

Ivica Čabraja  
Elektrotehnički fakultet Osijek  
[icabraja@etfos.hr](mailto:icabraja@etfos.hr)

Krešimir Tačković  
HEP – ODS Elektroslavonija Osijek  
[kresimir.tackovic@hep.hr](mailto:kresimir.tackovic@hep.hr)

Hrvoje Glavaš  
Elektrotehnički fakultet Osijek  
[hrvoje.glavas@etfos.hr](mailto:hrvoje.glavas@etfos.hr)

Ivica Petrović  
HOPS Prijenosno područje Osijek  
[ivica.petrovic@hops.hr](mailto:ivica.petrovic@hops.hr)

## ANALIZA RASVJETE UNUTARNJEG RADNOG PROSTORA I USKLAĐENOSTI SA HRN EN 12464-1

### SAŽETAK

Rad pruža analizu zatečenog stanja rasvjete školske učionice koja se sukladno normi HRN EN 12464 klasificira kao rasvjeta unutarnjeg radnog prostora. Analiza je izvršena upotrebom RELUX programa a za svoj cilj ima omogućiti jednostavnu usporedbu implementacije mogućih mjera energetske učinkovitosti u smislu zamjene rasvjetnih tijela. Česta je pojava da se rasvjetne armature zamjenjuju novima u sklopu održavanja bez valjanog projekta. Upotrebom RELUX programa na jednostavan način uspoređena je zamjena postojećih armatura s dva različita tipa energetski učinkovitijih izvora svjetlosti. Na taj način provjerena je usklađenost sa normom i smanjenje instalirane snage koje rezultira energetske uštedama

**Ključne riječi:** energetska učinkovitost, rasvjeta, HRN EN 12464, RELUX

## ANALYSIS OF LIGHTING OF WORK AREA AND COMPLIANCE WITH EN 12464-1

### SUMMARY

The work provides an analysis of school classrooms lighting and compliance with EN 12464 standard for interior workspace lighting. The analysis was performed using RELUX program and has for goal easy comparison of possible implementation of energy efficiency measures in terms of replacement of lighting fixtures. It's common that the lighting fittings are replaced with new ones as part of the maintenance without project. Using RELUX program it is easily to compare replacement of existing fixtures with two different types of energy efficient light sources. In this way compliance with the standard was checked and the reduction of installed capacity which result with energy savings.

**Keywords:** energy efficiency, lighting, EN 12464, RELUX

## 1. UVOD

Električna rasvjeta je važan tehnički podsustav svake građevine jer svojim radom omogućuje svakodnevne aktivnosti tj. kondicioniranje unutar prostora. Vizualni podražaji predstavljaju više od polovice svih informacija koje primamo iz prostora. Razina rasvjete prostora sukladno važećim normama omogućuje normalan rad svim dobnim skupinama. Tijekom godina standardni iznosi razine rasvjete su se povećali što predstavlja izazov u implementaciji mjera energetske učinkovitosti tijekom rekonstrukcije postojeće rasvjete. Često se događa da prilikom rekonstrukcije i zamjene visećih rasvjetnih tijela sa žarnom niti imamo veću instaliranu snagu nego što je to bilo prije rekonstrukcije. Iz tog razloga neophodno je za svaki pojedinačni slučaj provesti proračun usklađenosti sa normom HRN EN 12464. Cilj rada je da se na primjeru školske učionice koja se klasificira kao radni prostor izvrši analiza implementacije mjera energetske učinkovitosti u obliku zamjene rasvjetnog tijela. Postavljena su tri zadatka. Prvi zadatak je izvršiti analizu zatečenog stanja i izvršiti modeliranje u programu RELUX te odrediti razine rasvijetljenosti i njihovu usklađenost s normom. Drugi zadatak je unutar modela zamijeniti rasvjetna tijela učinkovitijim i provesti prethodno navedenu analizu s ciljem utvrđivanja novonastale situacije u pogledu smanjenja instalirane snage i udovoljenju kriterija rasvijetljenosti. Treći zadatak predstavlja implementaciju LED rasvjete kao trenutno komercijalno najučinkovitijeg izvora svjetlosti.

## 2. PRORAČUN RAZINE RASVIJETLJENOSTI

Proračun razine rasvijetljenosti provodi se uzimajući u obzir tehničke karakteristike sustava rasvjete pri čemu je potrebno definirati srednju rasvijetljenost  $E_m$  [lx], sukladno normi kao i adekvatnu jednoličnost rasvijetljenosti  $U_0$  koja je definirana omjerom minimalne i prosječne rasvijetljenosti ( $E_{min}/E_m$ ). Osim srednje vrijednosti rasvijetljenosti i jednoličnosti neophodno je odrediti i kontrolu bliještanja pri čemu se razlikuje psihološko bliještanje (utječe na vizualne performanse) i neugodno bliještanje (uzrokuje umor korisnika prostora). U sklopu projekta proračunom se određuje potreban broj svjetiljaka te karakteristike izvora svjetlosti radi određivanja razine rasvijetljenosti. Razina srednje rasvijetljenosti na radnoj plohi može se iskazati izrazom (1).

$$E_m = \frac{n_s \cdot n_l \cdot \Phi \cdot \eta_L \cdot \eta_R \cdot f}{a \cdot b} \quad (1)$$

gdje su:

- $n_s$  – broj svjetiljaka
- $n_l$  – broj izvora svjetlosti u svjetiljci
- $\Phi$  – svjetlosni tok izvora svjetlosti
- $\eta_L$  – pogonska iskoristivost svjetiljke
- $\eta_R$  – faktor iskoristivosti prostora (pokazuje odnos između svjetlosnog toka svjetiljke i svjetlosnog toka koji pada na radnu plohu)
- $f$  – faktor održavanja prostora
- $a, b$  – dimenzije prostorije

Određivanje potrebnog broja svjetiljki za nazivnu rasvijetljenost možemo utvrditi sukladno izrazu (2),

$$n_s = \frac{a \cdot b \cdot E_m}{n_l \cdot \Phi \cdot \eta_L \cdot \eta_R \cdot f} \quad (2)$$

Uz srednju rasvijetljenost, norma HRN EN 12464-1:2012 propisuje i određene klase kontrole bliještanja. Krivulje bliještanja (Söller krivulje) dostupne su od proizvođača svjetiljaka i razlikuju se od vrste svjetiljke. Ograničenje bliještanja ovisi o nivou rasvijetljenosti i položaju svjetiljke u odnosu na promatrača. Krivulja bliještanja određuje rezultat samo jedne svjetiljke, a ne cijelog sustava, tako da je razvijena metoda UGR (Unified Glare Rating) koja uzima u obzir utjecaj svih svjetiljaka i sjajnost pozadine. UGR možemo iskazati kao pomoću izraza (3):

$$UGR = 8 \log \left( 0, \frac{25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (3)$$

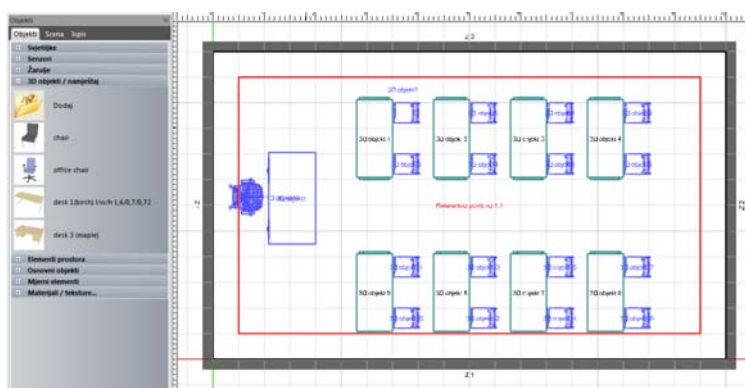
gdje su:

- $L_b$  – sjajnost pozadine;
- $L$  – sjajnost svjetiljke u smjeru promatrača;
- $\omega$  – prostorni kut promatrača (između  $45^\circ$  i  $85^\circ$ );
- $p$  – Guth indeks

Stoga je prilikom izbora rasvjetnih htjela potrebno voditi računa o zasjenjenju i usmjerenosti izvora svjetlosti. Osim toga, posebno su važni temperatura svjetlosti i uzvrat boje  $R_a$ . Temperatura boje određuje percepciju boje predmeta sukladno kontekstu u kojem se predmet nalazi. Tu pojavu nazivamo kromatska indukcija. Percepcija boje pojedinih predmeta u prozoru ovisi o koeficijentu uzvrata boje koji na određeni način govori o spektralnom sastavu izvora svjetlosti. Različite percepcije boja u ovisnosti o osvjetljenju nazivamo metamerizam, [3]. Usprkos velikom broju različitih nijansi boja naš vidni sustav u stanju je sa sigurnošću razlikovati samo 6 boja.

### 3. RELUX PROGRAMSKA PODRŠKA ZA ANALIZU SVJETLOSNIH VELIČINA

RELUX programska podrška omogućava proračun rasvjete na jednostavan i brz način. Pokretanjem programa i izborom novog projekta započinjemo odabir vrste prostora ili instalacije za koju namjeravamo provesti proračun. U drugom koraku opisujemo projekt, a u trećem koraku definiramo parametre i oblik prostora. Podaci se mogu unijeti kao gotove dwg podloge ili pozadinske slike. Kod definiranja parametara unosa, prema normi HRN EN 12464-1:2012, potrebno je definirati virtualnu plohu gdje će se prikazati mjereni rezultati, te definirati visinu referentne površine, pomak od zidova, kao i materijale i boje prostora. Tlocrtni prikaz modela prostora modela vidljiv je na slici 1, a trodimenzionalni prikaz s elementima u prostoru na slici 2.



Slika 1: Tlocrt analiziranog prostora sa elementima u prostoru

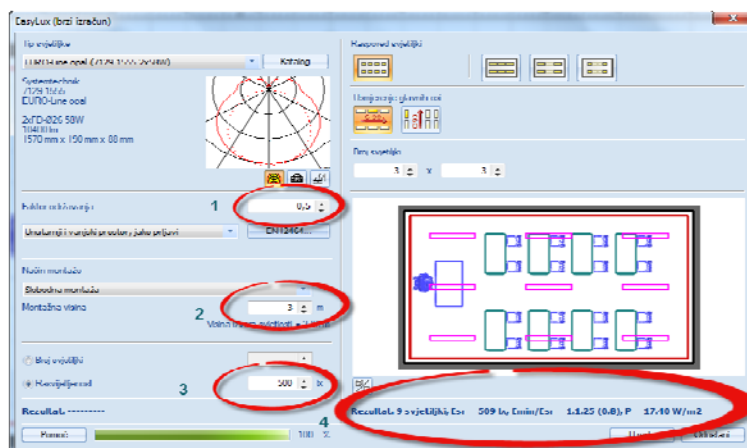


Slika 2. Prostorni prikaz modela sa elementima u prostoru

Na slici 2 prikazan je izgled prostora u trodimenzionalnom pogledu gdje je vidljiva visina referentne površine u ravnini radne površine stolova u učionici kao i referentnih površina na zidovima.

#### 3.1. Analiza zatečenog stanja

Analiza zatečenog stanja svodi se na određivanje parametara rasvjetljenosti u sklopu modela napravljenog na osnovu zatečenog stanja postojeće rasvjete učionice. Za ovaj izračun uzima se faktor održavanja 0,5 pod pretpostavkom da su svjetiljke slabo održavane, stare i prljave. Postojeća rasvjetna tijela u analiziranoj prostoriji su fluorescentne cijevi T26 sa kućištem od opalnog stakla. Neophodno je u modelu voditi računa o visini montaže armature, materijalu rastera ili poklopca, te uzeti u obzir starost svjetiljke i faktor održavanja. Kod izračuna rasvjetljenosti postoje više mogućnosti izračuna, jedna od njih prikazan je na slici 3. EasyLux je opcija u kojoj se rasvjetna tijela automatski raspoređuju u raster prema zadanim parametrima.



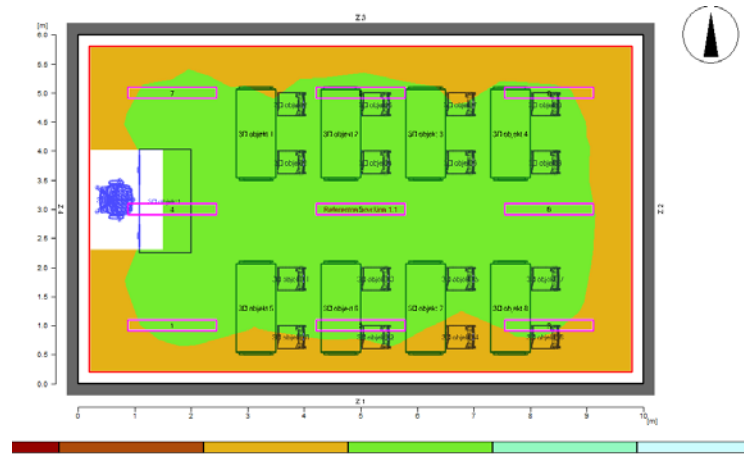
Slika 3: EasyLux brzi izračun

Parametri za izvođenje proračuna prikazani na slici 3 su: 1 - Faktor održavanja određuje se prema periodičnim intervalima čišćenja i korištenju prostora (vrlo čisti prostor, čisti prostor, vanjska instalacija i jako prljavi prostor), 2 - Visina montaže rasvjetnih tijela gdje se dobije visina izvora svjetlosti; 3 - Određivanje željene rasvjetljenosti na referentnoj površini, prema normi HRN-EN 12464-1; 4 - rezultat proračuna. Vizualizacija prostora vidljiva je na slici 4.



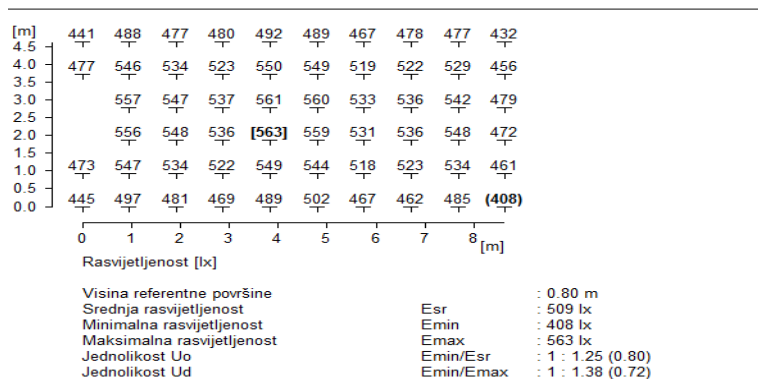
Slika 4. Vizualizacija modeliranog prostora

Rezultati proračuna dobiju se u obliku razine prostorne rasvjetljenosti prikazane slikom 5 i tekstualnog opisa.



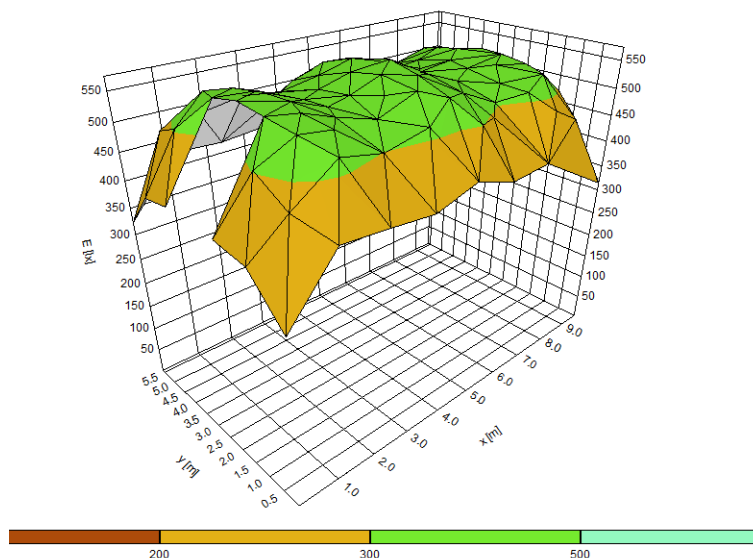
Slika 5: Prikaz pseudo boja na referentnoj površini

Tekstualni opis za spomenutu površinu i svjetiljke EURO-Line opal, tipske oznake 7129 1555, i žaruljama 2 x FD-Ø26 58W / 5200lm, rezultira sa: ukupnim svjetlosnim tokom svih žarulja je 93600 lm, ukupnom snagom 1044 W, ukupna snaga po površini (60 m<sup>2</sup>) iznosi 17,40 W/m<sup>2</sup>. Srednja rasvjetljenost  $E_m=509$  lx, minimalna rasvjetljenost  $E_{min}=408$  lx, maksimalna rasvjetljenost  $E_{max}=563$  lx, jednolika rasvjetljenost  $U_o=E_{min}/E_{av}=0,80$ , jednolikost  $U_d=E_{min}/E_{max}=0,72$ , faktor blještanja  **$UGR \leq 20,6$** . Rasvjetljenost stropa 330 lx, rasvjetljenost zidova u rasponu od 360 lx do 403 lx. Rezultati simulacije mogu se prikazati i u tabličnom obliku, slika 5



Slika 6. Tablični prikaz rasvjetljenosti na referentnoj površini

Osim navedenog moguće je rezultate iskazati izolux krivuljama, ali i trodimenzionalno kao na slici 7.



Slika 7: Trodimenzionalni prikaz raspodjele svjetlosti

Iz slike 6 i 7 razvidno je da vrijednosti rasvjetljenosti udovoljavaju uvjetima norme te da je instalirana rasvjeta učionice adekvatna zadacima koji se u prostoru odvijaju.

### 3.2. Analiza zamjene rasvjetnih tijela učinkovitijim

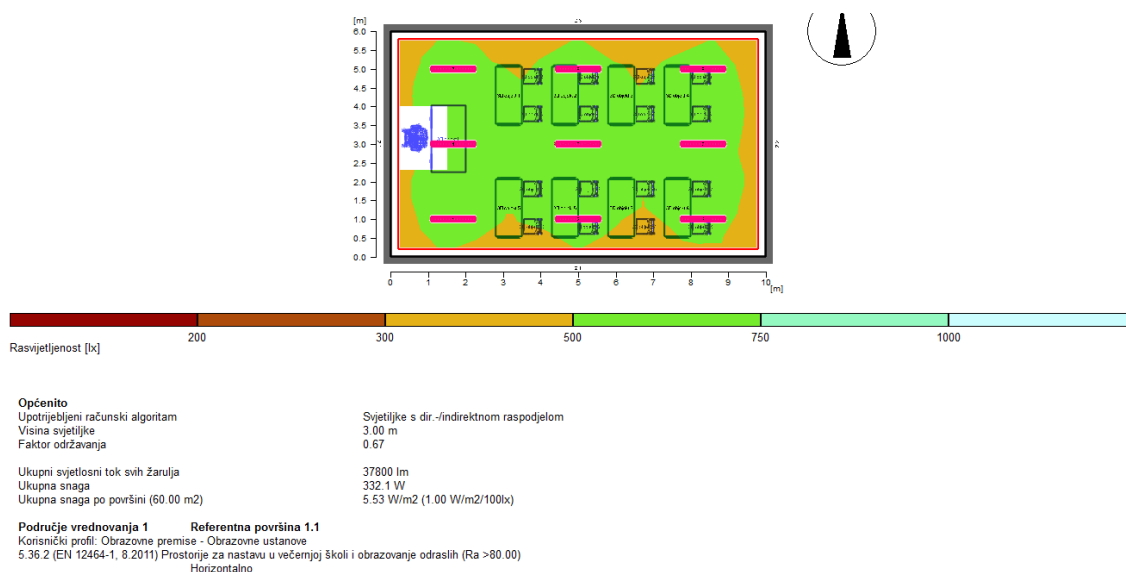
Zamjenom rasvjetnih tijela energetski učinkovitijim armaturama provedena je zadržavajući zatečeni prostorni raspored. Za analizu odabran je svjetiljka Comfolight 2, tipske oznake 5MF23475HS, sa žaruljama 2 x T16 18W/840 (OSRAM) 28W / 2600 lm. Rezultati simulacije sa faktorom održavanja 0.67 rezultiraju sa ukupnim svjetlosnim tokom svih žarulja 46800 lm, instaliranom snagom 567 W, ukupnom snagom po površini (60 m<sup>2</sup>) 9,45 W/m<sup>2</sup>. srednjom rasvjetljenost  $E_m=793$  lx, minimalnom rasvjetljenost  $E_{min}=619$  lx, jednolika rasvjetljenost  $U_0=E_{min}/E_{av}=0,78$ , jednolikost  $U_d=E_{min}/E_{max}=0,70$ , faktorom blještanja  **$UGR \leq 14,5$** , rasvjetljenost stropa 689 lx, rasvjetljenost zidova u rasponu od 529 lx do 539 lx. Slika 8 prikazuje tablične rezultate simulacije

<b>Općenito</b>		
Upotrijebljeni računski algoritam	Visoki indirektni udio	
Visina svjetiljke	3.00 m	
Faktor održavanja	0.67	
Ukupni svjetlosni tok svih žarulja		46800 lm
Ukupna snaga		567.0 W
Ukupna snaga po površini (60.00 m2)		9.45 W/m2 (1.19 W/m2/100lx)
<b>Područje vrednovanja 1</b>		<b>Referentna površina 1.1</b>
Korisnički profil: Obrazovne premise - Obrazovne ustanove		
5.36.2 (EN 12464-1, 8.2011) Prostorije za nastavu u većemjnoj školi i obrazovanje odraslih (Ra >80.00)		
Horizontalno		
Eavg	793 lx	(>= 500 lx)
Emin	619 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.78	(>= 0.60)
Emin/Emaks (Ud)	0.70	
UGR (5.7H 3.4H)	<=14.5	(< 19.00)
Pozicija	0.80 m	
<b>Glavne površine</b>		<b>Uo</b>
Mp 1.5 (Strop)	Eavg 689 lx	0.80
Mp 1.1 (Zid)	534 lx	0.65
Mp 1.2 (Zid)	529 lx	0.87
Mp 1.3 (Zid)	539 lx	0.82
Mp 1.4 (Zid)	536 lx	0.65
<b>Tip Kom. Proizvod</b>		
4	9	<b>Siteco</b>
		Tipaska oznaka : 5MF23475HS
		Naziv svjetiljke : Comfolight® 2
		Žarulje : 2 x T16 28W/840 (OSRAM) 28W / 2600 lm

Slika 8: Rezultati simulacije na modelu s energetske učinkovitijom rasvjetom

### 3.2. Analiza zamjene rasvjetnih tijela učinkovitom LED tehnologijom

Treći zadatak analize rada predstavlja implementaciju LED rasvjete kao trenutno komercijalno najučinkovitijeg izvora svjetlosti. Proračuna rasvjetljenosti izrađen je sa LED izvorima svjetlosti manje nazivne snage na istim pozicijama i visini montaže. Odabrali smo svjetiljke Comfit M LED, tipske oznake 5LF1B71ZWN, sa žaruljama 1 x LED 4000k/4200lm. Faktor održavanja je 0,67. Ukupni svjetlosni tok svih žarulja je 37800 lm, ukupna snaga 332,1 W, ukupna snaga po površini (60 m<sup>2</sup>) bila je 5,53 W/m<sup>2</sup>. Srednja rasvjetljenost  $E_m=556$  lx, minimalna rasvjetljenost  $E_{min}=429$  lx, jednolika rasvjetljenost  $U_o=E_{min}/E_{av}=0,77$ , jednolikost  $U_d=E_{min}/E_{max}=0,70$ , faktor blještanja  **$UGR \leq 18,5$**  Rasvjetljenost stropa 209 lx, rasvjetljenost zidova u rasponu od 230 lx do 238 lx.



Slika 2.9: Pregled rasvjetljenosti radnog prostora svjetiljkama sa LED izvorima

### 3.3. Analiza potrošnje električne energije modeliranog sustava rasvjete

Dobiveni izračuni svjetlosnih veličina zatečenog stanja su u granicama propisanih normom sa snagom 17,40 W/m<sup>2</sup>. Izmjenom rasvjetnih tijela instalirana snaga pada na 9,45 W/m<sup>2</sup> što je smanjenje od 45%. Analiza ugradnje LED izvora svjetlosti rezultira instaliranom snagom 5,40 W/m<sup>2</sup> što je 30% instalirane snage zatečenog stanja. Kako bi se utvrdile energetske uštede potrebno je utvrditi vrijeme rada sustava. Pretpostavlja se da je vrijeme rada tijekom školske godine 1200 sati (školska godina traje 10 mjeseci, uz prosječno vrijeme rada svjetiljke od 6 sati dnevno). Sukladno izrazu (4) može se iskazati potrošenu električnu energiju u [kWh] za vrijeme školske godine.

$$W = (n_s \cdot n_l \cdot P_l) \cdot (n_{dana} \cdot \frac{n_h}{dan})$$

(4)

gdje su za zatečeno stanje:

$n_{dana}$ -	1200 (broj radnih dana u školskoj godini-procjena)
$n_{h/dan}$ -	6 (procjena broja radnih sati svjetiljki u danu)
$P_l$ -	58 W (instalirana snaga izvora svjetlosti)
$n_l$ -	2 (broj izvora svjetlosti u svjetiljci)
$n_s$ -	9 (broj svjetiljki)

Godišnja potrošnja energije zatečenog stanja iznosi 1248 [kWh], zamjenom armatura energetski učinkovitijim godišnja potrošnja energije iznosi 600 [kWh], a implementacijom LED tehnologije godišnja potrošnja energije iznosi 388 [kWh]. Navedene vrijednosti u kombinaciji s troškovnicima implementacije navedenih mjera predstavljaju ulazne podatke daljnje analize jednostavnog povratnog perioda investicije.

## 4. ZAKLJUČAK

Električna rasvjeta s aspekta energetske bilance predstavlja relativno skromnu potrošnju ali njena funkcija presudna je za nesmetano kondicioniranje u prostoru. Izrazito je važno da razina rasvijetljenosti bude sukladna radnim zadacima koji se odvijaju unutar prostora. Razine rasvijetljenosti definirani su normom HRN EN 12464-1:2008 Svjetlo i rasvjeta - Rasvjeta radnih mjesta - 1. dio: Unutrašnji radni prostori. Sekundarna uloga rasvjete očituje se u energetske učinkovitosti. Česta je pojava da se u postupku održavanja postojeće instalacije provodi supstitucija rasvjetnih tijela bez analize svjetlosnog toka i usklađenosti s normom. Prilikom usklađivanja sa zahtjevima norme moguće je da se instalirana snaga sustava rasvjete poveća u odnosu na zatečeno stanje što nije bio slučaj u primjeru modela analiziranog u radu. Kao praktičan primjer odabrana je učionica kao najjednostavniji mogući primjer. Početni model se zasniva na faktoru održavanja 0,5 koji odgovara slabo održavanim prostorima. Dobiveni izračuni svjetlosnih veličina su u granicama propisanih normom, a snaga 17,40 W/m<sup>2</sup>. Izmjenom rasvjetnih tijela u sklopu postavljenog modela izračunata je rasvijetljenost sa energetski učinkovitijim armaturama postavljenim na jednakoj visini i pozicijama. Rezultati simulacije su puno bolji s značajnim smanjenjem instalirana snaga na 9,45 W/m<sup>2</sup> što je više od 45% smanjenja u odnosu na inicijalno stanje. Analiza ugradnje LED izvora svjetlosti na istoj visini i poziciji rezultira najvećom uštedom električne energije pri čemu je instalirana snaga od 5,40 W/m<sup>2</sup> što predstavlja svega 30% instalirane snage u odnosu na zatečeno stanje. Navedeni primjeri prikazuju tehničku realizaciju koja udovoljava zahtjevima norme i početni stadij iznalaženja optimalnog rješenja s aspekta energetske učinkovitosti.

## 5. LITERATURA

- [1] HRN EN 12464-1:2008 Svjetlo i rasvjeta - Rasvjeta radnih mjesta - 1. dio: Unutrašnji radni prostori
- [2] Relux Informatik AG, Fit for ReluxSuite, 09.09.2015.
- [3] rfw. kommunikation "Guide to DIN EN 12464-1" licht.de 2013.