

НОВЕ ВРЕДНОСТИ ЈУГОСЛОВЕНСКОГ (ПРИМАРНОГ) ЕТАЛОНА ЈЕДИНИЦЕ СВЕТЛОСНЕ ЈАЧИНЕ

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

Садржај - После скоро седам година, фотометријске сијалице које чине југословенски (примарни) еталон јединице светлосне јачине упоређене су са међународним еталоном канделе којег чува Међународни биро за тегове и мере (Bureau International des Poids et Mesures-BIPM). У раду су приказане нове вредности добијене при овом поређењу, као и вредности утврђене међусобним поређењем примарне групе у Лабораторији за фотометрију и радиометрију Савезног завода за мере и драгоцене метале. Анализирани су добијени резултати и процењена мерна несигурност примарног еталона и методе преношења вредности јединице.

резултати међусобног поређења фотометријских сијалица примарне групе. На основу ових резултата и познавања неодређености појединих утицајних параметара, процењена је укупна мерна несигурност еталона и несигурност преношења вредности јединице.

2 РЕЗУЛТАТИ ПОРЕЂЕЊА СА МЕЂУНАРОДНИМ ЕТАЛОНОМ КАНДЕЛЕ

Фотометријске сијалице Osram, W1 41/G, нови тип, набављене су 1989. године да би замениле скоро истоветне сијалице старог типа, али са лошијим метролошким својствима. Због тога је и промењена структура примарног еталона, којег је пре сачињавало пет сијалица W1 41/G и седам сијалица NPL/GEC. Ове две групе сијалица ношене су одвојено на поређење у врло кратком интервалу времена, тако да се може сматрати да је, практично, обављено поређење целе примарне групе истовремено.

Све до 1997. године нису створени услови да се југословенски (примарни) еталон пореди са међународним. Нажалост, и за ово поређење, морало је да дође до смањивања броја сијалица које ће се поредити. Тако је од првобитних седам NPL/GEC сијалица одабрано четири чија су одступања од BIPM-ових вредности према претходном међусобном поређењу била најмања. У табели 1 приказани су резултати поређења 1990. и 1997. године у BIPM-у и релативне промене вредности светлосне јачине (I) и напона (U) између два поређења где је: $\delta_I = (I_{1997} - I_{1990}) / I_{1997}$, односно, $\delta_U = (U_{1997} - U_{1990}) / U_{1997}$.

1 УВОД

Југословенски (примарни) еталон јединице светлосне јачине чине две групе фотометријских сијалица типа W1 41/G, Osram (3 комада) и NPL/GEC (4 комада). Ове сијалице су препоручене од стране ССРР (Comite Consultatif de Photometrie et Radiometrie) за међународна поређења и чување како националних вредности јединица светлосне јачине, тако и међународне вредности канделе. Последњи пут ове сијалице су поређене са међународним еталоном 1990. године, и све до 1997. године коришћене су са тада утврђеним вредностима. Обзиром да је неуобичајено дуг период времена протекло између два поређења, требало је утврдити до каквих је промена дошло и колико су оне утицале на стање у области фотометрије. У раду су приказани резултати поређења у BIPM-у из 1990. и 1997. године, као и

Табела 1. Резултати поређења југословенског (примарног) еталона јединице светлосне јачине са међународним еталоном у BIPM-у 1990 и 1997 године

тип сијалице	број сијалице	струја (A)	1990		1997		δ_I (%)	δ_U (%)
			светлосна јачина (cd)	напон (V)	светлосна јачина (cd)	напон (V)		
W1 41/G	1/1	5,5847	221,8	28,43	222,3	28,36	0,225	-0,247
W1 41/G	1/2	5,6329	224,2	28,57	225,7	28,54	0,665	-0,105
W1 41/G	1/3	5,6210	223,0	28,29	223,4	28,22	0,179	-0,248
NPL	7HA78	24,39	386,4	12,33	381,2	12,35	-1,36	0,162
NPL	7HB78	24,35	391,6	12,18	380,2	12,19	-3,0	0,082
NPL	7HC78	24,17	372,3	12,06	369,0	12,08	-0,894	0,166
NPL	7GW78	24,17	375,8	11,98	372,1	12,00	-0,994	0,167
NPL	7GV78	24,40	379,3	12,21				
NPL	7HD78	24,35	377,1	12,09				
NPL	7GY78	24,35	389,4	12,24				

Иако је ово релативно мали број поређења да би се могли донети неки релевантни закључци, и спровести неке озбиљније анализе понашања сијалица, може се на први поглед уочити да се различито понашају сијалице типа Wi 41/G и NPL/GEC. Код Osram - ових сијалица вредност светлосне јачине се повећала иако је напон на сијалицама опао. Код NPL/GEC сијалица, упркос минималном порасту напона, дошло је до смањивања вредности светлосне јачине које оне репродукују.

Сличне појаве примећене су и приликом последњег међународног поређења националних реализација канделе, 1985 године у ВРМ-у [1]. До сада још није у потпуности објашњено шта је узрок различитом понашању ова два типа сијалица.

3 МЕЂУСОБНО ПОРЕЂЕЊЕ ФОТОМЕТРИЈСКИХ СИЈАЛИЦА ПРИМАРНЕ ГРУПЕ

Да би се утврдила метролошка својства примарног еталона, вршена су међусобна поређења фотометријских сијалица које улазе у састав примарне групе.

3.1 МЕТОДА И ПОСТУПАК МЕРЕЊА

Поређење сијалица вршено је физичком методом, помоћу силицијумских детектора са веома добром $V(\lambda)$ - корекцијом. На фотометријској клупи постављају се, наизменично сијалице на истом растојању од пријемника, чији је одзив сразмеран светлосној јачини сијалице, односно:

$$\frac{I_{1szndm}}{i_1} = \frac{I_{2szndm}}{i_2} = \dots = \frac{I_{nszndm}}{i_n} = \bar{I} \quad (1)$$

где је: $I_{1szndm}, \dots, I_{nszndm}$ - светлосне јачине сијалица примарне групе.

i_1, \dots, i_n - одзиви детектора за сваку од сијалица

\bar{I} - средња вредност светлосне јачине сијалица

\bar{I} - средња вредност одзива детектора

Како је $\bar{I}_{szndm} = \bar{I}_{ВРМ} = \bar{I}$, то се из (1) израчунавају $I_{1szndm}, \dots, I_{nszndm}$.

Мерење фотострује (одзива) детектора је аутоматизовано. 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).

Организација међусобног поређења је таква да се свака сијалица укључује четири пута, тј. изведене су четири серије мерења, које, уствари, представљају два идентична круга поређења, у оквиру којих се сијалице укључују по методи

"унапред-уназад" [2]. То значи да ако је редослед укључивања сијалица у првој серији мерења био $I_1 \Rightarrow I_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow I_n$, онда је удругој $I_n \Rightarrow I_{n-1} \Rightarrow \dots \Rightarrow I_1$, чиме се завршава један круг поређења.

3.2 УСЛОВИ МЕРЕЊА И ОПРЕМА

Поређење сијалица вршено је у Лабораторији за фотометрију и радиометрију Савезног завода за мере и драгоцене метале, потпуно замраченој просторији чији су сви зидови, плафон, под и све веће површине обојени у мат црну боју. Температура у просторији је одржавана у границама $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$, а влажност $(65 \pm 15)\%$.

Растојање од сијалице до пријемника је све време поређења било 2,5 m, а распоред заклона на клупи такав да се у што је могуће већој мери елиминише утицај амбијетне и индиректне светлости. Преко мерења "струје мрака", извршена је корекција резултата мерења на утицај ових параметара.

Извесне проблеме стварала је оријентација сијалица, односно њихово постављање у референтни положај. Поновљивост заузимања референтног положаја није била остварљива у довољној мери због непостојања одговарајућег помоћног прибора којим би се то контролисало. Ова несигурност се исказала управо у расипању резултата мерења, које је попримило доста велике вредности у појединим поређењима.

За напајање сијалица коришћени су извори једносмерне струје стабилности реда $1 \cdot 10^{-5}$, а вредност струје је читавана преко пада напона на еталону отпорности чија је вредност утврђена са несигурношћу од $1 \cdot 10^{-5}$. Пад напона на отпорнику је мерен са несигурношћу реда $5 \cdot 10^{-6}$, а напон на сијалицама мултиметром са грешком не већом од $10 \cdot 10^{-6}$.

За мерење фотострује коришћен је наноамперметар, чији је опсег мерења од $1 \cdot 10^{-13}$ А до $1 \cdot 10^{-3}$ А, декларисане тачности 0,1 %. Грешка спектралне осетљивости фотоелемента декларисана је са $f \leq 0,5\%$, што га сврстава у врхунске фотометријске пријемнике.

3.3 КОРЕКЦИЈЕ И РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

Мерење "струје мрака" показало је да корекције на амбијентну и индиректну светлост нису неопходне. Њена вредност од неких $(5 - 10) \cdot 10^{-13}$ А била је занемарљиво мала у односу на вредност фотострује од $(2 - 5) \cdot 10^{-6}$ А. Показало се, међутим, да је неопходна корекција вредности фотострује код NPL / GEC сијалица, јер је вредност еталона отпорности на којем је мерен пад напона, знатније одступала од називне. Уместо $0,001 \Omega$ требало је уврстити вредност $0,00099991 \Omega$ при израчунавању струје напајања сијалица, што значи да је сваку вредност струје било неопходно повећати за 0,009 %. Како промена струје напајања изазива приближно осам пута већу промену светлосног излаза, то је, сада, вредност фотострује коригована за 0,07 %.

Ако се ови резултати упореде са резултатима из 1991. године, када је међусобно поређење вршено након поређења са међународним еталоном 1990., и где је просечно одступање било 0,21 %, види се да су одступања већа за 0,06 %. Како се у поступку, методи и опреми ништа није променило, јасно је да су само услови мерења и промене метролошких својстава опреме коришћене при поређењу, допринели мало лошијим резултатима. Овакво нешто се могло и очекивати, обзиром да се читавих осам година ништа није улагало у ову област.

изворе несигурности (процењене на 1σ), који су дати у табели 3.

Мерна несигурност ВІРМ - а дата је појединачно за сваку сијалицу, и састоји се из несигурности међународног еталона јединице

$$\sigma_{\left(x\right)_{\text{ВІРМ}}}^{-} = 0,5 \% \text{ и несигурности}$$

$$\text{поређења у ВІРМ-у, која износи } \sigma_{e\left(x\right)_{\text{ВІРМ}}}^{-} = 0,1\%$$

за сваку сијалицу. За групу од 7 сијалица, колико их је у саставу примарног еталона, ова несигурност

Табела 2. Резултати међусобног поређења фотометријских сијалица

Тип сијалице	Број сијалице	$I_{\text{ВІРМ}}$ (cd)	I_{SZM} (cd)	δ_i (%)	$U_{\text{ВІРМ}}$ (V)	U_{SZM} (V)	δ_v (%)	i (A)
W 41/6	1/1	222,3	221,68	0,28	28,36	28,47	0,39	5,5847
W 41/6	1/2	225,7	226,58	- 0,39	28,54	28,68	0,49	5,6329
W 41/6	1/3	223,4	222,76	0,29	28,22	28,34	0,43	5,6210
NPL/GEC	7HA78	381,2	380,58	0,16	12,35	12,35	0,00	24,39
NPL/GEC	7HB78	380,2	380,11	0,02	12,19	12,19	0,00	24,35
NPL/GEC	7HC78	369,0	368,20	0,22	12,08	12,06	-0,16	24,17
NPL/GEC	7GW78	372,1	373,98	-0,50	12,00	12,00	0,00	24,17

У табели 2, приказани су резултати међусобног поређења сијалица примарне групе, као и вредности напона на сијалицама. Вредности напона представљају средње вредности читаваног напона (сваке секунде) у току укупног времена горења (четири укључивања).

Статистичка анализа резултата међусобног поређења показује да је просечно одступање вредности светлосне јачине сијалица од вредности добијених у ВІРМ - у релативно велико и износи:

$$\left| \delta \right| = \sum \left| \delta_i / 7 \right| = 0,27 \%$$

Овде је такође интересантно упоредити ове резултате са резултатима међусобног поређења примарне групе за светлосни флукс [3], где је просечно одступање износило 0,07 %. Метода и поступак су врло слични, али се мерења врше, уместо на фотометријској клупи, у интеграционој сфери, где су и еталони и фотоелемент много мањеизложени утицају околине. Такође је потребно напоменути да је и опрема тада била много мање коришћена и редовно проверавана.

3.4 ПРОЦЕНА УКУПНЕ МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ ЕТАЛОНА

Укупна мерна несигурност југословенског (примарног) еталона јединице светлосне јачине добија се из података о мерној несигурности са којом су утврђене вредности појединих сијалица из примарне групе у ВІРМ - у и процене утицаја околине, несигурности мерних средстава за контролу електричних параметара и нестабилности напајања.

Компонента мерне несигурности која се процењује нестатистичким методама обухвата

Табела 3. Компоненте мерне несигурности процењене нестатистичким методама

Извор несигурности	Процењени утицај на светлосна мерења
Нестабилност напајања сијалица ($3 \cdot 10^{-5}$) *	0,02 %
Мерења електричних параметара сијалица ($1 \cdot 10^{-5}$) *	0,01 %
Еталон отпорности ($2 \cdot 10^{-5}$) *	0,02 %
Нестабилност сијалица *	0,05 %
Корен из збира квадрата (S_0) *	0,06 %

* обухвата и процену утицаја промене околне температуре у границама од $\pm 1^\circ\text{C}$

износи приближно 0,04 %. Укупна мерна несигурност југословенског (примарног) еталона јединице светлосне јачине износи:

$$u = \left[\sigma_{\left(x\right)_{\text{ВІРМ}}}^{-2} + \left(\sigma_{e\left(x\right)_{\text{ВІРМ}}}^{-} / \sqrt{7} \right)^2 + \left(S_0 / \sqrt{6} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,5 \%$$

Ова несигурност је доста већа од оне са којом се до сада рачунало, пре свега због тога што је у сертификатима за сијалице наведена нова вредност за несигурност међународног еталона канделе (0,5 %) која је преко три пута већа од досадашње (0,15 %). Може се претпоставити, да је последње поређење у ВІРМ - у изведено уз коришћење мањег броја сијалица које чувају међународну вредност канделе, јер је несигурност поређења, што значи методе, остала иста. То, опет, значи, да наше сијалице нису изгубиле своја метролошка својства, већ је за одређивање

њихових вредности, практично, коришћен "сужени састав" међународног еталона.

3.5 ПРОЦЕНА НЕСИГУРНОСТИ ПРЕНОШЕЊА ВРЕДНОСТИ ЈЕДИНИЦЕ

Несигурност преношења вредности јединице светлосне јачине са примарног на секундарне еталоне зависи од већег броја фактора које је могуће проценити као расипање резултата мерења при међусобном поређењу сијалица примарне групе. При процени укупне несигурности преношења, може се проценити утицај методе и мерних средстава које се користе при поређењу. Анализа је дата у табели 4.

Табела 4. Компоненте несигурности преношења вредности јединице светлосне јачине које се процењују нестатистичким методама

извор несигурности	процењен утицај на светлосна мерења (1σ)
орјентација сијалица	0,05 %
растојање сијалица-пријемник одзив пријемника (тачност мерења фотострује) - 0,1 %	0,02 %
корен из збира квадрата S_{ik}	0,06 %
	0,08 %

Статистичком анализом резултата мерења дошло се до вредности просечног расипања фотострује од $\sigma_{iph} = 0,15$ %. Укупна мерна несигурност преношења вредности јединице светлосне јачине са примарног на секундарне еталоне добија се према табели 5.

Табела 5. Одређивање укупне несигурности преношења вредности јединице светлосне јачине

$\overline{ \delta } = \sum \delta_i / 7$	просечно одступање резултата међусобног поређења	0,27 %
$\sigma(x) = \sqrt{\delta_i^2} / \sqrt{6}$	средње квадратно одступање резултата поређења за сваку поједину сијалицу	0,33 %
$\overline{\sigma(x)} = \sigma(x) / \sqrt{7}$	средње квадратно одступање резултата поређења за целу групу од седам сијалица	0,12 %
$u_{m1} = \sqrt{\sigma(x)^2 + \sigma_{iph}^2 + S_{\theta_e}^2}$	укупна мерна несигурност преношења вредности јединице када се ради са једном сијалицом	0,37 %
$u_{m\sigma} = \sqrt{\overline{\sigma(x)}^2 + \sigma_{iph}^2 / 7 + S_{\theta_e}^2 / 7}$	укупна мерна несигурност преношења вредности јединице када се ради са свих седам сијалица	0,14 %

Ова вредност је нешто већа него 1991, године из већ наведених разлога. Може се очекивати је да ће након извесних побољшања услова у Лабораторији и сервисирања опреме и ова несигурност бити доста мања.

4 ЗАКЉУЧАК

Поређењем са међународним еталоном јединице светлосне јачине у ВІРМ-у, југословенском (примарном) еталону јединице светлосне јачине одређене су нове вредности. Иако су оне дате са знатно већом мерном несигурношћу него до сада, што је увећало и укупну мерну несигурност југословенског (примарног)

еталона, значајно је да је одржан континуитет у ослањању на ВІРМ, односно, на међународне јединице.

Међусобно поређење сијалица које сачињавају примарну групу извршено је у циљу утврђивања несигурности преношења вредности јединице и указало је на извесно погоршање у односу на 1991. годину. Иако оно није толико велико да би било забрињавајуће, представља једно важно упозорење на неопходност сталног улагања у одржавање, али и побољшање услова мерења и мерне опреме.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bonhoure, J.: "Rapport sur la sixieme comparaison des etalons nationaux d'intensite et de flux lumineux (1985)", *Document CCRP/86-2*
- [2] Eblein, W.R.: "A Note on the Results of Sixth Comparison of National Standards of Luminous Intensity and Flux", *Document CCRP/86-8*
- [3] Вукадин, П., Вујичић, Б.: "Метролошка својства југословенског (примарног) еталона светлосног флукса", *Зборник радова, IX конгрес физичара Југославије*, Петровац н/м, 1995, (813-816)

Abstract - After almost seven years, photometric lamps forming yugoslav (primary) standard of luminous intensity unit were compared with international candela standard. In this paper, the new values of the luminous intensity of the lamps, obtained by comparison with international mean, together with the values obtained in Laboratory for Photometry and Radiometry of Federal Bureau of Measures and Precious Metals, as well as appropriate

measuring uncertainties, are presented. Results of measurement are analyzed and combined standard measuring uncertainty of the primary standard and the method of tracing the value of the unit to the secondary standards is estimated.

NEW VALUES OF THE YUGOSLAV (PRIMARY) STANDARD OF LUMINOUS INTENSITY UNIT

Predrag Vukadin, Vladan Škerović, Veljko Zarubica