



# **SÚHRNNÁ SPRÁVA**

## **k previerke národného etalónu**

**Národný etalón:** NE 004/97 Národný etalón času a frekvencie

**Osoba zodpovedná  
za národný etalón:** Ing. Pavol Doršic

**Správu vypracoval:** Ing. Pavol Doršic

**Bratislava, december 2010**

## O B S A H

1.	Úvod	3
1.1	Všeobecne	4
2.	Zoznam použitých termínov a skratiek	5
3.	Definícia jednotky času	9
4.	Organizácia a úroveň metrologie času a frekvencie vo svete	10
4.1	Organizácia medzinárodného porovnávania etalónov času	11
5.	Technické požiadavky pracovísk na etalóny času a frekvencie SR	13
6.	Etalón času a frekvencie SMU	
6.1	Zostava etalónu	15
6.2	Základné technické parametre etalónov	15
6.3	Svedecký etalón	15
6.4	Princíp činnosti céziového etalónu	16
6.5	Prídavné zariadenia etalónu času a frekvencie	17
6.6	Špecifikácia, identifikácia a umiestnenie etalónov	19
6.7	Technická dokumentácia etalónu	19
6.8	Diagram - dispozícia etalónu času a frekvencie SMU	20
7.	Výsledky, vyhodnotenie etalónu času a frekvencie	21
7.1	Vyhodnotenie etalónu času a frekvencie – ročné hodnoty	23
7.2	Realizácia jednotky - sekundy	24
7.3	Deklarácia hodnoty etalónu	25
	Literatúra	26
	Prílohy :	
A.	Zoznam zúčastnených inštitúcií na tvorbe svetového času v BIPM	27
B.	Technické zariadenia spôsoby merania pre lab. tvorby UTC	29
C.	Fotografia umiestnenia etalónu v SMU – H č. 139	33
D.	Grafy ročných meraní UTC – UTC(SMU) pre roky 2005 až 2010	34

## 1. Úvod

V zmysle zákona o metrológii č. 142/200 Z. z. v znení zákona č. 431/2004 Z. z. národný etalón uchováva a reprodukuje hodnotu jednotky a stupnice veličiny, v tomto prípade veličín čas a frekvencia, pre účel poskytnutia základu pre správnosť a jednotnosť merania v SR.

Zabezpečenie tejto funkcie – jednotnosti a správnosti merania, sa vykonáva prostredníctvom kontinuálneho medzinárodného porovnávacieho merania, časovej stupnice UTC(SMU) generovanej etalónom – cézióvymi atómovými hodinami HP 5071A. Zároveň je to zábezpeka porovnateľnosti merania nadviazaných meradiel na etalón uchovávaný v SMU s meraniami v zahraničí.

Etalón SMU, času a frekvencie – NE č. 4 je vo vlastníctve SMU v zostave, ktorá je uvedená v certifikáte etalónu.

Etalón SMU, času a frekvencie - NE č. 4 spĺňa požiadavky na etalón t.j. vytvára etalónovú hodnotu času 1 s, vytvára etalónovú hodnotu frekvencie 5 MHz resp. 10 MHz a je s ostatnými zariadeniami schopný odovzdávať etalónové hodnoty na ostatné zariadenia a meracie prístroje.

Pre uchovávanie etalónu nie je potrebné udržiavať mimoriadne podmienky k svojej činnosti, ďalej popísané uloženie etalónu je vyhovujúce.

Vyššie uvedené tvrdenia predstavujú plnenie podmienok § 6 zákona o metrológii.

Etalón času a frekvencie NE č. 4 je zariadenie nakúpené ako hotový výrobok, HP 5071A, čím možno konštatovať, že spolu s vytvorenými podmienkami uloženia v špeciálnom laboratóriu SMU, budova H č. 139 je technická realizácia ukončená a sú vytvorené požadované podmienky na činnosť etalónu.

Pre akceptovateľnosť etalónovej hodnoty bol vytvorený systém pre kontinuálne porovnávacie meranie s BIPM cez satelitný systém GPS a Glonass na báze GPS/Glonass prijímača TTS-3 a obojsmerného transferu nameraných a výsledných hodnôt cez internetovú sieť.

Prístrojová zostava a podmienky uchovávanía etalónu sú určené, ďalej dokumentované s technickými a metrologickými charakteristikami.

Porovnávacie merania, sa vykonávajú denne, kontinuálne, výsledky merania etalónu sa zasielajú do BIPM v týždenných intervaloch. Preukázanie hodnôt etalónu je uvedené v Circular-T z BIPM pre 5 – dňový vyhodnocovací interval v mesačných správach, 5 až 6 výsledkov za mesiac.

O všetkých význačných udalostiach súvisiacich s činnosťou etalónu je vedený denník etalónu, ktorý sa nachádza v lab. č. 139.

Podmienky vyhlásenia etalónu, uvedené vo vyhláske UNMS č. 210/2000 § 1 sú splnené.

## 1.1 Všeobecne

Metrológia času a frekvencie má na Slovensku nie dlhú tradíciu, ale v bývalom Československu bol položený veľmi dobrý základ pre rozvoj metrológie týchto veličín. Treba pri tejto príležitosti pripomenúť, že nezmazateľný vklad do metrológie času vniesla česká akadémia vied, zavedením televíznej metódy porovnávania etalónov, ktorej rozvoj a výsledky boli úspechom aj laboratória času a frekvencie ešte ČSMÚ Bratislava, ktorý stál pri prvých pokusoch a verifikáciách metódy so svojim prvým kvantovým céziovým etalónom Oscilloquartz M 3200.

Jednou so základných podmienok funkcie etalónu času a frekvencie je jeho nadviazanie na medzinárodnú stupnicu času UT. Táto stupnica sa prakticky vytvára zo skupiny spoločne spolupracujúcich laboratórií dlhodobým, stálym výkonom porovnávacích meraní etalónov rôznymi metódami.

Výsledky fyzikálnych výskumov v oblasti spektroskopie a kvantovej mechaniky, ktoré boli zahájené už pred druhou svetovou vojnou, priviedli k poznatku, že frekvencia elektromagnetického žiarenia doprevádzajúca zmenu kvantového stavu atómov alebo molekúl sa vyznačuje sekulárnou stálosťou principiálneho charakteru. Týmto objavom sa začala nová éra kvantovej metrológie času – nástupom atómových hodín a opustením etalónu „Zem“ ako prekonaného člena menšej presnosti. Treba poznamenať, že súčasná relatívna rozlišovacia schopnosť merania frekvencie a stálosť frekvencie (nekonkretizujeme čas) sa dosahuje v ráde  $10^{-15}$  až  $10^{-16}$  čo predstavuje vrchol ľudských technických schopností v poznaní prírody a jej využitia.

Základná jednotka času *sekunda* a jej duálna veličina *frekvencia* je v súčasnosti definovaná a uchovávaná vo svete s najvyššou presnosťou niekoľkými primárnymi céziovými etalónmi s dlhou trubicou laboratórneho typu a veľkou skupinou priemyselných (komerčných) atómových hodín. Dlhodobá stabilita etalónovej hodnoty jednotky a stupnice resp. frekvencie týchto komerčných typov je dosahovaná lepšia ako  $10^{-12}$  čím je zabezpečená metrológia času a frekvencie na najvyššej úrovni pre všetky požadované odbory spoločnosti. Týka sa to hlavne najmodernejších telekomunikačných technológií, niektorých meraní z oblasti špeciálnej techniky (vojenské technológie) a nadviazané zariadenia pre výskum.

Funkcia a dokonalosť zabezpečenia metrológie času a frekvencie v každom štáte, vlastníacom atómové hodiny, je daná hlavne organizáciou časovej sekcie v BIPM Paríž. Z tohto poznatku plynie, že účasť na porovnávacích meraniach, ktoré sa vykonávajú nepretržite, kontinuálne, dáva záruku, že metrológia času a frekvencie v danom štáte bude stále na špičkovej svetovej úrovni. Tak tomu je v súčasnom čase i v SR, pretože výsledky porovnávacích meraní, trvalá účasť na tvorbe svetového času v BIPM, sú dokladované aj pre etalón času a frekvencie SMU, ktorý nepretržite generuje časovú stupnicu označenú (v BIPM) UTC(SMU).

## 2. ZOZNAM POUŽITÝCH TERMÍNIOV A SKRATIEK

### 01 NE - národný (štátny) etalón {National Standard}

Etalón, uznaný oficiálnym rozhodnutím, aby slúžil v štáte ako základ na odovzdanie hodnôt iným etalónom príslušnej veličiny [1: 6.3].

- je na Slovensku najvyššej metrologickej úrovne, reprodukuje a uchováva hodnotu jednotky danej fyzikálnej veličiny ;
- je na Slovensku najvyššie postaveným členom schémy nadväznosti mier a meradiel danej veličiny.

### 02 Primárny etalón {Primary Standard}

Etalón, ktorý je určený alebo všeobecne uznaný ako etalón, s najvyššími metrologickými parametrami a ktorého hodnota je akceptovaná bez vzťahu k iným etalónom tej istej veličiny. [1: 6.4]

### 03 Prenosný (cestovný) etalón {Travelling Standard}

Etalón určený na prepravu medzi rôznymi miestami [1: 6.9]

### 04 Uchovávanie etalónu {Conservation of Standard}

Súbor operácií potrebných na zachovanie metrologických charakteristík etalónu v náležitých medziach [1:6.12]

### 05 Čas {Time}

Základná fyzikálna veličina, ktorá nemôže byť (práve ako priestor) oddelená od hmoty a pohybu; čas zobrazuje stálu zmenu stavu predmetov a zmenu stavu hmoty.

Čas a priestor sú definované ako základné formy existencie hmoty [2: 001].

### 06 Časová stupnica {Time Scale}

Nepretržitá postupnosť dohodnutých časových intervalov (1 s), číslovaných od dohodnutého počiatku [2: 033].

### 07 Udržovanie času {Timekeeping}

Súhrn pracovných postupov a operácií potrebných na udržovanie a prenos konkrétnej časovej stupnice s požadovanou správnosťou, neistotou a k určovaniu časových momentov daných udalostí, spolu s nutným technickým vybavením [2: 021].

### 08 Hodiny {Clock, Timepiece}

Technické zariadenie pre uchovávanie a indikáciu času [3: 07]

### 09 Jednotka času - sekunda {Second}

Základná jednotka pre čas alebo časový interval v medzinárodnom systéme jednotiek SI. Sekunda je definovaná časom, rovným 9 192 631 770 periódam žiarenia, ktoré zodpovedá prechodu medzi dvomi hladinami veľmi jemnej štruktúry ( $F=4, m_F=0$  a  $F=3, m_F=0$ ) základného stavu atómov cezia 133 bez vplyvu vonkajších magnetických polí na úrovni hladiny mora [2: 070].

### 10 Časový rozdiel {Clock Time Difference}

Časový rozdiel medzi indikáciou času (časových stupníc) dvoch hodín v rovnakom okamihu. Pre vylúčenie chyby v znamienku časového rozdielu je všeobecne akceptovaná nasledovná dohoda pre označovanie časových rozdielov. Ak označíme, že hodiny A indikujú čas  $t_A$  a hodiny B čas  $t_B$  potom kladná hodnota rozdielu  $t_A - t_B$  rozdielu hodín (A - B) znamená, že referenčný impulz hodín A predbieha impulz hodín B [3: 08]

V technickom prevedení merania časového rozdielu elektronickým čítačom zapojíme výstupné impulzy hodín A do vstupu Štart elektronického čítača a výstupné impluzy hodín B do vstupu Stop elektronického čítača.

### **11 Časový interval {Time Interval}**

Čas, ktorý ubehne medzi dvojicou udalostí, ktoré vymedzujú počiatok a koniec tohto intervalu [2: 004].

### **12 Doba {Time}**

Dĺžka trvania jednoduchého alebo zloženého časového intervalu [2: 009].

### **13 Atómové hodiny {Atomic clock}**

Zariadenie, ktorého základná časť je tvorená atómovým rezonátorom, na využitie prechodových, rezonančných javov v atómoch alebo molekulách, a fázovým závesom na riadenie kryštálového (alebo iného) oscilátora, na ktorého výstupe je realizovaná jednotka času (a frekvencie) [2:117]

### **14 Atómová časová stupnica {Atomic Time Scale TA}**

Časová stupnica realizovaná na základe využitia prechodových, rezonančných javov v atómoch alebo molekulách.

Plynúci čas je meraný a indikovaný počítaním kmitov oscilátora, ktorý je (elektricky) nadviazaný na atómový alebo molekulový rezonančný, prechodový jav [3: 05].

### **15 Medzinárodná atómová časová stupnica TAI {Time Atomic International}**

Časová stupnica udávaná časovou sekciou BIPM Paríž na základe spracovania údajov atómových hodín v rôznych inštitúciách konformne s definíciou základnej jednotky času. Časová stupnica TAI bola vytvorená na základe doporučenia Poradného výboru pre sekundu v roku 1969 a bola prijatá 14. Generálnou konferenciou pre miery a váhy v roku 1971. TAI bola vytvorená za účelom použitia vo vedeckých a technických aplikáciách, aby sa sledované udalosti udávali, registrovali v jednotnej spoločnej časovej stupnici. Je základom pre koordinované vysielanie etalónových frekvencií pomocou rádiotechnických prostriedkov, ktoré umožňujú svetové zjednotenie času a distribúciu jednotky [3: 34].

### **16 Svetový koordinovaný čas UTC {Universal Time Coordinated}**

Medzinárodne dohodnutá časová stupnica, tvorená a uchovávaná v BIPM Paríž, majúca rovnaký chod ako atómová časová stupnica TAI, ktorá je koordinovaná celými jednosekundovými časovými skokmi. Svetový koordinovaný čas UTC je udržiavaný vkladáním alebo odoberaním jednej sekundy v súlade s astronomickou časovou stupnicou UT1 tak, aby časový rozdiel UTC od UT1 bol menší ako 0,7 s v čase pol roka alebo konca roka. UTC bola dohodnutá na konferencii v New Delhu r. 1970 v doporučení č. 460 a začalo sa s jej tvorbou podľa uvedeného, definovaného princípu od 01. 01. 1972. 15. konferencia CGPM odporúčala, aby svetový koordinovaný čas UTC bol základom každého legálneho národného času [2: 071,], [3:12].

### **17 Etalón času {Time Standard}**

Zariadenie na realizáciu jednotky času.

Nepretržite pracujúce zariadenie, ktoré realizuje a uchováva jednotku času a/alebo časovú stupnicu v súlade s definíciou jednotky sekundy. Slúži na nadviazanie jednotky (resp. jej násobkov alebo podielov) a časovej stupnice na ostatné etalóny a zariadenia [3: 67], [2: 110].

**18 Etalón frekvencie { Frequency Standard }**

Generátor frekvencie, ktorého výstupná hodnota frekvencie je určená na realizáciu a uchovávanie periodického (elektrického) signálu – frekvencie a na nadviazanie jeho hodnôt na ostatné zariadenia. [3: 28].

Menovité hodnoty etalónov frekvencie sú 1 MHz, 5 MHz a 10 MHz.

**19 Primárny etalón frekvencie {Primary Frequency Standard}**

Etalón, ktorého výstupná hodnota frekvencie je vytvorená v zmysle definície sekundy (SI) a správnosť hodnoty frekvencie je dosiahnutá bez externej kalibrácie.

V súčasnej dobe len ceziový etalón frekvencie je definovaný ako primárny etalón. Ostatné typy kvantových etalónov nemožno považovať za primárne etalóny.

**20 Etalón času a frekvencie {Time and Frequency Standard}**

Etalón majúci spoločné vlastnosti etalónu času a etalónu frekvencie.

**21 Globálny navigačný systém GPS {Global Positioning System}**

Úplný priestorový navigačný rádiový systém, založený na rozmiestnení 24 družíc obiehajúcich okolo Zeme. Umožňuje presnú trojdimenzionálnu navigáciu (zemskú dĺžku, šírku a výšku) a poskytuje informáciu o čase konformne s časom UTC [3: 31].

GPS systém zabezpečuje prenos časovej informácie z U.S. Naval Observatory Master Clock - USNO MC, ktorá je voči UTC šírená s neistotou menšou ako 100 ns. GPS je celosvetovo rozširovaný a dostupný zdroj o.i. presného času.

GPS systém vysiela signály : L1 1575,42 MHz - prvý navigačný signál, ktorý obsahuje C/A a P kód a navigačné dáta

L2 1227,6 MHz – druhý navigačný signál, ktorý poskytuje vysokopresnú navigáciu s vyhodnotením ionosférického oneskorenia a obsahuje P kód a navigačné dáta

L3 1381,05 MHz S pásmo riadiaci kanál (command channel) pre doplnkové, všeobecné informácie ( global burst detector)

**22 Metóda "common view" {GPS Common View Method}**

Metóda porovnávania etalónov času, ktorých pozícia (lokalizácia) je dostatočne presne známa. GPS prijímače so zapojenými etalónmi času merajú rovnaké satelity v rovnakom čase, čím sa dosiahne čiastočná redukcia atmosférických a ionosférických chýb v následnom vyhodnotení.

**23 Juliánsky deň JD {Julian Date, Julian Day}**

Juliánsky deň – priradené číslo dňa získané rovnomerným počítaním dní od určeného počiatku, ktorým je poludnie 01. januára roku 4713 pred Kristom {Julian Day zero}[3: 35].

**MJD** Modifikovaný Juliánsky deň - juliánsky deň s určeným počiatkom dňa 17. novembra 1858 ( 0 h UT) resp.  $MJD = JD - 2\,400\,000,5$  dní.

**TJD** {Truncated Julian Day}  $TJD = MJD - 50\,000$  dní resp. počiatok počítania dní je určený na deň 24. mája 1968; má periódu len 10 000 dní, 27,379 roka. Je to deň MJD indikovaný len na 4 posledné miesta. Dôvod zavedenia bol na použitie PB5 časového kódu v technických a vedeckých aplikáciách.

Poznámka. V poslednom čase, nakoľko je dostatočná kapacita technických prostriedkov, sa všeobecne používa pre označenie čísla dňa MJD t.j. indikuje sa číslo dňa na 5 platných miest. V tejto forme udáva aj BIPM Paríž svoje údaje vyhodnotenia časových stupníc etalónov Circulare - T.

#### **24 Správnosť meradla {Accuracy of a Measuring Instrument}**

Schopnosť meradla poskytovať hodnoty blízke skutočnej hodnote veličiny [1: 5.18].

#### **25 Reprodukovateľnosť {reproducibility}**

Tesnosť zhody medzi výsledkami meraní tej istej meranej veličiny a meraniami vykonávanými pri zmene meracích podmienok [1:3.7].

#### **26 Nastaviteľnosť {settability}**

Najmenšia hodnota chyby frekvencie alebo času, ktorá môže byť nastavená na zariadení v zhode s referenčnou hodnotou [4].

#### **27 Frekvenčná nestabilita {Frequency Instability}**

Štatistický odhad frekvenčných fluktuácií signálu za daný časový interval - meranie v časovej oblasti [3: 27].

Krátkodobá stabilita - meranie pre časový interval od 0,01 s do 100 s

Dlhodobá stabilita - meranie pre časový interval nad 100 s

Poznámka. V literatúre sa veľmi často pojem stabilita – nestabilita vyznačuje ten istý pojem, matematický výsledok.

#### **28 Allanov rozptyl, Allanova odchýlka {Allan Variance, Allan deviation}**

Štandardná metóda pre charakterizovanie frekvenčnej stability zdrojov frekvencie v časovej oblasti, používané pre vyhodnotenie krátkodobej a dlhodobej stability [3: 03]

#### **29 Chod {Aging}**

Systematická zmena frekvencie za sledovaný čas, ktorá nastáva v dôsledku príčiny zmien v oscilátore. Chod je zmena hodnoty frekvencie za daný čas, kedy externé vplyvy sú konštantné alebo určené [3. 02].

#### **30 Drif (frekvencie) { Frequency drift}**

Lineárna zložka (lineárny regresný koeficient) systematickej zmeny hodnoty frekvencie oscilátora v čase [3: 15].

Do hodnoty driftu frekvencie oscilátora zahrňujeme chod oscilátora (aging) a vplyv zmeny prostredia a ostatných vonkajších faktorov pôsobiacich na zmenu frekvencie oscilátora.

#### **31 Frekvenčná odchýlka {Frequency deviation}**

Rozdiel hodnôt frekvencie v dvoch rozličných časoch toho istého frekvenčného signálu alebo rozdiel hodnôt okamžitej frekvencie a jej priemernej hodnoty [3: 22].

#### **32 Frekvenčný rozdiel {Frequency difference}**

Rozdiel hodnôt frekvencie dvoch rozdielnych zdrojov frekvencie (oscilátorov) [3: 23].

#### **33 Frekvenčný ofset {Frequency offset}**

Rozdiel hodnôt frekvencie realizovaného (daného) zdroja frekvencie od referenčného (etalónového) zdroja frekvencie [3: 25].

Pozn. V podobnom význame sa používa aj termín frekvenčný posuv - Frequency shift.

#### **34 Etalón SMU**

Etalón, ktorý slúži na uchovávanie a reprodukovanie hodnoty príslušnej jednotky a stupnice hodnôt fyzikálnych a technických veličín na najvyššej metrologickej úrovni v SR a tak poskytuje základ správnosti a jednotnosti meraní na území SR [OS/20/2002].

#### **35 Schválenie národného etalónu / etalónu SMU**

Potvrdenie splnenia metrologickým ústavom kladených požiadaviek na národný etalón v zmysle zákona a vyhlášky resp. plnenia požiadaviek na etalón SMU [OS/20/2002].



### 3. Definícia jednotky času.

Čas je jednou zo základných fyzikálnych veličín, ktorý spolu s duálnou veličinou frekvenciou má mimoriadny význam pre chod celej spoločnosti. V systéme základných jednotiek medzinárodnej sústavy SI sa jednotka času - sekunda nachádza, spomedzi siedmych základných jednotiek, na treťom mieste. Možno konštatovať, že v súčasnej dobe je jednotka času, spomedzi ostatných základných jednotiek, realizovaná s najväčšou presnosťou - najmenšou chybou. Realizácia jednotky času na báze atómových hodín sa u najlepších zariadení dosahuje s relatívnou štandardnou neistotou v ráde  $10^{-14}$  až  $10^{-16}$  (nešpecifikujeme merací čas). Týmto by jednotka času, aj vzhľadom na svoj veľmi široký význam, mala byť zaradená v sústave jednotiek SI na prvom mieste.

Prvým etalónom času v novodobých dejinách, od ktorého sa odvodzovalo meranie času a vydržal v podstate až do druhej polovice minulého storočia, bola naša planéta Zem. Presnejšie uvedené, meranie času bolo určované od zemského rotačného pohybu okolo vlastnej osi – z dennej periódy. Neskôr bol vzatý za základ merania pohyb Zeme okolo Slnka - ročná perióda. Z tejto doby pochádza aj určovanie času hlavne pracovníkmi z oblasti astronómie, kde bola pre tento účel konštruovaná špeciálna pozorovacia a meracia technika (pasážniky) a vytvorené programy merania akceptované na celom svete. Hodnota obehu Zeme okolo Slnka pre rok 1900 bola vzatá ako referenčná hodnota pre určenie hodnoty jednotky 1 s resp. pre určenie hodnoty peródy žiarenia Cs 133 v etalóne času.

V medzivojnovom období minulého storočia rozvoj piezokeramiky a úspešné konštrukcie oscilátorov ukázali, že existuje variácia pohybov Zeme, ktorá prekračuje hodnotu niekoľko milisekúnd za deň. Dlhodobým meraním bolo dokázané, že "etalón Zem" má, uvedené dnešnou terminológiou, štandardnú neistotu v ráde  $10^{-9}$ .

Pokrok mnohých technických disciplín a hlavne základného bádateľského výskumu po roku 1950 prudko odštartoval zlepšovanie technických parametrov základných periodických dejov sledovaných v atónoch a molekulách rôznych materiálov. Výskumné práce boli natoľko úspešné, že v roku 1967 na 13. Generálnej konferencii pre miery a váhy v Paríži bola schválená a prijatá nová definícia pre základnú jednotku času - sekundu, ktorá je odvodená od periodických javov v základnej štruktúre atómov Cs 133.

Prijatá definícia jednotky času (1967) má znenie:

***Sekunda (s) je čas rovný 9 192 631 770 periódam žiarenia, ktoré zodpovedá prechodu medzi dvomi hladinami veľmi jemnej štruktúry základného stavu atómu cézia 133.***

V zmysle prijatej definície jednotky času nastal rozvoj výroby etalónov času a frekvencie, hlavne céziového etalónu v dvoch modifikáciách. Veľké národné laboratóriá stavali typy s tzv. dlhou trubicou a špičkové komerčné firmy (Hewlett Packard) malé, prenosné zariadenia, priemyselný typ. Požiadavka na malé kompaktné zariadenia bola daná aj použitím v družiciach, lietadlách a ponorkách, ako základ pre veľmi presnú navigáciu. Konštrukcie etalónov času a frekvencie na báze iných prvkov (vodík, rubídium a žiarenia vo svetelnej oblasti) sú vo vývoji a už sú dosahované podstatne lepšie hodnoty ako u Cs etalónu. Taktiež technika nadviazania hodnôt frekvencií je zvládnutá a napr. pomocou femtosekundového generátora je priamo nadviazaná frekvencia (vlnová dĺžka) HeNeJ2 laserového žiarenia – etalónu dĺžky na hodnotu frekvencie etalónu času (Cs).

#### 4. Organizácia a úroveň metrológie času a frekvencie vo svete.

Výsledky základného výskumu, hlavne práce Rabiho, podnietili vznik konštrukcie etalónu času - atómových hodín na báze využitia základných procesov v atómoch cézia 133. Už v roku 1949 boli uvedené do prevádzky v NBS kvantové hodiny, ktorých neistota merania jednotky (1s) bola porovnateľná s hodnotami danými astronomickými meraniami pohybov Zeme [4]. V NPL v roku 1955 boli uvedené do činnosti atómové hodiny, pre ktoré bola nameraná hodnota chodu  $10 \mu\text{s/d}$ . V NBS boli v r. 1960 skonštruované hodiny o 1 rád presnejšie ako v NPL ( $1\mu\text{s/d}$ ) a zlepšený typ, uvedený do prevádzky v r. 1965 už dosiahol hodnoty chodu  $50 \text{ ns/d}$ . [4]

Na základe týchto prác, bol vo firme Hewlett Packard skonštruovaný prvý model atómových hodín, typ 5060 a neskôr zlepšený model 5061A, ktorý už bol priemyselne využiteľný typ t. j. má formu prenosného zariadenia. Touto konštrukciou nastala nová éra vo využívaní tak vysokopresného a hlavne stabilného zariadenia. Mimo využitia vo vojenskej sfére (čo je primárna doména využiteľnosti atómových hodín), začína sa budovať a organizovať systém na porovnávanie týchto etalónov, lebo už počiatkom 70-tych rokov vlastnilo atómové hodiny niekoľko desiatok inštitúcií. Úlohu svetového koordinátora vzal na seba Úrad pre miery a váhy v Paríži (BIPM) a vytvoril časovú sekciu BIPM-BIH, ktorá úspešne pracuje do dnešných dní.

Práca BIPM Paríž je vo veličinách čas a frekvencia svojim spôsobom mimoriadna. Je to vytvorené centrum trvalého medzinárodného porovnávania etalónov času a frekvencie pre metrologické a ostatné inštitúcie. Umožnenie tejto činnosti je dané existenciou svetových navigačných systémov, ktoré pracujú na báze atómových hodín.

Jednotlivé inštitúcie, vlastniace atómové hodiny a účastniace sa medzinárodného porovnávania etalónov času v BIPM, podľa dohodnutého časového rozvrhu vykonávajú merania voči dohodnutému referenčnému zdroju. Svoje merania zasielajú do BIPM, z ktorých výsledkov sa stanovujú hlavne dva výsledky. Z priemernej váhovanej hodnoty, z jednotlivých atómových hodín sa vytvára časová stupnica TAI a následne určuje (priemerný) svetový čas UTC. Z odchýliek jednotlivých atómových hodín, voči priemernému času UTC sa vypočítajú časové odchýlky pre základný - 5 dňový interval, ktoré sú hlavným kvalitatívnym parametrom jednotlivého etalónu. BIPM spätne v Circulari - T oznamuje v mesačných intervaloch výsledky výpočtov parametrov pre jednotlivé atómové hodiny ako odchýlku časovej stupnice UTC – UTC(i)-tej zúčastnenej inštitúcie.

V súčasnej dobe, medzinárodná časová stupnica TAI a svetový koordinovaný čas UTC a tvorba základnej jednotky svetového etalónu času "sekundy" vytvára viac ako 300 ks atómových hodín v 72-tich inštitúciách.

Jednotlivé etalóny tvoriace v BIPM svetovú časovú stupnicu UTC, sú hlavne produkty firmy Hewlett Packard modely 5061A a najnovší typ 5071 A. Významné metrologické laboratóriá (NIST, PTB, VNIITRI) majú dlhodobo v prevádzke niekoľko kusov céziových etalónov laboratórneho typu etalónov času s dlhou céziovou trubicou.

V posledných rokoch uverejňuje BIPM Paríž vo svojej výročnej správe, v časovej sekcii, prehľad vybavenosti jednotlivých laboratórií atómovými hodinami. Uvedená časť je uvedená v prílohe tejto správy. Z výsledkov práce časovej sekcie BIPM hodno spomenúť hlavne nasledovné údaje.

Tvorby časovej stupnice TAI a času UTC sa zúčastňuje, stav v roku 2008, 72 laboratórií a iných inštitúcií. Spolu udávajú v prevádzke 355 atómových hodín, z ktorých je v činnosti 243 individuálnych priemyselných céziových atómových hodín, 100 vodíkových maserov a 12 laboratórných céziových etalónov. Zaujímavý údaj pre nás je priemerný počet individuálnych komerčných etalónov. Keď z celkového počtu 243 ks odpočítame 72 kusov, pretože USNO ich práve toľko má v prevádzke, tak pre ostatných 71 inštitúcií vychádza skoro 2-3 komerčné etalóny na jedno laboratórium. Badateľný nárast je v počte vodíkových etalónov, ktoré sa začínajú už v plnej miere prevádzkovať.

Ďalší badateľný nárast je aj nárast etalónov v krajinách s menej vyspelou ekonomikou ako napr. Vietnam, Kazachstan, Srbsko, Litva, Lotyšsko, Bielorusko atď.

Tab. č. 4.1 Prehľad etalónov času vo svete - BIPM Paríž 2008

Sledované obdobie	1995	2003	2008
Počet zúčastnených laboratórií	48	54	72
Počet komerčných Cs etalónov	266	261	243
Počet laboratórných CS etalónov	18	13	12
Počet vodíkových maserov	58	75	100
Priemer. počet komer. Cs etalón bez USNO	4 / lab.	4 / lab.	2,4 / lab.

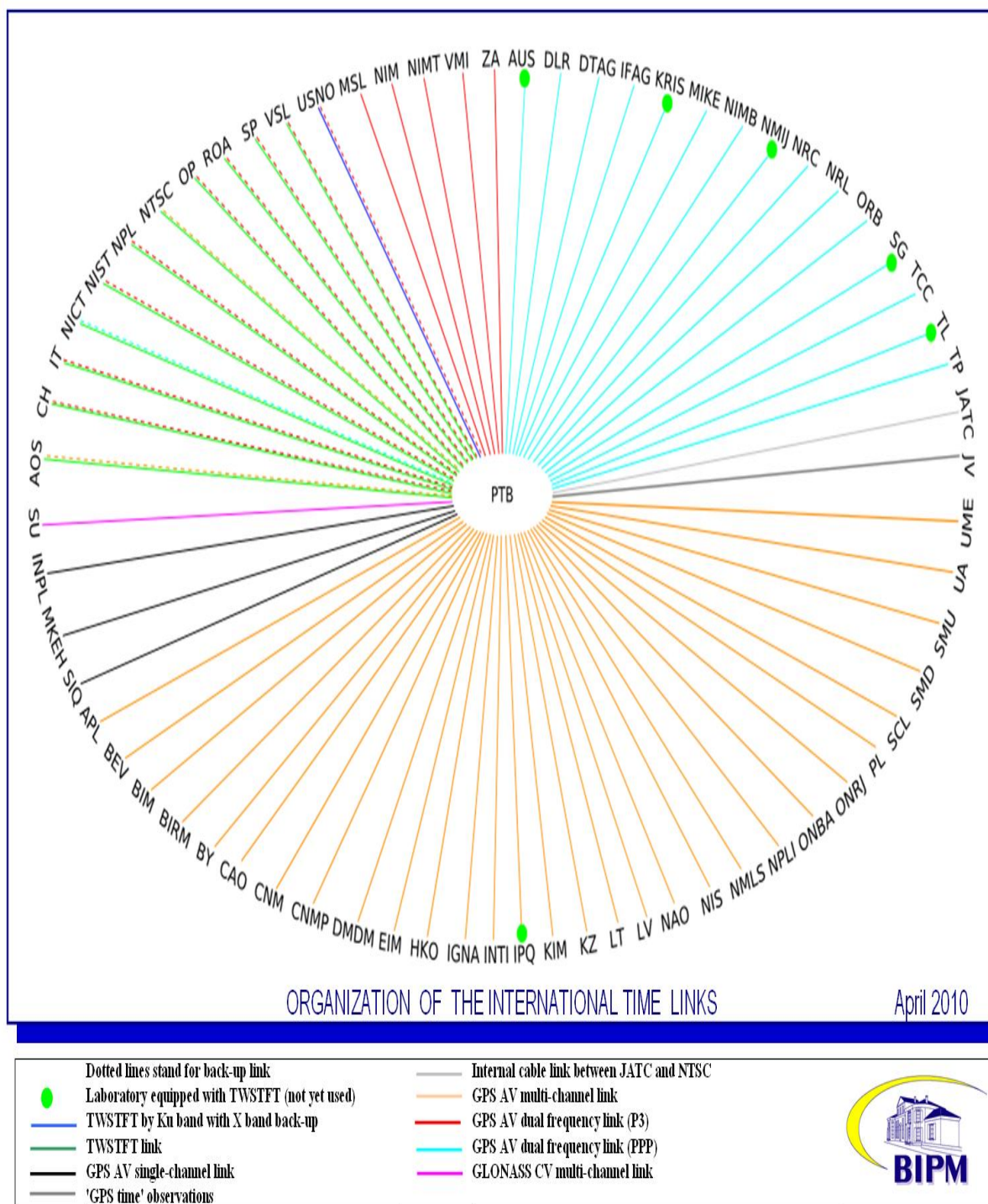
Pozn. Uvedené údaje sú spracované na základe údajov z ročenky BIPM - Annual Report of the BIPM Time Section 2008

#### 4.1 Organizácia medzinárodného porovnávania etalónov času

Ďalšou veľmi významnou časťou v systéme tvorby svetovej etalónovej hodnoty jednotky času je okrem základného technického vybavenia etalónov aj systém (spôsob) medzinárodného porovnávania etalónov. Základná metóda bola a stále zostáva nevyhnutnosťou - priame porovnanie etalónov na jednom mieste tzv. metóda transportných hodín. Ostatné metódy majú základ vo využití niektorých všeobecných alebo špeciálnych signálov vysielaných pre rôzne účely. Pre využitie porovnávania etalónov sa používajú resp. používali navigačné systémy - námorný systém Loran-C, priestorový (kozmický) navigačný systém NAVSTAR - GPS a GLONASS (Rusko) a ďalej sieť vysielacích staníc pracujúcich v dlhovlnnom pásme - zrušená stanica OMA 50 kHz za ČSFR, DCF 77,5 kHz NSR a ďalšie. Veľkého rozvoja dosiahla aj tzv. televízna metóda, ktorá bola vypracovaná v ÚRE Praha a bola v používaní pri porovnávaní etalónov času v európskych krajinách.

V posledných rokoch po doplnení počtu satelitov na plný počet (24 ks a 4 ks rezerva) sa jednoznačne za prioritný spôsob porovnávania etalónov času využíva systém NAVSTAR - GPS metódou "common view" a metódou trvalého merania „multi-channel measurement“ – viackanálovým prijímačom. (8 až 12)

Na obr. 4. 1.1 je prehľadným spôsobom vyobrazený svetový stav používaných porovnávacích metód a prostriedkov, pričom označenie jednotlivých laboratórií je v súlade s uvedenými značkami používanými pre jednotlivé časové stupnice v BIPM ako uvádza posledná výročná správa BIPM za rok 2010, uvedené na str.



obr. 4.1.1 Diagram organizácie tvorby svetového času UTC a porovnávacích meraní, pričom technicky je priama nadväznosť na PTB organizačne všetko zabezpečuje BIPM Paríž.

Diagram prevzatý z výročnej správy BIPM, vydanie apríl 2010.

## 5 Technické požiadavky pracovísk na etalóny času a frekvencie v SR.

Prístrojový park, ktorý je potrebné overovať a kalibrovať v SR je veľmi široký. Obsahuje meracie zariadenia, etalóny, od najkvalitnejších - kvantové etalóny až po netermostatizované kryštálové oscilátory, ktoré sa nachádzajú v rôznych meracích zariadeniach. Technicky môžeme definovať túto oblasť v rozsahu relatívnej hodnoty chyby frekvencie od rádu  $10^{-12}$  až po  $10^{-4}$ .

Požiadavky z rôznych odborov na výkon metrológie času a frekvencie a tým na výber etalónov a meracích metód možno zhrnúť nasledovne.

Veľmi dôležitý je sektor ministerstva obrany, ktorý vlastní techniku a etalóny rozmanitej výroby a širokom frekvenčnom rozsahu. Z hľadiska požiadavky na minimum chyby frekvencie, najvyššie požiadavky reprezentujú kvantové etalóny - etalón rubídiový (relatívna hodnota chyby frekvencie  $10^{-11}$ ) a veľké množstvo špeciálnej, jednoúčelovej meracej techniky a generátorov (asi do 50 GHz), ktoré nepresahujú rel. hodnotu chyby frekvencie v  $10^{-10}$  ráde. Veľmi obdobné požiadavky má oblasť spojov, ktorú zastupujú napr. Slov. telekomunikácie. Ich najvyššia požiadavka je tiež na etalón kvantového typu a etalón frekvencie, ktorého vnútorný oscilátor je riadený zo satelitného systému GPS. Ostatná meracia technika a etalóny sú na úrovni relatívnej hodnoty chyby frekvencie v rozsahu  $10^{-10}$  až  $10^{-7}$  rádu.

Druhú oblasť tvorí sektor, ktorý pracuje hlavne s časovou informáciou. Tu je dôležitý parameter, požiadavka na rozdiel časovej stupnice od času UTC. Sem patrí oblasť astronómie a kozmického výskumu, kde sa požadujú hodnoty v rozsahu  $1\mu\text{s}$  až 1 ms. Energetika zavádza kontrolný systém s požiadavkou na rozdiel časových stupníc asi 1 ms. Samostatnú skupinu tvorí hodinársky priemysel a tzv. všeobecný užívateľ (rozhlas, televízia a pod.), ktorých požiadavky sú v odchýlke časových stupníc, štandardnej neistoty 0,1 ms až 0,1 s. Novou požiadavkou na zabezpečenie správneho času, stabilitu časovej stupnice a bezpečnosť je požiadavka od NBU, ktorá sa dá hodnotou zaradiť do požiadaviek ako u všeobecného užívateľa.

Veľkú skupinu požiadaviek tvoria frekvenčné a časové zariadenia, ktoré sú používané v rôznych oblastiach techniky. Doménu tvorí prístroj na meranie frekvencie – elektronický čítač, ktorých typov je veľký rozsah. Hlavná odlišnosť, z pohľadu na metrologické zabezpečenie, je v dosahovaní chyby frekvencie, ktorá je daná použitým vnútorným oscilátorom. Obdobný problém sa týka aj veľkého počtu rôznych zariadení na meranie technických veličín, ktoré pre svoju funkciu majú zabudovaný oscilátor rôznych typov a nominálnych hodnôt. Tieto zariadenia tvoria kompaktné meracie celky, alebo len funkčné bloky, meracie prevodníky. Spravidla majú zabudovaný oscilátor typu XO, TCXO menej už OCXO.

Osobitnou skupinou sú komparátory frekvencie s násobičom frekvenčnej odchýlky, ktoré vyžadujú pre meranie signály s nízkou hladinou prídavných šumov.

Z uvedených požiadaviek jednoznačne vyplýva, že zabezpečenie metrológie času a frekvencie v SR je možné minimálne s kvantovým etalónom času a frekvencie, ktorý pracuje v zmysle definície základnej jednotky sekundy t.j. na báze Cs 133. Nutným predpokladom je jeho nadviazanie na UTC čas v BIPM Paríž cez GPS navigačný satelitný systém. Súhrnný prehľad je uvedený v tab. č. 5.1 a 5.2.

Tab. č. 5.1 Súhrnný prehľad požiadaviek metrológie SR

Užívateľ	relatívna chyba frekvencie	min. rozdiel časovej stupnice	Účel , prístroje
	$\delta_f$	$e_{ct}$	
Ministerstvo obrany	$10^{-11}$ $10^{-8} - 10^{-10}$	10 $\mu$ s 10 ns	etalón rubídiový, etalón riadený DCF, generátory, čítače do 12 GHz
Ministerstvo vnútra	$10^{-8}$	10 $\mu$ s	radary do 34 GHz, persp. do 86 GHz, rýchlosť-časový interval
Slovenské telekomunikácie	$10^{-12}$ $10^{-8} - 10^{-10}$	10 ns 10 ns	Cs etalón, GPS prijímače, čítače, generátory
Energetika	$10^{-12}$ $10^{-8} - 10^{-10}$	10 ns 1 ms 10 ns	GPS prijímače, časová stupnica, čítače, generátory
Všeob.užívateľ- STV,SR chronometria hodinársky priemysel, geodézia, astronómia	$10^{-8}$ $10^{-9}$ $10^{-9}$ $10^{-8}, 10^{-10}$	0,1 s 1 $\mu$ s	časová stupnica, meracia technika

Tab. č. 5.2 Prehľad požiadaviek členený podľa kalibrovaných zariadení

č.	TYP ZARIADENIA	relatívna chyba frekvencie	Poznámka
1	kvantový etalón , (Cs, Rb)	$10^{-13} - 10^{-10}$	
2	etalón riadený zo signálu GPS	$10^{-13} - 10^{-11}$	
3	etalón riadený z DVD signálu – DCF 77	$10^{-11} - 10^{-7}$	
4	syntezátory frekvencie s OCXO	$10^{-11} - 10^{-6}$	
5	generátory OCXO	$10^{-10} - 10^{-6}$	
6	elektronické čítače	$10^{-10} - 10^{-6}$	Rb: $10^{-12}$
7	zariadenia s oscilátormi OCXO, TCXO, XO	$10^{-10} - 10^{-4}$	
8	časomerné zariadenia OCXO, TCXO, XO	$10^{-10} - 10^{-4}$	1 s/d – 0,001 s/d
9	elektronické stopky	$10^{-7} - 10^{-5}$	1 s/d – 0,01 s/d
10	Komparátory a násobiče frekv. (1, 5, 10) MHz	$10^{-13} - 10^{-10}$	

## 6. Etalón času a frekvencie SMÚ

### 6.1 Zostava etalónu

Vlastný etalón času a frekvencie tvoria tri kusy Céziových atomových hodnín HP 5071A, z ktorých jeden kus (CS I) generuje časovú stupnicu UTC(SMU). Zároveň je priamo napojený na medzinárodné porovnávacie meranie cez GPS/Glonass na BIPM.

Druhý etalón HP 5071A je zapojený a je pripravený ako „teplá“ záloha pre prípad poruchy prvého etalónu, je vo funkcii svedeckého etalónu.

Tretí etalón nie trvale zapojený, slúži ako „studená“ záloha je vo funkcii svedeckého etalónu.

NÁZOV ETALÓNU	VÝROBCA	TYP	Výrobné číslo / výrobné číslo Cs trubice	evidenčné č. SMU
Primary Frequency Standard	Hewlett Packard	HP 5071A	3608A0 1193 3124 A000 486 (S)	III – 07 223
Primary Frequency Standard	Hewlett Packard	HP 5071A	368A0 1063 3124 A000 437 (S)	III – 6404
Primary Frequency Standard	Hewlett Packard	HP 5071A	3608A0 1148 3124 A00 47 (S)	III – 07 228

### 6.2 Základné technické parametre etalónov.

Základné technické parametre etalónov - etalónu času a frekvencie HP 5071A a svedeckého etalónu HP 5071A sú uvedené v technickej dokumentácii výrobcu, uložené v lab. času a frekvencie SMU.

### 6.3 Svedecký etalón

Do zostavy etalónu času a frekvencie SMU sú zaradené dva etalóny HP 5071A, ktorý sú vo funkcii svedeckých etalónov. Jeho hlavným poslaním je, ako je to zaužívané v ostatných metrologických laboratóriách času a frekvencie, plne nahradiť funkciu prístroja, ktorý je zaradený ako etalón - v našom ponímaní nazvaný "hlavný" etalón, v prípade poruchy alebo inej okolnosti, ktorá môže nastať v prerušení generovania časovej stupnice UTC(SMU).

Takéto riešenie vyplýva hlavne z dôvodov merania a vyhodnotenia jednotlivých prístrojov. Etalón, ktorý je zaradený ako "hlavný" etalón sa priamo porovnáva cez prijímač

GPS signálov a jeho hodnoty sú zasielané do BIPM. Keďže SMÚ t.č. vlastní len jeden GPS prijímač, nie je možné priamo v rovnakom čase vykonávať meranie GPS signálov viacerých etalónov. Z tohto dôvodu sa svedecký etalón meria len voči hodnote hlavného etalónu, ktorého hodnota je priamo nadviazaná na BIPM Paríž.

Zapojenie dvoch prístrojov už umožňuje v prípade poruchy alebo akejkoľvek pochybnosti o etalónovej hodnote vyhodnotiť v krátkom čase vadné zariadenie. Je to bežný spôsob práce v laboratóriu času a frekvencie. Zároveň umožňuje riadenie a distribúciu časových signálov s korekciami - použitie fázového posuvu časovej stupnice.

Ďalší dôvod k tomuto usporiadaniu nás viedol i preto, lebo všeobecne céziové etalóny majú obmedzený čas svojej funkcie a časová stupnica by sa nemala prerušiť. Časové ohraničenie plynie v dôsledku vyčerpania cézia v trubici, čím sa následne ukončí funkcia celého prístroja. Ako bolo už skôr uvedené, štandardné laboratórium má trvale v prevádzke asi 3 - 4 ks etalónov.

#### 6.4 Princíp činnosti Cs etalónu

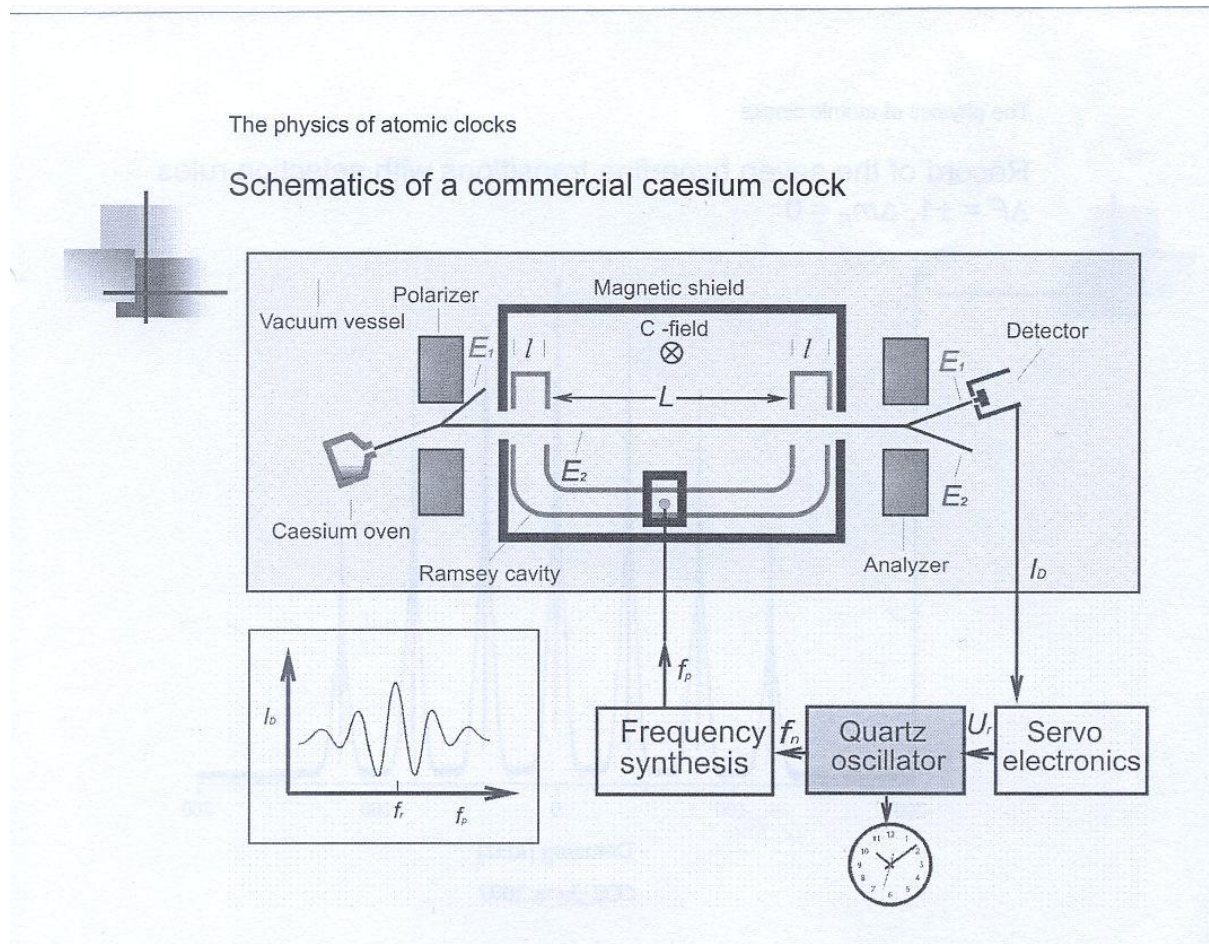
Etalón času a frekvencie HP 5071A je elektronické zariadenie, ktoré generuje na výstupe etalónový signál jednotky času 1 s, s možnosťou fázového posuvu časovej stupnice, a etalónový signál frekvencie o nominálnej hodnote frekvencie 5 MHz a 10 MHz. Obidva výstupy etalónových signálov – 1 s, 5 MHz a 10 MHz sú zdvojené t.j. prístroj má dva koncové stupne.

Princíp činnosti céziového etalónu frekvencie je založený na absorpcii mikrovlnného žiarenia v atónoch cézia 133. Pri absorpcii tohto žiarenia dochádza ku kvantovému prechodu medzi hyperjemnou štruktúrou základného stavu. Na základe interakcie jadrového spinu ( $I=7/2$ ) s elektrónovým spinom ( $J=\pm 1/2$ ) vznikajú podhladiny  $F = I + J$ , pričom pre takto vzniknuté podhladiny  $F=3$  a  $F=4$ , je frekvencia tohto kvantového prechodu pri nulovom vonkajšom magnetickom poli  $f_0 = 9\,192\,631\,770$  Hz, obr. 3. Pôsobením vonkajšieho magnetického poľa (Zeemanov jav) sa každá podhladina rozštepí na  $2F + 1$  energetických hladín, charakterizovaných kvantovými číslicami  $m_f$ .

Schéma céziového etalónu frekvencie je na obr. 6.4.1, ktorého hlavná časť je céziová trubica (4) s vákuom lepším ako  $10^{-6}$  Pa. Atómy cézia 133 vychádzajú z piecky (1), ktorej teplota je  $80^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}$ , a cez clonu (2) vstupujú do silného nehomogénneho magnetického poľa (3), v ktorom prichádza k rozdeleniu ich dráh podľa kvantového stavu. Atómy s kvantovým číslom  $F3$  sú týmto poľom fokusované, prechádzajú rezonátorom (4) do oblasti ďalšieho silného nehomogénneho jednosmerného magnetického poľa (6). V rezonančnej dutine dochádza k stimulovaným prechodom z hladiny  $F3$  na hladinu  $F4$  tým, že atómy Cs 133 absorbujú na rezonančnej frekvencii energiu mikrovlnného poľa dodávanú monofrekvenčným zdrojom (10). Časť atómov, ktoré neboli vybudené na hladinu  $F4$ , ostali v stave  $F3$ , sú druhým silným nehomogénnym magnetom odklonené a nedopadnú na detektor (8). Ostatné atómy, ktoré sú na hladine  $F4$ , dopadnú na detektor (8). Tento je tvorený žeraveným wolframovým drôtikom. Atómy na hladine  $F4$  sú ionizované ako  $\text{Cs}^+$  a sú zachytávané na kolektore. Prúd detektoru je teda mierou interakcie atómov Cs 133 s mikrovlnným poľom v rezonátore.



Pokiaľ frekvencia mikrovlnného budiaceho žiarenia nesúhlasí s hodnotou frekvencie kvantového prechodu (9, 192 631 GHz) prúd detektora je nulový. V opačnom prípade, podľa hodnoty odchýlky frekvencie dostávame hodnotu prúdu detektora, ako ukazuje obr.6. 4. Zmeny prúdu sú v ďalšej elektronickej časti etalónu spracovávané na ladiace napätie, ktoré riadi frekvenciu generátora (9). Budiaci generátor je kryštálový oscilátor 5 MHz. V ustálenom stave, kedy elektronické obvody sú v zasynchronizovanom stave, výstupná frekvencia tohto oscilátora je etalónový signál určený pre ďalšie metrologické účely.



obr. 6.4.1 Schéma činnosti etalónu času a frekvencie - kvantových céziových hodín

## 6.5 Prídavné zariadenia k etalónu času a frekvencie .

K etalónu času a frekvencie je potrebné ešte pričleniť zariadenia, ktoré plnia v tomto prípade dve funkcie:

- zariadenie pre vykonávanie trvalého medzinárodného porovnávacieho merania cez GPS/Glonass satelitný systém a
- zariadenia slúžiace na odovzdávanie jednotky a stupnice (hodnoty frekvencie) na ďalšie metrologické účely .

1. 1 ks HP 5087A oddeľovací zosilňovač frekvenčných signálov, výr. č. 464, ktorý má výstupy : 4 x 1 MHz, 4 x 5 MHz a 1 x 10 MHz , výstupná úroveň 5 V / 50  $\Omega$ , umiestnenie v lab. č. 139.  
Pozn. Technické parametre tohto oddeľovacieho zosilňovača nemajú vplyv na chybu frekvencie, len na krátkodobú stabilitu frekvencie a preto nie je udávaná chyba a neistota tohto prístroja.
2. Satelitný prijímač TTS – 3 (Time Transfer System – 3) s vlastnou GPS/Glonass výrobné číslo 019, anténou umiestnenou na streche budovy „H“. Súčasťou prijímača je riadiaca časť – procesor s programovým vybavením pre porovnávacie merania v zmysle protokolu BIPM.
3. Satelitný prijímač systému NAVSTAR - GPS, Austron M 2200 výr. číslo 098Y - 12210973, umiestnený v lab. č. 329, GPS anténa je nad miestnosťou č. 329 na streche budovy "H"  
K prijímaču patrí výpočtová technika (nie je nutné špecifikovať) a jednoúčelový program, ktorý transformuje výsledky merania do požadovaného formátu BIPM. Prijímač M2200, zakúpený v r. 1993 je ako záloha pre čas výpadku TTS-3, od roku 2008 nezapojený.
4. Elektronický čítač Agilent Technologies 53 182 v. č. MY 400002343 ev. č. III - 07111
5. Elektronický čítač – Universal Time Interval Counter, Stanford Research System (SRS), Model SR 620 , v.č. 4427, ev.č. III – 07 496
6. Záložný zdroj jednosmerného napätia 24 V .  
Napájacie Pb akumulátory 12 x 2 V / 800 Ah. Batérie sú uložené v miestnosti č. 151 určenej iba pre záložné zdroje.
7. Meradlá klimatických podmienok laboratória uloženia etalónov H č. 139 .  
1 ks Hg sklenený teplomer rozsah merania teplota (18 až 24) °C , delenie po 0,01 °C  
1 ks vlasový vlhkomer Fischer v.č. 6010

Prídavné zariadenia k etalónom t.j. oddeľovací zosilňovač, záložný jednosmerný zdroj, merací prijímač GPS signálov a zariadenia k meraniu klimatických podmienok nie sú trvalou organickou súčasťou etalónu. To znamená, že sa môžu počas činnosti etalónu meniť, je možná ich zmena za iný typ, iný kus, iný model zariadenia s rovnakou funkciou, pretože nemajú vplyv na metrologické vlastnosti etalónu., Tieto zariadenia však nesmú absentovať pri činnosti etalónu.

## 6.6 Špecifikácia, identifikácia a umiestnenie etalónov

Etalón času a frekvencie (hlavný etalón), svedecké etalóny sú umiestnené v objekte budovy H lab. č. 139, čo je suterénna miestnosť s klimatizáciou.

Záložný jednosmerný napájací zdroj 24 V / 800 Ah je vytvorený z 12 ks olovených článkov, ktoré sú trvale udržiavané z nabíjacieho zdroja na 2 x 13,4 V až 13,8 V. Uloženie je v akumulátorovni, miestnosť č. 151

GPS prijímače, sú umiestnené v budove "H" na treťom poschodí miestnosť č. 329 (priamo pod strechou) z dôvodu čo najkratšieho vedenia signálu z antény pre GPS prijímač.

Ostatné zariadenia, ktoré vlastne slúžia pre prácu v laboratóriu sú umiestnené v lab. č. 140, budova H, lab. je klimatizované.

## 6.7 Technická dokumentácia etalónu

Etalóny času a frekvencie a ostatné prídavné zariadenia sú všetko firemné výrobky, od firmy Hewlett Packard. Tieto zariadenia majú firemnú dokumentáciu od výrobcu v rozsahu, ktorý bežne dodávajú. Súbežne pri nákupe bolo brané na zreteľ možnosti a stav zabezpečenia servisu. Vo všetkých prípadoch je táto služba zabezpečená, nevynímajúc céziové atomové hodiny. V dodanej dokumentácii sú údaje, ktoré sme požadovali k funkcii.

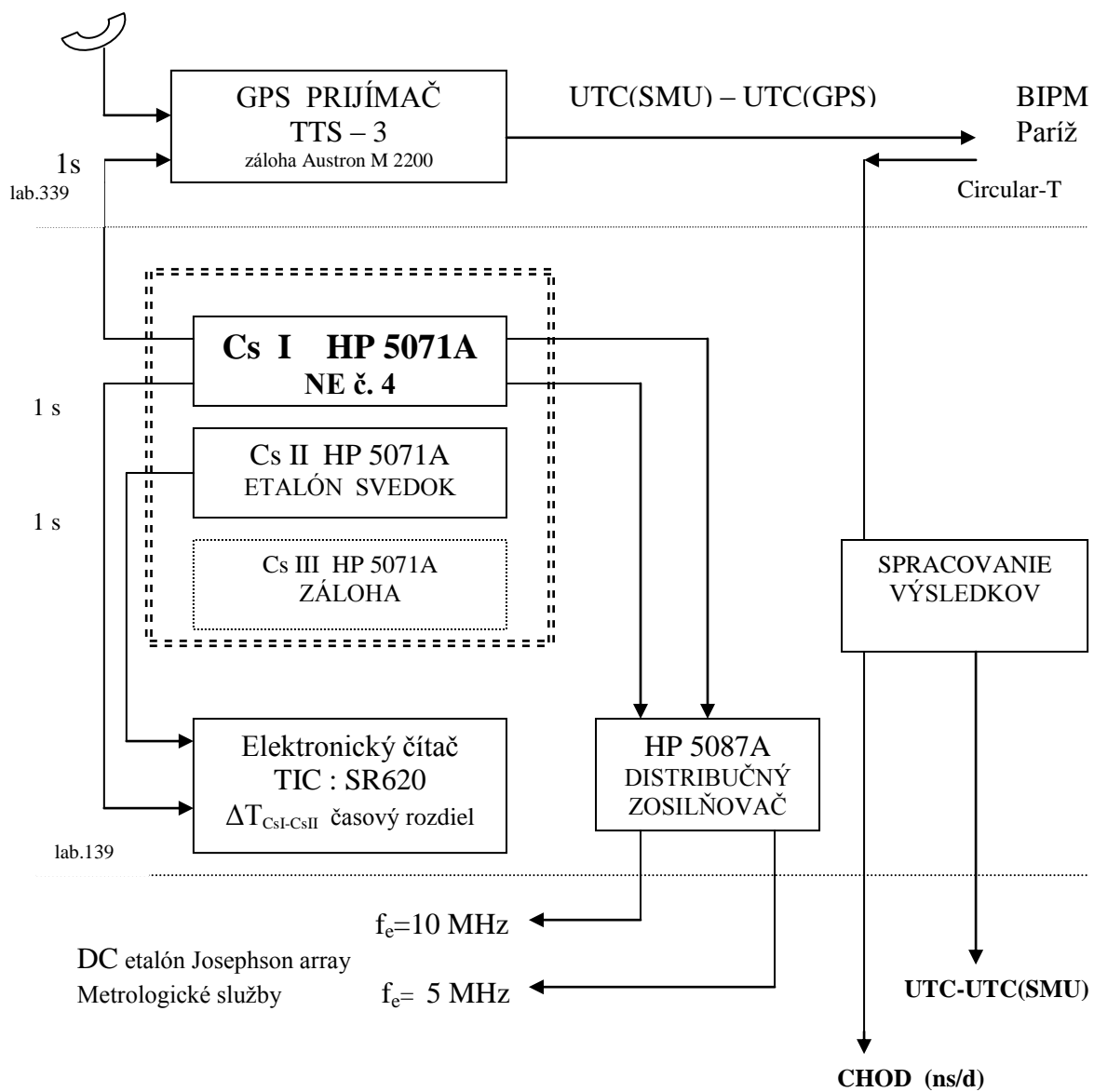
K etalónu času a frekvencie SMÚ bol ešte v roku 1986 zriadený denník etalónu, do ktorého sa zapisujú všetky dôležité a podstatné informácie okolo etalónu. Denník bol zavedený v súvislosti s prvým vyhlásením etalónu ako štátneho etalónu pre ČSFR v roku 1986 [21]. Najdôležitejšou časťou zápisov, ktoré hlavne spadajú do procesu uchovávanía etalónu, je záznam o vnútorných parametroch etalónu t.j. Cs prúd trubice a s tým súvisiace budiace napätie, parametre riadenia interného oscilátora. Prúd Cs trubice je dôležité sledovať z toho dôvodu, lebo indikuje životnosť Cs trubice a tým celého zariadenia. Firma deklaruje náplň cézia na asi 8 rokov, náš etalón už pracuje 11 rokov – blíži sa koniec životnosti trubice.

Ďalšou dôležitou informáciou sú súradnice GPS antény, ktoré boli premerané doposiaľ 2 x – druhý krát keď bol inštalovaný nový GPS/Glonass prijímač TTS – 3. Hodnoty súradníc GPS antény sú vložené v denníku etalónu.

K dokumentácii etalónu patria hlavne výsledky porovnávacích meraní z BIPM, ktoré sú za roky 2005 až 2010 v tejto správe, sú uložené v C210 SMU a v nespracovanej forme na web BIPM pod UTC(SMU). Sú súčasťou aj výročnej správy riešenia úlohy uchovávanía etalónu .

Pravidlá uchovávanía etalónu sú vypracované ako samostatný materiál, ktorý tvorí prílohu tejto súhrnnej správy.

## 6.8 Diagram – dispozícia etalónu času a frekvencie SMU: NE č. 4



## 7. Výsledky, vyhodnotenie etalónu času a frekvencie

Organizácia medzinárodných porovnávaní etalónov času a frekvencie je za poslednú dobu vytvorená ako nepretržitá služba. Nakoľko pre čas je jednotka trvale plynúca - zhmotnená do trvale opakujúcej sa zmeny stavu (zmeny elektrických veličín U, I a pod.) porovnávanie sa vykonáva v súčasnej dobe hlavne metódami cez pomocný referenčný signál. Použitie všeobecne dostupného, alebo špeciálne vytvoreného pomocného signálu prináša dve základné výhody :

1. Nie je potrebné transportovať etalón, nevznikajú prídavné chyby od rôznych zmien počas dopravy a pod.
2. Vzniká možnosť častého až trvalého (kontinuálneho) porovnávaní etalónov a to aj niekoľkých etalónov súčasne v rovnakom čase - metóda common view.

V prvopočiatoch porovnávaní (céziových) etalónov času sa za pomocný signál pre diaľkové porovnávaní etalónov užíval signál námorného navigačného systému Loran - C. Vykonávané merania dosahovali štandardnú neistotu merania pri porovnávaní časových stupníc etalónov času niekoľko mikrosekúnd za vyhodnocovanú periódu niekoľko hodín až dní. Ako z výsledkov tejto metódy sa uvádza, relatívna chyba frekvencie vnútorného oscilátora etalónov času bola dosahovaná v ráde  $10^{-11}$ . Hodnoty samozrejme boli veľmi závislé od výberu priemerovacieho intervalu.

Zlepšenie porovnávacích meraní, stále uvažované cez pomocný, referenčný signál, sa dosiahlo zavedením televíznej metódy. Táto metóda posunula neistoty merania do submikrosekundovej oblasti, vďaka hlavne zlepšenému komunikačnému kanálu - TV signál šírený v pásme stovák MHz.

Výrazného zlepšenia porovnávacích meraní etalónov času a frekvencie započalo s nástupom uvedenia do plnej prevádzky globálneho navigačného (satelitného) systému GPS - NAVSTAR.

Veľkou prednosťou tohto navigačného systému pre metrologické účely z oblasti času a frekvencie je ten fakt, že každý satelit má na palube dvojce riadené céziové atómové hodiny, ktoré sú trvale pod kontrolou pozemnej riadiacej stanice. Ako uvádza literatúra tieto atómové hodiny a vlastná poloha družice sú merané min. 2 x za deň a následne posielané nové korekčné dáta do GPS správy družice. Týmto celým systémom práce a riadenia každého satelitu garantuje systém GPS odchýlku časovej stupnice (referenčnej značky 1 s pre naše účely) max. 70 ns od časovej stupnice UTC, ktorá je tvorená v BIPM Paríž.

V SMÚ je v prevádzke od roku 2008 nový prijímač pre systém GPS/Glonass typu TTS – 3, ktorý zabezpečuje porovnávanie etalónu na BIPM v systéme metódy „multi-channel measurement“. Druhý prijímač GPS od firmy FTS Austron M 2200, dnes známej aj pod menom FTS Datum, Austin Texas USA je t. č. ako záloha pre prípad výpadku merania s TTS-3. Tento prijímač je meracie zariadenie pre meranie a základné vyhodnotenie

etalónov času aj frekvencie. Taktiež ho možno použiť ako presný generátor frekvencie vnútorného oscilátora v relácii na frekvenciu alebo čas GPS.

Organizácia merania etalónu času a frekvencie SMU je nasledovná.

BIPM Paríž dvakrát do roka vypracuje a každému účastníkovi následne zašle program GPS meraní – platí pre Austron 2200. Tento program je presný časový rozvrh (schedule list) pre čas a družicu, ktorá sa má merať. Každá družica má svoj kód, označený PRN XX. Najviac môžeme merať 48 družíc, t.j. 2 x denne každú družicu. Plný počet družíc pre navigáciu udáva USNO 24 ks. Na obežnej dráhe je, podľa posledných informácií, ešte niekoľko (4) záložných družíc, ktoré sú rozdelené do bloku I a II.

Podstata našich meraní je v určení časového rozdielu UTC(SMU)–UTC(GPS) medzi 1 sekundovými impulzami od etalónu a zo signálu GPS prijímača, ktorý sleduje danú meranú družicu. Program jednej relácie, jednej hodnoty merania pre BIPM je výsledok za 13 minút (780 s) merania. Toto 780 s meranie je členené do 15 s blokov, ktoré sa skladajú z 1 s základných meraní.

Meranie v SMU prijímačom Austron 2200 dovoľuje sledovať – merať 48 družíc. Pre naše meranie používame plný počet - 48 denných meraní. Prijímač má vlastné hodiny, riadené z GPS signálu, z ktorých je odvodený čas merania. Pre meranie je potrebné ho dodržať s 1s určitou, nakoľko výsledok je definovaný k určenému meraciemu času. Do nášho prijímača musíme vložiť BIPM rozpis merania v časoch o 2 minuty skôr pred stanovenou reláciou BIPM, lebo náš prijímač pracuje v norme merania NIST, t.j. potrebuje pred stanoveným meraním 2 minuty na vykonanie procedúr: - 1. procedúru WARM START, 2. SET TIME. Prvá procedúra sa presne začína v 52 sekunde nastavenej minuty pred meraním. Trvanie tejto procedúry je približne 30 s t.j. SET TIME štartuje asi v 20-tej sekunde prvej nastavenej minuty. Vlastné meranie začína presne v čase (sekunde) podľa určenia BIPM (ak čas sledovania bol vložený s 2-minutovým predstihom). Meranie časových stupníc etalónu a GPS t.j. UTC(SMU) - UTC(GPS) sa deje v 1 s intervaloch po 15 meraní. Prvý výsledok, ktorý možno odčítať z GPS prijímača je uvedený časový interval a smerodajná odchýlka pre 15 meraní, oznamované prijímačom ako 15 s meranie. Tieto 15 s merania majú  $1 \cdot \sigma$  v rozsahu 5 ns až 25 ns typicky hodnota je 10 ns. Merania sa podstatne zlepšili od času, kedy bolo vypnuté prídavné rušenie GPS signálu na frekvencii L1. Tieto merania nás v podstate nezaujímajú, nie sú ukladané. Z 52 meraní t.j. 15 s x 52 = 780 s je jedno ucelené meranie, ktoré zapisujeme - je to jeden výsledok nášho porovnania etalónu pre BIPM. Austron 2200 z daného bloku merania vypočíta hodnotu rozdielu časových stupníc pre čas (zadaný) štartu merania a koeficient lineárnej regresnej priamky. Z týchto hodnôt, pre BIPM, sa hodnota rozdielu časových stupníc prepočíta na stred času merania. Regresný koeficient, smernicu regresnej priamky Austron 2200 označuje ako SLOPE [ps/s]. Ako už bolo uvedené protokol NIST je rozdielny od protokolu BIPM a preto vďaka uvedeniu hodnôt z výpočtu môžeme my po zbere dát z merania prepočítať hodnoty z systému NIST na BIPM. Táto okolnosť je veľmi dôležitá, lebo pri uvádzaní do chodu nášho systému a pre začlenenie nášho etalónu do BIPM nám robila veľké (vlastne vtedy neznáme) ťažkosti.

Meranie týmto spôsobom sa vykonáva trvale, 7 dní v týždni. Za jeden deň sa vykoná 48 meraní (48 družíc). Do BIPM zasielame meranie za 7 dní t.j. zasiela sa cez e-mail rovno z počítača 336 výsledkov v podobe predpísanej BIPM protokolom.

Spätne v buletine BIPM, Circular - T mesačne dostávame vypočítané výsledky odchýlky časovej stupnice nášho etalónu od hodnoty určenej BIPM t.j. UTC - UTC(SMU) . Z týchto hodnôt, pre 5-dňový interval sa následne vyhodnocuje etalón času a frekvencie SMU.

Meranie prijímačom TTS – 3 je obdobná, len relácie merania sú dané družicami v oblasti viditeľnosti antény a kvalitou signálu, pričom meranie je úplne kontinuálne t.j. je za jeden deň podstatne viac výsledkov merania. Celé spracovanie vykonáva pre všetky zúčastnené inštitúcie BIPM. Do BIPM sa zasielajú priamo namerané výsledky t.j. „surové“ dáta.

#### 7.1 Vyhodnotenie etalónu času a frekvencie SMU – ročné priemerné hodnoty

Vyhodnotenie etalónu vychádza zo spracovaných údajov z BIPM Paríž, uvedených v buletine BIPM Circular-T. V tomto dokumente sú spracované hodnoty merania etalónu cez GPS systém priemerované za časový interval 5 dní.

Hodnoty z Circular-T, UTC – UTC(SMU) sú graficky spracované v prílohe pre roky 2005 až 2010.

Priemerné hodnoty chodu časovej stupnice za jeden rok, čo je primárny údaj pre sledovanie etalónu za uvedené roky sú v tab. 7.1, ktoré sú vypočítané z lineárnej regresie za celý sledovaný rok. Jednotlivé body, hodnoty UTC – UTC(SMU), sú do výpočtu dané v intervale chodu etalónu za 5 dňový interval.

Priemerné hodnoty uvedené v nižšie uvedej tabuľke sú stanovené len pre účel získania priemernej hodnoty chyby realizácie etalónovej hodnoty 1 s resp. hodnôt etalónových frekvencií 5 MHz a 10 MHz. Použitie pri kalibrácii (ak je to vôbec nutné) sú hodnoty pre vyhodnocovací interval kratší, spravila používame hodnoty (s predikciou) pre aktuálny mesiac. Z tohto dôvodu sa sleduje kontinuálne výpočet, ako je uvedený v prílohe pre jednotlivé obdobie. Štandardne je zaužívaný – ak chceme predikciu a podmienky sú stabilné, trojmesačný kľzavý priemer.

Tab. č. 7.1 Realizácia časovej stupnice SMU: UTC – UTC(SMU) podľa Circular-T BIPM grafické spracovanie v prílohe P

	<b>ROK</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
	<b>PARAMETER</b>					
1	priemerný chod (ns/d)	0,217	- 0,174	1,237	- 0,029	- 0,548
2	1 . s (ns/d)	0,042	0,020	0,068	0,015	0,059
3	U = 2. s (ns/d)	0,082	0,040	0,136	0,030	0,118
4	<b>chyba jednotky</b> <b>1 + e , e: (s)</b>	<b>0,251 E-14</b>	<b>-0,201 E-14</b>	<b>1,432 E-14</b>	<b>-0,034 E-14</b>	<b>-0,634 E-14</b>
5	relatívna chyba frekvencie 10 MHz (Hz/Hz)	-0,251E-14	0,201E-14	1,432 E-14	0,034E-14	0,634 E-14
6	Kombin. neistota relatívnej chyby frekvencie 10 MHz	0,049 E-14	0,023 E-14	0,079 E-14	0,017E-14	0,068 E-14

## 7.2 Realizácia jednotky – sekundy.

Etalón času a frekvencie SMU, ktorý generuje časovú stupnicu UTC(SMU) reprezentuje zariadenie – atómové hodiny HP 5071A. Na jeho výstupe je elektrický signál impulznej formy s periódou 1 s, ktorá má chybu  $e$  (s). Hodnotu realizácie jednotky 1 s označme ako

$$1 \text{ s} + (e \pm U)$$

kde 1 s je hodnota jednotky jedna sekunda (presne) a  $e$  je chyba a rozšírená neistota určená z porovnávacích meraní.

Hodnotu chyby realizácie 1 s –  $e$  určujeme pre dané obdobie, priemerovací interval z porovnávacích meraní s UTC cez satelitný navigačný systém GPS.

Neistota výsledku merania je vypočítaná smerodajná odchýlka z regresnej analýzy pre data vchádzajúce do výpočtu – mesačné hodnoty z trojmesačného intervalu, ročná hodnota z dát za celý rok. Je potrebné uviesť, že meranie časovej stupnice sa vykonáva v SMU voči GPS signálu a celé spracovanie sa vykonáva v BIPM. Z tohto dôvodu, žiadne iné členy neistoty merania typu B nevchádzajú do výsledkov, pri určení neistoty výsledku merania pre stanovenie jednotky 1 s. Iná situácia je pri odovzdávaní jednotky na ďalšie zariadenia.



Je potrebné poznamenať, že pri realizácii jednotky 1 s takýmto spôsobom, hlavný parameter, ktorý je sledovaný je chyba realizácie 1s. Ako z výsledkov vidieť, táto zložka nie je dostatočne konštantná (koľko je to dostatočne?), keď sa pohybuje v ráde E-14, čo je v podstate odstup dvoch rádoch, ktoré deklaruje výrobca. Preto je potrebné zaujať iný pohľad na stanovenie neistoty výsledkov merania, kde neistota je len sprievodný, doplňujúci parameter reprezentujúci hodnotu veľmi závislú na priemerovacom intervale vstupných dát. Už i len fakt, že jedno porovnávacie meranie sa skladá z bloku 50 meraní po 15 s reláciách, ktoré sa opakujú 48-krát za deň a priemerujú sa pre základný interval 5 dní presvedčivo hovorí ho mimoriadne veľkej filtrácii nameraných hodnôt.

Pre praktické použitie vstupuje následne do výpočtu neistoty merania pre hodnotu etalónu časová stabilita etalónu HP 5071A, ktorá je v technických podmienkach (v prílohe) určená.

Pri odovzdávaní jednotky a stupnice etalónových hodnôt t.č. sme obmedzovaní pre metódu porovnávania časových stupnic hodnotou rozlišovacej schopnosti merania časových intervalov na 150 ps a pri priamych meraniach rozdielu frekvencie na nominálnej hodnote 10 MHz a 5 MHz nie lepšie ako  $2 \cdot 10^{-13}$  pre merací (hradlo el. čítača) čas 1 s.

### 7.3 DEKLARÁCIA HODNOTY ETALÓNU

#### A.

**Etalón času a frekvencie SMU, realizovaný atómovými hodinami HP 5071A v.č. 3608A01063 so vstavanou céziovou trubicou CBT v.č. 3124A00437 (S) generuje základnú jednotku 1 s s rozšírenou neistotou merania (pre  $k = 2$ ,  $p = 95\%$ ) o priemernej hodnote za vyhodnocovací interval jeden rok (2010):**

$$1 \text{ s} - 0,63 \cdot 10^{-14} \text{ s} \pm 0,14 \cdot 10^{-14} \text{ s}$$

Etalón času a frekvencie SMU generuje na výstupe signál o nominálnej hodnote frekvencie 10 MHz a 5 MHz, ktoré majú relatívnu hodnotu chyby frekvencie a rozšírenú neistotu ( $k = 2$ ,  $p = 0,95$ ):

$$\delta_f = 0,63 \cdot 10^{-14} \pm 0,14 \cdot 10^{-14} \text{ Hz/Hz}$$

### L i t e r a t ú r a

1. STN 01 0115  
Terminológia v metrológii
2. Sklenář, B. Časomerná elektronika, názvosloví a definice.  
Praha 1988, Tesla VUST, ODIS VTEI
3. Glossary of Time and Frequency Terms  
Time and Frequency Division NIST
4. Ramsey, N.F. History of Atomic Clock.  
Journal of resrarch of the NBS 88, 1988 č.5 s. 301-320
5. Osterdock, T. Fundamentals of Time and Frequency Standards.  
Hewlett Packard AN 52-1, 52-2
6. Groch, J. Metodika kontroly etalónu frekvencie a jeho porovnávania s československým a medzinárodným časovým systémom.  
Bratislava 1974, ČSMÚ, V-24-30/70-73
7. Doršic, P. Overovanie časomerných zariadení.  
Čs. standardizace 10, 1985, č.6. s. 225-227
8. Doršic, P. Porovnávanie etalónov času a frekvencie prenosným etalónom.  
Čs. standardizace 14, 1989, č. 11, s. 430-435
9. Doršic, P. a. Distribúcia etalónových signálov po sériovej linke.  
b.K problematike atómových etalónov frekvencie  
c. Vyhodnocovanie a záznam relatívnej chyby frekvencie pre dlhé časové iontervaly  
d. Metrológia času a frekvencie na Slovensku.  
In : Sborník VA SNP Lipt. Mikuláš 1994
10. Doršic , P. Porovnávanie času a frekvencie .  
Bratislava 1987, ČSMÚ
11. Doršic, P. Metrológia času a frekvencie v SR.  
Metrológia a skúšobníctvo 1, 1996, č.4, s. 10-13
12. Doršic, P. Kvalita signálov zo satelitnej navigačnej sústavy GPS – NAVSTAR na synchronizáciu oscilátorov – etalónov času a frekvencie.  
Metrológia a skúšobníctvo II, 1997, č. 3 , s. 7-

## A. Zoznam zúčastnených inštitúcií na tvorbe svetového času v BIPM – stav IV.2 2010

(podľa uvedenia vo výročnej správe BIPM 2010)

### Acronyms and locations of the timing centres which maintain a local approximation of UTC, UTC(k), and/or an independent local time scale, TA(k) (updated to April 2010)

AMC	Alternate Master Clock station, Colorado Springs, Colo., USA
AOS	Astrogeodynamical Observatory, Space Research Centre P.A.S., Borowiec, Poland
APL	Applied Physics Laboratory, Laurel, Maryland, USA
AUS	Consortium of laboratories in Australia
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienna, Austria
BIM	Bulgarian Institute of Metrology, Sofiya, Bulgaria, formerly NMC
BIRM	Beijing Institute of Radio Metrology and Measurement, Beijing, P. R. China
BY	Belarussian State Institute of Metrology, Minsk, Belarus
CAO	Stazione Astronomica di Cagliari (Cagliari Astronomical Observatory), Cagliari, Italy
CH	Swiss Federal Office of Metrology, Switzerland (METAS)
CNM	Centro Nacional de Metrología, Querétaro, Mexico (CENAM)
CNMP	Centro Nacional de Metrología, de Panamá, Panama
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (German Aerospace Centre) Oberpfaffenhofen, Germany
DMDM	Directorate of Measures and Precious Metals, Belgrade, Serbia (formerly ZMDM)
DTAG	Deutsche Telekom AG, Frankfurt/Main, Germany
	EIM Hellenic Institute of Metrology, Thessaloniki, Greece
F	Commission Nationale de l'Heure, Paris, France
GUM	Główny Urząd Miar (Central Office of Measures), Warsaw, Poland
HKO	Hong Kong Observatory, Hong Kong, China
IFAG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Federal Agency for Cartography and Geodesy), Fundamental station, Wetzell, Kötzing, Germany
IGNA	Instituto Geográfico Nacional, Buenos Aires, Argentina (formerly IGMA)
INPL	National Physical Laboratory, Jerusalem, Israel
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina
IPQ	Instituto Português da Qualidade, Monte de Caparica, Portugal
IT	Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (I.N.R.I.M.), Italy
JATC	Joint Atomic Time Commission, Lintong, P.R. China
JV	Justervesenet, Norwegian Metrology and Accreditation Service, Kjeller, Norway
KIM	Research Centre for Calibration, Instrumentation and Metrology The Indonesian Institute of Sciences, Serpong-Tangerang, Indonesia
KRIS	Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon, Rep. of Korea
KZ	Kazakhstan Institute of Metrology, Astana, Kazakhstan
MIKE	Center for Metrology and Accreditation, Finland
MKEH	Hungarian Trade Licensing Office, Hungary
LT	Lithuanian National Metrology Institute, Vilnius, Lithuania
LV SA	Latvian National Metrology Centre, Riga, Latvia
MSL	Measurement Standards Laboratory, Lower Hutt, New Zealand
NAO	National Astronomical Observatory, Misuzawa, Japan
NICT	National Institute of Information and Communications Technology, Tokyo, Japan
NIM	National Institute of Metrology, Beijing, P.R. China
NIMB	National Institute of Metrology, Bucharest, Romania

NIMT	National Institute of Metrology, Bangkok, Thailand
NIS	National Institute for Standards, Cairo, Egypt
NIST	National Institute of Standards and Technology, Boulder, Colo., USA 22
NMIA	National Measurement Institute, Australia, Sydney, Australia
NMIJ	National Metrology Institute of Japan, Tsukuba, Japan
NMLS	National Metrology Laboratory of SIRIM Berhad, Shah Alam, Malaysia
NPL	National Physical Laboratory, Teddington, United Kingdom
NPLI	National Physical Laboratory, New Delhi, India
NRC	National Research Council of Canada, Ottawa, Canada
NRL	U.S. Naval Research Laboratory, Washington D.C., USA
NTSC	National Time Service Center of China, Lintong, P.R. China
ONBA	Observatorio Naval, Buenos Aires, Argentina
ONRJ	Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Brazil
OP	Observatoire de Paris (Paris Observatory), Paris, France
ORB	Observatoire Royal de Belgique (Royal Observatory of Belgium), Brussels, Belgium
PL	Consortium of laboratories in Poland
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany
ROA	Real Instituto y Observatorio de la Armada, San Fernando, Spain
SCL	Standards and Calibration Laboratory, Hong Kong
SG	National Metrology Centre - Agency for Science, Technology and Research (A*STAR)
SIQ	Slovenian Institute of Quality and Metrology, Ljubljana, Slovenia
SMD	Metrology Division of the Quality and Safety Department - Scientific Metrology Brussels, Belgium
SMU	Slovenský Metrologický Ústav (Slovak Institute of Metrology), Bratislava, Slovakia
SP	Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (Swedish National Testing and Research Institute), Borås, Sweden
SU	Institute of Metrology for Time and Space (IMVP), NPO "VNIIFTRI" Mendeleevo, Moscow Region, Russia
TCC	TIGO Concepción Chile, Chile
TL	Telecommunication Laboratories, Chung-Li, Taiwan
TP	Institute of Photonics and Electronics, Czech Academy of Sciences, Praha, Czech Republic
UA	National Science Center "Institute of Metrology", Kharkhov, Ukraine
UME	Ulusai Metroloji Enstitüsü, Marmara Research Centre, (National Metrology Institute), Gebze Kocaeli, Turkey
USNO	U.S. Naval Observatory, Washington D.C., USA
VMI	Vietnam Metrology Institute, Ha Noi, Vietnam
VSL	VSL, Dutch Metrology Institute, Delft, the Netherlands
ZA	National metrology Institute of South Africa, Pretoria, South Africa

Note: Most of the timing centres in the table can be accessed through the BIPM website, at "[Useful links](#)". 23

## B. Prehľad používaných zariadení pre tvorbu miestneho času vo svete podľa uvedenia BIPM vo výročnej správe - stav apríl 2010

23

Table 4. Equipment and source of UTC(k) of the laboratories contributing to TAI in 2009

Ind. Cs: industrial caesium standard  
 Ind. Rb: industrial rubidium standard  
 Lab. Cs: laboratory caesium standard  
 H-maser: hydrogen maser  
 SF: single frequency receiver  
 DF: dual frequency receiver  
 \* means 'yes'

Lab k	Equipment	Source of UTC(k) (1)	TA(k)	Time Links			
				GPS		GLONASS	Two-Way
				SF	DF		
AOS	3 Ind. Cs 2 H-masers	1 H-maser (2) + microphase-stepper		*	*	*	*
APL (a)	3 Ind. Cs 3 H-masers	1 Cs + microphase-stepper		*			
AUS	5 Ind. Cs 2 H-masers	1 Cs		*	*		*
BEV	3 Ind. Cs 1 H-maser	1 Cs		*			
BIM	3 Ind. Cs	1 Cs		*	*		
BIRM (a)	2 Ind. Cs 6 H-masers	1 Cs		*	*		
BY	6 H-masers	3-4 H-masers		*		*	
CAO	2 Ind. Cs	1 Cs		*	*	*	
CH	4 Ind. Cs (3) 1 H-maser	all the Cs 1 H-maser	*		*		*
CNM	3 Ind. Cs 1 H-maser	3 Ind. Cs 1 H-maser + microphase-stepper		*			
CNMP (a)	2 Ind. Cs	1 Cs		*			
DLR	3 Ind. Cs 5 H-masers	1 Cs			*		
DMDM	1 Ind. Cs	1 Cs + microphase-stepper		*			
DTAG	3 Ind. Cs	1 Cs		*	*		
EIM	4 Ind. Cs	1 Cs		*			
HKO	2 Ind. Cs	1 Cs		*			
IFAG	5 Ind. Cs 2 H-masers	1 Cs + microphase-stepper		*	*		
IGNA (a)	3 Ind. Cs	1 Cs + microphase-stepper		*			
INPL	2 Ind. Cs	1 Cs		*			

Table 4. Equipment and source of UTC(k) of the laboratories contributing to TAI in 2008 (Cont.)

Ind. Cs: industrial caesium standard  
 Ind. Rb: industrial rubidium standard  
 Lab. Cs: laboratory caesium standard  
 H-maser: hydrogen maser  
 SF: single frequency receiver  
 DF: dual frequency receiver  
 \* means 'yes'

Lab k	Equipment	Source of UTC(k) (1)	TA(k)	Time Links			
				GPS		GLONASS	Two-Way
				SF	DF		
IT	5 Ind. Cs 2 H-masers 1 Lab. Cs	1 H-maser + microphase-stepper	*	*	*	*	*
JATC	18 Ind. Cs (4) 4 H-masers	1 Cs + microphase-stepper	*	*	*		*
JV (a)	4 Ind. Cs	1 Cs		*			
KIM	1 Ind. Cs	1 Cs		*	*	*	
KRIS	5 Ind. Cs 4 H-masers	1 H-maser + microphase-stepper	*	*	*	*	*
KZ	1 Ind. Cs	1 Cs			*	*	
LDS (a)	1 Ind. Cs	1 Cs		*		*	
LT	2 Ind. Cs	1 Cs		*			
LV	2 Ind. Cs	1 Cs		*			
MIKE	2 Ind. Cs 3 H-masers	1 H-maser + microphase-stepper		*	*	*	
MKEH	1 Ind. Cs	1 Cs		*			
MSL	3 Ind. Cs	1 Cs		*	*		
NAO (a)	4 Ind. Cs 1 H-maser	1 Cs + microphase-stepper		*			
NICT	27 Ind. Cs 7 H-masers (5) 1 Lab. Cs	18 Cs	*	*	*		*
NIM	3 Ind. Cs 2 H-masers	1 Cs + microphase-stepper		*	*		
NIMB	2 Ind. Cs	1 Cs		*			
NIMT	2 Ind. Cs	1 Cs		*	*		
NIS	3 Ind. Cs	1 Cs		*	*	*	



Table 4. Equipment and source of UTC(k) of the laboratories contributing to TAI in 2008 (Cont.)

Ind. Cs: industrial caesium standard  
 Ind. Rb: industrial rubidium standard  
 Lab. Cs: laboratory caesium standard  
 H-maser: hydrogen maser  
 SF: single frequency receiver  
 DF: dual frequency receiver  
 \* means 'yes'

Lab k	Equipment	Source of UTC(k) (1)	TA(k)	Time Links			
				GPS		GLONASS	Two-Way
				SF	DF		
NIST	8 Ind. Cs 2 Lab. Cs 6 H-masers	4 Cs 6 H-masers + microphase-stepper	*	*	*	*	*
NMIJ	4 Ind. Cs 1 Lab. Cs 3 H-masers	1 H-maser + microphase-stepper		*	*		*
NMLS (a)	5 Ind. Cs	1 Cs			*		
NPL	3 Ind. Cs 4 H-masers	1 H-maser		*	*		*
NPLI	3 Ind. Cs	1 Cs		*			
NRC	6 Ind. Cs 2 Lab. Cs 3 H-masers	1 Ind. Cs + microphase-stepper	*		*		
NRL	2 Ind. Cs 4 H-masers	1 H-maser + microphase-stepper			*	*	*
NTSC	18 Ind. Cs 4 H-masers	1 Cs + microphase-stepper	*	*	*		*
ONBA	1 Ind. Cs	1 Cs		*			
ONRJ	6 Ind. Cs	1 Cs + microphase-stepper	* (6)	*			
OP	8 Ind. Cs 3 Lab. Cs 4 H-masers	1 Cs + microphase-stepper	* (7)	*	*	*	*
ORB	3 Ind. Cs 3 H-masers	1 H-maser			*		
PL	11 Ind. Cs 4 H-masers	1 Cs (8) + microphase-stepper	* (9)	*			
PTB	3 Ind. Cs 3 Lab. Cs (10) 3 H-masers	1 Lab. Cs	* (11)	*	*	*	*
ROA	5 Ind. Cs 1 H-maser	all the Cs		*	*		*
SCL	2 Ind. Cs	1 Cs + microphase-stepper		*			
SG	2 Ind. Cs (12) 1 H-maser	1 Cs + microphase-stepper		*	*		*



Table 4. Equipment and source of UTC(k) of the laboratories contributing to TAI in 2008 (Cont.)

Ind. Cs: industrial caesium standard  
 Ind. Rb: industrial rubidium standard  
 Lab. Cs: laboratory caesium standard  
 H-maser: hydrogen maser  
 SF: single frequency receiver  
 DF: dual frequency receiver  
 \* means 'yes'

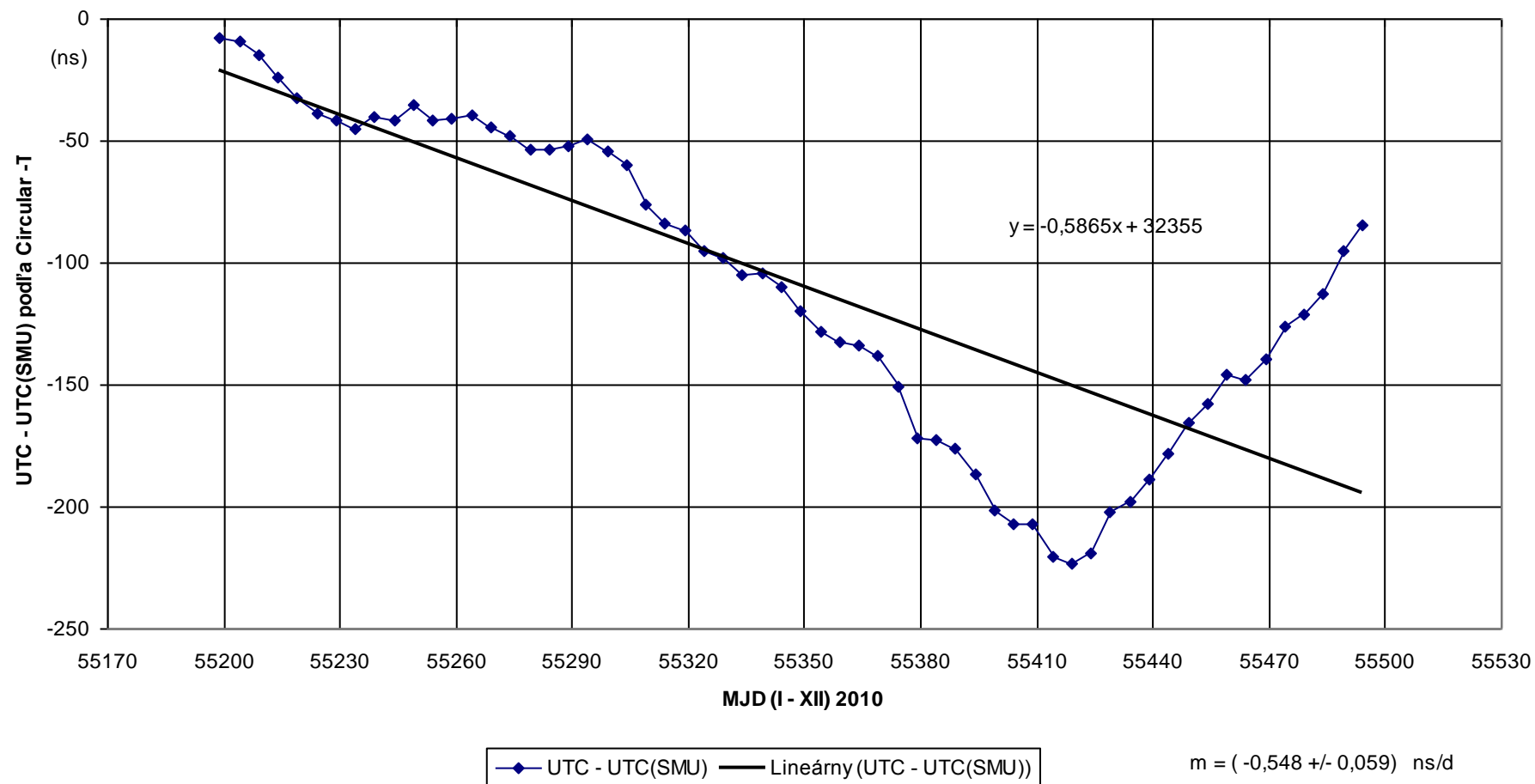
Lab k	Equipment	Source of UTC(k) (1)	TA(k)	Time Links			
				GPS		GLONASS	Two-Way
				SF	DF		
SIQ	1 Ind. Cs	1 Cs		*			
SMU	1 Ind. Cs	1 Cs + output frequency steering		*			
SP	13 Ind. Cs (13) 6 H-masers	1 H-maser + microphase-stepper			*		*
SU	1 Lab. Cs 8 H-masers	3-4 H-masers	* (14)	*		*	
TCC	2 Ind. Cs 3 H-masers	1 Cs		*	*		
TL	14 Ind. Cs 2 H-masers	1 H-maser + microphase-stepper	* (15)		*		*
TP	4 Ind. Cs	1 Cs + output frequency steering		*	*		
UA	5 H-masers	3 H-masers + microphase-stepper		*			
UME (a)	3 Ind. Cs	1 Cs		*	*	*	
USNO	72 Ind. Cs 24 H-masers	1 H-maser + frequency synthesizer steered to UTC(USNO) (16)	* (16)	*	*		*
VMI	3 Ind. Cs	1 Cs		*	*		
VSL	4 Ind. Cs	1 Cs + microphase-stepper			*		*
ZA	4 Ind. Cs	1 Cs		*		*	
ZMDM	1 Ind. Cs	1 Cs + microphase-stepper		*			



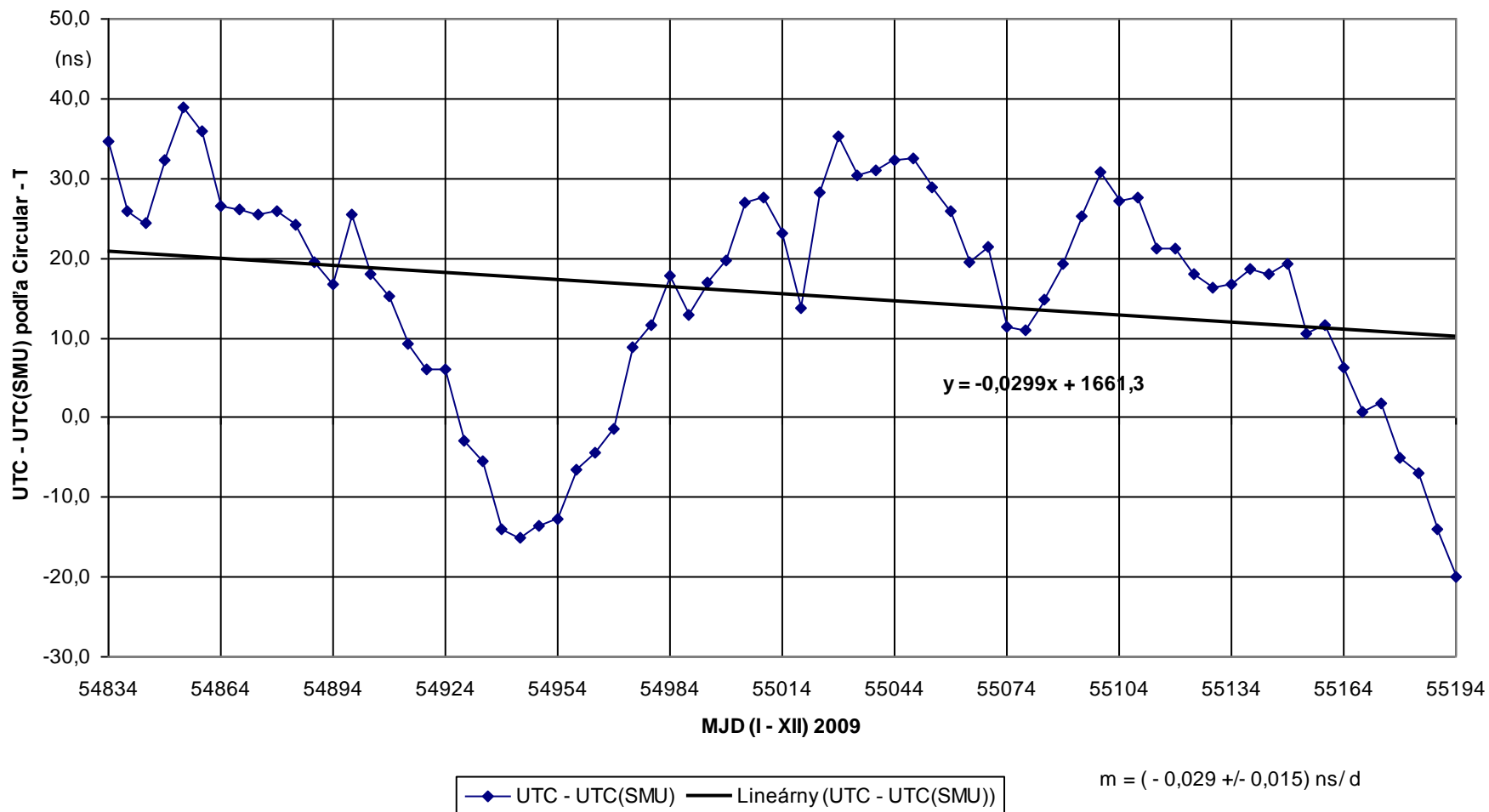


Pohľad na zostavu etalónov v lab. H č. 139

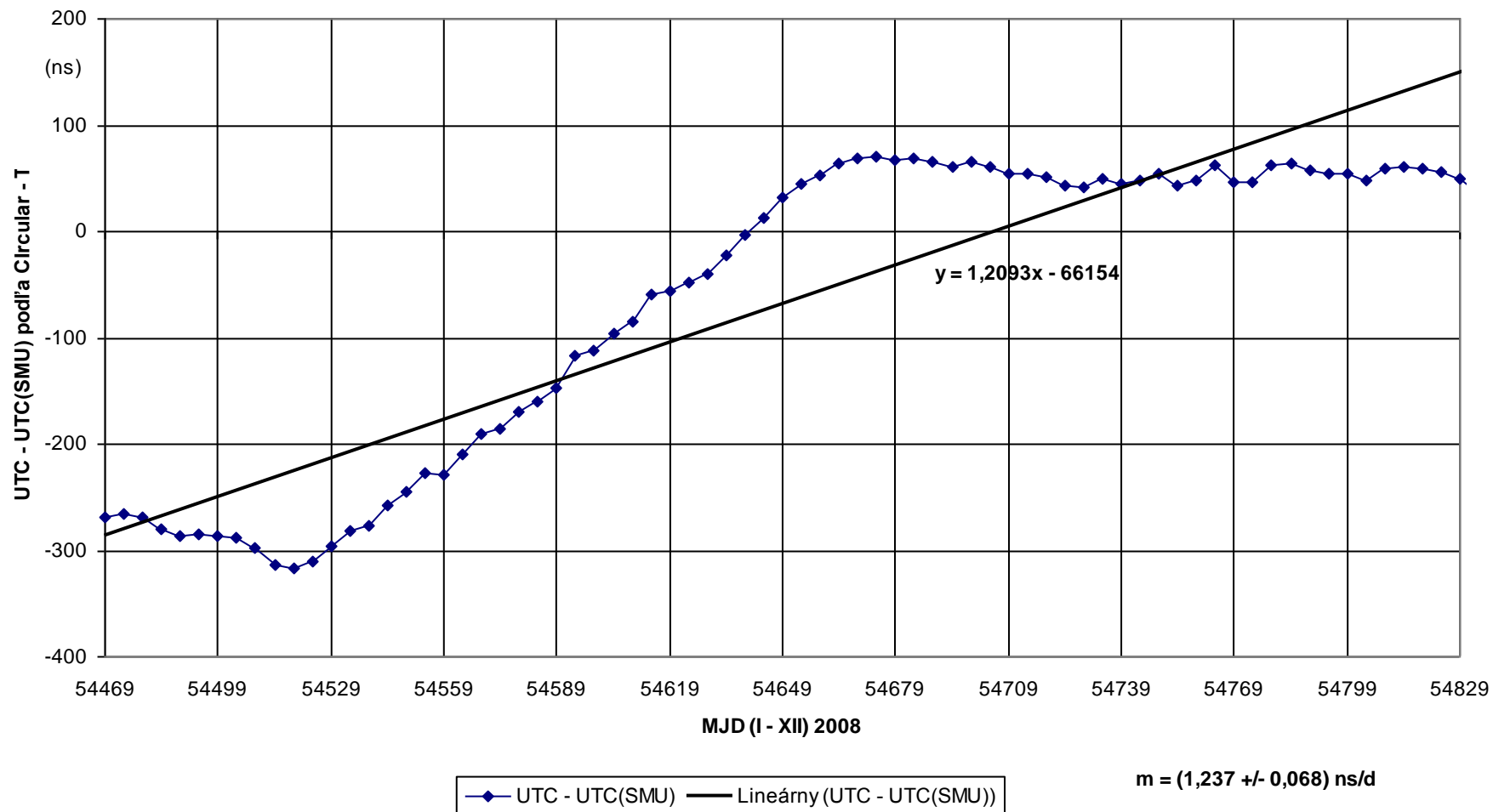
**ČASOVÁ STUPNICA UTC(SMU) via GPS  
za rok 2010**



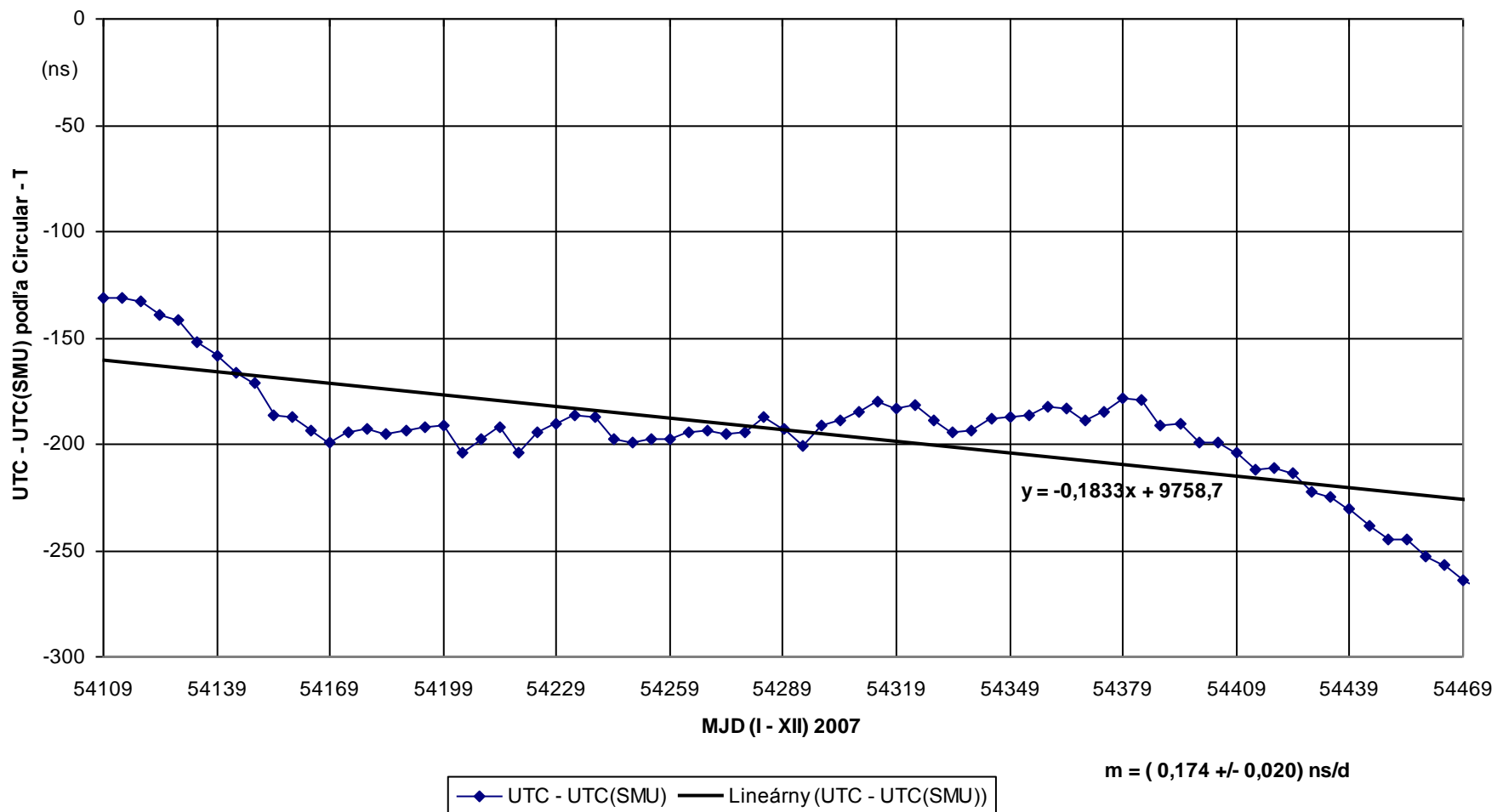
ČASOVNÁ STUPNICA UTC(SMU) via GPS  
za rok 2009



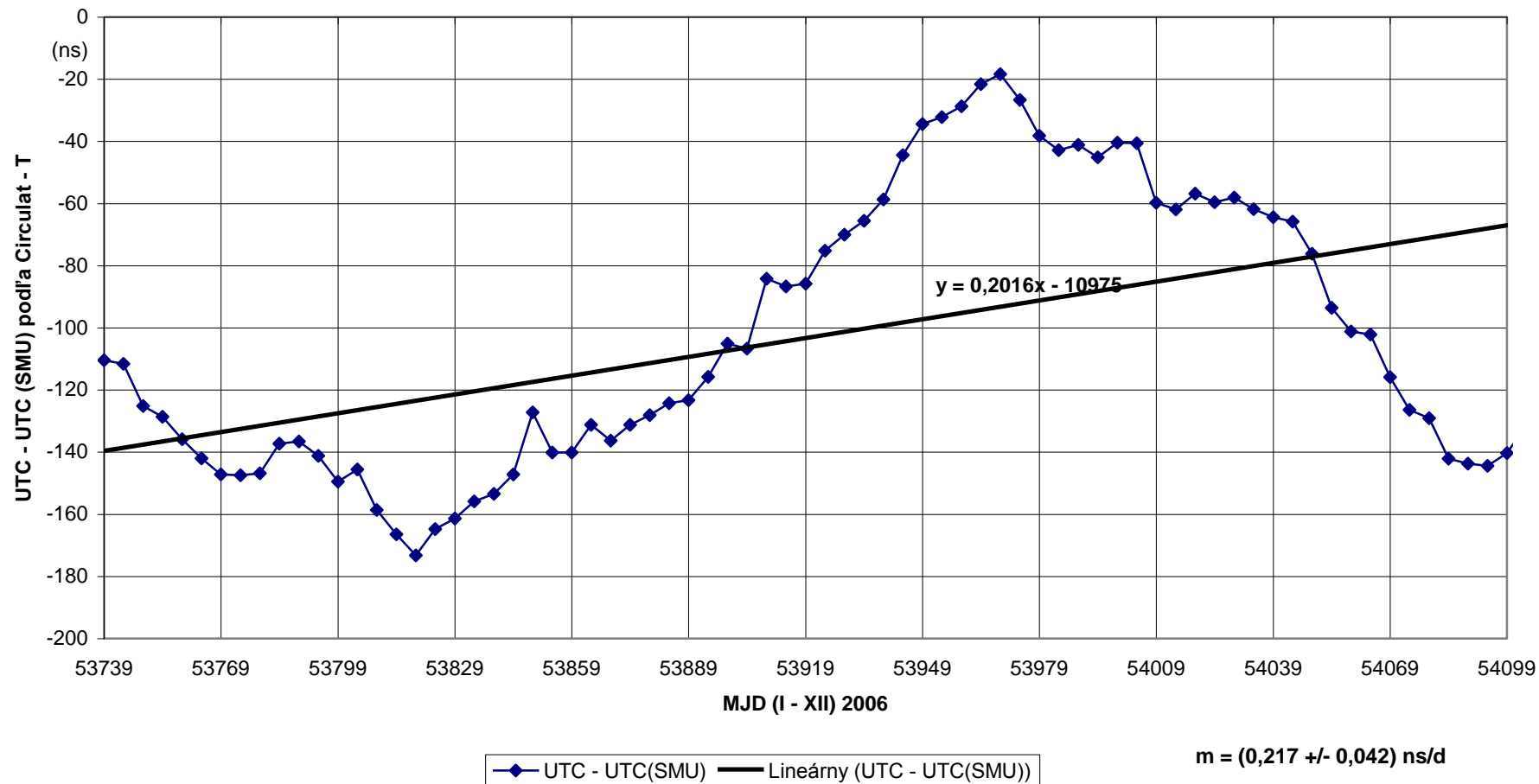
ČASOVÁ STUPNICA UTC(SMU) via GPS  
za rok 2008



ČASOVÁ STUPNICA UTC(SMU) via GPS  
za rok 2007



ČASOVÁ STUPNICA UTC(SMU) via GPS  
za rok 2006



ČASOVÁ STUPNICA UTC(SMU) via GPS  
za rok 2005

