

UŠTEDA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SISTEMU JAVNE RASVJETE

Marko Ikić, Milomir Šoja, Slobodan Lubura, *Elektrotehnički fakultet u Istočnom Sarajevu*
Nenad Jovančić, *KV Team d.o.o*

Sadržaj – U ovom radu dat je pregled načina na kojima se zasniva ušteda električne energije i povećanje efikasnosti sistema javne rasvjete baziranih kako na upotrebi novih tehnologija rasvjetnih tijela tako i uređaja energetske elektronike i obnovljivih izvora električne energije.

1. UVOD

Jedan od najvećih problema sa kojim se susrela moderna civilizacija je nagli porast potreba za energijom. Uz izgradnju novih proizvodnih kapaciteta, prije svega onih koji su zasnovani na obnovljivim i ekološki prihvatljivim izvorima, najvažniji način za zadovoljenje naraslih potreba je efikasnije korišćenje postojeće energije. Najnovija istraživanja eminentnih svjetskih instituta, koji se bave problematikom vezanom za energiju, pokazuju da je primjenom savremenih tehnologija moguća ušteda oko 30% električne energije. Izuzetno značajno područje za primjenu metoda efikasnijeg korišćenja električne energije predstavlja rasvjeta, koja u ukupnoj potrošnji učestvuje sa preko 20% .

U većini jedinica lokalne uprave i samouprave (opštine) u Republici Srpskoj, javna rasvjeta se pojavljuje kao veliki (neefikasan) potrošač električne energije i značajna stavka u budžetu. Ozbiljne procjene i provedena istraživanja pokazuju da pojedine opštine u Republici Srpskoj, zavisno od veličine i stepena urbanizacije, na godišnjem nivou plaćaju električnu energiju koju potroše javne rasvjete u iznosu od nekoliko stotina hiljada do nekoliko miliona KM. Ako se tome dodaju i troškovi održavanja, koji iznose oko 50% iznosa plaćenog za energiju, dobiju se, na nivou Republike Srpske, vrtoglave cifre, bilo da se posmatraju kao KM, bilo kao kW. Treba uzeti u obzir i činjenicu da postoji jasan trend stalnog uvođenja novih javnih rasvjeta (dalje povećanje potrošnje električne energije i troškova) [1,2].

Postojeće javne rasvjete uglavnom su izvedene sa zastarjelim i neefikasnim sijalicama, koje su na kraju životnog vijeka. Iako je u nekim sredinama izvršena zamjena starih živinih sijalica sa efikasnijim natrijumskim, dobijeni efekti su znatno ispod mogućnosti koje nude najsavremenija tehnološka rješenja. Na primjer, efikasnost nove generacije sijalica veća je za 15-20% u odnosu na klasične, dok je efikasnost svjetiljki povećana sa 70% na 88%, što dovodi do kumulativnog smanjenja potrošnje električne energije od oko 35%, uz isti svjetlosni efekat. Međutim, najsavremenija rješenja zasnovana na kompaktnim fluorescentnim sijalicama (CFL) i svjetlećim diodama (LED) obećavaju smanjenje potrošnje električne energije od oko 75% [3].

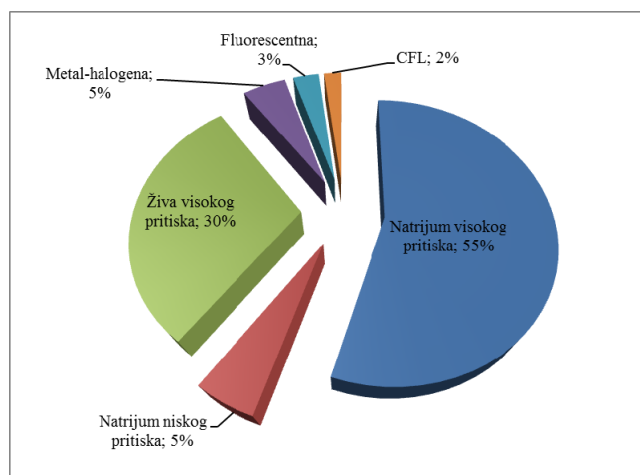
Ne treba zanemariti ni činjenicu da su postojeće javne rasvjete potrošači koji negativno utiču na kvalitet električne energije, jer im je zbog ugrađenih prigušnica faktor snage $\cos\phi$ mali, a dodavanje kondenzatora koji rješavaju taj problem zahtijeva određene troškove, a nije uvijek dovoljno efikasno.

Iz navedenog je jasno da projektovanje novih, energetski efikasnih javnih rasvjeta, i poboljšanje efikasnosti postojećih

donosi mnogobrojne koristi lokalnim zajednicama, ali i RS u cjelini, od rasterećenja ionako „mršavih“ budžeta i mogućnosti preraspodjele uštedenih sredstava, preko ekoloških (smanjenje emitovanja SO_2), do ispunjenja strogih zahtjeva koje u ovoj oblasti propisuju direktive i standardi koji važe u EU.

2. PREGLED POSTOJEĆEG STANJA JAVNE RASVJETE

Značajan dio sistema javne rasvjete na području lokalnih zajednica Republike Srpske i dalje se održava sa zastarjelim tehnološkim rješenjima počevši od sijalica do samih svjetiljki. Više od 30% svakog sistema oslanja se na rasvjetu svjetiljkama čiji je vijek trajanja odavno prošao i čije svjetlotehničke i energetske karakteristike više ne zadovoljavaju zahtjeve koje propisuju standardi. To ukratko znači da je za iste svjetlotehničke rezultate potrebno u svjetiljku postavljati znatno veću snagu sijalica nego što je to potrebno kada je riječ o novijim tehnologijama svjetiljki. Kod većine rasvjeta kao rasvjetno tijelo koristi se nekoliko različitih tipova sijalica kao što su: natrijumova sijalica visokog pritiska, natrijumova sijalica niskog pritiska, živina sijalica (visokog pritiska), metal-halogeni sijalica, fluorescentna sijalica kao i CFL. Na osnovu raspoloživih podataka sakupljenih sa terena, procjena procentualne zastupljenosti određenih rasvjetnih tijela na području opštine Istočna Ilidža data je na Sl. 1 [2].



Sl. 1. Procenat zastupljenosti različitih rasvjetnih tijela na području opštine Istočna Ilidža.

Najveći broj javnih rasvjeta se uključuje i isključuje pomoću uređaja na bazi fotoelementa (forela) koje pri određenom nivou svjetlosti uključuju odnosno isključuju rasvjete. Takvi uređaji se ne pokazuju kao najbolja rješenja jer se njihove karakteristike mijenjaju, uslijed zaprljanja senzora i rada pod različitim radnim uslovima (kao što je promjena temperature tokom godine koja srazmjerno njoj izaziva i promjenu radnog otpora fotoelementa pa samim tim

i karakteristika tog elementa), pa informaciju o nivou svjetlosti čine nepouzdanom tj. netačnom.

U ovom radu je predloženo nekoliko načina na osnovu kojih se može uštediti električna energija sistema javne rasvjete baziranih na:

- pravilnom podešavanju automata za uključivanje/isključivanje rasvjete,
- programiranom isključivanju određenih faza,
- kontinualnoj regulaciji svjetlosnog fluksa (intenziteta osvjjetljenja),
- zamjeni zastarjelih rasvjetnih tijela novijim/efikasnijim (CFL, LED).

3. NAČINI UŠTEDE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SISTEMU JAVNE RASVJETE

3.1. Pravilno podešavanje automata

Do značajnih efekata u uštedi i smanjenju potrošnje električne energije mogu dovesti jednostavni postupci, kao što je pravilno podešavanje automata za uključivanje / isključivanje rasvjete [4]. Tako jedan sat rada duže od neophodnog vremena povećava troškove električne energije za 5-10%, a smanjuje životni vijek sijalice za 2-5%, zavisno od doba godine. Efekti uštede se ogledaju, najčešće, kroz pravilno podešavanje postojećih rasvjeta koje se uključuju prije optimalnog vremena i koje se isključuju poslije njega.

Potrošnja električne energije rasvjete uvažavajući i grešku pri manipulaciji vremenom uključivanja/isključivanja, na godišnjem nivou, se može predstaviti izrazom (1):

$$E_{god} = \frac{n_s \cdot P_s \cdot \left(t_d + \frac{\Delta t}{60}\right) \cdot 365}{1000} \text{ [kWh]}, \quad (1)$$

gdje je: E_{god} - godišnja potrošnja električne energije rasvjete, n_s - broj stubova/svjetiljki rasvjete, P_s - nazivna snaga svjetiljke, t_d - optimalno vrijeme dnevnog rada rasvjete izraženo u časovima, Δt - vremenska dnevna greška uključivanja/isključivanja rasvjete izražena u minutama.

Pravilnim podešavanjem vremena uključivanja/isključenja rasvjete potrošnja električne energije može se predstaviti izrazom (2).

$$E_{god} = \frac{n_s \cdot P_s \cdot t_d \cdot 365}{1000} \text{ [kWh]}. \quad (2)$$

Ušteda koja se postiže pravilnim uključivanjem / isključivanjem rasvjete može se izraziti preko relacije (3).

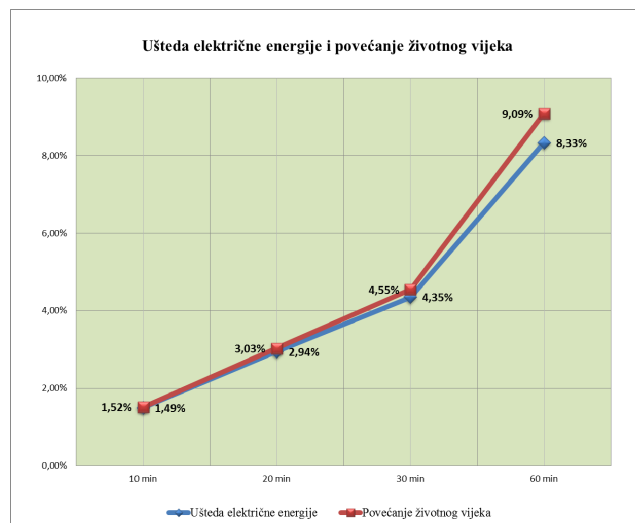
$$u_{\%} = \frac{E_{god} - E'_{god}}{E_{god}} \cdot 100\% = \frac{\frac{\Delta t}{60}}{t_d + \frac{\Delta t}{60}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

S druge strane, eliminacijom greške pri nekorektnom uključivanju / isključenju rasvjete postiže se smanjenje troškova održavanja koje se ogleda u produženju životnog vijeka rasvjete. Ukoliko je t_s deklarirano vrijeme rada svjetiljke (životni vijek), a godišnje vrijeme rada rasvjete sa greškom u manipulaciji $t_{god} = \left(t_d + \frac{\Delta t}{60}\right) \cdot 365$ [h] i bez nje

$t'_{god} = t_d \cdot 365$ [h], povećanje životnog vijeka rasvjete se može izračunati prema izrazu (4).

$$\dot{z}v_{\%} = \frac{t_{god} - t'_{god}}{t'_{god}} \cdot 100\% = \frac{\frac{\Delta t}{60}}{t_d} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Na Sl. 2. prikazane su zavisnosti procentualnog povećanja životnog vijeka rasvjete, kao i postignuta ušteda pri eliminisanju greške uključivanja / isključivanja rasvjete.



Sl. 2. Postignuta ušteda i povećanje životnog vijeka rasvjete pri pravilnom uključivanju/isključivanju rasvjete.

Sa grafika se primjećuje da čak i eliminacija greške prilikom uključivanja/isključivanja rasvjete od 10 minuta donosi uštedu i smanjenje potrošnje od 1,49%, a greška od 60 minuta dovodi do uštede od 8,33%. Samim tim, pravilnim podešavanjem automata produžava se i životni vijek rasvjete (smanjuju troškovi održavanja) od 1,52% za 10 minutnu do 9,09% za 60 minutnu grešku.

3.2. Programirano isključivanje određenih faza rasvjete

Godišnja potrošnja električne energije rasvjete sa programiranim isključivanjem određenih faza javne rasvjete može se predstaviti relacijom (5):

$$E_{god} = \frac{n_s \cdot P_s \cdot 365 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot t_{1fd} + \frac{2}{3} \cdot t_{2fd} + t_{3fd}\right)}{1000}, \quad (5)$$

gdje važi da je $t_d = t_{1fd} + t_{2fd} + t_{3fd}$, dok t_{1fd} , t_{2fd} , t_{3fd} predstavljaju ukupna dnevna vremena rada rasvjete sa uključenom jednom, dvije i tri faze respektivno. Modifikovanjem relacije (5) na način da se iskoristi i relacija (1) slijedi da je godišnja potrošnja električne energije rasvjete:

$$E_{god} = \frac{E_{god}}{t_d + \frac{\Delta t}{60}} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot t_{1fd} + \frac{2}{3} \cdot t_{2fd} + t_{3fd}\right) \text{ [kWh]}. \quad (6)$$

Pa se na osnovu izraza (1) i (6) može izračunati ušteda data izrazom (7):

$$u_{\%} = \frac{\left(t_d + \frac{\Delta t}{60}\right) - \left(\frac{1}{3} \cdot t_{1fd} + \frac{2}{3} \cdot t_{2fd} + t_{3fd}\right)}{t_d + \frac{\Delta t}{60}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Obezbjediavanjem ravnomjerne uključenosti pojedinih faza/rasvjetnih tijela i koristeći pristup kao iz relacije (4)

slijedi izraz za procentualno povećanje životnog vijeka rasvjete.

$$\tilde{z}v_{\%} = \frac{3 \cdot \frac{\Delta t}{60} + 2 \cdot t_{1,fd} + t_{2,fd}}{t_{1,fd} + 2 \cdot t_{2,fd} + 3 \cdot t_{3,fd}} \cdot 100\% . \quad (8)$$

Do optimalnog plana rada potrebno je doći kompromisom između određenih oprečnih kriterijuma, kao što su zahtjevi za zadovoljavajućim nivoom osvjetljenja, prioritet uštede električne energije, smanjenja troškova održavanja, važnost dionice koja se osvjetljava itd.

Kao rezultat proračuna, u tabeli 1, dati su različiti programi rada sa isključivanjem određenih faza, procentualna ušteda i povećanjem životnog vijeka rasvjete koji se tada postižu za prosječno vrijeme dnevnog rada rasvjete od 11 h. Prosječno vrijeme dnevnog rada rasvjete od 11 h predstavlja rezultat sprovedene analize vremena dnevnog izlaska i zalaska Sunca u toku cijele godine [5].

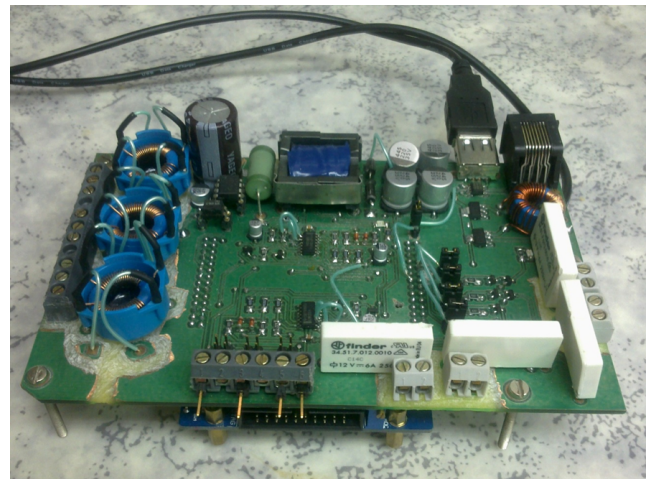
Tabela 1. Procentualna ušteda električne energije i povećanje životnog vijeka rasvjete postignuti programiranim isključivanjem određenih faza rasvjete.

Program rada	Broj uključenih faza			Postignuta ušteda	Povećanje životnog vijeka rasvjete
	3 faze	2 faze	1 faza		
1	3 h	3 h	5 h	42,03%	72,50%
2	3 h	4 h	4 h	39,13%	64,29%
3	3 h	5 h	3 h	36,23%	56,82%
4	4 h	3 h	4 h	36,23%	56,82%
5	4 h	4 h	3 h	33,33%	50,00%
6	4 h	5 h	2 h	30,43%	43,75%
7	5 h	3 h	3 h	30,43%	43,75%
8	5 h	4 h	2 h	27,54%	38,00%
9	6 h	2 h	3 h	27,54%	38,00%
10	6 h	3 h	2 h	24,64%	32,69%

Ušteda električne energije koja se postiže na osnovu programiranog isključivanja određenih faza kumulativno se uvećava u odnosu na uštedu koja se postiže pravilnim podešavanjem vremena uključivanja/isključivanja javne rasvjete.

Programirano isključivanje određenih faza rasvjete se može postići ugradnjom inteligentnog astronomskeg releja. Prototip ovakvog uređaja (prikazan na Sl. 3.) je razvijen na Elektrotehničkom fakultetu u Istočnom Sarajevu, kao rezultat istraživanja na projektu podržanom od strane Ministarstva nauke i tehnologije u Vladi RS i lokalne zajednice u cilju smanjenja potrošnje električne energije javne rasvjete. Montira se u trafostanice na koje su priključene i rasvjete, a sastoji se od dva dijela: energetskog i upravljačkog. Energetski dio uređaja čine jednofazni kontakteri za uključivanje/isključivanje pojedinih faza, dok je upravljački dio razvijen na bazi mikrokontrolera sa ugrađenim satom realnog vremena i minimalnom sopstvenom potrošnjom. U memoriji su upisana vremena uključena/isključenja rasvjete na osnovu astronomske podataka za datu lokaciju, kao i vremena u kojima treba isključiti određene faze prema definisanom programu rada. Osim toga, mikrokontroler obezbjeđuje ravnomjernu uključenost pojedinih rasvjetnih tijela/faza, kao i detekciju njihove neispravnosti, sa ciljem daljeg povećanja raspoloživosti i produženja životnog vijeka i smanjenje troškova održavanja. Ima mogućnost i priključenja pametnog senzora koji mjeri nivo osvjetljenosti sa velikom preciznošću [4], čime je omogućeno dalje povećanje uštede električne energije, kao i doziranje osvjetljenja u određenim periodima (u uslovima snježnog

prekrivača i/ili mjesečine moguće je smanjiti nivo osvjetljenja rasvjete i na taj način smanjiti potrošnju odnosno povećati uštedu električne energije).



Sl. 3. Prototip inteligentnog astronomskeg releja.

3.3. Kontinualna regulacija svjetlosnog fluksa

Prethodna mjera uštede električne energije se zasnivala na diskretnoj regulaciji svjetlosnog fluksa obezbjeđenoj programiranim isključivanjem određenih faza rasvjete. Postizanje uštede pri kontinualnoj regulaciji svjetlosnog fluksa moguće je definisati kao u nastavku.

Godišnja potrošnja električne energije rasvjete pri kontinualnoj regulaciji svjetlosnog fluksa (intenziteta osvjetljenja) može se izračunati na osnovu relacije (9):

$$E_{god}^r = \frac{n_s \cdot (P_s \cdot t_{dn} + P_{sek} \cdot t_{dek}) \cdot 365}{1000} \text{ [kWh]}, \quad (9)$$

gdje je: P_{sek} - snaga svjetiljke pri ekonomičnom režimu rada, t_{dn} - ukupno vrijeme dnevnog rada rasvjete pri nazivnom naponu (normalni režim), t_{dek} - ukupno vrijeme dnevnog rada rasvjete pri sniženom naponu (ekonomični režim).

Snaga svjetiljke pri ekonomičnom režimu rada može se odrediti na osnovu karakteristika rada rasvjetnih tijela pri određenim naponima tj. definisanim minimalnim radnim naponom za ispravan rad rasvjetnog tijela.

Za određenu vrijednost radnog napona i efikasnost uređaja (kojim se obezbjeđuje kontinualna regulacija svjetlosnog fluksa), ekvivalentna snaga svjetiljke pri ekonomičnom režimu rada predstavlja određeni dio nazivne snage svjetiljke $P_{sek} = x \cdot P_s$, pa se ukupna potrošnja električne energije može predstaviti izrazom (10).

$$E_{god}^r = \frac{n_s \cdot P_s \cdot (t_{dn} + x \cdot t_{dek}) \cdot 365}{1000} \text{ [kWh]}. \quad (10)$$

Samim tim, ušteda koja se postiže kontinualnom regulacijom svjetlosnog fluksa može se odrediti na osnovu relacije (11):

$$u_{\%} = \frac{\frac{\Delta t}{60} + (1-x) \cdot t_{dek}}{t_d + \frac{\Delta t}{60}} \cdot 100\% , \quad (11)$$

gdje je x - odnos snaga pri ekonomičnom i nominalnom režimu rada.

Realizacija ove mjere uštede je omogućena upotrebom uređaja za kontinualnu regulaciju svjetlosnog fluksa kom je

potrebno definisati program rada [6,7]. Pravilan izbor programa rada uređaja podrazumijeva optimalan kompromis između zadovoljenja fotometrijskih zahtjeva i potrošnje električne energije. Kao rezultat proračuna, u tabeli 2, data je ušteda koja se postiže upotrebom uređaja za kontinualnu regulaciju svjetlosnog fluksa za nekoliko različitih programa rada uređaja. Iz tabele se vidi da se najveća ušteda može postići ukoliko uređaj svo vrijeme radi u ekonomičnom režimu rada, dok se u nominalnom režimu postiže ušteda koja odgovara pravilnom podešavanju automata za uključivanje / isključivanje rasvjete.

Tabela 2. Ušteda električne energije postignuta kontinualnom regulacijom svjetlosnog fluksa za nekoliko različitih programa rada.

Program rada	Vrijeme rada u režimu		Postignute uštede
	Nominalni režim	Ekonomični režim	
1	11 h	0 h	4,35%
2	0 h	11 h	41,44%
3	4 h	7 h	27,95%
4	5 h	6 h	24,58%
5	6 h	5 h	21,21%
6	7 h	4 h	17,83%

Glavna prednost ovakvih uređaja, u odnosu na uređaje za diskretnu regulaciju fluksa, sastoji se u tome što mogu da se programiraju za fino podešavanje svjetlosnog fluksa, a u kvalitetnijim izvedbama i da obezbjede stabilan napon napajanja osvjetljenja (i u uslovima varijacija mrežnog napona). Nedostatak primjene ovakvih uređaja predstavlja smanjenje efikasnosti rada rasvjete usljed stepena korisnog dejstva uređaja i smanjenje pouzdanosti rada javne rasvjete (kvarom uređaja rasvjeta ostaje bez napajanja; popravka/zamjena uređaja iziskuje dodatna značajna investiciona sredstva).

3.4. Zamjena zastarjelih rasvjetnih tijela novijim / efikasnijim

Veoma bitan aspekt kod uštede odnosno smanjenja potrošnje električne energije javne rasvjete predstavlja i zamjena zastarjelih, neefikasnih, tipova rasvjetnih tijela novijim, energetski efikasnijim. U većini lokalnih samouprava javna rasvjeta je izvedena sa neefikasnim žviniim sijalicama nominalnih snaga 125 W, 150 W i 250 W i natrijumovim sijalicama visokog pritiska 150 W, 250 W i rijetko 400 W, koje tokom svoje eksploatacije kontinualno gube svoje karakteristike (najčešće efikasnost izvora lm/W). U tabeli 3 dat je pregled nekih od karakteristika rasvjetnih tijela koja se ugrađuju (mogu ugraditi) u javne rasvjete [8]. Analizirajući literaturu i izvještaje realizovanih svjetskih projekata u pogledu povećanja energetske efikasnosti i uštede u sistemima javne rasvjete [9,10], može se zaključiti da se moderne rasvjete najčešće zasnivaju na LED tehnologiji čije su karakteristike znatno bolje od rasvjetnih tijela čija su tehnološka rješenja bazirana na živi i natrijumu.

Prednost upotrebe LED rasvjetnih tijela se ogleda kroz niz tehničkih karakteristika koje posjeduje ova tehnologija a to su: znatno veća efikasnost izvora (lm/W), odličan indeks reprodukcije boje (CRI), duži životni vijek itd.

U ovom radu je analizirana zamjena zastarjelih rasvjetnih tijela CFL i LED sijalicama odgovarajućih snaga. Za svaki utvrđeni tip rasvjete treba odabrati odgovarajuća nova

rasvjetna tijela, koja će uz minimalne investicione troškove omogućiti najveću uštedu. Treba voditi računa ne samo o cijeni samih rasvjetnih tijela već i o složenosti i cijeni zamjene starih sijalica sa novim, mogućnosti nabavke, troškovima održavanja, uticaju na kvalitet električne energije itd.

Tabela 3. Pregled karakteristika rasvjetnih tijela.

Izvor svjetlosti (rasvjetno tijelo)	Vijek trajanja (h)	Efikasnost izvora (lm/W)	Indeks reprodukcije boje (CRI)
Inkadescentna	1 000	15	100
Živa visokog pritiska	6 000	50 - 55	45
Natrijum visokog pritiska	16 000	80 - 120	25
Natrijum niskog pritiska	10 000	200	-
Metal-halogen	6 000	75 - 85	85
CFL	10 000	55 - 70	80
Energetski efikasna fluo lampa (T5)	10 000	100 - 120	75
LED	50 000	70 - 160	90

Godišnja potrošnja električne energije rasvjete u kojoj je izvršena zamjena zastarjelih (neefikasnih) sijalica novijim (energetski efikasnijim) može se izračunati prema relaciji (12):

$$E_{god} = \frac{n_s \cdot P_{sz} \cdot \left(t_d + \frac{\Delta t}{60} \right) \cdot 365}{1000} \text{ [kWh]}, \quad (12)$$

gdje je P_{sz} – nominalna snaga zamjenjene sijalice.

Ušteda koja se pri tome postiže izračunava se prema relaciji (13).

$$u_{\%} = \frac{P_s - P_{sz}}{P_s} \cdot 100\% . \quad (13)$$

U tabeli 4 prikazani su rezultati proračuna postignutih ušteda zamjenom postojećih (neefikasnih) rasvjetnih tijela novijim, energetski efikasnijim.

Tabela 4. Ušteda električne energije zamjenom sijalica.

Ekvivalentne snage rasvjetnih tijela (W)			Postignuta ušteda	
NAV-T	CFL	LED	Zamjenom sa CFL	Zamjenom sa LED
70	45	30	35,71%	57,14%
150	65	60	56,67%	60,00%
250	105	90	58,00%	64,00%
400	125	120	68,75%	70,00%
Hg	CFL	LED	Zamjenom sa CFL	Zamjenom sa LED
125	36	30	71,20%	76,00%
150	55	60	63,33%	60,00%
250	85	90	66,00%	64,00%

4. POREĐENJE NAČINA UŠTEDE

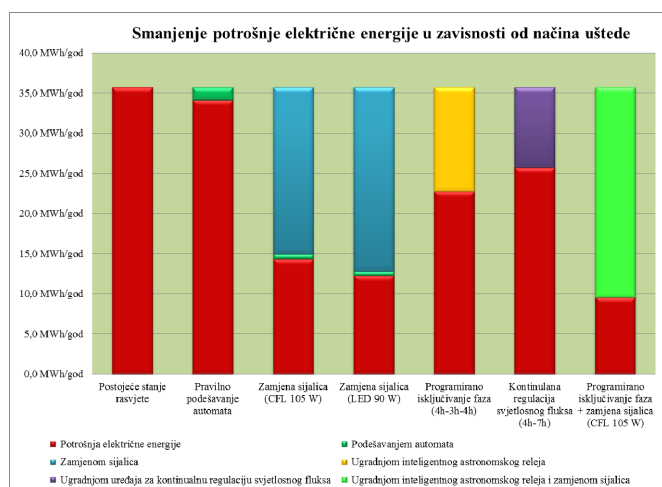
Da bi se stekla što bolja predstava o mogućim uštedama u troškovima električne energije i održavanja, provedena je analiza za konkretni primjer jednog dijela javne rasvjete na opštini Istočna Ilidža. Analizirana rasvjeta je postavljena u ulici Kasindolskog bataljona, napajana sa trafostanice 10/0,4 kV, sa 34 svjetiljke postavljene na stubove visine 10 m, međusobno razmaknutih za 35-40 m. Tip ugrađenih svjetiljki je ONYX 3 sa natrijumovom sijalicom visokog pritiska NAV-T 250 W proizvođača Minel Schreder. Cijena utrošene električne energije za sisteme javne rasvjete tarifirana je od strane Elektrodistribucije Pale i iznosi 0,1508 KM/kWh (tokom cijele godine).

U tabeli 5 i na Sl. 4., analitički i grafički je prikazana potrošnja električne energije (označena crvenom bojom),

kako za postojeće stanje javne rasvjete tako i za prethodno analizirane postupke koji dovode do ušteta.

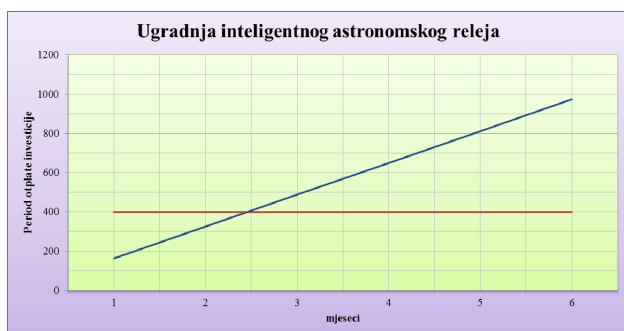
Tabela 5. Poređenje različitih načina uštede električne energije javne rasvjete.

	Principi uštede električne energije u sistemu javne rasvjete						
	Postojeće stanje rasvjete	Pravilno podešavanje automata	Zamjena sijalica (CFL 105 W)	Zamjena sijalica (LED 90 W)	Programirano isključivanje faza (4h-3h-4h)	Kontinualna regulacija svjetlosnog fluksa (4h-7h)	Programirano isključivanje faza + zamjena sijalica (CFL 105 W)
Potrošnja električne energije	35,68 MWh/god	34,13 MWh/god	14,33 MWh/god	12,20 MWh/god	22,75 MWh/god	25,71 MWh/god	9,56 MWh/god
Poređenje uštede	Zamjena sijalica	-	20,69 MWh/god	22,83 MWh/god	-	-	-
	Podešavanje automata	-	1,55 MWh/god	0,65 MWh/god	0,56 MWh/god	-	-
	Ugradnjom inteligentnog astronomskog releja	-	-	-	-	12,93 MWh/god	-
	Ugradnjom uređaja za kontinualnu regulaciju svjetlosnog fluksa	-	-	-	-	-	9,97 MWh/god
	Ugradnjom inteligentnog astronomskog releja + zamjena sijalica	-	-	-	-	-	-
Troškovna električne energije	5 380,36 KM/god	5 146,43 KM/god	2 161,45 KM/god	1 852,67 KM/god	3 430,95 KM/god	3 876,53 KM/god	1 356,66 KM/god
Investicija	-	-	1 445,00 KM	15 725,00 KM	400,00 KM	3 000,00 KM	1 845,00 KM
Postignuta ušteda u troškovima	-	233,93 KM/god	3 218,91 KM/god	3 527,08 KM/god	1 949,40 KM/god	1 503,83 KM/god	4 023,70 KM
Period otplate	-	-	5,4 mjeseci	53,5 mjeseci	2,5 mjeseci	23,9 mjeseci	5,5 mjeseci



Sl. 4. Smanjenje potrošnje električne energije u zavisnosti od načina uštede.

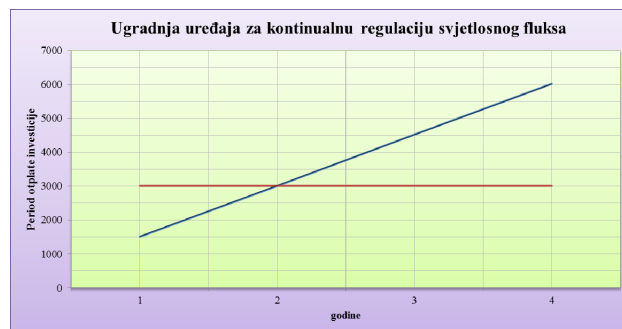
Ugradnja inteligentnog astronomskog releja u javne rasvjete i definisani plan rada isključivanja pojedinih faza dovodi do ušteta i do 36% utrošene električne energije. Troškovi investicije potrebni za instalaciju astronomskog releja ogledaju se u troškovima nabavke astronomskog releja i montaže, što za navedeni primjer iznose oko 400 KM, čime se omogućava otplata za 2,5 mjeseca (Sl. 5.).



Sl. 5. Otplata investicije za sistem sa ugrađenim inteligentnim astronomskim relejom.

Sprovedena analiza uštede električne energije na bazi upotrebe uređaja za kontinualnu regulaciju svjetlosnog fluksa urađena je za M-BOX Lighting Control Device, proizvođača Elektro Energy d.o.o [6,7], faktora korisnog dejstva $\approx 98\%$. Za natrijumovu sijalicu visokog pritiska, čiji je minimalni

radni napon 180 V (ekonomični režim rada), ulazna snaga predstavlja $\approx 61\%$ nazivne, dok nivo osvjjetljenja predstavlja 52% od onog pri nominalnim uslovima rada. Upotreba uređaja za kontinualnu regulaciju svjetlosnog fluksa dovodi do ušteta i do 28% prema predloženom planu rada rasvjete sa nominalnim i ekonomičnim režimom rada uređaja. Investicija potrebna za nabavku i ugradnju ovog uređaja iznosi (za 10 kVA nazivne snage) oko 3000 KM, a investicija se otplati kroz dvije godine uštedom troškova za električnu energiju (Sl. 6.).



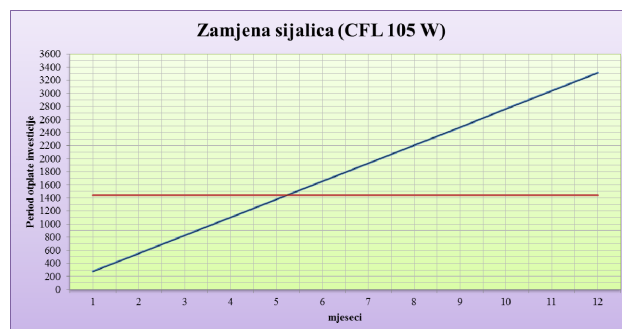
Sl. 6. Otplata investicije za sistem u kojem je ugrađen uređaj za kontinualnu regulaciju svjetlosnog fluksa.

Postupak zamjene rasvjetnih tijela dovodi do najznačajnijih ušteta električne energije. Pravilnim podešavanjem automata za uključenje / isključenje javne rasvjete i zamjenom rasvjetnih tijela postiže se i do 70% ušteta električne energije. Konkretno, u ovom primjeru analizirana je zamjena rasvjetnih tijela prema tabeli 6.

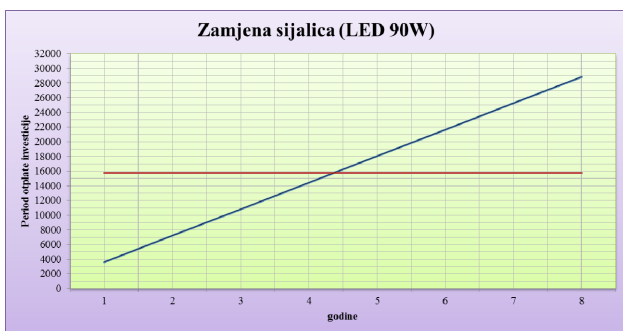
Tabela 6. Prikaz ušteta na osnovu zamjene rasvjetnih tijela.

Podaci o rasvjetnim tijelima	NAV-T	CFL	LED
Nazivna snaga sijalice	250 W	105 W	90 W
Životni vijek sijalice	16 000 h	10 000 h	50 000 h
Cijena koštanja sijalice	20 KM	30 KM	450 KM
Svjetlosni fluks sijalice	12 500 lm	7 350 lm	10 800 lm
Ušteda električne energije rasvjete na godišnjem nivou za prosječan broj sati rada			
Potrošnja električne energije	35 678,8 kWh/god	14 333,6 kWh/god	12 285,9 kWh/god
Troškovi električne energije	5 380,4 KM/god	2 161,5 KM/god	1 852,7 KM/god
Godišnja ušteda u troškovima električne energije	21 345,2 kWh/god	23 392,9 kWh/god	
	3 218,8 KM/god	3 527,6 KM/god	
Investicija u zamjenu sijalica		1445 KM	15725 KM
Rok otplate investicije		5,4 mjeseci	53,5 mjeseci

Investicija se ogleda u nabavci rasvjetnih tijela i njihovoj montaži, što za navedene primjere iznosi oko 15750 KM za LED i 1445 KM za CFL. Rokovi otplate potrebne investicije su prikazani na sledećim slikama.

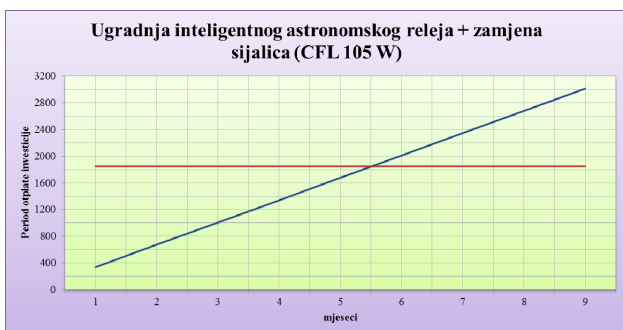


Sl. 7. Otplata investicije za sistem u kojem je izvršena zamjena postojećih rasvjetnih tijela sa CFL 105 W.



Sl. 8. Otplata investicije za sistem u kojem je izvršena zamjena postojećih rasvjetnih tijela sa LED 90 W.

Period otplate investicije i prikaz rasta ušteta u troškovima za električnu energiju za sistem rasvjete gdje je izvršena i ugradnja inteligentnog astronomskog releja i zamjena rasvjetnih tijela sa CFL 105 W prikazan je na Sl. 9. Ukupna investicija iznosi 1845 KM, a period otplate je 5,5 mjeseci.



Sl. 9. Otplata investicije za sistem u kojem je izvršena ugradnja inteligentnog astronomskog releja i zamjena postojećih rasvjetnih tijela sa CFL 105 W.

5. ZAKLJUČAK

Iz prethodno navedenog jasno je da se uštede električne energije (od 25 do 70 %) u sistemu javne rasvjete mogu ostvariti na više načine, počevši od onog najosnovnijeg i najekonomičnijeg, a to je pravilno podešavanje vremena uključivanja/isključivanja javne rasvjete, pa do onog najefikasnijeg, tj. zamjene zastarjelih rasvjetnih tijela novijim-efikasnijim. Odabir odgovarajućeg načina uštete zavisi od mnogo faktora, a presudni je visina novčanih sredstava potrebnih za investiciju u modernizaciju javne rasvjete, odnosno rok otplate. Budući rad se zasniva na određivanju optimalnih strategija kojima bi se došlo do upotrebe/instalacije LED rasvjete uz minimalne početne

investicije kao i svodenje troškova za električnu energiju sistema javne rasvjete na nulu.

6. LITERATURA

- [1] Marko Ikić, Milomir Šoja, Slobodan Lubura, Srđan Lale, Nenad Jovančić: „Principi uštete električne energije sistema javne rasvjete“, INFOTEH@-Jahorina 2013, mart 2013.
- [2] Marko Ikić: „Ušteta i poboljšanje kvaliteta električne energije u sistemu javne rasvjete primjenom savremenih tehnologija“, master rad, Elektrotehnički fakultet u Istočnom Sarajevu, oktobar 2013.
- [3] Minel Schreder: „Urbano osvijetljenje“, www.minel-schreder.rs, decembar 2012.
- [4] Philip Simpson, Marko Kannisto: „Intelligent Lighting Controller Measures Ambient Light and Tracks Time“, april 2012.
- [5] www.suncalc.net, februar 2013.
- [6] Elektro Energy d.o.o, „M-BOX Lighting Control Device“, katalog 2012. www.elektroenergy.com, decembar 2012.
- [7] „Izveštaj o realizaciji pilot projekta primene uređaja za uštedu električne energije M-BOX pomoću koga se vrši centralna kontinualna regulacija svetlosnog fluksa u funkcionalnom javnom osvetljenju“, Elektrotehnički fakultet Beograd, maj 2011.
- [8] Economical long-life light sources with plug-in bases, Compact Fluorescent Lamps OSRAM DULUX®, Technical Guide, www.osram.com, decembar 2012.
- [9] GFA Consulting Group: „Tehno-ekonomska analiza zamene i modernizacije javnog osvetljenja opština Novi Bečej, Smederevska Palanka i Varvarin“, Beograd, avgust 2009.
- [10] Daniel Davidović: „Modernizacija javnog osvetljenja u opštinama u Srbiji“, Beograd, septembar 2009.

Abstract – In this paper the overview of principles/methods for energy savings and improving efficiency of public street lighting systems using new lighting technologies, renewable energy sources and power electronics devices is given.

ENERGY SAVINGS IN PUBLIC STREET LIGHTING SYSTEMS

Marko Ikić, Milomir Šoja, Slobodan Lubura, Nenad Jovančić