

# TEHNO-EKONOMSKA USPOREDBENA ANALIZA PROJEKTNIH RJEŠENJA UNUTARNJE RASVJETE

## TECHNO-ECONOMIC COMPARATIVE ANALYSIS OF INTERIOR LIGHTING DESIGN SOLUTIONS

**Mario KAKSA**

**Elektrotehnički fakultet Osijek  
Kneza Trpimira 2b, 31 000 Osijek**

**Marinko STOJKOV**

**Strojarski fakultet  
Trg Ivane Brlić Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod**

**Hrvoje GLAVAŠ**

**Elektrotehnički fakultet Osijek  
Kneza Trpimira 2b, 31 000 Osijek**

### **Ključne riječi:**

- Rasvjeta
- Energetska učinkovitost
- Tehno-ekonomska analiza
- Svjetlo-tehnički proračun
- Investicijski troškovi
- Uporabni troškovi

### **Key words:**

- Lighting
- Energy Efficiency
- Technical and Economic Analysis
- Light-technical calculation
- Investment costs
- Cost of use

### **SAŽETAK:**

*Povlačenje iz upotrebe klasične rasvjete sa žarnom niti od volframa predstavlja mogućnost za poboljšanje energetske učinkovitosti postojećih sustava rasvjete. Zadatak rada je provesti tehno-ekonomsku analizu radi iznalaženja optimalnog rješenja rasvjete poslovnih subjekata. Analiza svjetlo-električnih veličina napravljena je programskim alatom DIALux dok ekonomska bilanca uzima u obzir investicije i uporabne troškove za različita vremenska razdoblja životnog vijeka rasvjete od 1, 20, 25 i 30 godina. Cilj rada je da rezultati tehno-ekonomske analize posluže kao referentne odrednice prilikom donošenja odluka u održavanju sustava i realizacije potencijalnih mjera energetske učinkovitosti.*

### **ABSTRACT:**

*Phase-out of incandescent light bulbs is a challenge to improve the energy efficiency of existing lighting systems. Technical and Economic Analysis was conducted in order to find the optimum lighting solutions. Analysis of the light-electrical quantities was made by using DIALux software. The economic balance takes into account the investment costs and the cost of use for different time periods: 1, 20, 25 and 30 year. The aim of paper is that the results of the techno-economic analysis serve as a reference in system maintaining and implementation of energy efficiency measures.*

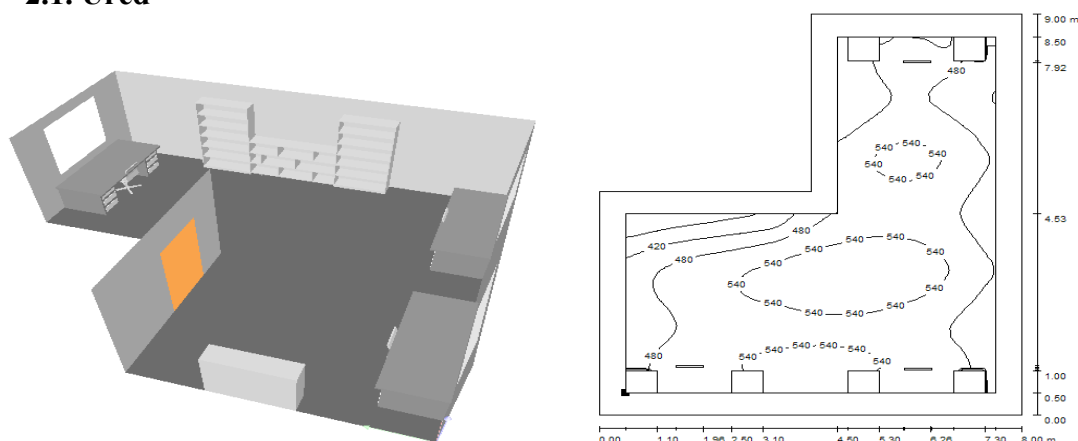
## 1. UVOD

Rasvjeta ima važnu ulogu unutar poslovnog objekta jer oko kontrolira 90% aktivnosti. Većina rasvjete koju koristimo je po današnjim standardima neučinkovita i zastarjela što je glavni razlog za sve veće korištenje različitih učinkovitijih rasvjetnih tijela koja imaju dulji životni vijek. Rad iznalazi optimalno rješenje rasvjete najčešćih oblika poslovnih prostora pomoću proračuna, usporedbe i tehno-ekonomske analize [1], [2]. Svjetlo-tehnički proračun namijenjen je za analizu ispunjenja zahtjeva postavljenih pred rasvjetna tijela: dobra osvjetljenost, ravnomjerna sjajnost, izbjegavanje bliještanja i sjena i udobnost svjetla – boje. Najvažniji zahtjev je dobra osvjetljenost koja se razlikuje o namjeni prostorije. Zahtjevi rasvjete zadane su normom HRN EN 12464-1, a provedena tehno-ekonomska analiza prikazuje isplativost pojedinih oblika rasvjete u vremenskom periodu od 1, 20, 25 i 30 godina uzimajući u obzir potrošnju električne energije, investiciju i održavanje sustava, [3].

## 2. SVJETLOTEHNIČKI PRORAČUN

Svjetlo-tehnički proračun izvršen je programskim alatom DIALux koji se inače koristi za modeliranje interijera i eksterijera, te za proračun rasvjete modeliranog prostora. Usporedbenom analizom projekta rasvjete analizirano je nekoliko interijera: ured, konferencijska dvorana i trgovina odjećom. Rasvjetne komponente su proizvoljno određene pri čemu se vodilo računa o propisanim razinama osvjetljenosti. Radi udovoljenja europskim standardima korištene su Phillipsove svjetiljke u proračunima ureda. Svjetlotehnički proračun proveden je upotrebom 5 vrsta rasvjetnih tijela: fluorescentne cijevi (TL5) FLUO, štedne žarulje CFL, halogene žarulje, LED žarulje i LED cijevi, tablica 1. Pri odabiru rasvjetnih tijela i samih izvora svjetlosti zadovoljeni su parametri rasvjete propisani europskim standardom EN12464, [3].

### 2.1. Ured



SI.1: 3D model ureda sa izolux krivuljama

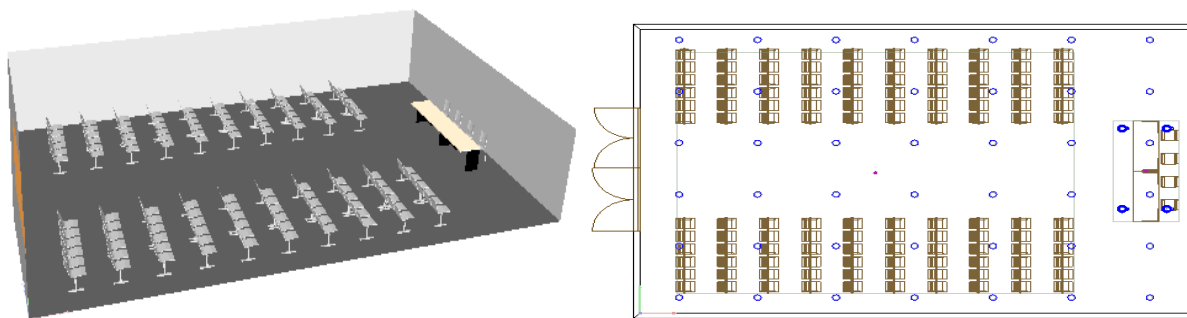
Tab.1: Rasvjete korištena u modeliranju prostora ureda

Vrsta rasvjete	Rasvjetno tijelo	Količina	Osvjetljenost		
			Srednja	Min.	Max.
Fluorescentne cijevi FLUO	TBS462 3xTL5-24W HFP O	18	502	301	583
Štedne žarulje CFL	FBS261 2xPL-C/4P 26W HFP M	33	500	323	562
Halogene žarulje	MBS145 C 1xCDM-T 35W	24	502	280	617
LED žarulje	BBG464 1xLED-40--4200-GU10	184	498	351	531
LED cijevi	TBS462 2xTL5-25W HFP O	18	500	303	605

Model ureda prikazan je slikom 1. koja ujedno daje i razine osvjetljenosti u prostoriji. Tablica 1 pruža informacije o vrstama rasvjete korištenih u analizi kao i broj potrebnih rasvjetnih tijela.

## 2.2. Konferencijska dvorana

Konferencijska dvorana je modelirana kao prostor 16,60 m x 11,20 m, visine 2,80 m. Pri projektiranju rasvjete, osvjetljenost pozornice se kreće od 700 lx do 1000 lx, a prostor slušatelja oko 300 lx.

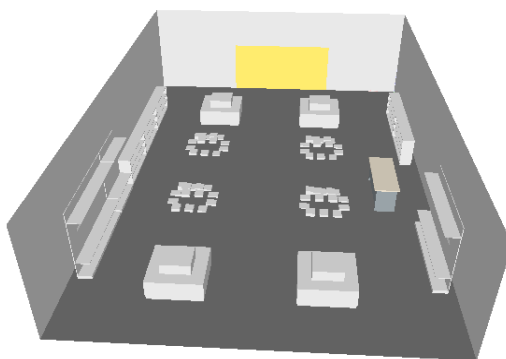


*Sl. 2: 3D model konferencijske dvorane s rasporedom štedne rasvjete*

Slika 2 kao primjer rasporeda rasvjetnih tijela prikazuje štedne žarulje. Kako bi se zadovoljili zahtjevi rasvjete koristile su se dvije vrste rasvjetnih tijela. Za slušatelje je korištena rasvjeta sa slabijim svjetlosnim tokom u odnosu na rasvjetu pozornice. Prilikom modeliranja, a zbog visine prostora, posebna pažnja je posvećena širini snopa pojedinih rasvjetnih tijela

## 2.3. Trgovina odjećom

Trgovina odjećom zamišljena je kao sastavni dio trgovačkog centra bez dotoka dnevnog svjetla. Modelirana je u obliku kvadrata 10 m x 15m, visine 3,50 m. Pri projektiranju rasvjete pazilo se da osvjetljenost bude od 1000 lx do 1200 lx radi bržeg i bolje opažanja kupaca.



*Sl.3: 3D prikaz trgovine odjećom*

## 3. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA

Tehno-ekonomska analiza rasvjete proučava investicijske i uporabne troškove na tehničkom projektu. Zadatak tehno-ekonomske analize je pronalaženje investicijskog optimuma.

### 3.1. Investicijski troškovi

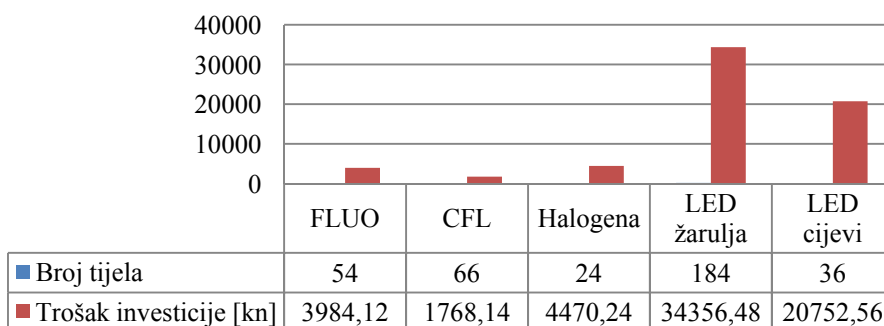
Investicijski troškovi su troškovi neophodni za uspostavu cjelovitog novog ili moderniziranog svjetlo-tehničkog rješenja. Oni uključuju troškove: svjetiljke i žarulje, uređaja automatske kontrole, kabele i instalacije, troškove puštanja u rad, provjeru i podešavanje automatske kontrole, ispitivanje i mjerenje osvjetljenosti, [4]. Investicijske troškove iskazujemo izrazom:

$$I = p \cdot n_z \text{ [kn]}$$

gdje su: I - investicija  
p - cijena žarulja  
n - broj žarulja

#### 3.1.1. Investicija rasvjete za ured

Cijena investicije rasvjete ureda s različitim tehnologijom rasvjete prikazana je slikom 4. Pri odabiru rasvjete ispunjeni su uvjeti svjetlo-tehničkog proračuna. Investicija rasvjete sa fluorescentnim cijevima uzima u obzir i cijene armature (startera i prigušnice). Najskuplju investiciju predstavljaju LED žarulje i LED cijevi. LED žarulje imaju mali svjetlosni tok i najčešće se koriste u kombinaciji s drugim oblicima rasvjete.



**Sl. 4.** Trošak investicije za pojedina rješenja rasvjete ureda

#### 3.1.2. Investicija rasvjete za konferencijsku dvoranu

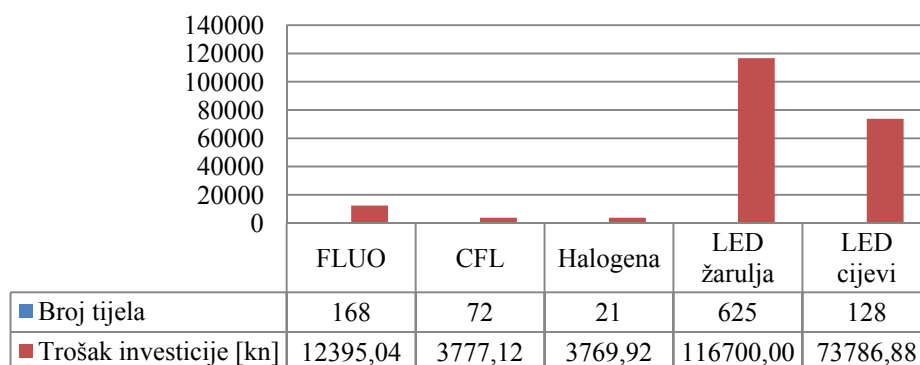
Investicijski trošak rasvjete konferencijske dvorane prikazana je u tablici 2. Pri odabiru rasvjete uvaženi su svi uvjeti svjetlo-tehničkog proračuna.

**Tab. 2:** Prikaz cijene investicije za pojedine vrste rasvjete konferencijske dvorane

Vrsta rasvjete	Snaga [W]	Broj rasvjetnih tijela	Broj žarulja	Cijena po žarulji [kn]	Cijena investicije po žarulji [kn]	Ukupna cijena investicije [kn]
FLUO	14	25	75	71,93	5 394,75	5 473,71
	73	1	1	78,96	78,96	
CFL	26	42	84	46,70	4 016,20	4 576,60
	26	4	12	46,70	560,40	
Halogena	35	30	30	178,12	5 346,00	5 880,36
	70	3	3	178,12	534,36	
LED žarulje	6	210	210	185,96	39 052,02	42 771,22
	6	20	20	185,96	3 719,20	
LED cijevi	25	18	54	573,74	30 981,96	35 571,88
	25	2	8	573,74	4 589,92	

### 3.1.3. Investicija rasvjete za trgovinu odjećom

Cijena investicije rasvjete trgovine prikazana je na slici 5. Pri odabiru rasvjete ispunjeni su svi uvjeti svjetlo-tehničkog proračuna.



Sl. 5: Trošak investicije za pojedina rješenja rasvjete trgovine odjećom

## 3.2. Uporabni troškovi

Uporabni troškovi uključuju troškove energije, održavanje (zamjenu dotrajalih svjetiljki ili zamjenu bilo koje druge dotrajale komponente). Ostvarene uštede pojavljuju se u obliku smanjenja troškova energije te smanjenja troškova održavanja ili zamjene dotrajalih žarulja. Troškovi električne energije za „n“ godina zavise od godišnje potrošnje i jedinične cijene električne energije.

$$K_e = \left( E_{god} \cdot C_e \right) \cdot n_{god} [kn]$$

$E_{god} [kWh/god]$  - godišnja potrošnja električne energije

$C_e [kn/kWh]$  - jedinična cijena električne energije

$n_{god} [god]$  - broj godina

Jedinična cijena energije ovisi o tarifnom sustavu (jednotarifni, dvotarifni ili mjerenje s mjernom grupom). Za potrebe analize odabran je jednotarifni model s cijenom električne energije 1,05 kn/kWh. Ukupne troškove ( $K_{uk}$ ) za „n“ godina iskazujemo izrazom:

$$K_{uk} = K_e + n_{god}^{\check{z}} \cdot I [kn]$$

$n_{god}^{\check{z}}$  - broj zamijenjenih žarulja godišnje

$I [kn]$  - jedinična cijena žarulje

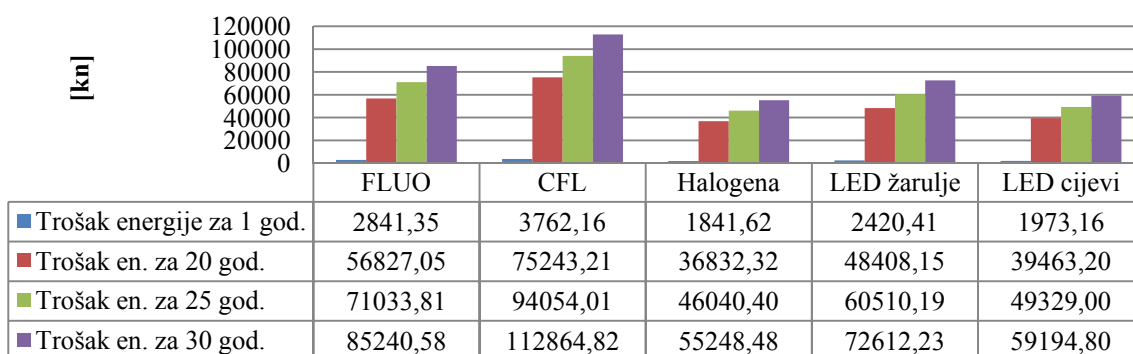
### 3.2.1. Uporabni troškovi rasvjete ureda

Ured je prostor koji se koristi u prosjeku pet dana tjedno u trajanju 8 sati. U skladu s tim izračunati su troškovi uporabe za vremenske intervale od 1, 20, 25 i 30 godina.

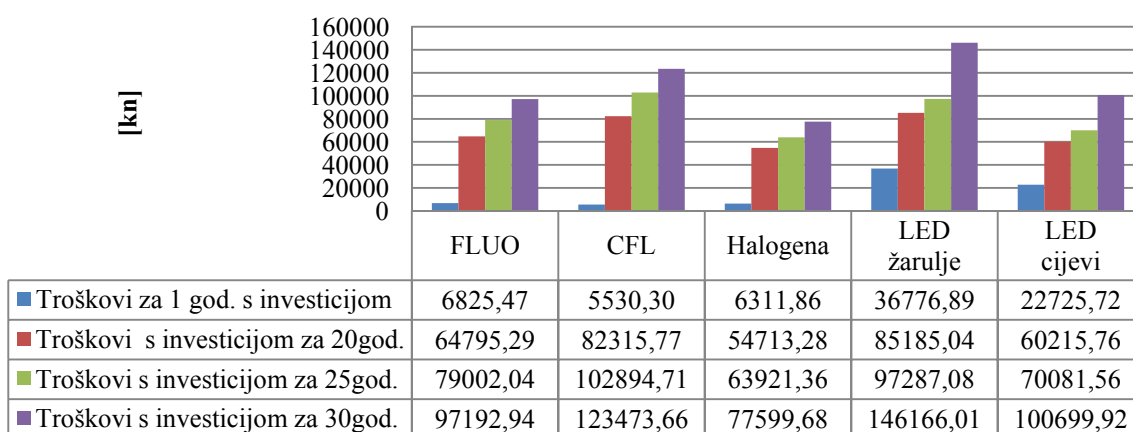
**Tab.3:** Prikaz cijene ukupnih troškova svih vrsta rasvjete za godinu dana rada ureda

Vrsta rasvjete	Prosječan dnevni rad [h]	Ukupna godišnja potrošnja [kWh]	Godišnji trošak energije [kn]	Vijek trajanja žarulje [h]	Ukupni godišnji troškovi s investicijom [kn]
FLUO	8	2 706,05	2 841,35	24000	6 825,47
CFL	8	3 583,01	3 762,16	10000	5 530,30
Halogena	8	1 753,92	1 841,62	12000	6 311,86
LED žarulje	8	2 305,15	2 420,41	40000	36 776,89
LED cijevi	8	1 879,2	1 973,16	40000	22 725,72

Iz tablice se vidi da halogene žarulje i LED cijevi imaju najmanju potrošnju električne energije. Zbog dugog životnog vijeka rasvjete tijekom prve godine uporabe nije potrebno mijenjati žarulje. Iz provedene analize vidi se da su u prvoj godini korištenja najisplativije štedne žarulje zbog manje investicije u odnosu na ostale vrste rasvjete. Slike 6 i 7. prikazuju troškove i potrošnju električne energije za intervale 20, 25, 30 godina. Može se zaključiti da je optimalna investicija u halogenu rasvjetu



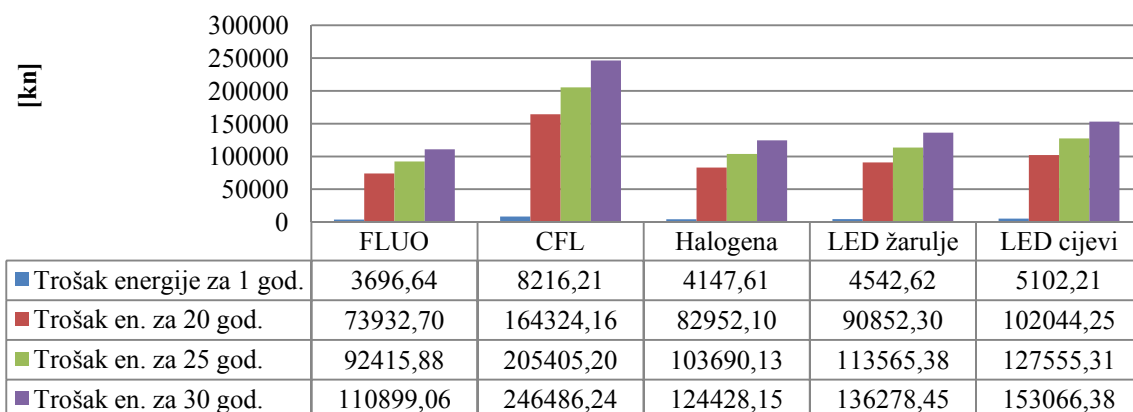
**Sl.6:** Potrošnja električne energije rasvjete ureda



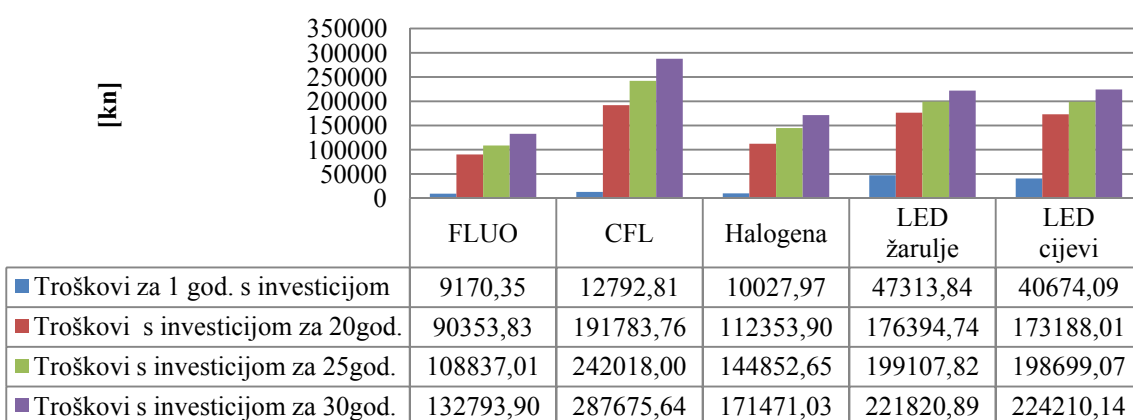
**Sl.7:** Ukupni troškovi ureda

### 3.2.2. Uporabni troškovi rasvjete konferencijske dvorane

Konferencijska dvorana je prostor u upotrebi četiri dana tjedno prosječno 15 sati. Prema tome su izračunati troškovi uporabe za vremenske intervale od 1, 20, 25 i 30 godina. Preko dijagrama je prikazana potrošnja i isplativost projekta. Slika 8 i 9 pokazuju kako se isplativost investicije ponaša kroz vremenske intervale od 1, 20, 25 i 30 godina. Iz slika možemo zaključiti da je optimalna investicija u rasvjetu dvorane upotrebom fluorescentnih cijevi.



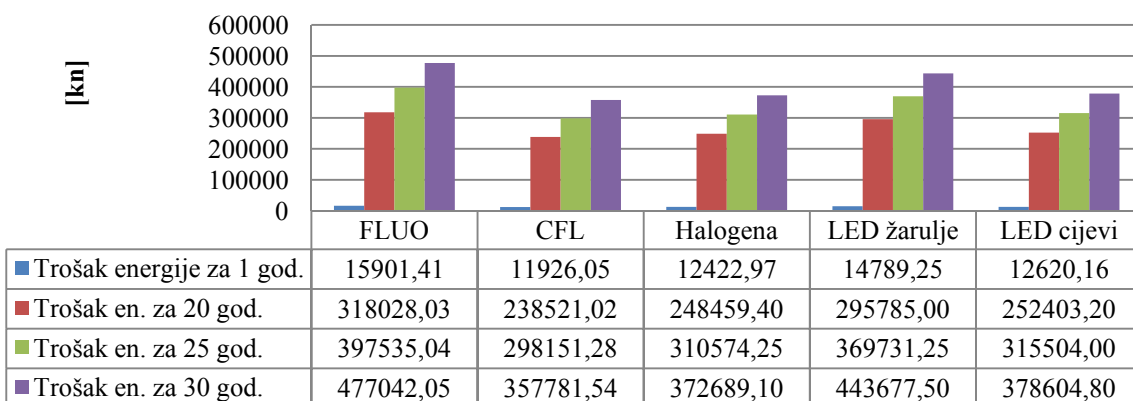
*SL.8: Potrošnja električne energije rasvjete konferencijske dvorane*



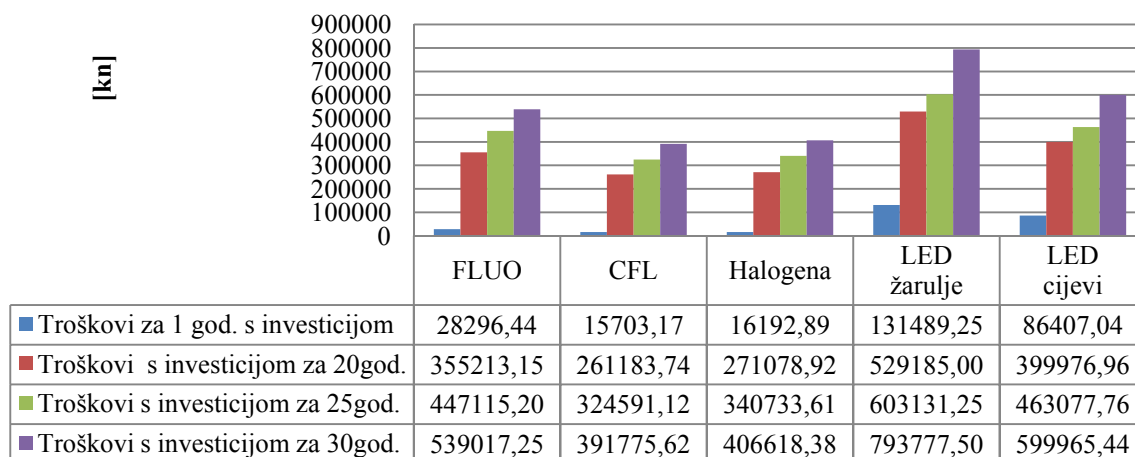
*SL.9: Ukupni troškovi rasvjete konferencijske dvorane*

### 3.2.3. Uporabni troškovi rasvjete trgovine odjećom

Trgovina odjećom je prostorija koja radi 6 dana u tjednu 12 sati dnevno. Prema tome su izračunati troškovi uporabe za vremenske intervale od 1, 20, 25 i 30 godina. Iz dijagrama na slici 10 i 11 se vidi da je potrošnja električne energije, kao i ukupni trošak, najmanja kada upotrijebimo štedne žarulja za rasvjetu. Slike 10 i 11 pokazuju isplativost kroz vremenski period od 20, 25 i 30 godina.



*SL.10: Potrošnja električne energije rasvjete trgovine odjećom*



*Sl.11: Ukupni troškovi rasvjete trgovine odjećom*

## ZAKLJUČAK

Rasvjeta svoj zvanični razvoj započinje prvim patentom električne žarulje 1878. godine. Od tog dana do danas sustavi rasvjete konstantno bilježe poboljšanje energetske učinkovitosti. U trenutku kada se mislilo da će pojedini oblici rasvjetnih tijela imati nezavisni razvoj, Philips 1976. godine izbacuje prvu štednu žarulju CFL. U članicama EU od rujna 2012. upravo ta štedna žarulja postaje standardna zamjena za dosadašnje oblike rasvjete i nije više dopuštena proizvodnja klasičnih žarulja.

U radu je načinjena tehno-ekonomska analiza rasvjete tri najčešća oblika poslovnih objekata gdje ekonomska ušteda nije opcija, već imperativ. Iznalaženje optimalnog tehničkog rješenja rasvjete napravljeno je upotrebom programa DIALux. Ekonomska bilanca uzima u obzir investicije i uporabne troškove za različita vremenska razdoblja životnog vijeka od godinu, 20, 25 i 30 godina. Na osnovu provedene analize možemo zaključiti koji su energetske najisplativiji oblici rasvjete za modelirane prostore u ovom trenutku. Analiza ukazuje na to da je LED rasvjeta u svim slučajevima energetske neisplativa. Razlog tome je što LED rasvjeta pripada kategoriji novih tehnologija koje su investicijski zahtjevne u odnosu na ostale oblike rasvjete. Kroz provedenu tehno – ekonomsku analizu razvidno je da se za rasvjetu visoke prostorije, poput trgovina odjećom, kao optimalan izbor nameću štedne žarulje, halogene žarulje su najisplativiji odabir za rasvjetu malih prostora (ureda), a za velike prostorije (dvorane, sale) najisplativija je upotreba fluorescentnih cijevi.

Zaključci ovog rada mogu poslužiti kao referentna odrednica prilikom donošenja odluka u procesu održavanja sustava rasvjete kao i pri realizaciji potencijalnih mjera energetske učinkovitosti na postojećim sustavima rasvjete.

## LITERATURA

- [1] [www.sau.ac.me/ARHEM/SV3.ppt](http://www.sau.ac.me/ARHEM/SV3.ppt)
- [2] [http://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/Er\\_2%5B1%5D.pdf](http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Er_2%5B1%5D.pdf)
- [3] <http://www.sau.ac.me/ARHEM/ELEKTROINST3.pdf>
- [4] <http://www.gradimo.hr/clanak/ucinkoviti-sustavi-rasvjete/18573>
- [5] [http://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dna\\_%C5%BEarulja](http://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dna_%C5%BEarulja)
- [6] <http://www.gradimo.hr/clanak/halogena-rasvjeta-ndash-atraktivna-sjaj/24289>
- [7] <http://www.telekra.hr/rasvjeta-poslovnih-objekata/25-rasvjeta-poslovnih-objekata.html>
- [8] <http://www.levels-lighting.com/tema.htm>