

Andrej Đuretić, dipl.el.ing.  
Minel-Schreder, Beograd

## ISTINE I ZABLUDE O LED TEHNOLOGIJI

LED tehnologija uzima sve više maha i postaje ravnopravan takmac konvencionalnim HID izvorima. Od savetovanja 2007. kada sam prezentovao rad o osnovnim karakteristikama LED izvora i tehnologije, njihovo prisustvo i značaj na tržištu je u toj meri porastao da se sve više govori i o upotrebi LED u javnom osvetljenju, što je ipak iznenađujući rezultat za ovako kratak vremenski period. LED su glavna tema u industriji osvetljenja, što se najbolje moglo videti i na ovogodišnjem Frankfurtskom sajmu koji je u potpunosti bio posvećen ovim izvorima. O LED se puno govori, mnogo lepih i istinitih stvari, ali i mnogo poluistina i potpunih neistina koje imaju za cilj da LE diodama što pre obezbede leadersku poziciju na tržištu izvora svetlosti, i to po svaku cenu. Ovaj rad ima za cilj da ukaže na neke osnovne zablude koje se mogu čuti u nastupima gotovo svih trgovačkih firmi i manjih proizvođača LE dioda, ali nažalost i u nastupima renomiranih svetskih kompanija.

### 1. LED IZVORI SU EFIKASNIJI OD OSTALIH IZVORA, OSTVARUJU SE VELIKE UŠTEDE ELEKTRIČNE ENERGIJE U JAVNOM OSVETLJENJU?

**LED Streetlight Luminaire, Cobrahead M-400 Housing**  
Better Visibility • Reduced Light Pollution • Consumes **Only 20 Watts Power**  
Suitable for **Replacing 70-100Watt HPS & MH Streetlights**

- **Huge Cost Saving Benefit** – up to 85% reduction in electricity costs.
- **High Luminous Efficiency** – output of 150 lumens per watt, the **38 watt LED lamp can replace a 400 watt traditional sodium lamp.**

**10x** Il ciclo di vita è 5 volte maggiore delle lampade HPS e 10 volte maggiore delle lampade ai vapori di Mercurio

**45%** Il consumo energetico è inferiore del 45% rispetto ad una Lampada HPS da 400W

Led svetiljka od 60W menja Na svetiljku od 250W

UŠTEDA  
DO 80% ENERGIJE

## OSVETLJENJE 2010.

Da li su LED izvori zaista čudotvorni kako se može zaključiti iz gore navedenih podataka koji se sreću u brošurama mnogih proizvođača, gde se može videti da svetiljke sa LED izvorima određene snage menjaju svetiljke sa natrijumovim izvorima i do 5 puta veće snage? Ukoliko se uzmu u obzir podaci iz Tabele 1 dobijeni od renomiranih svetskih proizvođača CREE, OSRAM i PHILIPS LUMILEDS (iz marta 2009., podaci su potvrđeni i u aprilu 2010.), može se zaključiti da svetlosna iskoristivost ne prelazi 139 lm/W, i to u slučaju veoma hladne boje svetlosti (temperatura boje od 5000 do 10000K).

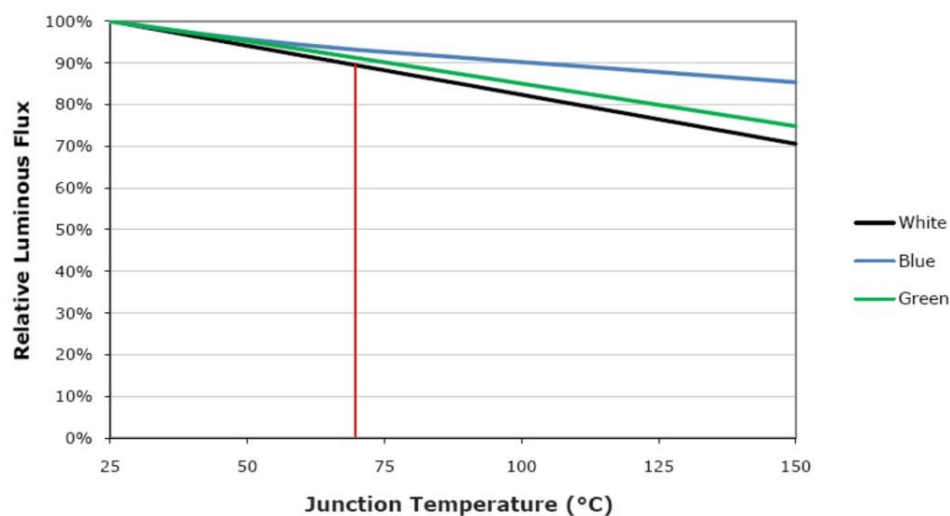
**Tabela 1. LED izvori renomiranih proizvođača sa najvećim fluksom**

Proizvođač	Tip	Temperatura boje	Fluks (350mA)	Maks. struja
CREE	XP-E	Hladno bela (5000-10000) K	>122	1000
CREE	XP-E	Neutralno bela (3700-5000) K	>107	1000
CREE	XP-E	Toplo bela (3000-3700) K	>94	1000
CREE	XP-G	Hladno bela (5000 -10000) K	>139	1500
CREE	XP-G	Neutralno bela (3700-5000) K	>122	1500
CREE	XP-G	Toplo bela (3000-3700) K	>107	1500
OSRAM	Golden Dragon Plus	Hladno bela (5700-6500) K	>112	700
OSRAM	Golden Dragon Plus	Neutralno bela (3700 – 4500) K	>82	700
OSRAM	Golden Dragon Plus	Toplo bela (300 -3700) K	>82	700
OSRAM	OSLON	Hladno bela (5700-6500) K	>104	1000
OSRAM	OSLON	Neutralno bela (3700-4500) K	>82	1000
OSRAM	OSLON	Toplo bela (3000-3700) K	>76	1000
Lumileds	Rebel	Hladno bela >4700 K	>100	100 lm/W garantovano
Lumileds	Rebel	Neutralno bela (3750-4700) K	>100	100 lm/W garantovano
Lumileds	Rebel	Toplo bela < 3750 K	>80	

**Ovo su vrednosti fluksa date za struju od 350 mA, Tj=25 °C; Tipični napon Vf : 3.2 V**

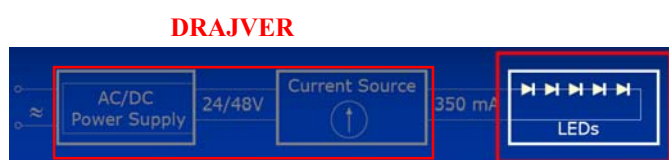
Za upotrebu u javnom osvetljenju (posebno u urbanim sredinama) najprimerenije je koristiti izvore toplo ili neutralno bele boje. Ako se, npr., uzmu najzastupljeniji LED čipovi tipa XP-E proizvođača CREE snage 1.1W koji daju svetlost neutralno bele boje (3700 do 5000K), može se videti da svetlosni fluks ovakvog čipa iznosi 107 lm. Međutim, ovo je svetlosni fluks pri temperaturi PN spoja od 25°C koja se ima isključivo u laboratorijskim uslovima (u praksi ove temperature idu i do 150°C [1,2], obično se uzima da u realnim uslovima ova temperatura iznosi 70°C). Pri ovoj temperaturi efikasnost sistema opada za 10.56 % (Slika 1 [1] - na apscisi je data vrednost temperature PN spoja (junction temperature), a na ordinati relativni svetlosni fluks).

## OSVETLJENJE 2010.



Slika 1. Odnos između svetlosnog fluksa i temperature PN spoja kod XP-E Cree dioda

Na efikasnost svetiljke sa LED izvorima ne utiče samo efikasnost LE dioda, već i efikasnost LED drajvera i efikasnost (koeficijent transmisije) sočiva (kolimatora) i staklenog protektora. Ako se uzme najčešći (i najbolji) slučaj gde se na štampanoj ploči nalaze samo diode bez elektronskih uređaja (tzv. "passive PCB"), a svi elektronski uređaji su objedinjeni i čine "drajver", efikasnost ovakvog uređaja (napajanje + izvor konstantne struje) iznosi i preko 90%! Na slici 2 je prikazan izgled ovakvog električnog kola i neki od najpoznatijih drajvera koji se mogu naći na tržištu.



Slika 2. Električno kolo LED svetiljke i neki drajveri renomiranih proizvođača

Za razliku od konvencionalnih HID izvora (natrijum visokog pritiska, metal halogeni) optički LED sistem najčešće ne sadrži reflektor (iako se u poslednje vreme sve više mogu naći svetiljke kod kojih svaka dioda ima svoj zaseban reflektor – još uvek neisplativo), već se kontrola svetla obavlja putem optičkih sočiva (kolimatora) i staklenog protektora. Efikasnost kolimatora obično iznosi 85- 92%, a uvrstivši i gubitke usled Fresnelove refleksije (približno 8%) može se uzeti da je efikasnost (stepen iskorišćenja) LED optičkog sistema približno 80%!

## OSVETLJENJE 2010.

Kada se uvrste svi pobrojani faktori, može se zaključiti da stvarna svetlosna iskoristivost jedne kvalitetne LED svetiljke (kvalitetni čipovi, sočiva, drajver i dobro rešeno odvođenje toplote u svetiljci) iznosi:

$$\text{SVETLOSNA ISKORISTIVOST SVETILJKE (lm/W)} =$$

$$\text{svetlosna iskoristivost LED (lm/W)} \times \text{efikasnost drajvera (\%)} \times \text{efikasnost optike (\%)} \times \text{termička efikasnost (\%)}$$

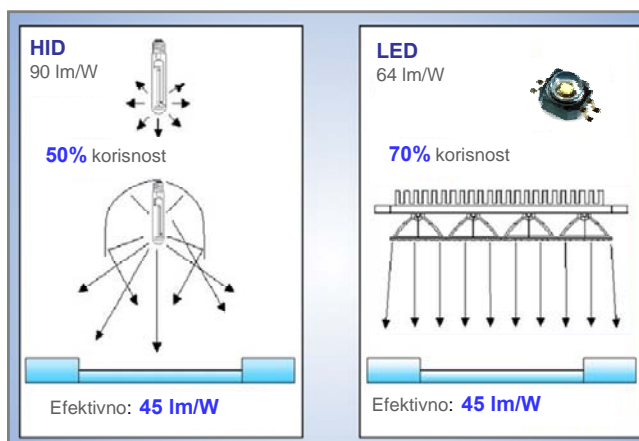
Na osnovu prethodno navedenih vrednosti prilaže se tabela 2 koja daje tipičnu svetlosnu iskoristivost jednog sistema sa LED izvorima (za konkretan tip dat žutom bojom – 64 lm/W).

**Tabela 2. Svetlosna iskoristivost LED sistema**

TIP	BIN	Struja	Tj = 25°C pojedinačna LED			Tj = 70°C pojedinačna LED			Efikasnost napajanja (90%)			Optika i protektor (efikasnost 80%)		
			Fluks (lm)	Snaga (W)	lm/W	Fluks (lm)	Snaga (W)	lm/W	Fluks (lm)	Snaga (W)	lm/W	Fluks (lm)	Snaga (W)	lm/W
XP-E @350 mA	107lm @350 mA	350 mA	107	1,12	96	95,7	1,07	89	95,7	1,2	80,1	76,6	1,2	64
		700 mA	186	2,38	78	166,4	2,28	73	166,4	2,5	65,7	133,1	2,5	53
XP-E @350 mA	114lm @350 mA	350 mA	114	1,12	102	102	1,07	95	102,0	1,2	85,5	81,6	1,2	69
		700 mA	198	2,38	83	177	2,28	78	177,0	2,5	70,2	141,6	2,5	56
XP-E @350 mA	122lm @350 mA	350 mA	122	1,12	109	109	1,07	102	109,1	1,2	91,8	87,3	1,2	73
		700 mA	212	2,38	89	190	2,28	83	189,7	2,5	74,7	151,8	2,5	60

Pošto se u instalacijama javnog osvetljenja najčešće susreću svetiljke sa natrijumovim izvorima visokog pritiska, poređenje efikasnosti ( svetlosne iskoristivosti) će se vršiti sa tim izvorima. Svetlosna iskoristivost jednog kvalitetnog izvora ( tip NAV-T, proizvođač OSRAM) iznosi 94 lm/W za izvor snage 70W i 132 lm/W za izvor snage 250W. Pretpostavimo da je za stabilizaciju rada svetlosnog izvora korišćen elektromagnetni balast (još uvek dominantan u JO) i da je prosečna efikasnost jednog kvalitetnog uređaja preko 85%. Uzimajući da je optička efikasnost (stepen iskorišćenja) jednog kvalitetnog sistema preko 82% (reflektor + protektor), može se uzeti da je približna svetlosna iskoristivost jednog natrijumovog izvora oko 90 lm/W.

Efikasnost jedne svetiljke koja se koristi za osvetljavanje saobraćajnica zavisi od stepena iskorišćenja (optičke efikasnosti), svetlosne iskoristivosti izvora i veličine onog dela svetlosnog fluksa svetiljke koji je usmeren prema kolovozu [4]. Može se uzeti da je prosečna efikasnost jedne kvalitetne svetiljke sa natrijumovim izvorom približno 45% [4]. Ukoliko se za LED sistem uzme da je efikasnost 70% (mnogo bolja kontrola svetla, zbog prirode LED izvora svetlost se izračuje samo u donji poluprostor), ima se sledeći slučaj (Slika 3).



**Slika 3. Poređenje efikasnosti sistema sa LED i natrijumovim izvorima**

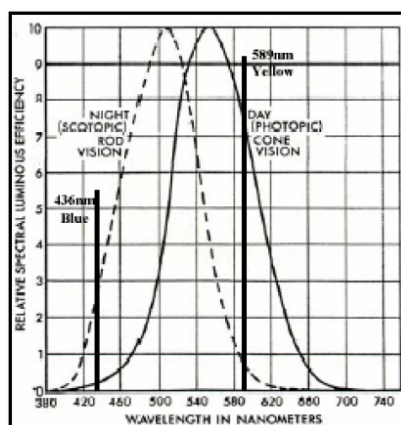
**Iako prethodna analiza nije u potpunosti precizna (izvršene su i određene pretpostavke i aproksimacije), može se sa sigurnošću reći da LED izvori nisu osetno efikasniji od natrijumovih izvora visokog pritiska!**

Ukoliko i jesu efikasniji, ta razlika je toliko mala da se ne mogu ostvariti zamene svetiljki sa natrijumovim izvorima LED svetiljkama višestruko manje snage, a pogotovo se ne mogu ostvariti tako velike uštede (i do 80%) električne energije. Ovo praktično znači da, ukoliko se žele zadržati isti fotometrijski uslovi na određenoj saobraćajnici (ista svetlotehnička klasa - nivo sjajnosti, opšta i podužna ravnomernost i prag fiziološkog blještanja TI u skladu sa relevantnim međunarodnim preporukama), zamena se može izvršiti samo u odnosu 1:1!

Poslednjih godina je prisutan trend smanjivanja nivoa osvetljenosti saobraćajnica (izbora nižih svetlotehničkih klasa u odnosu na one koje su bile uobičajene u projektantskoj praksi), pa bi u skladu sa novim zahtevima LED izvori mogli biti adekvatno rešenje - umesto fiksiranih vrednosti za natrijumove izvore visokog pritiska (70, 100, 150, 250 i 400W), sa LED izvorima se mogu kreirati svetiljke željenih snaga u zavisnosti od broja pojedinačnih čipova. Ovo se posebno odnosi na urbano osvetljenje, ali i javno osvetljenje saobraćajnica manjeg značaja (klasa M3 i niže klase).

## 2. VIZUELNA EFIKASNOST LED IPAK VEĆA OD NATRIJUMA?

Ono što bi svakako mogla biti prednost su značajno bolje vizuelne performanse LED izvora u odnosu na natrijumove izvore visokog pritiska. Zbog prirode svetla koje daje LED izvor (bela boja, veći udeo plave komponente boje), moguće je da se sa manje lumena postigne veća "vizuelna efikasnost" u zoni mezopskog viđenja. Kako je to moguće? *Mezopska zona* (zona sumraka –  $0.001 \text{ cd/m}^2 < L < 3 \text{ cd/m}^2$ ) nalazi se između fotopske (sjajnost preko  $3 \text{ cd/m}^2$  – aktivni samo čepići, moguće samo centralno viđenje u pravcu ose oka) i skotopske zone (sjajnost ispod  $0.001 \text{ cd/m}^2$  – aktivni samo štapići, perifernijsko viđenje, osetljivost oka na levi kraj spektra (plava svetlost) se višestruko povećava). Zapravo, u mezopskoj zoni su aktivni i

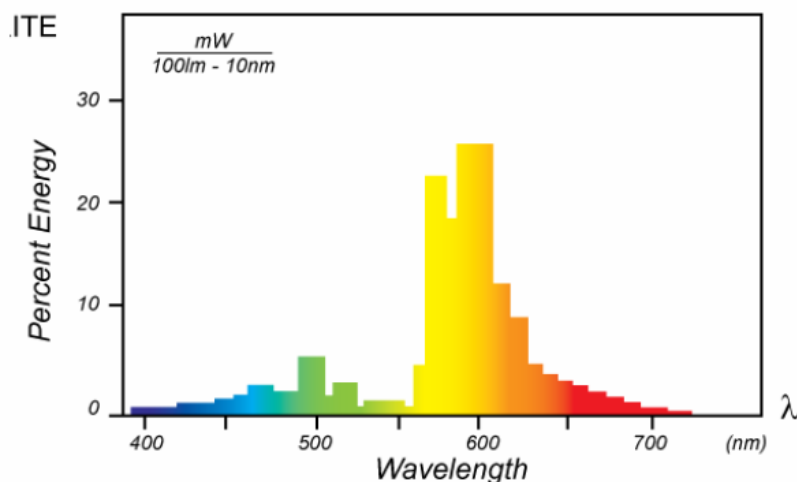


Slika 4. Krive spektralne osetljivosti ljudskog oka za fotopsko i skotopsko viđenje

čepići i štapići, i u zavisnosti od nivoa sjajnosti i tipa izvora (njegove dominantne boje) spektralna osetljivost oka se menja. Ovaj fenomen je značajan jer se upravo preporučeni nivoi

sjajnosti za osvetljenje saobraćajnica nalaze u mezopskom opsegu. Spektralna kriva reakcije oka nije konstantna kroz mezopsku zonu (jeste kroz fotopsku i skotopsku zonu), pa se spektralne mezopske krive moraju odrediti za različite nivoe sjajnosti u mezopskoj zoni. Sva fotometrijske veličine su zasnovane upravo na fotopskim ("normalnim") lumenima. Dobar deo istraživanja u okviru teorije mezopskog viđenja posvećen je razvoju koncepta "ekvivalentnih lumena", koji nudi bolju procenu količine svetlosti koju neki izvor svetlosti proizvodi pri mezopskim uslovima. Kao što se i očekivalo, ti ekvivalentni lumeni značajno su se razlikovali od fotopskih lumena.

Primeru radi, Ian Lewin ("Lamp color in Outdoor lighting design", 2000.) je uporedio noćno viđenje pod osvetljenjem dobijenim korišćenjem natrijumovih izvora visokog pritiska sa vožnjom u kojoj vozač gleda kroz vertikalni prerez dužine 1.25m, praktično bez perifernog viđenja (ovo je nastavak istraživanja koje je Marc Rea sproveo 1995.). Lewin je pokazao da su pri niskim (mezopskim) nivoima sjajnosti vizuelna osetljivost i vreme reakcije vozača značajno gori pod natrijumovim nego pod nekim plavim svetlom, i upravo zato je predložio da se izvrše određena korekcije množenjem sa LEM-ovima (LEM predstavlja odnos vizuelne efikasnosti dve spektralne raspodele, tj. *vizuelna efikasnost izvora svetlosti / vizuelna efikasnost natrijumovog izvora svetlosti*) ne bi li se pokazala stvarna efikasnost svetlosnog izvora u zavisnosti od njegove boje i primene. Lewinov rad je predstavljao prekretnicu u izučavanju mezopskog viđenja.



Slika 5. Spektralna raspodela natrijumovog izvora visokog pritiska

Sa slike 5 se može videti da je natrijumov spektralni zračenje takav da se ne poklapa sa krivama spektralne osetljivosti ljudskog oka. Maksimum na skotopskoj spektralnoj krivi na slici 4 je za talasnu dužinu od 500nm, dok se za talasnu dužinu od 575nm ima samo 20% maksimalne vrednosti relativne spektralne iskoristivosti. Imajući u vidu da je gotovo sva svetlost koju natrijumov izvor izrači većih talasnih dužina od 575nm, to znači da je natrijum visokog pritiska 5 puta manje efikasan od nekog izvora sa dominantnim talasnim dužinama u plavom delu spektra. Ne postoji puno informacija u stručnoj literaturi o primeni metode LEM-ova na LED izvore. Najvrednije što se moglo naći su tabelarne vrednosti do kojih je došao Ian Lewin (tvorac LEM koncepta) je vrednost LEM-a (Lumen Effectiveness Multiplier) za nivo sjajnosti od 0.1

## OSVETLJENJE 2010.

Effectiveness of Sources, normalized to HPS		
Source	Color Temp.°(K)	LEM*
Metal Halide	4,000	7.8
LED	3,900	7
Incandescent	2,900	2.7
High Pressure Sodium	2,200	1 (ref. level)
Low Pressure Sodium	1,800	0.53

\*Lumen Effectiveness Multiplier for Mesopic response equivalent to HPS, all at 0.1 cd/m<sup>2</sup>

cd/m<sup>2</sup> u mezopskoj zoni koja je iznosila 7 za LED izvor temperature boje 3900K. To znači da je LED izvor 7 puta efikasniji od odgovarajućeg natrijumovog izvora temperature boje 2200K! Ovo treba uzeti sa rezervom i pritom se ne sme zaboraviti da kriterijum mezopskog viđenja još uvek nije ubačen niti u jedan međunarodni standard za osvetljenje.

Još jedan metod da se odredi stvarna efikasnost LED izvora je odnos skotopskih i fotopskih lumena "S/P" i zasnovan je na "jedininstvenom fotometrijskom sistemu" (Unified system of Photometry, Rea 2004.) koji integriše fotopske i skotopske efikasnosti u cilju kreiranja jednog jedininstvenog sistema koji se može primeniti za sve nivoe sjajnosti u mezopskoj zoni. Sistem je jednostavan i sastoji se od sledećih koraka [5]:

- 1) izbor odgovarajućeg nivoa sjajnosti u skladu sa odgovarajućim preporukama
- 2) izabrati odgovarajući izvor koji će dati željeni nivo sjajnosti. Svaki od ovih izvora karakteriše određeni S/P odnos koji je dat tabelarno (Tabela 3)
- 3) Na osnovu preseka vrednosti S/P i odabranog nivoa sjajnosti (Tabela 4) određuje se referentna vrednost sjajnosti (konkretno, za natrijumov izvor visokog pritiska snage 400W ona iznosi 0.0747 cd/m<sup>2</sup>, odnos S/P = 0.66). Na osnovu ove vrednosti, odrediti vrednosti fotopske sjajnosti za željeni (LED) izvor) koja se dobija na osnovu preseka vrednosti S/P (2.04 ili najbliža vrednost, konkretno 2.05) i vrednosti najbliže referentnoj vrednosti sjajnosti (konkretno, 0.0711 cd/m<sup>2</sup>)

**Tabela 3**

Low pressure sodium	0.25
High pressure sodium (HPS) 250 W clear	0.63
HPS 400 W clear	0.66
HPS 400 W coated	0.66
Mercury vapor (MV) 175 W coated	1.08
MV 400 W clear	1.33
Incandescent	1.36
Halogen headlamp	1.43
Fluorescent Cool White	1.48
Metal halide (MH) 400 W coated	1.49
MH 175 W clear	1.51
MH 400 W clear	1.57
MH headlamp	1.61
Fluorescent 5000 K	1.97
White LED <sup>1</sup> 4300 K	2.04
Fluorescent 6500 K	2.19

**Tabela 4.**

S/P	Base light level (photopic luminance (cd/m <sup>2</sup> ))											
	0.001	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12
0.25	0.0003	0.0026	0.0054	0.0084	0.0115	0.0149	0.0185	0.0223	0.0264	0.0308	0.0355	0.0457
0.35	0.0004	0.0036	0.0075	0.0115	0.0158	0.0203	0.0250	0.0300	0.0353	0.0408	0.0467	0.0591
0.45	0.0005	0.0047	0.0095	0.0146	0.0199	0.0255	0.0313	0.0373	0.0436	0.0501	0.0568	0.0711
0.55	0.0006	0.0057	0.0115	0.0176	0.0239	0.0304	0.0371	0.0441	0.0512	0.0586	0.0661	0.0818
0.65	0.0007	0.0067	0.0135	0.0205	0.0278	0.0351	0.0427	0.0505	0.0584	0.0665	0.0747	0.0917
0.75	0.0008	0.0076	0.0154	0.0234	0.0315	0.0397	0.0480	0.0565	0.0651	0.0739	0.0827	0.1007
0.85	0.0009	0.0086	0.0174	0.0262	0.0351	0.0441	0.0532	0.0623	0.0716	0.0809	0.0902	0.1092
0.95	0.0010	0.0096	0.0192	0.0289	0.0386	0.0483	0.0581	0.0678	0.0776	0.0874	0.0973	0.1170
1.05	0.0011	0.0106	0.0211	0.0316	0.0420	0.0524	0.0628	0.0731	0.0834	0.0937	0.1040	0.1244
1.15	0.0012	0.0115	0.0229	0.0342	0.0453	0.0564	0.0674	0.0782	0.0890	0.0997	0.1104	0.1315
1.25	0.0013	0.0125	0.0247	0.0367	0.0486	0.0602	0.0717	0.0831	0.0943	0.1054	0.1164	0.1380
1.35	0.0014	0.0134	0.0265	0.0392	0.0517	0.0640	0.0760	0.0878	0.0994	0.1109	0.1222	0.1444
1.45	0.0015	0.0144	0.0282	0.0417	0.0548	0.0676	0.0801	0.0923	0.1043	0.1161	0.1277	0.1504
1.55	0.0016	0.0153	0.0300	0.0441	0.0578	0.0711	0.0841	0.0967	0.1091	0.1212	0.1330	0.1561
1.65	0.0017	0.0162	0.0317	0.0465	0.0607	0.0745	0.0879	0.1009	0.1136	0.1260	0.1381	0.1616
1.75	0.0018	0.0171	0.0333	0.0488	0.0636	0.0779	0.0917	0.1050	0.1180	0.1307	0.1430	0.1669
1.85	0.0019	0.0180	0.0350	0.0511	0.0664	0.0812	0.0953	0.1090	0.1223	0.1352	0.1478	0.1720
1.95	0.0020	0.0189	0.0366	0.0533	0.0692	0.0843	0.0989	0.1129	0.1265	0.1396	0.1524	0.1769
2.05	0.0021	0.0198	0.0383	0.0555	0.0719	0.0875	0.1024	0.1167	0.1305	0.1439	0.1568	0.1817

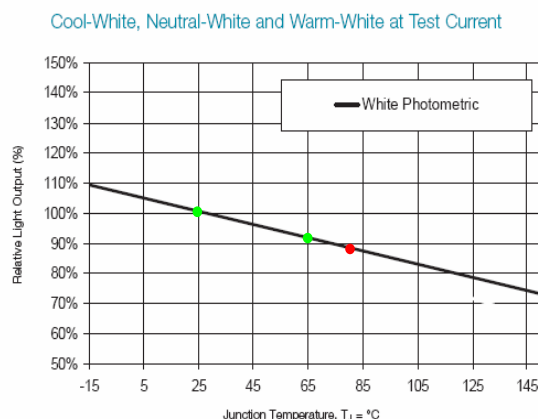
Za ovaj konkretan slučaj dobija se da će korišćenjem LED izvora biti potrebna **2.4 puta manja** fotopska sjajnost od one koja se ima sa natrijumovim izvorom za isti nivo referentne jedininstvene sjajnosti! Međunarodna komisija za osvetljenje CIE priprema nacrt standarda CIE TC 1/58 draft " Visual Performance in Mesopic range" koji će se više baviti problemom mezopskog viđenja.

Uvažavajući oba metoda, ali pritom imajući u vidu da nema mnogo praktičnog iskustva u ovoj oblasti (koncept LEM-a i metod jedinstvenog fotometrijskog sistema), može se zaključiti da se na osnovu ovih metoda ne može sa sigurnošću reći koji je izvor efikasniji. Da bi se tako nešto moglo reći, mora se pažljivo proučiti konkretna situacija i oblast primene izvora, ali i uvrstiti kriterijume kao što su održavanje, dimovanje ili indeks reprodukcije boje.

### 3. PAD EFIKASNOSTI SA POVEĆANJEM STRUJE

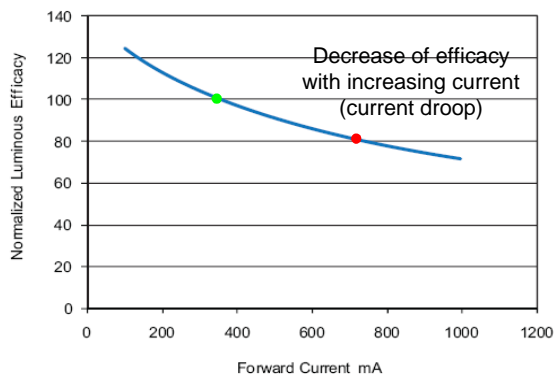
Poznato je da efikasnost najkvalitetnijih LED izvora na tržištu ide i do 130 lm/W (Cree, Nichia), ali i da te vrednosti važe za temperaturu PN spoja od 25°C i struju od 350mA koja prolazi kroz diodu. Međutim, sa povećanjem struje kroz diodu, dolazi do pada efikasnosti, tj. tzv. "droop" fenomena. Iz tog razloga treba biti veoma oprezan kada se na tržištu nude svetiljke sa LED čipovima većih snaga (3W ili 5W, oprema koja najčešće stiže iz Kine). Najpre treba proveriti da li ove svetiljke rade sa strujama većim od 350 mA (najčešće 500, 700, 1000 ili 1500mA) ili koriste čipove koji su predviđeni za nominalnu snagu veću od 1.1W (npr. novi LED izvor XP-G kompanije Cree ima površinu čipa 2mm<sup>2</sup> umesto dosadašnjih 1 mm<sup>2</sup> (XP-E), što mu omogućava da bez osetnijeg pada efikasnosti radi sa strujama i do 1500mA). Ukoliko se povećanje snage postiže isključivo povećanjem struje koja protiče kroz diodu, desiće se ono što je plastično prikazano u sledećem primeru:

Ukoliko imamo svetiljku sa 50 LED toplo bele boje koje imaju efikasnost od 75 lm/W za temperaturu PN spoja od 25°C i struju od 350mA koja prolazi kroz diodu, za realnu temperaturu PN spoja od 65°C svetlosni fluks opada za 8%, a efikasnost opada na **69 lm/W** (Slika 6).



Slika 6. Zavisnost fluksa od temperature PN spoja

Ukoliko se, npr., u istoj svetiljci nalazi 30 dioda (otpor svetiljke se ne menja) toplo bele boje koje imaju istu efikasnost (75 lm/W) i kroz koje protiče struja od 700mA, temperatura PN spoja biće 80°C, a svetlosna iskoristivost izvora će opasti za 12% (Slika 6) i iznosiće 66 lm/W. Prema slici 7, svetlosna iskoristivost izvora će opasti za 18% za struju od 700mA, pa će konačna svetlosna iskoristivost biti **54 lm/W**.

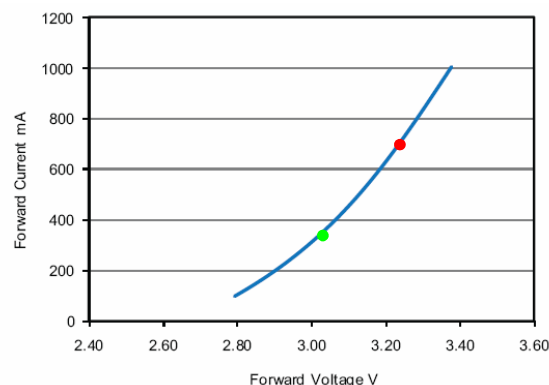


Slika 7. Zavisnost Efikasnost – Struja

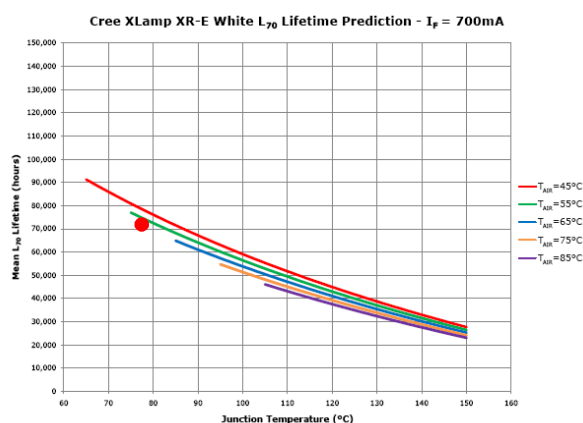
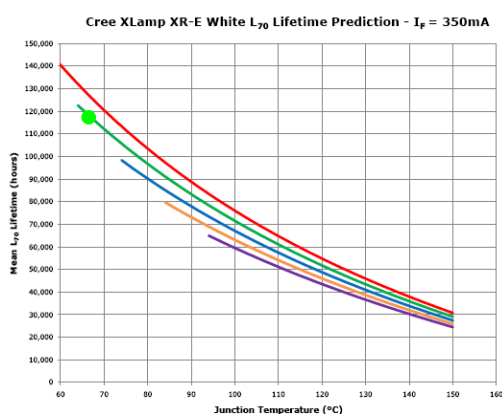


Na osnovu gore definisanih vrednosti sa Slike 8 određuje se radni napon LED izvora za oba slučaja:

- 1) u prvom slučaju on iznosi 3.05V, pa je snaga svetiljke  $50 \times 3.03V \times 0.35A = 53W$ , za koju se ima fluks od  $53W \times 69 \text{ lm/W} = 3657 \text{ lm}$
- 2) u drugom slučaju on iznosi 3.24V, pa je snaga svetiljke  $30 \times 3.25V \times 0.7A = 68W$ , za koju se ima fluks od  $68W \times 54 \text{ lm/W} = 3672 \text{ lm}$ .



Slika 8. Zavisnost Struja - Napon



Slika 9. Životni vek izvora u zavisnosti od temperature PN spoja za različite vrednosti struje

U prvom slučaju se sa slike 9 koja prikazuje zavisnost životnog veka od temperature PN spoja određuje životni vek od 110000h, a u drugom od 70000h. Jasno se može videti da se povećanjem struje (a posledično i snage) ništa nije dobilo jer je fluks ostao gotovo nepromenjen za veću snagu, a životni vek sa smanjio za preko 35%! Može se zaključiti da ne postoje razlozi da se ne primenjuju veće struje/veće snage ukoliko se obezbedi kvalitetan termalni menadžment. Naravno, ovo posledično vodi smanjenju efikasnosti i životnog veka, samo je pitanje odluke proizvođača i njegove strategijske procene da li korist potire ili premašuje očekivanu štetu – veće struje više nisu mit!

#### 4. ŽIVOTNI VEK DRAJVERA

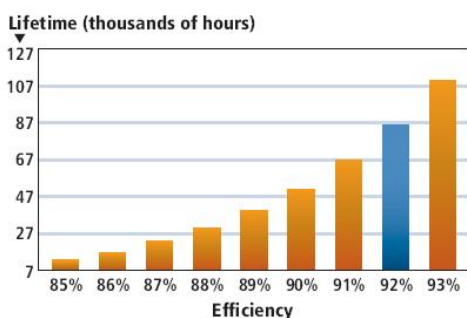
Kada se govori o LED svetiljkama, uglavnom se razmatra životni vek samih dioda. Ovaj rad se neće baviti ovom problematikom, jer je o njoj dosta već rečeno. Posle mnogo lutanja, došlo se do definicije je da je to period od 50000h za koji fluks padne na 70% svoje inicijalne vrednosti. Ovaj period je definisan za određenu temperaturu ambijenta (obično 35°C) i radnu struju diode (najčešće 350 mA). Zahvaljujući dobrom termalnom menadžmentu (najveći uticaj na životni

vek LED izvora ima temperatura PN spoja), neki proizvođači daju u tehničkim opisima svojih svetiljki i životni vek od 60000h za koji svetlosni fluks padne na 80% svoje inicijalne vrednosti. Postavlja se pitanje da li su LED čipovi najslabija karika u LED sistemu, ili se može očekivati da elektronski drajveri imaju kraći životni vek? Svi elektronski uređaji zasnovani na prekidačkoj tehnologiji (SwitchModePowerSupply) uglavnom imaju životni vek od 20000h, a većina proizvođača na njih daje garanciju ne dužu od 2 do 3 godine. Važno je znati sledeće: **drajveri će imati onoliki životni vek koliko je to potrebno, a jedini ograničavajući faktor biće njihova cena.** Postoje dva različita koncepta koja se često mešaju, a to su životni vek i pouzdanost rada drajvera. Životni vek se odnosi na vremenski period u kome korisnik može da očekuje da drajver pravilno radi pre nego što postane neupotrebljiv, a pouzdanost rada se bavi predviđanjem stope pregorevanja grupe ovih uređaja i može biti izražena kao kvar u vremenu (FIT – Failure In Time) ili kao srednje vreme između kvarova (MTBF – Mean Time Between Failure). Kada se kaže da je životni vek 50000h, to znači da se očekuje da određeni proizvod (drajver) traje 50000h pre kvara, a MTBF od 50000h znači da se u količini od 1000 drajvera desi kvar na svakih 50h (ukupno radno vreme (u satima) grupe drajvera podeljeno sa brojem kvarova). Oba koncepta su važna i svaki ima svoju primenu u radu sa drajverima. Najkritičniji element u jednom drajveru je (kao i kod elektronskih balasta za stabilizaciju rada konvencionalnih izvora) elektrolitički kondenzator. Elektrolit će vremenom isparavati kao funkcija radne temperature kondenzatora koja je opet funkcija temperature kućišta i struje kondenzatora. Tipičan životni vek elektrolitičkog kondenzatora dat je jednačinom:

$$L_x = k \cdot L_0 \cdot 2^{\frac{T_s - T_a}{10}}$$

gde je:  $L_x$  – životni vek,  $k$  – faktor koji određuje efektivna vrednost valovite struje kondenzatora i radnog napona; može biti broj ili funkcija,  $L_0$  – životni vek meren u standardnim uslovima dat u specifikaciji proizvođača,  $T_s$  – nominalna temperatura kućišta i  $T_a$  – radna temperatura kućišta.

Najpre treba izabrati kvalitetan kondenzator dugog životnog veka i održavati njegovu struju i napon u nominalnim granicama. Sledeći zadatak za dizajnera je da smanji temperaturu kućišta drajvera (na osnovu gornje jednačine se vidi da svako smanjenje temperature za 10°C udvostručava životni vek drajvera). Temperatura kondenzatora je u tom slučaju funkcija radnog okruženja drajvera, sposobnost drajvera da provodi ili prenosi (konvekcija) toplotu u okruženje i količina disipirane snage u samom drajveru. Za dati dizajn kućišta i primenu, glavni razlog za

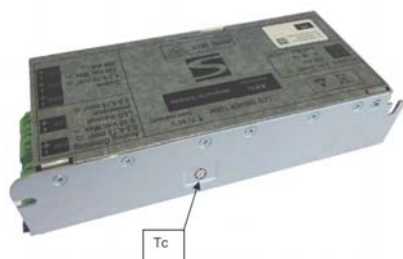


Slika 10. Životni vek 150W drajvera u funkciji efikasnosti

povećanje temperature biće disipirana snaga koja je funkcija efikasnosti drajvera – drugim rečima, visoka efikasnost i mala termička otpornost mogu značajno povećati životni vek drajvera. Efikasnost drajvera ima znatno veći uticaj nego što se obično misli - smanjenje efikasnosti za 10% (sa 95 na 85%) povećava disipiranu toplotu sa faktorom 3.3! Drajveri sa različitim efikasnostima imaju različite radne temperature kućišta, a posledično i različit životni vek – na Slici 10 dat je primer zavisnosti životnog veka od efikasnosti 150W drajvera na temperaturi ambijenta od 45°C (životni vek 87000h, što je bolje od većine drajvera na tržištu).

Pouzdanost rada poluprovodnika u električnom kolu drajvera obično zavisi od radne temperature PN spoja. Izbor kvalitetnih komponenti doprinosi pouzdanosti rada uređaja (naponske varijacije manje od 20% za elektrolitičke kondenzatore i 10% za poluprovodnike). Termički dizajn i efikasnost imaju velikog uticaja na rad MOSFET-a, integrisanih kola (IC) i optokaplera (opto-coupler ili optički izolator). I poslednje, za pouzdanost rada drajvera neophodno je eliminisati rane kvarove (pregorevanja) drajvera - za proizvođača je izazov da oni drajveri za koje je procenjeno da će rano pregoreti nikada ne napuste fabriku.

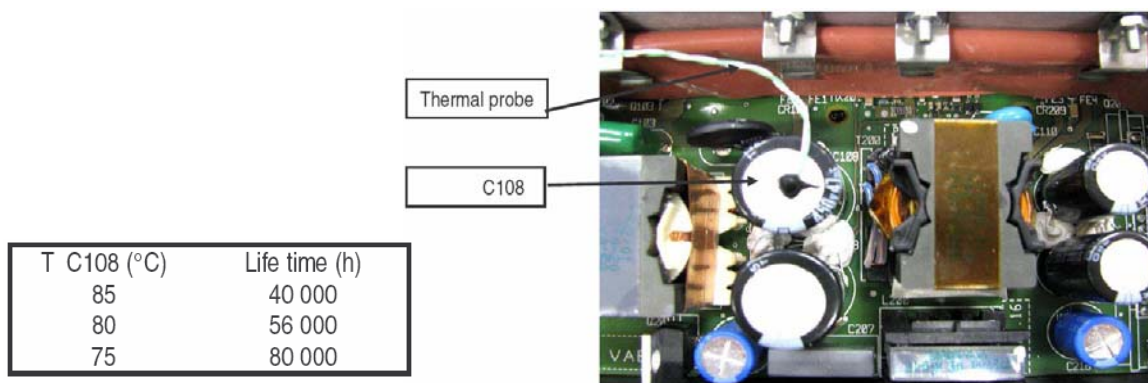
Ukoliko se desi da temperatura pređe maksimalno dozvoljenu, moderni ("inteligentni") drajveri su opremljeni termoprekidačima (temperaturnim sensorima na štampanoj ploči sa LED izvorima) koji obaraju struju na 30% vrednosti sve dok se uređaj dovoljno ne ohladi ili nestane uzrok pregrevanja. Na ovaj način se uređaj čuva i produžava mu se životni vek. Jedan primer drajvera (Harmer&Simmons) je dat na sledećoj slici. Temperatura kućišta u naznačenoj tački Tc ne sme preći vrednost od 85°C, a životni vek drajvera je zavistan od temperature komponenti (npr. temperatura na kondenzatoru C108 se direktno meri u cilju boljeg predviđanja životnog veka drajvera).



Slika 11. Merna tačka Tc na kućištu

Tc (°C)	Life time (h)
70	28 000
65	40 000
60	56 000

Slika 12. Životni vek drajvera u zavisnosti od Tc



Slika 13. Životni vek drajvera u zavisnosti od temperature na kondenzatoru C108 (položaj u drajveru)

I na kraju, važno je napomenuti da maksimalna temperatura ambijenta ne sme preći 50°C.

## 5. NAJNOVIJE VESTI

ANSES, francuska agencija za hranu i bezbednost (French Agency for Food, Environmental and Occupational Safety (<http://www.afssa.fr/index.htm>)), je izdala 25.10.2010. kritičan izveštaj o efektima koje LED izvori imaju na zdravlje ljudi "**Lighting systems using LEDs: health issues to be considered**".

ANSES identifikuje rizike vezane za korišćenje određenih tipova LED lampi koje mogu izazvati zdravstvene probleme kod stanovništva i profesionalaca u LED industriji. Problemi identifikovani od Agencije tiču se pre svega očiju zbog toksičnog efekta plavog svetla ("*Osnovne karakteristike ovih tipova LED su veliki udeo plave boje u emitovanom belom svetlu i veoma visoka sjajnost. Plavo svetlo koje je neizbežna komponenta spektra LED izvora bele svetlosti ima toksično dejstvo na mrežnjaču. Deca su posebno podložna ovom štetnom uticaju jer se njihova sočiva još uvek razvijaju i nisu u mogućnosti da efikasno filtriraju svetlo.*") i blještanja ("*Ovi novi sistemi osvetljenja mogu proizvesti svetlost intenziteta 1000 puta većeg od tradicionalnih sistema, tako stvarajući rizik od blještanja. Strogo usmereno svetlo koje oni proizvode kao i njegov kvalitet, takođe mogu izazvati vizuelnu nelagodnost*").

ANSES je izdao sledeće preporuke:

- "*ANSES predlaže da samo oni LED izvori koji pripadaju istroj rizičnoj grupi kao i tradicionalni izvori svetlosti budu dostupni u javnom osvetljenju, dok sistemi većeg rizika treba da budu rezervisani za profesionalnu upotrebu pod uslovima u kojima je moguće garantovati sigurnost radnika.*
- *Dalje, ANSES naglašava potrebu da se smanji svetlosni intenzitet u cilju smanjenja rizika od blještanja.*
- *Agencija takođe predlaže izbegavanje upotrebe izvora sa jakom udelom plavog svetla na mestima na kojima ima puno dece.*
- *Poslednje, ANSES je dala razne preporuke koje se tiču informacija ka korisnicima, izmene i implementacije standarda koji su na snazi, kao i potrebe za daljim istraživanjem zdravstvenih problema koji se mogu javiti usled upotrebe veštačkog svetla.*"

Detaljan ANSES izveštaj (310 strana na francuskom, 7MB) je moguće videti na: <http://www.afssa.fr/Documents/AP2008sa0408.pdf>.

ANSES web stranica o LED izveštaju:

<http://www.afsset.fr/index.php?pageid=2248&parentid=523>.

Vest se već pojavila u francuskoj i belgijskoj štampi, kao npr.:

<http://www.lesoir.be/actualite/sciences/2010-10-25/des-eclairages-led-presentent-un-risque-pour-les-yeux-800180.php>

[http://www.lemonde.fr/planete/article/2010/10/25/certains-eclairages-a-led-presentent-un-risque-pour-les-yeux\\_1431149\\_3244.html](http://www.lemonde.fr/planete/article/2010/10/25/certains-eclairages-a-led-presentent-un-risque-pour-les-yeux_1431149_3244.html)

**OSVETLJENJE 2010.**

<http://www.lefigaro.fr/sante/2010/10/25/01004-20101025ARTFIG00660-des-ampoules-a-led-dangereuses-pour-les-yeux.php>

<http://www.rtf.be/info/societe/sante/des-eclairages-a-led-presentent-un-risque-pour-les-yeux>

<http://sante-medecine.commentcamarche.net/news/111653-les-lampes-a-led-pourraient-etre-dangereuses-pour-la-vue>

<http://www.led-fr.net/led-danger-oeil-retine-201010251020.htm>

<http://www.24hsante.com/lampes-a-led-attention-aux-enfants>

Tema je takođe predstavljena na francuskoj nacionalnoj televiziji France 2 :

<http://info.france2.fr/sante/des-led-presenteraient-des-risques-pour-les-yeux-65564545.html>

Napominje sa da ELC (European Lamp Companies Federation) priprema izjavu i, ukoliko se napravi dogovor sa CELMA, ELC Izjava će biti transformisana u zajedničku ELC/CELMA Izjavu.

Napominje sa takođe da će EU SCHENIR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) će izdati svoje mišljenje o efektima koje na zdravlje imaju svi veštački izvori svetlosti (uključujući LED) u Martu 2011.

---

Ovo je još jedna potvrda činjenice da LED tehnologija još uvek nije dostigla tehnološki nivo najzastupljenijih konvencionalnih izvora (posebno u javnom osvetljenju), kao i da novim trendovima treba pristupati oprezno, bez preterane euforije ali sa posebnom pažnjom koju ovi moderni i inspirativni izvori zaslužuju. Treba sačekati da LED priča prođe kroz sve dečije bolesti (npr. sačekati i izveštaj i mišljenje koje će sva gore pomenuta tela i komisije podneti), a zatim se i prepustiti revoluciji koja će zasigurno promeniti (i već menja) svet osvetljenja.

## LITERATURA

1. [www.cree.com](http://www.cree.com), "Cree® XLamp® XP-E LEDs Data Sheet"
2. [www.cree.com](http://www.cree.com), "Cree® XLamp® XP-G LEDs Data Sheet"
3. George Mao, Marshall Miles "LED driver lifetime and reliability hold the key to success in LED lighting projects", LEDs Magazine, September/October 2010,
4. Prof. Dr. Miomir B.Kostić, "Vodič kroz svet tehnike osvetljenja", Beograd, 2000.
5. [www.lrc.rpi.edu](http://www.lrc.rpi.edu), "Outdoor Lighting: Visual Efficacy", Volume 6, Issue 2, Lighting Research Center, January 2009.
6. Prof. Dr. Miomir B.Kostić, "Osvetljenje puteva", Beograd, 2006.
7. Keppens A., Ryckaert W.R., Deconinck G., Hanselaer P., "Evaluation of current and temperature effects on high power light-emitting diode efficiencies", 2010.
8. Andrej Đuretić, " "Solid state" osvetljenje – novi trendovi u tehnologiji osvetljenja", DOS, Savetovanje 2007.
9. AEG Power Solutions, "User Guide – H&S driver", Septembar 2010.
10. [www.philipslumileds.com](http://www.philipslumileds.com), "White Paper: Street Lighting; LEDs: Coming soon to a street near you"
11. Ian Lewin, "Lumen Effectiveness Multipliers for Outdoor Lighting Design", IES Paper no. 50, 2000.
12. <http://www.celma.org>