

## **UŠTEDE ENERGIJE SA ENERGETSKI EFIKASNIM LED SIJALICAMA I LED OSVETLJENJEM OBJEKATA ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE**

M. Zorboski, Razvojno-istraživački centar „ALFATEC“ d.o.o. Niš, R. Srbija

A. Janjić, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu, R. Srbija

N. Floranović, Razvojno-istraživački centar „ALFATEC“ d.o.o. Niš, R. Srbija

### **KRATAK SADRŽAJ**

Direktive Evropske Unije **EN12464** nalažu realizaciju uštede kroz energetska efikasnost od 9% energije u periodu od 2008. do 2016. godine, a 20% do 2020. godine. Nedostatak energije je evidentan širom sveta, a električna energija, koje ima sve manje u odnosu na povećanje potrošnje, je sve skuplja. To je uslovalo da svi smanjuju račune za električnu energiju smanjenjem njene potrošnje. Rešenja za to ima više kroz primenu energetske efikasnosti, a najefikasnija je zamena postojećeg osvetljenja sa LED osvetljenjem. Sadašnje osvetljenje karakterišu sijalice koje veći deo električne energije pretvaraju u toplotu (od 60% do 95%), a 5% do 40% u svetlost. Osvetljenje sa LED sijalicama mali deo električne energije pretvara u toplotu (od 10% do 30%) a 70% do 90% u svetlost. Zato primena LED sijalica i osvetljenja predstavlja veliku uštedu električne energije i rešenje za veliku energetska efikasnost.

**Ključne reči :** LED, LED svetiljke, energetska efikasnost, directive Evropske Unije, ušteda energije.

### **SUMMARY**

European Union directive **EN12464** requires the implementation of cost savings through energy efficiency, that means energy savings from 9% in the period to 2016 year, and 20% to 2020 year. Lack of energy is evident throughout the world, and electricity spending has the biggest increase, also today is electricity more expensive than ever. This prompted everyone to reduce energy bills by reducing of electricity consumption. Solutions to more energy efficiency are through the lot of applications, but one of them is the replacement of existing lightings with LED lighting. The current light bulbs much of the electricity they convert into heat (from 80% to 95%), and only 5% to 20% into light. Lighting with LED bulbs and LED lights, the small part of the electrical energy convert into heat (from 5% to 15%), and 85% to 95% into light. Therefore, the application of LED bulbs and LED lightings is a major solution of energy savings, also it is the solution to high energy efficiency.

**Key words :** LED, LED bulbs & lights, Energy Efficiency, European Union directives, energy saving.

## UVOD

Osvetljenje ulica, zgrada i značajnih objekata su najveći potrošači električne energije po svim objektima elektrodistributivne mreže. Sa porastom potrošnje električne energije naglo raste potrošnja i sagorevanje fosilnih goriva, kao i porast emisije štetnih gasova u atmosferu sa zagadjenjem naše životne sredine. Sve više raste pojava smoga i kiselih kiša ne samo u urbanim sredinama već i u prirodi i po njivama sa našom hranom. Nema preciznih podataka, ali je veoma verovatno da preko 40% električne energije ide za osvetljenje, što je veoma uočljivo na satelitskim snimcima Zemlje.

## VEŠTAČKI IZVORI SVETLA ZA OSVETLJAVANJE OBJEKATA ELEKTRODISTRIBUCIJE

Veštački izvori svetla za osvetljavanje izrađuju se od raznih materijala svetlosnih vlakana, sa raznim gasovima punjenja, sa raznim pritiscima unutar stakla ili čak od poluprovodničkih dioda, a svi izvori su sa veoma različitom potrošnjom električne energije i jačinom svetla, a i smanjenjem CO<sub>2</sub> godišnje.

Područje osvetljavanja	Uštede energije		CO <sub>2</sub> uštede po sijalici po godini
Ulično osvetljenje	SHP	57%	LED 109 kg CO <sub>2</sub>
Osvetljenje prodavnica	halogena	80%	ksenon 115 kg CO <sub>2</sub>
Kancelarije i industrijsko osvetljenje	fluo8	61%	fluo5 77 kg CO <sub>2</sub>
Osvetljenje u domaćinstvu	inkandescentna	80%	fluoCFL 34 kg CO <sub>2</sub>
LED	inkandescentna	82%	LED 34 kg CO <sub>2</sub>

**Slika 1. Neki izvori veštačkog svetla dobivenog od različitih sijalica i moguće zamene**

Osvetljenje ili gustina svetlosnog fluksa, mereno u luksima, je važna karakteristika svetla u zatvorenom prostoru. Osvetljenje je količina svetlosti koja pada na jedinicu površine podloge. Jedan luks je jednak jednom lumenu svetlosti koja pada na površinu jednog kvadratnog metra (1 lux = 1 lum/1 m<sup>2</sup>), što je oko 0.093 od jedne sveće (1 candel=1 lum/ft<sup>2</sup>). Najsvetlija učionica ili kancelarija treba biti osvetljena sa oko 500 luksa (lux). Luks je fotometrijska jedinica, koja odgovara različitim talasnim dužinama svetlosti u osetljivosti ljudskog oka. Ove veličine se mere radiometrijski u jedinicama W/m<sup>2</sup>) ili  $\mu$ Einstein/sec.m<sup>2</sup> ili fotosintetičko merenje aktivnog zračenja izraženog u PAR W.

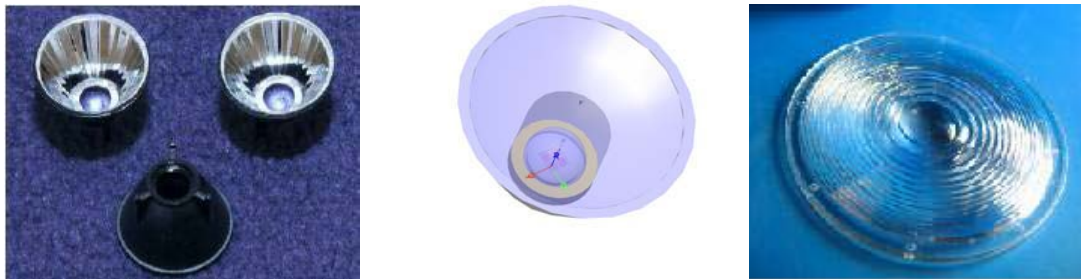
Naziv	Simbol	Jedinica
Svetlosni fluks	$\Phi$	lm
Osvetjenost	E	Lx
Svetlosni intenzitet	I	cd
Sjajnost	L	cd/m <sup>2</sup>

**Slika 2. Jedinice za merenje svetlosti veštačkih izvora svetla i LED svetla**

### Reflektori, filteri, moduli i uporedjenje LED osvetljenja

Prema inverznom kvadratnom zakonu, intenzitet svetlosti koj se isijava iz tačke izvora svetla (u ovom slučaju sijalice) i dostiže do određene površine, je obrnuto proporcionalna kvadratu rastojanja površine od izvora (ako je objekat dva puta dalje, podloga prima samo četvrtinu svetla), što je ozbiljna prepreka, pošto svetlo treba koristiti što je moguće efikasnije. Reflektorski oblici se često koriste kod veštačkih svetla, kako bi se povećala efikasnost svetla. Postrojenja svetlosnih izvora ili moduli svetla, se pomeraju što bliže je moguće, tako da što veća površina tla dobija jednako osvetljenje i da sva svetlost koja dolazi od svetla pada na objekat ili deo površine koji želimo da osvetlimo, a ne na okolinu.

Najčešće, rastojanje između izvora svetlosti i objekta je od 160 (sm), kod sijalica sa užarenim vlaknom kao što su inkandescentne, živine i natriumove sijalice (zbog njihove ogromne toplote zagrevanja vazduha često mora biti i veća), kao i kod fluorescentnih sijalica (koje se manje greju), ili od 2 (m) do 10 (m) kod hladnog svetla sa LED modulima (sa stubovima za podešavanje visine). Mnogi arhitekti, projektuju u kancelarijama i bolnicama bele zidove ili pokrivaju zidove sa reflektujućim materijalima, kako bi se povećala efikasnost svetla.



**Slika 3. Reflektori za usmeravanje svetla kod LED svetiljki**

Niz različitih tipova sijalica se može koristiti kao svetlo za osvetljenje, kao što su inkandescentne, fluorescentne, živine, natriumove visokog pritiska, i LED moduli sa LED-icama (kao veoma mali potrošači elektrine energije, a veoma efikasan izvor svetla).

Danas se najčešće koriste svetla za profesionalnu upotrebu : NVP (SHP) i fluorescentne sijalice. Ali zbog sve skuplje električne energije i zbog prevelikog zagrevanja leti, sve više se u svetu koriste LED svetiljke (sa reflektorima i filterima ili bez njih). U svetu se sve više koriste LED sijalice, fluorescentne i CFL sijalice u zamenu za MH i NVP, zbog svoje veoma velike efikasnosti i ekonomičnosti.

Kod LED sijalica i modula, samo 5% od energije se pretvara u toplotu a 95% u svetlost (gde se parametar spektra svetlosti u °K definiše po želji korisnika, ili menjanjem filtera na modulu) i nema potrebe za hlađenjem ventilatorima. Kod LED sijalica nema UV zračenja, i nema emisije Hg, CO i CO<sub>2</sub>, štetnih po životnu sredinu.

### **Svetlosna efikasnost različitih izvora veštačke svetlosti (Tabela 1)**

Kategorija svetiljke	Efikasnost svetlosti (lum/W)	Iskorišćenje %
Sagorevanja sveća	0,3	0,04
Mrežica za plinsku lampu	1,0 – 2,0	0,15 – 0,3
Sijalice sa usijanim vlaknom	13,8 – 15,2	2,0 – 5,2
LED - Svetleća dioda 230 (V)	100,0 – 200,0	90,0 – 95,0
Fluorescentno svetlo (T fluo cev sa magn. bal.)	25,0 - 60,0	11,0 – 40,0
CFL svetlo (Spiralna fluo cev sa el. bal.)	100,0 - 120,0	11,0 – 35,0
Natrijum sijalica visokog pritiska(NHP)	80,0 – 150,0	12,0 – 40,0

### Sijalice sa užarenim vlaknom (inkandescentne)

Sijalice sa užarenim vlaknom (inkandescentne) su najstariji izvori svetla putem električne energije, i prosečnog su životnog veka od 3500 sati ili maksimalno 365 dana (ali veoma često i kraće od toga). Pored toga, one su manje energetski efikasne od fluorescentnih, metal-halogenih, natrium sijalica visokog pritiska ili LED sijalica i modula, pa pretvaraju mnogo električne energije u toplotu a ne u svetlost (95% energije ide u nepotrebnu i štetnu toplotu, a samo 5% u traženu i potrebnu svetlost).

### Fluorescentne (neon) i CFL sijalice

Fluorescentna svetla su danas dostupna u bilo kom željenom temperaturnom opsegu : 2700°K (toplo svetlo) do 6500°K (hladno svetlo). Životni vek je oko 10000 sati ili do 3 godine.

### MH i HG (metal-halogene i živine) sijalice

(MH) metal-halogene i (Hg) živine sijalice imaju jako UV zračenje, veliku potrošnju električne energije, veoma često se same gase i pale kod pregrevanja, potrebno im je vreme za zagrevanje pre paljenja i radni vek im je do 4000 sati ili do 1,2 godina.

### Natrijumove sijalice visokog pritiska (NVP ili SHP)

Sodium high pressure lamps (SHP) su veoma vruća ali u zadnje vreme najčešće upotrebljavana veštačka svetla. Sijalice koje koriste NVP ili SHP (natrijum visokog pritiska) sijalice, najčešće daju 2200 °K i imaju veoma loš indeks osvetljaja (22) i previše greju. Životni vek im je oko 20000 sati ili do 5 godina.

Sve MH i NVP (SHP) sijalice imaju jedno veoma negativnu stranu, a to je veoma velika potrošnja električne energije, koja uglavnom ide na stvaranje viška toplote u vazduhu. Takođe, gorenavedene sijalice imaju i veliki intenzitet negativnog UV zračenja i emisije Hg, CO i CO<sub>2</sub>, zahtevaju korišćenje električnog balasta (koji takođe troši električnu energiju) za konvertovanje struje AC u DC, podešavanje i pojačavanje napona.



Incandescentno svetlo

CFL neon svetlo

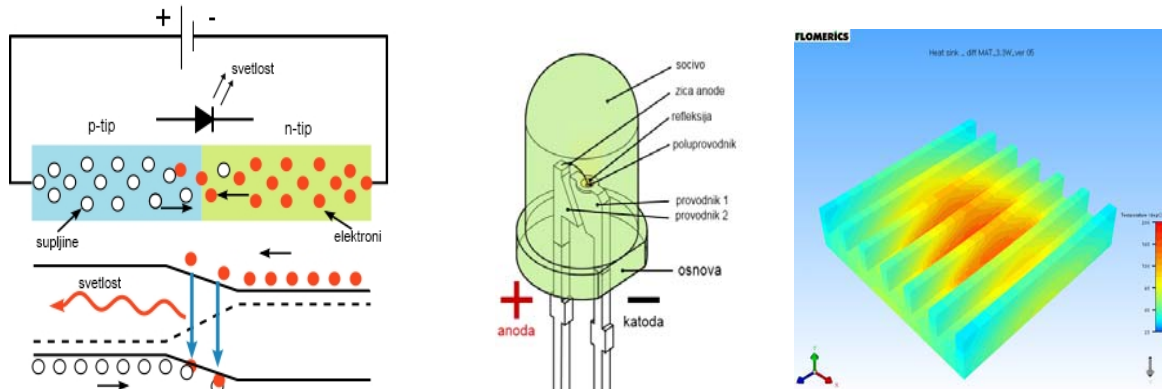
Dioda = LED

E27grlo LED

Slika 4. Više vidova sijalica, LED-ica i LED sijalica sa grlom E27

## LED SIJALICE I SVETILJKE U LED MODULIMA

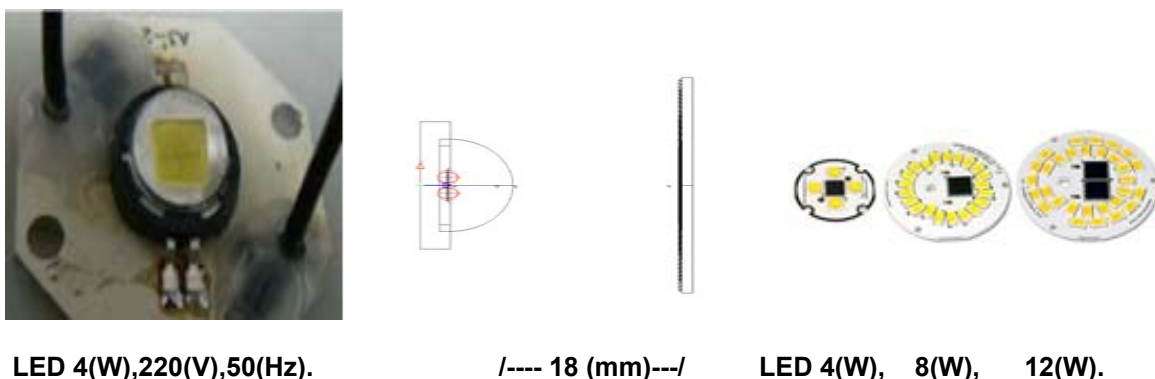
Jedna vrsta poluprovodničkih dioda imaju osobinu da, kada su pod naponom, emituju svetlost, a nazivaju se na engleskom jeziku **Light Emitted Diode (LED)**. One su nam odavno poznate po malim svetlećim signalnim lampicama na svim elektronskim uređajima. Napretkom tehnologija i otkrivanjem novih materijala za proizvodnju LED-ica (LED - dioda), dobijaju se diode sa sve većim osvetljajem i snagama. Ali kod njih se javio problem disipacija (zračenje) toplote, zaista disipacija nije tako velika kao kod ranijih sijalica, ali zbog njihovih malih dimenzija još uvek je problem odvođenje i te ne tako velike toplote (od 10% do 30%, zavisno od kvaliteta LED-ice). Zato se montiraju hladnjaci koji odvedu tu toplotu i hlade LED sijalice. Zbog toga je i danas teško proizvesti LED sijalice dimenzije kućnih sijalica poznatih pod oznakom E14 i E27 sa velikim snagama preko 12(W), kao zamena za 60(W).



**Slika 5. Grafički prikaz rada LED-ice, stvarni izgled jedne LED-ice i hladnjaka u radu**

Maksimalna snaga LED sijalica sa grlom E14 i E27 je još uvek oko 8W (ili 40W po merilima klasičnih sijalica), a veoma retko 12W (ili 60W inkandescentnih sijalica). Kod većih sijalica (kao što su ulične svetiljke i svetiljke po stovarištima, magacinima, benzinskim pumpama...), zbog njihovih velikih dimenzija, ugradnja hladnjaka u svetiljke nije problem, te su LED sijalice veoma efikasne. LED sijalice su veoma dugotrajne (čak do 50 000 radnih sati ili do 14 radnih godina, sa prosečnim radom od 10 sati dnevno).

Treba naglasiti da LED sijalice ne pregorevaju, nego postupno gube na intenzitetu, ali postupno slabe tek nakon 7 godina upotrebe (upotrebna garancija je 7, a tehnička 2 godine). Ovo oslabljenje postaje uočljivo tek nakon 9 godina, pa se LED sijalice menjaju nakon 14 godina, zavisno od broja radnih sati LED-ice i od procenta oslabljenja intenziteta LED svetla).



LED 4(W),220(V),50(Hz).

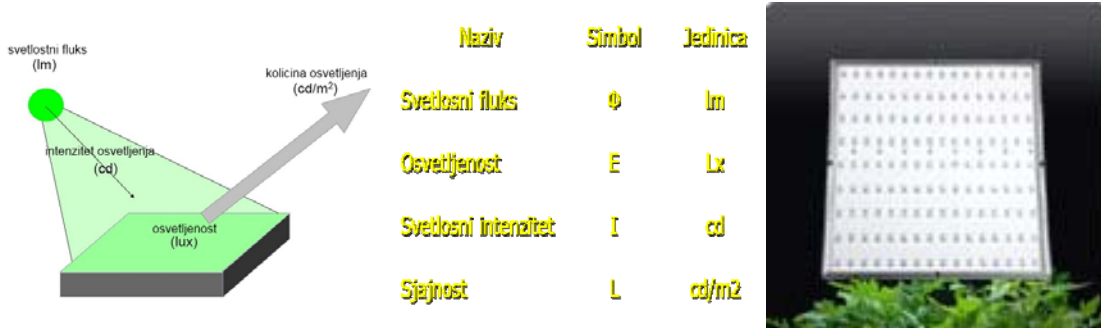
/---- 18 (mm)----/

LED 4(W), 8(W), 12(W).

**Slika 6. Izgled LED-ice od 4(W), min-rastojanje 18 mm od stakla, LED-ice sa više (W)**

## OSVETLJENJE SA LED MODULIMA U OBJEKTIMA ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE

LED osvetljenje dobiveno od LED svetiljki sa LED sijalicama (više LED-ica) znatno smanjuje troškove za električnu energiju u fabrikama, na ulicama, u skladištima, na pumpama za prodaju goriva, čak do 80%, pa je to veoma važna karika po pitanju energetske efikasnosti.



Slika 7. Parametri osvetljenja i njihov grafički prikaz, i LED modul za osvetljenje fasade

### Kako odrediti tip i model LED svetiljke i broj LED-ica u njoj

Prvo je potrebno da se odrede karakteristike LED svetla, prema postojećem svetlu :

1. Koliko postojeća sijalica, svetla koje želimo da zamenu, ima :
  - 1.1. napajanje u (V) i (A), (naprimer 230 (V) i 65 (mA),
  - 1.2. snagu u (W) i osvetljenost u (lux),
  - 1.3. traženi intenzitet osvetljaja u (lm).
2. Koliko LED-ice, koje su upotrebljene za svetlo za zamenu, imaju :
  - 2.1. napajanje u (V) i (A),
  - 2.2. snagu u (W) i osvetljenost u (lux),
  - 2.3.intenzitet svetlosnog fluksa u (lm).
3. Proračun broja LED-ica = ( koliko je potrebno Lumena ) / (koliko Lumena ima LED )
  - 3.1. Postojeća Hg sijalica (ili predračun novog svetla treba da) ima karakteristike :
    - 3.1.1. - napajanje : 230 (V), 50 (Hz), 150 (W).
    - 3.1.2. - stvarni svetlosni fluks : 1125 (lm).
  - 3.2. LED modul (sijalica) koju pravimo od LED-ice ima karakteristike :
    - 3.2.1. – napajanje : 230 (V), 50 (Hz), 20 (mA), 4 (W).
    - 3.2.2. – svetlosni fluks je : 215 (lm).
  - 3.3. Stvarna potrebna vrednost svetlosnog fluksa za Hg sijalicu je :



$$= (\text{stvarna vrednost fluksa}) / ((\text{optička efikasnost \%}) * (\text{termička efikasnost\%}))$$

$$= 1125 \text{ (lm)} / (91\% * 85\%) = 1454 \text{ (lm)}.$$

3.4. Potreban broj LED-ica u modulu svetla je :

$$= (\text{stvarna potrebna vrednost fluksa (lm)}) / (\text{svetlosni fluks LED.ice})$$

$$= (1454 \text{ (lm)} / 215 \text{ (lm)})$$

$$= 6,76 \sim 7 \text{ i zbog eventualnih gubitaka} + 1 = 8 \text{ (LED-ica)}.$$

3.5. Ukupna snaga LED modula za osvetljenje će biti :

$$= (\text{broj LED-ica}) * (\text{snaga jedne LED-ice}) = 8 * 4 \text{ (W)} = 32 \text{ (W)}.$$

3.6. Ukupna potrošnja LED modula je 32(W), svetlosni fluks ostaje isti : 1454 (lm).

3.7. Ukupna ušteda električne energije primenom LED umesto Hg svetiljke, je :

$$150 \text{ (W)} - 32 \text{ (W)} = 118 \text{ (W)} \quad \text{ili : } 468,75 \% \text{ manje električne energije .}$$

Zamenom Hg sijalice LED modulom, dobili smo veću energetska efikasnost za 468,75%.

### **UŠTEDE ELEKTRIČNE ENERGIJE SA LED SVETILJKAMA U OBJEKTU ELEKTRODISTRIBUCIJE**

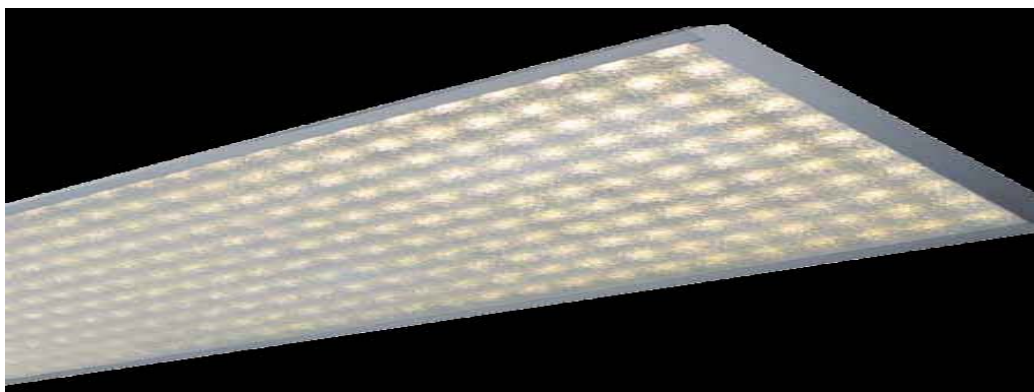
Kod MH halogene sijalice snage 20(W) zamena je LED modul sa 1 LED-icom od 4(W), i tada je ušteda 500% ili pet puta manja potrošnja električne energije za jedno sijalično mesto.

Kod MH-živine sijalice od 150(W) zamena je LED modul sa 8 LED-ica od 4(W), što daje ukupno 32(W), ili uštedu od 118(W), odnosno oko 500%, ili pet puta manja potrošnja električne energije.

Kod NVP sijalice od 400(W) zamena je LED modul sa 20 LED-ica od 4(W), što daje ukupno 80(W), ili 320(W) manju potrošnju ili 500% manje. Na mesečnom nivou, kod prosečnog rada sijalice od 10 sati dnevno (u toku 24 h), za 30 radnih dana mesečno, dobija se sledeći proračun uštede :

$$30(\text{dana}) * 10(\text{h/dan}) * 320(\text{W}) = 9600(\text{Wh/mesec}) \text{ ili } 9,6(\text{kWh/mesec})$$

Samo po jednoj sijalici mesečna ušteda je 9,6(kWh), kod zamene sa LED modulom sijalica.



**Slika 8. LED modul sa LED-icama za unutrašnje osvetljenje velikih prostorija.**

## ZAKLJUČAK

Osvetljenja prostorija, skladišta, fasada ili ulica sa LED modularnim sijalicama omogućavaju velike uštede električne energije na mesečnom i godišnjem nivou. Ove uštede su moguće zbog same prirode LED-ica koje 95% od utrošene energije pretvaraju u svetlost, a samo 5% od utrošene energije pretvaraju u toplotu. Uštede električne energije i sredstava za njeno plaćanje, su negde oko 500% ili pet puta manje od slučaja kada koristimo NVP ili MH izvore svetla. Uštede su znatno manje kod upoređenja sa fluorescentnim i CFL sijalicama, ali je kod upoređenja sa njima veoma značajno da nema UV zračenja i opasnost od curenja žive (Hg) kod oštećenja sijalice kod LED-ica ne postoji, a kod CFL i neonki je veoma verovatna, zato su LED-ice preporučljivije za ugradnju u obdaništima, školama, fakultetima, kancelarijama. Tokom vremena i sve većom proizvodnjom cene LED-ica i modula padaju.

## LITERATURA

1. Braunstein R, 1955. "Radiative Transitions in Semiconductors". "Physical Review", 99 (6): 182
2. Colin H, 2007, " Warm light and high efficiency cheap LED production method",p 27
3. Dietz Y and Leigh L, 2004," Very Low-Cost Sensing and Communication Using Bidirectional LED",4
4. Efremov A, Bochkareva I, Gorbunov I, Larinovich A, Rebane T, Tarkhin V and Shreter G, 2006, "Effect of the joule heating on the quantum efficiency and choice of thermal conditions for high-power blue InGaN/GaN LEDs", " Semiconductor 40", p.605
5. Fred Schubert F, 2003, " Light-Emitting Diodes", "Cambridge University Press", p.82
6. James A and Worthey J, 2007, "How White Light Works", "LRO Lighting Research Symposium, Light and Color", p.207
7. Keefe J, 2007, "The Nature of Light", p.05
8. Klipstein L, 1996, "The Great Internet Light Bulb Book, Part I", Retr. p.16
9. Lee T, 2004," The design of CMOS radio-frequency integrated circuit", " Cambridge University", p.63
10. Moreno I, and Ching-Cherng, 2008, "Modeling the radiation pattern of LEDs", " Optics Express",78
11. Mueller G, 2000, "Electroluminescence", " Academic Press", p. 67
12. Nichia.C, 2009, "Nichia LED specifications", "Nichia Corporation", p. 209
13. Pearsall P, Miller I, Capik J and Bachmann J, 1976, "Efficient Lattice-matched Double Hetero structure LEDs at 1.1  $\mu\text{m}$  from GaIn<sub>1-x</sub>As<sub>y</sub>P<sub>1-y</sub> by Liquid-phase Epitaxy", " Phys. Lett", p.499
14. Round J, 1907, "A Note on Carborundum", " Electrical World" p.19: 309
15. Whitaker T, 2009 "Joint venture to make ZnSe white LEDs". Retr. p.202
16. Westermaier V, 1920,"Recent Development in Gas Street Lighting", "The American City New York Civic Press", 22 (5): p. 490
17. Zheludev N, 2007, "The life and times of the LED – a 100-year history", " Nature Photonics", p.189