

# Uspostava nacionalnoga umjernog laboratorija za vrijeme i frekvenciju u Republici Hrvatskoj

Elinor TROGRLIĆ, Damir AUMILER  
i Ticijana BAN

Institut za fiziku

Bijenička cesta 46, HR-10000 Zagreb

etrogrlic@ifs.hr, aumiler@ifs.hr, ticijana@ifs.hr

Vrijeme mjerimo i upotrebljavamo svakodnevno. Standardno je vrijeme za svako mjesto na Zemlji UTC (Coordinated Universal Time). Republika Hrvatska dosad nije imala fizičku realizaciju toga vremena tzv. lokalno-g vremena UTC. Uspostavom nacionalnoga umjernog laboratorija za vrijeme i frekvenciju (NUL TF) na Institutu za fiziku u Zagrebu u Hrvatskoj će se mjeriti lokalno vrijeme ili lokalna vremenska skala UTC(HR) te osigurati mjerna sljedivost do Međunarodnoga sustava jedinica SI za vrijeme i frekvenciju. Planirane aktivnosti laboratorija podupirat će širok raspon primjena u industriji, nacionalnoj infrastrukturi, istraživanju i društvu općenito.

Osnivanje laboratorija omogućeno je sredstvima Europskih strukturnih i investicijskih fondova u okviru Operativnoga programa Konkurentnost i kohezija putem projekta CALT (Centar za napredne laserske tehnike), <http://calt.ifs.hr/>. CALT je strateški projekt Republike Hrvatske u području znanstvene infrastrukture ukupne vrijednosti 121 304 417,38 kuna. Projekt se provodi na Institutu za fiziku, a obuhvaća cjelokupnu obnovu i proširenje jedne od triju zgrada u kojima je smješten Institut te nabavu najsuvremenije znanstvene opreme za laserska istraživanja. Cilj je projekta CALT uspostava potpuno opremljenoga suvremenog znanstveno-istraživačkog centra specijaliziranoga u području naprednih laserskih i optičkih tehnika. Buduće aktivnosti centra obuhvaćaju istraživanje, edukaciju i pružanje otvorenoga pristupa laserskoj opremi, a fokusirat će se na društveno relevantna pitanja povezana s okolišem, hranom, zdravljem, energijom i sigurnošću.

## Definicija i realizacija SI jedinica za vrijeme i frekvenciju

Sekunda, simbol s, jedinica je SI-ja za vrijeme. Definira se tako da se uzme fiksna brojana vrijednost frekvencije cezija  $\Delta\nu_{Cs}$ , frekvencije prijelaza između dviju hiperfinskih razina neperturbiranoga osnovnog stanja atoma cezija 133, koja iznosi 9 192 631 770 kad je izražena u jedinici Hz, koja je jednaka jedinici s<sup>-1</sup> [1]. Iz navedene definicije proizlazi da je sekunda jednaka trajanju 9 192 631 770 perioda oscilacija elektromagnetskoga zračenja koje nastaje kao rezultat prijelaza između točno određenih hiperfinskih razina atoma cezija 133.

Jedinica je SI-ja za frekvenciju hertz (Hz). Ubraja se u izvedene jedinice sustava SI, a definira kao jedan ciklus periodične pojave u sekundi.

SI sekunda ostvaruje se mjerenjima primarnih laboratorijskih etalona. Primarni laboratorijski etaloni najtočniji su etaloni na svijetu, s točnošću većom od 1 sekunde u 100 milijuna godina. Danas je u svijetu 12 takvih etalona, a nalaze se u laboratorijima sljedećih zemalja: Amerika (NIST), Njemačka (PTB), Italija (INRIM), Japan (NMIJ, NICT), Francuska (BNM-SYRTE), Velika Britanija (NPL). Većina nacionalnih umjernih laboratorija (NUL) upotrebljava sekundarne tvorničke etalone s cezijevima atomima, tzv. cezijeve atomske satove i

*Cilj projekta CALT je uspostava potpuno opremljenog suvremenog znanstveno-istraživačkog centra specijaliziranog u području naprednih laserskih i optičkih tehnika. Buduće aktivnosti centra obuhvaćaju istraživanje, edukaciju i pružanje otvorenog pristupa laserskoj opremi, a fokusirat će se na društveno relevantna pitanja vezana za okoliš, hranu, zdravlje, energiju i sigurnost.*

vodikove masere. Vodikovi maseri (MASER – Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) upotrebljavaju su uz cezijeve satove jer uz istu točnost kao cezijevi atomski satovi imaju bolju kratkotrajnu stabilnost. Međunarodna ili svjetska vremenska skala UTC nastaje mjerenjima oko 450 atomskih satova smještenih u oko 80 laboratorija širom svijeta. Na osnovi tih mjerenja Međunarodni ured za utege i mjere BIPM računa i generira dvije vremenske skale: međunarodnu atomsku skalu TAI (International Atomic Time) i međunarodnu vremensku skalu UTC. Te dvije skale realiziraju SI sekundu. UTC i TAI skale razlikuju se po cijelome broju sekunda, koje se dodaju skali UTC kad je to potrebno sa svrhom da se od vremenske skale UT1, koja je određena brzinom rotacije Zemlje, ne razlikuje za više od  $\pm 0,9$  s. Te tzv. prijestupne sekunde dodaju se od 1972. godine, u prosjeku 6 sekunda svakih 10 godina. Do danas je dodano 37 sekundi.

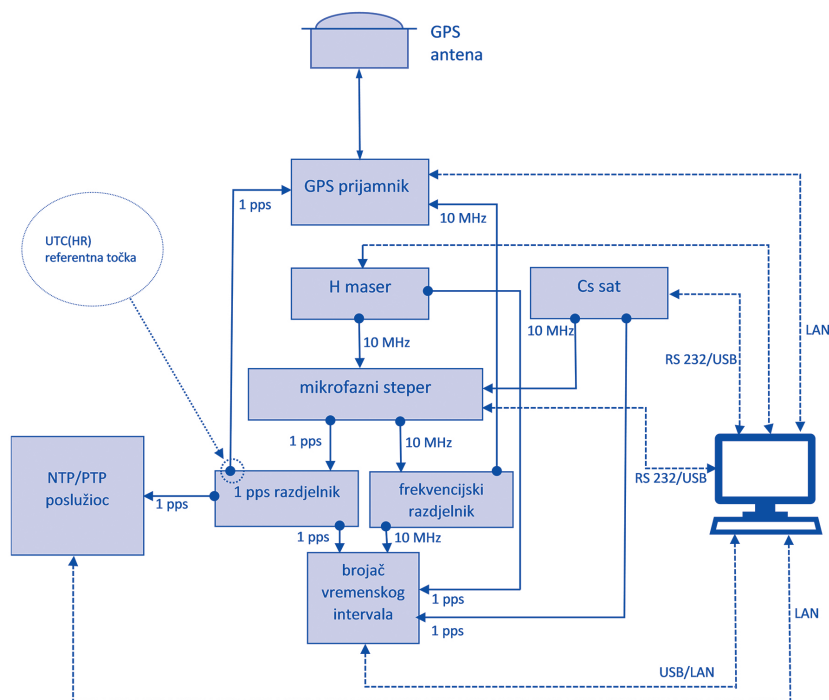
Jednom mjesečno BIPM izdaje publikaciju pod nazivom Circular T, u kojoj su objavljene razlike referentne UTC i lokalne vremenske skale UTC(k), (UTC-UTC(k)), s mjernom nesigurnošću za razdoblja mjerenja 5 dana za svakoga sudionika k. Dakle, BIPM prenosi UTC papirnatu, a onda ga laboratoriji primjenjuju ispravljajući svoje satove da bi ostvarili stvarnu, fizičku skalu UTC, odnosno UTC(k).

## Mjerni sustav nacionalnoga umjernog laboratorija

U centru CALT u jedinici za kvantne tehnologije u tijeku je osnivanje nacionalnoga umjernog laboratorija za vrijeme i frekvenciju u cilju pružanja službenoga hrvatskog vremena i mjerne sljedivosti do SI sustava jedinica za vrijeme i frekvenciju. Laboratorij će biti opremljen standardnom opremom za mjerenje vremena i diseminaciju, uključujući opremu za umjeravanje uređaja temeljenih na vremenskoj/frekventnoj skali. U tu svrhu koristit će se standardizirani, tvornički cezijev atomski sat i vodikov maser te ostala

oprema za čuvanje vremena. Laboratorij će biti opremljen GPS sustavom putem kojega će biti omogućena usporedba izmjenjenoga vremena u laboratoriju s vremenom mjerenim u drugim nacionalnim laboratorijima i usporedba s UTC-om. Nacionalno vrijeme diseminirat će se unutar CALT centra te vanjskim korisnicima putem NTP (Network Time Protocol) poslužioaca. Shema planiranoga sustava prikazana je na slici 1.

Kako je prikazano na slici 1., mjerni sustav zamišljen je tako da cezijev atomski sat predstavlja državni etalon, a H maser daje vremensku skalu koja se uporabom GPS kontinuirano šalje u BIPM kao lokalno vrijeme UTC(HR). Odabran je cezijev atomski sat tipa kojim se kao etalonom koristi većina NUL-a u svijetu. Oba uređaja, cezijev sat i H maser, daju signal 1pps (jedan puls u sekundi) za vrijeme i 10 MHz za frekvenciju. Signali s obaju uređaja vode se na mikrofazni steper, koji ispravlja i generira lokalnu vremensku skalu UTC(HR) i referentnu frekvenciju 10 MHz. Sustav omogućava zamjenu cezijeva sata u slučaju kvara bez prekida u mjerenjima. U slučaju kvara H masera, mikrofazni steper automatski preuzima signal 10 MHz s Cs sata bez prekida u mjerenjima. Za multipliciranje signala (10 MHz i 1pps) upotrebljavaju se frekvencijska razdjelna jedinica i 1pps vremenska razdjelna jedinica, koje su spojene s mikrofaznim steperom. Izlazni signal s razdjelne jedinice koristi se kao referentna točka lokalnoga vremena UTC(HR). Taj je signal izravno spojen na GPS prijammnik radi međulaboratorijske usporedbe vremenskih skala. Signali 1pps i 10 MHz s razdjelnika sinkroniziraju brojač vremenskoga intervala. Brojač vremenskoga intervala omogućava istodobno mjerenje 1 pps signala više vanjskih uređaja s pomoću jednoga referentnog signala. Dva kanala rezervirana su za kontinuiranu usporedbu Cs sata i H masera. Jedan od izlaza razdjelnika spojen je na poslužioac koji omogućava distribuciju signala unutar i izvan laboratorija s pomoću NTP (Network Time Protocol) i PTP (Precise Time Protocol) protokola. Cs sat i H maser spojeni



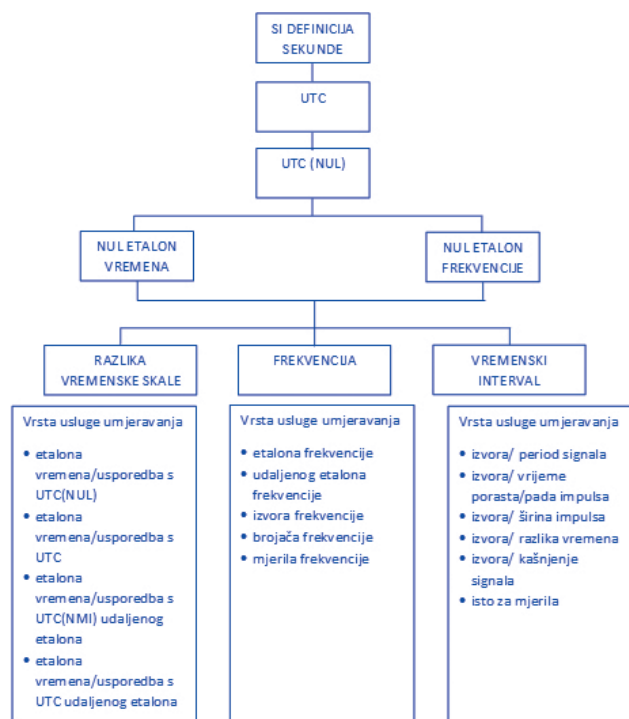
Sl. 1. Mjerni sustav za generiranje, čuvanje i diseminaciju referentne UTC(HR) vremenske skale i frekvencije

su s računalom RS-232 sučeljem. RS-232 sučelje upotrebljava se za kontrolu i korekciju izlaza mikrofaznoga stepera, koji generira referentno vrijeme i frekvenciju. Kontrola GPS prijarnika i pohrana podataka odvija se putem LAN mreže. Veza LAN-a s računalom služi kontroli NTP/PTP poslužioaca. Sve funkcije i mjerenja toga sustava odvijaju se automatski i kontrolirani su programskom podrškom. Programaska podrška sprema podatke s brojača i omogućuje analizu podataka u stvarnome vremenu.

GPS prijarnik omogućuje automatsko slanje podataka u zadanome obliku BIPM-u radi sudjelovanja u ključnoj međulaboratorijskoj usporedbi, tj. sudjelovanja u stvaranju skala UTC i TAI. Cijeli se sustav prema potrebi može nadograditi.

## Osiguranje mjerne sljedivosti do SI sekunde i hertza

Prema BIPM zahtjevima odnosno CCTF (Consultative Committee for Time and Frequency) uputama [2] dva su načina kojim nacionalni umjerni laboratorij može osigurati mjernu sljedivost do SI sekunde i hertza. Jedna je mogućnost usporedbom s UTC sudjelovanjem u ključnoj usporedbi CCTF-K001.UTC, a druga usporedbom s drugim NUL-om koji sudjeluje u ključnoj usporedbi CCTF-K001.UTC. Većina NUL-ova sudjeluje u ključnoj usporedbi. Uslugama umjeravanja laboratorij osigurava mjernu sljedivost prema umjernim laboratorijima i krajnjim korisnicima. Na slici 2. prikazana je mjerna sljedivost do jedinica SI-ja s uslugama umjeravanja definiranim u BIPM-u, odnosno u uputama CCTF-a.



SI. 2. Mjerna sljedivost do SI sekunde (Hz). Usluge umjeravanja koje je definirao BIPM.

## Diseminacija i distribucija signala točnoga vremena i frekvencije

Osnovna zadaća NUL-a diseminacija je službenoga vremena.

Mogući su načini diseminacije :

- GPS signalom
- radiosignalom
- signalom telefonske mreže
- uporabom NTP poslužioaca (internet)
- optičkim vezama.

NTP poslužioaci najpopularniji su medij za diseminaciju točnoga vremena širom svijeta. To su računalni poslužioaci koji se koriste Network Time Protocolom za diseminaciju vremenskoga koda sukladno s UTC, LAN (Local Area Network) ili WAN (Wide Area Network) mrežom. Danas sva računala sinkroniziraju svoje satove s pomoću NTP poslužioaca. Diseminacija službenoga vremena s pomoću NTP-a na najvišoj nacionalnoj razini zadaća je NUL-a. Za mjerenja velike točnosti, signal vremena distribuira se PTP (Precise Time Protocol) poslužiocem ili optičkom mrežom.

## Zahtjevi koje mora ispuniti nacionalni umjerni laboratorij

### Zahtjevi BIPM-a

Ciljevi su BIPM ključne usporedbe CCTF-K001-UTC:

- osigurati sljedivost do međunarodne referentne vremenske skale UTC s pomoću lokalnih vremenskih skala UTC(k), ostvarenih u nacionalnim umjernim laboratorijima
- omogućiti diseminaciju širom svijeta UTC vremenske skale sudjelovanjem laboratorija koji se tamo nalaze.

Svaki laboratorij koji želi sudjelovati u ključnoj usporedbi mora ispuniti sljedeće zahtjeve:

- biti nositelj državnoga etalona zemlje članice BIPM-a ili pridruženoga člana CGPM-a
- biti opremljen jednim ili više atomskih satova
- upravljati opremom za prijenos vremena, koja daje rezultate u zadanome obliku koji zahtijeva CCTF odnosno BIPM:
- moći dostavljati podatke u BIPM kontinuirano.

Hrvatska je članica Opće konferencije za utege i mjere (CGPM, General Conference of Weights and Measures). Državni zavod za mjeriteljstvo potpisnik je Dogovora o međusobnome priznavanju CIPM MRA (International Committee for Weights and Measures, Mutual Recognition Arrangement) kojim se osigurava međunarodno priznavanje ravnopravnosti i kvalitete temeljnoga mjeriteljstva (državnih etalona, umjeravanja i izdanih potvrda o umjeravanju) u Republici Hrvatskoj kao preduvjeta ekonomske konkurentnosti i međunarodne zakonodavne suradnje.

## Zahtjevi zakonodavstva Republike Hrvatske

Zakonski su okviri koji definiraju nacionalno vrijeme i njegovo diseminaciju u svijetu različiti [3]. U Republici Hrvatskoj taj okvir obuhvaća sljedeće zakone i pravilnike:

- Ukaz o proglašenju Zakona o računanju vremena NN 27/13
- Zakon o izmjeni Zakona o računanju vremena NN 33/1996
- Uredba o ljetnom računanju vremena u 2018, 2019, 2020 i 2021. godini, NN 9/2018
- Zakon o mjeriteljstvu NN 74/2014
- Zakon o izmjenama Zakona o mjeriteljstvu NN 111/2018
- Pravilnik o državnim etalonima NN 5/2020

Jedan je od zahtjeva Pravilnika o državnim etalonima za priznavanje nacionalnoga umjernog laboratorija dobivanje akreditacije za postupke umjeravanja u području predmetne fizičke veličine. Nakon uspostave opisanoga sustava mjerenja (slika 1.), a zatim i sustava upravljanja sukladno normi HRN EN ISO/IEC 17025:2017, Opći zahtjevi za osposobljenost

ispitnih i umjernih laboratorija, laboratorij će podnijeti prijavu za akreditaciju. Stjecanjem akreditacije, uz sve prije navedeno, laboratorij će ispuniti sve zahtjeve za proglašenje svojega referentnog etalona državnim etalomom.

## Zaključak

u radu je predstavljen postupak uspostave nacionalnoga umjernog laboratorija za vrijeme i frekvenciju u Republici Hrvatskoj. Sustav za mjerenje vremena i frekvencije bit će osnova za stvaranje nacionalne vremenske skale i distribuciju točnoga vremena i frekvencije. Time će se stvoriti uvjeti za sudjelovanje Hrvatske u međunarodnome sustavu stvaranja i distribucije svjetske vremenske skale UTC. Osnivanje nacionalnoga umjernog laboratorija za vrijeme i frekvenciju nedvojbeno će doprinijeti unaprjeđenju i sigurnosti mjeriteljske infrastrukture u Hrvatskoj.

## Literatura

- [1] <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>  
 [2] <https://www.bipm.org/en/committees/cc/cctf/publications-cc.html>  
 [3] R. Lopuh, „EURAMET ‘Countries Legal Time regulations and Practices‘, April 2011

# TEHNIČAR

SERVAG

## MJERITELJSKI LABORATORIJ



### Masa

- umjeravanje neautomatskih vaga
- umjeravanje utega



### Temperatura & relativna vlaga

- mjerila temperature – termometri
- mjerila relativne vlage – higrometri
- komore, prostori, kupke i termoblokovi



### Prodaja & servis

- vage i utezi
- laboratorijska i farmaceutska oprema
- servis vaga i laboratorijske opreme



### Tlak

- mjerila tlaka
- manometri



### Vrijeme & frekvencija

- mjerila vremenskog intervala
- mjerila broja okretaja



## EXACTUM

- pametni sustav za nadzor
- temperatura, tlak, vlaga, co2...



TEHNIČAR SERVAG d. o. o.  
 Crnojezerska 18  
 HR-10000 Zagreb  
 Hrvatska, EU

T: +385 1 48 46 425  
 F: +385 1 48 46 429  
 M: +385 98 354 589  
 E: info@tehnicar-servag.hr

[www.tehnicar-servag.hr](http://www.tehnicar-servag.hr)

