

## Kvalita elektrickej energie v sieťach verejného osvetlenia

Konečný Maroš · Elektrotechnika, Študentské práce

16.03.2012



Táto práca rieši problematiku kvality elektrickej energie, aké parametre na ňu vplyvajú a aké sú posudzované pri jej hodnotení. Následnými praktickými meraniami sú vykonané analýzy kvality energie na viacerých svietidlách a svetelných zdrojoch pre verejné osvetlenie aj pre osvetlenie menších priestorov. Záverečné porovnanie zhodnocuje situáciu medzi meranými objektmi.

### 1 Úvod

Približne do 80-tych rokov 20. storočia sa na oblasť kvality elektrickej energie veľmi neprihliadalo. Príčinou tohto stavu bolo najmä to, že v tejto dobe množstvo elektrických spotrebičov a zariadení nebolo také rozsiahle a tieto zariadenia neboli náročné na kvalitu elektrickej energie tak ako dnes. Problém s kvalitou nastal až v posledných desaťročiach, kedy výrazne vzrástol počet elektrických a elektronických zariadení a zariadení mikroprocesorovej techniky.

Okrem toho začalo sa viac dbať na účinnosť a možnú regulovateľnosť rôznych zariadení a sústav elektrických zariadení, verejné osvetlenie a osvetlenie vo všeobecnosti nevynímajúc. Celá táto problematika je v dnešnej dobe aktuálna a je potrebné ju zohľadniť už pri samotnom návrhu a konštrukcii zariadení, čo bolo podnetom a motiváciou aj pri tvorbe tejto práce.

### 2 Posudzovanie kvality elektrickej energie

Ak chceme posudzovať kvalitu elektrickej energie a dokázať meraním jej stav, musíme určiť parametre, resp. veličiny, ktoré týmto meraním zistíme a následne vyhodnotíme. Takouto veličinou je väčšinou napätie ale niekedy aj prúd. Napätie sa zvykne posudzovať z týchto hľadísk:

- frekvencie
- veľkosti (amplitúdy)
- tvaru napäťovej vlny
- symetrie 3-fázových napätí

Rôzne zmeny napätia a jeho priebehu vplyvajú na kvalitu elektrickej energie. Medzi tieto zmeny môžeme zaradiť:

- Prepätia
- Krátkodobé zmeny napätia
- Dlhodobé zmeny napätia
- Nesymetria napätia
- Kolísanie napätia
- Kolísanie frekvencie
- Deformácia tvaru napäťovej vlny

Prepätia sú náhle zmeny napätia (ale aj prúdu) medzi dvoma ustálenými stavmi. Jedná sa o pomerne krátke a veľmi rýchle prechodné deje. Krátkodobé zmeny napätia sú také zmeny napätia, ktorých doba trvania je od 0,5 periódy (pre frekvenciu 50 Hz je to 0,01 sekundy) až po 1 minútu a kde amplitúda tohto napätia poklesne o 0,1 až 0,9 násobok efektívnej hodnoty napätia siete. Pri zmenách efektívnej hodnoty napätia v sieti trvajúcich viac ako 1 minútu hovoríme o dlhodobých zmenách napätia.

V trojfázovej sústave je dôležité dodržiavať rovnomerné zaťaženie všetkých 3 fáz a čo najmenšiu deformáciu napäťových priebehov v nich. Pri nedodržaní týchto skutočností tečú fázami nesymetrické prúdy a teda sa vo vedeniach vyskytujú aj nesymetrické napätia. To spôsobuje v sústavách s nulovým vodičom tok prúdu v ňom a to dokonca väčším než na aký je dimenzovaný.

Kolísanie napätia je zmena nominálnej efektívnej hodnoty napätia siete v rozmedzí 90 až 110 % tohto napätia. Táto zmena je pomerne rýchla a periodická a u svetelných zdrojov môže spôsobovať zmenu jasu-flicker. Frekvencia siete je priamo spätá s frekvenciou otáčania rotorov synchronných strojov (generátorov) v sieti. Kolísanie frekvencie je spôsobené dynamikou siete pri vyvažovaní toku výkonov medzi generátormi a zaťažzeniami.

Deformácia napäťového priebehu býva spôsobená šumom, jednosmernou zložkou napätia a vyššími harmonickými. Vyššie harmonické sú sínusové priebehy s násobkami základnej (50 Hz) frekvencie, ktorými vieme daný deformovaný signál popísať a analyzovať jeho správanie v sieti. Nepárne násobky 3. harmonickej, označované ako Triplen harmonics, sú príčinou preťažovania nulového vodiča v sieti.

### **3 Meranie kvality el. energie na svetelných zdrojoch pre VO**

V nasledujúcich kapitolách sú zhrnuté a analyzované výsledky z meraní kvality elektrickej energie na rôznych svetelných zdrojoch pre VO a taktiež z meraní na svetelných zdrojoch pre bežných spotrebiteľov.

#### **3.1 Metodika merania**

Na merania bol použitý programovateľný zdroj striedavého napätia Chroma 61505 s možnosťami nastavenia úrovne vyšších harmonických a medziharmonických. U každého svietidla a svetelného zdroja bola vykonaná harmonická analýza pri rôznymi hodnotách napätia a rôznych deformáciách, ktoré sú zachytené v Tab. 1. Pred prvým meraním a pri zmenách napájacieho napätia sa nechali merané objekty 15 minút svietiť aby sa stabilizoval nimi odoberaný prúd a ich svetelný tok. Harmonická analýza bola vykonaná prístrojom BK ELCOM 550 s príslušným softwarom.

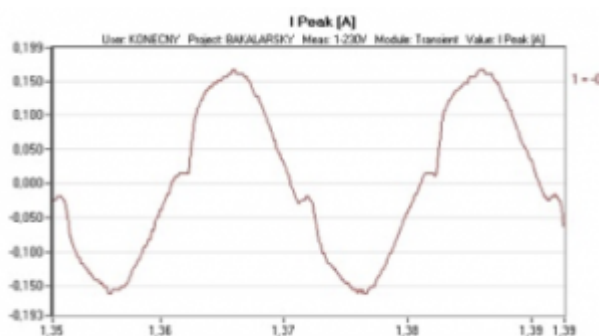
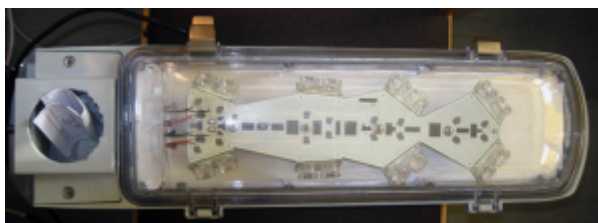
Tab. 1: Hodnoty napätia a vyšších harmonických pre meranie generované zdrojom napätia

napätie 1. harmonickej	obsah vyšších harmonických
235V	bez obsahu
230V	bez obsahu
225V	bez obsahu
210V	bez obsahu
220V (def1)	$U_{ef\ 3.harm} = 11\ V\ (5\%)$
217 V (def 2)	$U_{ef\ 3.harm} = 10,8\ V\ (5\%),$ $U_{ef\ 9.harm} = 3,3\ V\ (1,5\%)$

### 3.1 Merané objekty

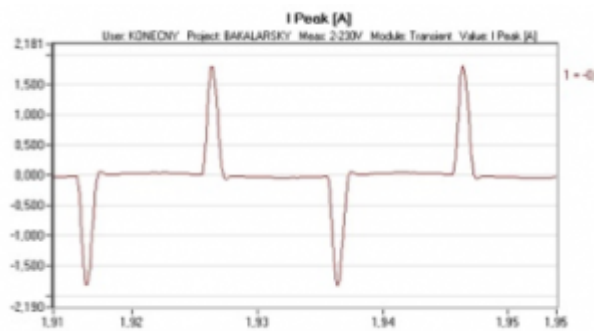
Všetky merané svietidlá a svetelné zdroje boli rozdelené do 3 skupín pre výsledné porovnanie. Sú to skupiny LED VO, kde boli zaradené 2 svietidlá (Schröder Aresa 16 LED a prototyp LED svietidla pre VO), skupina LED svetelných zdrojov kde boli zaradené bežné LED svetelné zdroje určené pre bežnú spotrebu a skupina výbojových svetelných zdrojov. Táto skupina obsahuje vysokotlakové sodíkové výbojky, ortuťovú výbojku, indukčnú výbojku a kompaktnú žiarivku.

Na obrázkoch 1 až 13 sú merané modely svietidiel a svetelných zdrojov ako aj priebeh odoberaného prúdu pri napájaní napätím so sínusovým priebehom a efektívnou hodnotou napätia 230 V (ideálne sínusové napätie).

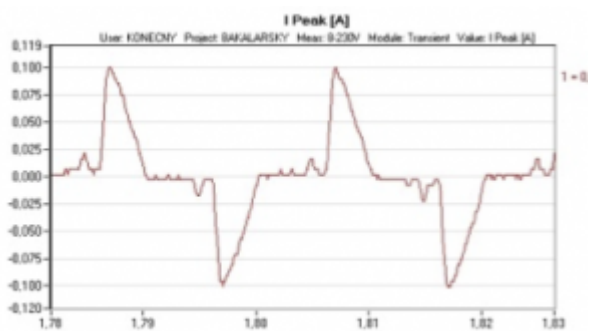


Obr. 1: Schröder Aresa 16 LED

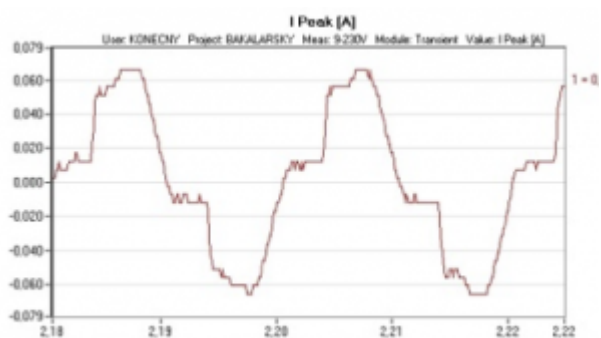




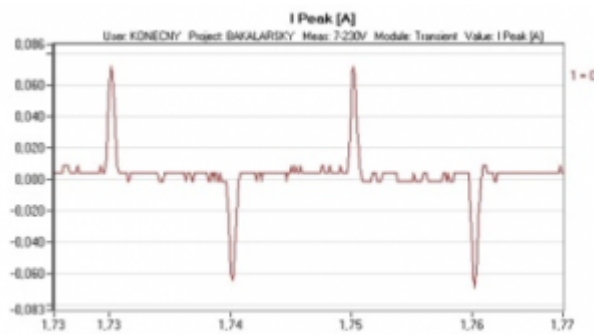
Obr. 2: Prototyp LED svetidla pre VO



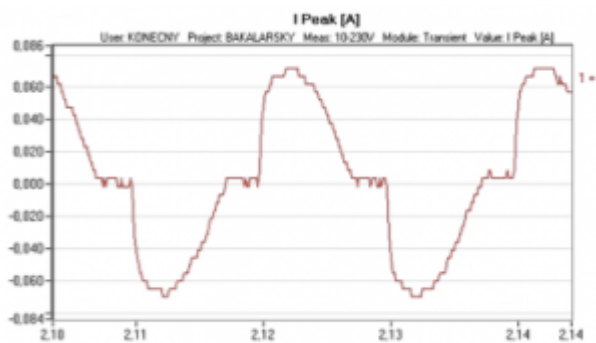
Obr. 3: Philips E27 LED 7W



Obr. 4: OSRAM LED 8W

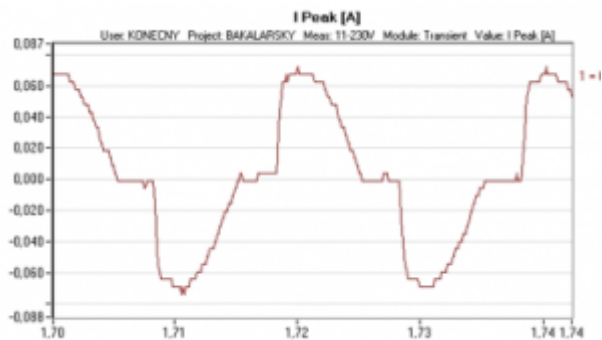


Obr. 5: OSRAM LED 2W

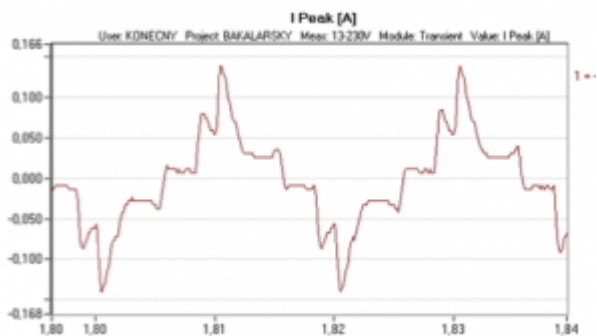


Obr. 6: Kanlux 48 LED 3W

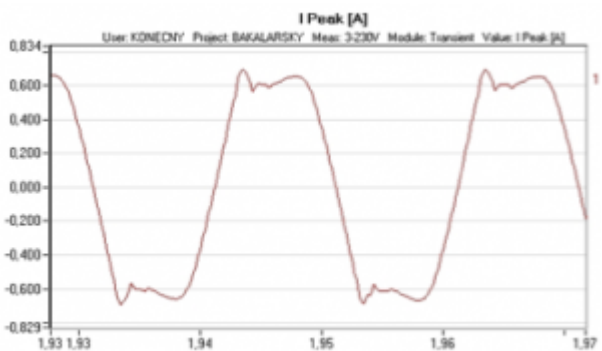




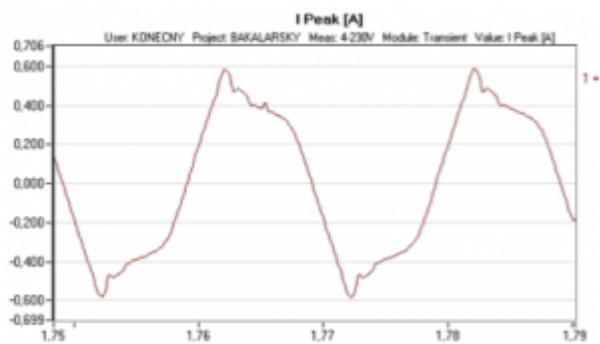
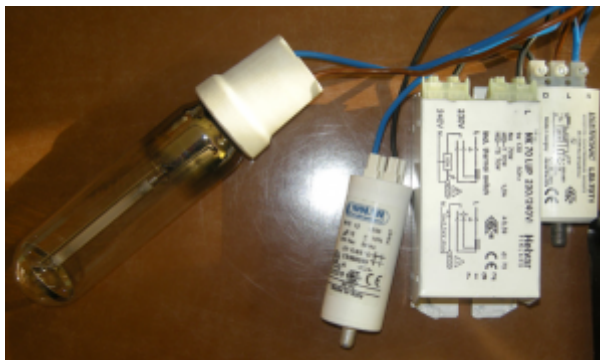
Obr. 7: Kanlux 60 LED 3,8W



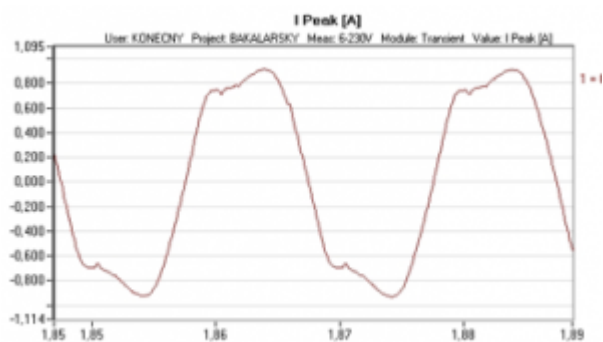
Obr. 8: Kanlux MR16 LED 5W 12V



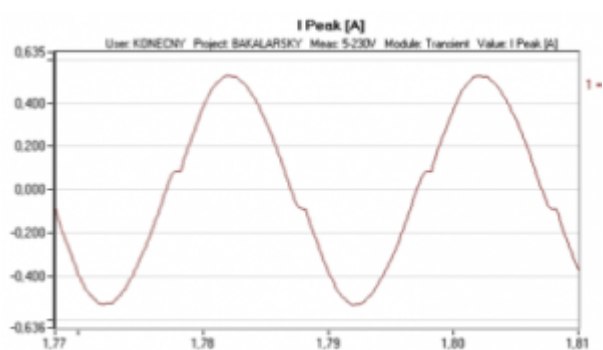
Obr. 9: OSRAM HPS 100W



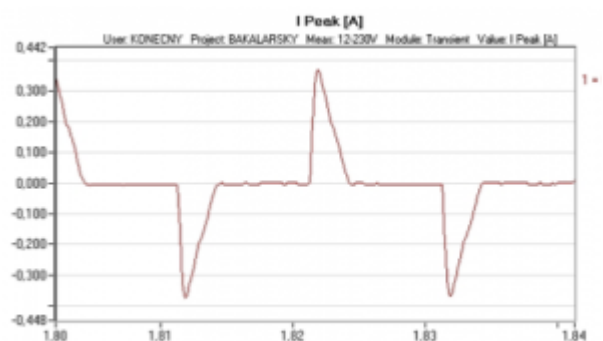
Obr. 10: OSRAM HPS 70W



Obr. 11: Tungram 125W



Obr. 12: Sylvania 70W



Obr. 13: Orava 20W

## 3.2 Analýza výsledkov merania

### 3.2.1 Analýza Power factoru (PF)

Porovnaním PF jednotlivých svietidiel a svetelných zdrojov sa nedá jednoznačne preferovať jednu kategóriu z pohľadu kvality elektrickej energie (Tab. 2). PF u svietidiel LED VO bol vyhovujúci u svietidla Schröder Aresa 16 LED a nevyhovujúci u



prototypu LED svietidla pre VO. V kategórii LED pre bežnú spotrebu boli výsledky ešte rozdielnejšie. Dobrých hodnôt tu dosiahla len LED „žiarovka“ OSRAM 8W a Kanlux 48 LED 5W 12 V aj napriek jej nesprávne zapojeniu cez elektronický transformátor. LED náhrada žiarovky od firmy Philips s príkonom 7W bola čo sa týka PF o na tom o niečo horšie (cca 0,70). Zvyšok výrobkov v tejto kategórii dosiahlo veľmi nízke hodnoty PF (0,40 a menej).

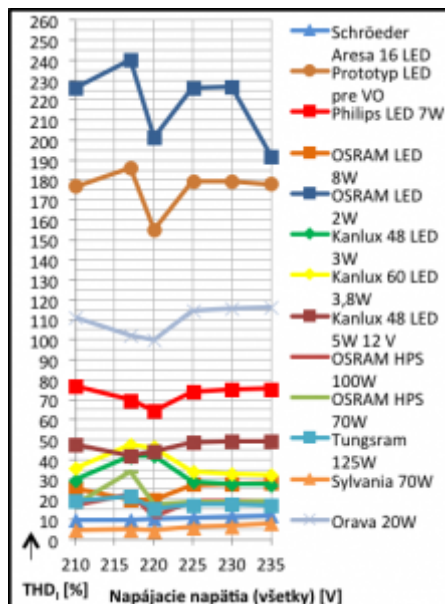
Tab. 2: Porovnanie PF meraných objektov

kategória	svetel. zdroj	nap. napätie					
		235 V	230 V	225 V	210 V	220V def1	217V def2
LED VO	Schröder Aresa 16 LED	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96
	Prototyp LED pre VO	0,48	0,48	0,48	0,48	0,51	0,45
LED	Philips LED 7W	0,70	0,71	0,71	0,67	0,72	0,70
	OSRAM LED 8W	0,85	0,86	0,86	0,88	0,88	0,88
	OSRAM LED 2W	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,36
	Kanlux 48 LED 3W	0,33	0,34	0,34	0,35	0,33	0,33
	Kanlux 60 LED 3,8W	0,38	0,39	0,39	0,40	0,38	0,38
	Kanlux 48 LED 5W 12 V	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,88
výbojky	OSRAM HPS 100W	0,88	0,91	0,91	0,87	0,86	0,87
	OSRAM HPS 70W	0,97	0,98	0,97	0,98	0,97	0,94
	Tungsrám 125W	0,87	0,86	0,88	0,94	0,91	0,92
indukčná výb.	Sylvania 70W	0,93	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98
komp. žiarivka	Orava 20W	0,61	0,62	0,62	0,62	0,64	0,64

Vysokotlakové sodíkové výbojky OSRAM aj ortuťová výbojka Tungsrám z kategórie výbojok dosahovali slušné výsledky závislé od vykompenzovania tlmivky v predradnom systéme paralelne pripojeným kompenzačným kondenzátorom. Indukčná výbojka s elektronickým predradníkom mala PF veľmi blízky 1. Kompaktná žiarivka Orava s príkonom 20W má najhorší PF z kategórie výbojových svetelných zdrojov.

### 3.2.2 Analýza skreslenia priebehu prúdu

Porovnávanie deformácií odoberaného prúdu (porovnávanie koeficientu THD<sub>i</sub>) nám dáva takisto rozdielne hodnoty aj v rámci jednotlivých kategórií. Na Obr. 14 pri porovnaní v kategórii LED VO, Prototyp LED svietidla pre VO dosahuje skreslenie THDI okolo 180%, zatiaľ čo svietidlo Schröder Aresa 16 LED nedosahuje hodnotu koeficientu THD<sub>i</sub> ani 15%.



Obr. 14: Porovnanie koeficientu THDI pre všetky merané objekty

Kategória LED pre všeobecnú bežnú spotrebu a náhradu za klasické žiarovky obsahuje pestrejšie výsledky (Obr. 14). Najhoršie skreslenie prúdového priebehu dosahuje OSRAM LED 2W, ktoré bolo jedným z prvých pokusov tohto výrobcu v použití LED ako náhradu žiaroviek na trhu. Výkonnejšia a modernejšia verzia OSRAM LED 8W dosahuje naopak najmenší koeficient  $THD_1$ . Trochu horšie ako OSRAM LED 8W dopadli LED náhrady od firmy Kanlux s príkonmi 3W a 3,8W. Pri napájaní napätím s obsahom vyšších harmonických sa týchto dvoch výrobkov drží aj tretí výrobok od firmy Kanlux napájaný cez elektronický transformátor (nesprávne zapojený). Pri napájacích napätíach bez obsahu vyšších harmonických je však na tom horšie. Jediná stmievateľná LED náhrada žiarovky od firmy Philips má skreslenie odoberaného prúdu o niečo väčšie ako väčšina výrobkov ale podstatne menšie ako OSRAM LED 2W.

Medzi výbojkami najlepšie obstála indukčná výbojka s elektronickým predradníkom (Obr. 14). Koeficient  $THD_1$  sa drží okolo 5%, zatiaľ čo všetky ostatné výrobky v tejto kategórii majú  $THD_1$  väčšie ako 10%. Okolo 20%  $THD_1$  sa drží ortuťová výbojka Tungsram s výbojkou OSRAM HPS 100W. Výbojka OSRAM s príkonom 70 W pri napätí 217 V s deformáciami svojím prúdovým skreslením odskakuje od 20% úrovne smerom nahor, aj keď jej PF je lepší ako PF výbojky OSRAM HPS 100W. Vysoko nad 100%  $THD_1$  je kompaktná žiarivka Orava s príkonom 20W.

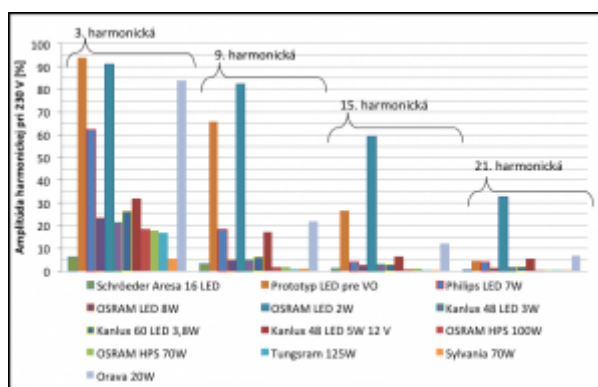
### 3.2.3 Analýza skreslenia priebehu prúdu

Preťažovanie nulového vodiča je následok vysokého obsahu Triplen harmonics v odoberanom prúde. U kategórie LED VO prispieva vysokým obsahom týchto harmonických práve Prototyp svietidla LED pre VO. Schröder Aresa 16 LED má v porovnaní s ním veľmi nízky obsah Triplen harmonics (Obr. 15).

V kategórii LED pre bežnú spotrebu najlepšie obstála LED náhrada za žiarovky OSRAM LED 8W. Starší podobný výrobok firmy OSRAM s príkonom 2W mal najvyšší obsah harmonických spôsobujúcich preťažovanie nulového vodiča. Výrobok firmy Philips s elektronickým predradníkom umožňujúcim stmievanie bol druhým najväčším zdrojom vyšších harmonických. Výrobky Kanlux mali takmer rovnaké ale o niečo vyššie

obsahy týchto harmonických ako OSRAM LED 8W, okrem výrobku Kanlux 48 LED 5W 12 V (zle zapojený skrz elektronický transformátor), ktorý generoval o niečo viac harmonických.

Z výbojových svetelných zdrojov generovala najviac harmonických z radu Triplen harmonics kompaktná žiarivka Orava s príkonom 20W (Obr. 15). Zvyšné svetelné zdroje generovali hlavne 3. harmonickú, zvyšné harmonické boli veľmi nízke.



Obr. 15: Generované Triplen harmonics (do 21.rádu) všetkými meranými objektmi

#### 4 Záver

Pri zvážení všetkých nameraných údajov je obtiažne jednoznačne určiť, ktorý konkrétny typ svietidiel a svetelných zdrojov je najvyhovujúcejší z hľadiska kvality elektrickej energie. Aj moderné trendy vývoja v oblasti VO, akými sú LED technológie, musia dbať na kvalitu elektrickej energie, aby sa dokázali presadiť v nových a rekonštruovaných inštaláciách. Ich elektronické predradné systémy by mali byť vždy vybavené filtermi vyšších harmonických, aby dokázali konkurovať na poli kvality elektrickej energie výbojovým svetelným zdrojom s vykompenzovanými elektromagnetickými alebo elektronickými predradníkmi.

Dbáť na kvalitu odoberanej elektrickej energie by sa malo aj u LED svetelných zdrojov pre bežnú spotrebu určených ako náhrady klasických žiaroviek. V tejto oblasti je to však náročnejšie, lebo v malých inštaláciách sa nezvykne kvalita elektrickej energie kontrolovať a snaha udržať nízke ceny vo veľkej konkurencii núti výrobcov na túto oblasť neprihliadať. Výbojové svetelné zdroje dokážu tesne udržať krok s modernými LED technológiami aj s dobre vykompenzovanými elektromagnetickými predradníkmi, pri použití drahších elektronických sú na rovnakej úrovni.

Pri projektovaní VO zostáva zväziť popri svetelno-technických parametroch inštalovaných svietidiel a ich cene aj ich vplyv na kvalitu elektrickej energie. Pri zlom návrhu sústavy VO a zlej kvalite energie môže dôjsť k zbytočným komplikáciám a predraženiu projektu a zamýšľanej investície.

#### Odkazy na literatúru

1. STN EN 50160: Charakteristiky napätia elektrickej energie dodávanej z verejnej distribučnej siete, 2002
2. SZATHMÁRY, P.: Kvalita elektrickej energie, PRO s.r.o., Banská Bystrica, 2003
3. HABEL, J.: Světelná technika a osvětlování, FFC PUBLIC, Praha, 1995

- 
4. Lighting engineering 2002, Indalux iluminacion tecnica, 2002
  5. Elektronický transformátor Kanlux Rico LED 9-12W-katalógový list, URL:  
<http://www.kanlux.sk/img.asp?attid=87236>

---

Spoluautorom článku je Ing. Peter Janiga, Katedra elektroenergetiky , Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Slovenská technická univerzita, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava a Medzinárodné laserové centrum, Ilkovičova 3, 841 04 Bratislava

---

Práca bola prezentovaná na Študentskej vedeckej a odbornej činnosti (ŠVOČ 2011) v sekcii Elektroenergetika a získala Cenu IEEE, ISBN 978-80-227-3508-7

---