

ПРЕНОШЕЊЕ ВРЕДНОСТИ ЈЕДИНИЦЕ СВЕТЛОСНЕ ЈАЧИНЕ

Владан Шкерковић, Предраг Вукадин, Вељко Зарубица, *Савезни завод за мере и драгоцене метале*

Садржај - У раду је приказана метролошка шема преношења вредности јединице светлосне јачине са југословенског (примарног) еталона на еталоне светлосних величина нижег реда. Описана је метода и дате су мерне несигурности преношења вредности јединице. Приказана је структура секундарних и радних еталона јединица светлосних величина и дате су њихове мерне несигурности.

1 УВОД

Остваривање примарног еталона јединице светлосне јачине - канделе (cd), и утврђивање метода преношења вредности јединице са примарног на секундарне и радне еталоне представља предуслов за успостављање мерног јединства у области фотометрије. Овим се поставља основа за извођење вредности јединица и остваривање еталона других фотометријских величина (осветљеност и луминанција).

Поређењем југословенског (примарног) еталона јединице светлосне јачине са међународним еталоном канделе које чува Међународни биро за тегове и мере (BIPM), 1997. године, добијене су нове вредности светлосне јачине које репродукује примарни еталон. Након међусобног поређења фотометријских сијалица које чине примарни еталон и утврђивања његових метролошких својстава, извршено је преношење вредности јединице на секундарне и радне еталоне и одређивање њихових мерних несигурности. У раду је приказана метода преношења вредности јединице и процењена је њена мерна несигурност. Дата је шема преношења вредности јединице и описана структура секундарних и радних еталона и њихове мерне несигурности.

2 МЕТОДА И ПОСТУПАК МЕРЕЊА

Преношење вредности јединице вршено је физичком методом поређења на фотометријској клупи. Као средство поређења коришћена је термостабилисана силицијумска фотоћелија са "веома" добром $V(\lambda)$ - корекцијом ($f \leq 0,5 \%$).

Вредност непознате светлосне јачине фотометријске сијалице - секундарног еталона, добија се из израза:

$$I = i_{ph} \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{I_i}{i_{phi}} \quad (1)$$

где је: I - непозната вредност светлосне јачине фотометријске сијалице-секундарног еталона;

i_{ph} - средња вредност одзива фотоелемента на непознат светлосни сигнал који потиче од фотометријске сијалице-секундарног еталона;

i_i - позната светлосна јачина фотометријске сијалице која се налази у склопу примарног еталона;

i_{phi} - средња вредност одзива фотоелемента на познат светлосни сигнал који потиче од фотометријске сијалице-примарног еталона;

N - број сијалица коришћених при поређењу.

Фотоструја (одзив) детектора мери се наноамперметром, опсега мерења од $1 \cdot 10^{-13}$ А до $1 \cdot 10^{-3}$ А, декларисане тачности 0,1 % и линеарности 0,1 %. Мерење фотострује детектора је аутоматизовано преко GPIB интерфејса. Свака вредност фотострује добија се из пет фотометријских читавања у интервалима од једног минута, а свако фотометријско читавање представља средњу вредност из тридесет појединачних читавања сваке секунде. Овим читавањима претходе и читавања "струје мрака" (петнаест појединачних читавања сваке секунде).

Преношењу вредности јединице претходи међусобно поређење фотометријских сијалица-примарних еталона јединице светлосне јачине, које се изводи у четири серије, односно, два круга поређења [1]. Преношење вредности јединице изводи се постављањем фотометријску клупу на истом растојању од детектора као код поређења примарних еталона, и мерењем одзива детектора. Сијалице се постављају на клупу једна за другом у две серије мерења, односно, један пун круг по методи "унапред-уназад" [2]. Опрема и услови мерења исти су као и код међусобног поређења примарне групе фотометријских сијалица [1].

Преношење вредности са секундарних на радне еталоне врши се на исти начин као са примарних на секундарне, с тим што се и са секундарним и са радним еталонима изводи по један пун круг мерења. При поређењу се користи најмање по три фотометријске сијалице - секундарна еталона истог типа, чије вредности светлосне јачине што приближније одговарају предпостављеним вредностима светлосне јачине радних еталона на које се врши преношење вредности.

2.1 НЕСИГУРНОСТ МЕТОДЕ ПРЕНОШЕЊА ВРЕДНОСТИ ЈЕДИНИЦЕ

Укупна мерна несигурности преношења вредности јединице састоји се из компонената несигурности процењених нестатистичким методама и компонената несигурности процењених статистичком анализом [3,4]. Укупна несигурност се исказује у виду средњег квадратног одступања S_{cx} , као што је дато у формули:

$$S_{cx} = \sqrt{u_{m\sigma}^2 + S_{\theta c}^2} \quad (2)$$

где је: $u_{\text{мет}}$ - несигурност која потиче од методе и средстава мерења изражена преко средњег квадратног одступања;

$$S_{\theta_{\text{е}}} = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^k \theta_i^2}$$

- несигурности процењених нестатистичким методама, изражених преко средњег квадратног одступања низа мерења

$\theta_{\text{е}}$ - поједине несигурности процењене нестатистичким методама.

Укупна мерна несигурност методе преношења вредности јединице светлосне јачине, имајући у виду формулу (1), састоји се из:

$$- \text{ несигурности са којом је одређен однос } \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{I_i}{i_{\text{phi}}}$$

који се добија из резултата међусобног поређења примарне групе фотометријских сијалица као мерна несигурност преношења вредности јединице [1];

- несигурности процењене нестатистичким методама које се односе на мерење фотострује чији су чиниоци укупна грешка мерења I_{ph} - метра, односно, грешка линеарности I_{ph} - метра.

Укупна мерна несигурност методе преношења вредности јединице са примарног на секундарни еталон се према једначини (2), добија да је: $S_x = \sqrt{0,14^2 + 0,08^2} = 0,16 \%$

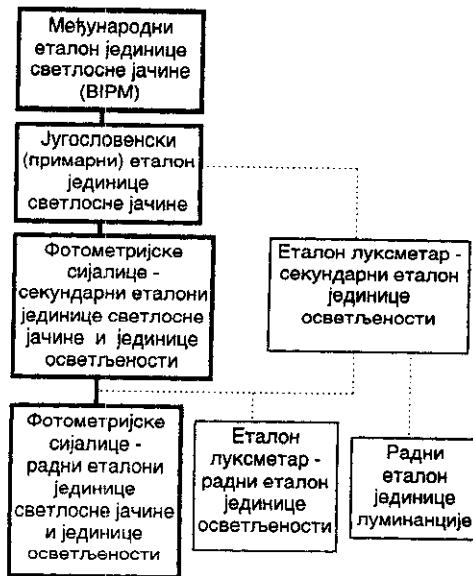
Мерна несигурност преношења вредности јединице са секундарних на радне еталоне одређује се на исти начин, с тим да се разликују расипања вредности секундарних еталона по групама сијалица. Компонента несигурности процењених нестатистичким методама које се односе на мерење фотострује иста је као код преношења вредности са примарног на секундарни еталон.

3 МЕТРОЛОШКА ШЕМА У ОБЛАСТИ ФОТОМЕТРИЈЕ

Метролошка шема у области фотометрије дефинише еталоне светлосних величина и методе преношења вредности јединица, тако да се обезбеди њихова метролошка следивост у односу на југословенски (примарни) еталон јединице светлосне јачине, а преко њега и у односу на међународни еталон канделе.

Поред еталона јединице светлосне јачине у шеми се, на секундарном и радном нивоу, налазе и еталони јединице осветљености - лукса (lx) и јединице луминанције - канделе по метру квадратном (cd/m^2). Фотометријске сијалице - еталони светлосне јачине истовремено представљају и еталоне осветљености на датом растојању ($E = I / r^2$). Извођење вредности јединице луминанције врши се преко секундарног еталон - луксметра индиректним методом мерења [5].

На слици 1 приказана је фотометријска шема преношења вредности јединица светлосних величина.



Слика 1. Фотометријска шема преношења вредности јединица светлосних величина.

4 НОВЕ ВРЕДНОСТИ СЕКУНДАРНИХ И РАДНИХ ЕТАЛОНА ЈЕДИНИЦЕ СВЕТЛОСНЕ ЈАЧИНЕ

4.1 СЕКУНДАРНИ ЕТАЛОН ЈЕДИНИЦЕ СВЕТЛОСНЕ ЈАЧИНЕ

Структура еталона на секундарном нивоу треба да буде таква да омогући преношење вредности јединице на различите типове радних еталона јединица светлосних величина у широком опсегу вредности јединица, чији крајњи корисници, поред Лабораторије за фотометрију и радиометрију Савезног завода за мере и драгоцене метале, могу бити овлашћене метролошке лабораторије и развојне лабораторија у различитим областима привреде.

Секундарни еталон јединице светлосне јачине састављен је од укупно четрнаест фотометријских сијалица подељених у четири групе по типу сијалице и вредности јединице коју репродукују. У табели 1. приказана је структура секундарног еталона и вредности јединице добијене поређењем, као и температуре боје за које су те вредности светлосне јачине одређене.

Укупна мерна несигурност са којом је одређена вредност јединице светлосне јачине секундарних еталона добија се из података о мерној несигурности југословенског (примарног) еталона (u) [1], несигурности методе преношења са

Табела 1. Вредности светлосне јачине секундарног еталона

тип сијалице	број	$I(A)$	$U(V)$	$I(cd)$	$T_b(K)$
Wi 41/G	621	5,91	31,84	262,8	2856
Wi 41/G	619	6,08	31,53	270,4	2856
Wi 41/G	618	6,07	31,78	266,6	2856
Wi 41/V	612	4,19	18,23	45,84	2353
Wi 41/V	613	4,21	18,04	44,38	2353
Wi 41/V	614	4,36	18,37	46,04	2353
Wi 41/V	615	4,32	18,49	43,65	2353
Wi 41/V	616	4,28	18,10	44,26	2353
NPL	7HD78	25,05	12,73	444,0	2856
NPL	7GV78	25,10	12,86	444,6	2856
NPL	7GY78	25,05	12,88	464,4	2856
HEC-750	024	5,880	108,69	982,6	2856
HEC-750	025	5,782	108,28	976,4	2856
HEC-750	026	5,805	107,03	955,3	2856

примарног на секундарни еталон (S_{Σ}) [1], процене утицаја околине, несигурности мерних средстава за контролу електричних параметара и нестабилности напајања (S_{θ}) [1], као и компонента несигурности која зависи од већег броја фактора и која се процењује на бази расподеле резултата мерења при мерењу фотометријских сијалица - секундарних еталона.

Компонента мерне несигурности која се процењује нестатистичким методама (S_{θ}), иста је као и у случају примарног еталона, обзиром да су услови мерења у Лабораторији исти и да се у оба случаја користи иста опрема.

Из резултата мерења сијалица - секундарних еталона утврђено је расипање вредности јединице у зависности од групе сијалица. Ово расипање као и укупна мерна несигурност сијалица у склопу секундарног еталона, дати су у табели 2.

Табела 2. Укупна мерна несигурност секундарног еталона

тип сијалице	број сијалица у групи (N)	Средње квадратно одступање резултата мерења за сваку поједину сијалицу ($\sigma(x)$)	Средње квадратно одступање резултата мерења за групу од N сијалица $\sigma(\bar{x}) = \sigma(x) / \sqrt{N}$	Укупна мерна несигурност секундарног еталона (по групама сијалица) $u_s = \sqrt{u^2 + S_{\Sigma}^2 + S_{\theta}^2 / N + \sigma(\bar{x})^2}$
Wi 41/G	3	0,15 %	0,09 %	0,53 %
Wi 41/V	5	1,37 %	0,61 %	0,90 %
NPL	3	0,20 %	0,11 %	0,53 %
HEC-750	3	0,10 %	0,06 %	0,52 %

Од сијалица које се налазе на секундарном нивоу, за преношење вредности јединице на радне еталоне, најчешће се користе сијалице типа Wi 41/G, односно HEC-750. Ове сијалице се користе и за преглед луксометара високе тачности. Сијалице типа NPL због своје конструкције и метролошких својстава погодне су да се користе као "путујући

еталони", као и за преношење вредности на фотометријске сијалице - радне еталоне истог типа. Сијалице типа Wi 41/V служе за преношење вредности на радне еталоне сличног спектралног састава, односно температуре боје.

4.2 НЕСИГУРНОСТ ПРЕНОШЕЊА ВРЕДНОСТИ ЈЕДИНИЦЕ СА СЕКУНДАРНИХ НА РАДНЕ ЕТАЛОНЕ

Несигурност преношења вредности јединице (једначина 2) са секундарног на радне еталоне састоји се из компоненти несигурности процењених нестатистичким методама (S_{θ}) и компоненти несигурности процењених статистичком анализом. Ова последња компонента несигурности у пракси се своди на расипање резултата мерења фотострује за сијалице из секундарних група. Компоненте несигурности S_{θ} , које су везана за мерења са секундарним еталоним, и процена њиховог утицаја на светлосна мерења (1σ) су: оријентација сијалица (0,05 %), растојање сијалица-пријемник (0,02 %), тачност мерења фотострује (0,06 %). Компоненте грешке S_{θ} , које се односе на мерење фотострује су: укупна грешка мерења I_{ph} - метра, односно, грешка линеарности I_{ph} - метра, чији је процењен утицај на светлосна мерења укупно 0,08 %.

Из резултата мерења за сијалице типа Wi 41/G, односно HEC-750 добија се да је расипање вредности фотострује 0,15 % за први, односно 0,1 % за други тип сијалице.

На основу претходног излагања, узимајући у обзир да се ради са по три сијалице у групи, за укупну несигурност преношење, из једначине 2., добија се:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{(0,08^2 + 0,08^2) + (0,15 / \sqrt{3})^2} = 0,13\%$$

када се ради са групом сијалица типа Wi 41/G, односно:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{(0,08^2 + 0,08^2) + (0,1 / \sqrt{3})^2} = 0,12\%$$

када се ради са групом сијалица типа HEC-750.

4.3 РАДНИ ЕТАЛОН ЈЕДИНИЦЕ СВЕТЛОСНЕ ЈАЧИНЕ

Фотометријске сијалице - радни еталони јединице светлосне јачине и осветљености који се остварују у Лабораторија за фотометрију и радиометрију Савезног завода за мере драгоцене

метале служе, пре свега, да омогуће испитивање луксметара, континуално на што ширем опсегу, као и за преношење вредности јединице на фотометријске сијалице - мере јединице светлосне јачине. У складу са тим је и конципирана структура радног еталона. У поређењу које је извршено, пренета је вредност јединице светлосне јачине на укупно шест фотометријских сијалица подељених у две групе по типу и опсегу вредности јединице коју репродукују. У табели 3., дате су вредности светлосне јачине сијалица које се налазе у склопу радног еталона.

Табела 3. Вредности светлосне јачине радног еталона

тип сијалице	број сијалице	струја (А)	напон (V)	светлосна јачина (cd)
НЕС-500	90158	3,411	92,33	500,0
НЕС-500	90159	3,470	93,05	515,0
НЕС-500	90160	3,461	91,32	507,7
НЕС-60	288	1,937	31,37	72,4
НЕС-60	289	1,933	31,69	74,7
НЕС-60	290	1,836	32,55	74,6

Средње квадратно одступање средње вредности резултата мерења за сијалице оба типа ($\sigma_r(\bar{x})$), које се налазе у склопу радног еталона, у просеку је износило 0,25 %.

Како су опрема и услови мерења били исти као у случају секундарног еталона, компонента мерне несигурности која се процењује нестатистичким методама (S_0), иста је као и у случају секундарног еталона.

Преношење вредности на сијалице типа НЕС-500 врши се са групе сијалица типа НЕС-750, док се на сијалице НЕС-60 вредност јединице преноси са сијалица типа W1 41/G.

Укупна мерна несигурност радног еталона јединице светлосне јачине добија се као:

$$u_c = \sqrt{u_s^2 + S_{err}^2 + S_0^2 / N + \sigma_r(\bar{x})^2} \quad (3)$$

За групу сијалица НЕС-500 мерна несигурност износи 0,55 %, док за групу сијалица НЕС-60 мерна несигурност износи 0,56 %.

Фотометријским сијалицама које су у склопу радног еталона могу се мерењем на фотометријској клупи, дужине шест метара, постићи вредности осветљености од 2 lx до 5000 lx, са мерном несигурношћу у границама од $1 \cdot 10^{-2}$ до $2,5 \cdot 10^{-2}$.

5 ЗАКЉУЧАК

Након поређења у ВІРМ-у, где су добијене нове вредности југословенског (примарног) еталона јединице светлосне јачине, извршено је преношење вредности јединице на секундарне и радне еталоне

јединице светлосне јачине. Тиме су установљене нове вредности јединице светлосне јачине на свим нивоима, а преко њих и нове вредности јединица осветљености и луминанције. На тај начин остварено је јединство мерења ових светлосних величина и очувана је еталонска база у области фотометрије.

Из резултата мерења може се закључити да повећана мерна несигурност југословенског (примарног) еталона, која потиче од повећане несигурности међународног еталона јединице светлосне јачине (ВІРМ), има највећи удео и у мерној несигурности секундарног, односно радног еталона јединице светлосне јачине. И поред тога, добро постављеном методом, мерне несигурности секундарног, односно радног еталона одржане су на потребном нивоу. Овим су сачуване могућности Лабораторије за фотометрију и радиометрију у погледу еталонирања и прегледа мерила светлосних величина (светлосне јачине, осветљености и луминанције), које у потпуности задовољавају тренутне потребе привреде у нашој земљи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] П. Вукадин, В. Шкерковић, В. Зарубица, "Нове вредности југословенског (примарног) еталона јединице светлосне јачине", рад пријављен за XLIII конференцију ЕТРАИ-а, 1999.
- [2] J. Bonhoure, "Rapport sur la sixieme comparaison des etalons nationaux d'intensite et de flux lumineux (1985.). Document CСPR/86-2.
- [3] ЭТАЛОНЫ СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ, ГОСТ 8.381-80.
- [4] Guide to the Expression of Uncertainty in measurement, ISO 1993.
- [5] П. Вукадин, Б. Вујичић, "Метода одређивања вредности луминанције коју репродукује еталон", Зборник радова, IX Конгрес физичара Југославије, Петровац н/м, 1995., (809-812).

Abstract - In this paper, metrological scheme of tracing the value of luminous intensity unit from yougoslav (primary) standard to the reference standards of the light quantities, is presented. The method and measurement uncertainties of tracing the value of luminous intensity unit, are described. The structure of secondary and working standards of the unit of the light quantites, and their measuring uncertainties are presented.

TRACING THE VALUE OF LUMINOUS INTENSTY UNIT

Vladan [kerovi], Predrag Vukadin, Veljko Zarubica