

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Географски информациони системи

Број индекса: 912/2013

Милица М. Стевановић

**Техно-економска анализа уградње Led
јавне расвете у општини Рача**

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Горан Бошковић – ментор
2. др Душан Гордић
3. др Слободан Савић

Датум одбране:

Оцена: _____

Идеја дипломског рада је анализа могућих остварених бенефита у случају замене постојеће јавне расвете лед осветљењем у општини Рача. Дипломски рад се састоји из два дела, теоријског и експерименталног. У првом делу потребно је да студент да преглед тренутне ситуације у области јавне расвете у свету и Србији. У другом делу, коришћењем ГИС мапера, неопходно је извршити мапирање јавне расвете у општини Рача и уређајем за мерење осветљености направити преглед тренутне ситуације у јавној расвети. Након тога, потребно је урадити техно-економску анализу замене постојећег осветљења лед осветљењем. Рад треба да садржи следеће целине:

1. Увод
2. Основни параметри јавне расвете (потрошња енергије за јавну расвету, принципи технике осветљења, светлосни извори, сијалице за јавну расвету)
3. Географски информациони системи. Мапирање јавне расвете у општини Рача.
4. Техно-економска анализа уградње лед јавне расвете
5. Закључак

Препоручена литература:

- [1] Миомир Костић, Водич кроз свет технике осветљења, Београд, 2000
- [2] Душко Радловић, Срђан Скок, Ведран Киричић, Energy efficiency public lighting management in the cities, Energy 36, pp 1908-1915, Elsevier 2011
- [3] GIZ, Јавна расвјета и локална самоуправа, водич 2013/2014

Крагујевац, 30.05.2017. године

Ментор:
Др Горан Бошковић, доцент

Садржај

1. Увод.....	5
2. Основни параметри јавне расвете	6
2.1. Основни критеријуми за избор електричног извора светлости.....	7
2.2. Принципи технике осветљења	8
2.3. Стандардни распореди светиљки	9
2.4. Извори светлости јавне расвете	11
2.4.1. Живине сијалице високог притиска	12
2.4.2. Метал халогене сијалице високог притиска.....	13
2.4.3. Натријумове сијалице високог притиска.....	14
2.4.4. LED технологија	14
3. Географски информациони системи	16
3.1. Примена ГИС-а.....	16
3.2. Функције ГИС-а	17
2.3. Уређај за прикупљање података	18
4. Јавно осветљење у Рачи	20
4.1. Мапирање јавне расвете у Рачи	24
5. Мере енергетске ефикасности расвете у Рачи	31
5.1. Замена светиљки.....	31
4.2. Реорганизација јавног осветљења	39
6. Економска анализа реконструкције јавне расвете	43
5.1 Упоређивање добијених резултата.....	46
7. Закључак	49
Литература.....	50

Abstract: Within this diploma thesis the public lighting in the municipality of Rača. After general information on public lighting, in the second part will be about geographic information systems was analyzed. With the help of ArgGis software, it is possible to representation the collected spatial data, respectively the layout of the lamps. Then the real state of street lighting will be analyzed, this analysis required the collection of data on the consumption of electricity, as the number and type of lamps that are used. This techno-economic analysis of street lighting will be presented in four scenarios, which are based on the replacement of existing light bulbs with LED illumination. All the analyzed opportunities have shown savings in electricity and street lighting expenses.

Keywords: LED, street lighting, municipality of Raca, lamp

Резиме: У оквиру овог дипломског рада анализирано је јавно осветљење на територији општине Рача. Након уопштених информација о јавном осветљењу, у другом делу рада биће речи о географским информационим системима. Уз помоћ *ArgGis* софтвера омогућен је приказ прикупљених просторних података, односно распореда светиљки. Затим ће се анализирати постојеће стање јавног осветљења, што је захтевало прикупљање података о потрошњи електричне енергије као и броју и врсти светиљке које су заступљене. Ова техно-економска анализа јавног осветљења биће приказана кроз четири сценарија која су базирана на замени постојећих сијалица LED расветом. Све анализиране могућности су показале уштеду електричне енергије и трошкова у јавном осветљењу.

Кључне речи: LED, јавно осветљење, општина Рача, светиљка

1. Увод

Осветљење троши 19% произведене електричне енергије у свету. Око 2/3 свих инсталираних осветљења у ЕУ засновано је на старим, мење ефикасним технологијама развијеним пре 1970-те године.

Отприлике 1/3 путева и аутопутева у Европи још увек користи јефтину, неефикасну технологију из 1960-тих: живине сијалице. Неке земље (нап. Белгија, Холандија, Луксембург, Велика Британија) користе знатно мање живиних сијалица него друге земље (Немачка, Италија, Шпанија). Око 35 милиона живиних сијалица које су још увек у употреби, троши двоструко више енергије него што је потребно и тиме стварају трошкове и за локалне власти и за пореске обвезнике и имају високу емисију CO_2 . Тренутни проценат замене износи 3% годишње. То значи да ће бити потребно више од 30 година да би се потпуно реализовале финансијске и еколошке користи. [1]

Једну од битних ставки у буџету сваке општине има управо потрошња система јавног осветљења као и њихово одржавање. Системи јавне расвете у Србији су углавном неефикасни и самим тим представљају велики потенцијал у циљу остваривања уштеда. Оптимизација система јавне расвете углавном се своди на основне мере као што је промена типа извора електричног осветљења и светиљки.

У категорији јавно осветљење су купци који електричну енергију користе за осветљење улица, тргова, тунела, пешачких пролаза, паркова, путева, историјских и других обележја, уређаја за путну сигнализацију и друга потрошња за осветљење јавних површина и јавних објеката и купци који електричну енергију користе за осветљавање рекламних паноа, којима се преузета активна енергија утврђује мерењем или обрачуном према времену преузимања, а активна снага и реактивна енергија се не мере[2].

У 2014. години укупна потрошња електричне енергије за потребе јавног осветљења у Србији на 14 644 мерна места износила је 306,357 KWh, односно 1,1% укупне потрошње електричне енергије у земљи. Процењени годишњи трошак утрошене енергије на јавно осветљење износи око 1,7 милијарди динара, односно 14 милиона еура за целу Србију. Просечан годишњи број часова рада система је 4.100 [3].

Квалификација стања у систему јавног осветљења може се вршити на основу индикатора енергетске ефикасности. Они се могу формулисати на неколико начина: потрошња електричне енергије за јавно осветљење по становнику годишње (kWh/ст. год.), потрошња електричне енергије за јавно осветљење по појединачном извору светлости (kWh/свт. год.), потрошња електричне енергије за јавно осветљење по km осветлене улице (kWh/km год.) и сл. На основу неких испитивања мањег обима могуће је са сигурношћу тврдити да је потрошња електричне енергије у Србији врло висока и то далеко изнад просека европских земаља.

2. Основни параметри јавне расвете

Светлост, као изузетно важна компонентна за људско окружење, од пресудне је важности за осећај угодности и сигурности у свакодневном животу. Поред амбијенталне расвете, квалитетно пројектована улична расвета и расвета градских површина заузима веома важну улогу у сигурности и безбедности грађана.

Појам светла директно је везан за способност вида и визуелне перцепције, основне концепције јавне расвете приказују се физичким величинама везаним за светло и вид.

Осветљење се дефинише следећим фотометријским величинама:

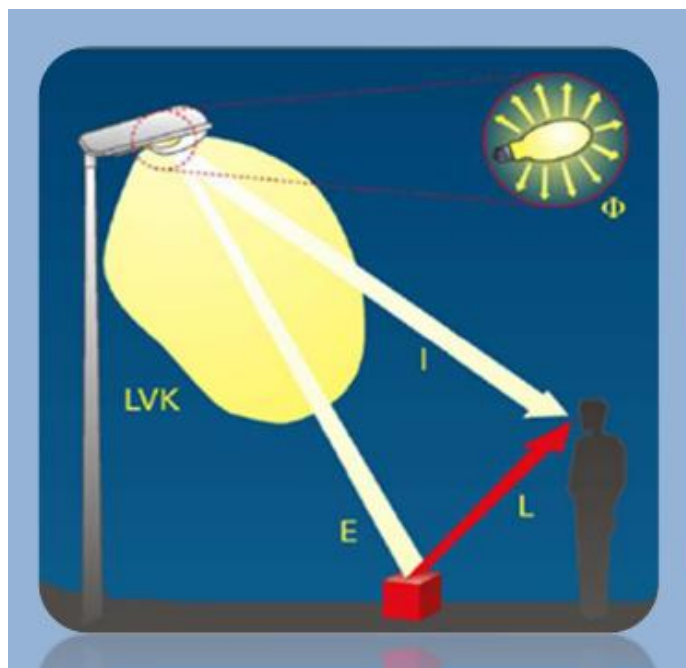
- Светлосни флуks
- Интензитет светлости
- Осветљеност
- Сјајност

Светлосни флуks представља укупну количину светлости коју емитује светлосни извор у јединици времена. Јединица за светлосни флуks (Φ) је **lumen (lm)**.

Интензитет светлости је мерило емитоване снаге светлосног извора у одређеном смеру по јединици просторног угла. Јединица за интензитет (I) светлости је **candela (cd)**.

Осветљеност је мерило светлосног флуksа који падне на неку површину. Јединица за осветљеност (E) је **lux (lx)**.

Сјајност је једина фотометријска величина коју човек непосредно опажа. Сјајност представља мерило за светлосни утисак о мањој или већој сјајности светлеће или осветљене површине. Јединица за сјајност (L) је кандела по метру квадратном (**cd/m²**).



Слика 1. Фотометријске величине [4].

2.1. Основни критеријуми за избор електричног извора светлости

Јавно осветљење има неколико важних намена, што захтева карактеристичне потребе за пројектовање, извођење и одржавање система. Овде спадају:

- осветљење путних праваца (магистрални, регионални, локални, сеоски путеви, главне и споредне улице, саобраћајна сигнализација, тргови),
- осветљење пешачких површина (пешачке зоне, паркинг простори, игралишта, простори око зграда, дворишта и сл.),
- декоративно осветљење (фасаде, споменици, мостови, рекламе, билборди, празнично осветљење и сл.).

Јавна расвета сваког града, пројектује се уз помоћ неколико параметара. Први параметар представља количину и трајање дневне светлости, затим естетско функционални параметри. Као што је већ напоменуто главну улогу има сигурност, првенствено сигурност у саобраћају. Следе параметри који одређују технологију за израду система уз максималне уштеде, тј. економско технички параметри. Најбитније место међу параметрима заузима свакако и заштита окужења, односно спречавање било које врсте загађења околине.

Пројектовање осветљења садржи две главне компоненте:

- 1) Ниво осветљености и ниво сјајности
- 2) Квалитет светлости тј. боја светлости, уједначеност и равномерност осветљења, количина бљештања, одсутност или присутност рефлекса који гледање чине нејасним.

Приликом пројектовања велика пажња се обраћа на **ефикасност извора светлости**. Ефикасност је важан појам који уз помоћ одређених показатеља (утрошена електрична енергија, количина емитоване светлости по 1W употребљене електричне енергије и колико емитоване светлости дође до наменске површине) описује корисност једног извора светлости у односу на други.

2.2. Принципи технике осветљења

Основни циљ мониторинга инсталације јавног осветљења је постизање пројектованог и препорученог нивоа средње осветљености жељених површина. Интересовање о регулацији потрошње енергије у јавном осветљењу потиче још од 70-их година прошлог века. Разматрана је употреба полуноћног режима рада, при чему се у полуноћном систему рада искључује једна фаза, тј. искључује се свака друга светиљка на деоници. На овај начин би се смањила равномерност осветљења што утиче на квалитет, али би се уштедела енергија.

Уградња фото сензора такође се није показала као најбоље решење због запрљања у току времена, што информацију коју шаље о нивоу осветљености чини временом мање поузданом. Ово за последицу има да се дешава неусаглашеност система и дневног осветљења, долази до искључивања сијалица иако дневна светлост није довољна за визуелни комфор на деоници, али и до укључивања сијалице када вештачко осветљење није потребно.

Како би се избегла нерационална потрошња енергије за јавно осветљење јавља се потреба за смањење нивоа осветљености у касним сатима, када је интензитет саобраћаја мањи. До сада је ова потреба регулисана уградњом *РТК* (Радио Теле Команда – бежични пренос телекомандне поруке) или *МТК* уређаја (Мрежна Тонфреквентна Команда – телеграфски модулисан тон сигнал суперпониран на мрежни напон), што омогућава дириговано укључење тј. искључење по потреби[5].

У већим урбаним срединама због огромног броја светиљки готово да је немогућа стална контрола исправности сваке светиљке, што представља велики проблем. Одређивање врсте и места квара односно детектовање квара захтева доста времена и ангажовање великог броја људи, што поскупљује трошкове одржавања система јавног осветљења и самим тим смањује његову ефикасност. Временом се јављају све веће потребе и захтеви за квалитетнијим осветљењем на саобраћајницама, али и захтеви за већом уштедом електричне енергије што повећава потребу за увођењем система даљинског управљања.

Регулацију нивоа осветљености могуће је вршити на следеће начине:

- искључењем појединих сијалица (углавном свака друга у низу),
- регулацијом напона на сијалици (смањење напона до 50%) које може да се врши:
 - дискретно, за групу сијалица, употребом регулационог трансформатора,
 - континуално, за групу сијалица, употребом електронског контролера,

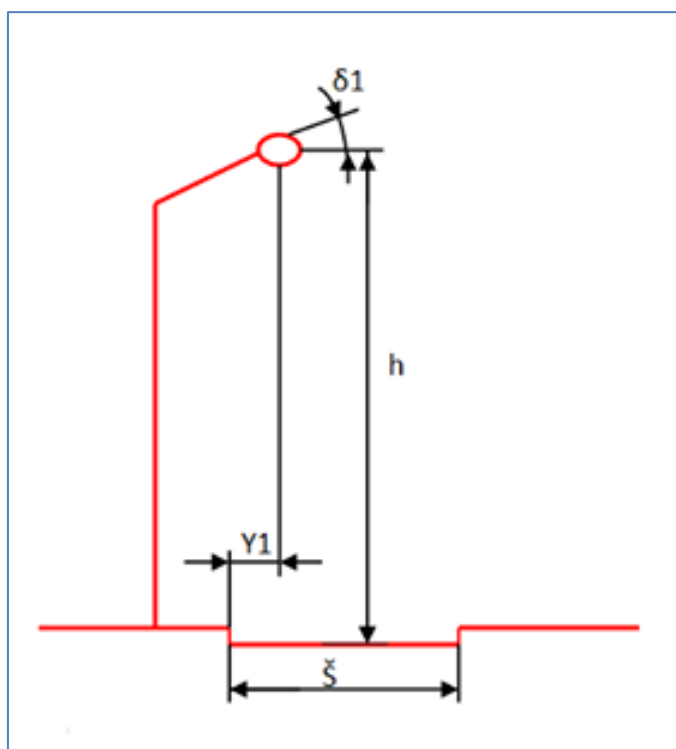
- дискретно, за појединачне сијалице, употребом двостепеног баласта,
- континуално, за појединачне сијалице са употребом електронског контролера.

2.3. Стандардни распореди светиљки

Како би се одабрао најквалитетнији распоред светиљки на самом почетку је потребно разјаснити геометријске податке расветих уређаја.

Основни геометријски подаци су приказани на следећој слици и то су:

1. висина инсталације светиљке – h ,
2. растојање између стубова – d ,
3. ширина пута – $\check{s}$,
4. превис светиљке - Y_1 ,
5. нагиб светиљке - δ_1 .

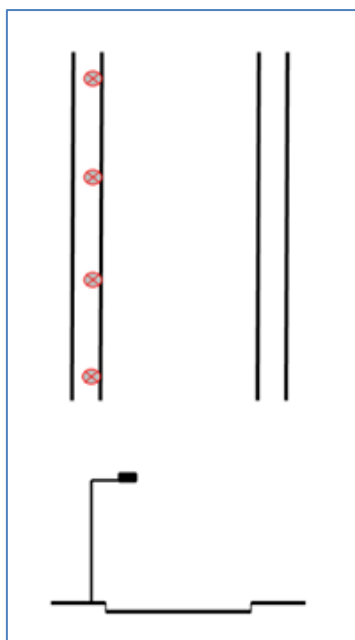


Слика 2. Приказ геометрија расветног уређаја[6].

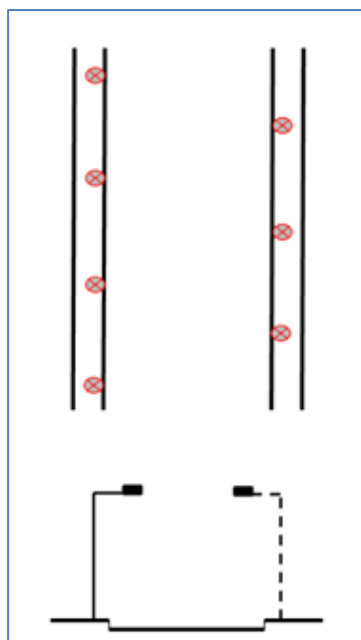
Распоред стубова пре свега зависи од геометрије саобраћајнице (број и ширина трака, једносмерна или двосмерна, постојање разделног острва).

У случају саобраћајница без разделног острва примењују се четири основна типа распореда стубова (односно светиљки):

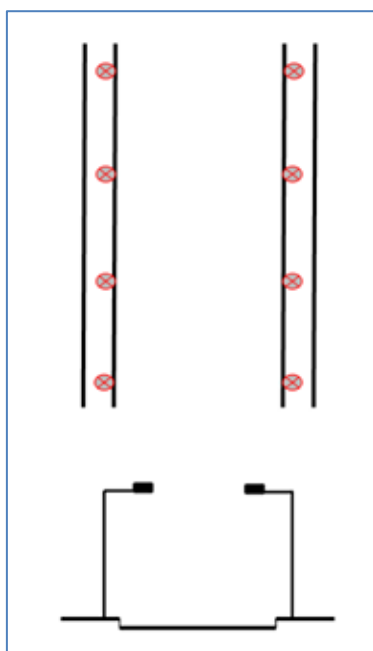
- једнострани распоред (слика 3.) [6],
- двострани померени (цик-цак) распоред(слика 4.) [6],
- двострани наспрамни распоред (слика 5.) [6],
- аксијални распоред (носиве жице) (слика 6.) [6].



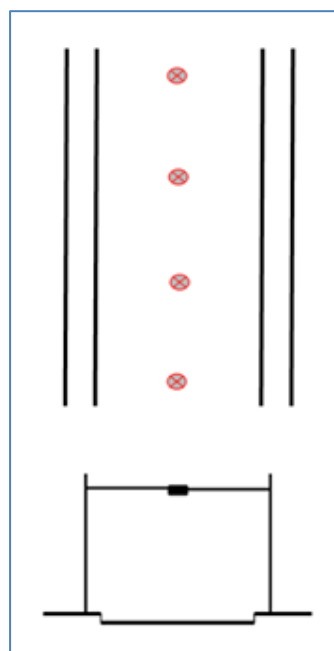
Слика 3. Једнострани распоред стубова.



Слика 4. Двострани померени распоред.



Слика 5. Двострани наспрамни распоред.



Слика 6. Аксијални распоред стубова.

Једнострани распоред

У пракси се најчешће јавља једностран распоред светиљки. Код овакве врсте распореда, осветљење на супротној страни пута од светлосних тела је обично ниже него на страни пута која је ближа светиљкама. На овако регулисаним саобраћајницама је потребно обезбедити равномерну осветљеност саобраћајнице, али постоји и потреба за осветљењем деонице поред пута. Препоручује се да висина носећих стубова светиљке буде приближно једнака ефективној ширини пута. Друга је могућност да се повећа превис светиљке.

Код једностраног распореда светилки, услови осветљења се разликују за различите положаје посматрача. На путевима са две саобраћајне траке вредности се разликују за положај посматрача на једној или на другој коловозној траци. Овакав распоред светилки обезбеђује добро оптичко вођење.

Двострани померен распоред

Двострани померени распоред светилки се примењује у случајевима када однос између ширине пута и висине расветних тачака ($\bar{s}/h$) износи између 1 и 2,5.

Лоша страна таквог распореда је лоша подужна равномерна осветљеност на путу, услед померања светлосних тачака. Углавном се препоручује двострани наспрамни распоред светилки.

Двострани наспрамни распоред

Двострани наспрамни распоред препоручује се за путеве веће ширине. Однос између висине намештања светилке и ширине пута треба да буде мањи од 1. Узимајући у обзир оптичке карактеристике светилке, препоручени однос између висине намештања светилке и ефикасне ширине пута ($h/\bar{s}$) треба бити између 2/3 и 2/5.

Аксијални распоред

Средишњи (аксијални) распоред светилки изнад осовине пута је прикладан за градска подручја где је светилке могуће причврстити на челичну ужад између зграда дуж путева. Таквим распоредом светилки постиже се равномерна осветљеност, док лошу страну представља померање светилки на јаком ветру као и одржавање расветних уређаја, јер возило за одржавање заузима саобраћајницу и омета саобраћај. Висина инсталације светилки треба да буде приближно једнака ширини пута.

Средишњи распоред у неким случајевима представља добро решење за путеве и улице дуж којих је засађено дрвеће које би ометало пролаз светлости уколико би осветљење било распоређено на један од осталих начина.

2.4. Извори светлости јавне расвете

Приликом реконструкције система јавне расвете (замена постојећих типова светилки) неопходно је задовољити одговарајуће опште и посебне техничке услове. Светилке јавног осветљења треба да буду у сагласности са постојећим безбедносним прописима који су на снази у Републици Србији и да задовоље услове електроенергетске мреже Србије. Препоручује се да техничке карактеристике светилки буду у складу са захтевима међународног стандарда *IEC 60598* и у складу са међународним препорукама као што су “Препоруке за осветљење путева за моторни и пешачки саобраћај” које је објавила *CIE* (Међународна комисија за осветљење).

У препорукама *CIE* за осветљење путева за моторни и пешачки саобраћај постоје следеће групе сабраћајница:

- главне саобраћајнице. Светиљке треба да буду са натријумским сијалицама високог притиска које обезбеђују минимум 17.000 лумена.
- регионалне саобраћајнице. Светиљке треба да буду са натријумским сијалицама високог притиска које обезбеђују минимум 10.000 лумена.
- споредне саобраћајнице и пешачка зона. Светиљке треба да буду са натријумским сијалицама високог притиска које обезбеђују минимум 6.000 лумена.

У јавној расвети најчешће се срећу два извора светлости - зрачења, а то су:

1. Извори светлости на бази високог притиска (HID – high-density discharge), који се опет деле на [4]:
 - Живине сијалице високог притиска
 - Метал халогене сијалице високог притиска,
 - Натријумове сијалице високог притиска.

2. Извори светлости на бази *LED* технологије.

Цена сијалица са натријумом високог притиска је виша у односу на живине сијалице. Међутим, животни век сијалице са натријумом високог притиска је знатно дужи па се смањује учесталост њеног мењања где директно постоји уштеда у укупним трошковима за монтажу сијалица (мање излазака на терен). Трошкови замене сијалица са натријумом високог притиска су око 40% нижи него трошкови замене живиних сијалица.

У табели 1. је приказан животни век појединих светиљки.

Табела 1. Животни век појединих сијалица

Тип светиљке	Животни век светиљке
Живине сијалице	4000h (1 год)
Компактне флуоресцентне сијалице	8000h (2 год)
Метал халогене сијалице	8000h (2 год)
Натријумске сијалице	16000h (4 год)
LED сијалице	5-10 пута трају дуже од живиних и натријумових (преко 50000 h)

2.4.1. Живине сијалице високог притиска

Сијалице са живиним парама користе електрични лук (лучну цев). Лучна цев, направљена од кварца, садржи живу, као и мале количине неона, аргона и криптона. По укључењу струје, лук трпи удар између главне и помоћне електроде. Прозирне живине сијалице производе белу светлост са зеленкасто-плавим сјајем због живине комбинације линија спектра, производи се и УВ зрачење па је унутрашњост обложена танким слојем фосфора, који реагујући са УВ зрачењем даје бољи баланс боја.

Ефикасност ових сијалица зависи од њихове снаге (W). Практично, што је већа снага, већа је и ефикасност. За њихов рад је потребан период загревања од 4-7 минута како би се достигла пуна светлост. Живине сијалице се све више повлаче из употребе. У табели 2. приказане су карактеристике живиних сијалица.

Табела 2. Техничке карактеристике сијалица на бази живе [4].

Стаклена цев	Помоћни гас аргон
Електроде	Помоћне и главне
Процес разгоревања	Жива испарава 105Pa, траје до 5 мин
Радни напон	Око 180V, када напон падне испод 180V сијалица се гаси, Након гашења мора се охладити да би се поново упалила
Примена	Спољашње расвета
Век трајања	До 6000 сати
Светлосна искоришћеност	40-60lm/W

2.4.2. Метал халогене сијалице високог притиска

Метал халогене сијалице раде на истом принципу као и сијалице са живиним парама. Гасови који се налазе у лучној цеви, који укључују и живу, неон, аргон, криптон и јодиде метала, јонизују се и производе светлост. Метал халогене сијалице имају шири спектар светлости него живине јер се ради о мешавини елемената. Ефикасност сијалица са халогеним металима може да варира у зависности од произвођача и јачине. Као и код живиних сијалица већа снага (W) – већа ефикасност.

Очекивани животни век метал халогених сијалица такође варира од произвођача до произвођача, али и од њене јачине. Број радних сати који наводе произвођачи на паковањима креће се од 1.000 до 20.000 сати. Главне предности сијалица са халогеним металима је одлична репродукција боја њиховог светла, висока искоришћеност електричне енергије и значајно дужи радни век у односу на сијалице са живиним парама.

Метал халогене сијалице нису најпопуларнији извори светлости за осветљење саобраћајница, већ су за спољашње осветљење најактуелније натријумове сијалице под високим притиском. Предност металхалогених сијалица у односу на натријумове је одлична репродукција боја. То је разлог што се све чешће примењују у пешачким и трговачким зонама градова. У табели 3. приказане су карактеристике метал халогених сијалица.

Табела 3. Техничке карактеристике метал халогених сијалица [4].

Преспојна направа	Пригушница, стартер (упаљач) и кондензатор
Примена	Спољашње расвета
Век трајања	До 20 000 сати
Светлосна искоришћеност	75-95lm/W

2.4.3. Натријумове сијалице високог притиска

Сијалице са натријумом под високим притиском производе светлост када гас који се налази у цеви, буде доведен до флуоресценције. Сијалице високог притиска емитују светлост у целокупном видљивом спектру али различитог интензитета. Натријумове сијалице дају светло којим доминира наранџаста боја. Сијалице високог притиска имају и високу ефикасност и дуг радни век.

Према препорукама произвођача може се сматрати да је животни век сијалица на бази натријума снаге од 50W има 22.000 радних сати. Као резултат се може очекивати да оне трају око 4 године, узимајући у обзир да сијалице јавног осветљења у просеку раде 12 сати. Ово их чини најдуготрајнијим извором светлости базираног на технологији високог притиска. У комбинацији са њиховом високом ефикасношћу и прихватљивом ценом пласирају се као најпопуларнији извор светлости за спољашње осветљење. У табели 4. приказане су карактеристике сијалица на бази натријума.

Табела 4. Техничке карактеристике натријумових сијалица[4].

Процес разгоревања	траје до 1 мин
Радни напон	Око 180V, када напон падне испод 180V сијалица се гаси, Након гашења мора се охладити да би се поново упалила
Примена	Спољашње расвета
Век трајања	До 32 000 сати
Светлосна искоришћеност	70-100lm/W

2.4.4. LED технологија

LED, односно светлеће диоде (**LED Light-emitting diode**) је посебна врста полупроводничке диоде која емитује светлост када кроз њу тече струја.

Сијалице на бази **LED-a** се одликују малом потрошњом енергије у односу на количину светлости коју дају. **LED** технологија, захваљујући свом животном веку, али и светлосној ефикасности тежи да заузме водеће место у изради расветних тела (сијалица).

Добра страна код примене **LED** технологије у производњи сијалица је и елиминација штетних зрачења јер код **LED** извора нема ултра љубичастог зрачења. Редуковано је и расипање топлоте што говори да је степен претварања електричне енергије у светлосну енергију висок. О овоме нам говори и енергетска ефикасност **LED** сијалица која се креће од 70-120lm/W.

Што се тиче примене ових сијалица на спољашње осветљење, уколико се желе задржати исти фотометријски услови саобраћајнице или објекта који се осветљава, замена натријумове сијалице се своди на **LED** сијалицу исте или нешто мање снаге. Одлична отпорност на вибрације и непрекоран рад на ниским температурама су још неке добре особине сијалица на бази **LED** технологије.

Сијалице које користе светлеће диоде садрже *LED* модуле тако да се у исто кућиште (сијалицу) може сместити различити број диода. Овај број зависи од геометрије саобраћајнице и траженог нивоа осветљености.

У табели 5. Приказан је принцип замене сијалица код спољашњег осветљења и њихово поређење.

Табела 5. Принцип замене сијалица код спољашњег осветљења[3].

НРМ- Жива високог притиска		HPS- Натријум високог притиска		LED- Електро-луминисцентни извори	
Снага	Светлосни флуks извора*	Снага	Светлосни флуks извора*	Снага	Светлосни флуks извора*
W	lm	W	lm	W	lm
400	22 000	250	28 000	150	23 000
250	13 000	150	16 000	100	10 500
		100	9 800	70	
160	8 000			50	7 500
125	6 200	70	6 000	30	4 500
80	3 200	50	3 500	20	3000

3. Географски информациони системи

У овом раду као основни алат коришћен је софтвер *ArcGIS* за прикупљање и приказ просторних података, основан на бази географских информационих система.

Географски информациони систем (ГИС) је систем за управљање просторним информацијама. ГИС омогућава да се све што се види претвори у податак, да се дигитално прикаже, анализира и управља њима уз помоћ постављања упита. Географски информациони системи или системи за прикупљање, обраду, архивирање, анализу и приказ просторних информација нашли су примену у многим активностима. Уз помоћ Географских информационих система добијамо одговор на питање где се нешто налази и када.

Сакупљање информација је скуп процес, дигитализацијом информација долази до уштеде јер је олакшан процес размене информација. Географски скупови података могу бити веома скупи у процесу прикупљања, али је олакшано њихово копирање и размена. Друга карактеристика географских информација је та да је олакшано повезивање са другим подацима и њихово управљање[7].

3.1. Примена ГИС-а

Географски информациони систем се може користити у научним истраживањима, управљању ресурсима, имовинском управљању, планирању развоја, просторном планирању, картографији и планирању инфраструктуре. ГИС се често користи и за потребе маркетиншког истраживања, геологији, грађевинарству, али и у свим областима које користе просторне податке.

Пет основних и најчешћих видова употребе ГИС-а су:

- 1) картирање,
- 2) мерење,
- 3) надгледање,
- 4) моделирање и
- 5) менаџмент.

Најчешће и највеће поље примене ГИС-а представља природно окружење. Проблем примене ГИС-а у овој области је организационе, а ређе техничке природе. У овом примеру, ГИС обухвата традиционалне дисциплине и бројне професије, а често укључује и мултидисциплинарни приступ. Друго значајно поље примене ГИС-а односи се на вештачко окружење. Обзиром да је потребан висок ниво прецизности локације објеката и њихових граница у овом случају, ГИС апликације су базиране на векторима. Главна поља примене ГИС-а у овом случају односе се на маркетинг анализу, развојно планирање, мрежну анализу и катастерско картирање [8].

ГИС апликације се могу поделити на:

- традиционалне (војска, владине институције, образовање и комуналне делатности),
- развојне (банке и финансијски сектори, предузећа за транспорт и трговину некретнинама)
- нове (кућне или канцеларијске апликације за обављање интелигентних акција)

Поред наведених области примене значајну улогу има и примена у туристичким делатностима, просторном планирању, менаџменту и планирању животне средине, пољопривредној производњи, трговини непокретности, али и у комуналним делатностима чија ће се примена видети у овом раду.

Главне области у којима ГИС има највећу примену:

- 1) Владине институције и јавни сервис
- 2) Пословно и услужно планирање
- 3) Логистика и транспорт
- 4) Животна средина

3.2. Функције ГИС-а

Операције које ГИС може да уради деле се у пет група (слика 7) [9]:

1. Прибављање просторних података
2. Управљање просторним подацима
3. Управљање базама података
4. Визуелизација података
5. Просторне анализе



Слика 7: Пет основних група операција ГИС пакета

1. **Прибављање просторних података** – сваки ГИС пакет је софтверско решење за прибављање и интеграцију просторних података. Примарно прикупљени подаци могу уз помоћ гиса да се дигитализују и повежу са другим подацима који га карактеришу и тако оснују базу података.

2. **Управљање просторним подацима** – ГИС пакет у себи садржи софистицирани систем за управљање базама података, који служи за чување и контролисање просторних података и његових атрибута. Уз помоћ овог система могуће је повезати више извора просторних података, јер има могућност трансформације координатног система. Под управљањем просторним информацијама подразумева се и прављење векторских топологија, чишћење података и сличне операције.

3. **Управљање базама података** – велика предност ГИС пакета је та што је могуће направити везу између просторних података и атрибута који их описују. Што значи да за сваки просторни податак односно локацију може повезати са информацијом која се налази у било ком облику (текст, број, опис итд.).

4. **Визуелизација података** – ГИС пакет (попут *ArcGis-a* или *Idrisi Andes-a*) пружа могућност коришћења алатки за визуализацију података, које омогућавају креирање тематских мапа и путања, узимајући у обзир постојања или непостојања одређених препрека у простору. ГИС пакети у себи садрже и картографске алатке које служе при изради папирних карата или мапа.

5. **Просторне анализе** - ГИС програми нуде и алатке за просторне и локационе анализе археолошких података, као и алатке за одређивање видљивости и кретања по површини земљишта. Поред тога, ГИС програми садрже и алатке за геостатистичке операције које омогућавају креирање континуалних математичких модела на основу издвојених мерења извршених у реалном свету, а поједина решења могу да се користе и за компјутерску симулацију људског понашања и принципа одлучивања у различитим ситуацијама и околинама.

2.3. Уређај за прикупљање података

За прикупљање података потребних за ГИС анализу користе се мапер уређаји. У овом раду коришћен је *Spectra Precision Mobile Mapper* (слика 8.) уређај за прикупљање података на отвореном простору. Ово је ручни уређај опште намене, карактеришу га мале димензије, батеријско напајање, а постоји и могућност приказ мапа уз помоћ меморијских картица. Сви подаци имају три димензије временску, тематску и просторну. Обзиром да су географски подаци у ГИС-у географски орјентисани, односно дефинисани географски координатама, неопходно је податке представити тематским слојевима – лејерима.



Слика 8. Уређај *Spectra Precision Mobile Mapper* [10].

4. Јавно осветљење у Рачи

Територија општине Рача се налази у средишњем делу Србије. Она је смештена у источном пределу Шумадије и захвата углавном сливно подручје Лепенице. Рача је административно средиште општине и највеће место у општини. Општина Рача са околним селима се простире на 216km² површине, а број становника је 11 503. Само месна заједница Рача има 3603 становника.

Јавно осветљење у општини Рача је старе доби, од укупно 513 светиљки више од половине су живине светиљке од 125 W. Карактеристике ових светиљки су описане у претходном поглављу. Њих карактерише мала ефикасност, као и мала светлосна искористивост која се креће од 40-60lm/W. У Табели 6. приказан је број свих типова светиљки на територији општине Рача.

	Тип светиљки	Број светиљки
HPM	Живина светиљка стубна 125W	342
	Живина светиљка стубна 250W	9
	Живина светиљка стубна 400W	28
HPS	Натријумова светиљка стубна 70W	59
	Натријумова светиљка стубна 100W	41
	Натријумова светиљка стубна 250W	4
	Натријумова светиљка стубна 400W	19
MH	Метал халогени рефлектор 400W	11

Табела 6. Број и типови светиљки на територији општине Рача¹

На дијаграму 1 је приказан је однос типова светиљки у процентима.



Дијаграм 1. Приказ светиљки у процентима

¹ Извор: Општинска управа Рача, давање информација од јавног значаја по захтеву бр. ОЗ7-7 /2017-IV-03

Власништво над системом целокупног јавног осветљења има општина. Начин плаћања трошкова енергије за јавно осветљење се врши на основу мерења и целокупни трошкови су под теретом општине Рача. Одржавање система јавног осветљења је у рукама локалне дистрибуције „Електродистрибуција Виртуелна“, трошкови одржавања су такође на терет општине. Што се тиче динамике одржавања система јавног осветљења техничка екипа излази на терен неколико пута годишње, што није на завидном нивоу.

Регулација система јавног осветљења се врши фотоћелијом, која се налази на трафостаницама и на тај начин се укључују или искључују групе сијалица. Дужина осветљених улица на територији општине Рача износи 17 km (3km главна и 14km споредне улице).

Прорачунавањем броја светиљки и њихове инсталиране снаге добија се резултат да укупна снага живиних светљки износи 56.200 kW, натријумових 16.830 kW и метал халогних 4.400 kW. Укупна инсталирана снага свих сијалица је 77.430 kW. Од укупне инсталиране снаге 72,6% снаге су живине светиљке, 21,7% су натријумове, а најнижи удео имају метал халогене са 5,7%.

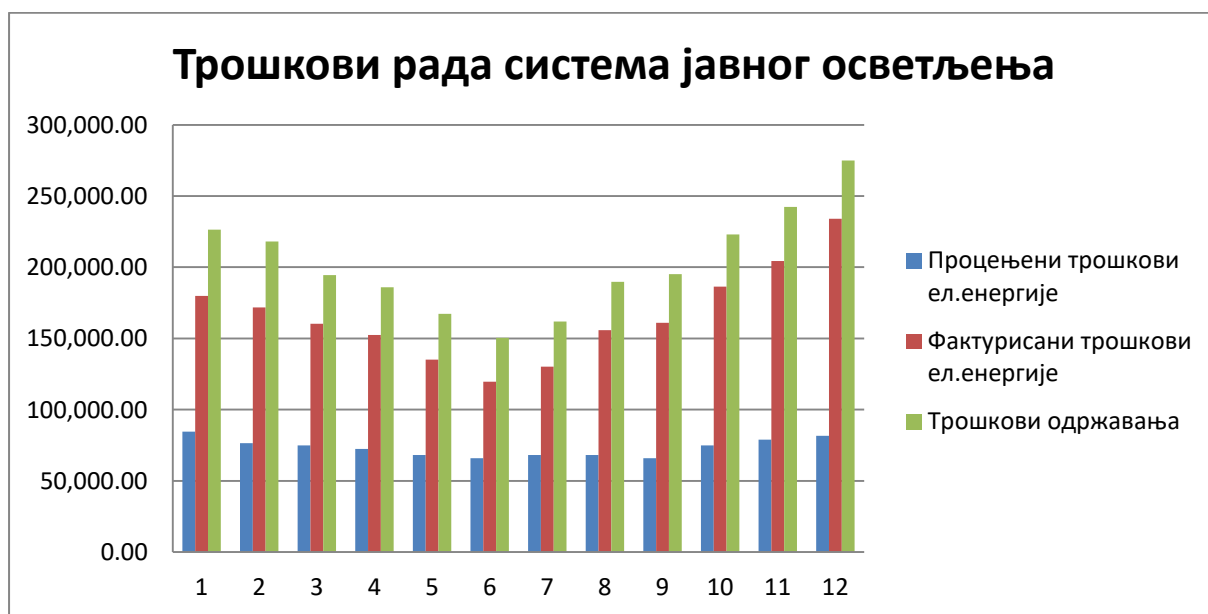
Прикупљањем информација о утрошеној електричној енергији за јавно осветљење у општини Рача у периоду од годину дана за 2015/2016 годину, добија се податак да из буџета општине на годишњем нивоу треба издвојити 4.420.461,13 динара за трошкове јавног осветљења. (Табела 7.) Узимајући у обзир податак да је годишњи буџет општине Рача 300 милиона, следи закључак да се за трошкове јавне расвете одвоји 1,47% укупног годишњег буџета. Ралика између инсталисаног и пројектованг стања говори да постоји нелегално коришћење електричне енергије.

Табела 7. Потрошња електричне енергије и трошкови јавног осветљења по месецима

Месец	Цена ел.енергије (дин/kWh)	Броја дана	Број радних сата на дан	Укупан број радних сата месечно	Потрошња електричне енергије (kWh)	Трошак за ел.енерију (Дин)	Електрична енергија (реално стање)		Трошкови одржавања (Дин)	Укупно (Дин)
							Потрошња	Трошкови		
							(kWh)	(Дин)		
Јануар	2.62	31	12	372.00	32,260.44	84,522.34	68,618.37	179,780.12	226,411.17	406,191.29
Фебруар	2.62	28	12	336.00	29,138.46	76,342.76	65,568.22	171,788.74	218,097.14	389,885.88
Март	2.53	31	11	341.00	29,572.07	74,817.33	63,363.61	160,309.93	194,426.88	354,736.81
Април	2.53	30	11	330.00	28,618.13	72,403.86	60,222.91	152,363.97	185,930.45	338,294.42
Мај	2.53	31	10	310.00	26,883.70	68,015.75	53,428.37	135,173.78	167,184.58	302,358.36
Јун	2.53	30	10	300.00	26,016.48	65,821.69	47,294.85	119,655.96	150,398.41	270,054.37
Јул	2.53	31	10	310.00	26,883.70	68,015.75	51,451.06	130,171.18	161,824.34	291,995.52
Август	2.53	31	10	310.00	26,883.70	68,015.75	61,563.24	155,754.99	189,799.97	345,554.96
Септембар	2.53	30	10	300.00	26,016.48	65,821.69	63,662.91	161,067.15	195,256.21	356,323.36
Октобар	2.53	31	11	341.00	29,572.07	74,817.33	73,668.75	186,381.95	222,921.74	409,303.69
Новембар	2.53	30	12	360.00	31,219.78	78,986.03	80,762.90	204,330.13	242,349.00	446,679.13
Децембар	2.53	31	12	372.00	32,260.44	81,618.90	92,522.71	234,082.48	275,000.86	509,083.34
Укупно		365		3,982.00	345,325.41	879,199.19	782,127.88	1,990,860.38	2,429,600.75	4,420,461.13

У сваком систему, па и у систему јавног осветљења постоје одређени губици. Процењени губици у систему и предспојним уређајима износе 12%. Као што видимо из претходне табеле укупна фактурисана потрошња електричне енергије износи 782.127,88 kWh. Трошкови електричне енергије за јавно осветљење изискују суму од 1.990.860,38 динара, док за трошкове одржавања система треба одвојити 2.429.600,75 динара.

На дијаграму 2. су приказани трошкови рада система током целе године. Закључује се да је већа потрошња у месецима где дневна светлост траје краће, током зимског периода.



Дијаграм 2. Трошкови рада система јавног осветљења по месецима

Разлика у вредностима које су приказане за податке на основу инсталисаног капацитета и фактурисане вредности јавља се због грешке у бројилима или због постојања нелегалних прикључака.

На територији општине Рача најучесталије су живине сијалице. Зато и укупна емисија CO₂ прорачуната на бази фактурисане потрошње електричне енергије тежи чак 739.110,015 kg.

Методологија прорачуна емисије CO₂ дефинисана је од стране Министарства за заштиту животне средине, рударства и просторног планирања, рударства и просторног планирања Републике Србије[11]. За електроенергетски систем Србије просечна емисија CO₂ по 1 MWh износи 0.945tCO₂.

На основу потрошње електричне енергије инсталисаног капацитета емисија CO₂ требало би да износи 326.322,51 kg.

Основни показатељи енергије и трошкова за јавну расвету у општини Рача за 2015/2016 годину приказани су у следећој табели.

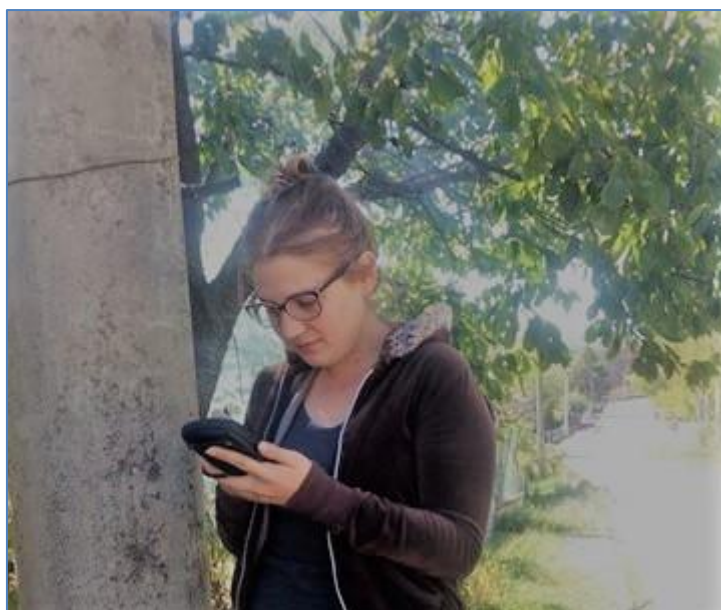
Табела 8. Индикатори енергетске ефикасности јавног осветљења

Енергетски индикатори за изабрану годину	Вредност
Број светиљки по становнику (свет./ст.)	0.14
Просечна снага светиљке јавног осветљења (kW)	0.15
Број светиљки по km осветљених улица (свет./km)	30,18
Потрошња електричне енергије за јавно осветљење по светиљци (kWh год./свет.)	1,524.62
Потрошња електричне енергије за јавно осветљење по становнику годишње (kWh год./ст.)	217.08
Потрошња електричне енергије за јавно осветљење по km осветљених улица годишње (kWh год./km)	41,007.52
Специфични трошкови система јавног осветљења	Вредност
Специфични годишњи бруто трошак за електричну енергију	
По светиљци (ДИН год./свет.)	3,880.82
По становнику(ДИН год./ст.)	552.56
По km осветљених улица (ДИН год./km)	117,109.43
Специфични годишњи бруто трошак за одржавање	
По светиљци (ДИН год./свет.)	4,736.06
По становнику(ДИН год./ст.)	674.33
По km осветљених улица (ДИН год./km)	142,917.69
Специфични годишњи бруто трошак за систем јавног осветљења	
По светиљци (ДИН год./свет.)	8,616.88
По становнику(ДИН год./ст.)	1,226.88
По km осветљених улица (ДИН год./km)	260,027.13
Учешће укупних трошкова за јавно осветљење у годишњем буџету општине (%)	1.47

Приказане табеле могу бити основа за одлуке о даљем побољшању ефикасности јавне расвете.

4.1. Мапирање јавне расвете у Рачи

Као што је већ напоменуто, помоћни алат за мапирање јавне расвете који је коришћен у овом раду је *Spectra Precision Mobile Mapper*. Изласком на терен и одређивањем тачних координата локација на којој се налазе стубови који носе светлосне изворе, добијају се лејери за сваку врсту светиљке која се налази на територији општине Рача.



Слика 9. Рад на терену, прикупљање података у Косовској улици

Анализирањем стања на терену закључује се да је распоред носећих стубова извора светлости једностран, што је најзаступљенији распоред у пракси(Слика 10).



Слика 10. Једностран распоред светиљки

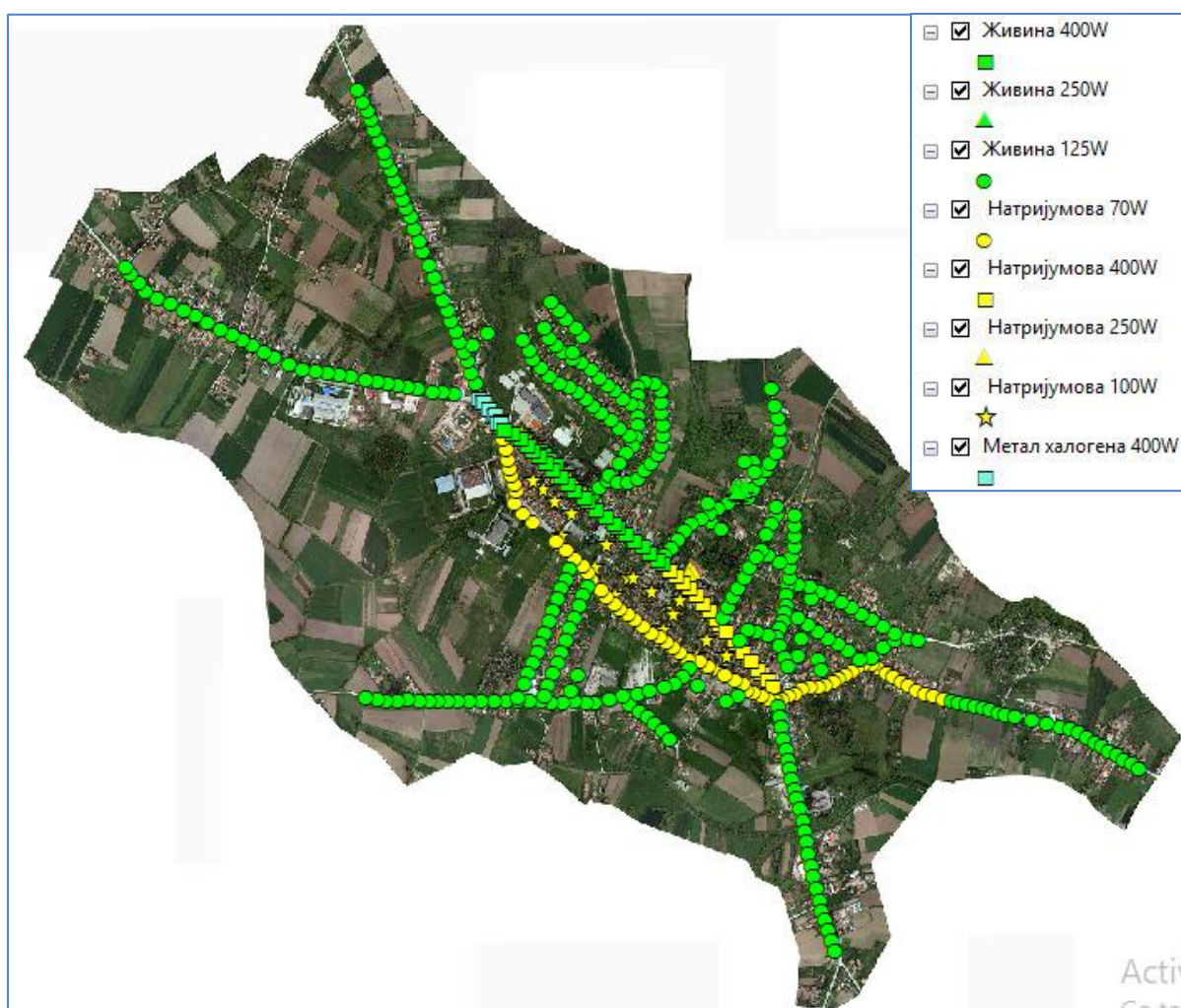
У сарадњи са електродистрибуцијом у Рачи, усменим путем је добијена информација о распореду светиљки, тачније у којим улицама се налазе одређене светиљке. Тако су добијене следеће информације:

Први део Крађорђевој улице (главне улице) осветљен је натријумском светиљком 400W, док је други део осветљен живином светиљком 400W. Раскрсница има нешто већу видљивост и осветљена је метал халогеним сијалицама од 400W. Магистрани пут М4 Марковац-Рача-Топола осветљен је натријумовим сијалицама од 70W. Осветљење

око основне школе појачано је натријумовим сијалицама од 100W, овај тип сијалица се такође налази и у попречним улицама које повезују магистрани пут и главну улицу. Јавна површина која се налази између средње и основне школе осветљена је са 4 живине сијалице од 400 W, а са 4 светиљке натријумске од 250W је осветљен и Дом културе у Рачи. За локацију око Дома здравља коришћене су живине светиљке од 250W.

Уношењем прикупљених података у софтвер *ArgGis* добијена је мапа која приказује распоред различитих врста светиљки на територији општине Рача (Слика 10).

Како би подаци у *ArgGis*-у били прецизно приказани и употпуњени, потребно је било набавити *Orthophoto* подлогу. У сарадњи са Службом за катастар непокретности Рача добијен је потребан снимак.

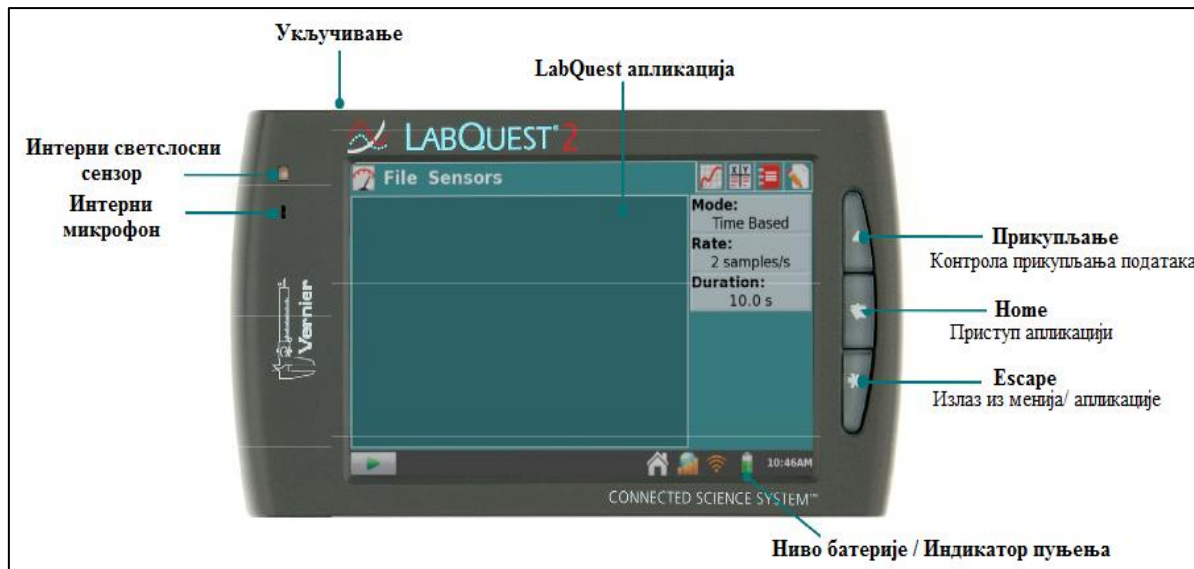


Слика 11. Распоред различитих врста светиљки на територији општине[12].

На претходној слици се види да се најзаступљенија врста осветљења на територији општине Рача заснива на светиљкама на бази живе, затим следе натријумове светиљке којима је осветљен магистрани пут М4, а најмање има метал халогених светиљки које су постављене на раскрсници која повезује магистрани пут М4 и регионални пут Р109.

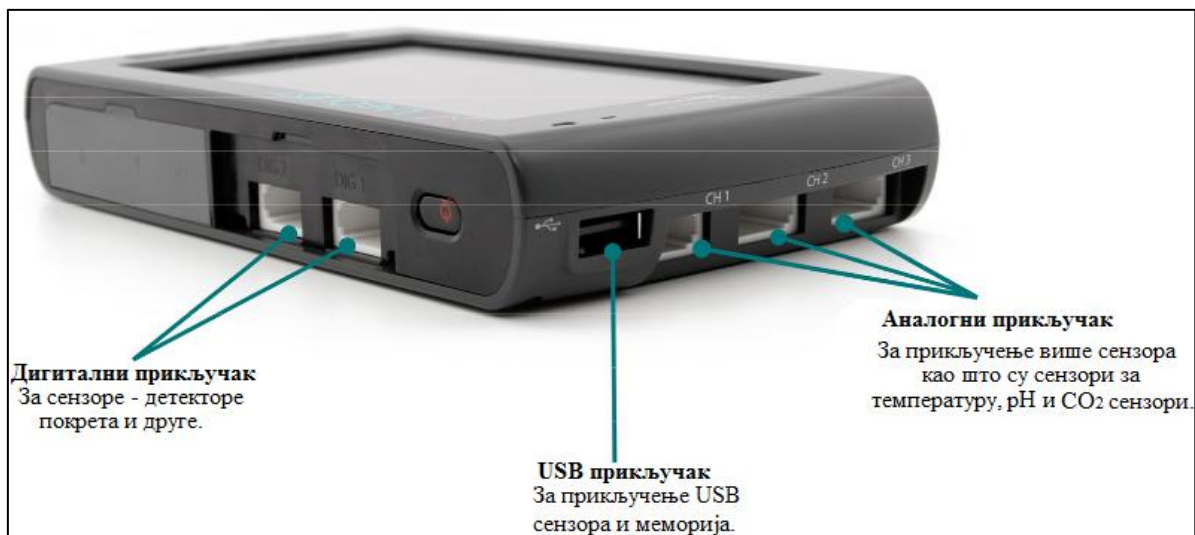
Даљом анализом јавног осветљења у општини Рача биће приказан и анализиран ниво осветљености који пружају различити типови осветљења.

На слици 11 дат је приказ уређаја *LabQuest2* са обележеним важним функцијама. Овај уређај је коришћен за мерење количине осветљености.



Слика 12. Уређај *LabQuest2* [13].

На слици 12 приказани су прикључци који повезују уређај и сензоре којима се прикупљају подаци за мерења у реалном времену.



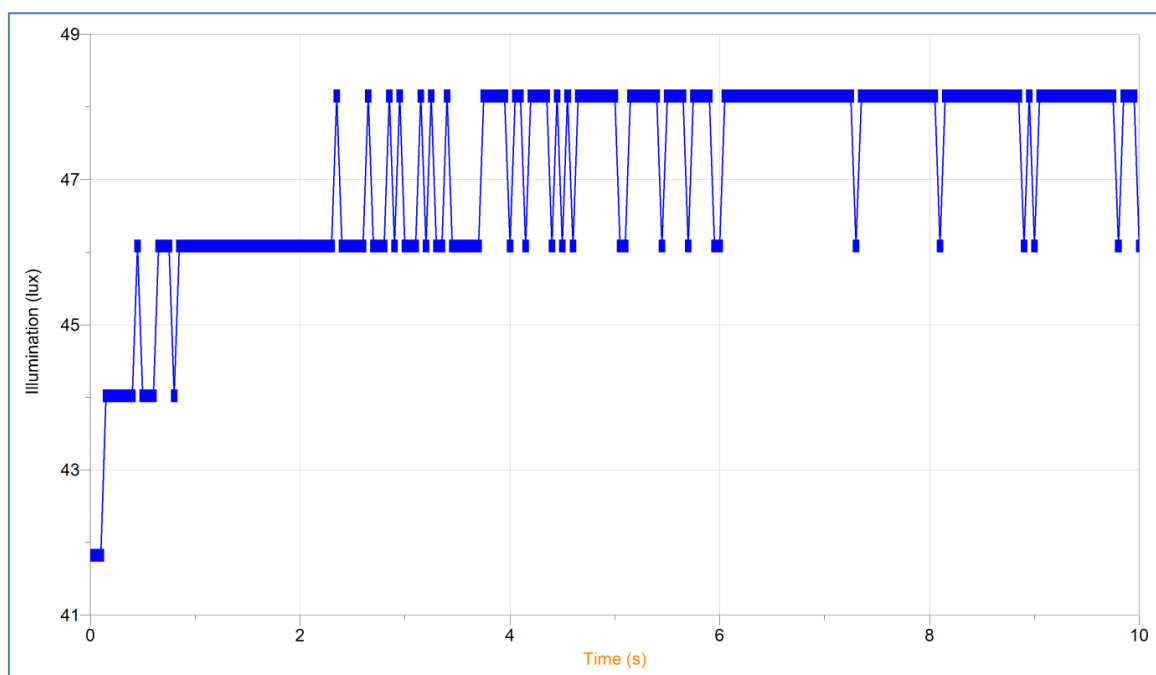
Слика 13. *LabQuest2* - Прикључци

Уз помоћ уређаја за мерење светлости прикупљени су подаци на више карактеристичних локација(слика 13).



Слика 14. Локације на којима су прикљепени подаци о нивоу осветљености

Уношењем података у *Logger Lite* софтвер, добијени су дијаграми свих мерења. На следећем дијаграму су представљене вредности о осветљености на локацији 6, где је заступљено осветљење на бази натријума(Дијаграм 3). Просечна вредност овог мерења износи 47 lux-а, а мерење је вршено на 2m раздаљине од носећег стуба. Сва мерења су извршена на висини од 1,5m од тла.



Дијаграм 3. Дијаграм јачине светлости за локацију 6, *Logger Lite* софтвер[14].

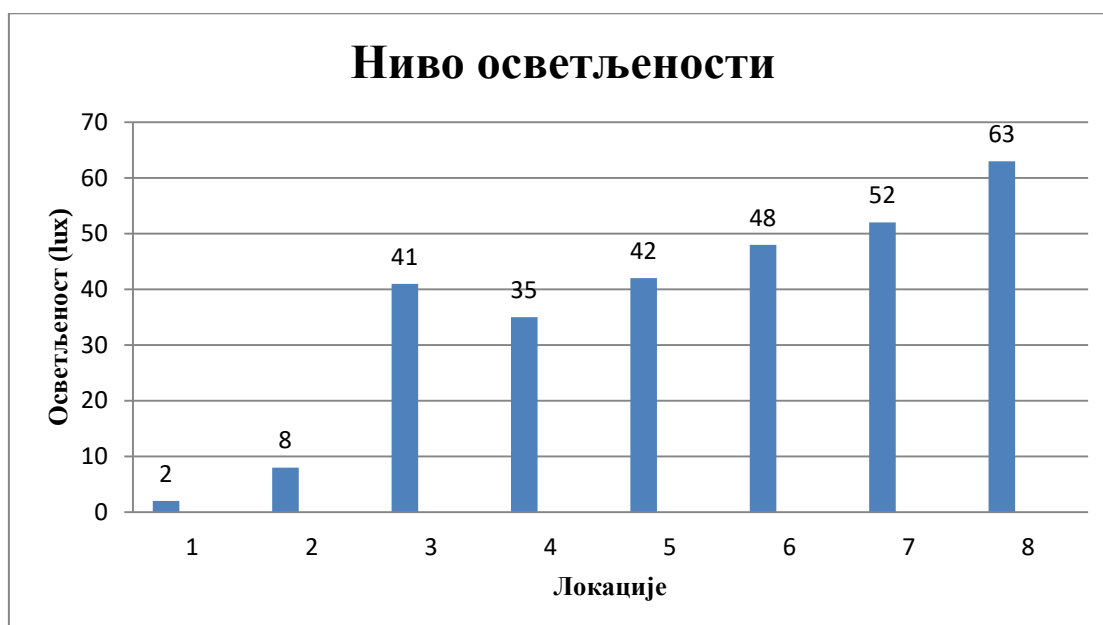
У следећој табели су разврстане и приказане информације о локацијама на којима су прикупљене.

Табела 9. Подаци о анализираним локацијама

Редни број	Локација	Просечна вредност осветљености (lux)	Најзаступљенији тип светиљке на локацији	Растојање од стуба на ком је вршено мерење (m)
1	Косовска улица	2	Живина 125W	1,5
2	Дом здравља	8	Живина 250W	1,5
3	Главна улица (2 део)	41	Живина 400W	2
4	„Yura Corporation“	35	Натријумова 70W	1,5
5	Попречне улице	42	Натријумова 100W	1,5
6	Дом културе	47	Натријумова 250W	2
7	Главна улица (1 део)	52	Натријумова 400W	2
8	Раскрсница	63	Метал халогена 400W	2

Из табеле се види да највиши ниво осветљености има раскрсница на којој је најзаступљенији тип светиљке метал халогена сијалица од 400W. На визуелни конфор поред нивоа осветљености утичу и друге карактеристике као што је сјајност, јачина осветљења, бљештавост, рефлексија, али и карактеристике везане за само околину као што је дрвеће које заклања светиљку и тако смањује њено деловање. Најнижи ниво осветљења је измерен на периферном делу ове општине и износи свега 2 lux-а. Косовска улица је дужине 120m, дуж ње су распоређена 3 носећа стуба са живином светиљком од 125W (на 40m раздаљине).

На следећем дијаграму су приказане просечне вредности осветљености за наведене локације.



Дијаграм 4. Ниво осветљености на одређеним локацијама

Упоређивањем Табеле 9. и претходног дијаграма запажа се да тип светиљке у великој мери утиче на процену нивоа осветљености. Овакав закључак не важи за све локације јер на осветљеност, као што је већ напоменуто, утиче више фактора, један од њих је и застарелост светиљки које се временом прљају и тиме се умањује њихов интензитет рада.

5. Мере енергетске ефикасности расвете у Рачи

Реконструкцијама јавног осветљења, општине имају велику уштеду у финансијском аспекту што се тиче одржавања система јавне расвете, али и у уштеди електричне енергије. Квалитетном и поузданом реконструкцијом се подиже задовољство грађана, а велики допринос је и са аспекта екологије и заштите животне средине.

У овом раду биће анализирана замена сијалица као мера побољшања јавног осветљења на територији општине Рача.

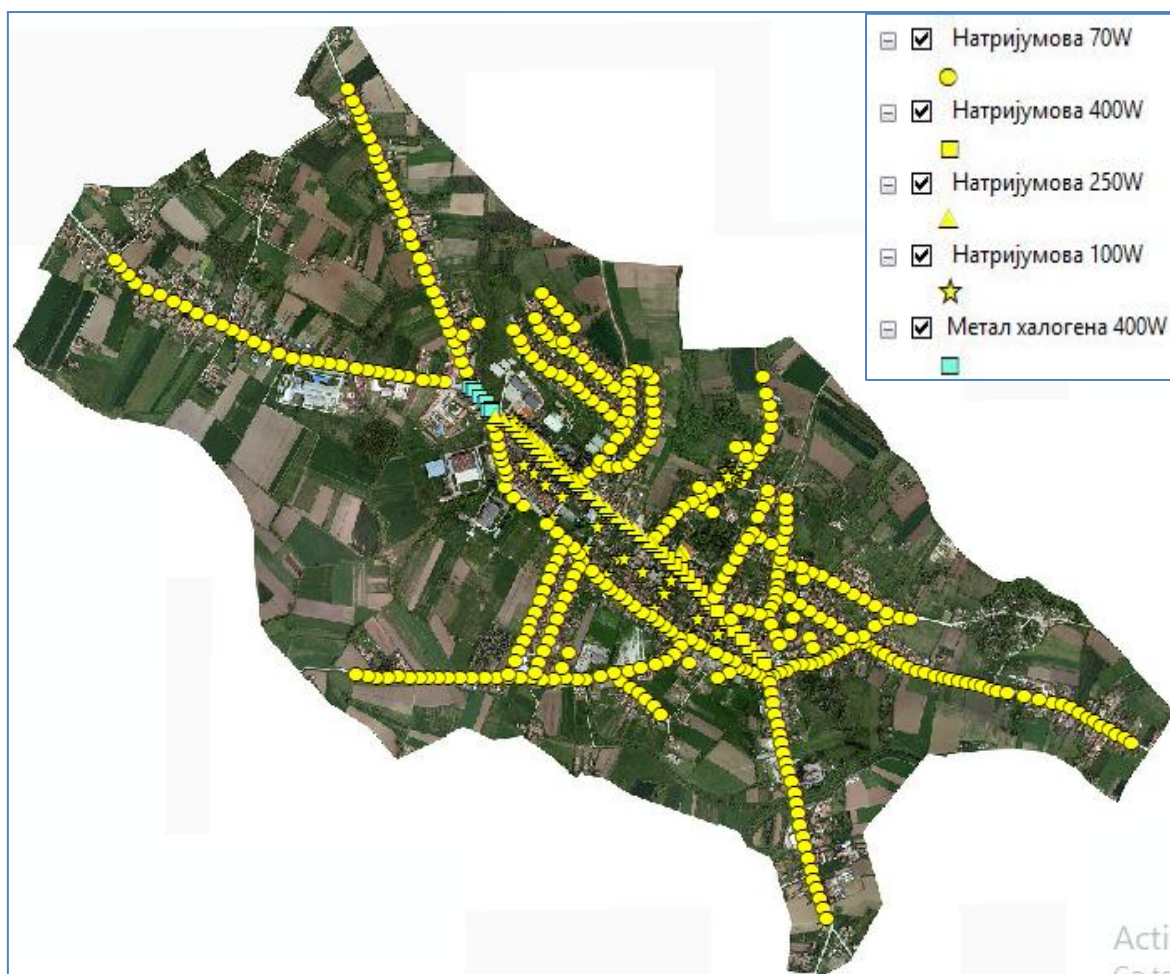
5.1. Замена светиљки

Замена застарелих и неефикасних сијалица може да доведе до великих уштеда електричне енергије која се користи за јавно осветљење, а самим тим и уштеде у финансијском плану. У овом раду биће разматрана четири сценарија замене сијалица на територији разматране општине.

I сценарио

У првом сценарију разматрана је ситуација када би се замениле све неефикасне живине сијалице натријумовим сијалицама које са собом носе боље карактеристике. На основу Табеле 5. Примењује се следећи вид замене:

Живина сијалица 125W	→	Натријумова сијалица 70W
Живина сијалица 250W	→	Натријумова сијалица 100W
Живина сијалица 400W	→	Натријумова сијалица 250W



Слика 15. Приказ на мапи када би се извршила замена, сценарио I

Евидентно је да су натријумове сијалице ефикасније од живиних. Живине сијалице имају радни век 4000h док натријумове имају 16000h. Извори светлости на бази натријума су 50% скупљи од живиних, али је зато и њихова ефикасност већа тако да се за исти број светиљки смањује потрошња електричне енергије.

Након замене долази се до нових података који су приказани у следећој табели.

Табела 10. Бројно стање светиљки након замене

Тип светиљки	Број светиљки
Натријумова светиљка стубна 70W	401
Натријумова светиљка стубна 100W	50
Натријумова светиљка стубна 250W	32
Натријумова светиљка стубна 400W	19
Метал халогена светиљка 400W	11

Укупна инсталирана снага након замене светиљки износи 53.070kW што је за 24.360 kW мање од инсталиране снаге у постојећем стању. Просечна годишња цена 1kW износи 2,55 динара, што значи да се на годишњем нивоу на основу инсталисаног капацитета потроши 236.683,71 kWh електричне енергије за јавно осветљење. За трошкове електричне енергије у овом случају потребно је издвојити 602.597,20 динара

на годишњем нивоу. Емисија CO₂ у овом случају би износила 223.666,10kg. У Табели 11. приказани су подаци након извршене замене светлосних извора.

Табела 11. Поређење постојећег и новог система јавног осветљења, за I сценарио

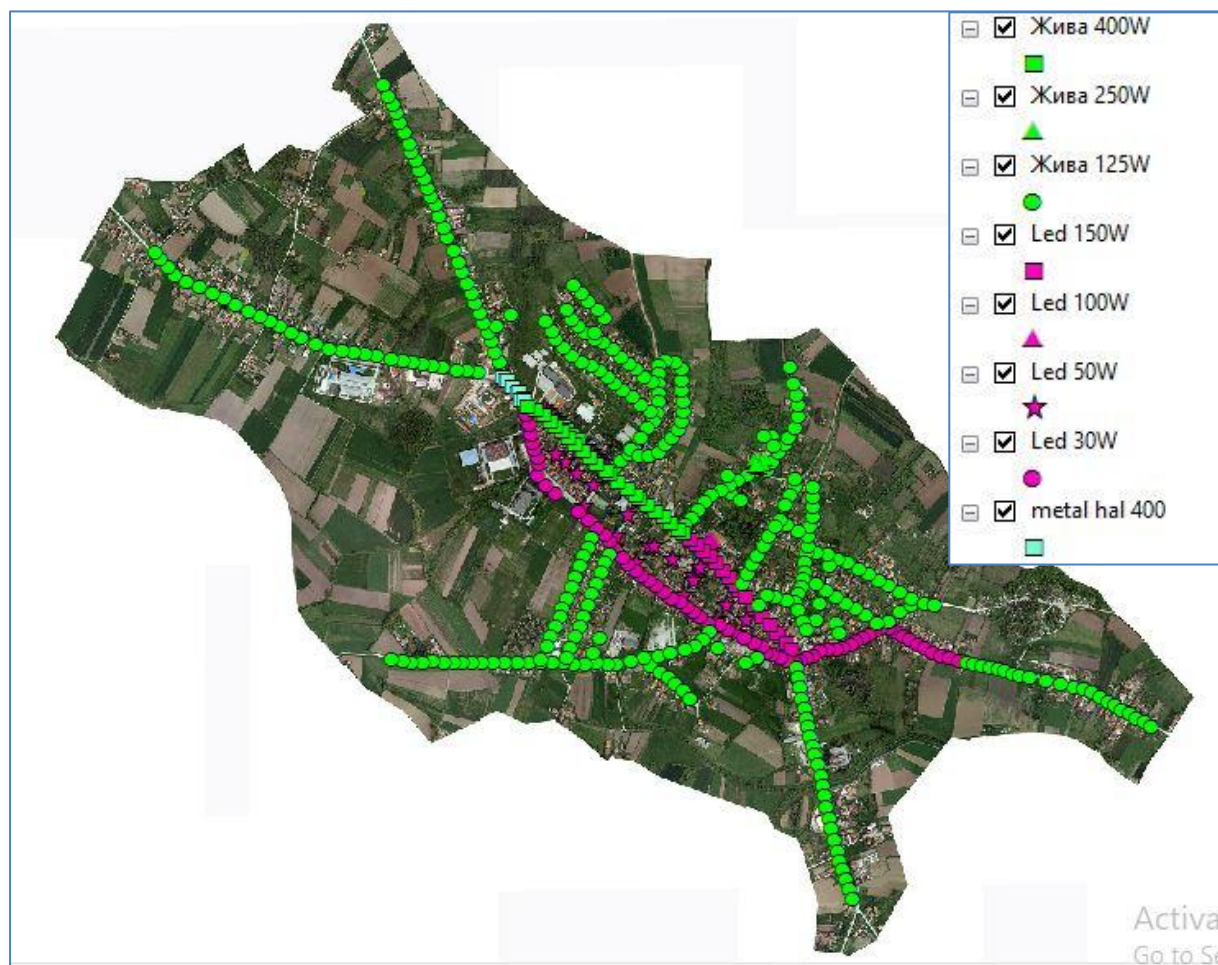
	Постојећи систем јавног осветљења	Нови систем јавног осветљења
Укупна инсталисана снага сијалица	77.430 kW	53.070 kW
Просечна снага светиљке јавног осветљења	0,15 kW	0,10 kW
Потрошња електричне енергије на основу инсталисаног капацитета	345.325,41 kWh	236.683,71 kWh
Трошкови електричне енергије на основу инсталисаног капацитета	879.199,19 динара	602.597,20 динара
Емисија CO₂	326.322,51 kg	223.666,10 kg

II сценарио

У другом сценарију примењена је тренутно актуелна LED расвета. Познато је да је ова врста расвете тренутно најефикаснија, али и најпожељнија гледајући са аспекта екологије. Животни век LED светиљке је 45 000h. Замена светлосних извора ће се у овом делу вршити на следећи начин:

Натријумова сијалица 70W → LED 30W
 Натријумова сијалица 100W → LED 50W
 Натријумова сијалица 250W → LED 100W
 Натријумова сијалица 400W → LED 150W

На слици 15 је приказана ситуација када се натријумово осветљење замени LED расветом.



Слика 16. Графички приказ замене натријумових сијалица LED-ом

Заменом натријумових извора светлости LED-ом доводи до нових података о броју сијалица.(Табела 12)

Табела 12. Бројно стање светиљки након замене у сценарију II

	Тип светиљки	Број светиљки
HPM	Живина светиљка стубна 125W	342
	Живина светиљка стубна 250W	9
	Живина светиљка стубна 400W	28
LED	Led 30W	59
	Led 50W	41
	Led 100W	4
	Led 150W	19
MH	Метал халогени рефлектор 400W	11

Укупна инсталирана снага након замене светиљки износи 67.670 kW што је за 9.760 kW мање од инсталиране снаге у постојећем стању. Просечна снага светиљке јавног осветљења је 0,13 kW. На годишњем нивоу на основу инсталисаног капацитета

потроши се 301.797,373 kWh електричне енергије за јавно осветљење. За трошкове електричне енергије у овом случају потребно је издвојити 769.583,30 динара на годишњем нивоу. Емисија CO₂ у овом случају би износила 285.198,51 kg. У Табели 13. приказани су подаци након извршене замене светлосних извора.

Табела 13. Поређење постојећег и новог система јавног осветљења, за II сценарио

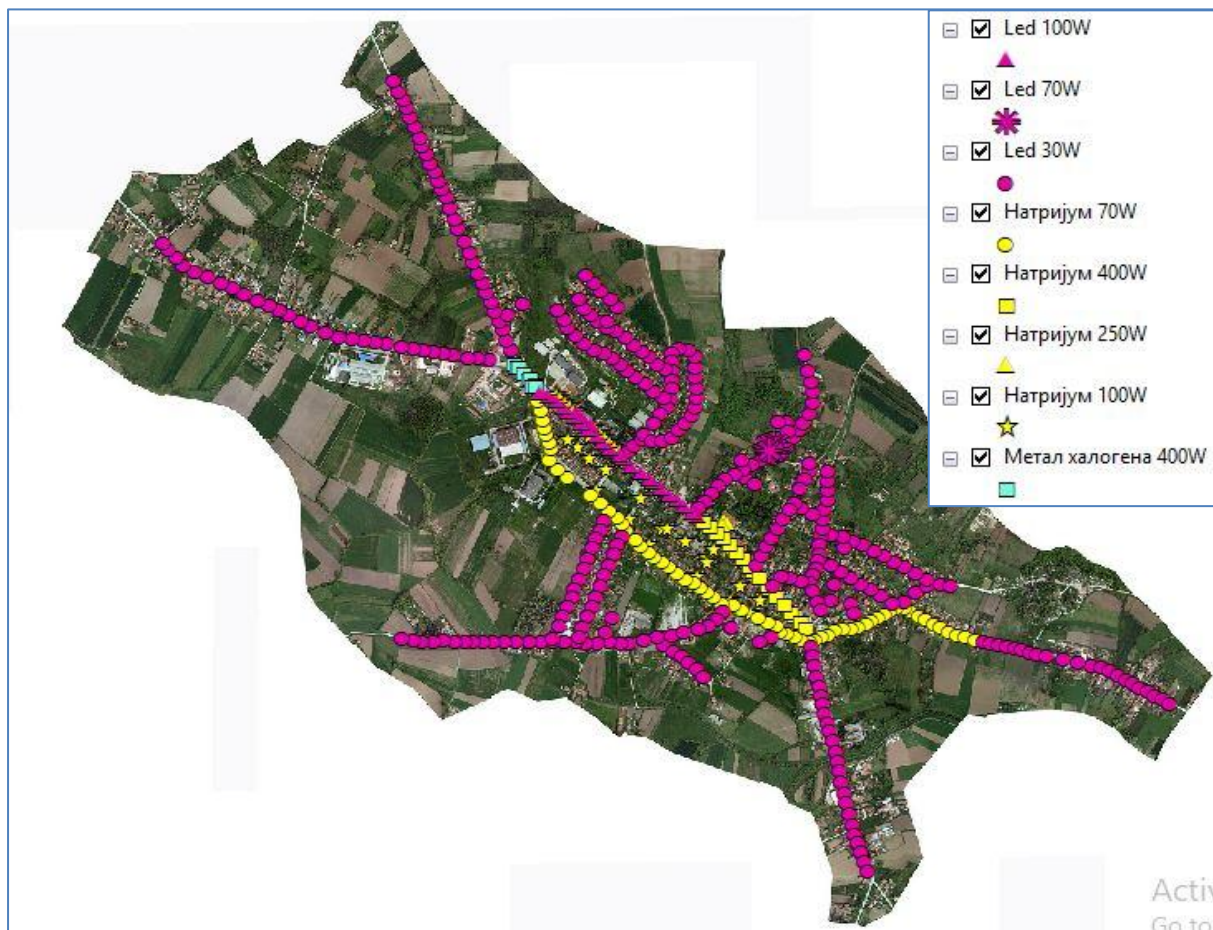
	Постојећи систем јавног осветљења	Нови систем јавног осветљења
Укупна инсталисана снага сијалица	77.430 kW	67.670 kW
Просечна снага светиљке јавног осветљења	0,15 kW	0,13 kW
Потрошња електричне енергије на основу инсталисаног капацитета	345.325,41 kWh	301.797,373 kWh
Трошкови електричне енергије на основу инсталисаног капацитета	879.199,19 динара	769.583,30 динара
Емисија CO₂	326.322,51kg	285.198,51 kg

III сценарио

У трећем сценарију примењује се LED расвета на застарелу и неефикасну расвету на бази живе. Замена ће се вршити по следећем принципу:

Живина сијалица 125W → LED 30W
 Живина сијалица 250W → LED 70W
 Живина сијалица 400W → LED 100W

На следећој слици је приказана мапа распореда осветљења након замене светлосних извора. Прикази за све случајеве су обрађени у софтверу *ArgGis*.



Слика 17. Приказ на мапи након извршене замена, III сценарио

Заменом натријумових извора светлости LED-ом доводи до нових података о броју сијалица (Табела 14).

Табела 14. Бројно стање светиљки након замене, сценарио III

	Тип светиљки	Број светиљки
LED	Led 30W	342
	Led 70W	9
	Led 100W	28
HPS	Натријумова светиљка стубна 70W	59
	Натријумова светиљка стубна 100W	41
	Натријумова светиљка стубна 250W	4
	Натријумова светиљка стубна 400W	19
MH	Метал халогени рефлектор 400W	11

Укупна инсталирана снага након замене живиних светиљки LED-ом 34.920 kW. Овај податак је за више од 50% нижи од реалне ситуације у јавном осветљењу. Просечна снага једне светиљке јавног осветљења је 0,068 kW. На годишњем нивоу на основу инсталисаног капацитета потроши се 155.737,613 kWh електричне енергије за јавно осветљење. За трошкове електричне енергије у овом случају потребно је издвојити

397.130,913 динара на годишњем нивоу. Емисија CO₂ у овом случају би износила 147.172,04kg. У Табели 15. приказани су подаци након извршене замене светлосних извора из којих се може закључити да је оваква замена знатно утицала на смањење трошкова.

Табела 15. Поређење постојећег и новог система јавног осветљења, за III сценарио

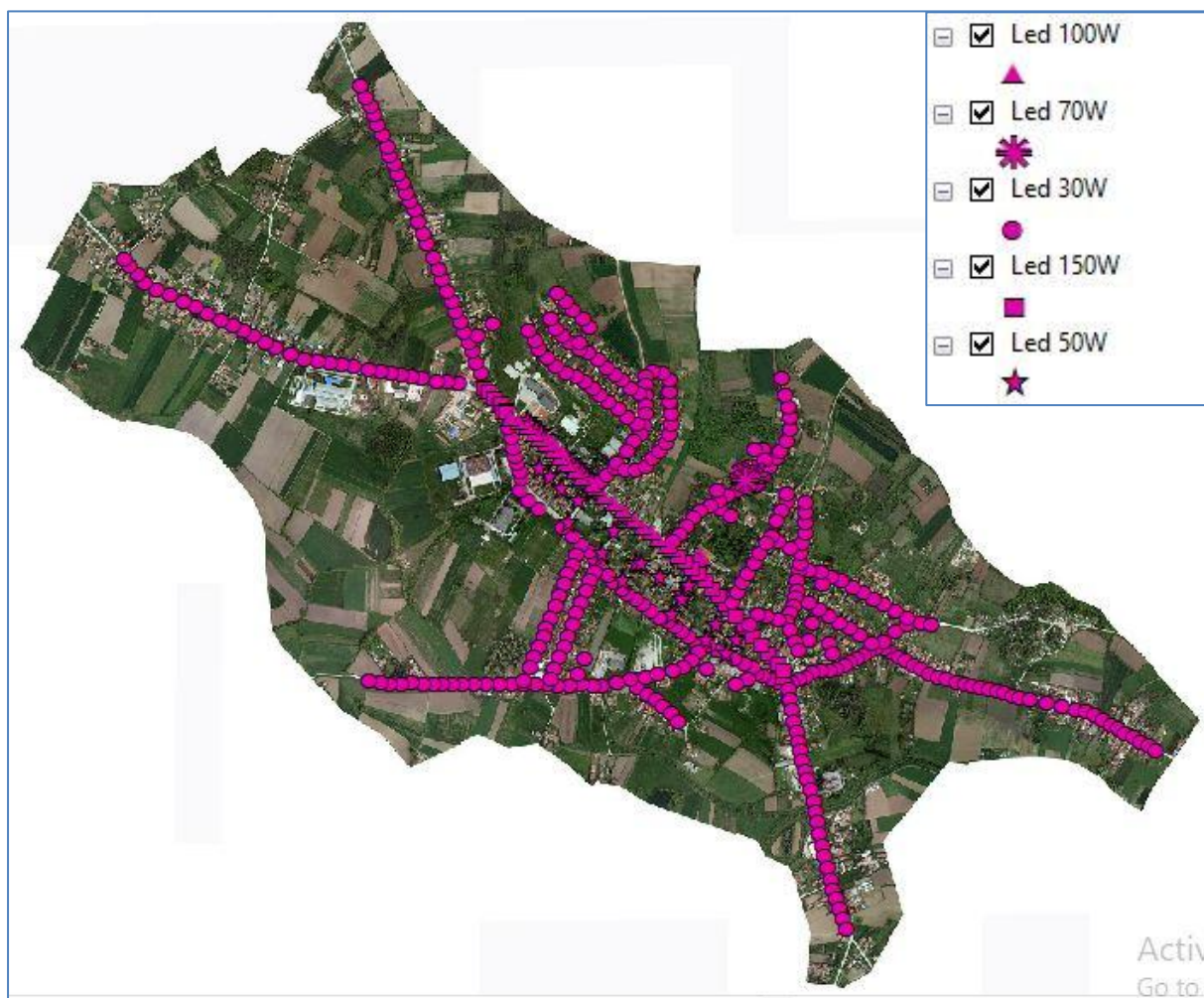
	Постојећи систем јавног осветљења	Нови систем јавног осветљења
Укупна инсталисана снага сијалица	77.430 kW	34.920 kW
Просечна снага светиљке јавног осветљења	0,15 kW	0,068 kW
Потрошња електричне енергије на основу инсталисаног капацитета	345.325,41 kWh	155.737,613 kWh
Трошкови електричне енергије на основу инсталисаног капацитета	879.199,19 динара	397.130,913 динара
Емисија CO₂	326.322,51 kg	147.172,04 kg

IV сценарио

У последњем случају анализира се стање јавног осветљења када је расвета у потпуности замењена LED-ом. Замена светлосних извора је одређена на следећи начин:

Натријумова сијалица 70W	→	LED 30W
Натријумова сијалица 100W	→	LED 50W
Натријумова сијалица 250W	→	LED 100W
Натријумова сијалица 400W	→	LED 150W
Живина сијалица 125W	→	LED 30W
Живина сијалица 250W	→	LED 70W
Живина сијалица 400W	→	LED 100W
Метал халогена 400W	→	LED 150W

На слици 17 приказан је распоред свих јачина светиљки на бази LED технологије у анализираној општини.



Слика 18. Распоред LED осветљења на територије општине Рача

Табела 16. Бројно стање светиљки након адаптирања целокупне Led расвете

	Тип светиљки	Број светиљки
LED	Led 30W	401
	Led 50W	41
	Led 70W	9
	Led 100W	32
	Led 150W	30

Укупна инсталирана снага након замене свих извора светлости LED светиљкама износи 22.410 kW што је чак 70% ниже у односу на реално стање. Просечна снага светиљке јавног осветљења је 0,043 kW. На годишњем нивоу на основу инсталисаног капацитета потроши се 99.945.01 kWh електричне енергије за јавно осветљење, што представља велику уштеду енергије. За трошкове електричне енергије у овом случају потребно је издвојити 254.859,776 динара на годишњем нивоу. Емисија CO₂ у овом случају би износила 94.448,03kg. Упоређивање података са реалним стањем приказано је у Табели 17.

Табела 17. Поређење постојећег и новог система јавног осветљења за IV сценарио

	Постојећи систем јавног осветљења	Нови систем јавног осветљења
Укупна инсталисана снага сијалица	77.430 kW	22.410 kW
Просечна снага светиљке јавног осветљења	0,15 kW	0,043 kW
Потрошња електричне енергије на основу инсталисаног капацитета	345.325,41 kWh	99.945.01 kWh
Трошкови електричне енергије на основу инсталисаног капацитета	879.199,19 динара	254.859,776 динара
Емисија CO ₂	326.322,51 kg	94.448,03kg

4.2 Реорганизација јавног осветљења

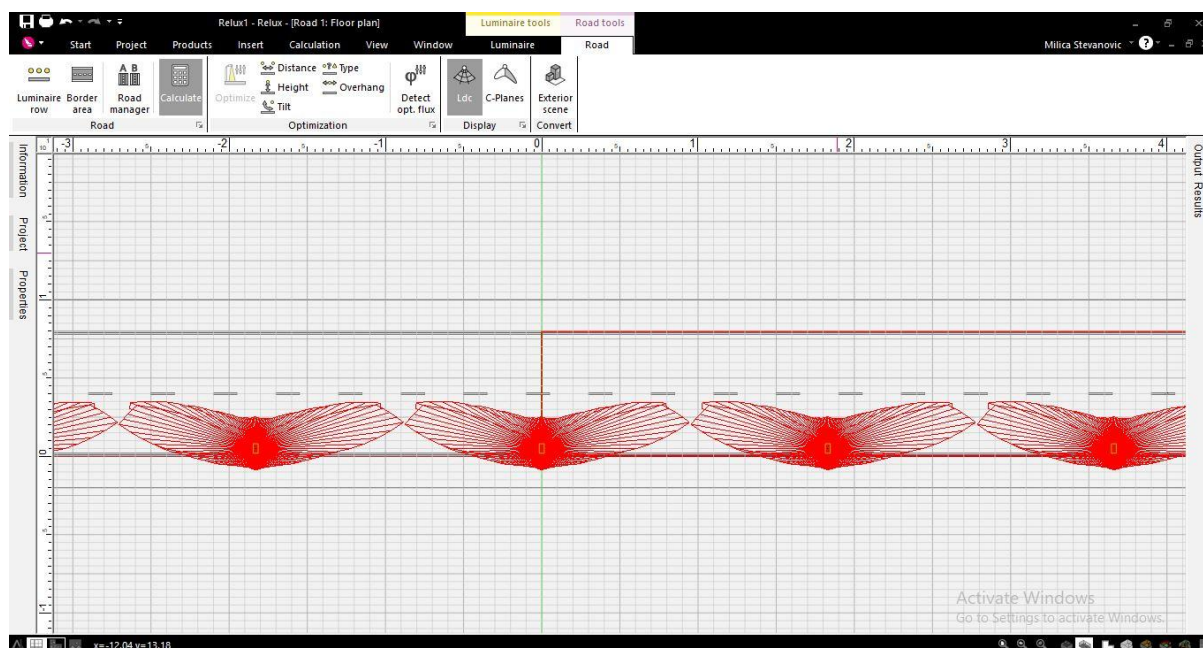
Још један начин побољшања система јавне расвете, поред замене светлосних извора, је реорганизација јавног осветљења. Радом на терену испраћени су сви технички недостаци осветљења у општини Рача.

Као што је напоменуто у Косовској улици је најнижи ниво осветљености, свега 2 lux-a, тако да је реконструкција неизбежна. На слици 19 приказано је постојеће стање распореда светиљки на бази живе као и површина на коју се светлост простира. Светлост се распростира равномерно од светлосног извора ка споља, али на најудаљенијим тачкама од светлосног извора, интензитет светлости опада што је графички и приказано на слици.



Слика 19. Постојећи распоред светиљки у Косовској улици

Висина стуба (изнад површине земље) који носи светлосни извор износи 7,5m. На основу овог податка и карактеристика светилке, радијус простирања светлости израчунат је у софтверу *Relux* (слика 20).



Слика 20.Расподела светлости (*LDC*) код LED сијалице од 30W(2D приказ, *Relux*) [15].

Relux је професионални софтвер за прорачун унутрашњег и спољашњег осветљења као и осветљења саобраћајница. У последњим годинама постао је веома цењен међу корисницима због могућности реалне визуелизације, ефикасног приступа подацима производа, прецизног прорачуна и доброг корисничког интерфејса. Програм је развила немачка фирма *Relux Informatik AG* из Базела на основу дугогодишњег искуства водећих светских произвођача осветљења. У овом програму постоји могућност пројектовања простора и са светлосним изворима који се не налазе у каталогу програма. Након уношења података о сијалицама добија се детаљан приказ резултата у *PDF* формату. Овај програм омогућава приказ простора у 2D и 3D-у.

Вредност која је добијена за радијус живине сијалице од 125W износи 12 m. Овај податак није компетентан за постојеће стање, јер су светилке које се налазе на овој локацији истрошене и задрљане тако да је интензитет светлосног извора опао. Изласком на терен и употребом луксметра, на приближно 10 метара од стуба скоро да нема осветљености.

Решење овог недостатка приказано је на слици 21.



Слика 21. Реорганизација јавног осветљења у Косовској улици

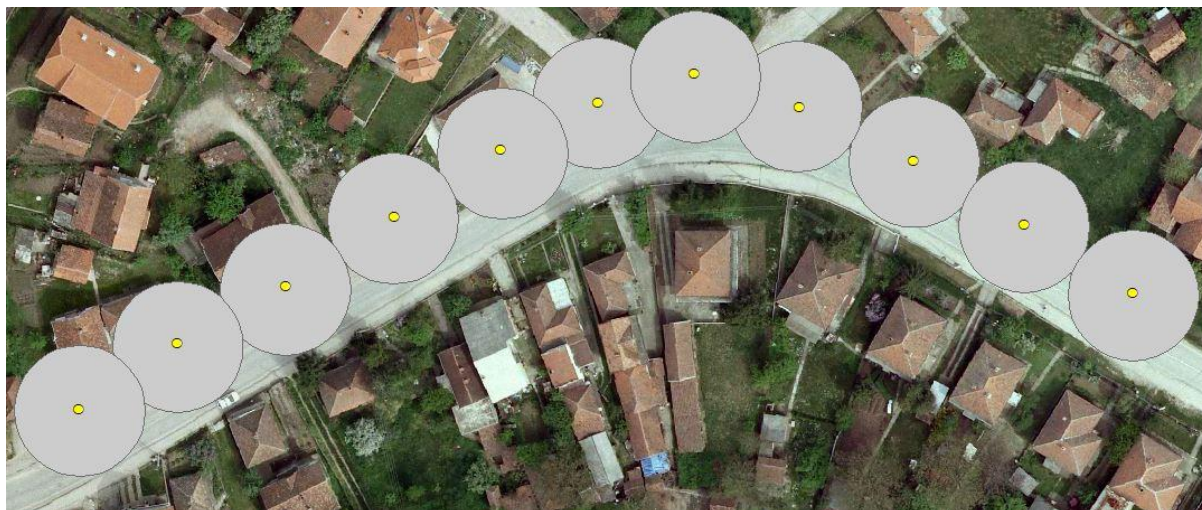
Овај недостатак захтева додатна два стуба, и у том случају би се растојање стубова смањило са првобитних 40 m на 25 m. Заменом живине светиљке LED светиљком од 30W побољшао би се визуелни конфор, јер LED расвета пружа равномерно простирање светлости у свим правцима.

На следећој слици је приказан магистрани пут М4 које је осветљен натријумовим светиљкама од 70W.



Слика 22. Магистрални пут-М4

Распоред стубова је у овом делу задовољавајући. Између неких светиљки постоји веће растојање, али се тај проблем може решити заменом светлосних извора. Међутим, гледано са техничког аспекта осветљења боље решење је да светиљке буду са спољашње стране кривине, јер се на тај начин постиже већи ниво сјајности(Слика 23.).



Слика 23. Магистрални пут-М4, реорганизација осветљења [6]

6. Економска анализа реконструкције јавне расвете

У овом поглављу приказана је економска анализа за претходно поменута четири сценарија.

Анализа сценарија I

У првом случају разматрана је замена постојећих живиних сијалица натријумовим. Предност у овом случају је што оваква инвестиција не захтева и замену носећих стубова. Упоредивањем података долази се до закључка да је у овом случају уштеда 31,46% на годишњем нивоу. Самим тим уштеђено је 108.641,7kWh електричне енергије, односно 276.601,99 динара.

Живине сијалице замењене су натријумовим сијалицама чији је произвођач *Phillips* (Слика 24.).



Слика 24. Натријум сијалица 70W SON Pro I E27 елипса *Phillips* [16]

Карактеристике сијалица као и њихова цена приказане су у следећој табели.

Табела 18. Карактеристике натријумових *Phillips* сијалица [16]

	70W SON Pro I E27 елипса <i>Phillips</i>	100W SON Pro I E27 елипса <i>Phillips</i>	250W SON Pro I E27 елипса <i>Phillips</i>
Димензије	C=155 mm D=71 mm	C=209 mm D=47 mm	C=227 mm D=91 mm
Век трајања	25 000h	25 000h	25 000h
Боја светлости	2000 K (топло бела)	2000 K (топло бела)	2000 K (топло бела)
Цена по комаду (дин)	1866,00	1192,44	2072,40
*C-дужина сијалице, D-ширина сијалице			

На основу података из Табеле 10. извршена је економска анализа инвестиције. Потребно је уложити новац за куповину 401 сијалице од 70W, 50 сијалица од 100W и 32 сијалице од 250W. Рачунајући цене наведене у претходној табели долази се до суме од 874.204,80 динара које је потребно уложити у ову инвестицију.

Када се подели цена инвестиције са израчунатом сумом која се уштеди на потрошњи електричне енергије на годишњем нивоу добија се податак да би се ова инвестиција исплатила кроз **3 године и 2 месеца**.

Анализа сценарија II

У другом сценарију разматрана је замена натријумових сијалица светиљкама на бази LED-а (слика 25). У овом случају битно је узети у обзир да се постојећи носећи стубови могу користити за LED светиљке. Уштеда која је остварена оваквом заменом износи 12.60%. Потрошња електричне енергије је смањена за 43.528,037 kWh, што значи да је на овај начин уштеђено 109.615,89 динара. У табели 19 приказане су карактеристике светиљки за различите произвођаче и одређене снаге сијалица.



Слика 25. V-tac LED 150W[17].

Табела 19. Карактеристике LED светиљки[17].

Тип светиљке	Век трајања сијалице	Боја светлости	Цена по комаду (дин)
V-tac LED 30W	45 000h	6000K	7.917
V-tac LED 50W	45 000h	3000K	11.229
V-tac LED 70W	45 000h	3500K	13.452
V-tac LED 100W	45 000h	6000K	18.745
V-tac LED 150W	45 000h	4500K	28.275

За ову инвестицију потребно је обезбдити 59 светиљке од 30W, 41 светиљку од 50W, 4 светиљке од 100W и 19 светиљки од 150W. Трошкови набавке светиљки за ову инвестицију износе 1.002.472,00 динара. Када се подели овај износ са 109.615,89 динара (уштеда потрошње електричне енергије у овом случају) добија се податак да ће се ова инвестиција исплатити кроз **9 година и месец дана**.

Анализа сценарија III

У трећем случају разматрана је замена постојећих живиних сијалица светиљкама на бази LED-а. У овом сценарију се такође узима у обзир да се постојећи носећи стубови могу користити за LED светиљке, тако да је и у овом случају није потребна замена постојећих стубова. Уштеда која је остварена у овом случају износи 54,90%. Потрошња електричне енергије је смањена за 189.587,78 kWh, што значи да је на овај начин уштеђено 482.068,28 динара.

За ову инвестицију потребно је обезбедити 342 LED светиљке од 30W, 9 светиљки од 70 W и 28 LED светиљки од 100 W. Инвестициони трошкови у овом случају износе 3.353.458,00 динара. На основу инвестиционих трошкова и остварене уштеде добија се период отплате од **6 година и 11 месеци**.

Анализа сценарија IV

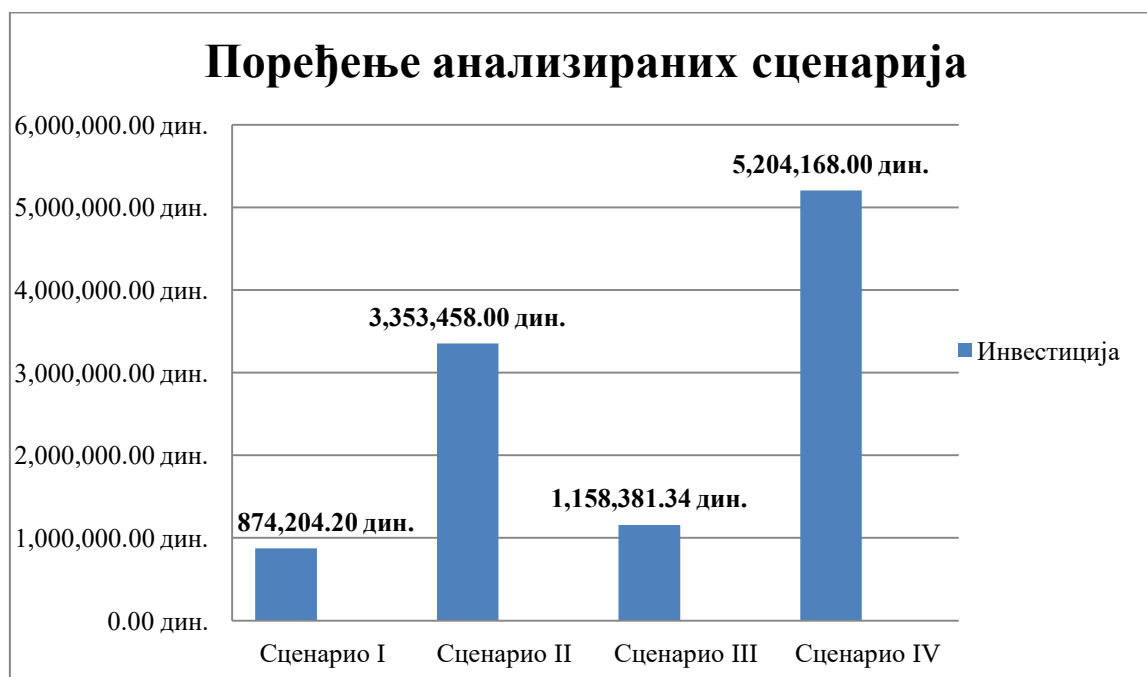
У четвртм сценарију разматрана је замена свих постојећих сијалица LED осветљењем. Уштеда која је остварена у овом случају износи чак 71,05%. Потрошња електричне енергије је смањена за 245.380,4 kWh у односу на реално стање, што значи да је овим подухватом уштеђено 624.339,41 динара на годишњем нивоу. На основу бројног стања из Табеле 16. закључује се да је за ову инвестицију потребно:

- 401 LED светиљка од 30W,
- 41 LED светиљка од 50W,
- 9 LED светиљки од 70W,
- 32 LED светиљке од 100W,
- 30 LED светиљки од 150W.

Потребна новчана средства за улагање у ову инвестицију, на основу цена из Табеле 19, износе 5.204.168,00 динара. Период отплате за ову инвестицију је **8 година и 4 месеца**.

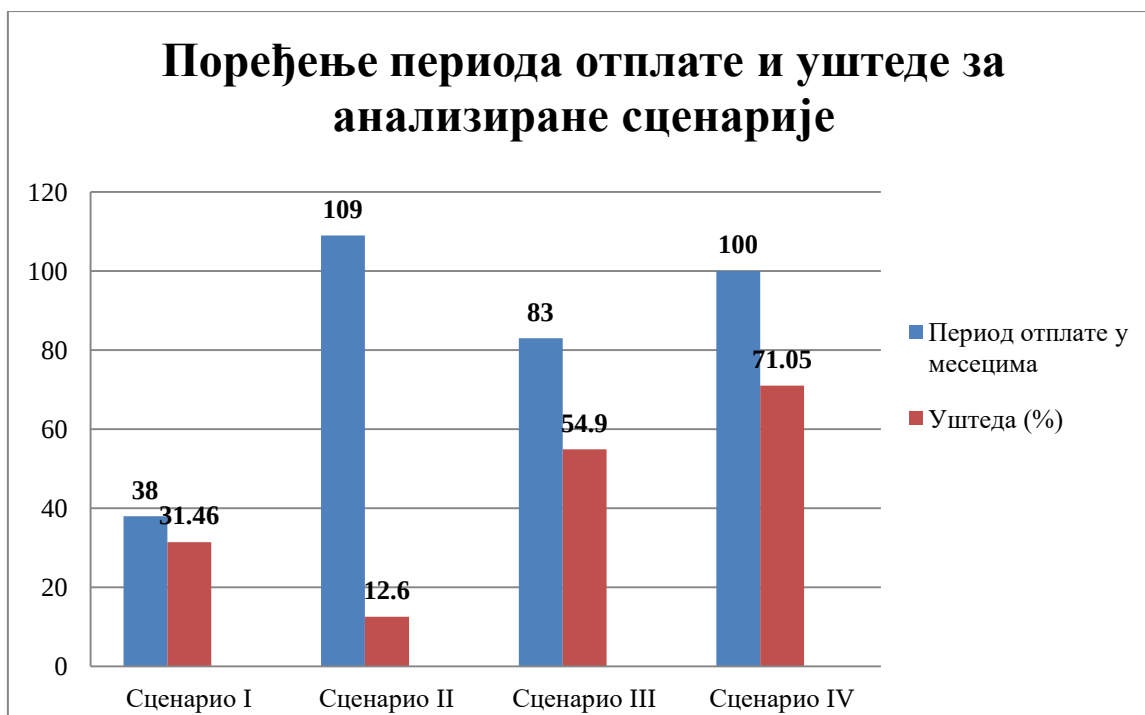
5.1 Упоређивање добијених резултата

Претходно анализирана четири сценарија свакако имају одређен значај у унапређењу јавног осветљења на територији општине Рача. Као што се види на Дијаграму 5, сценарио I у коме је анализирана замена дотрајалих живиних сијалица натријумовим сијалицама, које су боље ефикасности од живиних, захтева најмања улагања, али је зато и уштеда енергије знатно нижа од уштеде енергије у осталим случајима. Узима се у обзир да технолошка доснигнућа напредују, тако да натријумове сијалице које су некада биле на водећој листи ефикасних извора светлости за јавно осветљење сада падају у сенку LED расвете. Уколико средстава које локална самоуправа може да омогући у циљу замене неефикасног осветљења нису на високом нивоу овај случај би могао да представља решење за уштеду енергије у неком краћем периоду.



Дијаграм 5. Поређење трошкова инвестиција

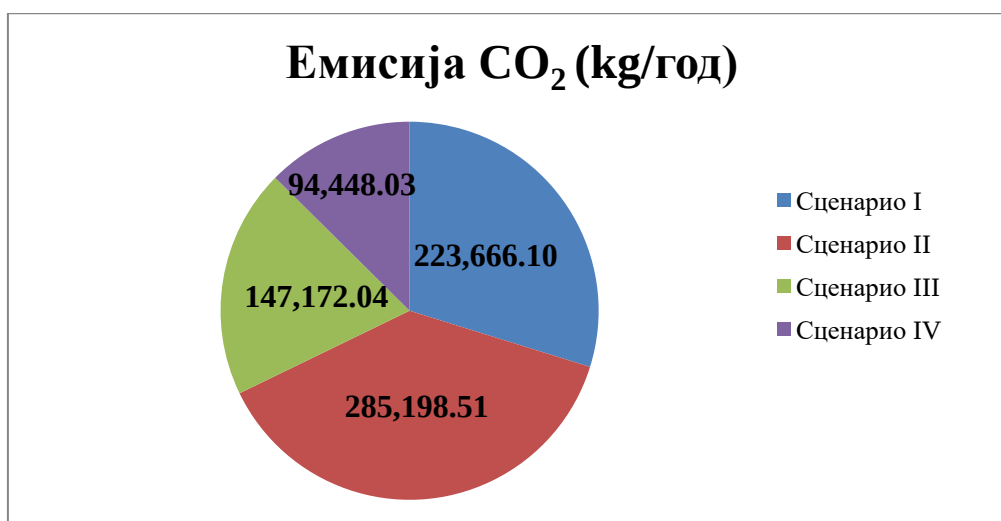
Како би се најеефикасније извршила реконструкција јавног осветљења потребно је упоредити период отплате, уштеду и улагања у инвестицију. На Дијаграму 6 приказано је поређење периода отплате и уштеде. Сценарио II у коме је анализирана замена натријумових сијалица LED-ом има најдужи период отплате, а уштеду свега 12,6% на основу реалног стања, што је најмања уштеда у поређењу са осталим сценаријима.



Дијаграм 6. Поређење периода отплате и уштеде

Преостала два сценарија (III и IV) имају сразмерне вредности. Период отплате у сценарију III је 17 месеци краћи од периода отплате у сценарију IV, али је зато и уштеда мања за 16,15% . За инвестицију у случају IV (постављање целокупног LED осветљења) потребно је издвојити 1.850.710 динара више него у случају III где је вршена замена само живиних сијалица. На основу ових поређења закључује се да је и једно и друго решење исплативо.

Узимајући у обзир да потрошња електричне енергије утиче на емисију CO₂, у сценарију III утроши 155.737,613 kWh електричне енергије на годишњем нивоу, а у сценарију IV тај податак износи 99.945,01 kWh. На Дијаграму 7 приказана је укупна произведена емисије CO₂ на годишњем нивоу.



Дијаграм 7. Поређење емисије CO₂ произведене на годишњем нивоу

У случају IV произведе се мање укупне емисије CO₂, јер емисија овог гаса расте са повећањем потрошње електричне енергије. Овај разлог даје предност сценарију IV да се окарактерише као најеефикасније и најисплативије решење за реконструкцију јавног осветљења на територији општине Рача.

7. Закључак

Реконструкција јавног осветљења представља велики потенцијал у уштеди електричне енергије. У оквиру овог рада, заменом старих сијалица новим LED сијалицама у општини Рача, показано је да овакав вид реконструкције знатно утиче на уштеду електричне енергије, али и на уштеду у буџету локалне самоуправе. Гледано са техничког аспекта јавног осветљења, реорганизација осветљења подспешује већу искоришћеност осветљења и бољи визуелни конфор.

Сценарији који су анализирани показали су да уштеда може да варира у зависности од типа светлосних извора који се примењују. У анализи првог сценарија, где је извршена замена живиних сијалица натријумовим, уштеда на годишњем нивоу износи 31,46%. Иако натријумова светиљка има боље карактеристике од живе, ипак је пала у сенку најновије технологије LED расвете. Анализирањем сценарија II долази се до податка да је уштеда електричне енергије 12,60%, што значи да се само заменом натријумових сијалица LED светиљкама долази до најмање уштеде на годишњем нивоу. Период отплате за инвестицију приказану у другом сценарију је 9 година и 1 месец. У сценарију III врши се замена најнеефикаснијих живиних сијалица LED светиљкама. Овај случај показује годишњу уштеду од 54,91%. Потребно улагање за ову инвестицију је 3.353.458,00 динара, а период отплате је 6 година и 11 месеци. Овај случај је дао задовољавајуће резултате. Замена свих сијалица на територији општине Рача и адаптирање комплетне LED расвете (сценарио IV) проузроковало је уштеду на годишњем нивоу од 71,05%. Вредност коју је потребно уложити у ову инвестицију је 5.204.168,00 динара, што значи да је за ову инвестицију потребно издвојити 1,73% од укупног годишњег буџета општине. Период отплате ове инвестиције је 8 година и 4 месеца.

Узимајући у обзир производњу емисије CO₂, у сценарију III на годишњем нивоу произведе се 147.172,04kg овог гаса, док је у сценарију IV укупна емисија CO₂ 94.448,03 kg, закључује се да је сценарио IV посматрано са еколошког аспекта прихватљивије решење.

На основу ове техно-економске анализе јавног осветљења на територији општине Рача, може се закључити да је анализирани сценарио IV најефикаснији и еколошки најиплативији предлог реконструкције.

Литература

- [1] Презентација енергетске ефикасност, доступно на интернет страници:
www.vtsnis.edu.rs/Predmeti/energetska_efikasnost.../9_EE.ppt
Приступљено: 22.9.2017
- [2] Закона о енергетици („Службени гласник РС”, број 84/2004)
- [3] Гордић Д. Енерго-еколошки менаџмент, скрипта за предавање, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016. Доступно на: <http://moodle.mfkg.rs>
- [4] Бранимир Калањ, „Јавна расвјета и локална самоуправа“ Водич 2013/2014, Београд, септембар 2013
- [5] Миомир Костић, Водич кроз свет технике осветљења, Београд, 2000
- [6] Јавно предузеће Путеви Србије, „Приручник за пројектовање путева у републици Србији“, Београд 2012
- [7] Бојан Цветковић, Клара Даниловић, Дејан Петровић, „ГИС приручник за Локалне самоуправе у Србији“
- [8] Мирослав Марић, „Примена географских информационих система у археолошкој теренској документацији“, Београд 2011. ISBN: 978-86-911733-8-8
- [9] Владимир Булатовић, „Комунални информациони системи и њихова примена“, скрипта за предавање, Факултет техничких наука, Нови Сад 2013
- [10] Интернет адреса:
<http://spectra-precision-hrvatska.com/MobileMapper-10-engleski.pdf>
Приступљено: 20.09.2017
- [11] Пројекат реконструкције дела система јавног осветљења, Општина Варварин, јун 2015., доступно на адреси:
http://varvarin.org.rs/wpcontent/uploads/2015/11/PredlogJPP_VARVARIN_JO_ESCO-1.pdf
- [12] Софтвер *ArcMap 10.2.2*
- [13] Vernier; Интернет адреса:
http://www2.vernier.com/manuals/labquest2_user_manual.pdf
Приступљено: 20.09.2017
- [14] Софтвер *Logger Lite 1.7*

[15] Софтвер *Relux by Reluks Informatik AG*

Доступно на адреси: <http://relux.com/en/>

[16]Интернет страница:

<http://www.exel.rs/rasveta/sijalice-fluo-cevi/natrijum-sijalice/natrijum-sijalica-250w-son-pia-plus-e40-elipsa-philips>

Приступљено: 3.10.2017

[17]Интернет страница:

<http://www.ledshopsrbija.rs/proizvodi/led-rasveta/ulicna-rasveta/ulicna-lampa-150w-4500ksmd-vt>

Приступљено: 3.10.2017