Obsah

Kapitola 1

Čas, kalendář

1.1 Kalendáře

1.1.1 Slovo kalendář

Vedle Bible je kalendář druhou nejrozšířenější knihou na světě. Kalendář pochází z latinského slova calendae. Římané před 2500 lety našeho letopočtu tak nazývali 1. den. Ten byl vždy z kapitolského pahorku vyvoláván nejvyšším knězem - pontifem maximem. Latinsky se volat řekne calare.

Vývoj kalendáře

Vyspělé starověké národy - Asyřané, Babyloňané, Egypťané, Řekové i Římané měli kalendář, jehož rok se téměr shodoval s dnešním rokem. Ve starém římském kalendáři, sestaveném Numou Pompiliem, začínal rok jarem. Rok Římanů měl 12 lunárních měsíců, neměl tehdy 365 dní. Pravidelně se musel přidávat měsíc, aby se odchylka srovnala. To způsobovalo značný zmatek. Když se vlády zmocnil Julius Caesar (roku 45 př. Kristem), zavedl kalendářní reformu. Jako poradce si přivzal řeckého astronoma Sosigena.

Tehdy se sluneční rok skládal z 365 dní, 5 hodin, 48 minut a 46 vteřin. Caesar určil, že rok bude nadále trvat 365 dní a zbytek se započítá jako jeden den každé 4 roky. To je tak zvaný juliánský kalendář. Juliánský rok měl o 11 minut a 14 vteřin více proti skutečnosti. Každých 128 let přibyl jeden den.

Po staletích nastal v kalendáři tedy nový zmatek. Papež Řehoř XIII. roku 1582 dal vypočítat kalendář, ve kterém by se přeskočilo deset dní, po 5. říjnu by následoval hned 15. říjen. Takto upravený kalendář se jmenuje gregoriánský kalendář, podle latinského jména tvůrce.

Typy kalendářů

Střídání dne a noci vytvořilo základní časovou jednotku všech kalendářů. V poříčních zemědělských oblastech (např. v Egyptě), kde hrál v životě společnosti prvořadou úlohu vegetační cyklus, se nejdůležitějším kalendářním obdobím stal *rok (tropický rok)*. V pasteveckých společenstvích, kde mělo noční světlo Měsíce zásadní význam pro obranu stád, vystupuje do popředí *synodický měsíc*. Vznikly tak dva základní typy kalendářů: *solární* a *lunární*. Třetím typem jsou kalendáře *lunisolární*, snažící se v jednotném systému vystihnout obě periody.

1.1.2 Nepřesnost juliánského kalendáře

Jak již bylo řečeno, nepřesnost, spočívající v příliš hrubém určení délky tropického roku, naroste na jeden den přibližně za 128 let. V 16. století činila již 10 dnů. Z mnoha návrhů na reformu se nakonec prosadil projekt Luigiho Lilia, uskutečněný roku 1582 papežem Řehořem XIII. Především bylo vypuštěno 10 nedbytečných dnů. Dále bylo stanoveno, že roky dělitelné stem budou přestupné jen tehdy, budou–li současně dělitelné čtyřmi sty. Období 400 let bylo zkráceno o 3 dny, čímž byla střední délka roku upravena na 365 + 1/4 - 3/400 dne. Dále byla provedena korekce Metonova cyklu opravou stáří Měsíce o 1 den za 300 let. Průměrná délka měsíce se tím zkrátila na (19/235)*(365 + 1/4 - 1/300) dne. Na počest reformátora byl nový kalendář nazván *gregoriánským*.

První oprava má za následek, že rozdíl v datu téhož dne podle gregoriánského a juliánského kalendáře vzroste za 400 let o tři dny.

m	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	...
Σ	10	10	11	12	13	13	14	15	16	16	17	...

Tabulka 1.1: Hodnoty pro prvních 1000 let

Veličinu Σ nazýváme **sluneční rovnicí** a snadno pro ni najdeme analytické vyjádření

$$\Sigma = m - m_1 - 2. \tag{1.1}$$

Mezi datem téhož dne pro kalendář gregoriánský a juliánský platí vztah

$$D_{GRE} = D_{JUL} + \Sigma, \tag{1.2}$$

kde obě data chápeme jakoby v témže měsíci, přičemž si můžeme dovolit překročit jeho skutečnou délku.

Zavádíme pomocné parametry:

$$
\begin{aligned}
m &= [Y/100] & (1.3)\\
n &= R(Y,100), & (1.4)\\
m_1 &= [m/4], & (1.5)\\
m_2 &= R(m,4), & (1.6)\\
n_1 &= [n/4], & (1.7)\\
n_2 &= R(n,4), & (1.8)
\end{aligned}
$$

s jejichž pomocí lze letopočet vyjádřit ve tvaru

$$Y = 100m + n. \tag{1.9}$$

Pro juliánské datum platí

$$JD = D + s(M) + 365Y + \left[\frac{Y}{4}\right] - \left[\frac{Y}{100}\right] + \left[\frac{Y}{400}\right] + 1\ 721\ 060, \tag{1.10}$$

resp.

$$JD = D + s(M) + 146\,097m_1 + 36\,524m_2 + 1461n_1 + 365n_2 + 1\ 721\ 060. \tag{1.11}$$

Koeficienty v 1.11 vyjadřují délky základních period obou systémů.

Příklad výpočtu dne v týdnu pro gregoriánský kalendář:

$$g = R(D + f(M) + Y + \left[\frac{Y}{4}\right] - \left[\frac{Y}{100}\right] + \left[\frac{Y}{400}\right] + 2.7). \tag{1.12}$$

1.1.3 Přesnost kalendáře

Posoudit přesnost kalendáře znamená zjistit, nakolik se jím určené délky astronomických period přibližují skutečnosti. Pro skutečné délky tropického toku a synadického měsíce (ve dnech) lze v tabulkách najít toto vyjádření:

$$
\begin{aligned}
T_{TROP} &= 365.24219878 \quad -0.00000616t, & (1.13)\\
T_{SYN} &= 29.5305882 \quad -0.0000002t, & (1.14)
\end{aligned}
$$

kde t je doba ve staletích, která uplynula od 1. ledna 1900 (v jednoduchém přiblížení t $\approx$ m - 19). Obě veličiny vykazují systematické sekulární změny, které nemohou být vystiženy žádným periodickým kalendářním systémem. Žádný kalendář si nemůže trvale zachovat ideální přesnost. Má smysl hovořit pouze o přesnosti vztažené k určité *epoše*. Prakticky je jedno, kterou epochu zvolíme. Z historického hlediska by jistě bylo korektní zvolit pro každý kalendář epochu jeho vytvoření.

Jako míra přesnosti kalendáře se většinou uvažuje doba, za niž se kalendář "rozejde" se skutečností o 1 den. Označíme–li tuto dobu symbolem N, dostáváme podmínku

$$N * T_{Kal.} = N * T_{Skut.} \pm 1, \tag{1.15}$$

jejímž řešením je

$$N = \left| \frac{1}{T_{Kal.} - T_{Skut.}} \right|. \tag{1.16}$$

Je–li T_S střední délka kalendářního roku, vyjádřená ve dnech, pak $N_S = |1 / (T_S - T_{Trop.})|$ je hledaná veličina v rocích. Po této době se rovnodennost posune o 1 den proti původnímu datu. Podobně pro kalendářem danou střední délku lunace T_L je $N_L = |1 / (T_L - T_{Syn.})|$ doba v měsících, za niž lze pozorovat jednodenní rozdíl v datech měsíčních fází.

Většina kalendářních systémů je založena na periodickém opakování určitého cyklu pevné délky, v němž se definovaným způsobem střídají buď obyčejné a přestupné roky (365, resp. 366 dnů), nebo tzv. *prázdné* a *plné měsíce* (29, resp. 30 dnů). Je–li v tomto cyklu celkem x obyčejných let a y let přestupných, jeho délka je 365x + 366y a průměrná délka roku vychází

$$T_S = \frac{365x + 366y}{x + y} = 365 + \frac{y}{x + y}. \tag{1.17}$$

Podobně délka cyklu o x prázdných a y plných měsících je 29x + 30y a průměrná délka měsíce je

$$T_L = \frac{29x + 30y}{x + y} = 29 + \frac{y}{x + y}. \tag{1.18}$$

Problematika tvorby kalendářního systému se týká především hledání vhodných zlomků y/(x+y), tedy pravidel pro zařazování přestupných dnů.

V juliánském kalendáři měl rok střední délku $T_{S,J} = \frac{1461}{4} = 365.25$ dne, podle gregoriánského kalendáře $T_{S,G} = \frac{146097}{400} = 365.2425$ dne.

Veličina v posledním sloupci tabulky 1.2 představuje jakousi míru zpřesnění, k němuž došlo zavedením reformy. Vidíme, že jde v obou ohledech o zpřesnění významné - více než o řád.

Jiné systémy

- *Systémy solární* – Základní periodou kalendáře Omara Chajjáma (11 stol.) bylo období 33 let, z nichž bylo 8 přestupných. J. H. Mädler

	juliánský kalendář	*gregoriánský kalendář*	N_G / N_J
$\mathbf{N}_S$ (roky)	128	3320	25.9
$\mathbf{N}_L$ (měsíce)	3804	150609	39.6

Tabulka 1.2: Srovnání přesnosti

vytvořil roku 1884 kalendář, v němž se každých 128 let vypouštěl 1 přestupný den,takže v cyklu bylo 31 přestupných let. Konečně jugoslávský astronom Milutin Milankovič navrhl roku 1923 pro pravoslavné země kalendář zvaný *novojuliánský*, v němž by se místo 3 dnů za 400 let vypouštělo 7 dnů za 900 let. Ani Mädlerův, ani Milankovičův návrh se však neujal.

- *Systémy lunisolární* – Starořecký hvězdář Kleostratos (6. stol. př. Kr.) zavedl periodu, v níž bylo 48 prázdných a 51 plných měsíců, tedy dohromady 2922 dnů neboli 8 let po $365\frac{1}{4}$ dnech[1]. Meton (5. st. př. Kr.) určil, že 235 lunací trvá stejně dlouho jako 19 let, totiž 6940 dnů (*Metonův cyklus*). Kalippos (4. st. př. Kr.) počítal s roky o $365\frac{1}{4}$ dne, takže 4*235 = 940 lunací trvalo právě 4*19 = 76 let, tj. 4*6940 - 1 = 27759 dnů (*Kalippův cyklus*). Tuto hodnotu předpokládá pro výpočet velikonoc i juliánský kalendář. Další opravu provedl Hipparchos (2. st. př. Kr.) tím, že čtyřnásobek Kalippova cyklu zkrátil o 1 den. Současně se domníval, že takto definované období (*Hipparchův cyklus*) obsahuje právě 4*76 = 304 roky, čímž dospěl pravděpodobně jako první k myšlence, že tropický rok je ve skutečnosti kratší než $365\frac{1}{4}$ dne.

1.2 Čas

1.2.1 Den a hodiny

Pravidelné střídání dne s nocí vedlo ke způsobu měřit den od východu Slunce k dalšímu východu, nebo od západu k západu. Staří Římané určili, že den má začínat půlnocí.

Se změnou polohy Slunce během dne, lidé pozorovali, že se mění i stín předmětů. V Egyptě k tomu účelu zřídili úzké, čtyřhranné sloupy, u kterých pozorovali jejich stín a jeho dráhu rozdělili na 12 dílů. Tyto hodiny se nazývají slunečními hodinami.

[1] odtud název periody – oktaeterida

Přesýpací hodiny byly rozšířeny již po Kristově narození. Jejich nevýhodou byla velká nepřesnost. Ze začátku se písek sype mnohem rychleji než ke konci. Ve 13. století byly zavedeny kolečkové hodiny, kde za pomocí závaží a pružných per čas ukazovala ručička.

1.2.2 Týden

Historický původ se skrývá v dávné historii. Zdá se, že týden vznikl čtvrtěmi měsíce. Jednotlivé čtvrtě trvají skoro 7 dní.

Týden v sobě skrývá i kousek náboženské mythologie. Ve Starém zákoně je týden doba, za kterou byla stvořena Země. Sedmý den byl dnem odpočinku. To u Židů vedlo k úctě sedmičky.

V dávné hostorii se ovšem číslo 7 objevuje pouze u Židů. Řekové používali desetidenní dílce a Římané osmidenní. Za doby Konstantina Velikého (325 po Kr.) podporoval Křesťanství, a tím byl přijat týden sedmidenní.

1.2.3 Druhy roků

- **Rok měsíční**

  Měsíc je doba mezi dvěma stejnými tvary luny. Měsíc takto určený trval $29\frac{1}{2}$ dne. Dvanáct měsíců tvoří tedy 354 dní a tedy rok měsíční. Je to tedy o $11\frac{1}{4}$ dne méně než rok sluneční. Rok označili jako 12 měsíců po 30 dnech. Tím rok měsíční trvá 360 dní.

  Staří Řekové měli také rok měsíční po 360 dnech. Podle jisté věštby, Řekové měli slavit jejich slavnosti při témže tvaru luny a zároveň ve stejný roční čas. Tím se ukázala potřeba sjednotit obojí časomíru, tzn. vkládat přestupné měsíce. Řecký astronom Meton (432 př. Kr.) opravil rok podle Slunce a Měsíce tak, aby nový rok začínal novým měsícem po letním slunovratu a aby měl 365 dní. Meton poznal, že 19 oběhů Slunce (tropický rok) trvá stejně dlouho jako 235 oběhů Měsíce. Průběhem 19 let se musí přidat 7 měsíců, protože $12 * 19 + 7 = 235$.

  V židovském kalendáři byl první měsíc v roce (nisan) ten, kdy se slavila slavnost pascha[2]. Také měli 12 měsíců, vkládali jeden měsic (vadar) navíc.

- **Rok sluneční**

[2]Pascha, hebr. tolik co přechod, žid. velikonoční slavnost na památku jejich vyjití z Egypta.

První stopy roku slunečního či solárního nalézáme u Egypťanů, kteří pozorovali proměnlivou výšku Slunce pomocí délky stínů svých obelisků. Určili délku roku 365 dní. A s tím se spokojili.

Je to doba, kterou Slunce potřebuje, aby se z jarního bodu dostalo opět do jarního bodu.

- **Rok církevní**

  Rok církevní je stejné dlouhý jako běžný rok. Rok začíná první nedělí adventní a končí soboutou po poslední neděli svatodušní. Dělí se na tři hlavní doby: vánoční, velikonoční a svatodušní.

Kapitola 2

Čas v astronomii

Odedávna se měří sluneční čas, dříve slunečními hodinami (stín se za dne pohybuje po hyperbole, jen v době rovnodennosti po přímce). Dalším způsobem měření jsou vodní hodiny - klepsidry - s minutovou přesností; od 8. století též přesýpací hodiny. Ve 13. století se v Evropě objevují mechanické hodiny s denní variací cca 5 minut. První orloj v Padově se datuje do roku 1344, pražský orloj je z roku 1409. Roku 1879 byl ve světě zaveden pásmový čas. U nás se tak stalo roku 1891. Od roku 1972 užíván mezinárodní atomový čas. V současné fyzice jsou intervaly měřeny s přesnotí až 1ps (časoměrná stupnice 10^{-11}s).

2.1 Typy časů

- **rotační časy UT** - vázané na rotaci Země; vztahovány na Greenwichský poledník

– od cca 1900 víme, že rotace Země je nepravidelná, nepřesnost cca 1ms + další nepřesnosti: pohyb pólů

- **efemeridový čas ET** - podle pohybu Země kolem Slunce a pohybu Měsíce (zákryty hvězd); 1 sekunda definovaná jako díl tropického roku 1900; přesnost 1ms; 1950 – 1983 používán jako argument efemerid

  TDT ... terestrický dynamický čas, který nahradil ET. Byl definován obecnou relativitou jako vlastní čas pozorovatele. Dále existuje TBH, což je barycentrický dynamický čas, který je vztažen relativitou na barycentrum. TT se značí terestrický čas.

  Rotace Země se zpomaluje slapovým působením Měsíce (pokles momentu hybnosti Země), Měsíc se v důsledku vzdaluje (zvětšení momentu hybnosti Měsíce).

Korály fungují jako časoměřiči (v jejich růstu se odráží střídání světla a tmy). V prvohorách bylo do roka 410 dní.

- **atomový čas TAI**(z fr. temps atomic international, občas z ang. ATI) - nezávislá časová škála; rubidiové a cesiové atomové hodiny ze 60. let. Roku 1967 byla na jejich základě definována sekunda, časová stupnice od roku 1971.

  Definován, aby se o půlnoci 1.1.1958 shodoval s rotačním UT2 (UT opravený o sezónní nepravidelnost).

2.1.1 Atomová sekunda

Atomová sekunda SI: 9 192 631 770 kmitů atomu ^{133}Cs při přechodu F=4, M=0 na F=3, M=0 v základním stavu v nepřítomnosti magnetických polí.

Stanoveno na 13. konferenci mezinárodního komitétu pro míry a váhy, Paříž 1967.

Na počátku byla relativní přesnost 10^{-12}.

Synchronizace

- převoz hodin
- signál přes geostacionární družici
- televizní signál
- družicový systém GPS

Lokální staniční čas se liší systematickými chybami ale také relativistickými jevy (gravitační pole λ a nadmořská výška, rotace Země).

1997 přesnost 10^{-14}.

2.1.2 Efemeridový čas

- v podstatě UT2 vztažený na počátek roku 1900

Na 10. valném shromáždění IAU (Moskva, 1958) byla stupnice ET počítána od 0. ledna 12 hodin 1900, kdy střední délka Slunce (ovlivněná aberací) byla 279°41'48,04"

sekunda ET: 1/ 31 556 956,9747 tropického roku[1] 1900

[1] tropický rok - od jarního bodu do jarního bodu, ovlivněn pouze precesí

Tento čas se dal udržovat křemennými hodinami. Přesnost činila 1ms. Měřeno pomocí zákrytů hvězd Měsícem.

Jeho nástupcem je terestrický čas TT, který se užívá v astronomických ročenkách.

Platí:

$$TT = TAI + 32.184s \tag{2.1}$$

$$TT = UT + \Delta T \tag{2.2}$$

ΔT se pomalu mění (roste s časem, v současné době Δt = ±64s).

2.1.3 Rotační časy

Rotační časy:

- hvězdný
- sluneční

Hvězdný čas - θ je hodinový úhel jarního bodu. Máme dva jarní body **střední** $\overline{\Upsilon}$, postupující rovnoměrně a ovlivněný pouze precesí, a **pravý** Υ, nerovnoměrný a ovlivněný precesí i nutací.

Pak $\overline{\theta}$...střední hvězdný čas
θ...pravý hvězdný čas

$$\underbrace{\theta - \overline{\theta} = (\overbrace{\Delta\psi + d\psi}^{nutace\,v\,délce})\cos\varepsilon}_{rovnice\,ekvinokcií} \tag{2.3}$$

–hodnoty ±1s s periodou 14 dní (závisí na poloze Měsíce)

Pro celou Zemi definován Greenwichský střední hvězdný čas (GMST), který se stanovuje na nultém poledníku. Čas na místním poledníku se označuje LMST.

Vztah k inerciálnímu prostoru

- **Střední hvězdný čas** – je doba mezi dvěmi horními za sebou následujícími průchody středního jarního bodu místním poledníkem. Jarní bod se pohybuje díky precesi tak, že rektascenze hvězd s časem roste.

  Rozdíl oproti otočce vůči inerciálnímu systému je 0.0084s (střední hvězdný den je kratší) = 0.999 999 90 otočky (v důsledku precese). Pro pravý hvězdný čas se musí přidat rovnice ekvinokcií.

<u>Sluneční čas t</u> – je hodinový úhel Slunce zvětšený (nebo zmenšený) o 12 hodin.

– Místní čas
– Pásmový čas
– Greenwichský čas

Sluneční hodiny ukazují místní pravý sluneční čas. Pravý sluneční čas je ale nepravidelný (± 15 minut):

1. Druhý Keplerův zákon - efekt má periodu 1 rok
2. Sklon roviny rovníku a ekliptiky

Země se otáčí o 360^o+d, perioda 0.5 roku. Během roku se mění deklinace Slunce (viz. analema) $\rightarrow d$ je proměnné. V únoru nastává pravé poledne později než střední poledne, v listopadu nastává pravé poledne dříve než střední.

Rozdíl pravého a středního sl. času vyjadřuje **časová rovnice**:

$$R = t - \overline{t} = \overbrace{-2e\sin\overline{M_{Slunce}}}^{2.K.z.} + \overbrace{\tan^2\frac{\varepsilon}{2}\sin 2L}^{sklon\ ekliptiky} + oprava\ na\ st\check{r}.\ Sl. +\ poruchy = \tag{2.4}$$

$$t^G_{Slunce} - {t^G_{Slunce}}^2 = -460^S sin\overline{M_s lunce} + 592^S sin 2L + ... = prav\acute{y}\ -\ st\check{r}.\ \check{c}as$$

e = 0.017

$\overline{M_{Slunce}}$ ... střední anomálie Slunce

Analematické sluneční hodiny - Mají na sobě analemu, korigovány na tuto vadu.

Protože některé efekty nepravidelnosti jsou na škále hodin, je podstatný rozdíl mezi **UT** a **lokálním časem**. Nadále všechno vyjadřujeme v UT.

– UT0

– UT1 – UT0 opravený o sezónní nepravidelnosti (pohyb pólů vůči CEPu)

– UT2 – přibližuje rotační čas času efemeridovému (UT1 opravený o roční variace v rotaci Země)

  – historická záležitost v době před TAI

– UTC – korigovaný světový čas; zaveden 1.1.1972

  vychází z něho světový systém občanského času   má jednotky atomového času

  požadavek:

$$|UT1 - UTC| < 0.8s \tag{2.5}$$
$$TAI - UTC = n * 1s, n \in N \tag{2.6}$$

2.1.4 Definice

DUT1 = UT1 - UTC – určuje se pozorováním a zpětně publikuje IERS

splnění |DUT1|<0.8s vyžaduje vkládání (ubírání) sekund tzv. "přestupná sekunda" 31.12. nebo 30.6.

vkládání přestupné sekundy: 23:59:59, 23:59:60, 0:00:00, 0:00:01, ...

vynechání přestupné sekundy: 23:59:58, 0:00:00, 0:00:01, ...

2.2 Juliánské datum

Juliánské datum **JD** zavedl francouzský astronom Joseph Justus Scaliger (1540–1609). Odpůrce gregoriánského kalendáře. Roku 1583 navrhl v traktátu "Nová práce o zdokonalování letopočtu" vést chronologii ne podle roků, ale podle jednotlivých dnů. Počátkem je bod, kde se sejdou počátky různých kalendářů. Počátek byl stanoven: 1.1.4713 př. n. l. neboli 1.1.4712

juliánský den = 24 × 60 × 60 SI sekund

juliánský rok = 365.25 juliánských dnů

→ současná definice na základě UT1

Modifikované juliánské datum

MJD – začíná o půlnoci

$$MJD = JD - 240000,5 \tag{2.7}$$

Význačné okamžiky na časové stupnici

= epochy

	1900	**1950**	**2000**
JD	2 415 020. 0000	2 433 282. 5000	2 451 545. 0000
MJD	15 019. 5000	33 282. 0000	51 544. 5000
kal. Gr.	12^hUT1 0.1.1900	0^hUT1 1.1.1950	12^hUT1 1.1.2000

→ K těmto epochám se dělají katalogy nebo atlasy.

2.3 Astrometrické pozice vesmírných objektů

– **určování vzdáleností** – pro astrometrii nepotřebujeme

- **určování úhlových souřadnic** – nejčastěji používán referenční systém QII, osy tohoto syst-emu v pohybu – rovnoměrný (precesní) + pohyb s periodickými členy

  → každý katalog platí pro určitý okamžik – **základní epocha** (dnes J2000.0)

Střední místo v základní epoše – kreslí se do katalogů a atlasů
Střední místo k danému datu – je ovlivněno pouze precesí a vlastním pohybem
Pravé místo – střední místo + vliv nutace
Zdánlivé místo – pravé místo + vliv roční aberace, roční paralaxy a gravitačního ohybu světla
→ je **geocentrické** (publikuje se pro vybrané hvězdy k začátku roků – z katalogu Fk5)
Zdánlivé topocentrické místo – zdánlivé geocentrické místo + vliv denní aberace, planetární aberace, denní paralaxy
Pozorované zdánlivé topocentrické místo + čas – zdánlivé topocentrické místo + vliv refrakce
Mezi jednotlivými místy se přechází pomocí *redukčních vzorců*
$X_{QII,J2000.0}$ … střední místo v epoše J2000.0
$X_{QII,app(t)}$ … zdánlivé místo v čase t od J2000.0

$$X_{QII,app} = \overbrace{T_{AP}}^{ro\check{c}.\ aberace} \underbrace{T_{GLD}}_{grav.\ ohyb\ sv\check{e}tla} \overbrace{T_{AA}}^{ro\check{c}.\ aberace} \underbrace{N}_{matice\ nutace} \overbrace{P}^{matice\ precese} T_{\mu(t)} X_{QII,J2000.0} \tag{2.8}$$

N, P … záležitost referenčního systému AP … annual paralax
AA … annual aberation
$T_{\mu(t)}$ … transformací matice na vlastní pohyb (t je v juliánských staletích)
– ostatní matice (než N a P) nesouvisí se souřadnicovým systémem

2.4 Čas GPS

GPS = TAI - 19s (dnes)
Pro GPS platí základní okamžik 6.1.1980, tehdy GPS = UTC.
Terestrický dynamický čas TDT = TAI + 32.184s. Používán od 1.1.1984 jako arayment efemerid astronomického almanachu. Od 1.1.1995 se jmenuje terestrický čas TT.

$$DUT1 = UT1 - UTC \tag{2.9}$$
$$\Delta T(A) = TT - UT1 = TAI + 32.184s - UT1 \tag{2.10}$$

$\longrightarrow$ tabelují se

$$UT1R = UT1 + oprava\ na\ polohu\ rotačniho\ pólu\ vlivem\ slapů\ s\ periodou\ < 35d \tag{2.11}$$

TDB … barycentrický dynamický čas (pro těžiště sluneční soustavy) – je to souřadnicový čas