

Laboratorij za tehnička mjerenja pri Sveučilišnom odjelu za stručne studije

Technical measurements Lab at OSS Unist

Predrag Đukić^a, Roko Rogulj^a

^a Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, Kopilica 5, 21000 Split, Hrvatska | University of Split, University department of professional studies, Kopilica 5, 21000 Split, Croatia

*Corresponding author: pdukic@oss.unist.hr

INFORMACIJE O ČLANKU

Kategorija:
Stručni rad

Ključne riječi:
Mjeriteljstvo
Mjerenja
Etaloni
Umjeravanje
Nesigurnost

Licenca: CC BY-NC-SA 4.0.

SAŽETAK

U ovom radu dan je pregled mjernih postupaka, procedura i opreme koju Odjel stručnih studija Sveučilišta u Splitu (OSS u daljnjem tekstu) koristi pri obavljanju znanstveno-istraživačkog rada kao i nastavnih procesa. S obzirom na to da se na Odjelu organizira nastava na studijima Strojstva, Elektronike i Elektroenergetike, vremenom se nabavio određeni broj mjernih uređaja i etalona. Tehnička mjerenja imaju poseban značaj u korektivnom i preventivnom održavanju. Osim održavanja opreme, dodatni je bonus neograničeni pristup studenata laboratoriju tijekom predavanja ili laboratorijskih vježbi, što kod komercijalnih umjerenih laboratorija nije dozvoljeno (dio EN-ISO 17025 zahtjeva). Neki od uređaja i etalona ne nalaze se često u laboratorijima dodiplomskih studija te su time izuzetno korisni za obrazovanje studenata. Studenti koji su se tijekom procesa obrazovanja upoznali sustavom mjerne opreme i umjeravanja iste pripremljeni su za potrebe koje su neophodne poznavati u procesu primjene stečenog znanja na tržištu rada.

ARTICLE INFORMATION

Category:
Professional paper

Keywords:
Metrology
Measurements
Etalons
Calibration
Uncertainty

License: CC BY-NC-SA 4.0.



ABSTRACT

Professional Studies Department of University of Split (OSS in following text) is not a commercial manufacturing or service entity. However, we need to maintain quality of our measuring equipment, to check their calibration, and measuring uncertainty. Since we have Mechanical, Power and Electrical engineering under one roof, over time, wide range of measuring devices and etalons accumulated. Besides maintenance of equipment, additional bonus is unrestricted access to our students for classes and lab exercises, because commercial calibration labs do not allow access to third party persons (part of EN-ISO 17025 requirements). Of those equipment and etalons some are rarely found in undergraduate labs, and therefore extremely useful for our students education.

1. Uvod: Svrha posebne mjerne i umjerne opreme Sveučilišnog odjela za stručne studije

Na Odjelu se nalazi popriličan broj mjernih uređaja. Međutim, samo neki se mogu smatrati metrološkom kvalitetom s mjernom nesigurnošću između 100 ppm i 1 ppm ili boljom, kakvu na primjer mogu osigurati primarni etaloni ili metode. Pri tome cilj nije imati akreditirani umjerni laboratorij, jer je trošak akreditacije i vođenja takvog laboratorija velik i ne može se opravdati "in house" potrebama niti nastavom. Osnovni trošak akreditacije laboratorija u hladnom pogonu je oko 200.000 € godišnje. Na to dolaze dodatni troškovi za svaku pojedinu mjernu veličinu, koji variraju zavisno radi li se o lancu sljedivosti od nekog primarnog etalona ili od sekundarnog etalona koji zahtijeva vanjsko umjeravanje u boljem laboratoriju.

Cilj je, dakle, imati pri ruci opremu i što je još važnije ZNANJE, koje bi hipotetski, u određenoj prilici i pod određenim uvjetima MOGLO osigurati kvalitetno

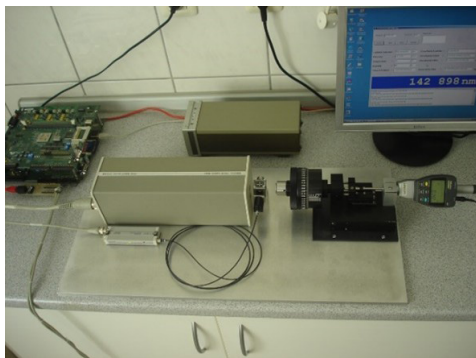
mjerenje i umjeravanje određenih fizikalnih veličina. A još važniji cilj je taj da studenti kako u redovnoj nastavi, tako i prema svojim vlastitim afinitetima imaju pristup opremi, dokumentaciji i mentorima.

2. Mjerne veličine

2.1. Duljina i izvedene veličine (brzina, akceleracija)

Definicija metra je nedavno izmijenjena. Trenutno glasi, pojednostavljeno: Metar je udaljenost koji prijeđe svjetlost u vakumu za vrijeme od 1/299792458 sekundi. Trenutno primarni etalon (optički češalj) nemamo, ali "praktična mjera" realizacije metra prema prethodnoj definiciji je "Zeeman-split stabilized He-Ne laser". Takav laser osnova je komercijalnih sustava za kontrolu geometrije alatnih strojeva interferometrijom. Na slici 1. prikazan je laserski sustav pripremljen za umjeravanje komercijalne mjerke. Dodatni senzori temperature, tlaka zraka i vlažnosti nisu prikazani u ovom primjeru.

Vrlo raširan primjer su sustavi firme Keysight (prethodno Hewlett-Packard/Agilent), modeli 5527A 5528A 5529A i najnoviji 5530A. Kod njih se koristi posebna metrološka laserska cijev s mjernom nesigurnošću od 0,2ppm (2,5ppm za vrijeme životnog vijeka cijevi).



Slika 1. Laserski sustav pripremljen za umjeravanje komercijalne mjerke/mikrometra.

Figure 1 Laser system prepared for calibrating a commercial caliper/micrometer.

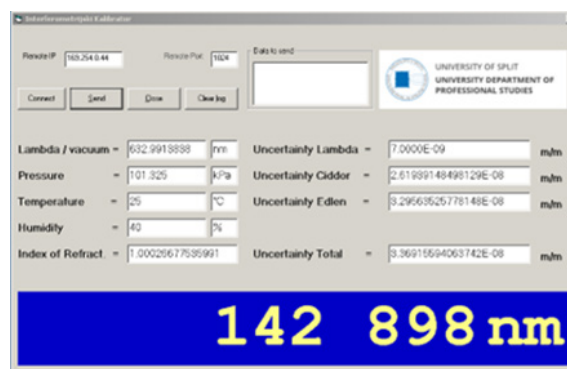
Na raspolaganju na OSS-u su tri takva sustava (5529A). Dva su starija u obliku dodatnih adaptorskih kartica za PC računalo, a jedan je u samostojećem USB kućištu- sučelju (55292A). U tablici 1. prikazan je popis mjernih veličina i mjernih sposobnosti. U osnovnom, neizmjenjenom obliku svaki od njih omogućuje (uz određeni mehanički i optički pribor) kontrolu geometrije alatnih strojeva - tokarilica i glodalica.

Mjerenja koja se mogu izvršiti uključuju kuteve između osi, linearnost uzdužnog pomaka po tim osima, veličina neželjenog poprečnog pomaka pri

uzdužnim pokretima osi kao i ravnost pojedinih staza stroja, ili tušir-ploče u laboratoriju za kontrolu oblika i dimenzija.

Međutim korisnost toga sustava i pripadajućih cijevi ne staje s duljinom. Osnovni 5529A sustav nije zamišljen za mjerenje drugih veličina, ali uz odgovarajuće izmjene i dodatke, moguće je precizno mjerenje brzine i akceleracije. Jedna od primarnih metoda [1] (ISO16063:1-41), zahtijeva još i precizno mjerenje vremena. O tome će više biti riječi u slijedećem poglavlju. Tako je na odjelu izrađeno alternativno PC sučelje (slika 2.) potpomognuto FPGA tehnologijom.

Sučelje, tj. uređaj, omogućuje istovremeni prikaz i spremanje podataka o mjerenju duljine interferometrom i još jednim dodatnim uređajem (npr. inkrementalni encoder ili Mitutoyo Digimatic pomična mjerka), a uz vanjsku vremensku referencu još i mjerenje brzine ili ubrzanja.

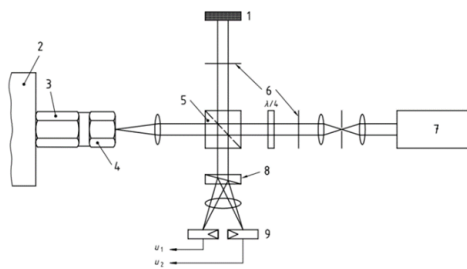


Slika 2. Programski prozor
Figure 2. Program window

Tablica 1. Popis mjernih veličina i najboljih mjernih sposobnosti
Table 1 List of measured quantities and best measuring capabilities

Mjerna veličina	Model i vrsta uređaja	Primarni/sekundarni	Princip rada	Najbolja točnost ili razlučivost
Duljina	Agilent 5529A calibrator	Sekundarni	Zeeman split stabilized He-Ne tube (HP5517B)	0,2/2,5um/m
Kut	Heidenhain, referentni inkrementalni enkoder	Sekundarni	Optička difrakcijska mrežica	20" (kutnih sekundi)
Kut	Agilent 5529A calibrator	Sekundarni	Zeeman split stabilized He-Ne tube (HP5517B)	<1" (kutna sekunda)
Vrijeme i frekvencija	FEI5440A, cezijev sat	Primarni	Cezijev atomarni mlaz u magnetskom/mikrovalnom polju	1x10 ⁻¹² s/s
Vrijeme i frekvencija	FEI5660A, rubidijev sat	Sekundarni	Rubidijeva kuveta u mikrovalnom polju	1x10 ⁻¹¹ s/s
Akceleracija	Vlastiti razvoj	Primarni	Interferometrijsko mjerenje akceleracije prema ISO16063 standardu	1x10 ⁻³
Akceleracija	Bruel&Kjaer 4291	Primarni	Metoda reciprociteta	1%
Omski otpor	IET 240C	Sekundarni	Kelvinov razmjerni most	1x10 ⁻⁷ +mjerna nesigurnost etalona
Omski otpor	GR1644	Sekundarni	Wheatstoneov razmjerni most	Max. 1000T ohms 10% na 100T ohms 2% na 10T ohms
Zvučni tlak	GR1559A	Primarni	Metoda reciprociteta	0,5dB
Zvučni tlak	GR1559B	Primarni	Metoda reciprociteta	0,5dB
Zvučni tlak	Bruel&Kjaer 4142	Primarni	Metoda reciprociteta	0,5dB
DC napon	Eppley Westonove ćelije	Sekundarni	Direktna usporedba, diferencijalni napon	50ppm, 2ppm godišnje nakon kalibracije

Dijelovi laserskog sustava za duljinu prikazani su u tablici 2., a za umjeravanje akcelometara u tablici 3. Za umjeravanje akcelometara primarnom metodom reciprociteta koristimo i Bruel Kjaer 4291[2] "Accelerometer Calibrator". Unatoč tome što je i to primarna metoda, podaci proizvođača o tom uređaju kažu da je mjerna nesigurnost +/- 2%, dok je laserska metoda nekoliko redova veličine točnija. (slika 3.). Metoda korištena u OSS sustavu se donekle razlikuje (Heterodyne vs. Homodyne), ali su rezultati identični.



Slika 3. Umjeravanje akcelometra ISO16063-11[1] metodom
Figure 3 Accelerometer calibration using the ISO16063-11[1] method

Tablica 2. Dijelovi laserskog sustava za duljinu
Table 2 Parts of the laser system for length

Laserska Glava/Cijev HP5517B	(1)
Polarizacijska Prizma	(2)
Pokretni retroreflektor	(3)
Sonda s optičkim vlaknom	(4)
Optičko vlakno	(5)
Optički prijemnik	(6)
Interpolator (ovdje nije spojen)	(7)
Mjerna (FPGA) ploča	(8)
Podložna kruta ploča za montažu sustava s pomoćnim mehaničkim mikrometrom za ručno ostvarivanje potrebnih pomaka između umjernih točaka	(9)
Programska podrška za obradu signala i izračunavanje mjernih nesigurnosti	(10)

Tablica 3. Dijelovi laserskog sustava za umjeravanje akcelometara
Table 3 Parts of the laser calibration system of accelerometers

Referentno (nepomično) zrcalo ili retroreflektor	1
Vibracijski stol (Shaker)	2
Akcelometar	3
Pomično zrcalo-retroreflektor	4
Polarizirajuća prizma	5
Četvrtvalna ploča	6
Laserska Glava	7
Wollastonova prizma	8
Fotodiode (Optički prijemnik)	9

2.2. Vrijeme i frekvencija

Slijedeći je etalon primarni etalon frekvencije odnosno vremena. Radi se o vojnom NATO uređaju, portabilnom cezijevom satu, Firme FEI, Model 5440A [3]. Točnost je negdje na razini 1×10^{-12} što je lošije od laboratorijskih verzija sličnih satova/oscilatora. Međutim, uređaj je primarni etalon, te kao takav ne zahtijeva dodatno umjeravanje. Za svaki slučaj, ispravnost uređaja moguće je provjeriti pomoću metrološkog GPS prijemnika firme Trimble, Model Thunderbolt, koji je također dostupan. Osnovna prednost ovoga uređaja (5440A) je činjenica da je on modularan, tj. svaki se modul može izvaditi, zamijeniti istim, boljim ili modificiranim. Za njega postoji kompletna servisna dokumentacija što našim studentima, u slučaju interesa, omogućuje potpuni uvid u funkcioniranje i održavanje. Budući da je veći dio uređaja, isključivši samu cijev s cezijevim mlazom, u stvari klasična mikrovalna i digitalna tehnika, lako se uključuje u predavanja iz drugih predmeta. Iz istog razloga, moguće ga je gotovo u cijelosti replicirati i izgraditi od modernijih komponenti, te time dobiti "Nacionalni etalon". Da bi bolje pojasnili ovu tvrdnju, moramo spomenuti da jedini drugi cezijev sat u Republici Hrvatskoj, onaj na FER-u ne funkcionira već godinama, te time Hrvatska nema nacionalni etalon vremena. U stvari iako PEL laboratorij čuva neke od nacionalnih etalona tome laboratoriju nije nikada dodijeljen status referentnog laboratorija za vrijeme i frekvenciju, tako da nedostatak samog uređaja nije jedini razlog ovakve situacije. Vjerojatno je razlog u stvari ekonomske prirode. Za održavanje primarnog etalona vremena trebaju značajna sredstva, a za precizno umjeravanje satova, uz široku dostupnost GPS-a jednostavno nema dovoljno klijenata.

2.3. Omski otpor

OSS nema primarni etalon otpora. Quantum Hall Resistor (QHR) uređaj zahtijeva kriogene temperature bliske apsolutnoj nuli, te jaka magnetska polja, znatno veća od 4,5T. Međutim, na OSS postoji jedna mala zbirka sekundarnih etalona – standardnih otpornika firme Leeds&Northrup. Oni su trenutno izvan kalibracije, ali... Za razliku od nekih drugih etalona, etaloni otpora stabilniji su što su stariji. Poznato je da popuštanje napreznja u metalima postoji i na sobnoj temperaturi, samo što je jako sporo i promjene su male. Mikroskopski male promjene otpora koje doživljavaju standardni otpori prate logaritamsku krivulju kroz desetljeća, te ne postoji način

da se period stabilizacije značajnije skрати bez opasnosti da se cijeli process starenja ugrozi. Zbirka standardnih otpornika na OSS mirno i bez stresa stari već 60 godina, te je procijenjena promjena vjerojatno manja od 0,5ppm godišnje. Nakon propisnog umjeravanja bit će to osnova jednog kvalitetnog sustava za umjeravanje otpornika i još važnije Ohmmetara. Precizna DC usporedba otpornika vrši se Kelvinovim mostom [4], koji je također dostupan, te je moguće umjeravanje s mjernom nesigurnošću od 0,2ppm u području 120M Ω , te nešto lošijim izvan tog područja. Posebno je interesantno područje Teraohma, za koje inače imamo klasični Megger uređaj za mjerenje izolacije, ali gornja područja imaju točnost od 5-20%. Za samo mjerenje, posebno na terenu ta je točnost sasvim zadovoljavajuća. Ali kada je jedan takav uređaj potrebno umjeriti, onda to predstavlja problem. Za takve potrebe se koristi set od 25 teraohmskih otpornika u serijsko-paralelnom Hamonovom razdjelniku (ad-hoc spoj), koji omogućuje kalibraciju 25T Ω , s nesigurnošću manjom od 0,5 %. Za manje zahtjeve GR1644 [5] teraohmmetar omogućuje 10T Ω područje umjereno s 2 %.

2.4. Zvučni tlak

Na OSS imamo kolegij Elektroakustika, i konsekvntno, skupila se zbirka mjernih uređaja iz područja mjerenja zvuka. Mikrofoni, mjerni mikrofoni i slično. Ali najzanimljiviji i najrjeđi uređaj je kalibrator za osjetljivost mikrofona. Također radi na principu reciprociteta, te je time mikrofon umjeren na njemu primarni etalon zvučnog tlaka. U zbirci je nekoliko primjeraka, uključujući i prvi komercijalni uređaj koji radi na tome principu: GR1559A [6]. Prije njega, mikrofoni su se umjeravali na termoakustičnom principu, koji je, što se kasnije dokazalo, bio pogrešan. Povijesno, takve su uređaje proizvodile samo dvije firme "General Radio" i "Bruel&Kjaer" s ukupno pet modela, od kojih imamo u zbirci tri.

3. Zaključak

Ovdje prezentirana oprema i programi nisu novi niti posebni. Oni opisuju napore koji su poduzeti na OSS Unist kako bi se održavala točnost i ispravnost ostale mjerne opreme, uz mogućnost da studenti mogu dobiti uvid u sklopove, metode i postupke koji se primjenjuju u mjeriteljstvu i održavanju precizne mjerne opreme. Naime tehnička mjerenja posebice su značajna s aspekta korektivnog i preventivnog održavanja. Ovakav sustav laboratorijske opreme zadovoljava potrebe obrazovanja studenata, koje su neophodne za daljnje usavršavanje i primjenu stečenog znanja.

Priznanja

Puno poštovanje i zahvala svima koji su dali svoj, makar i mali doprinos u naporima da se ova oprema ostvari i održava, a kojih je previše da ih ovdje imenom navodimo.

Literatura

- [1] ISO standard 16063:1-41.
- [2] Bruel & Kjaer 4291 User's and service Manual.
- [3] FEI5440A User's and service Manual.
- [4] ESI Kelvin ratio Bridge model 240C User's and service manual.

[5] General Radio model 1644 Megaohmmeter User's and service manual.

[6] General Radio model 1559A/B Microphone reciprocity calibrator.