

U INSTITUTU ZA FIZIKU AKREDITOVANA LABORATORIJA ZA ETALONIRANJE LUKSMETARA I LUMINANSMETARA

D. Dramlić*, Z. Velikić*, P. Milutinović*, S. Dramlić**

** UNIVERZITET U BEOGRADU, Institut za fiziku, Centar za eksperimentalnu fiziku, Laboratorija za fiziku atmosfere i optičku metrologiju, 11080 Zemun, Pregrevica 118, P.O.Box 68*

*** UNIVERZITET U BEOGRADU, Elektrotehnički fakultet, 11000 Beograd, Bulevar Kralja Aleksandra 73*

E-mail: dramlic@ipb.ac.rs

ABSTRACT

U Institutu za fiziku krajem septembra, saglasno sa standardom **SRPS ISO/IEC 17025:2006**, akreditovana je Laboratorija za optičku metrologiju za oblast optičke veličine: osvetljenost i luminanciju. Dobijeni obim akreditacije od strane Akreditacionog tela Srbije je za etaloniranje luksmetara i etaloniranje luminansmetara. U radu će biti data referentna dokumenta koja se odnose na akreditaciju, prikazana oprema i uslovi pod kojima se izvodi etaloniranje a biće i opisane metode etaloniranja, procedure, metrološka sledivost kao i merna nesigurnost. Na kraju daće se kakve korake Laboratorija predviđa u budućnosti.

Ključne reči: osvetljenost, luminancija, etaloniranje, luksmetar, luminansmetar

UVOD

Laboratorija za fiziku atmosfere i optičku metrologiju nalazi se u sastavu Centra za eksperimentalnu fiziku Instituta za fiziku. Dosadašnje angažovanje saradnika Laboratorije pretežno je bilo na razvoju i primeni najnovijih mernih metoda u oblasti radiometrije, fotometrije i svetlotehničkih merenja. Kao rezultat toga urađen je niz diplomskih, specijalističkih i magistarskih radova koji su branjeni na Fizičkom fakultetu, Elektrotehničkom fakultetu ili Centru za multidisciplinarnu studije Beogradskog Univerziteta. Pored toga saradnici Laboratorije su dugogodišnji članovi u stručnim komisijama profesionalnih udruženja iz ove oblasti. Budućnost Laboratorije usmerena je kako na dalji razvoj i primenu najnovijih mernih metoda u ovoj oblasti, tako i pre svega na pružanju usluga korisnicima iz domena dobijene akreditacije.

PROSTOR

Laboratorija se nalazi u zgradi Instituta za fiziku, Pregrevica 118, 11080 Zemun-Beograd. Prostor se sastoji od same laboratorije, operatorske sobe i pratećeg kancelarijskog prostora. Laboratorija ima dimenzije (10 x 6,5 x 4,2) m, čiji su zidovi, plafon i pod kao i sav laboratorijski nameštaj ofarban u mat crnu boju. U laboratoriji je moguće ostvariti optički put u dužini do 9 m. Prostor je klimatizovan tako da se temperatura i vlažnost održavaju u predviđenim granicama. Pored toga laboratorija je sa pokretnim paravanom podeljen na dva dela. U jednom delu se nalazi goniofotometar sa njemu pripadajućom opremom, dok se u drugom delu, koji je nešto

veći, nalaze optički mermerni stolovi sa samostojećom optičkom klupom dužine 4 m kao i ostalom opremom i instrumentacijom koja je neophodna za etaloniranje luksmetara i luminansmetara.

KADROVI

Trenutno Laboratorija raspolaže sa tri stalna saradnika i dva spoljna saradnika. Kada je neophodno, angažuju se saradnici iz drugih laboratorija Instituta za fiziku. Osoblje Laboratorije raspolaže velikim iskustvom iz oblasti optičke metrologije i eksperimentalnih merenja i svim korisnicima stoji na raspolaganju za besplatne konsalting usluge u okviru standardnih poslova.

REFERENTNA DOKUMENTA

Referentna dokumenta po kojima je tim za ocenjivanje, Akreditacionog tela Srbije, dodelio akreditaciju a prema ATC - YΠ01 su:

- Referentni standard: SRPS ISO/IEC 17025:2006
- ATC-ΠA01 Pravila akreditacije;
- ATC-ΠA02 Pravila o učešću u međulaboratorijskim poređenjima i šemama za ispitivanje osposobljenosti,
- ATC-ΠA 03 Pravila za ostvarivanje prihvatljive sledivosti merenja;
- ATC-ΠA 04 Pravila za korišćenje simbola akreditacije,
- ATC-ΠA 06 Procena merne nesigurnosti
- EA 4/02 Expressions of the Uncertainty of Measurement in Calibration, ILAC G17:2002 Introducing the Concept of Uncertainty of Measurement in Testing in Association with the Application of the Standard ISO/IEC 17025.

U samoj Laboratoriji na snazi su sledeći standardi:

- ILAC-G4: 1994, Guidelines on scopes on Accreditation,
- EA-4/02:1999, Expression of the uncertainty in calibration
- International Vocabulary of Metrology - Basic and General Concepts and Associated Terms, VIM, 3rd edition, JCGM 200:2008

Pored toga, standardi koji se koriste pri etaloniranju su:

- Klasifikacija etalona jedinice svetlosne jačine, jedinice osvetljenosti i jedinice luminancije i merne metode za prenošenje vrednosti jedinica sa Jugoslovenskog (primarnog) etalona na sekundarne i radne etalone **Glasnik 2-3/99**,
- Pravilnik o načinu upotrebe i klasifikacije etalona jedinice svetlosne jačine, osvetljenosti i luminancije **Sl. list 5/99**,
- Metrološko upustvo za pregled fotoelektričnih luminansmetara - merila luminancije **Glasnik 04/88**,
- Metrološko upustvo za pregled fotoelektričnih luksmetara - merila osvetljenosti **Glasnik 04/91**,
- Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers **CIE (Commission international de l'éclairage) Publication CIE No 53 (TC2.2) 1982** i

OBIM AKREDITACIJE

U donjoj Tabeli dat je obim akreditacije.

R.B	Oblast etaloniranja	Predmet etaloniranja	Opseg	Merna nesigurnost	Metoda etaloniranja
1.	Osvetljenost	Etaloniranje luksmetara	20 lx do 1000 lx	$\pm 3 \%$	Direktna metoda merenja na fotometrijskoj klupi (Burger-ov zakon), fotometrijske sijalice etaloni svetlosne jačine
2.	Luminancija	Etaloniranje luminansmetara	80 cd/m ² do 1800cd/m ²	$\pm 5 \%$	Direktna metoda merenja sa etalomom tipa integracione sfere (Lambertov izvor)

ETALONIRANJE LUKSMETARA

Metoda etaloniranja

Etaloniranje se vrši direktnom metodom merenja, odnosno, merenjem na fotometrijskoj klupi, osvetljenosti koju na datom rastojanju (Burgerov zakon) reprodukuje fotometrijska sijalica - etalon svetlosne jačine.

Predmet etaloniranja su sve vrste luksmetara i fotoćelija. Luksmetar mora imati aperturu, koja je manja od fotodiode, ili difuzor ispred $V(\lambda)$ filtera, koji definišu referentnu ravan za etaloniranje. Kada je luksmetar sa cs-korekcijom, tada korisnik definiše u odnosu na koju referentnu ravan se vrši etaloniranje.

Uslovi okoline

- Referentni uslovi u laboratoriji:
 - Temperatura: $23^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$
 - Vlažnost: $65 \% \pm 15 \%$
 - Temperatura boje etalonske sijalice: 2856 K
 - Nemodulisana svetlost

Merna oprema

U donjoj Tabeli prikazana je merna oprema koja se koristi pri etaloniranju luksmetara.

R.B.	OPREMA			
	Naziv	Tip	Proizvođač	Proizvodna oznaka
1.	Fotometrijska sijalica-etalon svetlosne jačine	WI 41/G	OSRAM	001
2.	Izvori jednosmerne električne struje	6032A	Agilent Technologies	MY 1002835
3.	Digitalni multimetar sa 6,5 digita	191	Kitley	152749
4.	Etalonski otpornik	SRX - 0,01	IET labs, Inc., USA	H1- 0725506
5.	Pomoćni pribor (nosači, fotometrijska klupa, zaklon)			
6.	Fotoelektrični luksmetar - merilo osvetljenosti klase L	B520 Tip fotoćelije P 30Sco	LMT, Nemačka	merila 02A70811 fotoćelije 02A70812

Procedura merenja

- Etalonska sijalica se vizuelnim podešavanjem u kombinaciji sa metodom maksimalnog signala, dovodi u referentni položaj. Etalonska sijalica Wi 41/G ima vlakno u jednoj ravni, jasno definisanoj.
- Napajanje sijalice se vrši is izvora jednosmerne struje. Struja napajanja se meri kao pad napona na etalonskom otporniku poznate vrednosti.
- Imajući u vidu da se osvetljenost meri prema zakonu kvadrata rastojanja, greška merenja, odnosno, merna nesigurnost se značajno povećava na malim rastojanjima. Iz tog razloga minimalno rastojanje treba da bude 10 puta veće od prečnika vlakna, odnosno fotoelementa luksmetra. Uobičajeno je da se etaloniranje ne vrši ispod 0,5 metara.
- Luksmetri se etaloniraju u referentnim uslovima, pa se temperaturni koeficijent fotoelementa ne određuje.
- Fotoćelije se etaloniraju po A/lx, V/lx ili očitavanje/lx, a luksmetri u lx. Etaloniranje se uobičajeno(ukoliko nema posebnih zahteva korisnika) vrši u tri tačke u opsegu od 50 lx do 200 lx. Vrednosti se zauzimaju na osnovu pokazivanja instrumenta/luksmetra, a stvarne vrednosti se izračinavaju iz poznate svetlosne jačine etalon sijalice i očitano rastojanja na fotometrijskoj klupi.

Analiza merne nesigurnosti

Jednačina merenja kod etaloniranja luksmetra je

$$E_0 = \frac{I_0}{l^2} + \delta_0 + \delta_D + \delta_P + \delta_C + \delta_S + \delta_{st} \quad (1)$$

gde je:

- I_0 – Svetlosna jačina etalon sijalice
- l – rastojanje od sijalice do prijemnika
- δ_0 – orijentacija sijalice
- δ_D – dugoročna stabilnost etalon sijalice
- δ_P – greška zauzimanja referentnog položaja sijalice
- δ_C – nestabilnost merenja struje napajanja
- δ_S – rasuto zračenje
- δ_{st} – nestabilnost sijalice

Procena merne nesigurnosti

Jednačina (1), diferenciranjem dobija sledeću formu:

$$u_{\text{crel}}^2(E_0) = c_{I_0}^2 u_{\text{rel}}^2(I_0) + c_l^2 u_{\text{rel}}^2(l) + c_{\delta_0}^2 u_{\text{rel}}^2(\delta_0) + \\ + c_{\delta_D}^2 u_{\text{rel}}^2(\delta_D) + c_{\delta_P}^2 u_{\text{rel}}^2(\delta_P) + c_{\delta_C}^2 u_{\text{rel}}^2(\delta_C) + c_{\delta_S}^2 u_{\text{rel}}^2(\delta_S) + c_{\delta_{st}}^2 u_{\text{rel}}^2(\delta_{st})$$

Gde su c_i parcijalni izvodi f-je (1) u relativnom obliku:

$$c_{I_0} = \frac{\partial E_0}{\partial I_0} \frac{1}{E_0} = 1$$

$$c_l = \frac{\partial E_0}{\partial l} \frac{1}{E_0} = -2$$

$$c_{\delta_0} = \frac{\partial E_0}{\partial \delta_0} \frac{1}{E_0} = -1$$

$$c_{\delta_D} = \frac{\partial E_0}{\partial \delta_D} \frac{1}{E_0} = 1$$

$$c_{\delta_P} = \frac{\partial E_0}{\partial \delta_P} \frac{1}{E_0} = 1$$

$$c_{\delta_C} = \frac{\partial E_0}{\partial \delta_C} \frac{1}{E_0} = 1$$

$$c_{\delta_S} = \frac{\partial E_0}{\partial \delta_S} \frac{1}{E_0} = 1$$

$$c_{\delta_{st}} = \frac{\partial E_0}{\partial \delta_{st}} \frac{1}{E_0} = 1$$

Standardne nesigurnosti uticajnih veličina su procenjena za primenjenu opremu i metodu u referentnim uslovima koji su navedeni.

a) Nesigurnost etalonske sijalice

Iz uverenja o etaloniranju, Osram Wi 41/G sijalica $u_{\text{rel}}(I_0) = 3,00 \%$ ($k = 2$).

b) Orjentacija sijalice

Za Wi 41/G Osram sijalicu, najmanja vrednost je $u_{rel}(\delta_s) = 0,05 \%$ ($k = 2$). Tipična vrednost koja se koristi prilikom etaloniranja i procene nesigurnosti je $0,1 \%$.

c) Dugoročna stabilnost

Ova nesigurnost je procenjena na osnovu podataka dobijenih od strane proizvođača i ona je $u_{rel}(\delta_d) = 0,3 \%$ ($k = 2$).

d) Nesigurnost zauzimanja referentnog položaja

Ova komponenta nesigurnosti potiče od nesigurnosti postavljanja sijalice u referentni položaj u odnosu na koji se meri rastojanje do prijemnika/luksmetra. U većini slučajeva ($0,5 \text{ mm}$ na $2,5 \text{ m}$) je $u_{rel}(\delta_p) = 0,1 \%$ ($k = 2$).

e) Nestabilnost struje napajanja i njeno merenje

Svetlosna jačina sijalice zavisi od struje napajanja. Pretpostavka je, da je zavisnost sledeća:

$$\frac{dI}{I} = \alpha \frac{di}{i},$$

Gde je α između 6 i 8.

Kako je stabilnost izvora jednosmerne struje $1 \cdot 10^{-4}$ a struja se meri sa nesigurnošću $35 \cdot 10^{-6}$, ova komponenta nesigurnosti se procenjuje na $u_{rel}(\delta_c) = 0,3 \%$ ($k = 2$).

f) Nestabilnost etalon sijalice

Nestabilnost sijalice u toku merenja se procenjuje na osnovu merenja napona na sijalici i njegovih promena i ona je $u_{rel}(\delta_{st}) = 0,05 \%$ ($k = 2$).

Budžet merne nesigurnosti

Komponenta nesigurnosti	Koeficijent osetljivosti	Relativna proširena merna nesigurnost ($k=2$) [%]	
		Tip A	Tip B
Nesigurnost etalona	1		3,00
Dugoročna stabilnost	1		0,30
Orjentacija sijalica	1		0,10
Postavljanje u referentni položaj	1		0,10
Struja sijalice	1		0,30
Merenje rastojanja (najgori slučaj $0,5 \text{ mm}$ na $0,5 \text{ m}$)	-2	0,20	
Nestabilnost sijalice	1	0,05	
Rasipanje rezultata merenja (reproducibilnost) za etalon sijalicu (tipična)	1	0,20	
Ukupna nesigurnost koja potiče od sijalice		3,05	
Orjentacija fotoelementa luksmetra (tipična)			0,20
Merenje signala detektora (tipična)		0,20	
Ukupna nesigurnost etaloniranja luksmetra		3,06	

Metrološka sledivost

Etaloniranje se vrši sa fotometrijskom sijalicom **Osram Wi 41/G**, radnim etalonom svetlosne jačine, koji ima metrološku sledivost do DMDM-a (Direkcija za mere i dragocene metale), prema primarnom nacionalnom etalonu svetlosne jačine. **Uverenje broj: 393 - 2/2 - 01 - 908**, kao i Uverenje o etaloniranju digitalnog etalon-otpornika, IET Labs, Inc., USA, tip SRX - 0,01 proizvodne oznake H1-0725506 **Uverenje broj: 393 - 2/1 - 02 - 822**, kao i Uverenje o etaloniranju digitalnog multimetra Keithley, USA, tip 191 proizvodne oznake 152749 **Uverenje broj: 393 - 2/1 - 01 - 823**.

ETALONIRANJE LUMINANSMETARA

Metoda etaloniranja

Etaloniranje se vrši direktnom metodom merenja, odnosno, merenjem na etalonu luminancije tipa integracione sfere. Predmet etaloniranja su sve vrste luminansmetara, fotometara, telefotometara.

Uslovi okoline

- Referentni uslovi u laboratoriji:
 - Temperatura: $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
 - Vlažnost: $65\% \pm 15\%$
 - Temperatura boje etalona luminancije: 2856 K
 - Униформност еталона луминанције: $\pm 0,5\%$

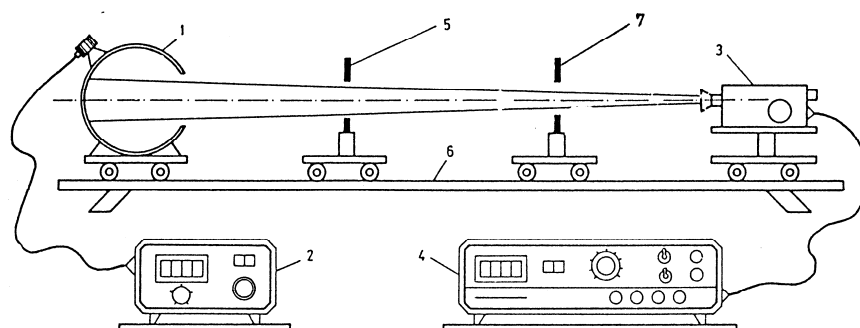
Merna oprema

U donjoj Tabeli prikazana je merna oprema koja se koristi pri etaloniranju luksmetara.

R.B.	OPREMA			
	Naziv	Tip	Proizvođač	Proizvodna oznaka
1.	Etalon luminancije	LS - 6	Proizvođač Photo Research, USA	2097
2.	Izvor jednosmerne električne struje	PS-6	Sorensen	
3.	Pomoćni pribor (nosači, fotometrijska klupa, zaklon)			

Procedura merenja

- Luminansmetar/telefotometar koji se etalonira postavlja se tako da merno/vidno polje luminansmetra/telefotometra ne treba da zauzima više od dve trećine svetleće površine etalona luminancije
- Napajanje etalona se vrši iz izvora jednosmerne struje. Luminansmetri se etaloniraju u referentnim uslovima, pa se temperaturni koeficijent ne određuje.
- Vrednosti luminancije koje reprodukuje etalon, zauzimaju se pomeranjem mikrometerskog zavrtnja na etalonu luminancije. Etaloniranje se standardno vrši u tri tačke.



Slika 1. Postavka metode za etaloniranje luminansmetara

1. Etalon luminancije, 2. napajanje, 3. telefotometar/luminansmetar, 4. merenje signala, 5. zaklon, 6. klupa, 7. zaklon

Analiza merne nesigurnosti

Jednačina merenja kod etaloniranja luminansmetra je

$$L = L_0 + \delta_0 + \delta_p + \delta_s \quad (2)$$

gde je:

- L_0 – Luminancija koju reprodukuje etalon,
- δ_0 – neuniformnost etalona luminancije,
- δ_p – greška fokusiranja luminansmetra i
- δ_s – rezolucija luminansmetra

Procena merne nesigurnosti

Jednačina (2), diferenciranjem dobija sledeću formu:

$$u_{\text{rel}}^2(L_0) = c_{L_0}^2 u_{\text{rel}}^2(L_0) + c_{\delta_0}^2 u_{\text{rel}}^2(\delta_0) + c_{\delta_p}^2 u_{\text{rel}}^2(\delta_p) + c_{\delta_s}^2 u_{\text{rel}}^2(\delta_s)$$

Gde su c_i parcijalni izvodi f-je (1) u relativnom obliku:

$$c_{I_o} = \frac{\partial E_x}{\partial I_o} \frac{1}{E_o} = 1$$

$$c_{\delta_o} = \frac{\partial E_o}{\partial \delta_o} \frac{1}{E_o} = 1$$

$$c_{\delta_p} = \frac{\partial E_o}{\partial \delta_p} \frac{1}{E_o} = 1$$

$$c_{\delta_s} = \frac{\partial E_o}{\partial \delta_s} \frac{1}{E_o} = 1$$

Standardne nesigurnosti uticajnih veličina su procenjena za primenjenu opremu i metodu u referentnim uslovima koji su navedeni.

a) Nesigurnost etalona luminancije

Iz uverenja o etaloniranju, $u_{rel}(L_o) = 5,00 \%$ ($k = 2$).

b) Neuniformnost etalona luminancije

Ova komponenta nesigurnosti zavisi od vidnog ugla instrumenta koji se etalonira, odnosno površine mernog polja u ravni etalona. Iz dokumentacije proizvođača, odnosno, na osnovu ispitivanja vršenog u laboratoriji, neuniformnost etalona u okviru 20 mm oko centra površine i izlaznog otvora integracione sfere je $u_{\delta_o}(L_o) = 0,2 \%$ ($k = 2$).

c) Fokusanje instrumenta-postavljanje u osu etalona

Ova nesigurnost je procenjena na osnovu izvršenih merenja $u_{rel}(\delta_p) = 0,2 \%$ ($k = 2$).

d) Rezolucija instrumenta

Zavisi od instrumenta čije se etaloniranje vrši. Neka tipična vrednost $u_{rel}(\delta_s) = 0,2 \%$ ($k = 2$).

Budžet merne nesigurnosti

Komponenta nesigurnosti	Koeffcijent osetljivosti	Relativna proširena merna nesigurnost ($k=2$) [%]	
		Tip A	Tip B
Nesigurnost etalona	1		5,00
Neuniformnost etalona			0,20
Fokusanje	1		0,20
Ukupna nesigurnost koja potiče od etalona		5,00	
Rezolucija luminansmetra			0,20
Merenje signala luminansmetra (tipična)		0,10	
Ukupna nesigurnost etaloniranja luminansmetra		5,01	

Metrološka sledivost

Etaloniranje se vrši sa etalonom luminancije **Spectra Photo Research LS-6**, radnim etalonom luminancije, koji ima metrološku sledivost do DMDM-a (Direkcija za

mere i dragocene metale). **Uverenje broj: 393 - 2/2 - 01 - 909**, kao i Uverenje o etaloniranju digitalnog multimetra Keithley, USA, tip 191 proizvodne oznake 152749, **Uverenje broj: 393 - 2/1 - 01 - 823**.

UMESTO ZAKLJUČAKA

Dalje aktivnosti Laboratorije bi se odvijale u pravcu dobijanja akreditacije za laboratoriju za ispitivanje. Osnovna delatnosti "*Laboratorija za ispitivanje*", bila bi merenje jačine svetlosti, i određivanju raspodele jačine svetlosti sijalica i svetiljki. U Institutu za fiziku pri kraju je završetak računarom upravljani goniofotometar i automatski akviziciono upravljački sistem sa pripadajućim softverom. Pored navedene aktivnosti "*Laboratorija za ispitivanje*" radila bi i na :

- određivanju ravnomernosti osvetljenosti metodom tačaka,
- određivanju ravnomernosti osvetljenosti trapezoidnom prizmom,
- merenju nivoa osvetljenosti, luminancije, temperature boje i hromatskih koordinata,
- merenju refleksije, propustljivosti i drugih optičkih osobina materijala,
- merenju i ocenjivanju spoljnog osvetljenja.

LITERATURA

- [1] D. Dramlić, P. Milutinović, Z. Velikić, M. Popović, S. Janković, S. Dramlić, Konceptija razvoja laboratorije za optičku metrologiju, "Osvetljenje 2006", Prolom Banja, 2006.
- [2] P. Milutinović, M. Popović, S. Janković, Automatizacija metrološke laboratorije za snimanje svetlosnih karakteristika rasvetnih tela, "Osvetljenje 1997", Vrnjačka Banja, 1997.
- [3] P. Milutinović, S. Janković, M. Popović, Svetlosne karakteristike naših svetiljki, "Osvetljenje 1999", Beograd, 1999.
- [4] Photometric Calibrations, NIST Special Publication 250-37, Washington DC, 1997, p. 20.
- [5] ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1993.
- [6] Photometric Calibrations – NBS Special Publication 250-15, Washington DC, 1987, p. 19.
- [7] Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers, CIE (Commission international de l'éclairage) Publication CIE No 53 (TC2.2) 1982.
- [8] Pravilnik o načinu upotrebe i klasifikacije etalona jedinice svetlosne jačine, osvetljenosti i luminancije, Sl. list 5/99.
- [9] Metrološko upustvo za pregled fotoelektričnih luminansmetara - merila luminancije, Glasnik 04/88.
- [10] Metrološko upustvo za pregled fotoelektričnih luksmetara - merila osvetljenosti, Glasnik 04/91.