

Souřadnicové systémy spjaté se Zemí 1.

Model pevné (nedeformující se) Země:

- počátek v těžišti Země
- osa z = střední rotační osa Země pro zvolené období
- osa x prochází nultým poledníkem (Greenwich)

Tento model již není postačující ---> odchylky od pevné Země:

- pohyb zemských desek (plate motion)
- zemské slapy (solid Earth tides)
- oceánské zatěžování (ocean loading)
- seismické deformace (seismic deformation)

Model nepevné (deformující se) Země:

- počátek v těžišti Země
- osa z = střední rotační osa Země pro období 1900-1906
- osa x prochází středním nultým poledníkem pro období 1900-1906
- definovány ročně na základě měření VLBI, SLR/LLR a GPS
- přesnost realizace je dnes v oblasti cm!

Souřadnicové systémy spjaté se Zemí 2.

Realizace systému - *International Earth Rotation Service (IERS)*:

- systém pomocí souřadnic globální sítě stanic
- realizace se nazývá *International Terrestrial Reference Frame*
- cm přesnost, ale body mají dm periodické pohyby
- transformace mezi jednotlivými realizacemi ITRF je možná

Pro potřeby GPS (*NAVSTAR*) - *World Geodetic System (WGS-84)*:

- odvozen z globální sítě satelitních stanic
- přesnost (konzistence) cca. 1-2 m
- zpřesněná verze WGS-84 v roce 1994 (G730): dm odchylky od ITRF
- další zpřesněná verze WGS-84 v roce 1996 (G873)

GPS - systém geodetických souřadnic:

- geodetická šířka B, geodetická délka L a výška H
- transformace do kartézské triády (X,Y,Z)

WORLD GEODETIC SYSTEM 1984 (WGS 84)

- zemský referenční systém definovaný americkým ministerstvem obrany pro potřeby GPS (pro ně určen pomocí dopplerovských měření)
 - vysílací dráhy jsou vztaheny k WGS 84 !!
 - přesnost stanic včejších WGS 84 byla na úrovni 1-2 m
 - v 90 letech převedení WGS 84 ... použita IGS měření
- výsledek: consistence WGS 84 a ITRF je na úrovni 0,1 m

INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM (ITRS)

- zemský referenční systém definovaný IERS
- realizace pomocí ITRF (VLBI, SLR, GPS stanice)
- přesnost řádově cm, slapové efekty vjímuty, pohyb zemských desek modelován (NNR - NUVEL), ročně přeuvčován

TRANSFORMACE MEZI ZEMSKÝM A NEBESKÝM RÁMCEM

- transformaci vektoru mezi TRF (zemský) a CRF (nebeský) lze psát

$$\vec{r}_{\text{TRF}} = \underline{S} \underline{N} \underline{P} \vec{r}_{\text{CRF}}$$

kde matice

$$\underline{S} = \underline{R}_2(-x_p) \underline{R}_1(-y_p) \underline{R}_3(\text{GAST})$$

$$\underline{N} = \underline{R}_1(-\epsilon - \Delta\epsilon) \underline{R}_3(-\Delta y) \underline{R}_1(\epsilon)$$

$$\underline{P} = \underline{R}_3(-z_A) \underline{R}_1(\theta_A) \underline{R}_3(-\xi_A)$$

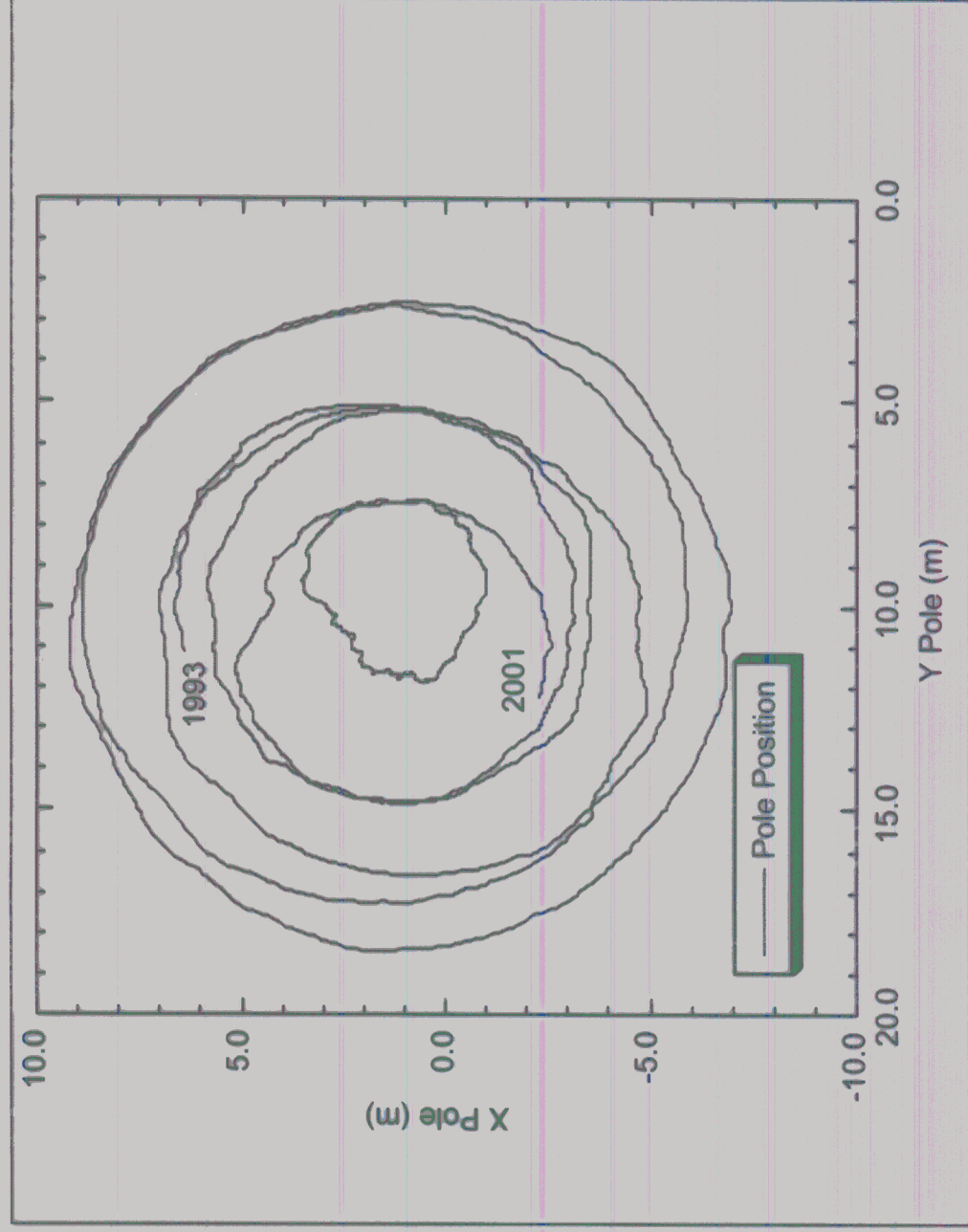
\underline{S} ... pohyb pólu a zemská rotace

\underline{N} ... nutace zemské rotační osy

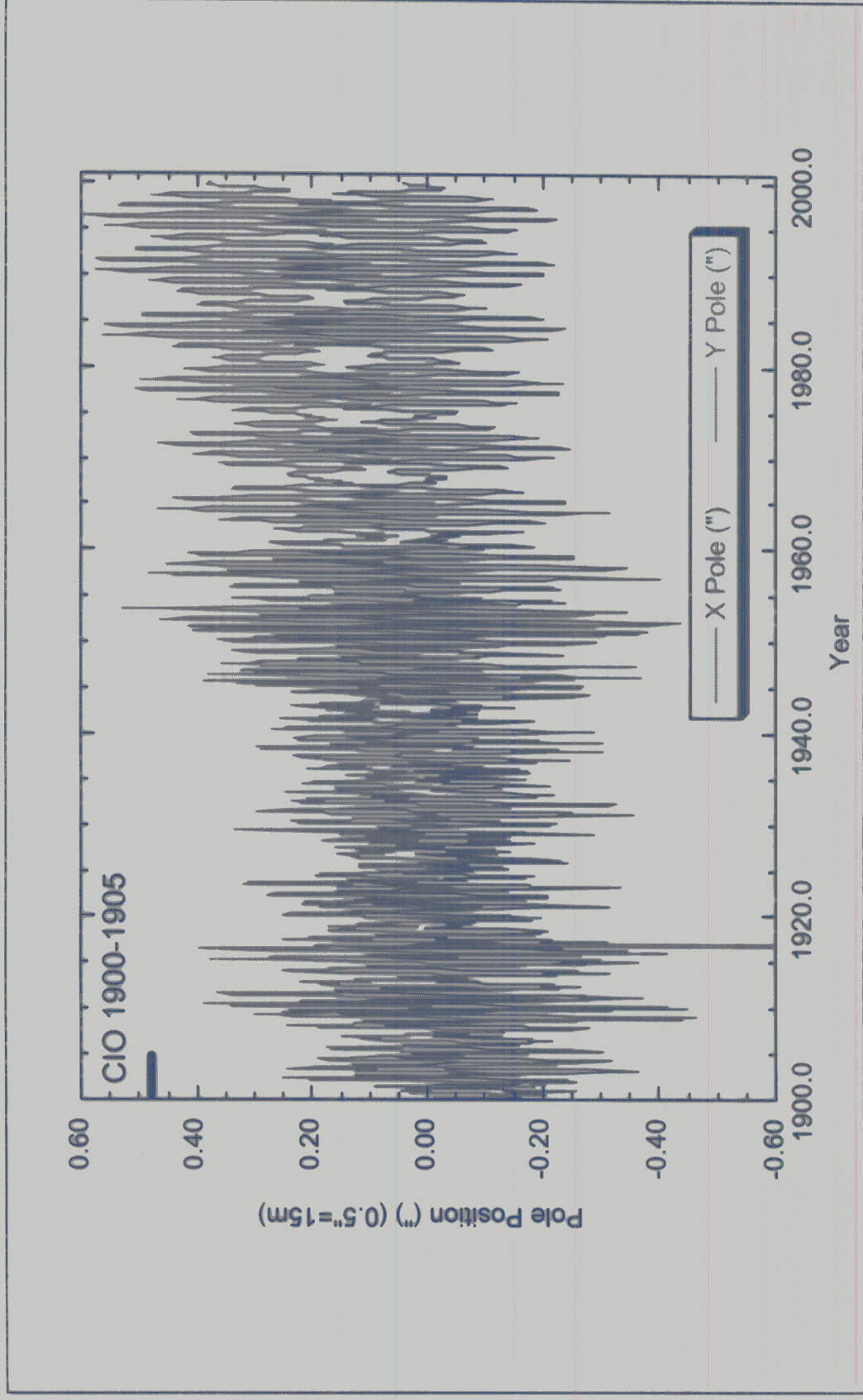
\underline{P} ... precese zemské rotační osy

- modely + numerické hodnoty : IERS + IAU

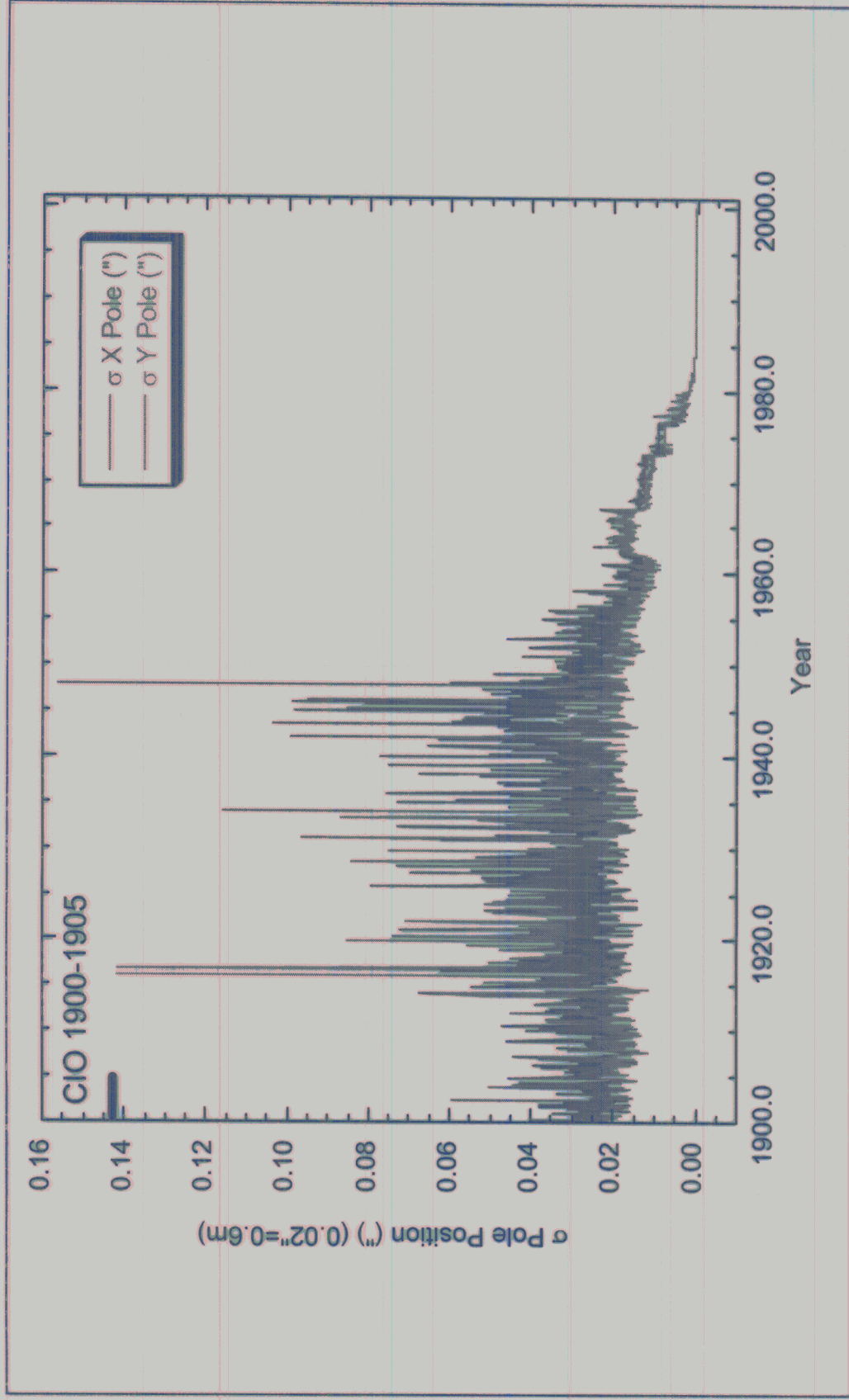
Poloha pólu v letech 1993-2001



Souřadnice pólu (IERS C01)



Nejistota v určení polohy pólu



GEODETICKÉ SOUŘADNICE

- výsledkem GPS měření je poloha stanice
- dle zvoleného souřadnicového systému příslušný rotační elipsoid,

$$\vec{r} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+h) \cos y \cos \lambda \\ (N+h) \cos y \sin \lambda \\ [N(1-e^2) + h] \sin y \end{bmatrix} \quad - \text{kurz VG!}$$

*výška nad
elipsoidem!*

- geodetické souřadnice (Gaussovy elipsoidální) : y, λ, h

- zpětná transformace :

$$\tan \lambda = \frac{Y}{X}$$

$$h = \frac{p}{\cos y} - N$$

$$\tan y = \frac{Z}{p} \left[1 - e^2 \frac{N}{N+h} \right]^{-1}, \quad p = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

e^2 ... první numerická excentricita

N ... příčný poloměr Elipsoidu

Čas – základní definice 1.

TAI - International Atomic Time. Definován atomovými hodinami po celém světě. Rozdíl TAI-UT1 byl 1.1.1958 roven 0 s.

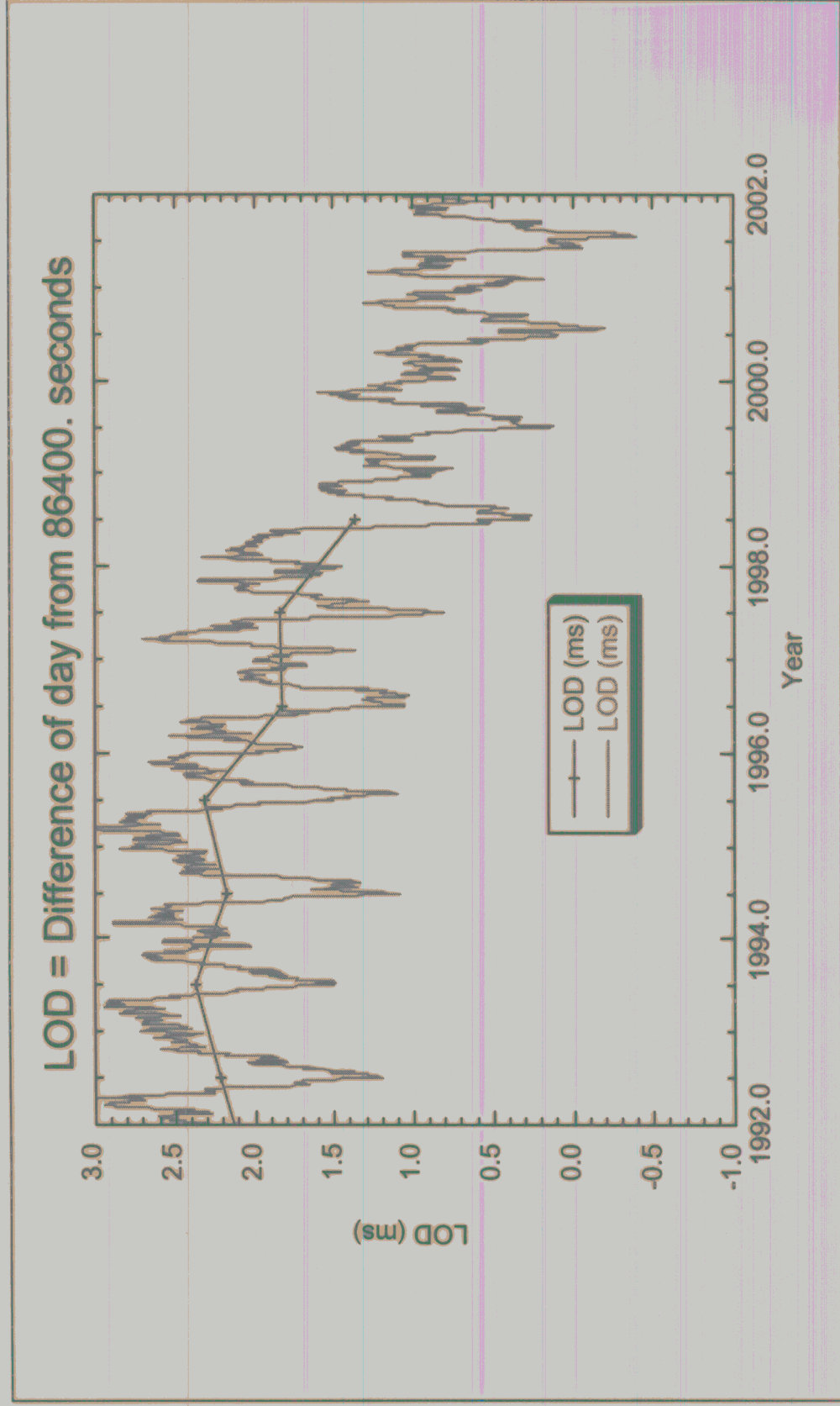
UTC - Coordinated Universal Time. Liší se od TAI celým násobkem sekund. Když je potřeba, sekunda je zavedena do UTC, aby rozdíl mezi UTC and UT byl stále menší než 0.9 s. Zaveden v roce 1972.

UT - Universal time. Definován zemskou rotací a určován astronomickými pozorováními. Tento čas je lehce nepravidelný. Existují různé definice UT, ale rozdíl mezi nimi je vždy menší než 0.03 s.

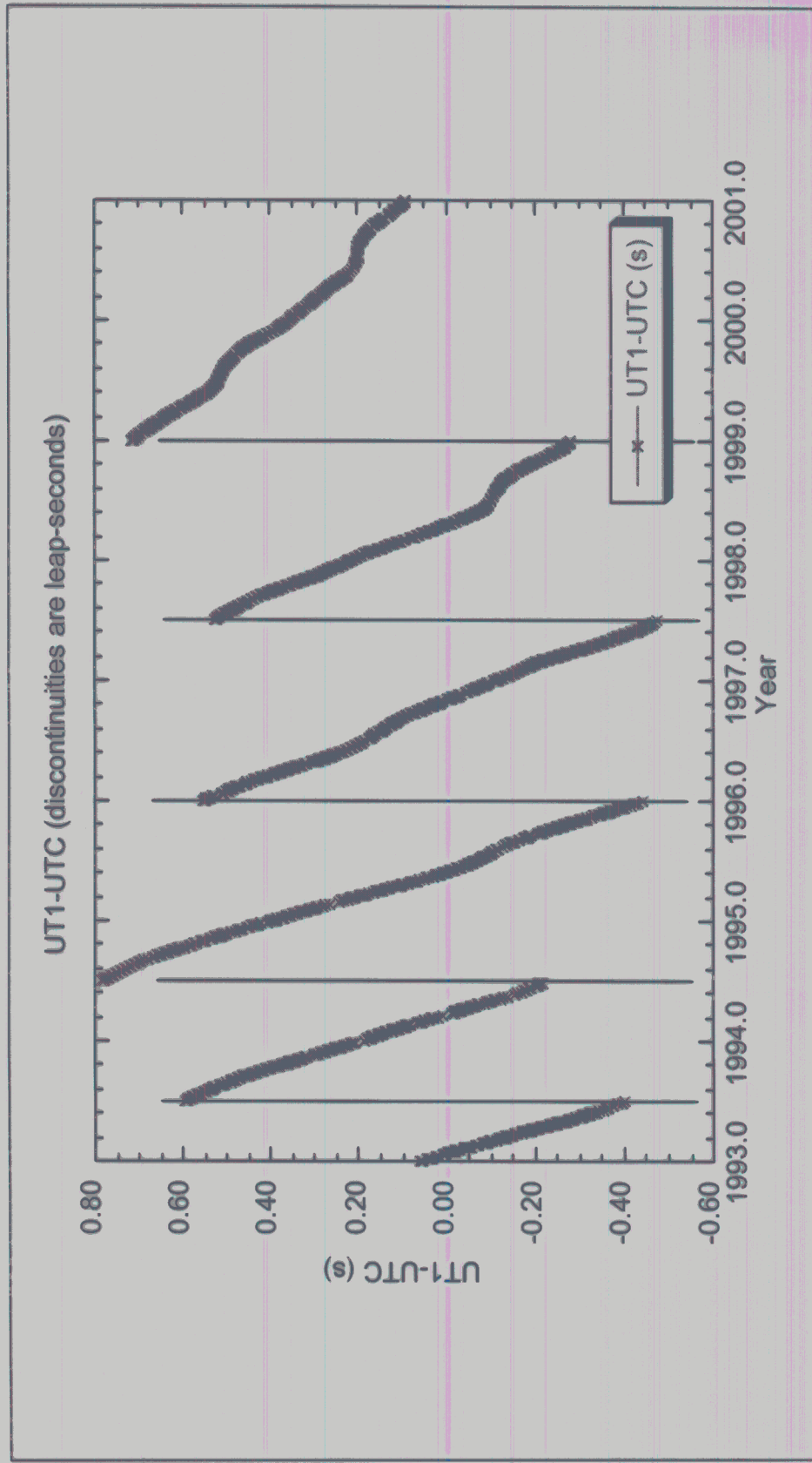
UT0 - "surový" tj. neopravený čas UT odvozený z pozorování poledníkových průchodů či odvozený z moderních pozorovacích metod včetně GPS.

UT1 - UT0 opravený o pohyb pólu - obvykle se míní UT1, když se řekne UT.

Délka dne (LOD)



Rozdíl UT1-UTC (sec)



Čas – základní definice 2.

UT2 - UT1 opravený o sezóní variace v zemské rotaci přidáním
 $+ 0.022 * \sin(2*\pi*t) - 0.017 * \cos(2*\pi*t)$
 $- 0.007 * \sin(4*\pi*t) + 0.006 * \cos(4*\pi*t)$
sekund k UT1, kde t je zlomek roku. Zastaralý.

TDT = Terrestrial Dynamical Time. Používán při výpočtu drah ze Země. TDT = TAI + 32.184 s.

TDB - Barycentric Dynamical Time. Tento čas je používán při výpočtu drah vztažených k barycentru sluneční soustavy. Liší se od TDT maximálně v milisekundách.

$TDB = TT + 0.001\ 658\ s * \sin(g) + 0.000\ 014\ s * \sin(2*g),$
 $g = 357.53_d + 0.985\ 600\ 28_d * (JD - 245\ 1545.0)$
(g je střední anomálie Země).

TT - Terrestrial Time. Původně používán místo TDT nebo TDB, kdy rozdíl mezi nimi nebyl důležitý. Definován v roce 1991, aby se zachovala konzistence s SI sekundou a obecnou teorií relativity. Nahradil TDT v roce 2001.

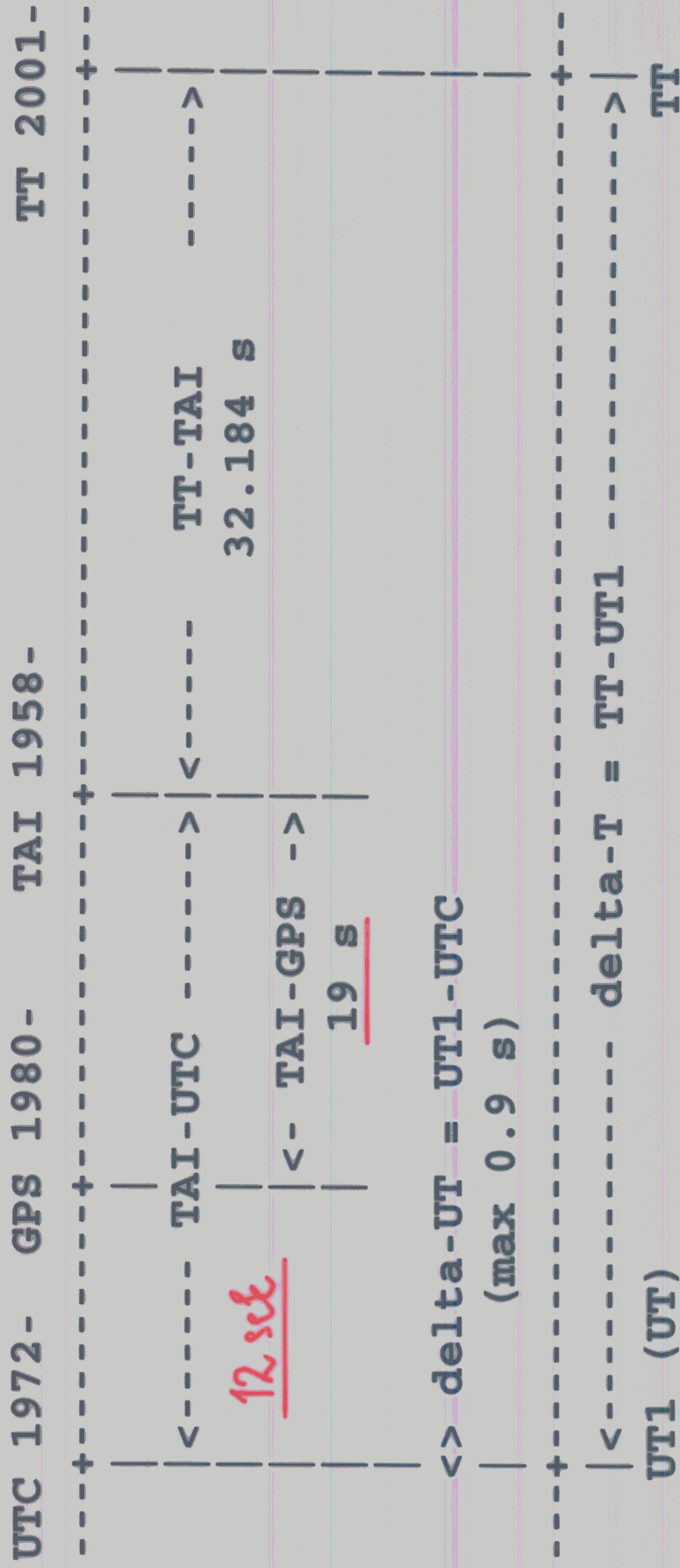
Čas – základní definice 3.

GMT = Greenwich Mean Time. Není jednoznačný a používá se ve smyslu UTC. Před rokem 1925 byl uplatňován pro astronomické účely od Greenwich poledne (12 h UT).

GPS čas = TAI - 19 sekund. GPS čas souhlasil s UTC v období od 1.1.1980 do 1.7.1981. Nezavádí se do něj žádné sekundy, proto byl 1.1.2000 GPS čas 13 sekund před UTC. GPS epocha je 00:00 (půlnoc) UTC 6.1.1980. Rozdíl mezi GPS časem, TAI a TT (TDT) jsou konstantní na úrovni několika desetínanosekund. Rozdíl mezi GPS časem a UTC narůstá se zavedením každé nové sekundy do UTC.

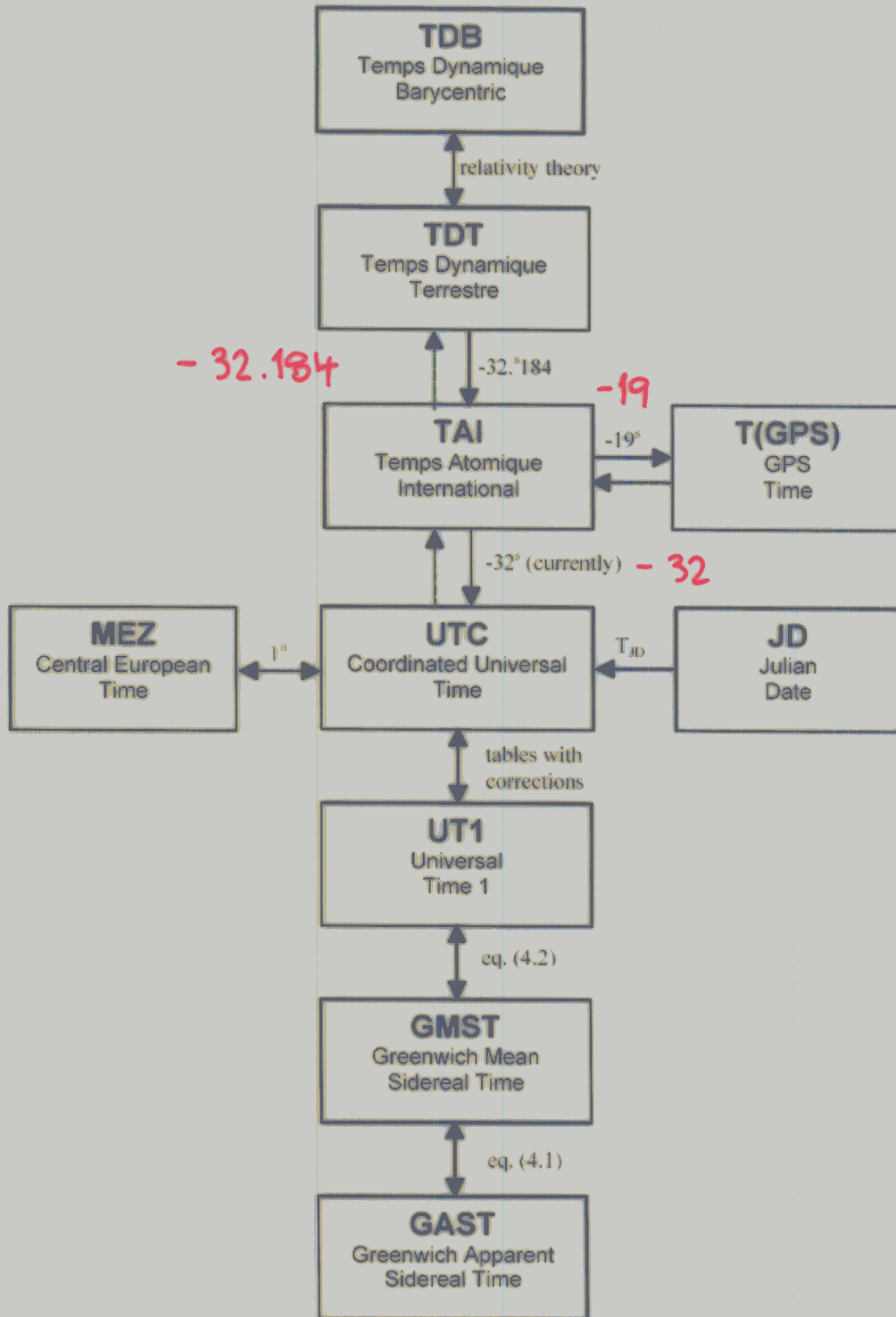
GPS týden = číslování týdnů počínaje GPS epochou 6.1.1980, 00:00 GPS času (tehdy byl roven UTC). Týdny jsou číslovány od 0 do 1023, pak se "přetočí" zpět na 0 a začne se znovu od 0 atd. Jednou již toto přetočení GPS týdne nastalo (22.8.1999 v 00:00 GPS času). Jeden cyklus trvá 1024 týdnů = 7168 dnů = asi 19.62 roku.

Časové škály a vztah mezi nimi



- rozdíly TAI-GPS a TT-TAI jsou konstantní

Časové škály a vztahy mezi nimi



$$GPST = TAI - 19 \text{ sek}$$

$$GPST = UTC + 12 \text{ sek}$$

