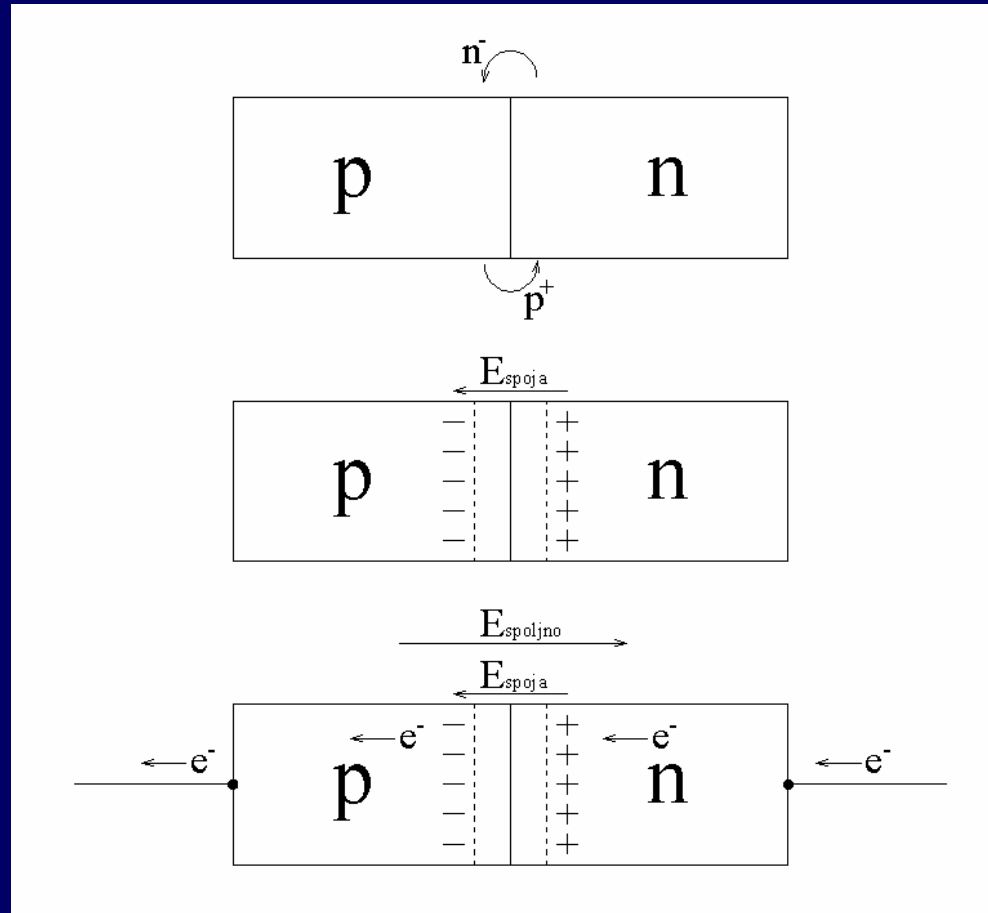


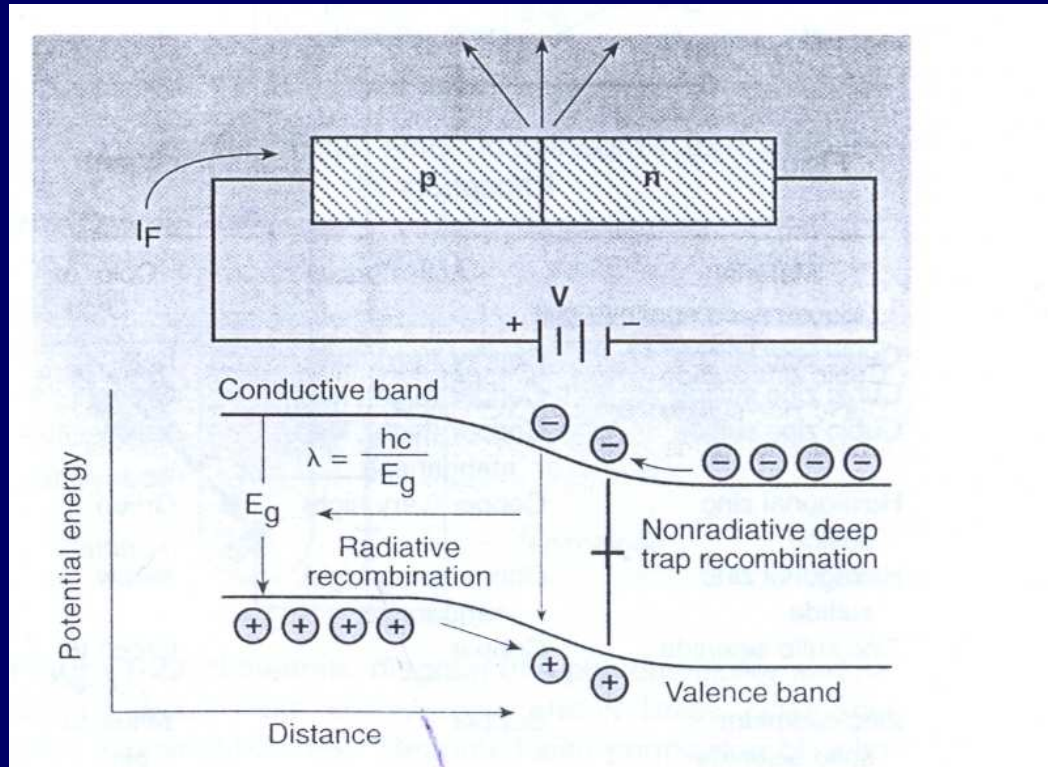
Okrugli sto Srpskog društva za osvetljenje

# PRIMENA LED TEHNOLOGIJE U URBANOM OSVETLJENJU

Prof. dr Miomir Kostić

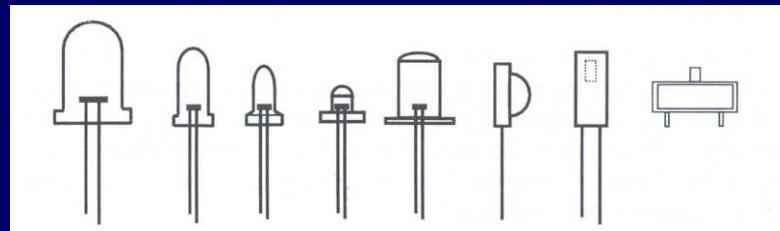
Beograd, jun 2011.



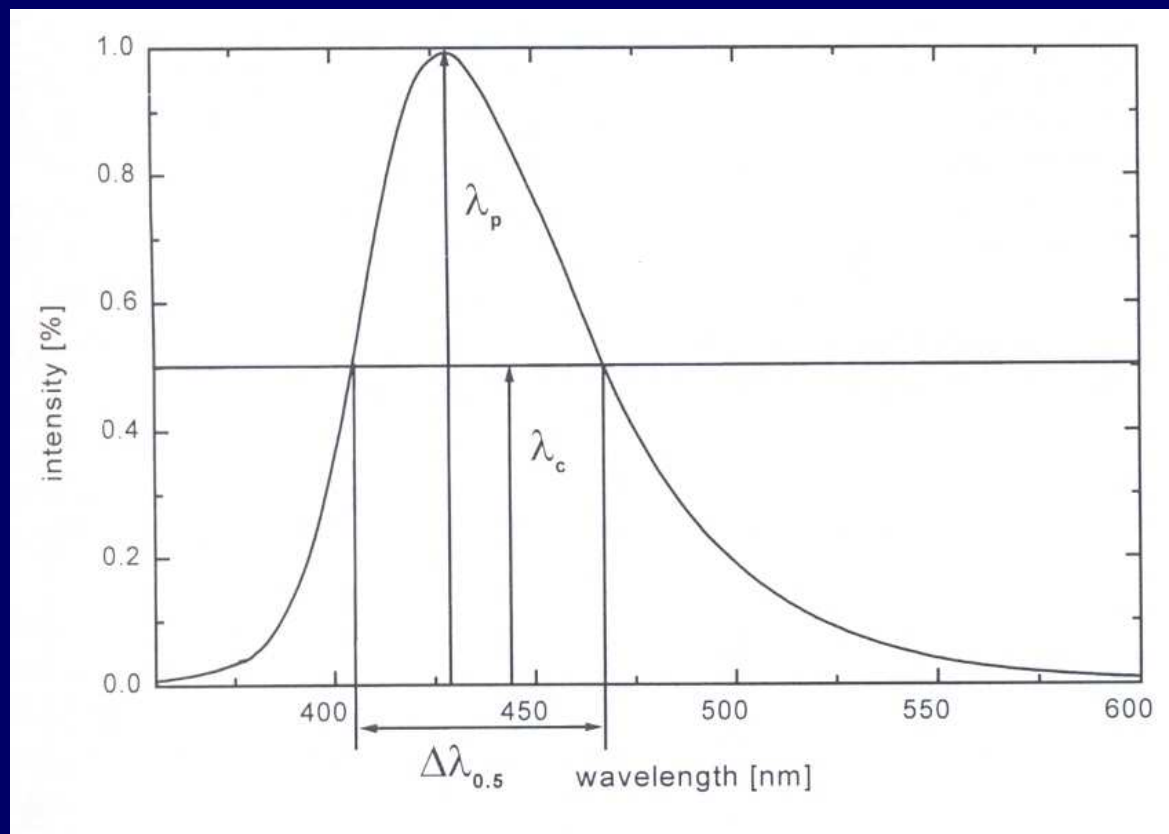


Proizvodnja svetlosti u p-n spoju priključenom na izvor jednosmerne struje malog napona (efekat uočen davne 1923. godine)

1. Dok elektroni rekombinovani u p spoju proizvode svetlost, nerekombinovani elektroni proizvode toplotu (čak 65-80% utrošene električne energije pretvara se u toplotu).
2. Dioda se uvek postavlja u plastičnu kapsulu, čime se obrazuje LED čip, koji se okružuje sočivom (primarna optika). Jedan od značajnih parametara LED čipa je maksimalna dozvoljena temperatura p-n spoja, jer pri njegovim većim temperaturama dolazi do razaranja plastične kapsule, a time i samog LED čipa.



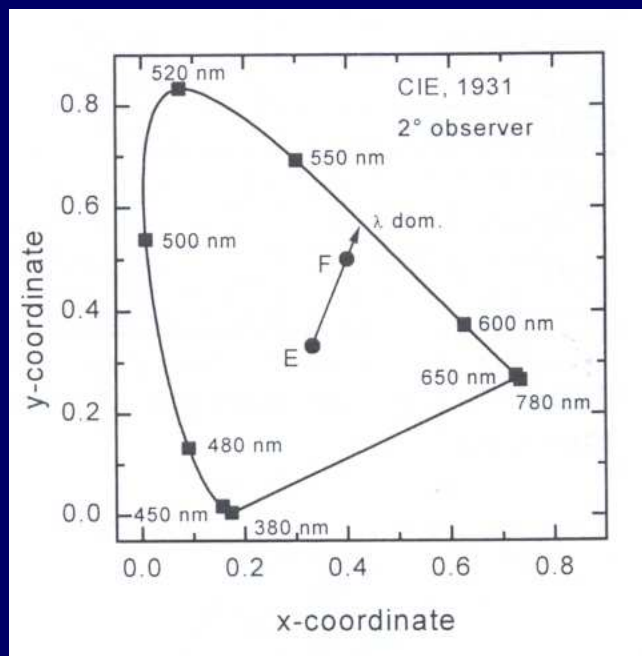
3. Zbog velikih indeksa prelamanja poluprovodničkih materijala od kojih je izrađena dioda, značajan procenat svetlosnih zraka ne uspeva da napusti diodu, nego se reflektuje od njene površine.



## Spektralna raspodela snage zračenja plave diode, sa označenim spektralnim parametrima

Vršna talasna dužina ( $\lambda_p$ ) je talasna dužina pri kojoj se ima maksimalni intenzitet zračenja. Ne predstavlja bitan parametar, jer ne ukazuje na boju svetlosti LED čipa (diode iste vršne talasne dužine mogu da izazovu bitno različite percepcije boje).

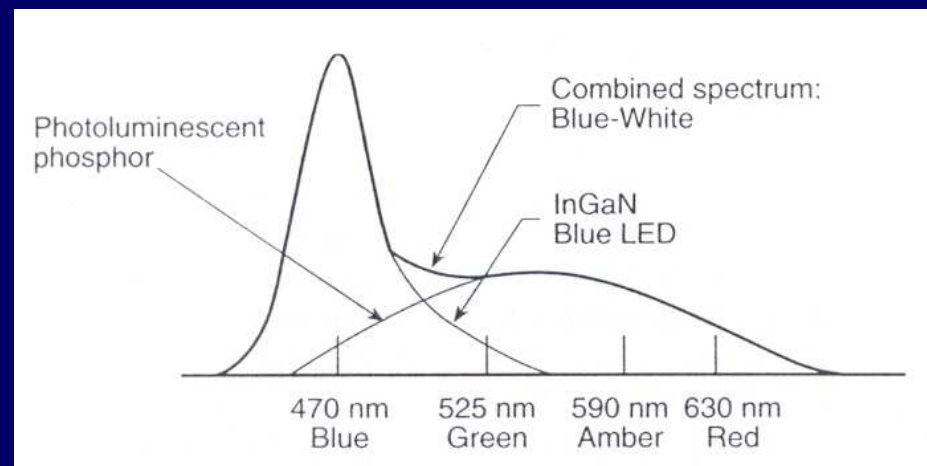
Na boju svetlosti LED čipa ukazuje tzv. dominantna talasna dužina.



Dominantnu talasnu dužinu LED čipa određuje tačka preseka prave EF i granične krive dijagrama boja.

- Iako su ozbiljna istraživanja u ovoj oblasti započeta još pre pola veka, tek 1990. godine učinjen je odlučujući napredak, koji je omogućio masovnije primene LED tehnologije, i to kako u unutrašnjem, tako i u spoljnom osvetljenju.
- Tada je konstruisan LED čip plave boje (blue - B), koji je, sa do tada razvijenim čipovima crvene (red - R) i zelene boje (green - G), upotpunio skup tri osnovne boje čijom se kombinacijom mogu dobiti skoro sve boje spektra.
- Kombinacijom ova tri čipa (RGB) dobijena je bela boja, koja je bila neophodna za masovnije primene LED tehnologije u unutrašnjem i spoljnom osvetljenju.

- LED čip plave boje predstavljao je i osnovni element za dobijanje LED čipa bele boje, kome se od početka težilo.
- Naime, premazom LED čipa plave boje specijalnim fluorescentnim supstancama koje obezbeđuju dobijanje preostalih boja spektra, proizveden je LED čip bele boje, odlične reprodukcije boja.
- U početku ga je karakterisala visoka temperatura boje (čip hladne boje). Međutim, ubrzo su realizovani i čipovi neutralne bele ( $T= 4000\text{K}$ ) i toplo bele boje ( $T= 3000\text{K}$ ).



Spektralna raspodela snage zračenja diode bele boje, dobijena tako što je dioda plave boje premazana fosfornim supstancama



- Praksa je pokazala da, za razliku od ostalih tipova izvora svetlosti, sposobnost LED izvora svetlosti da verno reprodukuju boje predmeta ne može da se predstavi pomoću brojnog pokazatelja koji se naziva indeks reprodukcije boja.
- Zbog toga su vršeni eksperimenti zasnovani na subjektivnom doživljaju ispitanika. Iako proizvođači LED tehnologije ističu da LED čipove bele boje karakteriše odlična reprodukcija boja, eksperiment u kome su ispitanici poredili boje voća i povrća osvetljenih pomoću LED i klasičnih halogenih izvora svetlosti pokazao je da su boje dobijene primenom halogenih sijalica izgledale prirodnije.

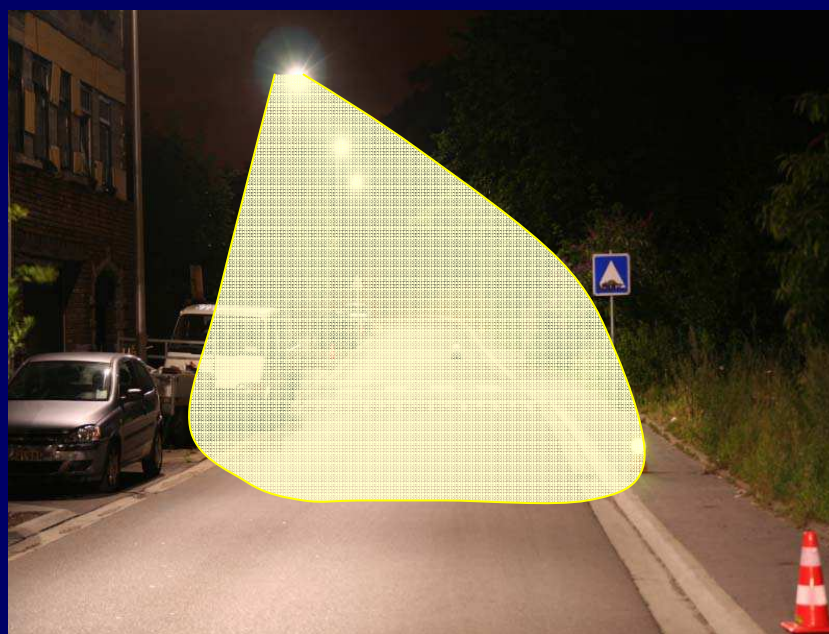
Proizvođači LED tehnologije ističu veoma male dimenzije LED čipova kao njihovu nepobitnu prednost, jer one omogućavaju precizno usmeravanje svetlosti. Međutim, posledica veoma malih dimenzija, a veoma velikog sjaja (što je jedna od osobina LED čipova) jeste izazivanje fiziološkog blještanja. Uz to, LED izvor svetlosti ustvari predstavlja grupu LED čipova koji se vide pojedinačno, što najčešće ne izaziva prijatan vizuelni utisak.

Brojne realizacije potvrđuju da primenom LED tehnologije mogu da se postignu izuzetno atraktivni efekti u dekorativnom (arhitektonskom) osvetljenju (uglavnom zbog malih dimenzija i kontrolisanog svetlosnog snopa LED svetiljki, proizvodnje svih zamislivih boja i mogućnosti realizacije dinamičnog osvetljenja).



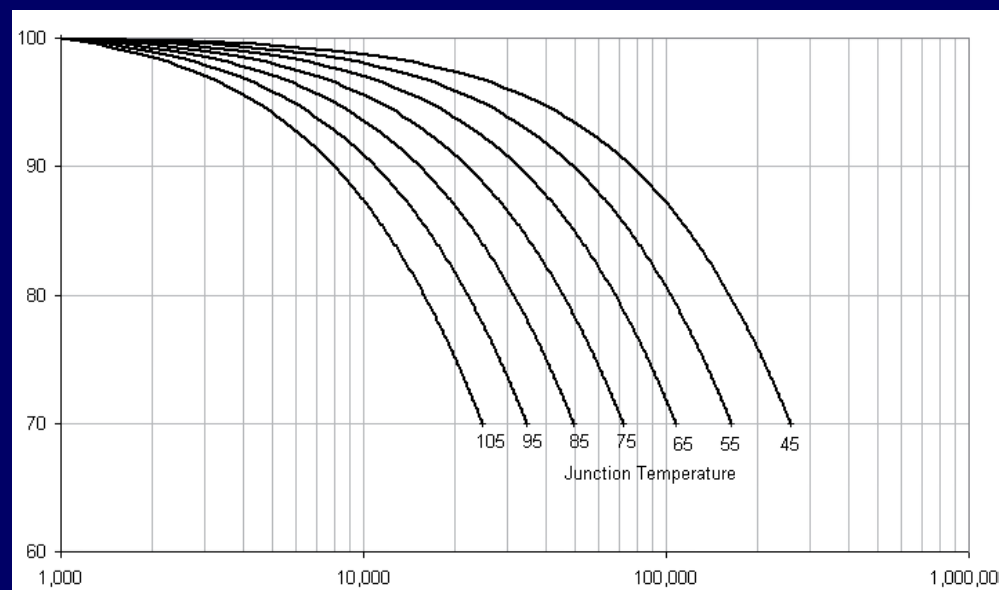
Poslednjih godina vodeći svetski proizvođači LED svetiljki agresivno promovišu LED tehnologiju u uličnom i ambijentalnom osvetljenju. Ovo predavanje ima za cilj da projektantima javnog osvetljenja i potencijalnim investitorima pruži bitne informacije o LED tehnologiji koje su neophodne za donošenje relevantnih odluka.

Iako se najveća svetlosna iskoristivost postiže sa LED čipovima hladne boje (temperature boje 5000-6000K), oni nisu adekvatni za osvetljenje ulica i pešačkih staza. Eventualno mogu da se koriste za osvetljenje pešačkih prelaza i raskrsnica, uz napomenu da svetiljke treba da obezbede dovoljne vrednosti vertikalne i polucilindrične osvetljenosti (da bi pešaci i vozila bili dobro vidljivi). Takve zahteve mogu da ispune samo specijalno konstruisane LED svetiljke, jer fotometrijske karakteristike brojnih LED svetiljki pokazuju da je emitovanje svetlosti oštro prekinuto za uglove veće od određenog ugla zračenja.



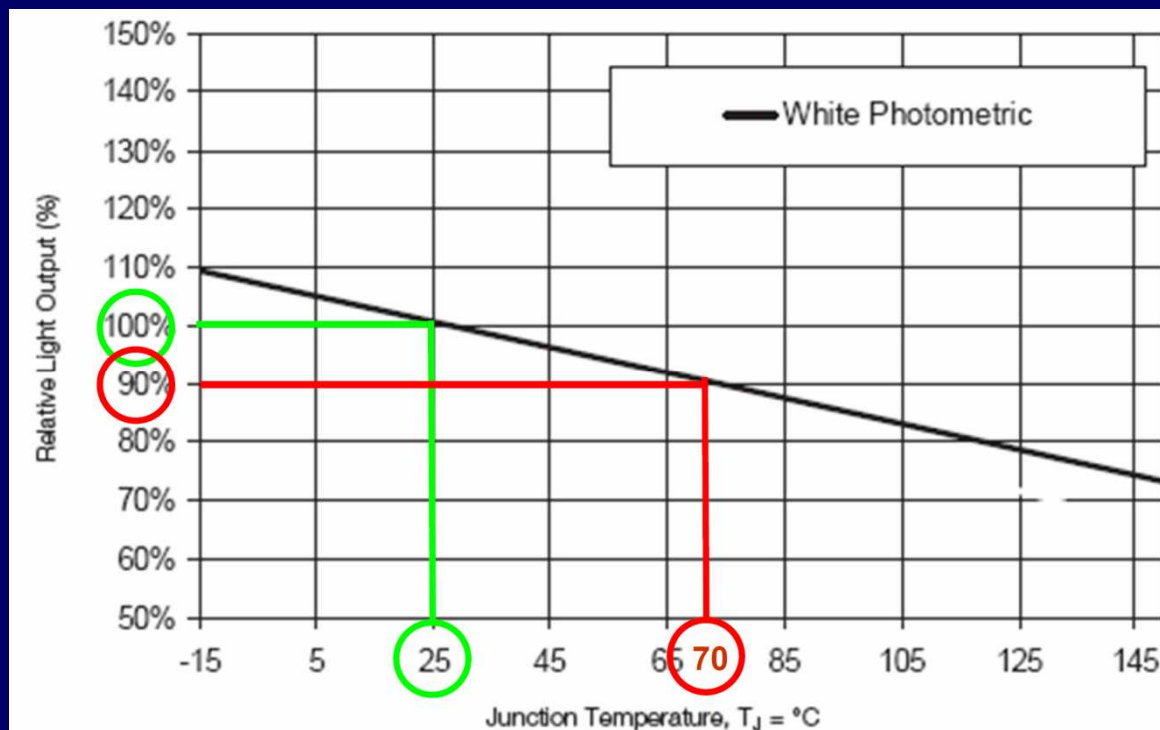
- Činjenica da se pri radu svih LED čipova proizvodi značajna količina toplote, predstavlja uzrok jednog od glavnih problema sa kojima se susreću konstruktori LED svetiljki – to je problem njenog odvođenja.
- Nedovoljno odvođenje toplote dovodi do povećanja temperature p-n spoja (junction temperature) od koje veoma zavisi brzina opadanja svetlosnog fluksa LED čipa, a samim tim i njegov životni vek.

Vodeći proizvođači LED svetiljki generalno deklarišu životni vek LED čipa kao vreme za koje njegov svetlosni fluks opadne na 80% početne vrednosti. Priloženi dijagram (ILE) pokazuje da se životni vek od 50.000h, koji proizvođači najčešće deklarišu, može postići samo ako temperatura spoja nije veća od 70°C.



Tipičan životni vek LED čipova  
u zavisnosti od temperature p-n spoja (°C)

Pošto je svetlosni fluks LED čipa uglavnom deklarisan za temperaturu p-n spoja od 25°C, priloženi dijagram (BEKA) pokazuje da u slučaju LED čipova bele boje svetlosni fluks treba da se smanji za 10% ako je temperatura p-n spoja 70°C.





- Obavezan deo svake LED svetiljke predstavlja LED drajver čija je uloga slična ulozi elektronskih balasta koji se koriste kod klasičnih svetiljki sa natrijumovim i metal-halogenim izvorima svetlosti.
- Kvalitetan LED drajver je neophodan, jer on utiče kako na temperaturu p-n spoja, tako i na efikasnost LED svetiljke.

## LED SVETILJKE U ULIČNOM OSVETLJENJU – studija slučaja (LEDs IN STREET AND AMBIENT LIGHTING – two case studies)

- Analiza efikasnosti primene LED izvora svetlosti u uličnom osvetljenju izvršena je poređenjem dva svetlotehnička rešenja: prvog realizovanog pomoću NaVP svetiljki i drugog realizovanog pomoću LED svetiljki sa čipovima neutralne bele boje ( $T=4000K$ ). Razmatrane su sve relevantne CIE svetlotehničke klase (M1-M6) i odgovarajući rasporedi stubova (raspored stubova zavisi od visine stuba i širine ulice).
- Sva svetlotehnička rešenja morala su da ispune sve CIE zahteve koji se odnose na nivo i opštu i podužnu ravnomernost sjajnosti, kao i na relativni porast praga.

- Za gradske ulice, zbog estetskih razloga, visina stubova je bila ograničena na 8m (jedino su za važne gradske saobraćajnice sa centralnim rasporedom stubova bili dozvoljeni stubovi visine 10m).
- Za autoputeve visine stubova su iznosile 12m i 13m.
- Najbolje svetlotehničko rešenje je bilo određeno na dva načina:
  - korišćenjem kriterijuma najmanje instalisane snage (uobičajeno se koristi), i
  - korišćenjem kriterijuma najvećeg rastojanja između stubova (bitno prilikom instaliranja skupih stubova).

# Zaključci istraživanja

1. LED umesto NaVP svetiljki:
  - Uštede električne energije iznose između 30% i -79%,
  - Za jednostrani raspored stubova prosečna ušteda iznosi 10%,
  - Za cik-cak raspored stubova prosečna ušteda iznosi 5%, i
  - Za dvostrani naspramni raspored stubova prosečna ušteda iznosi 0.1%.

Napomena: The Lighting Research Center dobio je rezultate koji su slični navedenim.

# Zaključci istraživanja

2. U slučaju centralnog rasporeda stubova sa 3 vozne trake potrošnja električne energije pri upotrebi LED svetiljki u proseku je veća:
- 39% u gradskim ulicama
  - 70% na autoputevima

(razlog: veoma malo rastojanje između susednih stubova)



# Zaključci istraživanja

3. Podaci koji se odnose na LED svetiljke pokazuju da su vrednosti relativnog porasta praga (TI faktora) blizu graničnih vrednosti koje određuje CIE preporuka (subjektivni osećaj blještanja).

# Ekonomsko poređenje NaVP i LED svetiljki

Izvršeno je tako što su uzeti u obzir kako investicioni, tako i troškovi za utrošenu električnu energiju i troškovi održavanja u okviru eksploatacionog perioda od 24 godine.

# Zaključci ekonomske analize

1. Ukupni troškovi svetlotehničkih rešenja realizovanih pomoću LED svetiljki 1.5-5.8 puta su veći od onih koji se odnose na rešenja sa konvencionalnim NaVP svetiljkama.
2. U slučaju jednostranog, cik-cak, dvostranog naspramnog i centralnog rasporeda stubova prosečan odnos ukupnih troškova redom iznosi 1.9, 1.9, 2.2 i 4.9.
3. Prosečno učešće troškova održavanja u ukupnim troškovima rešenja sa NaVP svetiljkama iznosi 5%, dok kod rešenja sa LED svetiljkama iznosi 12.5%.



# LED SVETILJKE U AMBIJENTALNOM OSVETLJENJU - studija slučaja -

- Analiza efikasnosti primene LED izvora svetlosti u ambijentalnom osvetljenju izvršena je poređenjem dva svetlotehnička rešenja: prvog realizovanog pomoću MH svetiljki i drugog realizovanog pomoću LED svetiljki sa čipovima toplo bele boje ( $T=3000K$ ).
- Pešačka staza širine 3m razmatrana je za slučaj CIE svetlotehničkih klasa P3, P4 i P5, dok je staza širine 6m razmatrana za slučaj svetlotehničkih klasa P1, P2 i P3.
- Sva svetlotehnička rešenja morala su da ispune sve CIE zahteve koji se odnose na nivo i minimalnu vrednost horizontalne osvetljenosti, polucilindričnu osvetljenost i relativni porast praga.

# Zaključci istraživanja

## 1. LED umesto MH svetiljki:

- Uštede električne energije iznose između 33% i –18%,
- Za stazu širine 3m prosečna ušteda iznosi 21%, i
- Za stazu širine 6m rezultat je negativan (prosečno povećanje potrošnje električne energije iznosi 7%)

2. Podaci koji se odnose na LED svetiljke pokazuju da vrednosti policilindrične osvetljenosti predstavljaju kritičan parametar (subjektivni osećaj lošeg osvetljenja ljudskih lica). Posledica: veći nivoi osvetljenosti od zahtevanih.

# Zaključci ekonomske analize

Odnos ukupnih troškova za LED i MH svetiljke  
iznosi 1.1 do 1.6  
(prosečna vrednost 1.3).

# ZAKLJUČCI

1. Ušteda električne energije koja se postiže upotrebom LED umesto NaVP svetiljki u uličnom osvetljenju, ako uopšte postoji, nije značajna.
2. Postoje slučajevi (na primer, ulice klase M1 i saobraćajnice sa centralnim rasporedom stubova) kod kojih primena LED svetiljki značajno povećava potrošnju električne energije.
3. Ukupni troškovi primene LED svetiljki su 1.5 do preko 5 puta veći od onih koji karakterišu upotrebu konvencionalnih NaVP svetiljki.

Dakle, LED svetiljke još uvek nisu odgovarajuća zamena za energetski efikasno konvencionalno ulično osvetljenje.

Do kad da se čeka? Kažu, do 2015. godine.

# Zaključci

4. U ambijentalnom osvetljenju postoje slučajevi (koji se pre svega odnose na uže staze) kod kojih je primenom LED svetiljki moguće postići izvesne (ne velike) uštede električne energije u poređenju sa upotrebom MH svetiljki.
5. Odnos ukupnih troškova fotometrijski uporedivih rešenja daleko je manji nego kod uličnog osvetljenja.

Dakle, svaki slučaj treba posebno razmatrati, odnosno neophodna je tehno-ekonomska analiza da bi se izabralo povoljnije rešenje.