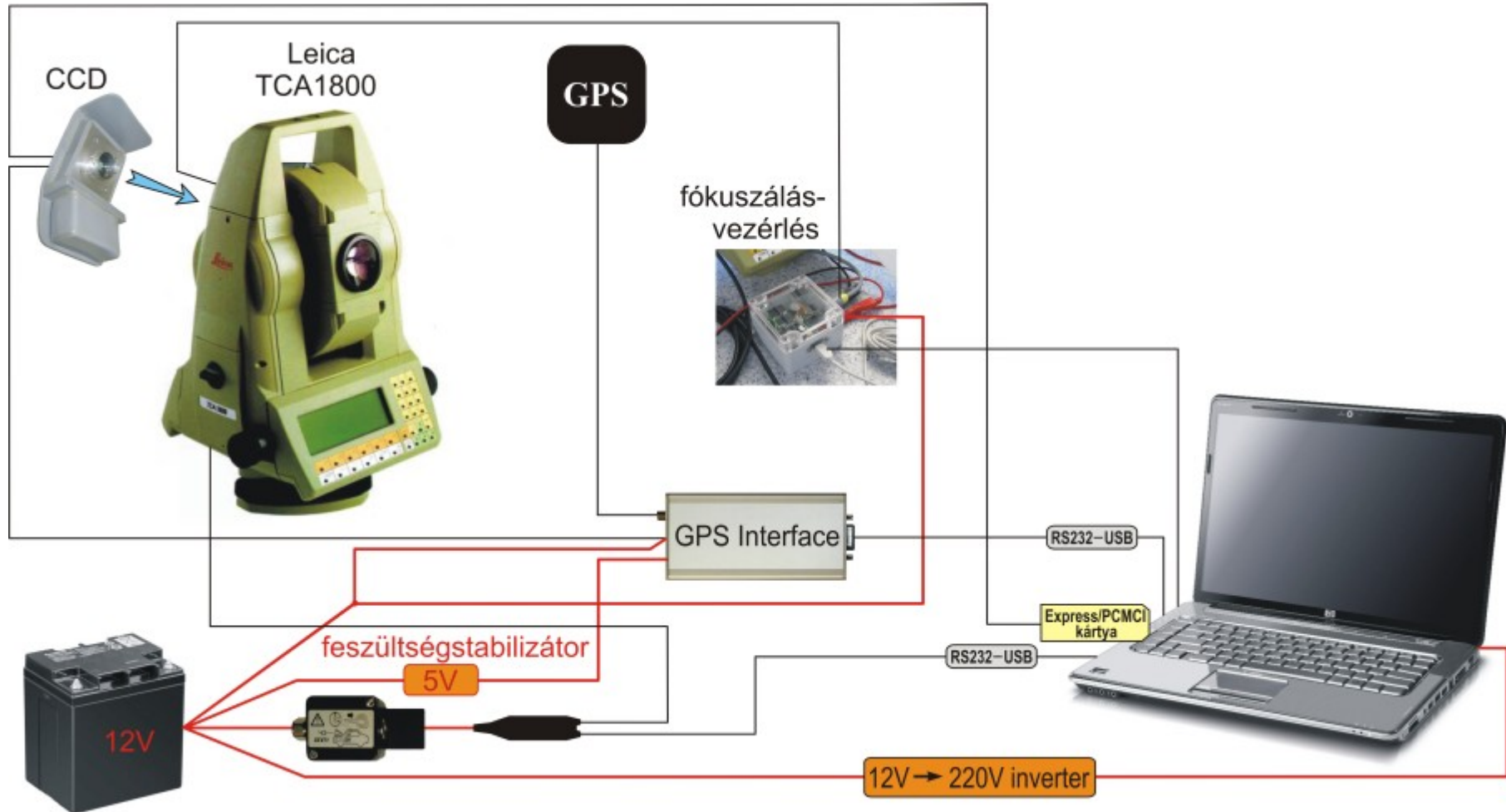
- Azimutmérések az ICARUS rendszerrel (0.5"-es pontossággal)



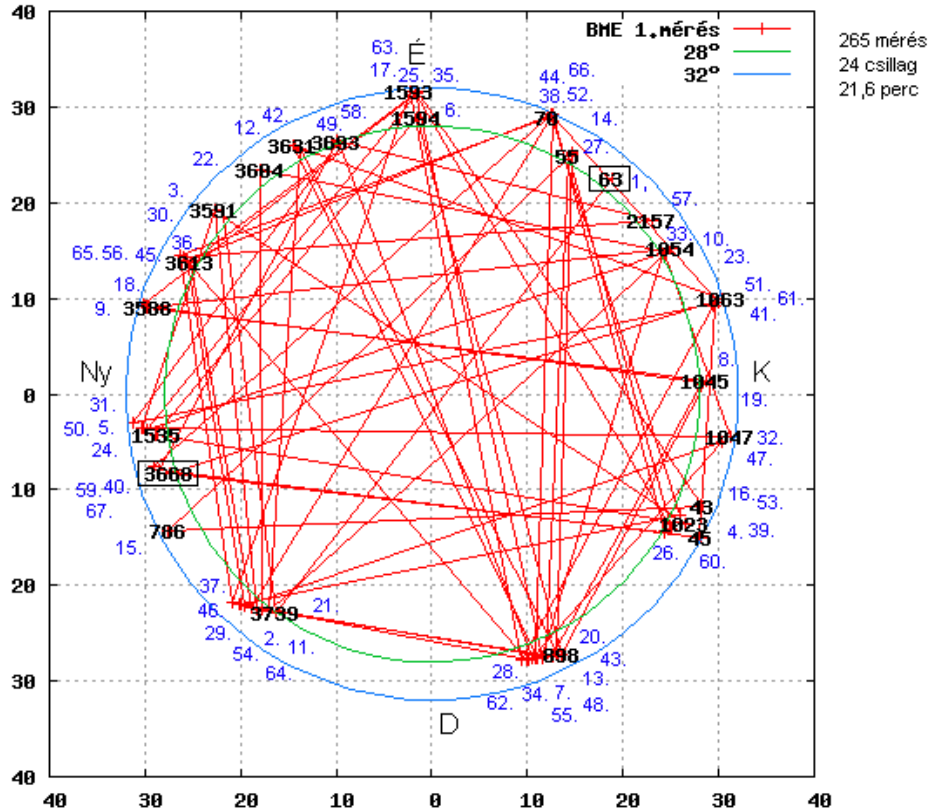
A QDaedalus rendszer

- Eredetileg csillagászati-geodéziai mérések céljából tervezték meg
- Sokcélú digitális kiegészítő rendszer mérőállomásokhoz
- A Zürichi Műszaki Egyetem Geodéziai és Geodinamikai Laboratóriumában fejlesztették ki
- GNSS vevővel időzített CCD kamera mérések
- mérnökgeodéziai célú alkalmazások

A QDaedalus rendszer

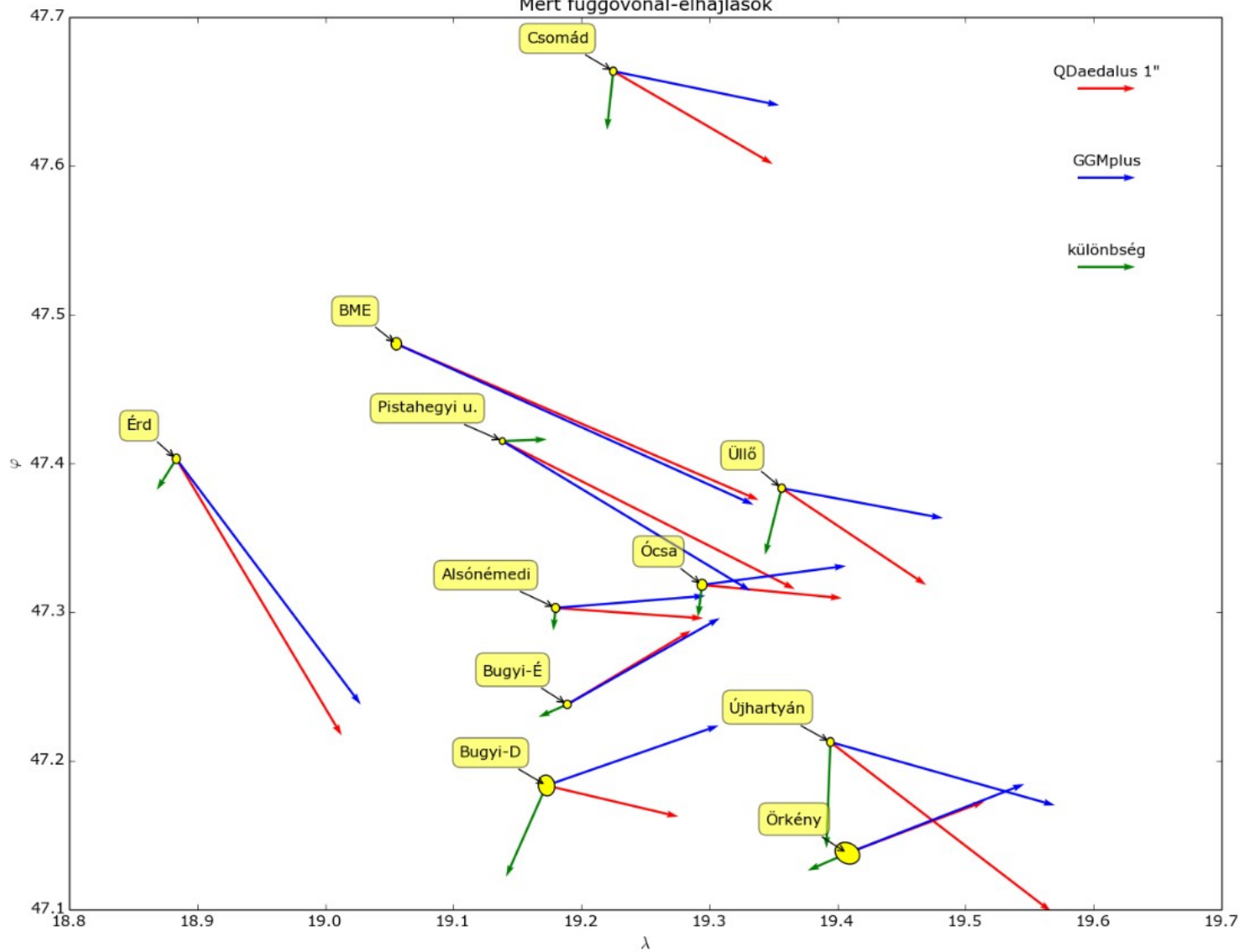


Függővonal iránymeghatározása

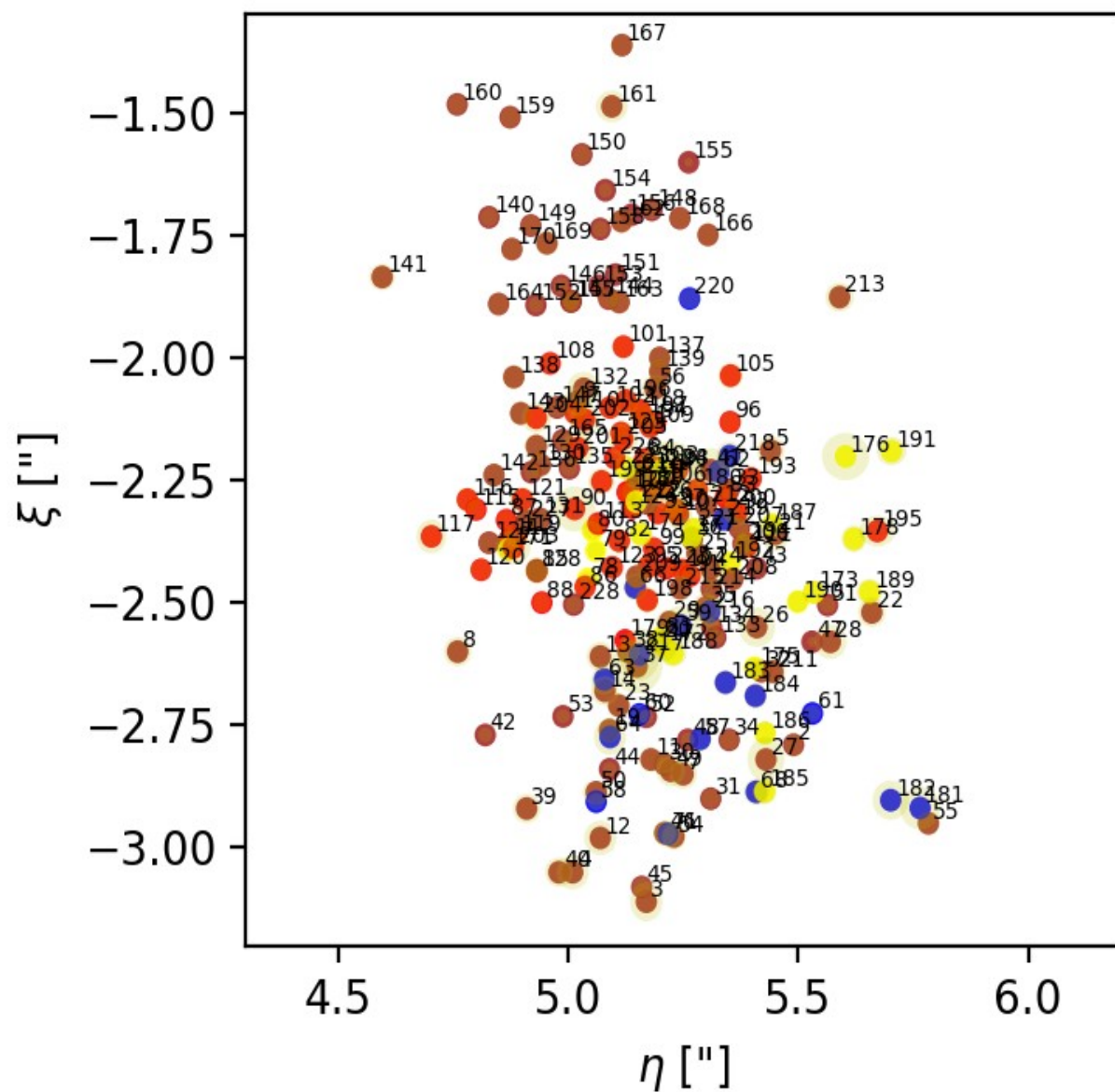


- a mérések a zenitpont körüli $30^\circ \pm 2^\circ$ -os sávban történnek
- elég sok csillag mérhető
- refrakció közel azonos

Mért függővonal-elhajlások



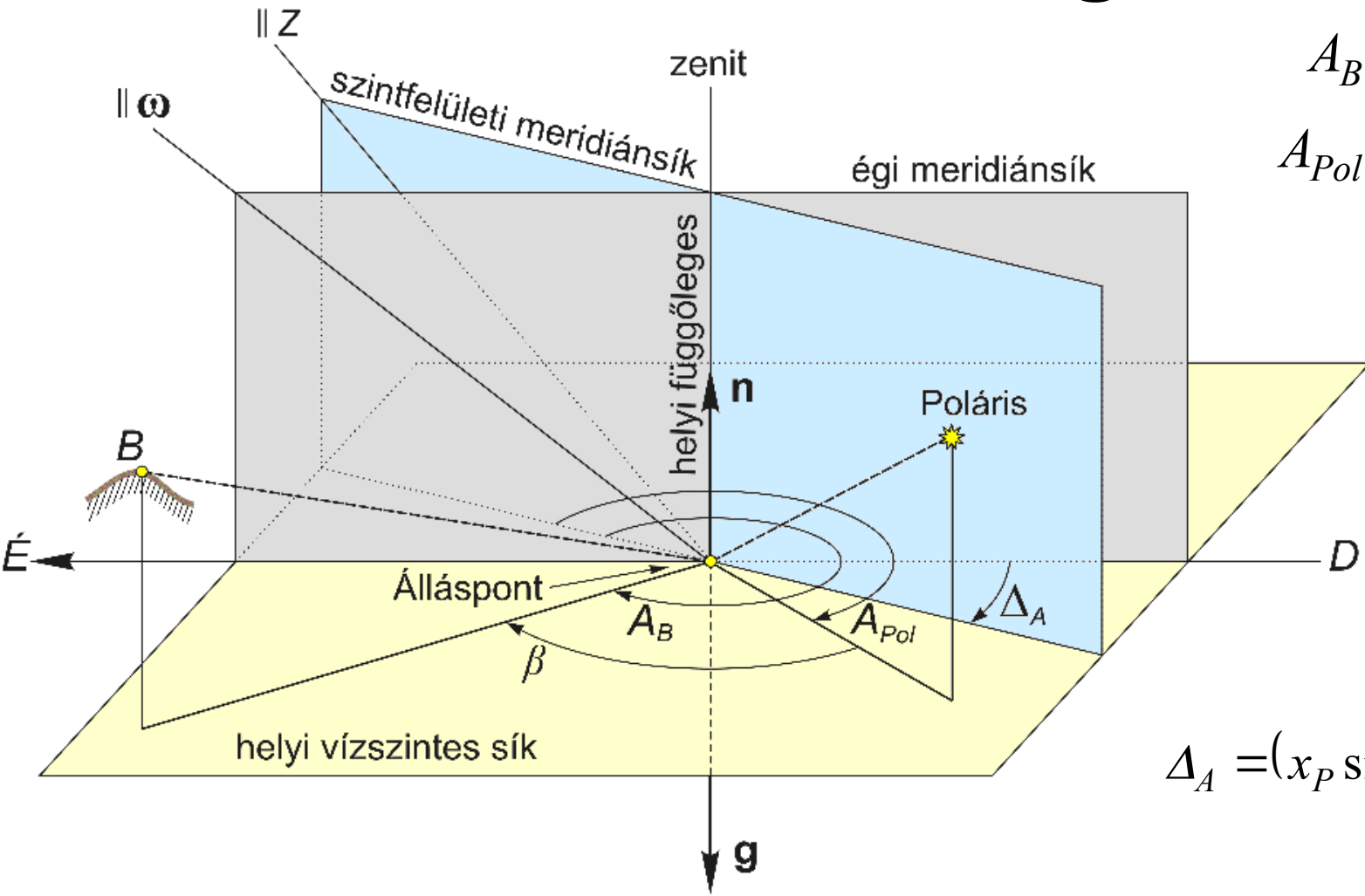
**Ismételt mérések, Budapest
XXIII. kerület
(228 mérés, 109 éjszaka)**



Szintfelületi azimut meghatározása

- valamely földi irány szintfelületi (ITRS) azimutja
- adott UTC időpontban valamely égitest (Poláris, Nap, Hold) A^* csillagászati azimutja meghatározható
- átszámítjuk földi vonatkoztatási rendszerbe
- hozzáadjuk a földi irány mért törésszögét

Szintfelületi azimut meghatározása



$$A_B = A_{Pol} + \beta'$$

$$A_{Pol} = A_{Pol}^* - \Delta_A + 180^\circ$$

$$\Delta_A = (x_P \sin \Lambda + y_P \cos \Lambda) \frac{1}{\cos \Phi}$$

Csillagászati azimut mérése QDaedalus rendszerrel

- nappali mérések a **Napra** és a **Holdra**
- éjszakai mérések a Polárisra, Holdra és a **bolygókra**
- földi irányok csillagászati azimutjának meghatározása
- követelmények
 - precíz Nap, Hold és bolygó efemeriszek ($\pm 0.1'' - \pm 0.3''$ pontosság)
 - precíz **ellipszis illesztés** a Nap és Hold méréséhez
- várható: $\pm 0.5''$ pontosság a csillagászati azimut esetében

Eredmények (ETH Zürich)

az első mérés időpontja: 20 h 42 min 57.543 sec

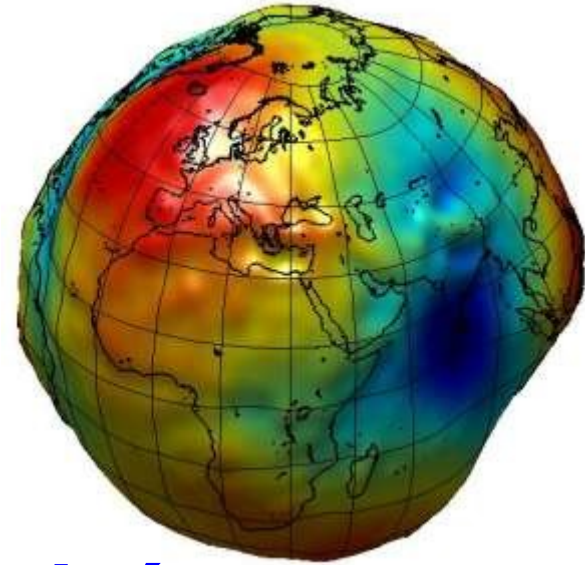
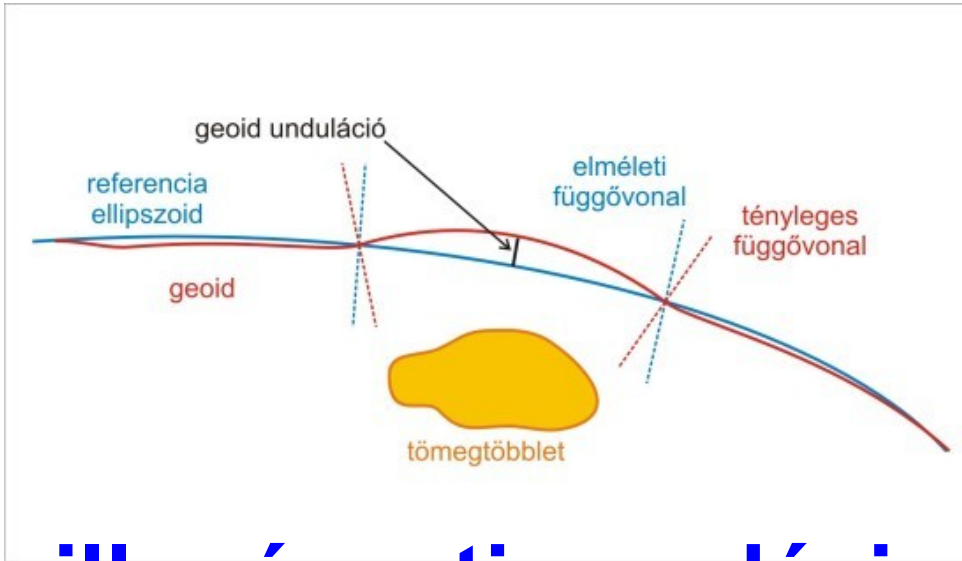
az utolsó mérés időpontja: 20 h 51 min 39.491 sec

a mérések száma : 140

ISMERETLEN PARAMÉTEREK

...

Szintfelületi azimut : 193 ° 54 ' 22.31 '' ± 0.32 ''



**A csillagászati geodézia ma is aktívan
művelt terület**

**Fontos kiegészítője a GNSS
rendszereknek**