

Ľubomír Beňa, Martin Chovanec

Meranie svetelnotechnických parametrov umelých zdrojov svetla

Svetelné zdroje tvoria jeden z najdôležitejších prvkov osvetľovacích sústav. V súčasnosti majú najväčšie využitie zdroje napájané elektrickou energiou. Od ich správnej voľby značne závisí kvalita a tiež hospodárnosť celej osvetľovacej sústavy. Článok sa zaoberá meraním kvantitatívnych a kvalitatívnych parametrov vybraných umelých zdrojov svetla za pomoci prístrojového vybavenia zaobstaraného v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Kľúčové slová: svetelný tok; umelý zdroj svetla; analyzátor siete; spektorrádiometer

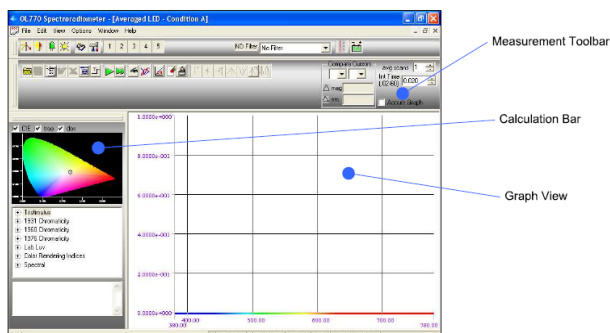
I. MERANIE SPEKTRÁLNYCH CHARAKTERISTÍK SVETELNÝCH ZDROJOV

Svetlo je možné definovať ako elektromagnetické žiarenie v obmedzenom intervale vlnových dĺžok, ktoré je schopné prostredníctvom zrakového orgánu vyvolať zrakový vnem. Spektrum zdroja svetla je rozloženie intenzity svetla medzi jednotlivé vlnové dĺžky. Táto kapitola sa zaoberá meraním spektrálnych charakteristík vybraných svetelných zdrojov, bežne používaných v osvetľovacích sústavách vnútorných, resp. vonkajších priestorov, t.j.:

- klasická žiarovka 40 W,
- halogénová žiarovka 40 W,
- kompaktná žiarivka 8 W,
- LED svetelný zdroj 5 W,
- vysokotlaká sodíková výbojka 70 W.



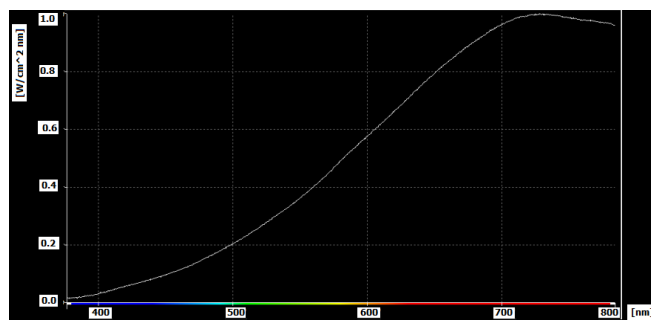
Obrázok 1. Meracia aparatúra pre meranie spektrálnych charakteristík svetelných zdrojov



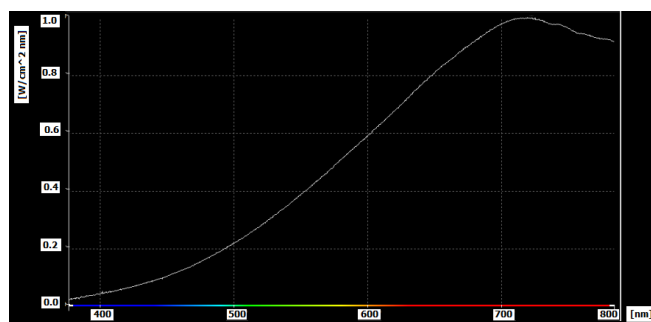
Obrázok 2. Vizualizácia aplikačného softvéru k spektorrádiometru OL 770

Spektrálne charakteristiky vybraných svetelných zdrojov boli merané pomocou spektorrádiometra OL 770 od firmy Optronic Laboratories, Inc. (obr. 1). Na vyhodnotenie týchto charakteristík bol použitý aplikačný softvér (obr. 2), dodávaný k spektorrádiometru [6].

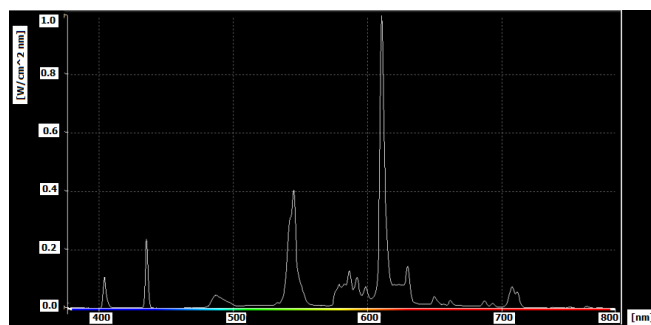
Výsledky meraní spektrálnych charakteristík vybraných zdrojov svetla sú uvedené na nasledovných obrázkoch.



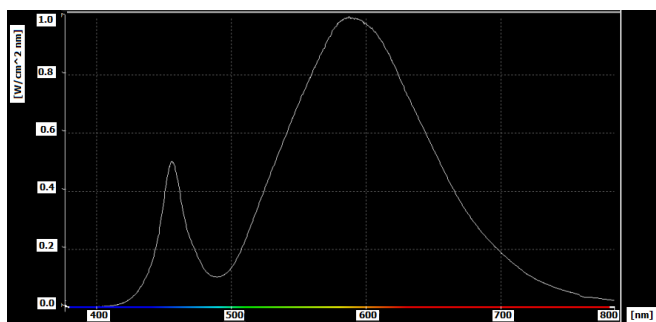
Obrázok 3a. Spektrálna charakteristika klasickej žiarovky



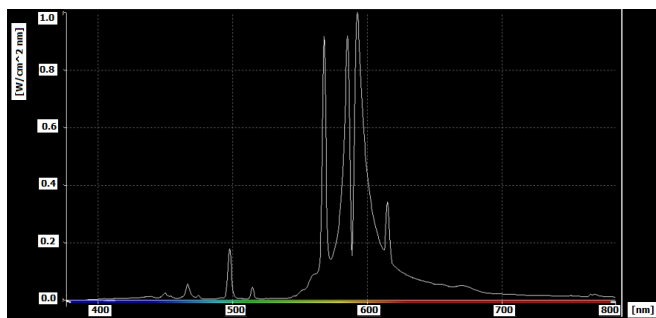
Obrázok 3b. Spektrálna charakteristika halogénovej žiarovky



Obrázok 3c. Spektrálna charakteristika kompaktnej žiarivky



Obrázok 3d. Spektrálna charakteristika svetelného zdroja LED



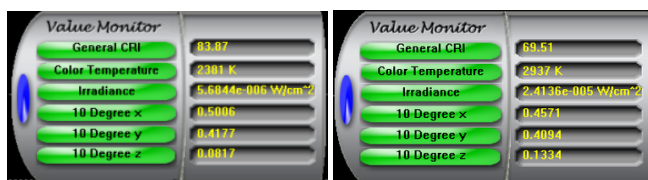
Obrázok 3e. Spektrálna charakteristika vysokotlakové sodíkovej výbojky

Využitím aplikačného softvéru je možné pre jednotlivé svetelné zdroje vyhodnotiť ďalšie svetelnotechnické parametre, ako sú teplota chromatickosti, index farebného podania a farebné súradnice svetla. Uvedené parametre je možné znázorniť pomocou funkcie „Value Monitor“ (obr. 4).

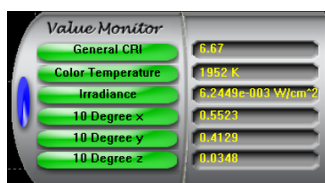
Teplotou chromatickosti (resp. náhradnou teplotou chromatickosti) sa popisujú farebné vlastnosti svetla. V prípade teplotných svetelných zdrojov odpovedá teplote vlákna, u výbojových svetelných zdrojov, resp. LED sa používa pojem náhradná teplota chromatickosti, ktorá odpovedá ekvivalentnému teplotnému zdroju s podobným spektrálnym zložením, aké má daný výbojový svetelný zdroj.



Obrázok 4a. Svetelnotechnické parametre klasickej žiarovky (vľavo) a halogénovej žiarovky (vpravo)



Obrázok 4b. Svetelnotechnické parametre kompaktné žiarivky (vľavo) a svetelného zdroja LED (vpravo)



Obrázok 4c. Svetelnotechnické parametre vysokotlakové sodíkovej výbojky

Index podania farieb určuje, do akej miery je človek schopný pri danom spektre žiarenia daného svetelného zdroja verne vnímať farby. Jeho hodnota sa pohybuje v rozmedzí od 0 (najhoršie podanie farieb) do 100 (najlepšie podanie farieb).

Trichromatické súradnice (x, y, z) určujú, aký podiel má každá trichromatická zložka pre vytvorenie určitej farby. Súčet všetkých troch súradníc je rovný jednej [1].

II. MERANIE NAPÄŤOVÝCH ZÁVISLOSTÍ SVETELNÉHO TOKU POMOCOU GULŔOVÉHO INTEGRÁTORA

Svetelný tok Φ , ktorého jednotkou je lumen [lm], predstavuje žiarivý tok Φ_e , ktorý je vyžiarený do viditeľnej oblasti elektromagnetického žiarenia. Vyjadruje množstvo svetla vyžiareného svetelným zdrojom do všetkých smerov. Zo svetelného toku ako základnej veličiny sa odvádzajú všetky ostatné fotometrické veličiny. Pre konkrétny typ svetelného zdroja je tento údaj uvedený v katalógu. Svetelný tok pri známom spektrálnom zložení žiarivého toku môžeme vyjadriť podľa vzťahu [1], [5]:

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} \Phi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

kde:

Φ_e – žiarivý tok [W],

K_m – maximálna svetelná účinnosť [$\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$],

$V(\lambda)$ – účinnosť monochromatického žiarenia [-].

Svetelný výkon zdrojov a svietidiel je možné hodnotiť podľa svetelného toku, ktorý sa vyžaruje do okolitého priestoru. Svetelný tok tak predstavuje svetelný výkon, ktorý sa priamo uplatňuje pri vytváraní osvetlenia a tým aj jas osvetľovaných plôch. Hlavným cieľom meraní svetelného toku je skúmanie účinnosti premeny elektrickej energie na energiu svetelnú. Pri meraní svetelného toku nás nebude zaujímať jeho priestorové rozloženie, ale iba jeho množstvo. Ak chceme toto množstvo súhrne určiť, musíme prakticky merať svetelný výkon (svietivosť) vo všetkých smeroch vyžarovania, ktoré reprezentujú uhly γ a ϑ . Svietivosť I v elementárnom priestorovom uhle $d\omega$ následne vytvára elementárny svetelný tok. Suma všetkých elementov svetelného toku vyžarovovaných cez všetky smery (t.j. uhly γ a ϑ) nám udáva súhrnný svetelný tok Φ . Matematicky ide o integrál z fotometrickej plochy svietivosti cez priestorový uhol celého priestoru, kde :

$$\Phi = \oint_{4\pi} I(\gamma, \vartheta) d\omega \quad (2)$$

Meranie fotometrickej plochy svietivosti je pomerne zdĺhavá záležitosť a integrácia fotometrickej plochy sa dá jednoducho obísť použitím špeciálnej meracej aparatury, tzv. guľového integrátora (obr. 5).

Principiálne nám toto zariadenie vykonáva integráciu svetelného toku za pomoci mnohonásobných rozptylových odrazov, ktorých výsledkom je vytvorenie rovnomerného rozloženia osvetlenosti vnútri steny guľového integrátora bez ohľadu na priestorové rozloženia svetelného toku zdroja svetla. Tento predpoklad je však splniteľný iba vtedy, ak vnútorné steny guľového integrátora majú dostatočnú odraznosť.

S dostatočnou presnosťou je potom možné povedať, že intenzita osvetlenia v ktoromkoľvek bode na vnútornom povrchu guľového integrátora je rovnaká a je priamo úmerná celkovému svetelnému toku svetelného zariadenia [1].

V súčasnosti sa stalo stmievanie svetelných zdrojov jedným z prostriedkov na zníženie energetickej náročnosti osvetlenia, pričom jednotlivým stupňom stmievania zodpovedá príslušný svetelný tok. Keďže napäťové závislosti nie sú v súčasnosti bežným katalogovým údajom, je potrebné ich získať meraním.



Obrázok 5. Meracia aparátúra pri meraní napäťových závislostí svetelného toku

Pri meraní napäťovej závislosti svetelného toku umelých zdrojov svetla boli použité nasledovné prístroje (obr. 5):

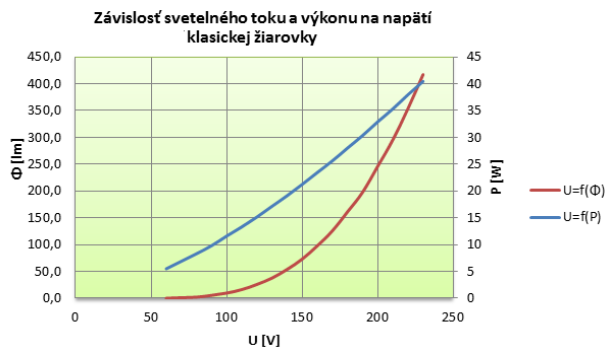
- regulovateľný napäťový zdroj EA-4000B
- analyzátor kvality elektriny ENA 330, vrátane počítača,
- digitálny luxmeter PU 550,
- guľový integrátor.

Regulovateľným zdrojom bola nastavovaná požadovaná hodnota napätia, elektrické veličiny (prúd, napätie, výkon) boli merané pomocou analyzátoru siete. Hodnota intenzity osvetlenia svetelného zdroja v guľovom integrátore bola meraná digitálnym luxmetrom.

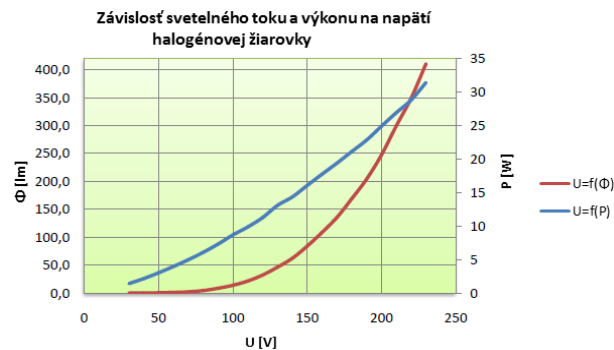
Meranie svetelného toku pri rôznych napätiach bolo realizované na svetelných zdrojoch uvedených v prvej kapitole.

Základné prevádzkové parametre týchto zdrojov pri ich menovitom napätí sú uvedené v tab. 1. Pri jednotlivých úrovniach napájacieho napätia bola okrem svetelného toku odčítaná tiež hodnota elektrického príkonu svetelného zdroja P [W]. Na základe sledovaných údajov bolo tiež možné vyčíslit' merný výkon svetelných zdrojov η [lm/W].

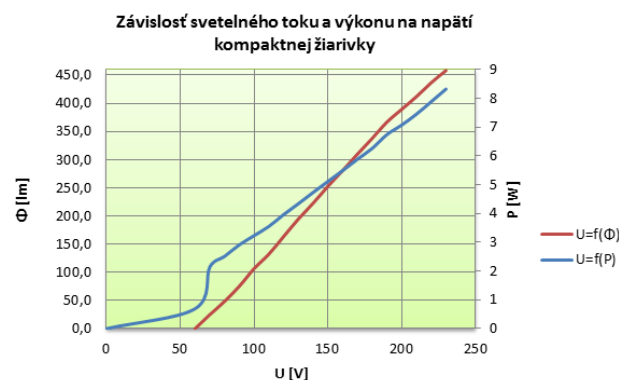
Je to parameter charakterizujúci účinnosť premeny elektrickej energie na svetlo. Výsledky meraní, t.j. závislosti svetelného toku a výkonu (resp. príkonu) v závislosti od veľkosti napájacieho napätia pre jednotlivé svetelné zdroje sú uvedené na grafických závislostiach na obr. 6.



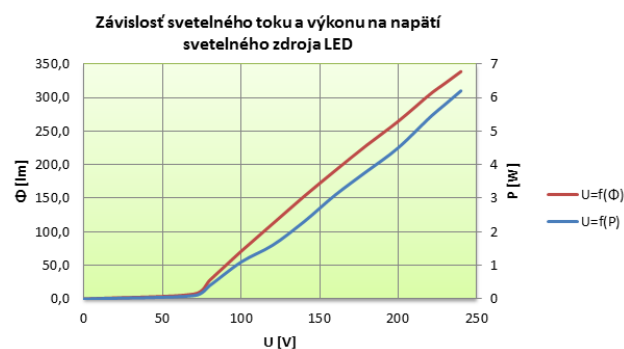
Obrázok 6a. Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí klasickej žiarovky



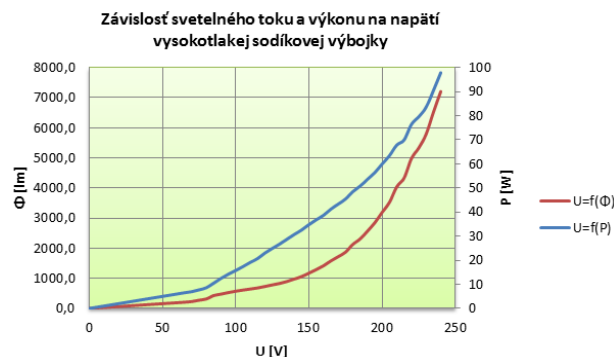
Obrázok 6b. Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí halogénovej žiarovky



Obrázok 6c. Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí kompaktné žiarivky



Obrázok 6d. Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí svetelného zdroja LED



Obrázok 6e. Závislosť svetelného toku a výkonu na napätí vysokotlakové sodíkovej výbojky

Uvedené závislosti nám poskytujú informáciu o základných parametroch osvetľovacej sústavy v prípade zmeny napätia, t.j. napríklad v priebehu regulácie intenzity osvetlenia.

Pri stmievaní osvetlenia je potrebné vedieť jednak veľkosť príkonu osvetlenia pri danom stupni stmievania (z hľadiska vyčíslenia úspor pri nasadení regulačných prvkov) a tiež veľkosť intenzity osvetlenia (z hľadiska posúdenia dosiahnutia požadovaných svetelnotechnických parametrov) [4], [5].

V tabuľke 1 sú zhrnuté základné parametre uvažovaných svetelných zdrojov pri menovitom napätí dané výrobcom a tiež údaje získané meraním.

Tabuľka 1 Zhrnutie parametrov meraných svetelných zdrojov

svetelný zdroj	štítkové údaje			parametre namerané pri $U_n=230V$		
	P [W]	Φ [lm]	η [lm/W]	P [W]	Φ [lm]	η [lm/W]
klasická žiarovka	40	415	10,4	40,5	417,2	10,3
halogénová žiarovka	30	405	13,5	31,42	410,8	13,07
kompaktná žiarivka	8	400	50,0	8,3	458,1	55,1
LED žiarovka	5	405	81	5,8	321,5	55,4
VT sodíková výbojka	70	6 000	85,7	83,6	5784,9	69,2

Rozdiely nameraných oproti štítkovým údajom zodpovedajú hlavne miere presnosti meracích prístrojov (predovšetkým luxmetra) a tiež odchýlkou skutočných parametrov svetelných zdrojov oproti ich štítkovým údajom.

III. ZÁVER

Článok pojednáva o meraní napätových závislostí svetelného toku, spektrálnych charakteristík a ďalších svetelnotechnických parametrov bežne používaných umelých svetelných zdrojov. Z nameraných napätových závislostí je možné sledovať správanie sa svetelného zdroja pri stmievaní z hľadiska odobieraného výkonu ako aj veľkosti vyžarovaného svetla. Výsledky meraní potvrdili fakt, že proces stmievania je charakterizovaný väčším poklesom svetelného toku ako príkonu. Na základe toho môžeme usúdiť, že u sledovaných zdrojov vplyvom stmievania klesá účinnosť premeny elektrickej energie na svetelnú, ktorá je daná parametrom η [lm/W].

Z nameraných spektrálnych charakteristík je možné určiť farebné vlastnosti svetla a podanie farieb. Možno skonštatovať, že namerané údaje zodpovedajú očakávaným výsledkom (katalógovým údajom svetelných zdrojov).

POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.,



Európska únia
Európsky fond regionálneho rozvoja



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

LITERATÚRA

- [1] SOKANSKÝ, K. a kol.: Světelná technika. EUROPRINT, a.s.. Praha 2011. 256 s. ISBN 978-80-01-04941-9
- [2] ASNAĎ, J.: Meranie prevádzkových parametrov svetelných zdrojov. Diplomová práca. Košice: FEI TU v Košiciach, 2013
- [3] HABEL, J.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995, ISBN 800-901985-0-3
- [4] ÁRVAY, P.: Regulácia osvetlenia vnútorných priestorov. Diplomová práca. Košice: FEI TU v Košiciach, 2010
- [5] BEŇA, L., CHOVANEC, M.: Meranie napätových závislostí svetelného toku umelých zdrojov svetla. Inteligentné riadenie výroby a spotreby elektriny z obnoviteľných energetických zdrojov 2013, 19. september 2013, Stará Lesná, ISBN 978-80-553-1462-4
- [6] Spectroradiometer OL Series 770, Manual No. 000252, October 2008

ADRESY AUTOROV

doc. Ing. Eubomír Beňa, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, 041 20 Košice, Slovenská republika, Lubomir.Bena@tuke.sk

Ing. Martin Chovanec, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Ústav výpočtovej techniky, Boženy Němcovej 3, 042 00 Košice, Slovenská republika, Martin.Chovanec@tuke.sk