

# ESTIMAREA CORECȚIILOR DATORATE SISTEMELOR GPS FOLOSITE LA TRANSFERUL UNITĂȚII DE TIMP ÎN CADRUL COMPARAȚIEI CHEIE CCTF-K001.UTC

## *ESTIMATING CORRECTIONS DUE TO GPS SYSTEMS USED IN TRANSFERRING THE TIME UNIT IN THE FRAME OF CCTF-K001.UTC KEY COMPARISON*

Anca NICULESCU

INSTITUTUL NAȚIONAL DE METROLOGIE/NATIONAL INSTITUTE OF METROLOGY

**Rezumat.** În intervalul 4 septembrie 2006 – 25 ianuarie 2007 s-au desfășurat lucrările campaniei de calibrare a întârzierilor datorate echipamentelor GPS utilizate de laboratoarele de timp din Europa, ale cărei rezultate au fost publicate în Raportul BIPM 2010/02. Aceste lucrări sunt deosebit de importante pentru îmbunătățirea exactității de realizarea a scării de timp UTC de către fiecare laborator de timp care participă la comparația cheie CCTF-001.UTC. În baza raportului, întocmit de BIPM, sunt prezentate sintetic lucrările desfășurate și rezultatele obținute de laboratorul TIMP FRECVENȚE - INM București.

**Cuvinte cheie:** comparație cheie, receptor GPS, UTC, BIPM

**Abstract.** During 4 September 2006 – 25 January 2007 were performed the works for differential calibration of GPS equipments located in few European time laboratories. The results were published in the BIPM Report 2010/02. These works are very important for improving the accuracy of access to UTC for the participating laboratories to the key comparison CCTF-K001.UTC. Based on the BIPM Rapport 2010-2 we present in this paper the activities and the results of the TIME & FREQUENCY laboratory of NIM Bucharest

**Key words:** key comparison, GPS receiver, UTC, BIPM

### 1. INTRODUCERE

La cea de a 17-a întâlnire din septembrie 2006, Comitetul Consultativ de Timp și Frecvență (CCTF) a decis să atribuie denumirea de "CCTF-K001.UTC" comparației cheie care stabilește scara internațională de timp UTC (Timp Universal Coordonat). Această denumire a fost introdusă, în KCDB, în 19 martie 2007.

Comitetul CCTF a decis ca CCTF-K001.UTC să fie unica comparație cheie în domeniul metrologiei timpului, iar, prin intermediul ei, laboratoarele participante să își poată asigura trasabilitatea la SI pentru diferite mărimi aferente domeniului.

CCTF a delegat BIPM pentru organizarea, prelucrarea datelor și publicarea rezultatelor comparației cheie CCTF-K001.UTC.

Scopul comparației cheie CCTF-K001.UTC este acela de a asigura trasabilitate la referința internațională UTC prin intermediul realizărilor locale UTC(k) de către laboratoarele naționale de timp și frecvență și de a permite transmiterea ei, la nivel național, prin intermediul laboratoare

### 1. INTRODUCTION

At its 17th meeting in September 2006, the Consultative Committee on Time and Frequency, CCTF decided to assign the identifier "CCTF-K001.UTC" to the key comparison that calculates the reference time scale UTC (Coordinated Universal Time). This was implemented in the KCDB on 19 March 2007.

The Committee CCTF has identified CCTF-K001.UTC as the unique key comparison in the field of time metrology and, through it, the participating laboratories can obtain traceability to the SI for the various related quantities.

The CCTF has given the BIPM the responsibility of organizing, running and publishing the results of CCTF-K001.UTC.

The aim of CCTF-K001.UTC key comparison is to provide traceability to the international reference UTC through its local approximations UTC(k) maintained in national laboratories and to enable the broad dissemination of UTC by the participating laboratories located all around the

participante, din întreaga lume.

Rezultatele sunt publicate sub forma unor diferențe de timp, pentru intervale de cinci zile, ale abaterii reprezentărilor locale  $UTC(k)$  față de UTC, unde  $k$  identifică laboratorul participant la comparare.

## 2. COMPARAȚIA CHEIE – METODA

Diferențele [ $UTC - UTC(k)$ ] și incertitudinile asociate sunt calculate pentru intervale de o lună calendaristică și publicate în *Circulara T* a BIPM împreună cu alte informații complementare. Transferul informației de timp între laboratoarele participante este realizat cu ajutorul GPS (Global Positioning System) și, respectiv, Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer (TWSTFT).

Protocolul acestei comparații cheie este descris în procedura TIME-P-01, “*Calculation of BIPM Circular T*”.

Compararea realizării locale a  $UTC(k)$  cu referința UTC este efectuată de către BIPM, pe baza datelor transmise de laboratoarele participante, utilizând un algoritm dedicat.

Bugetul de incertitudini este evaluat, tot de către BIPM, în conformitate cu Ghidul pentru evaluarea și exprimarea incertitudinii de măsurare (JCGM 100:2008); iar incertitudinea standard asociată este estimată pentru un nivel de încredere de  $1\sigma$ .

BIPM este instituția care stabilește programul de măsurări pentru laboratoarele participante, organizează campaniile pentru determinarea întârzierilor relative datorate echipamentelor de transfer utilizate de laboratoarele participante, și tot el stabilește termenul limită pentru transmiterea rezultatelor în fiecare lună calendaristică.

Rezultatele comparării, pentru fiecare lună calendaristică, sunt publicate în *Circulara T*, între zilele de 12 și 15 ale luni următoare, transmise prin poșta electronică laboratoarelor participante și afișate pe site-ul BIPM.

După transmitere ei prin poșta electronică și publicarea pe website, se creează și o conexiune cu baza de date a comparațiilor cheie, KCDB.

Datele furnizate de sistemul de sateliți GPS joacă un rol important în transferarea timpului și frecvenței. Incertitudinile asociate etalonării echipamentelor din laboratoarele de timp au un efect, semnificativ, de limitare a transmiterii unității de timp, în general, și a exactității definirii scării de timp TAI, în particular.

Din acest motiv, BIPM organizează campanii de evaluare a întârzierilor introduse de echipamentele de transfer al timpului din laboratoare de timp.

## 3. ETALONAREA RECEPTORULUI PORTABIL

world.

The results are published in the form of differences, at five-day intervals, of the deviation from UTC of the local approximations  $UTC(k)$ , where  $k$  identifies a laboratory participating in the comparison.

## 2. THE KEY COMPARISON - METHOD

The differences [ $UTC - UTC(k)$ ] and their respective uncertainties are calculated on one month data batches and are published in the monthly *BIPM Circular T*, together with complementary information. Time transfer between participants is carried out using Global Positioning System (GPS) and Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer (TWSTFT).

The technical protocol for this key comparison is embedded in the procedure TIME-P-01, “*Calculation of BIPM Circular T*”.

Comparison of the local realizations  $UTC(k)$  with the reference UTC is realized at the BIPM, based on the data sent by the participating laboratories and using a specially designed algorithm.

The uncertainty budget is evaluated at the BIPM following the *Evaluation of measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (JCGM 100:2008); GUM with minor corrections). Uncertainties are evaluated at the level of one standard uncertainty.

The BIPM establishes the schedule for measurements in the respective laboratories, organizes and runs round trips to determine the relative delays of time-transfer equipment in the participating laboratories, and also establishes the deadline for data submission each month.

The results of the comparison for each month are published in *BIPM Circular T* between the 12 and the 15 of the following month, distributed by e-mail to the participating laboratories and posted on the BIPM website.

After e-mail distribution and publication on the BIPM website, a link to *BIPM Circular T* is made from the KCDB.

The data from the Global Positioning System (GPS) satellites play an important role in time and frequency transfer. Present uncertainties in the calibration of equipment at timing laboratories place a significant limitation on international time transfer in general and on the accuracy of the computation of TAI in particular.

For this reason the BIPM organizes and runs round trips to determine the relative delays of time-transfer equipment in the participating laboratories.

## 3. THE CALIBRATION OF THE

În perioada 4 septembrie 2006 – 25 ianuarie 2007, BIPM a coordonat o nouă campanie de etalonare a echipamentelor GPS aflate în dotarea laboratoarelor de timp care contribuie la TAI.

Ca și în cazul precedentelor campanii sistemul referențial GPS a fost pus la dispoziție de Observatorul din Paris (OP). Pentru verificarea reproductibilității măsurărilor, campania a fost organizată în buclă închisă, începând și sfârșind cu OP. Laboratoarele participante au fost: Observatoire de Paris (OP, Paris, Franța), Astrogeodynamical Observatory Space Research Centre P.A.S. (AOS, Borowiec, Polonia), Główny Urząd Miar (Central Office of Measures, GUM, Varșovia, Polonia), Lithuanian National Metrology Institute (LT, Vilnius, Lituania), Institute of Radio Engineering and Electronics, Academy of Sciences of the Czech Republic (TP, Prague, Republica Cehia), Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV, Viena, Austria), Országos Mérésügyi Hivatal (National Office of Measures) (MKEH, Budapesta, Ungaria), Institutul Național de Metrologie (INM, București, România), Bulgarian Institute of Metrology (BIM, Sofia, Bulgaria) și Directorate of Measures and Precious Metals (DMDM, Belgrad, Serbia).

Efectuarea de măsurări repetate ale întârzierilor relative pentru echipamentele de transfer GPS utilizate de laboratoarele de timp au ca scop :

- creșterea exactității de accesare a scării UTC pentru laboratoarele participante;
- furnizarea de informații valoroase privind stabilitatea echipamentelor de transfer GPS;
- constituie o etalonare provizorie pentru echipamentelor bidirecționale ale laboratoarelor.

În cadrul acestei campanii de etalonare, echipamentul portabil a conținut un receptor GPS, antena respectivă și cablul aferent, etalonat.

Laboratorul participant trebuia să furnizeze, de la etalonul național, care menține  $UTC(k)$ , semnal de 10 MHz și impulsuri de 1 s printr-un cablu cu întârziere cunoscută. În fiecare laborator, receptorul portabil a fost conectat la aceeași referință ca și receptorul local, iar antena receptorului portabil a fost montată cât mai aproape posibil de antena receptorului local.

Coordonatele diferențiale ale centrului de fază ale antenei sunt cunoscute, pentru fiecare locație, cu o incertitudine ( $1\sigma$ ) de câțiva centimetri.

În institutul nostru măsurările au fost efectuate în intervalul 16.11.2006-21.11.2006.

#### **4. REZULTATELE OBTINUTE DE INM**

Laboratorul de timp și frecvență al INM a utilizat schema de măsurare, pentru receptorul local și

#### **PORTABLE RECEIVER**

From 4 September 2006 to 25 January 2007 BIPM was conducting a new series of differential calibrations of GPS equipment located in time laboratories contributing to TAI.

As for previous trips the GPS time equipment located at the OP (Observatoire de Paris) was chosen as reference. To check the reproducibility of the measurements, the calibrations were organized as round trips beginning and ending at the OP. The participant laboratories were: Observatoire de Paris (OP, Paris, France), the Astrogeodynamical Observatory Space Research Centre P.A.S. (AOS, Borowiec, Poland), the Główny Urząd Miar (Central Office of Measures, GUM, Warsaw, Poland), the Lithuanian National Metrology Institute (LT, Vilnius, Lithuania), the Institute of Radio Engineering and Electronics, Academy of Sciences of the Czech Republic, TP, Prague, Czech Republic), the Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, BEV, Vienna, Austria), the Országos Mérésügyi Hivatal (National Office of Measures, MKEH, Budapest, Hungary), the National Institute of Metrology, NIMB, Bucharest, Romania), Bulgarian Institute of Metrology (BIM, Sofiya, Bulgaria) and the Directorate of Measures and Precious Metals (DMDM, Belgrade, Serbia).

Repeated determinations of the differential time corrections for the GPS time equipment located in the various laboratories should:

- improve the accuracy of access to UTC for participating laboratories;
- provide valuable information about the stability of GPS time equipment; and
- serve as provisional differential calibrations of the two-way equipment at the laboratories.

For the present campaign, the portable equipment comprised the receiver, its antenna and a calibrated antenna cable.

The laboratories visited must supplied: a 10 MHz reference signal from the local national time and frequency standard and a series of 1 s pulses from the local reference,  $UTC(k)$ , via a cable of known delay. In each laboratory the portable receiver was connected to the same clock as the local receiver and the antenna of the portable receiver was placed close to the local antenna.

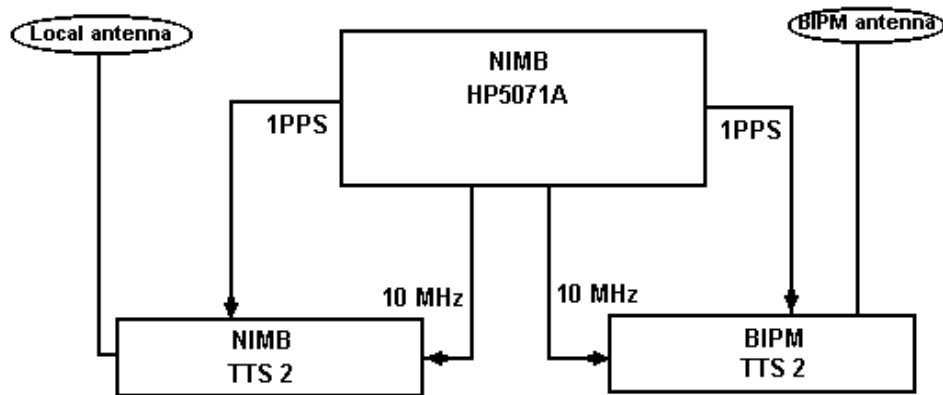
The differential coordinates of the antenna phase centers were known at each site with standard uncertainties ( $1\sigma$ ) of a few centimeters.

In our institute the measurements were made between 16/11/2006 – 21/11/2006.

#### **4. RESULTS OBTAIN BY NIMB**

cel portabil, prezentată în Figura 1.

The time and frequency laboratory of NIMB used the measurement set-up for local and portable equipment illustrated in Figure 1.



**Figura 1** Schema de măsurare  
*Figure 1.* The experimental set-up

Prelucrare datelor rezultate din comparare, în laboratorul  $k$ , constă, inițial, în calcularea diferențelor de timp  $d_{tk,i}$  pentru fiecare trecere  $i$ .

The processing of the comparison data obtained in laboratory  $k$  consists first of computing, for each track  $i$ , the time differences  $d_{tk,i}$

$$d_{tk,i} = [UTC(k) - GPS\ time]_{BIPM,i} - [UTC(k) - GPS\ time]_{k,i}. \quad (1)$$

Diferențele de timp măsurate, în laboratorul nostru, sunt prezentate în Tabelul 1

The measured time differences made in our laboratory are illustrated in Table 1.

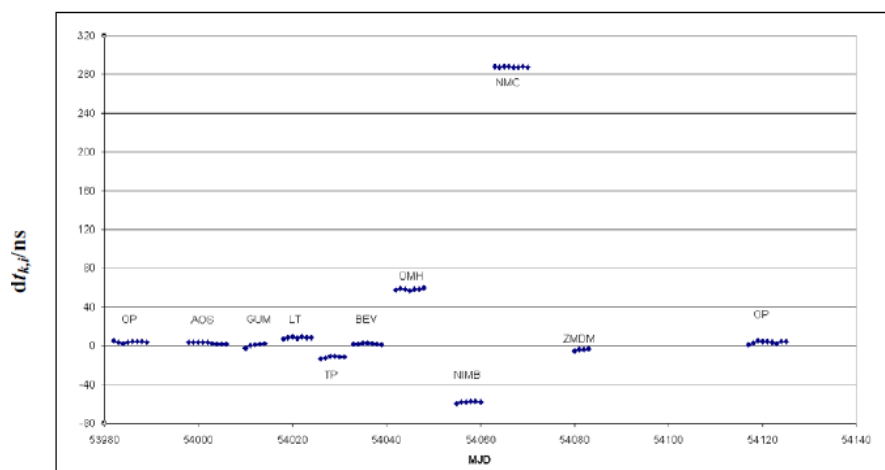
**Tabel 1.** Diferențe de timp măsurate  
**Table 1.** Measured time differences

LAB	MJD	Mean offset /ns	Standard deviation of individual /ns	Standard deviation of the mean /ns	Number of individual common views
NIMB	54055	-59,42	2,74	0,16	308
	54056	-58,40	2,71	0,11	619
	54057	-57,91	2,32	0,9	615
	54058	-57,58	2,29	0,9	616
	54059	-57,40	2,31	0,9	629
	54060	-57,85	2,21	0,18	159

Zgomotul prezent în seriile temporale  $dt_k$  a fost analizat, pentru fiecare laborator participant, utilizând varianța Allan modificată. În fiecare caz, zgomotul alb de fază a fost prezent pentru intervalul de mediere de o zi. Valorile mediate pe o zi ale diferențelor  $dt_{k,i}$  sunt prezentate în Figura 2, preluate din Raportul BIPM -2010/2

The noise exhibited by the time series  $dt_k$  was then analyzed, for each of the laboratories visited, using the modified Allan variance. In each case, white phase noise was exhibited up to an averaging interval of about one day. The one-day averages of the differences  $dt_{k,i}$  are illustrated in Figure 2 taken from the Rapport BIPM -2010/02.

$$dt_{k,i} = [REF(Lab_k) - (GPS\ TIME)]_{BIPM} - [REF(Lab_k) - (GPS\ TIME)]_{Lab_k} \quad (2)$$



**Figura 2.** Mediile zilnice  $dt_{k,i}$  pentru fiecare laborator  $k$   
**Figure 2.** Daily averages of  $dt_{k,i}$  for each laboratory  $k$

După medierea rezultatelor celor două seturi de măsurări de la OP, BIPM a calculat corecția de timp  $d$ ,  $[UTC(k1) - UTC(k2)]$ , care trebuie aplicată, precum și incertitudinea standard asociată  $u(d)$ , pentru nivel  $1\sigma$ , pentru perioada în care au fost efectuate comparațiile.

Rezultatele finale pentru laboratorul timp frecvență al INM sunt prezentate în Tabelul 2

After averaging the results of the two sets of measurements at the OP, the BIPM calculated the differential time correction  $d$ ,  $[UTC(k1) - UTC(k2)]$ , to be added and its estimated uncertainty ( $1\sigma$ ),  $u(d)$ , for the period of the comparisons.

For time and frequency laboratory of NIMB the results are illustrated in Table 2.

**Tabel 2.** Corecție de timp  
**Table 2.** Time correction

$[UTC(k1) - UTC(k2)]$	$d$	$u(d)$
$[UTC(NIMB) - UTC(OP)]$	-61.8 ns	3.0 ns

Incertitudinea din acest tabel este conservativă. Ea se datorează, în principal, incertitudinii asociate reproductibilității măsurărilor efectuate de OP.

## 5. CONCLUZII

Măsurările prezentate fac parte dintr-o serie de etalonări ale echipamentelor GPS aflate în dotarea laboratoarelor de timp care participă la TAI. Ele contribuie la îmbunătățirea exactității trasabilității laboratoarelor participante la UTC.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] W. Lewandowski, L. Tisserand, "Relative characterization of GPS time equipment delays at the OP, AOS, GUM, LT, TP, BEV, OMH, NIMB, NMC, and ZMDM", *Rapport BIPM - 2010/02*  
 [2] W. Lewandowski, M. A. Weiss, "A Calibration

The uncertainty given in this table is conservative. It is mainly driven by the uncertainty due to the round-trip reproducibility at the OP.

## 5. CONCLUSION

These measurements are part of a series of differential calibrations of GPS equipment located in time laboratories contributing to TAI. They improve the accuracy of access to UTC for the participating laboratories.

## REFERENCES

- [1] W. Lewandowski, L. Tisserand, "Relative characterization of GPS time equipment delays at the OP, AOS, GUM, LT, TP, BEV, OMH, NIMB, NMC, and ZMDM", *Rapport BIPM - 2010/02*  
 [2] W. Lewandowski, M. A. Weiss, "A Calibration

of GPS Equipment at Time and Frequency Standards Laboratories in the USA and Europe", *Metrologia*, **24**, pp. 181- 186, 1987.

[3] W. Lewandowski, P. Moussay, "Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, IEN, ROA, PTB, NIST, and USNO", *Rapport BIPM -2002/02*.

[4] W. Lewandowski, L. Tisserand, "Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, PTB, AOS, KRISS, CRL, NIST, USNO and APL", *Rapport BIPM - 2004/06*.

[5] W. Lewandowski, L. Tisserand, "Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, CNM, NIST, USNO and NRC", *Rapport BIPM -2008/04*

**Revizie științifică:**

*Dr.Dragoș BOICIUC, Cercetător Științific I*

**Despre autor:**

*Anca NICULESCU,dr.ing., Cercetător Științific II  
e-mail anca.niculescu@inm.ro*

of GPS Equipment at Time and Frequency Standards Laboratories in the USA and Europe", *Metrologia*, **24**, pp. 181- 186, 1987.

[3] W. Lewandowski, P. Moussay, "Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, IEN, ROA, PTB, NIST, and USNO", *Rapport BIPM -2002/02*.

[4] W. Lewandowski, L. Tisserand, "Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, PTB, AOS, KRISS, CRL, NIST, USNO and APL", *Rapport BIPM - 2004/06*.

[5] W. Lewandowski, L. Tisserand, "Determination of the differential time corrections for GPS time equipment located at the OP, CNM, NIST, USNO and NRC", *Rapport BIPM -2008/04*

**Scientific revue:**

*Dr.Dragoș BOICIUC, Scientific Researcher I*

**About the author:**

*Anca NICULESCU,PhD, Scientific Researcher II,  
e-mail anca.niculescu@inm.ro*