

Ekonomska i energetska učinkovitost pametnog upravljanja javnom rasvjetom

Vendl, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:372373>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-17**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

**EKONOMSKA I ENERGETSKA UČINKOVITOST
PAMETNOG UPRAVLJANJA JAVNOM RASVJETOM**

Diplomski rad

Ivan Vendl

Osijek, 2021.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Zadatak rada	1
2. PREGLED SPOZNAJA O JAVNOJ RASVJETI	2
2.1. Javna rasvjeta kroz povijest.....	2
2.2. Elementi javne rasvjete	2
2.2.1. Kabeli i vodovi	7
2.2.2. Stupovi.....	7
2.2.3. Rasvjetna tijela	8
2.3. Norme javne rasvjete.....	9
2.3.1. Svjetlosno zagađenje	10
3. PRIMJENA PAMETNE JAVNE RASVJETE	11
3.1. Pametna javna rasvjeta u sustavu pametnog grada.....	11
3.2 LED rasvjetno tijelo kao element pametne javne rasvjete	12
3.3. Infrastruktura i glavni zadaci pametne javne rasvjete.....	13
3.3.1. Praćenje stanja svjetiljke	16
3.3.2. Praćenje električnih parametara	16
3.3.3. Kontrola razine osvjetljenosti.....	16
3.4. Arhitektura mreže i protokoli za upravljanje.....	17
3.4.1 Žičane mreže	17
3.4.2. Bežične mreže	18
3.5. Ekonomska analiza.....	22
4. PROJEKTIRANJE PAMETNE JAVNE RASVJETE – PRIMJER IZ PRAKSE.....	23
4.1. Općenito o primjeru iz prakse	23
4.1.1. Temelji novoizgrađene javne rasvjete	25
4.1.2. Rasvjetni stup	26
4.1.3. Svjetiljka.....	27
4.2. Analiza javne rasvjete	27
4.2.1. Svjetlotehnički proračun.....	27
4.2.2. Proračun sistema napajanja svjetiljke.....	28
4.2.3. Proračun emisije štetnog plina CO ₂	29
4.3. Ekonomičnost novoizgrađenog projekta javne rasvjete	29
4.3.1 Tehnoekonomska analiza	29
5. ZAKLJUČAK	33
LITERATURA.....	34

1.UVOD

Čovjek od početka svog postojanja traži načine za osvjetljenje svog okruženja. Razvitkom javne rasvjete kroz povijest širila se i njezina upotreba. Danas je život nezamisliv bez javne rasvjete koja se nalazi svuda oko nas. Čovjek je aktivan neovisno o kojem se dobu dana radi te očekuje nesmetano i sigurno kretanje. Upravo mu to omogućava sustav javne rasvjete. Osvijetljene prometnice i šetnice omogućavaju sigurno kretanje noću, reflektori rasvjetljuju spomenike i znamenitosti, a blještavi oglasni paneli djeluju u službi marketinga. S povećanom potražnjom za javnom rasvjetom rasli su i njezini negativni utjecaji na čovjeka i okoliš. Zbog toga se pristupilo izradi zakonskih okvira i normi koje ograničavaju negativne utjecaje javne rasvjete, a tehnološki napredak je omogućio stvaranje potpuno novog pristupa izgradnji, planiranju, upravljanju i korištenju javne rasvjete.

U radu je rasvjeta obrađena kroz sve zakonske okvire i norme koje ju obuhvaćaju i prikazani su svi elementi javne rasvjete. Opisana je zastarjela javna rasvjeta i izvedba s novim tehnologijama rasvjetnog tijela. Kako se danas čovjek nalazi u „pametnom“ okruženju opisana je i integracija javne rasvjete kroz pametne gradove. Pametna rasvjeta je sustav koji se sastoji od glavnog servera, lokalnih kontrolora i Light Emitting Diode (u daljnjem tekstu LED) rasvjetnih tijela. Za sustave ulične rasvjete komunikacija se odvija između glavnog poslužitelja i lokalnih kontrolera (LC) kroz Global System for Mobile (u daljnjem tekstu GSM) mrežu. Komunikacija između lokalnih kontrolera i rasvjetnih tijela je kroz električnu kablovsku mrežu ili kroz Radio Frequency (u daljnjem tekstu RF) komunikaciju. Upotrebom senzora kao što su fotosenzor, senzor pokreta i mjerač vremena vrši se kontrola i upravljanje sustavom javne rasvjete te bez njihove integracije je nemoguće izvršiti upravljanje.

Za svaki projekt javne rasvjete moguće je napraviti električni proračun, proračun emisije štetnog plina CO₂ i tehnoekonomsku analizu. Svjetlotehnički proračun se vrši kroz program DIALux. Upotrebom DIALux-a moguće je dobiti detaljni proračun i vidjeti je li zadani projekt zadovoljava norme. Dobiveni proračuni se analiziraju te se procjenjuju moguće uštede kroz primjenu novijih tehnologija i načina upravljanja. Zaključno se kroz troškovnik gleda financijska isplativost i očekivano vrijeme povrata investicije.

Kako bi se ispunio zadatak rada odabran je primjer iz prakse, projektirana i instalirana javna rasvjeta za osvjetljavanje biciklističke staze između Vinkovaca i Rokovaca koja je financirana iz sredstava Europske unije. Ovakva vrsta javne rasvjete se smatra pametnom jer nema troškova električne energije, odnosno javna rasvjeta je samoodrživa jer ima sustav solarnih modula. Svako rasvjetno tijelo je opremljeno senzorom pokreta koji dodatno smanjuje potrošnju električne energije i samim time povećava životni vijek LED rasvjete. Napravljena je ekonomska i energetska analiza cijelog sustava i izvršena usporedba s konvencionalnim pristupom.

Kroz drugi odlomak javna rasvjeta je opisana kroz zakonske okvire i norme, opisani su svi elementi javne rasvjete i utjecaj na okoliš. U trećem poglavlju uvodi se pojam pametne javne rasvjete u sustavu pametnog grada i opisane su izvedbe koje rasvjetu čine „pametnom“. U četvrtom poglavlju izvršena je ekonomska i energetska analiza primjera iz prakse.

1.1 Zadatak rada

Zadatak rada je analizirati tehnički i ekonomski aspekt primjene novih rješenja javne rasvjete. Napraviti usporedbu s tradicionalnim izvedbama u smislu energetske učinkovitosti te dugoročno održivim financijskim uštedama. Na primjeru iz prakse izraditi troškovnik ugradnje jednog rješenja, te opisati tehničku izvedbu.

2. PREGLED SPOZNAJA O JAVNOJ RASVJETI

Javna rasvjeta u službi čovjeka neprestano povećava njegovu sigurnost i kvalitetu kretanja. Kretanje je zasnovano na sudjelovanju u prometu i time je nužno omogućiti kvalitetnu javnu rasvjetu.

Prema [1] osnovna funkcija javne rasvjete je:

- Smanjenje broja prometnih nesreća
- Smanjenje stope kriminala
- Obasjavanje povijesnih znamenitosti
- Stvara urbanu atmosferu

U naseljenim mjestima javna rasvjeta osvjetljava:

- Gradske glavne i brze ceste
- Lokalne i sporedne prometnice, prometnice s javnim prijevozom putnika
- Mostove, nadvožnjake i podvožnjake
- Trgove, parkove, parkirališta, ceste i prostore namijenjene pješacima

Izvan naseljenog mjesta javna rasvjeta osvjetljava križanja državnih i ceste veće važnosti, autobusna stajališta, željezničke prijelaze, itd.

2.1. Javna rasvjeta kroz povijest

Kako su ljudi počeli živjeti skupa pojavili su se i prvi lopovi koji su svoj trenutak tražili tijekom noći. To je dovelo do potrebe osvjetljavanja čovjekovog okruženja. Još petsto godina prije Krista u Pekingu se prirodni plin sustavom bambusovih cijevi sprovodio po ulicama te je služio kao ulična svjetiljka. Stari Rimljani su imali postavljen sustav uljanih posuda punjenih biljnim uljem kojeg su punili, palili i obilazili robovi. Prvi zabilježeni i doneseni zakon o javnoj rasvjeti donesen je 1417. godine u Londonu, gdje je Henry Barton naredio da svaka kuća mora imati zapaljenu svijeću ispred svoje kuće u zimsko doba. 1524. godine u Parizu je donesena odredba kojom je svaka kuća na prozorima do ulice morala imati upaljeno svjetlo. U Londonu su postojali i plaćeni službenici koji su bogate ljude pratili nošenjem baklje. Prva upotreba učinkovite rasvjete dogodila se 1802. godine kada je William Murdock ispred ljevaonice Soho u javnoj prezentaciji zapalio lampu na ugljeni plin. Nedugo nakon toga London je 1807. dobio svoju prvu ulicu sa lampama na ugljeni plin. U Americi je Baltimore bio prvi grad koji je počeo koristiti plin za osvjetljavanje ulica 1816. godine, a Pariz tek 1820. godine.[2] Plin je bio vođen sustavom cijevi do stupova za rasvjetu. Postojala je organizirana grupa ljudi koja je noću palila lampe a danju ih gasila sve do izuma samozapaljenja svjetiljki. Prve ulice koje su dobile električne ulične svjetiljke su bile ulice Pariza 1878. godine koristeći Yablochkovljeve žarulje. Do 1890. godine plinske svjetiljke su u potpunosti zamijenjene električnim. 1895. izgradnjom HE Krka imamo pojavu prvih električnih žarulja u Republici Hrvatskoj. Ulice Zagreba električna žarulja obasjava od 1907. godine u sustavu javne rasvjete. [3]

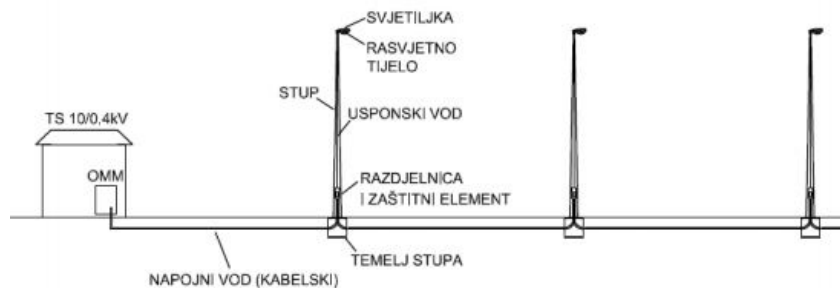
2.2. Elementi javne rasvjete

Promatrajući javnu rasvjetu kao građevinu što je definirano Zakonom o komunalnom gospodarstvu NN 68/2018 „građevine i uređaji za rasvjetljavanje nerazvrstanih cesta, javnih prometnih površina na kojima nije dopušten promet motornim vozilima, javnih cesta koje prolaze kroz naselje, javnih parkirališta, javnih zelenih površina te drugih javnih površina školskog, zdravstvenog i drugog društvenog značaja u vlasništvu jedinice lokalne samouprave“ [4] , javna rasvjeta je postala dijelom komunalne infrastrukture i dijelom komunalne djelatnosti gdje „pod održavanjem javne

rasvjete podrazumijeva se upravljanje i održavanje instalacija javne rasvjete, uključujući podmirivanje troškova električne energije, za rasvjetljavanje površina javne namjene“. [4]

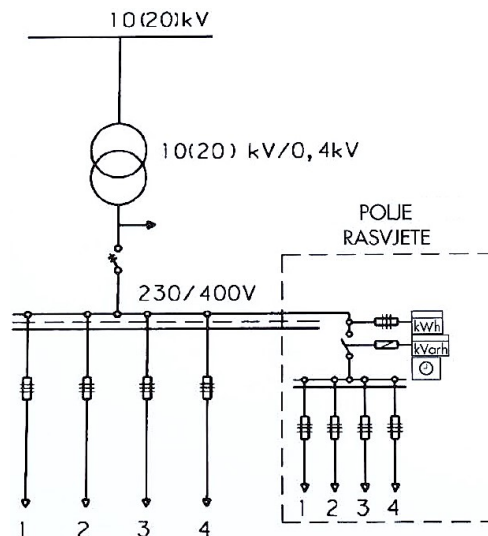
Na slici 2.1 se može uočiti da je građevina javne rasvjete podijeljena na elemente:

- obračunsko mjerno mjesto (OMM),
- nadzemni i kabelski vodovi,
- temelj rasvjetnog stupa,
- rasvjetni stup,
- rasvjetno tijelo



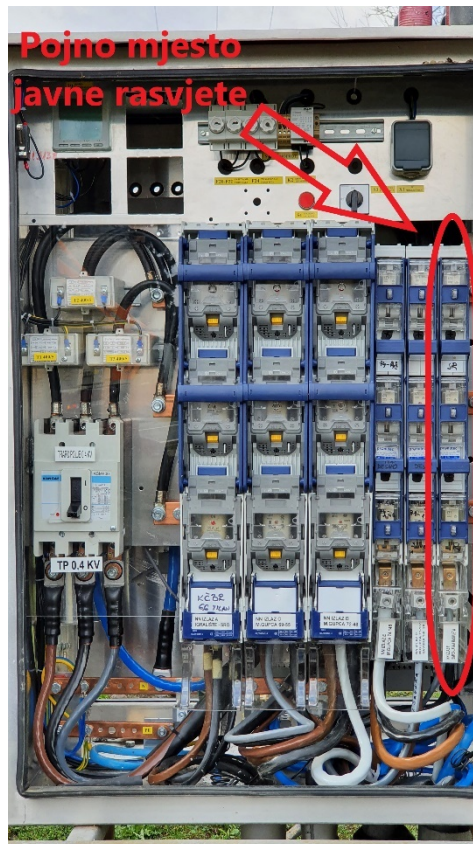
Slika 2.1 Elementi građevine javne rasvjete[46]

Unutar transformatorske stanice je niskonaponsko razvodno polje i razvodni uređaj javne rasvjete prikazan na slici 2.2. Ono je spojeno na obračunsko mjerno mjesto javne rasvjete (dalje u tekstu: OMM) koje se nalazi unutar same trafostanice. OMM ima od 3 do 10 izvoda za napajanje. Rasvjeta se napaja trofaznim napojnim kabelima s dužinama od 500 do 1000 metara. Presjek napojnih kabela je definiran naponskim i strujnim zahtjevima da bi se zadovoljila instalirana snaga u strujnom krugu. Svaki rasvjetni stup ima razdjelnicu i zaštitni element za spajanje više rasvjetnih stupova kojih uglavnom nema više od 30. Usponski vod unutar stupa ostvaruje vezu rasvjetnog tijela s pojnim kabelom. Razmak između rasvjetnih stupova može biti predefiniiran ukoliko se koriste stupovi niskonaponske elektroenergetske mreže koja je u vlasništvu distributera električne energije ili su definirani i projektirani u tehničkom rješenju.

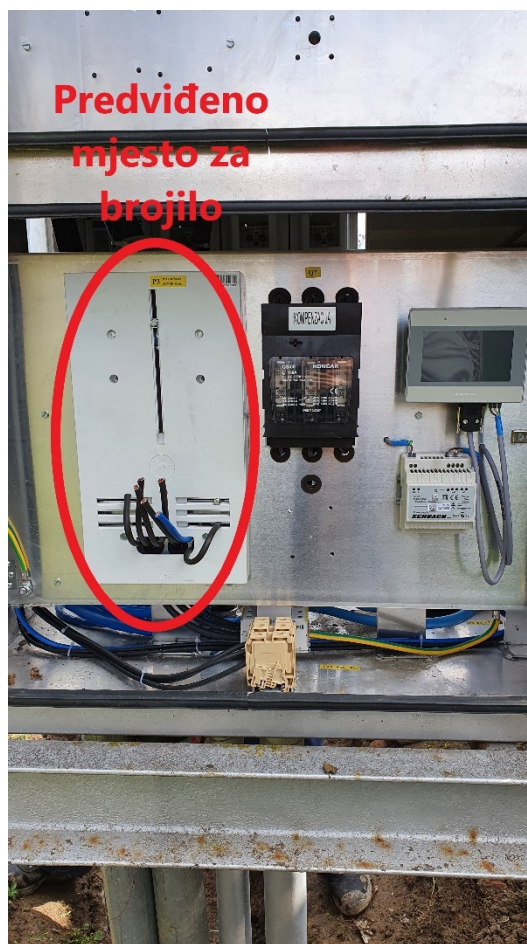


Slika 2.2 Niskonaponsko polje javne rasvjete[45]

Kod ovakvog rješenja OMM se nalazi u samoj trafostanici te prilikom održavanja ili kvara izvođač radova mora kontaktirati distributera električne energije radi dozvole za ulazak u istu. Slika 2.3 prikazuje izvedbu napojnog mjesta za javnu rasvjetu u trafostanici Posavski Podgajci 2, 35/20 kV, te predviđen mjesto za postavljanje OMM prikazano na slici 2.4.



Slika 2.3 Prikaz pojnog mjesta javne rasvjete u Posavskim Podgajcima u trafostanici Podgajci 2, 35/20 kV, (16.3.2020.)



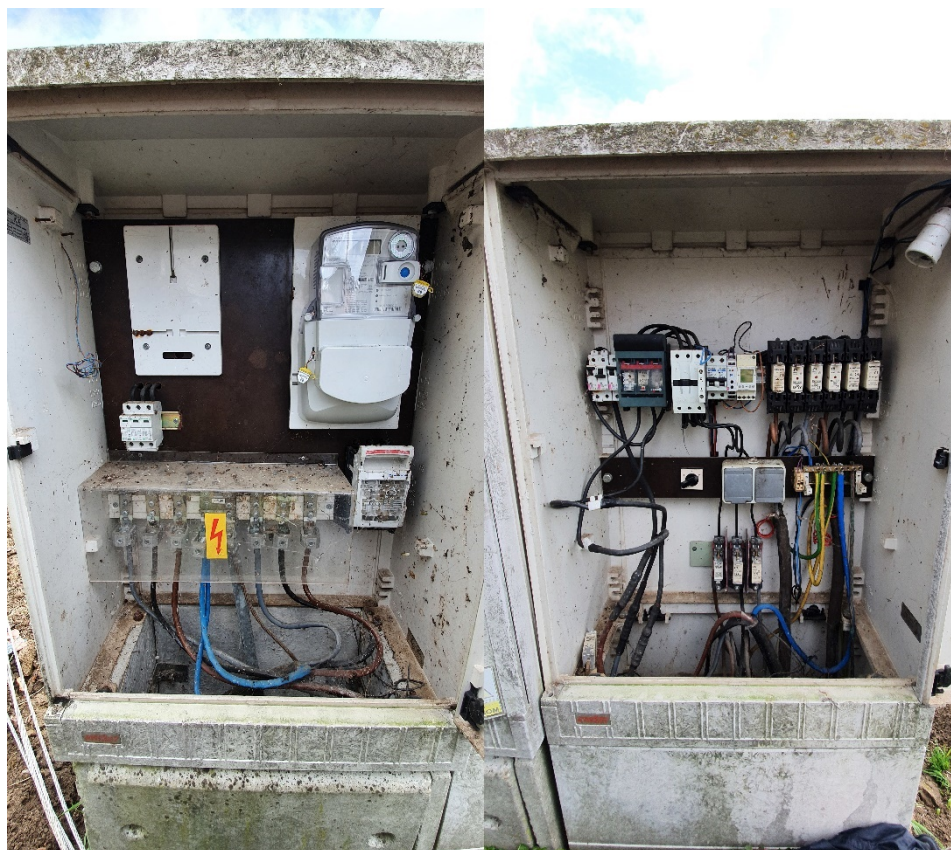
Slika 2.4 *Predviđeno mjesto za OMM unutar trafostanice Podgajci 2, 35/20 kV, (16.3.2020.)*

Zbog potrebe održavanja imamo izvedbu javne rasvjete novije generacije prikazane na slici 2.5.



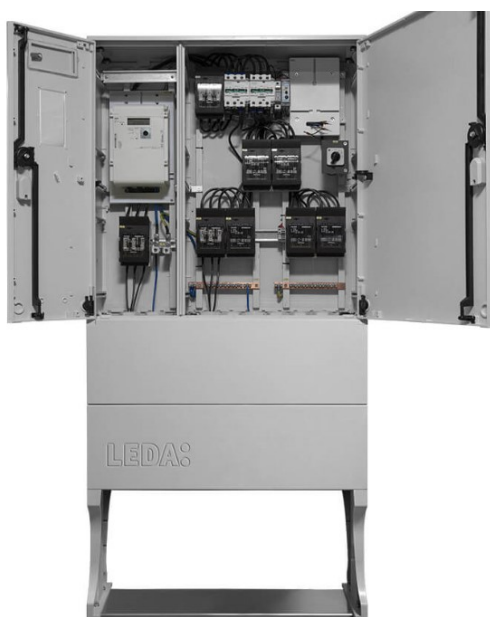
Slika 2.5 *Elementi javne rasvjete nove generacije[46]*

Kod novije generacije OMM je smješten izvan trafostanice u obliku ormara javne rasvjete. Time je izvođačima radova i održavanja lakše pristupiti javnoj rasvjeti. OMM izvan trafostanice u Ulici Matije Gupca u Posavskim Podgajcima je prikazan na slici 2.6.



Slika 2.6. OMM izvan trafostanice, mjerni (lijevo) i upravljački (desno) dio javne rasvjete u Ulici Matije Gupca u Posavskim Podgajcima (16.3.2020.)

Na slici 2.7 prikazan je ormar javne rasvjete novije generacija koji se također sastoji od dviju vrata za mjerni i upravljački dio, gdje konfiguracija varira prema količini priključaka, a ovisi o području Hrvatske elektroprivrede. Prema [5] unutar ormara je postavljeno pametno brojilo s integriranom General Packet Radio Service (GPRS) komunikacijom.



Slika 2.7. LEDA pametni rasvjetni ormar[5]

2.2.1. Kabeli i vodovi

Za potrebe javne rasvjete koriste se napojni kabeli koji zadovoljavaju određene parametre prema tehničkom rješenju i obuhvaćeni su Tehničkim propisom sa niskonaponske električne instalacije NN 5/2010 [6]. Ovisno o načinu izvedbe rasvjetnih stupova vodovi mogu biti nadzemni i vodovi položeni u zemlju. Nadzemni kabeli se izvode kao samonosivi kabelski snop koji ide sa stupa na stup (iz razdjelnice na razdjelnicu), dok se kod polaganja u zemlju koriste kabeli s odgovarajućom izolacijom i plaštom. Koriste se bakreni kabeli presjeka 16 mm^2 ili aluminijski presjeka 25 mm^2 . Za usponske vodove kao i za spojeve unutar rasvjetnog tijela koriste se izolirani instalacijski kabeli presjeka većeg od $1,5 \text{ mm}^2$ za bakrene vodiče i $2,5 \text{ mm}^2$ za aluminijske vodiče. Kako većina žarulja koriste prigušnicu za normalan rad one su potrošači jalove energije. Kako u sustavu javne rasvjete jalova snaga dovodi do povećanja ukupne prividne snage, a samim time i do dodatnog zagrijavanja kabela koriste se kondenzatori za kompenzaciju jalove snage. Kao predspojne naprave koriste se kondenzator, prigušnica i starter.

2.2.2. Stupovi

Najčešća izvedba nosača rasvjetnih tijela su stupovi, međutim ovisno o potrebi i uvjetima montaže on može biti i u izvedbi zidne konzole ili nosive žice. Nosive žice su izvedba koja se primjenjuje u uskim ulicama i dijelovima grada gdje stup nije opcija postavljanja. Odabir materijala za stupove ovisi o namjeni samog rasvjetnog tijela. Danas je uz funkcionalnost i čvrstoću dosta bitan i estetski izgled stupa. Glavni materijali za izradu stupova su čelik, beton i drvo. Tu prevladava čelični lim koji se lako da oblikovati u različite segmente te se da variti. Materijal je atmosferski otporan za tropske i normalne uvjete rada, kao i za upotrebu pri samoj obali mora i u industrijskim prostorima sa zagađenom atmosferom.

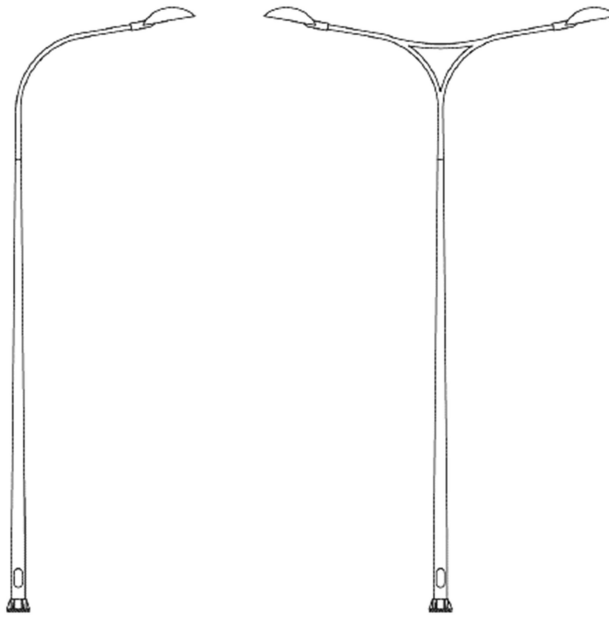
Prema [7] ovisno o području u kojoj će se nalaziti stup imamo podjelu na 3 zone:

- ZONA 1 (2) – umjereni i jaki vjetrovi
- ZONA 3 – zona jake bure

Vrste rasvjetnih stupova prema obliku:

- Stožasti (3 do 6 m)
- Stožasti osmerokutni (3 do 6 m, 7 do 12 m)
- Cijevni (3 do 6 m, 7 do 12 m)
- Poligonalni (14 do 20)

Svaka izvedba od navedenih stupova može imati izvedbu sa krakom ili bez kraka na kojem se nalazi nosač za rasvjetno tijelo. Nosač je najčešće izrađen od istog materijala kao i sami stup te štiti rasvjetno tijelo od korozije i atmosferskih uvjeta. Prema broju krakova razlikujemo jednoluk, dvoluk, i drugo. Na slici 2.8. prikazana je izvedba rasvjetnog stupa s jednim krakom, jednoluk, te s dva kraka, dvoluk.



Slika 2.8. Rasvjetni stup s jednim krakom, jednoluk (lijevo), te s dva kraka, dvoluk (desno)[47]

Temelj stupa se izrađuje od betona u klasi C i određenim dubinama prema HRN EN 206-1:2005 [8]. Svaki temelj uz usidrene vijke za montažu stupa treba imati i plastičnu cijev za dovod kabela.

2.2.3. Rasvjetna tijela

Rasvjetno tijelo predstavlja najvažniji i najskuplji element rasvjete kao građevine. Ono definira njezino područje primjene, energetske i ekološke prihvatljivost. Razvojem tehnologije imamo i razvoj rasvjetnih tijela (u daljnjem tekstu žarulja). Primarno se koriste žarulje koje direktno pretvaraju električnu energiju u svjetlost (elektroluminiscencija) :

- Fluorescentna žarulja – rijetko se koriste zbog malog svjetlosnog toka i velikog područja zračenja
- Kompaktna fluorescentna žarulja – specijalne izvedbe različitih oblika kada je to nužno
- Visokotlačna živina žarulja – tehnologija izboja u plinu te se danas sve manje koristi zbog ekoloških razloga
- Niskotlačna natrijeva žarulja – visoka svjetlosna učinkovitost, ali su velikih dimenzija i niskog indeksa uzvrata boje
- Visokotlačna natrijeva žarulja – ima veći indeks uzvrata boje od niskotlačne ali manju svjetlosnu učinkovitost, više se koriste u javnoj rasvjeti
- Visokotlačna metal-halogen žarulja – najviše se koriste za javnu rasvjetu zatvorenih prostora, imaju veliki raspon snaga te kompaktan oblik
- LED žarulja – svjetleća dioda kao sastavni element, moguća izvedba u više boja (detaljnije u poglavlju 3.2)

Vrsta žarulje	Snaga [W]	Životni vijek [h]	Temperatura boje [K]	Učinkovitost [lm/W]	Indeks uzvrata boje
Fluorescentna žarulja	14-70	20000	2700-6500	90	60-93
Kompaktna	5-80	<20000	2500-6000	60-75	80-90

fluorescentna žarulja					
Visokotlačna živina žarulja	<1000	>16000	3200-4000	<60	20-55
Niskotlačna natrijeva žarulja	<180	16000	1800	<180	0
Visokotlačna natrijeva žarulja	50-1000	<24000	2000	<130	20-65
Metal- halogena žarulja	20-1000	12000- 24000	2700-4200	67-95	<95
LED žarulja	1-3	<50000	2700-6000	50-70	60-80

Tablica 2.1 *Karakteristike žarulja* [9]

2.3. Norme javne rasvjete

Prilikom planiranja i projektiranja rasvjete nužno je koristiti se normama propisanih od strane Europskog odbora za cestovnu i javnu rasvjetu EN 13201 koja se primjenjuje i u Republici Hrvatskoj. Svaki od pet dijelova norme propisuje određena svojstva i smjernice za odabir rasvjete:

- a) Smjernice za odabir razreda rasvjete HRI CEN/TR 13201-1:2014 [10]

U [10] tehničkom izvješću navode se razredi osvjetljenja utvrđeni normom EN 13201 i daju smjernice za odabir najprikladnijeg razreda za određenu situaciju. Norma objedinjuje motorizirani promet i pješake. Njezin cilj je omogućiti dobru vidljivost na javnim cestovnim područjima u noćnim satima radi osiguranja sigurnosti sudionika u prometu i pješaka. Definirana je sa šest razreda od M1 do M6. Svaki razred odgovara posebnom zahtjevu za prosječno osvjetljenje. Na primjer, prosječno osvjetljenje od 2 cd/m² zahtjeva razred M1, 1,5 cd/m² razred M2, dok je za 0,30 cd/m² dovoljan razred M6. Norma omogućava dinamičku prilagodbu klase rasvjete stvarnim uvjetima te mjerenjima u stvarnom vremenu. Razred rasvjete se odabire prema formuli (2-1). Da bi odredili težinsku vrijednost VWS koristimo tablicu koja je nalazi u [10], koja ovisi o parametrima kao što su brzina, gustoća prometa, sastav prometa, svjetlost okoline, itd.

$$TIP PROMETNICE = 6 - VWS \quad (2-1)$$

- b) Zahtijevana svojstva HRN EN 13201-2:2015 [11]

Tehničko izvješće koje nam određuje zahtjeve nakon određivanja razreda rasvjete s ciljem vizualnih potreba korisnika ceste, te se razmatraju i ekološki aspekti cestovne rasvjete. Ovisno o uvjetima na cesti imamo pojavu sjajnosti i bliještanja koja zajedno sa okolnom rasvjetom utječu na sudionike u prometu. Razmatra se javna rasvjeta s aspekta dnevnog izgleda (visina stupova, razmak stupova, izgled stupova, broj lukova, itd.), noćni izgled (boja svjetlosti, osvjetljenje, itd.) i smanjenje emitiranja svjetlosti u područjima kojima nije potrebna svjetlost (raspršivanje svjetlosti u atmosferu).

- c) Proračun svojstava HRN EN 13201-3:2015 [12]

Tehničko izvješće koje određuje matematičke postupke koje treba usvojiti pri izračunu fotometrijskih svojstava uređaja za rasvjetu. Zahtjeva poznavanje parametara uključeni u traženi tehnički model, njihovu toleranciju i varijabilnost. Za pravilno postupanje izračunima zadane su određene matematičke konvencije (izvor svjetlosti kao točka, atmosferska apsorpcija je nula, itd.). Uzimajući u obzir

matematičke konvencije vrše se proračuni fotometrijskih veličina ovisno o izvedbi tehničkog rješenja (blizina rasvjetnih stupova, položaj promatrača i sl.)

d) Metode mjerenja svojstava rasvjete HRN EN 13201-4:2015 [13]

Utvrđuje mjerne postupke i mjerne uvjete fotometrijskih parametara kvalitete rasvjetnih uređaja ovisno o kojem se razredu radi iz prethodnih normi. Vršiti provjeru izvedenog tehničkog sustava u skladu sa zadanim normama, upravljanje, nadzor i ispitivanje javnom rasvjetom. Svako mjerenje završava s izvještajem u kojem se pokazuju traženi parametri uzimajući u obzir mjernu nesigurnost.

e) Pokazatelji energetske svojstava HRN EN 13201-5:2015 [14]

Vršiti izračun gustoće snage i godišnju potrošnju električne energije. Proračuni gustoće snage pokazuju kolika je energija potrebna za osvjjetljenje, pri tome da ispunjavaju zahtjeve za osvjjetljenje navedene u normi HRN EN 13201-2 [11]. Godišnji pokazatelj potrošnje energije nam ukazuje na godišnju potrošnju energije. Podaci iz ove norme se mogu koristiti za usporedbu energetske svojstava drugih različitih tehničkih realizacija raznih projekata rasvjete. Uspoređivati možemo geometrijski slične izvedbe.

2.3.1. Svjetlosno zagađenje

U svakodnevnom životu u kontaktu smo s različitim tipovima onečišćenja koji utječu na našu kvalitetu života. Prema [15] zaključuje se kako su svjetski gradovi trenutno zaslužni za 75 % potrošnje cjelokupne svjetske potrošnje i time pridonose više od 80 % prema globalnoj emisiji stakleničkih plinova. Na taj način je pokrenuta zabrinutost o raspoloživosti i utrošku energije kao i utjecaj iste na okoliš. Jedan od takvih tipova je svjetlosno onečišćenje koje stvara umjetno svjetlo, a ne utječe samo na ljude već i na životinje i vegetaciju. S ovakvim tipom onečišćenja upoznato je jako malo država, a upravo one imaju veliki utjecaj na okoliš. Ono je vidljivo u povećanoj svjetlini noćnog neba uzrokovano difuzijom i refleksijom umjetnog svjetla, efekt koji stvara malu vidljivost zvijezda i nebeskih objekata. Glavni uzrok svjetlosnog zagađenja je zlouporaba umjetnog svjetla u uličnim svjetlima, projektorima, reflektorima, svjetiljkama, itd., što dovodi da velik dio njihovog svjetlosnog toka ide prema nebu. Prekomjerna rasvjeta stvara troškove energije i dovodi do povećanog otpuštanja CO₂ u ekosustav. Time se generira zagađenje okoliša i dovodi do nestašice resursa. Drugi uzrok onečišćenja je neznanje i neosvijestjenost ljudi koji ne štede svjetlo te svjetlo koriste na neekonomičan način. Kod ljudi onečišćenje ima negativne učinke poput migrene, hormonske neravnoteže, smanjenje proizvodnje melatonina u tijelu, promjena biološkog sata, itd. Prema [16] kod biljaka i životinja dolazi do pojave učestalog rasta biljaka, promjene životnog ciklusa noćnih životinja, promjene biološke raznolikosti vrste, itd. Također jedan od važnih negativnih učinaka je i taj što čovjek nije u mogućnosti vršiti astronomska istraživanja neba. Kako nepotrebna i neekonomična upotreba rasvjete sve više utječe na ekonomiju i klimatske promjene javlja se potreba za pronalaženje učinkovitijih i modernijih izvora svjetla kojima je lakše upravljati. U Republici Hrvatskoj Pravilnikom o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima NN 128/2020 [17] donesena je regulativa za ekološki prihvatljivu svjetiljku te je to svjetiljka „koja zadovoljava potrebe za umjetnom rasvijetljenošću pojedine građevine, objekta ili površine čija je emisija svjetlosti u skladu s uvjetima zaštite od svjetlosnog onečišćenja propisanim Zakonom o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja. Maksimalna korelirana temperatura boje svjetlosti (CCT) je najviše 3000 K uz $G - indeks \geq 1,5$. U zaštićenim područjima iznos korelirane temperature boje svjetlosti (CCT) je

najviše 2200 K uz $G - indeks \geq 2$. Iznimno u slučajevima kada nije moguće izračunati $G - indeks$ primjenjuje se samo uvjet korelirane boje svjetlosti.“ [17]

3. PRIMJENA PAMETNE JAVNE RASVJETE

Urbana područja svojom složenošću zahtijevaju moderniji pristup problemima, a to nam omogućuje tehnološki napredak. Razvojem i usavršavanjem rasvjetnih tijela pojavljuje se sve učinkovitija LED rasvjeta, kojom je potrebno pametno upravljati praćenjem električnih parametara i razine osvjetljenosti. Da bi se omogućilo pametno upravljanje javnom rasvjetom potrebno je osmisliti arhitekturu mreže i uvesti protokole za upravljanje. Krajnji cilj pametnog upravljanja je napraviti javnu rasvjetu ekonomski učinkovitom i prihvatljivom.

3.1. Pametna javna rasvjeta u sustavu pametnog grada

Više od polovice svjetske populacije živi u urbanim područjima. Ovakav prelazak populacije s ruralnog u urbano stanovništvo je trend koji se iz godine u godinu povećava. Tako složena i velika koncentracija ljudi stvara i određene probleme. Gradovi imaju poteškoće s upravljanjem otpadom, manjak resursa, zagađenje zraka, zabrinutost za ljudsko zdravlje, prometnu zagušenost i neadekvatnu infrastrukturu. Prema [18] rješavanje spomenutih problema biti će moguće osvrtno na razvijanje određenih polja: obnovljivi izvori energije, kogeneracija, električna pokretljivost, sustavi grijanja i hlađenja i rasvjetne tehnologije, itd. Osiguranje uvjeta za život tako brzorastućeg stanovništva zahtjeva dublje razumijevanje pametnog grada. Takvi izazovi su potakli mnoge gradove diljem svijeta da pronađu pametnije načine upravljanja. Pojam pametnog grada je veoma složen te do danas nije definiran. Prema [19] pametni grad se sastoji od šest karakteristika: pametna mobilnost, pametni ljudi, pametna ekonomija, pametno upravljanje, pametno okruženje, pametan život. Kako je vidljivo na slici 3.1 svaka od karakteristika ima svoje uslužne sektore koji međusobno djeluju i čine pametan grad.



Slika 3.1 Uslužni sektori pametnog grada [39]

Sa stajališta javne rasvjete pametni grad je grad koji povezuje fizičku infrastrukturu, IT infrastrukturu, socijalnu i poslovnu infrastrukturu za jačanje kolektivne imovine. Kombinacijom informacijskih i komunikacijskih tehnologija (dalje u tekstu ICT) i tehnologije pametnog računarstva interneta stvari (dalje u tekstu IoT) transformiramo tradicionalne gradove u pametne gradove. Prema [20] proces

transformacije gradova je već započeo 2018. godine u Kini koja je osigurala oko 500 pilot projekata pametnih gradova što je najviše u svijetu, dok je oko 1000 pilot projekata pametnih gradova spremno ili je već u procesu građenja u svijetu. Uz povećanje kvalitete i sigurnosti stanovništva, pametna javna rasvjeta postaje sve manji potrošač električne energije što u konačnici doprinosi ekonomskom čimbeniku [21].

U Republici Hrvatskoj ne možemo reći da imamo u potpunosti organizirane pametne gradove ali smo na dobrom putu. Uspon je počeo ulaskom Republike Hrvatske u Europsku uniju. Europska unija ima strategiju povećanja gospodarske konkurentnosti svojih članica, a koncept pametnog grada je dobar početak. Republika Hrvatska kreće u realizaciju projekata kao što su „Strateški projekt za podršku uspostavi inovacijske mreže za industriju i tematskih inovacijskih platformi,“ [22], projekt „Znanstveno i tehnologijsko predviđanje“ i projekt „Predviđanje pametnih vještina“. Ti projekti pokreću inicijativu pametnih rješenja u Republici Hrvatskoj.

3.2 LED rasvjetno tijelo kao element pametne javne rasvjete

LED označava diodu koja emitira svjetlost. Dioda je električni uređaj ili komponenta s dvije elektrode (anoda i katoda) kroz koju teče struja samo u jednom smjeru što je karakteristično za anodu i katodu. Dioda se izrađuje od poluvodičkih materijala, silicija ili selena. Kad struja prolazi kroz poluvodički materijal, uređaj emitira vidljivu svjetlost. Svjetleće diode su upravljane strujom te za njih ne vrijedi Ohmov zakon. Prema [23] s obzirom na snagu podijelili smo ih na diode male snage (dioda snage do 0,3 W) te diode velike snage (dioda snage od 0,5 do 200 W). Svaka LED dioda je opisana tehničkim podacima: radni napon, nazivna struja, maksimalno dozvoljena temperatura poluvodiča, svjetlosni tok, svjetlosni kut, temperaturno područje rada. Razvojem tehnologije i daljnjim tehnološkim unapređivanjem LED diode postigli smo njezin ekstremno dugačak životni vijek trajanja koji je duži od 50000 sati. Energetski su učinkovitije od ostalih žarulja, imaju veliku kvalitetu emitirajuće svjetlosti te jako male troškove održavanja što je vidljivo u tablici 3.1. Jedini nedostatak im je velika tržišna cijena, ali s trendom povećanja potražnje njezina cijena s vremenom opada.

	Snaga [W]	Učinkovitost [lm/W]	Svjetlosni tok [lm]	Životni vijek [h]	Indeks uzvata boje	Disipacija snage [%]
Visokotlačna natrijeva žarulja	50	65	3500	12000/20000	25/80	/
	70	71	6000			21,5
	150	90	15150			19
LED	36	80	3200	<50000	60/80	11
	60	85	6150			12
	100	87	12000			14
	120	88	15000			14

Tablica 3.1 Usporedba učinkovitosti visokotlačne natrijeve žarulje i LED žarulje [23]

Prema [24] uzevši u obzir sve prednosti LED diode i njezinu integraciju u javnu rasvjetu postićemo smanjenje troškova gradske električne energije do 40 %. Dinamičnom kontrolom javne rasvjete povećava se učinkovitost, na primjer smanjenje jačine svjetlosti dolaskom dnevne svjetlosti i obrnuto. Upravo u tom smjeru je Europska komisija za standarde rasvjete donijela norme [10,11,12,13,14]. Prema [25] vidimo da se upravo upotrebom LED rasvjete te njezinim upravljanjem smanjuju negativni učinci pregrijavanja žarulje i produžuje se njezin vijek trajanja. Na taj način povećava se učinkovitost LED rasvjete i do 80 % naspram konvencionalne rasvjete.

3.3. Infrastruktura i glavni zadaci pametne javne rasvjete

Kretanjem u pravcu uštede energije kroz javnu rasvjetu istoj je potrebno osigurati komunikacijske mogućnosti, pa se provodi nova ili se koristi već postojeća infrastruktura do svake lokacije gdje se nalazi pametna rasvjeta. Time se omogućava daljinsko upravljanje svakim rasvjetnim tijelom neovisno jedno o drugom, kao i daljinsko praćenje njegovih funkcionalnih parametara (potrošnja energije, temperatura svjetiljke, električni parametri). Tako raširena mreža omogućava prikupljanje informacije od senzora montiranih na rasvjetnim stupovima koji prate zagađenje zraka, kolnički promet, itd. Tok informacija se pri tome može provoditi i preko IoT bežičnih uređaja u okolini samog stupa. Na primjer, pametne ulične svjetiljke opremljene bežičnim komunikacijskim sučeljima mogu detektirati obližnja prazna parkirna mjesta te informirati vozače, mogu upozoriti komunalne službe o stanju kontejnera u susjedstvu ili mogu pratiti protok prometa i slati ključne podatke potrebne za upravljanje. Uzevši u obzir sve nabrojano pojam pametne rasvjete više ne predstavlja izolirani element ili građevinu, nego predstavlja multifunkcionalni element u komunikaciji, prijenosu, prikupljanju i dostavi informacija. Gradovi time propituju ulogu javne rasvjete kao troškovnog čimbenika i nude pružanje novih usluga i ostvarivanje prihoda. Kako je vidljivo na slici 3.1 pametna javna rasvjeta na jednom rasvjetnom stupu može sadržavati :

- Senzor – detektor zagađenja zraka, detekcija uvjeta u urbanoj okolini, detektor buke, detektor osvjetljenosti.
- Nadzornu kameru – sigurnosno praćenje, praćenje prometa
- Radio Frequency Identification (dalje u tekstu RFID) – komunikacija s pješacima
- WIFI – pristupna točka internetu
- Razmjenu informacija – digitalni panel za oglašavanje
- Stanicu za punjenje – mogućnost punjenja električnih vozila ili bicikala
- SOS stanica – poziv u slučaju nužde



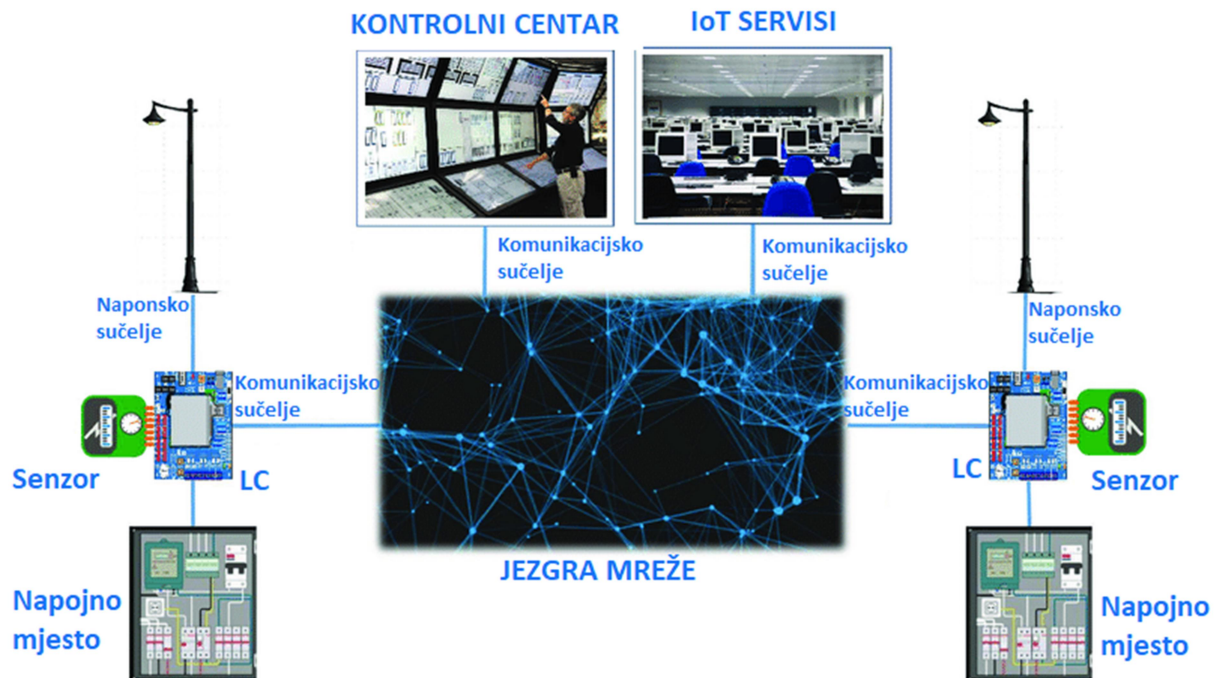
Slika 3.2 Prikaz multifunkcionalnog pametnog rasvjetnog stupa [40]

Razvojem 5G tehnologije koja je ograničena u svezi pokrivenosti i zahtjeva veliki broj usko povezanih baznih stanica, pojavljuje se mogućnost montiranja iste bazne stanice na rasvjetni stup [26]. Za pružatelja usluge mobilne mreže prednosti opremanja ulične rasvjete baznim 5G postajama je:

- Na raspolaganju imaju postojeće napajanje od rasvjete, time su izbjegnuti troškovi kabliranja
- Budući da su svjetiljke visoko i ravnomjerno raspoređene olakšana je faza planiranja i rasprostranjenosti mreže
- Mogućnost integracije sa postojećim tehnologijama za autonomnu vožnju i inteligentni prijevoz

Takvim pristupom bi javna rasvjeta bila iznajmljena mrežnom operateru i ostvarivala bi određeni prihod. Također i pristup sa strane obnovljivih vrsta energija i korištenje solarnog modula kao dodatni modul na stupu rasvjete moguće je rasvjetni stup napajati neovisno o gradskoj mreži ili je višak energije moguće prodati distributeru.

Najopćenitija arhitektura pametne rasvjete prikazana je na slici 3.3, na kojoj se nalaze glavne komponente, kontrolni centar, komunikacijska mreža i kontroler svjetlosti (u budućem tekstu LC).



Slika 3.3 Arhitektura pametne javne rasvjete

Kontrolni centar je ured za upravljanje infrastrukturom, on zapovijeda/konfigurira (npr. uključi/isključi svijetlo, promjena intenziteta) svakim rasvjetnim stupom i prati uvjete u svrhu upravljanja i održavanja. Razmjena naredbi/informacija između kontrolnog centra i svakog rasvjetnog stupa odvija se putem komunikacijske mreže, koja mora osigurati odgovarajuću pokrivenost preko cijelog područja u kojem se nalaze svjetlosne instalacije. LC su pametne komponente ulične rasvjete koje aktiviraju naredbe dobivene od kontrolnog centra i povratno šalju tražene informacije. U sustavu pametnog grada LC može biti opremljen sa IoT sensorima (mjerenje prometa, mjerenje zagađenosti zraka, itd.) čija se mjerenja prenose do IoT servisa. IoT servis se može sastojati od niza aplikacija koje zahtijevaju informacije od senzora. LC je zadužen za četiri glavna zadatka:

- Zadatak 1: u realnom vremenu pratiti stanje rasvjete,
- Zadatak 2: u realnom vremenu pratiti električne parametre ,
- Zadatak 3: za upravljanje napajanjem, odnosno promjenu intenziteta svjetlosti,
- Zadatak 4: uspostaviti komunikacijsku vezu prema kontrolnom centru.

Obavljanjem zadatka 1 i zadatka 2 omogućava se pravovremeno održavanje, što rezultira kraćim prekidom rada i niže operativne troškove. Upravljanjem zadatkom 3 ovisi o složenosti samog LC-a. LC ima dva sučelja, sučelje s kojim je direktno spojen na rasvjetno tijelo (naponsko sučelje) za promjenu intenziteta rasvjete i prikupljanje električnih veličina, i komunikacijskog sučelja za komunikaciju s kontrolnim centrom. S obzirom na zadatke 1, 2, i 3 postoje dva načina uspostave komunikacijske veze LC-a i opskrbe električnom energijom: analognim signalom 0-10V, ili preko digitalne sabirnice. Kod analognog signala odašilje se određena razina napona vezano za željeni postotak svjetlosti (npr. 1 V=10 %, 5 V=50 %, 10 V=100 %). U drugom slučaju kada koristimo digitalnu sabirnicu, koristi se Digital Addressable Lighting Interface (dalje u tekstu DALI). DALI predstavlja digitalni komunikacijski protokol koji se izvodi kroz digitalnu sabirnicu sa dvije žice. Ima fiksnu brzinu prijenosa podataka od 1200 bitova/s. Nedostatak je što može upravljati ograničenim

brojem čvorova (64). DALI je omogućio svjetlosnu promjenu intenziteta, otkrivanje kvara, mogućnost slanja podataka vezanih o statusu svjetiljke, mogućnost slanja električnih parametara (napon, struja, faktor snage). Fleksibilniji je od analognog upravljanja jer se polariteti žica ne moraju poštivati, no implicira dodatne troškove kroz potrebnu elektroniku i otežava otklanjanje poteškoća. Ukoliko se usvoji kao način upravljanja integrira se u LC svakog rasvjetnog tijela.

Kod uspostave komunikacijske veze prema kontrolnom centru (Zadatak 4.), moguće je primijeniti žična ili bežična rješenja. Odabirom rješenja postavljaju se troškovi postavljanja i infrastrukture te nam rasvjeta postaje „pametnija“. Uglavnom su takva rješenja vezana prema komunikacijskim aspektima koji su pojašnjeni u poglavlju 3.5.

3.3.1. Praćenje stanja svjetiljke

Za potrebe održavanja najvažnija informacija o svjetiljci je radi li svjetiljka ispravno ili ne. U tu svrhu LC može imati dva pristupa:

- Oslanjanje na DALI sučelje i na izravnu razmjenu informacija s napajanjem, čime se dobiju električna očitavanja parametara u digitalnom obliku,
- Razmjena informacija s operaterom električne energije, kako bi se detektirala eventualna raščlamba LED modula usporedbom stvarne i očekivane potrošnje električne energije.

Oba rješenja omogućavaju otkrivanje ne samo ukupnih raščlanjena rasvjetnog tijela nego i djelomičnih kvarova (kvarovi na čipu LED svjetiljke) koji rezultiraju smanjenom potrošnjom električne energije. Oštećenje LED svjetiljke nije rijetkost te ju uzrokuju visokonaponski šiljci generirani od strane munje. Takav napon ne bude u potpunosti filtriran od strane zaštite te uzrokuje štetu na čipu.

3.3.2. Praćenje električnih parametara

LC se može razlikovati prema kvaliteti i količini informacija koje mogu prikupiti o električnoj mreži. Na primjer, osim radne i jalove potrošnje energije, sljedeći parametri mogu biti napon, struja, faktor snage, prosječna potrošnja (trenutna, dnevna, tjedna, mjesečna, godišnja). Prikupljanje takvih informacija u stvarnom vremenu pretvara LC u distributivni analizator infrastrukture. Prikupljene informacije se ne koriste izravno za cilj uštede energije, nego su korisne i za optimizaciju održavanja rasvijetljenosti. Na primjer, kvarovi hardvera i nedostaci se mogu odmah otkriti, pa čak i u nekim slučajevima predvidjeti. Praćenje u stvarnom vremenu omogućava prediktivno održavanje, čime se smanjuju troškovi. Time imamo uvid u podatke i ponašanje električne mreže na koju je spojena javna rasvjeta, i ne baratamo s prosječnim vrijednostima. To nam omogućava učinkovitije upravljanje infrastrukturom javne rasvjete.

3.3.3. Kontrola razine osvjetljenosti

Najvažnija zadaća LC-a je prigušiti svjetlo prema određenim kriterijima na željenu razinu i na taj način stvarati uštedu električne energije. Tijekom godina osnovni kontrolni sustavi su uznapredovali i poboljšali mogućnost prilagodbe intenziteta osvjetljenosti stvarnom radnom okruženju. Najjednostavniji LC omogućava podešavanje intenziteta svjetlosti prema već definiranom rasporedu, dok napredniji LC omogućava prilagodbu izlaznog osvjetljenja prema stvarnim uvjetima u stvarnom vremenu. Senzori mjere trenutnu osvjetljenost kolnika uzimajući i u obzir meteorološke čimbenike i na taj način vrše kontrolu izlazne svjetlosti javne rasvjete. To je propisano normom [11] i moguće je ovisno o stvarnim uvjetima na kolniku primijeniti dvije metode:

- Traffic Adaptive Installation (dalje u tekstu TAI) – mjeri se samo količina prometa

- Full Adaptive Installation (dalje u tekstu FAI) –mjerne se meteorološki uvjeti i iluminacija koju odašilje sama cesta

Kod primjene TAI metode, razred osvjetljenja se može smanjiti za jedan ukoliko je izmjereni promet manji od 50 % nominalne vrijednosti, te za dva razreda ukoliko je manji za 75 % nominalne vrijednosti. Obujam prometa se mjeri u vremenskim razmacima (uglavnom 10 minuta), a smanjenje je moguće kada su dva uzastopna uzorka ispod granice. Za razliku od TAI metode FAI metoda ažurira razred rasvjete progresivno i kontinuirano uzimajući u obzir trenutne uvjete na cesti uvjetovane meteorološkim uvjetima. Upotreba ovakvih metoda zahtjeva razmjenu informacija niske latencije.

Dodatna značajka koja se odnosi na sigurnost i uštedu energije je takozvana konstanta CLO (engl. Constant Light Output). U tom pogledu promatra se pojava kako se svjetlosni tok LED svjetala smanjuje s vremenom. Uzrok tome je starenje diode i nagomilavanje prljavštine koja blokira svjetlosni tok. Uobičajena je metoda, ukoliko ne postoji nikakva vrsta upravljanja razinom osvjetljenja, da se svjetlosni tok povećava iznad zadane razine. Time se izbjegava kršenje Pravilnika o minimalnoj potrebnoj razini osvjetljenja. Vrijednost pojačanja ovisi o faktoru održavanja MF (engl. Maintenance Factor), koji definira postotak razine osvjetljenja na početku instalacije i postotak na koji bi razina pala tijekom vremena. MF se računa uzimajući u obzir niz faktora od amortizacije svjetlosnog toka tijekom starenja izvora svjetlosti i slično te je detaljno opisana u normi ISO/CIE TS 22012 [27]. Ovakvim pristupom vidljivo je beskorisno rasipanje energije. Upravo zbog toga se implementira CLO, gdje samo rasvjetno tijelo uz komunikaciju sa senzorima i LC-om samo vrši regulaciju svjetlosnog toka ovisno o starenju. Kod same instalacije rasvjeta je napajana sa postotkom manjim od 100 % te se konstantno povećava s prolaskom vremena i starenjem diode i opreme. Ovakvim upravljanjem se štedi energija i štiti se LED dioda kroz cijeli vijek trajanja.

3.4. Arhitektura mreže i protokoli za upravljanje

Osnovno pitanje koje je potrebno riješiti pri projektiranju infrastrukture pametne rasvjete je kako uspostaviti vezu između svakog uličnog svijetla i kontrolnog centra. S obzirom na položaje svjetiljki i njihov raspored pri projektiranju se u obzir mogu uzeti žičane i bežične izvedbe. Upravo odabir vrste povezivanja zahtjeva pojavu i razvoj komunikacijskih tehnologija koje moraju postojati da bi se moglo upravljati javnom rasvjetom iz kontrolnog centra.

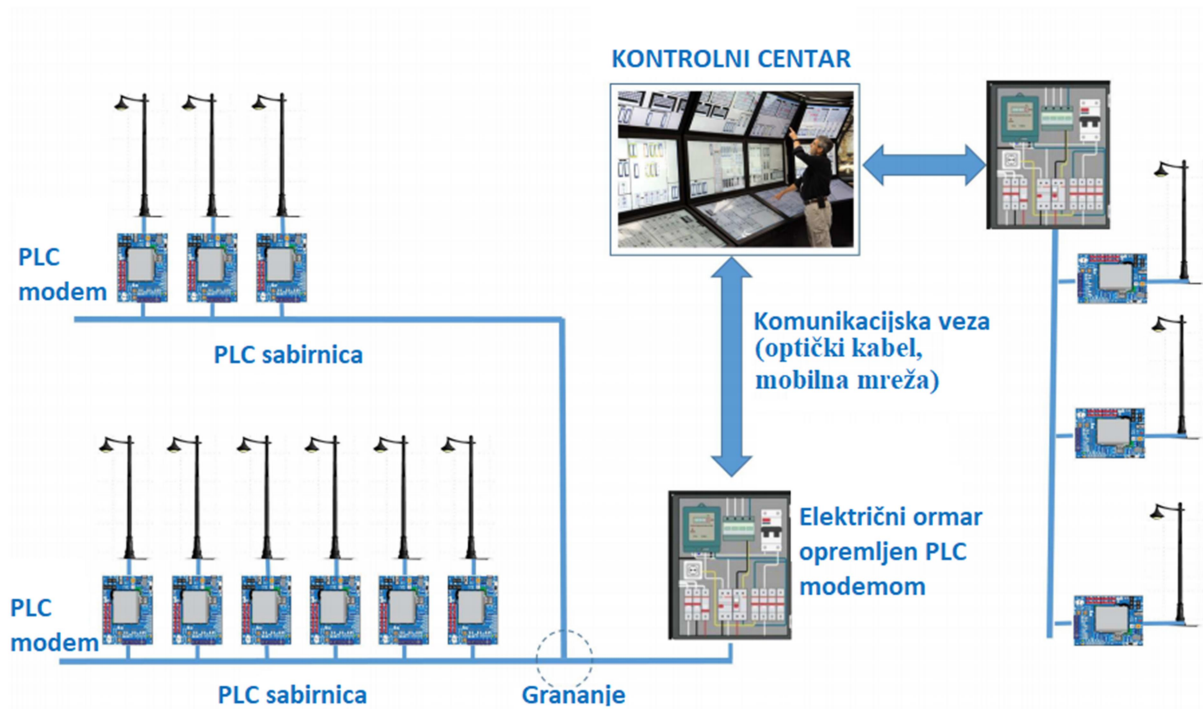
3.4.1 Žičane mreže

Najizravniji način povezivanja javnih rasvjetnih stupova je koristeći već postojeću žičanu mrežu kako bi se prenijeli podatkovni signali. Takav način komunikacije se naziva Power Line Communication (dalje u tekstu PLC) koji već postojeću električnu mrežu pretvaraju u komunikacijsku infrastrukturu. Prema [28] PLC se klasificira prema širini pojasa:

- Širokopojasni PLC (1,8-100 MHz), koji vrši prijenos podataka u Mbps s pokrivenošću od nekoliko stotina metara
- Uskopojasni PLC (3-500 kHz), koji osigurava brzinu od nekoliko stotina kbps preko nekoliko kilometara
- Ultraskopojasni PLC (125-3000 Hz), koji ima vrlo niske brzine prijenosa podataka (otprilike 100 bps) pri udaljenostima od sto kilometara

Širokopojasni i ultraskopojasni PLC obično se ne usvajaju kod realizacije pametne rasvjete, zbog niskog raspona pokrivenosti i brzine podataka. Zbog toga se najčešće koristi uskopojasni PLC. Na slici 3.4 prikazana je infrastruktura javne rasvjete s PLC-om gdje se komunikacija odvija preko niskonaponskih energetskih kabela spojenih između rasvjetnih stupova i električnog ormara. Nadalje,

električni ormar s PLC modemom komunicira s kontrolnim centrom žičano (npr, optičkim vlaknima) ili bežično (npr. mobilnom mrežom). Ovakva arhitektura je uvelike usvojena u infrastrukturi pametne rasvjete koja se trenutno koristi širom svijeta. PLC predstavlja već zastarjelu tehnologiju te se postavlja pitanje je li njezina upotreba najbolje rješenje za infrastrukturu javne rasvjete budućih pametnih gradova. Kako pametni gradovi svoju komunikaciju zasnivaju na više zasebnih i odvojenih senzora sve se više okreće bežičnoj usluzi. Dakle buduća ulična rasvjeta će biti opremljena bežičnim komunikacijskim tehnologijama, usmjerenim na prikupljanje/razmjenu podataka iz/s IoT uređajima (senzori, pametni bicikli, automobili, parkirališta, kante za otpad, itd.) koji se nalaze u blizini. S tog stajališta nema razloga da se ne koristi ista bežična mreža za IoT usluge i usluge pametne javne rasvjete, gdje nema potrebe koristiti PLC sustav. Time su proizvođači PLC uređaja prisiljeni modernizirati svoje uređaje kako bi prihvatili i bežične tehnologije IoT-a; PLC se uglavnom koristi za prijenos podataka između kontrolnog centra i rasvjetnih stupova, dok se dodatna RF (engl. Radio Frequency) mreža, uspostavljena radijskim uređajima ugrađenima u svaki ulični tok, koristi za komunikaciju s obližnjim IoT uređajima kao i ako je potrebno između rasvjetnih stupova. Takav put iako je dobar i teži razvoju nema čvrste tehničke motive, jer je sama bežična mreža samoodrživa i karakterizira ju intrinzična redundantnost koja nedostaje PLC-u. PLC je sklon kvarovima te iako postoji mogućnost povećanja redundantnosti potrebna je ugradnja dodatnog PLC-a koji povećava troškove.



Slika 3.4 Arhitektura pametne javne rasvjete s PLC-om

3.4.2. Bežične mreže

Mobilne mreže su sveprisutne i široko rasprostranjene, pokrivajući oko 95 % potreba svjetskog stanovništva [29]. S obzirom na njihov sveprisutni doseg, predstavljaju idealno rješenje za nesmetano povezivanje rasvjetnih instalacija s kontrolnim centrom. Spajanje rasvjetnih stupova s mobilnom mrežom se postiže s ugradnjom mobilnih radijskih sučelja u svaki stup koji se odmah spaja na mobilnu mrežu. S gledišta nositelja javne rasvjete to je odlično rješenje jer ne zahtjeva izgradnju mreže i njezino održavanje. Mobilna mreža pruža brzinu podataka koja se kreće od nekoliko kbps do stotine Mbps, čime je osigurana upotreba bilo koje usluge, od jednostavnog telemetrijskog mjerenja do zahtjevnije širokopojasne aplikacije, kao što je video nadzor. Bazirajući pozornost na osnovnu uslugu

javne rasvjete koja generira male količine podataka, može se osloniti na dva mobilno mrežna standarda baziranih na IoT usluge. NB-IoT (engl. NarrowBand-InternetOfThings) i LTE (engl. Long-Term Evolution)-Cat-M1 su tehnologije koje su dizajnirane i projektirane za implementaciju kod mreža niskog kapaciteta u širokom području (LPWAN-ovi). Obje tehnologije su inačice već postojeće LTE 4G mobilne mreže i pružaju brzine podataka do 250 kbps (NB-IoT) i 1 Mbps (LTE-Cat-M1). Sve LPWAN tehnologije omogućavaju komunikaciju dugog dometa i velikom brzinom podataka među povezanim uređajima kao što su senzori pogonjeni baterijama. Mobilne mreže, zajedno s razvojem LPWAN-om, čine pogodno rješenje za osiguranje povezanosti infrastrukture javne rasvjete.

Međutim postoji niz pitanja koja treba pažljivo razmotriti. Prije svega, mogućnost povezivanja na mobilnu mrežu je kritična jer, iako je točno da su mobilne mreže sveprisutne i široko rasprostranjene, ciljna pokrivenost od 100 % se ne može postići u gustim urbanim sredinama. Zgrade ili druge prepreke onemogućuju širenje signala gdje je na nekim lokacijama komunikacija nemoguća ili povremena. Nadalje, takva situacija može se dogoditi u bilo kojem trenutku, budući da se podižu nove zgrade. Rješavanje tog problema je veoma teško, jer je mobilna mreža u vlasništvu treće strane (mobilnog operatera), koja nije primorana promijeniti i raspon svoje mreže. Drugo, s obzirom na to da mobilnim mrežama upravlja treća strana, vlasnici rasvjetne infrastrukture moraju platiti trošak za korištenje mobilne mreže, što je veoma značajan trošak uzevši u obzir spajanje nekoliko tisuća rasvjetnih mjesta. Time se smanjuje ekonomska ušteda ostvarena zahvaljujući pametnom upravljanju rasvjetom zbog tog dodatnog troška. Nadalje, mrežni operater se s vremenom može odlučiti na povećanje troškova pretplate. Treće, korištenje mobilne mreže za povezivanje uličnih svjetala sugerira da vlasnik rasvjetne infrastrukture nije voljan sagraditi svoju privatnu komunikacijsku mrežu, iako je to razumljivo zbog povećanja troškova. Zbog nedostatka privatne mreže smanjena je mogućnost spajanja dodatnih IoT-ova, gdje bi na primjer vlasnik infrastrukture javne rasvjete sa svojom privatnom mrežom mogao ostvarivati prihod kroz iznajmljivanje iste komunalnim uslugama (skupljanju otpada, najam pametnih bicikala, oglašavanju, itd.). Konačno, očekivani vijek trajanja svjetlosne infrastrukture je oko 15-20 godina, što je vrlo dugo razdoblje u smislu tehnološkog razvoja. U tako dugom razvoju, izabrana mobilna mreža mogla bi se isključiti zbog oslobađanja frekvencije za nove tehnologije. To se trenutno događa s 2G i 3G tehnologijom koja će, iako je još uvijek izvrsna za IoT aplikacije, biti ugašena u sljedećim godinama. U tom pogledu treba primijetiti da se odabir komunikacijske tehnologije mora odabirati pri njezinoj punoj zrelosti, što znači da bi životni vijek jedne tehnologije mogao biti kraći od vijeka trajanja rasvjetne infrastrukture.

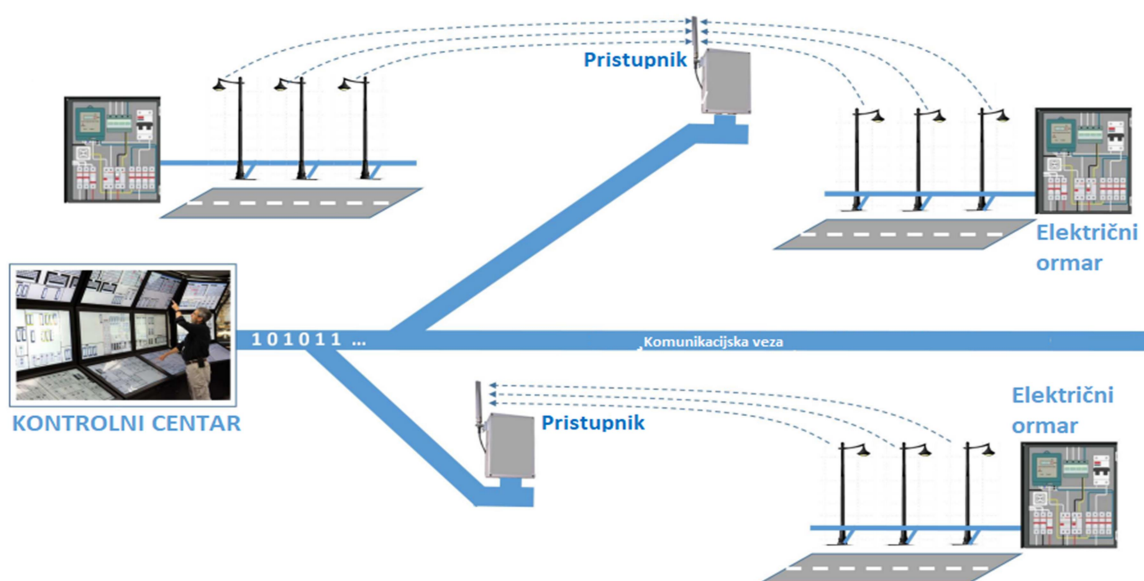
Druga primjena bežične komunikacije je Non-Cellular LPWAN, tehnologija koja ne ovisi o vlasniku mobilne mreže (trećoj strani). **Non-Cellular LPWAN** se sve više usvaja za aplikacije pametne rasvjete jer omogućuje smanjene operativne troškove umrežavanja uličnih svjetala s obzirom na mobilnu mrežu. LoRa (engl. Long Range) i Sigfox su LPWAN tehnologije koje su bazirane na primjeni u javnoj rasvjeti:

- **Prema [30] LoRaWAN** (engl. Long Range Wide Area Network) je point-to-multipoint protokol za umrežavanje WAN komunikacije koji koristi LoRa vlasnički modulacijski program, u vlasništvu proizvođača čipova Semtech. Točnije LoRaWAN je otvoreni standard koji definira MAC (engl. Medium Access Control) za LPWAN na temelju LoRa čipa koji prijenos podataka obavlja na besplatnim frekvencijskim poljima (169 MHz, 868 MHz i 915 MHz) s velikim rasponom udaljenosti (preko 10 kilometara) i malom potrošnjom energije. Dizajniran je da povezuje IoT uređaje sa baterijama s malom brzinom prijenosa. LoRaWAN je općenito postavljen prema topologiji zvijezde sa središnjim čvorom koji se naziva pristupnik (engl. Gateway). U urbanim područjima moguće je instalirati više pristupnika kako bi se povećala pokrivenost, tako da je moguće imati više zvjezdanih mreža za pokrivanje većeg

područja. Tipična komunikacijska infrastruktura usvojena u scenarijima pametne rasvjete prikazana je na slici 3.5. gdje se nalaze dvije zvjezdaste mreže koje omogućavaju povezanost grupe rasvjetnih stupova. Svaki pristupnik djeluje kao čvorište, te je povezan s kontrolnim centrom pomoću mobilne mreže ili neke druge komunikacijske tehnologije temeljene na internetskom protokolu (dalje u tekstu IP). Vidljivo je da je dobivena mreža, s arhitektonskog stajališta, vrlo slična mobilnoj mreži. U stvari LoRa radijski odašiljači imaju istu ulogu kao i mobilna mreža međutim razlika je što se radi o privatnoj mreži čiji je vlasnik isti kao i vlasnik infrastrukture javne rasvjete. Time je izbjegnuta trošak korištenja mobilne mreže od treće strane.

- **Prema [31] Sigfox** je LPWAN mreža koja nudi end-to-end povezivanje s niskom brzinom. Ima svoje bazne stanice postavljene od strane Sigfox partnera putem IP bazirane mreže. One osiguravaju bežičnu povezanost s krajnjim uređajem u nelicenciranom pojasevima rada (868 MHz u Europi, 915 MHz u Sjevernoj Americi i 433 MHz u Aziji). Postiže se pokrivenost od 10-40 kilometara u ruralnim područjima, te 1-5 kilometara u urbanim područjima s brzinom prijenosa podataka od 100 bps. Radi na principu dvosmjerne komunikacije; silazna (engl. Downlink) komunikacija je moguća samo nakon uzlazne (engl. Uplink) komunikacije. Broj poruka uzlazne veze je ograničen na 140 dnevno, najviše 12 bajtova za svaku poruku, dok je broj silaznih veza ograničen na 4 poruke dnevno s maksimalnim teretom od 8 bajtova. Topologija mreže je ista kao i kod LoRa mreže. Jedina razlika naspram LoRa mreže je što je vlasnik Sigfox-a Sigfox kompanija te ona korištenje svoje mreže naplaćuje.

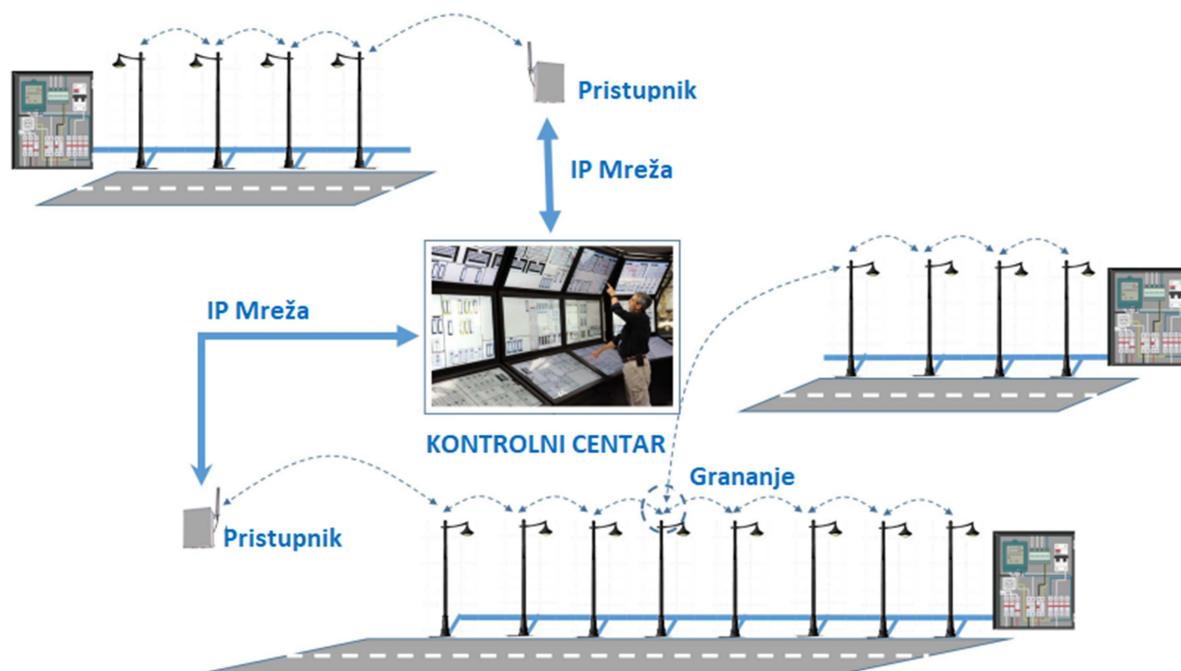
LoRa i Sigfox mreže se polako usvajaju od strane investitora pametne javne rasvjete. Izbor između jednog ili drugog ovisi o investitoru javne rasvjete, spremnosti na raspoređivanje i upravljanje vlastitom mrežom s niskom naknadom za komunikaciju (LoRa) ili, u suprotnom, izbjegavanju bilo kakvih problema s upravljanjem komunikacijskom mrežom, što podrazumijeva da se troškovi komunikacije odnose na svaku svjetiljku (Sigfox). Valja napomenuti da se kod obje tehnologije javlja isti problem pokrivenosti koja utječe na bazne stanice koje imaju istu arhitekturu kao i mobilna mreža. Rasvjetni stupovi su statični što ih čini osjetljivijima na opstrukcije (lišće, zgrade, itd.). Iako LoRa i Sigfox uvelike nadmašuju mobilnu mrežu u smislu osjetljivosti prijemnika, pojava nedostatka pokrivenosti ne može se isključiti i može se dogoditi neočekivano (npr. izgradnja nove zgrade).



Slika 3.5 LoRaWAN/Sigfox arhitektura mreže pametne javne rasvjete

„Mesh“ mreža je mrežasto rasprostranjena mreža u kojoj nemamo jedan centralni čvor nego imamo niz bežičnih uređaja koji se spajaju izravno nehijerarhijski, na način da dobijemo što veći broj usporednih čvorova. Uvjet je da su čvorovi, odnosno u ovom slučaju svaki uređaj zasebno, u međusobnom opsegu pokrivenosti i da surađuju jedni s drugima kako bi učinkovito prosljedili podatke. Taj nedostatak ovisnosti o centralnom čvoru omogućuje svakom pojedinom čvoru sudjelovanje u prijenosu informacija koje se propagiraju hop-by-hop metodom. Tipični izgled mesh mreže prikazan je na slici 3.6. Opaža se da su ulične svjetiljke grupirane u klasteru u kojima je dopuštena komunikacija između jednog do drugog (hop-by-hop). Komunikacije se odvijaju u kratkom rasponu, komunikacijskom tehnologijom kao što su IEEE802.11.4 i Bluetooth. U svakom klasteru jedna ili više uličnih svjetiljki mogu komunicirati s posebnim mrežnim čvorom koji je opremljen dalekosežnom komunikacijskom tehnologijom (mobilna mreža, optički kabel, itd). Taj unaprijeđeni čvor djeluje kao pristupnik za dvosmjernu razmjenu informacija/naredbi između kontrolnog centra i svih uličnih svjetiljki u klasteru. Ako je mobilna mreža korištena kako bi se povezali pristupnici s kontrolnim centrom plaća se naknada koja je malog iznosa jer je broj pristupnika znatno manji od broja uličnih svjetala. Ova arhitektura je ovisna o blizini pojedinih svjetiljki, a idealno je da imaju čisti pogled jedna prema drugoj. Ukoliko je kontrolni centar dovoljno blizu ili se izvede interpolarna mreža koja je u vlasništvu investitora javne rasvjete nije potrebno plaćati naknadu za korištenje mobilne mreže. Dvije najvažnije tehnologije umrežavanja mesh mreže su IEEE802.15.4 i Bluetooth.

- **Prema [32] IEEE802.15.4** je bežična tehnologija kratkog dometa u osobnim bežičnim mrežama (WPAN-ovi). Standard određuje slojeve kontrole fizičkog i medijskog pristupa za LR-WPAN (LowRate Wireless Personal Area Networks), i održava ga radna skupina IEEE802.15. To je osnova za razvoj postojećih standarda kao što su Zigbee, WirelessHART, ISA100.11a, 6LoWPAN, MiWi koji nadograđuju slojeve postojećeg IEEE802.15.4 standarda. Što se tiče fizičkog sloja, može se koristiti nekoliko modulacijskih shema koje pružaju bežične brzine iznad 250 kbps u regijama i pojasevima bez dozvole (pojasevi 800, 900 i 2400 MHz). Prijenosni raspon se kreće od desetaka do stotinu metara ovisno o uvjetima širenja signala. Slika 3.6 prikazuje opću arhitekturu mreže pametne rasvjete na temelju IEEE802.15.4 tehnologiji. Na najnižoj razini u svaki ulični stup je ugrađen LC, u ovom slučaju je to IEEE802.15, koji međusobno povezuje ostale stupove. Na srednjoj razini, razini koja upravlja infrastrukturom za osvjetljavanje, se nalazi poboljšani pristupnik IEEE802.15.4 koji služi kao čvor za povezivanje sa kontrolnim centrom preko mobilne mreže ili optičkog kabela. Kod terminologije IEEE802.15.4 svaki pristupnik je koordinator, gdje je svaki sektor (klaster uličnih svjetiljki) kontroliran od strane koordinatora i tvori PAN (engl. Personal Area Network). Kako bi se izbjegle međusobne smetnje između PAN-ova, svaki od njih djeluje na drugačijem kanalu. Naposljetku, na gornjoj razini se nalazi kontrolni centar koji upravlja svim sektorima rasvjetne infrastrukture. Informacije se šire od centra do pristupnika skakanjem iz jednog u drugi rasvjetni stup. Kako su rasvjetni stupovi raspoređeni po ulicama, rezultat toga je linearna topologija koja se sastoji od niza grana i formira stablo ukorijenjeno na pristupniku. Takav prijenosni raspon obuhvaća sve obližnje svjetlosne stupove i čini sustav robusnim nad mogućim kvarovima.
- **Prema [33] Bluetooth** je jedna od najpoznatijih i najprisutnijih bežičnih tehnologija. Postoji od 2000. godine i integriran je u milijarde uređaja. Djeluje u frekvencijskom pojasu od 2,4 GHz i koristi frekvencije između 2402 i 2480 MHz. Dizajniran je tako da omogućava međusobnu komunikaciju spojivši stotine uređaja koji međusobno komuniciraju. Isto kao i kod već opisane tehnologije IEEE802.15.4, Bluetooth uspostavlja međusobnu komunikaciju pametnih uređaja. Arhitektura je prikazana na slici 3.6.



Slika 3.6 Bluetooth/IEEE802.15.4 mrežasta „mesh“ arhitektura upravljanja javnom rasvjetom

3.5. Ekonomska analiza

Transformiranjem tradicionalne javne rasvjete u pametnu dolazi do značajnih ekonomskih ušteda. Troškovi i moguća ušteda se razlikuju i variraju od države do države, međutim, relativni doprinos svake stavke troška (npr. električne energije, održavanja) na ukupan trošak je približno jednaka svugdje u svijetu kao i moguće uštede. Zbog toga uštedu prikazujemo kao postotak godišnjeg operativnog troška, uključujući održavanje, tradicionalne rasvjete. Takve troškove možemo podijeliti na:

- 70 % za trošak električne energije, računamo prema 4200 radnih sati godišnje za tradicionalnu svjetiljku snage 130 W
- 30 % za održavanje, uzimajući u obzir troškove radne snage (50 %), upotrebu specijalnih vozila (30 %) i materijala (20 %)

Opremanje LED rasvjetom, u smislu potrošnje energije zamjena tradicionalne rasvjete od 130 W s LED rasvjetom od 70 W, koja daje jednak svjetlosni tok kao i tradicionalna, predstavlja uštedu od 46 %. Ušteda na električnoj energiji prema [34] se postiže samom zamjenom rasvjete, što znači (s obzirom na ukupni trošak energije + održavanja) štednju od 32 % godišnje po svakoj montaži.

Daljinski nadzor svjetlosnih instalacija, gdje se uštede ostvaruju uvođenjem LC-a sposobnim za praćenje rada žarulje u stvarnom vremenu (stanje žarulje i električni parametri) i prijenos prikupljenih podataka kontrolnom centru. Kontrolni centar pravovremeno može otkriti/spriječiti mjesto kvara. To omogućava da pravovremenu detekciju neispravne žarulje, zajedno sa njezinim položajem, kako bi se poslali timovi za njezin popravak. Teško je procijeniti koliki je iznos uštede osiguran poboljšanim postupcima održavanja jer ovisi o načinu upravljanja na lokalnoj razini. Pretpostavlja se da iznosi nekoliko posto godišnje po svakom rasvjetnom stupu.

Promjena intenziteta svjetlosti je moguće upotrebom LC-a što dovodi do uštede. Prvo omogućava praćenje varijacije dnevnog svjetla, što znači da intenzitet svjetlosti može biti podešen s obzirom na

varijacije jačine dnevnog svjetla (zalazak i izlazak sunca). Time je izbjegnuto rasipanje energije, izbjegavajući politiku paljenja/gašenja. S druge strane profil promjene intenziteta svjetlosti se može lako prilagoditi tijekom godina uzimajući u obzir starenje rasvjetnog tijela. Kao što je rečeno u potpoglavlju 3.3.3, promjena intenziteta rasvjetnog tijela kao što je LED, dopušta implementaciju CLO-a što dovodi do smanjenja utroška energije. Prema [41] realno je očekivati smanjenje troška energije za 40 % do 45 % što dovodi do godišnje uštede od 15 % do 17 % po rasvjetnom stupu.

Dinamička promjena intenziteta svjetlosti predstavlja daljnju uštedu. Uvode se dinamični, okoline svjesni, rasvjetni mehanizmi kao što je na primjer TAI tehnologija koja jačinu svjetlosti prilagođava prometnim uvjetima. Prema normama [10, 11, 12, 13, 14], intenzitet prometa se računa tijekom nekog vremenskog razdoblja. Međutim norma nam ne daje zadano trajanje tog vremenskog razdoblja, te se odabire najprihvatljiviji. Upotrebom kraćeg vremena sustav je odgovorniji i potencijalno imamo veću uštedu energije. Nedostatak je što povećanim prometom povećavamo slanje i primanje podataka. Prema [42] uobičajeni interval je 15 minuta. Pretpostavka prema [43] je da bi upotrebom TAI sustava i 15 minutnog vremenskog intervala ušteda bi mogla doseći do 47 % , što je otprilike 33 % ukupnog troška godišnje po svakom rasvjetnom stupu.

Operativni troškovi LC-a također pridonose ukupnom trošku. LC mora biti aktivan 24 sata dnevno, zbog održavanja IoT usluga i kontinuiranog primanja i slanja podataka kontrolnom centru. Komercijalno dostupni LC prema [44] ima potrošnju koja varira od 1 do 5 W. To je značajna razlika te ukoliko se uzme vremensko razdoblje od deset godina za grad sa 10000 rasvjetnih stupova dobijemo razliku od 3,5 GWh u cijelom razdoblju. To odgovara stotinama tisuća dolara/eur/kuna, koje se mogu uštediti pravilnim izborom LC-a. Nadalje, uzimajući u obzir da LC šalje ogromnu količinu podataka dnevno te da isti podaci moraju doći do kontrolnog centra, spominje se trošak najma mobilne mreže. Ovim vidimo da ušteda uvelike ovisi o odabiru vrste tehnologije prijenosa informacija. Odabirom drugačije tehnologije i upotrebom kompliciranijeg LC možemo stvarati godišnji trošak, ali pritom imamo lepezu mogućnosti koje pruža LC i koje možemo naplaćivati (oglašavanje, video nadzor, rasvjeta specijalnih građevina, itd.). Navedeno je detaljnije pojašnjeno u potpoglavlju 3.4.

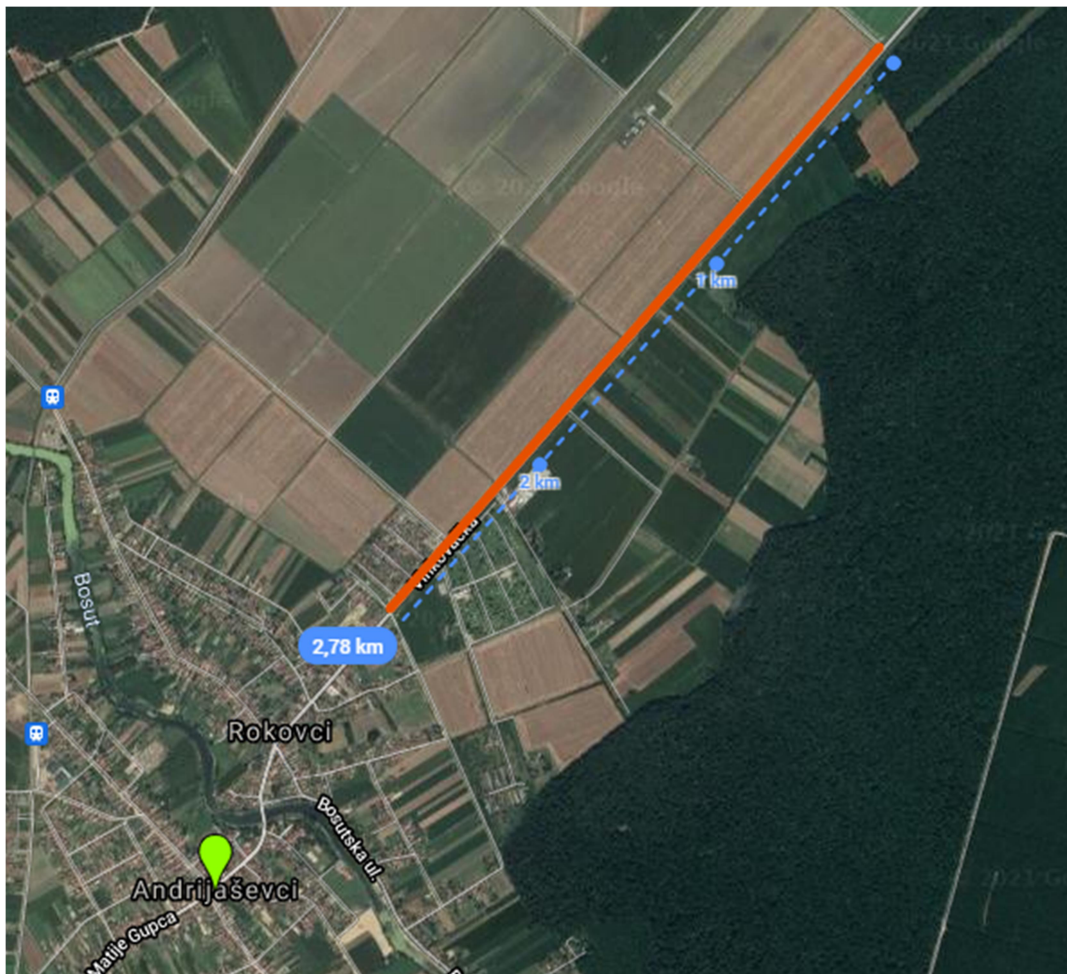
4. PROJEKTIRANJE PAMETNE JAVNE RASVJETE – PRIMJER IZ PRAKSE

Kao primjer iz prakse korišten je novoizgrađeni sustav solarne javne rasvjete za biciklističku stazu između Rokovaca i Vinkovaca. Prema projektu takve javne rasvjete napravljena je detaljna ekonomska i tehnološka razrada novoizgrađenog rasvjetnog stupa. Opisana je vrsta korištenog temelja, izgled i dimenzije rasvjetnog stupa te rasvjetno tijelo. Kroz analizu javne rasvjete napravljen je svjetlotehnički proračun, proračun sistema napajanja svjetiljke i proračun emisije štetnog plina CO₂.

4.1. Općenito o primjeru iz prakse

Općina Andrijaševci kao investitor je izgradila sustav solarne javne rasvjete biciklističke staze u mjestu Rokovci. Namjena građevine je rasvjeta novoizgrađene biciklističke staze koja se proteže od izlaza iz mjesta Rokovci prema Vinkovcima u duljini od 2700 m. Korištena su LED rasvjetna tijela napajana putem fotonaponskih modula, te baterija. Javna rasvjeta biciklističke staze nije priključena na elektroenergetski sustav, već je napajana putem fotonaponskih modula koji se nalaze na svakom rasvjetnom stupu. LED rasvjetna tijela su montirana na rasvjetni, metalni stup visine 4 m. Kao temelji rasvjetnog temeljnog stupa koriste se vijčani temelji koji u potpunosti zamjenjuju i izbacuju iz uporabe korištenje betona. Ukupno je postavljeno 142 rasvjetna tijela za osvjetljavanje biciklističke staze

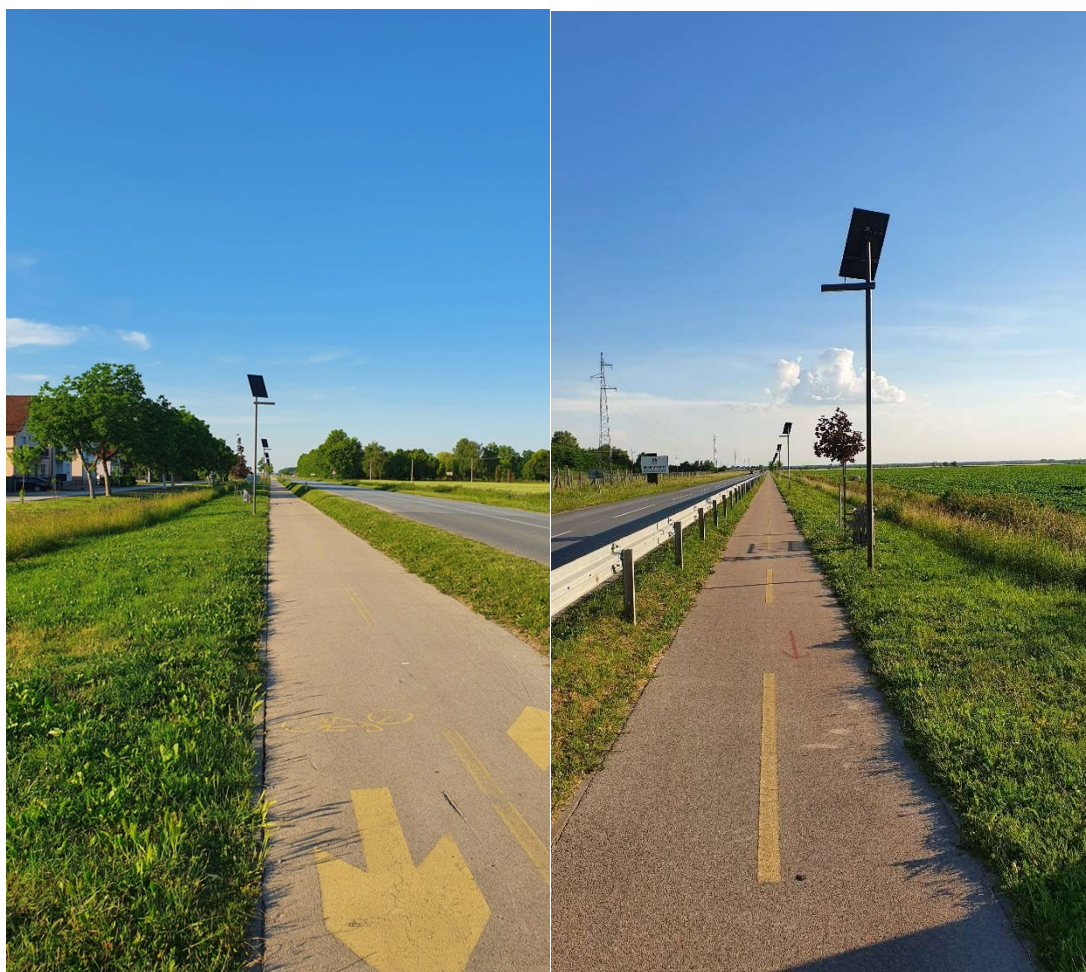
duljine 2700 metara (slika 4.1). Stupovi javne rasvjete položeni su jednostrano, sa desne strane biciklističke staze gledajući u smjeru Vinkovci-Rokovci.



Slika 4.1 Označeno područje na kojem se nalazi biciklistička staza s rasvjetom

Prilikom izgradnje potrebno je paziti na zaštitu već postojećih infrastruktura:

- Zaštita postojeće elektroenergetske infrastrukture
- Zaštita plinske infrastrukture
- Zaštita elektroničke komunikacijske infrastrukture
- Zaštita koridora biciklističke staze
- Zaštita državne šume
- Zaštita poljoprivrednog zemljišta



Slika 4.2 Smjer Rokovci-Vinkovci (lijevo), Slika 4.3 smjer Vinkovci-Rokovci (desno)
(20.5.2021.)

4.1.1. Temelji novoizgrađene pametne javne rasvjete

Kao temelj korišten je vijčani temelj koji ne zahtjeva upotrebu betona te je samim time postignuta ušteda. Na slici 4.1 prikazan je vijčani temelj Krinner KSF M 76x1600 duljine je 160 cm, te promjera 7,6 cm. Težina jednog vijčanog temelja ovog tipa iznosi 12,5 kg. Ovakav temelj se buši kao svrdlo u zemlju te na sebi ima sidrenu ploču za koju se pričvršćuje stup s četiri vijka M24.



Slika 4.4 Krinner KSF M 76x1600 vijčani temelj [35]

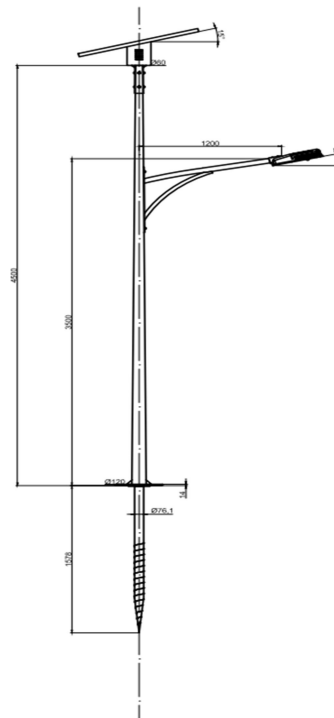
Duljina vijčanog temelja	1578 mm
Dozvoljeno odstupanje duljine	±25 mm
Težina vijčanog temelja	12,5 kg

Vanjski promjer vijčanog temelja	76,10 mm
Unutarnji promjer vijčanog temelja	68,90 mm
Središnji navoj	M16
Promjer kružnice prihvatne ploče	150 mm
Otvori prihvatne ploče	6x fi14
Veličina ruba prihvatne ploče	160 mm
Vanjski promjer prihvatne ploče	182 mm
Debljina prihvatne ploče	8 mm

Tablica 4.1. Tehnički podaci projektiranog vijčanog temelja[35]

4.1.2. Rasvjetni stup pametne javne rasvjete

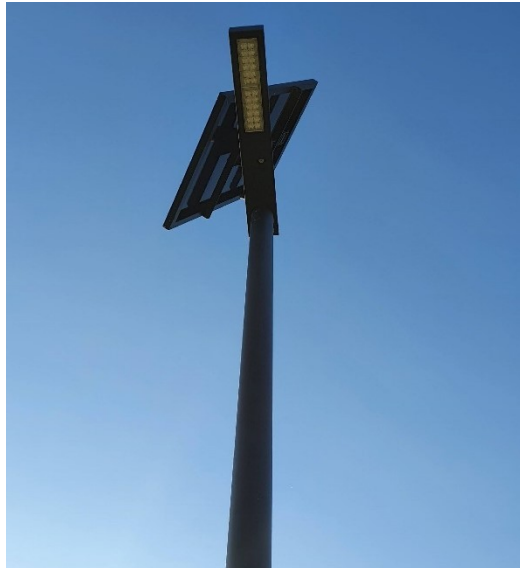
Rasvjetni stup je visine 4 m. Načinjen je od pocinčane čelične cijevi kvalitete čelika Q235, debljine stjenke 3 mm. Ruka za prihvat svjetiljke se nalazi na visini od 3,5 m i duljine je 1,2 m. Na vrhu rasvjetnog stupa nalazi se zaštićeni baterijski ormarić za smještaj baterije kao pomoćnog napajanja sustava te regulatora punjenja baterije i napajanja rasvjetnog tijela kao što je vidljivo i na slici 4.5. Također, na stupu se nalazi i fotonaponski modul koji služi za punjenje baterije. Baterijski ormarić je načinjen od PVC materijala. Izrađen je u određenoj IP zaštiti te se nalazi neposredno ispod fotonaponskog modula na rasvjetnom stupu. Korištena je GEL baterija kapaciteta 100 Ah nazivnog napona 12 V. Planirano je da baterija uz pravilne cikluse punjenja i pražnjenja ima životni vijek od najmanje 8 godina rada. Regulator punjenja služi kako bi se reguliralo pravilno punjenje i pražnjenje baterije, te kako bi se regulirao dotok energije u rasvjetno tijelo. Koristi se regulator punjenja koji radi na nazivnim vrijednostima DC napona i struje od 12V/8A. Potrebno je da planirani regulator punjenja ima mogućnost daljinskog upravljanja preko daljinskog upravljača. Fotonaponski modul prema [35] izrađen je u polikristalnoj tehnologiji, nazivne snage $P = 120 \text{ Wp}$. Izlazni napon fotonaponskog modula ne smije prelaziti 18 V kako bi bio kompatibilan s planiranim regulatorom punjenja.



Slika 4.5 Slika rasvjetnog stupa (lijevo)(20.5.2021) Slika 4.6 Izgled rasvjetnog stupa u nacrtu (desno)

4.1.3. Svjetiljka pametne javne rasvjete

Korištena je svjetiljka izrađena u LED tehnologiji. Snaga svjetiljke iznosi 20 W, a radni napon LED svjetiljke iznosi 12 V. Svjetlosni tok svjetiljke iznosi 2600 lm. Svjetiljka svijetli hladnom svjetlosti temperature svjetlosti od 6500 K. Svjetiljka je izgrađena u IP zaštiti najmanje IP65. Svjetiljka je korištena kao samostalni modul kojeg je potrebno montirati u kućište načinjeno od aluminijske legure kako bi se spriječilo propadanje materijala uslijed vremena, a predviđeni životni vijek svjetiljke iznosi više od 50000 radnih sati. Svaka LED svjetiljka je opremljena senzorom pokreta.



Slika 4.6 Izgled rasvjetnog tijela (20.5.2021.)

4.2. Analiza javne rasvjete

Kod svakog tehničkog projekta potrebno je izvršiti provjeru prema normama [10,11,12,13,14], i na taj način provjeriti dali projektirana javna rasvjeta zadovoljava određene zahtjeve. Zbog upotrebe samoodrživog sustava sa solarnim modulom potrebno je i napraviti proračun sistema napajanja, pazeći najviše na bateriju koja se ne smije prazniti ispod 55 % zbog njezinog mogućeg degradiranja. Iako za samoodrživi sustav nije potrebno vršiti proračun emisija štetnog plina CO₂, proračun je napravljen radi usporedbe sa sustavom koji nije samoodrživ.

4.2.1. Svjetlotehnički proračun

Svjetlotehnički proračun rađen je u simulacijskom alatu DIALux. Svjetlotehničkim proračunom potvrđuje se projektirani tip svjetiljki. Svjetlotehnički proračun rađen je da zadovoljava zahtjeve norme HRN EN 13201:2015 Cestovna rasvjeta [11]. Na temelju zahtjeva norme, odabire se klasa osvjetljenja prometnice kao P4. Klasa prometnice P4 zahtjeva srednju osvjetljenost prometnice od 5 lx, dok se maksimalna srednja osvjetljenost ograničena na 7,5 lx. Minimalna osvjetljenost koja se mora održavati u cijeloj trasi biciklističke staze iznosi 1 lx (slika 4.7).

Ulazni parametri su odabrani na temelju projektiranih vrijednosti:

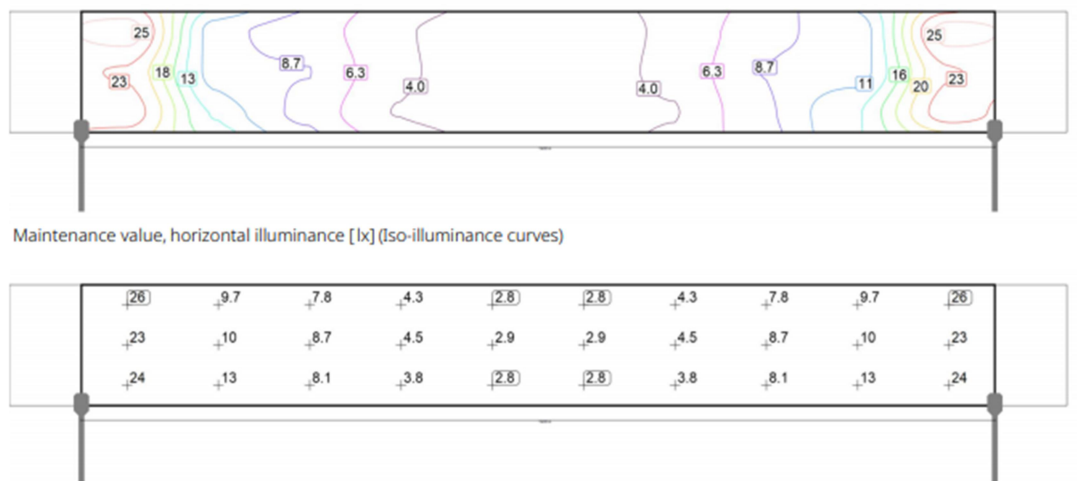
- Širina staze 2,5 m
- Razmak između rasvjetnih stupova 19 m
- Visina montaže rasvjetnog tijela 3,5 m
- Nagib svjetiljke 13 °
- Orijentacija stupova Jednosmjerna

Rezultati proračuna su dani u nastavku i potvrđuju odabir planirane svjetiljke:

- Srednja rasvjetljenost 10,11 lx
- Minimalna rasvjetljenost 2,77 lx

	Symbol	Calculated	Target	Check
Bicycle lane 1 (P4)	E _{min}	2.77 lx	≥ 1.00 lx	✓
	E _{av} ⁽¹⁾	10.11 lx	-	-

(1) Informative, not part of the valuation



Slika 4.7 Prikaz rezultata proračuna u alatu DIALux

4.2.2. Proračun sistema napajanja svjetiljke

Projektirana LED svjetiljka je snage 20 W. Pošto se radi o svjetiljci koja radi na DC napon iznosa $U = 12$ V, struja svjetiljke iznosi $I = 1,67$ A. Potrebna autonomija svjetiljke iznosi 3 dana po 10 sati rada, odnosno ukupno je potrebno da svjetiljka ima autonomiju od 30 sati rada. Potrebni kapacitet baterije iznosi 50,1 Ah. Pošto je dozvoljeno pražnjenje baterije 55 % kapaciteta baterije, potrebna je baterija / akumulator kapaciteta 91,1 Ah. Projektirana je baterija kapaciteta 100 Ah.

Specifikacije projektirane baterije:

- Nominalni napon 12 V
- Nominalni kapacitet 100 Ah
- Težina baterije 28,3 kg
- Unutarnji otpor 5,05 mΩ
- Kleme olovna žica (4mm²/2m)
- Najveća struja punjenja 25 A
- Radna temperatura okoline -35 °C – 55 °C

Na temelju odabrane baterije, odabire se regulator punjenja, odnosno fotonaponski modul. Odabran je regulator punjenja kao SunMaster DH50. Navedeni regulator radi na naponskoj razini 12 V ili na 24 V. Traženi sustav je 12 V. Izlazna snaga regulatora iznosi 30 W, a struja 0,15 – 1,98 A iz čega se vidi da je odabrani regulator kompatibilan sa odabranom svjetiljkom. Dozvoljeni ulazni napon regulatora punjenja iznosi najviše 55 V. Odabrani fotonaponski modul je snage 120 W, nominalnog napona 36 V, napona otvorenog kruga 43 V. Najveća struja fotonaponskog modula iznosi 3,33 A, a struja

kratkog spoja FN modula iznosi 3,65 A. Fotonaponski modul je rađen u polikristalnoj tehnologiji sa 17 % efikasnosti.

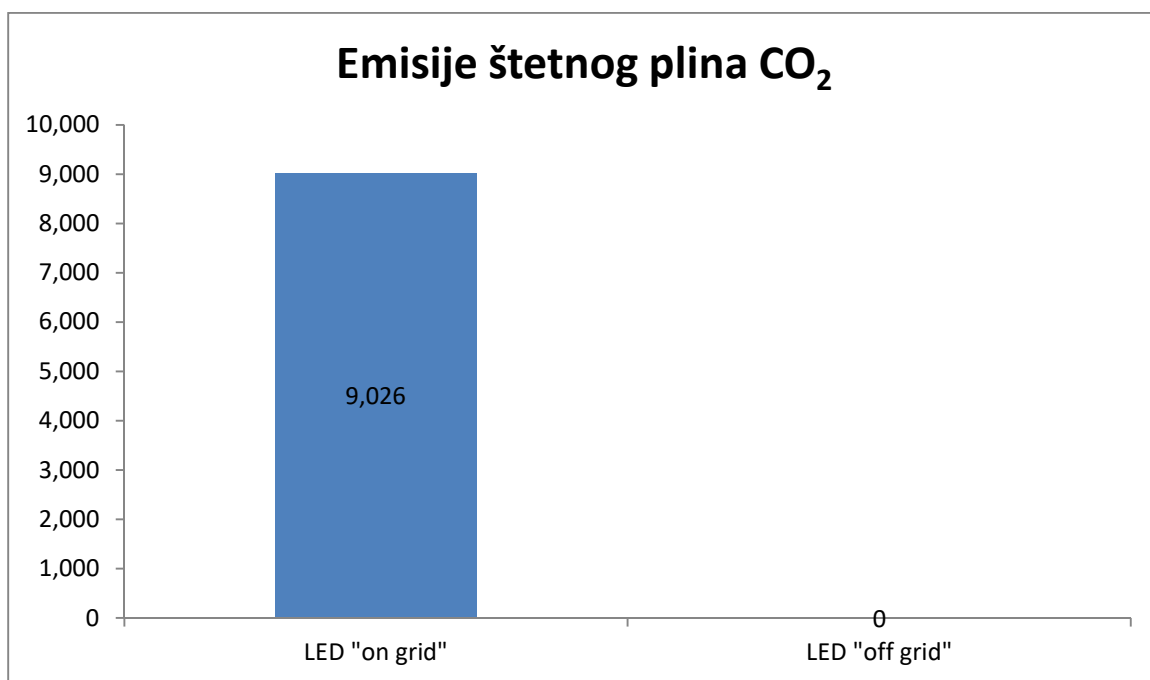
4.2.3. Proračun emisije štetnog plina CO₂

Pošto svaki rasvjetni stup ima solarni modul i pripadajuću bateriju radi se o „off-grid“ sustavu te nema potrošnje električne energije iz mreže. Samim time nije potrebno vršiti proračun emisije štetnog plina CO₂. Na slici 4.8 prikazana je usporedba jednake javne rasvjete spojene na električnu mrežu s javnom rasvjetom napajanom iz solarnog sustava. Proračun rasvjete prema [38] spojene na električnu mrežu dobije se formulom (4-1) :

$$E_{CO_2} = W * f[t CO_2] \quad (4-1)$$

Gdje je:

- W - potrošnja električne javne rasvjete (MWh)
- f – faktor emisije za javnu rasvjetu 0,77 (t CO₂/MWh), ovisi o državi u kojoj se nalazi rasvjeta



Slika 4.8 Usporedba sustava spojenog na mrežu(on-grid) i samoodrživog sustava (off-grid)

Ovakav pristup ima najpovoljniji utjecaj na okoliš i smatra se ekološki prihvatljivim.

4.3. Ekonomičnost novoizgrađenog projekta javne rasvjete

Zadnja analiza koja se provodi je tehnoeekonomska analiza gdje se računa i procjenjuje ekonomičnost našeg projekta. Za procjenu ekonomičnosti vrši se izračun instalirane snage cijelog sustava, te vrijeme rada sustava rasvjete kroz mjesec u jednoj godini. Nakon izračuna vrši se usporedba klasičnog „ne“ pametnog sustava upravljanja s pametnim pristupom.

4.3.1 Tehnoeekonomska analiza

Za vrijeme rada sustava javne rasvjete kroz mjesec na razini jedne godine uzimamo orijentacijske vrijednosti:

- Siječanj-veljača: 16:30 do 7:30
- Ožujak-svibanj, listopad: 19:30 do 5:30
- Lipanj-rujan: 20:30 do 5:30
- Studeni-prosinac: 16:30 do 7:30

Ovime je pretpostavljeno maksimalno vrijeme rada javne rasvjete u iznosu od 4128 sati. Naglašeno je maksimalno radno vrijeme zbog toga što su svjetiljke opremljene senzorom pokreta te neće biti u pogonu sve dok se ne pojavi biciklist/pješak na stazi. Prema formuli (4-2) moguće je izračunati maksimalnu instaliranu snagu javne rasvjete:

$$P_{inst} = \sum_{i=1}^N P_i * n \quad [\text{kW}] \quad (4-2)$$

Novoizgrađeni sustav rasvjete se sastoji od 142 (n) rasvjetna stupa snage 20 W (P_i) te se prema formuli (4-2) dobije instalirana snaga od 2,84 kW.

U tablici 4.2 vidljivi su ukupni troškovi projekta izgradnje solarne javne rasvjete.

Redni broj	Opis	Mjera	Količina	Cijena [kn]	Ukupno [kn]
1.	Dobava, isporuka i ugradnja vijčanog temelja	Kom	142	1300,00	184600,00
2.	Dobava, isporuka i montaža rasvjetnog stupa.	Kom	142	1300,00	184600,00
3.	Dobava, isporuka i ugradnja FN modula	Kom	142	750,00	106500,00
4.	Dobava, isporuka i ugradnja baterijskog sustava	Kom	142	3000,00	426000,00
5.	Dobava, isporuka i ugradnja regulatora punjenja	Kom	142	1200,00	170400,00
6.	Dobava, isporuka i ugradnja LED svjetiljke	Kom	142	1500,00	213000,00
7.	Dobava, isporuka i ugradnja ostalih komponenti sustava: zaštitni ormarić u IP65 zaštiti za smještaj opreme - ugradnja na rasvjetni stup, kabeli, vijci, stopice i ostali spojni i montažni pribor do pune funkcionalnosti sustava	Kom	142	1200,00	170400,00
8.	Izrada elaborata privremene regulacije prometa tijekom izvođenja radova	Kom	1	7500,00	7500,00
9.	Ispitivanje razine osvjetljenosti i izrada izvješća	Kom	1	20000,00	20000,00
10.	Funkcionalno ispitivanje elektrotehničke instalacije pojedinog stupa s izradom izvješća i atesta	Kom	1	20000,00	20000,00
				UKUPNO	1503000,00
				PDV	373750,00
				SVE UKUPNO	1878750,00

Tablica 4.2. Izračun ukupnih troškova projekta

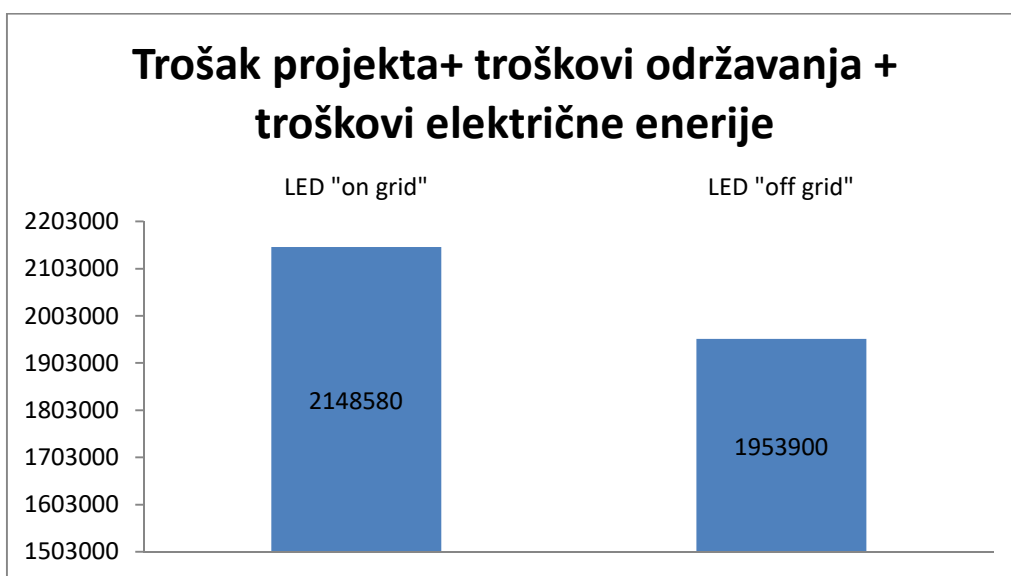
Za izračun godišnje uštede pametne javne rasvjete, koriste se izračuni dobiveni na javnoj rasvjeti koja nema pametno upravljanje i vrši se usporedba. Prema formuli (4-2) računa se maksimalna instalirana snaga P_{inst} koja iznosi 2,85 kW. Zatim prema formuli (4-3) računa se godišnja potrošnja električne energije za pretpostavljeno maksimalno radno vrijeme rada od 4128 sati :

$$W = P_{inst} * 4128 = 11723 \text{ [kWh]} \quad (4-3)$$

Te prema formuli (4-4) računa se godišnja potrošnja električne energije u kunama, gdje je cijena kWh $c = 0,8303$ kn [36]:

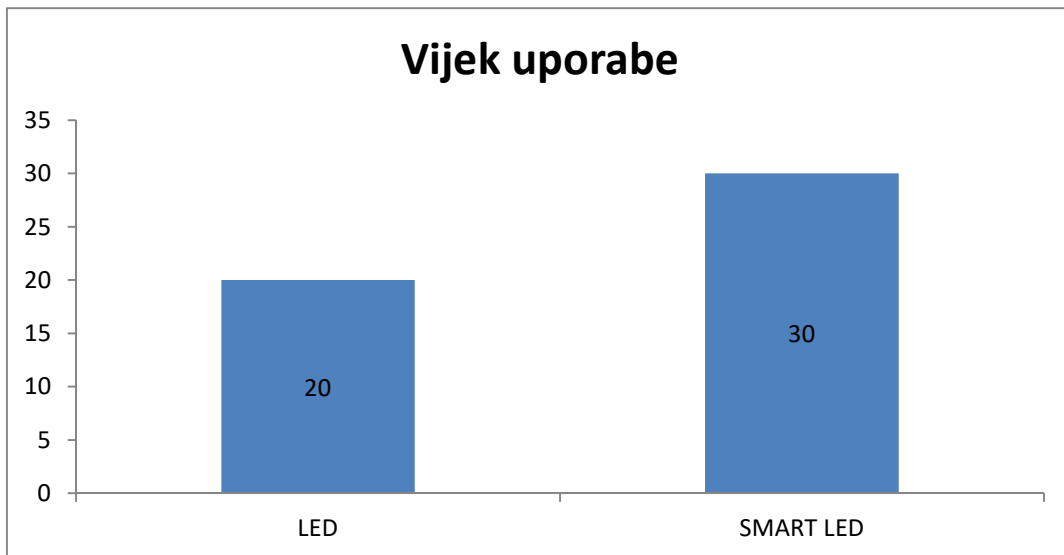
$$W_{kn} = W * c = 11723 * 0,8303 = 9734 \text{ [kn]} \quad (4-4)$$

Ako se uzme u obzir da bi se prilikom izgradnje konvencionalne javne rasvjete, koja bi bila spojena na električnu mrežu, bilo potrebno izgraditi cijelu novu podzemnu mrežu naponskog kabela možemo reći da bi takva investicija jednako koštala kao i trenutna sa solarnim modulima. U tablici 4.3 možemo vidjeti postignute uštede na razini jedne godine, s pretpostavkom da „on grid“ LED rasvjeta i pametna „off-grid“ LED rasvjeta pri izgradnji imaju jednaku cijenu. Pošto se radi o LED solarnom sustavu odnosno „off-grid“ sustavu nema troškova električne energije. Troškovi takvog sustava su troškovi održavanja i izmjene elektronike u rasvjetnim tijelima. Te troškove je teško odrediti, ali može se pretpostaviti da oni iznose 30 posto ukupne investicije što na primjeru iz prakse iznosi 450.900,00 kuna. Na slici 4.9 vidljiva je razlika u troškovima zbog troškova električne energije.



Slika 4.9 Razlika sustava u 20 godišnjem prikazu ukupnih troškova (u off i on-grid)

Prilikom analize pješaka/biciklista na novoizgrađenoj biciklističkoj stazi moguće je zaključiti da je realno vrijeme korištenja iste otprilike 2000 h godišnje. Time dolazimo do zaključka da nije potrebno da projektirana javna rasvjeta svijetli punim intenzitetom cijelo vrijeme. Zbog toga koristimo senzor pokreta gdje maksimalno smanjujemo spomenuto maksimalno vrijeme upotrebe (4128 h) te na taj način „štedimo“ javnu rasvjetu i elektroniku u njoj. Tako upravljana javna rasvjeta radi punim intenzitetom samo kada je potrebno, samo kada imamo biciklistu/pješaka na stazi. Javna rasvjeta bez pametnog upravljanja kroz senzor pokreta ima vijek uporabe do 20 godina, a pošto smo smanjili vrijeme rada i intenzitet sjaja pametnim upravljanjem povećali smo vijek uporabe građevine na 30 godina (slika 4.10).



Slika 4.10 Vijek uporabe s i bez pametnog upravljanja

Za vrijeme trajanja građevine treba voditi računa o održavanju dijelova građevine. Elektrotehničke instalacije treba redovito pregledavati, najmanje jednom godišnje i u slučaju sumnje u ispravnost i trajnost instalacija (oštećenje izolacije, slab spoj u razdjelnim kutijama, iskrenja na spojevima itd.), izvršiti popravak jer manjkavost na elektrotehničkim instalacijama može imati štetan utjecaj na trajnost dijelova građevine kao i građevine u cijelosti. Također kvar na elektrotehničkim instalacijama može dovesti do havarije i bitno smanjiti trajnost građevine. Vijek trajanja elektrotehničkih instalacija, uz dobro održavanje je 30 godina, nakon čega ih je potrebno zamijeniti novima.

Cjelokupni pristup izgradnji projekta javne rasvjete je bio „pametna“ pristup. Od temelja koji ne zahtijevaju upotrebu betona, napajanja rasvjete putem solarnih modula i upravljanje intenzitetom rasvjete s senzorom pokreta. Sve od navedenog smanjuje troškove s obzirom na konvencionalni pristup.

5. ZAKLJUČAK

Napretkom tehnologije i usavršavanjem komunikacijske tehnologije imamo jako puno mogućnosti za unaprjeđenje sustava javne rasvjete. Pod pametnim upravljanjem smatramo izgradnju rasvjetnog sustava, sustava napajanja, sustava upravljanja intenziteta i rada rasvjetnog tijela, odabir rasvjetnog tijela te korištenje javne rasvjete u sustavu pametnog grada. Javna rasvjeta iako predstavlja trošak električne energije je nužna jer pruža čovjeku osjećaj sigurnosti. Za očekivati je da će različiti proizvođači rasvjetnih sustava razvijati nove tehnologije i načine proizvodnje rasvjetnih tijela, stupova i temelja, ali kroz godine razlika u uštedi dolazi do zasićenja. Dolazi se do toga da moramo primijeniti novi, pametniji, pristup javnoj rasveti gdje ona kao već postojeća građevina poprima višestruke funkcije. Javna rasvjeta se stavlja na raspolaganje kroz mogućnost najma za dodatne funkcije koje pruža. Rasvjetni stup može biti opremljen različitim sensorima i kamerama, time on postaje svjestan svoje okoline i pruža informacije o slobodnom parkirnom mjestu, punim koševima za smeće i slično. Velikim usponom u razvoju 5G tehnologije rasvjetni stupovi pružaju mogućnost montiranja 5G repetitora te time eliminiraju veliki problem takve tehnologije, a to je mali pojas odašiljanja signala. Upravo zato što rasvjetna tijela već imamo rasprostranjena u dijelovima gdje se čovjek kreće. Zbog sve većeg utjecaja stakleničkih plinova na život čovjeka i prirodu, cjelokupnim pametnim upravljanjem postiže se i pomak prema ekološki prihvatljivijim sustavima javne rasvjete. Iz primjera u praksi opisan je sustav javne rasvjete koji se smatra pametnim jer ima solarni sustav napajanja koji je samoodrživ. Takav pristup ukoliko ne postoji izgrađena podzemna napojna mreža je ekonomski prihvatljiviji. Ne zahtjeva napajanje iz mreže i samim time nema emisija štetnog plina CO₂. Upotrebom pametnog upravljanja kroz smanjenje intenziteta sjaja s senzorom pokreta smanjena je potrošnja električne energije i povećan je životni vijek cijelog sustava. Životni vijek sustava je povećan jer se rasvjeta koristi samo u trenucima kada je pješak/biciklist na stazi. Pametni pristup je postignut i s ekološkog stajališta gdje su korišteni temelji koji ne zahtijevaju upotrebu betona i nemamo emisija štetnog plina CO₂. Upravo zbog dnevne migracije ljudi prema većim gradovima javlja se potreba povećanja njihove sigurnosti kroz sustav javne rasvjete, a ovakvim pametnim pristupom kroz sufinanciranja iz europske unije moguće je napraviti projekt koji je samoodrživ i nije na teret lokalnoj samoupravi.

Kroz istraživanje pametne javne rasvjete napravljeno u ovom radu i analizu primjera iz prakse može se uočiti da postoji još puno prostora za napredak i unaprjeđenje javne rasvjete. Moguće je na postojeće stupove javne rasvjete postaviti SOS telefon iz razloga što se biciklistička staza nalazi uz jako prometnu cestu. Stupove je moguće opremiti repetitorima spojenima u MESH mrežu gdje bi postojala direktna komunikacija sa svakim rasvjetnim stupom te bi se povećale mogućnosti upravljanja, a korisnici biciklističke staze imali bi besplatan pristup internetu. Moguće je ugraditi senzore kao što su brojači prometa, vlažnosti zraka i temperature gdje bi se pomoglo lokalnim poljoprivrednicima, koji imaju obradive površine u blizini biciklističke staze, da prate vremenske uvjete bez odlaska na teren. Ugradnjom kamera u blizini kanta za smeće moguće je pratiti njihovu popunjenost te smanjiti vandalizam, a povećati sigurnost. Svaku od navedenih unaprjeđenja postojeće javne rasvjete moguće je naplatiti kroz razne servise gdje bi se povećala isplativost. Provedenim istraživanjem vezanim za tehnologije povezane s komunikacijskom mrežom može se zaključiti da LoRaWAN tehnologija ima najveći potencijal. Upotrebom takve tehnologije dobije se izgrađena komunikacijska mreža koja ostaje i nakon isteka radnog vijeka javne rasvjete. Takvim pristupom povećava se ukupni trošak investicije za 30 posto, međutim takvom investicijom izgrađena je komunikacijska mreža koja služi za spajanje IoT uređaja koji mogu „nadživjeti“ životni vijek sustava javne rasvjete, te je usluge istih moguće naplatiti kroz razne aplikacije.

LITERATURA

- [1] Cerovac, V., „Tehnika i sigurnost prometa“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001
- [2] Dostupno na poveznici: <http://www.historyoflighting.net/electric-lighting-history/history-of-street-lighting/> , pristupljeno 3.3.2021.
- [3] S. Horvatić: Javna rasvjeta, Završni rad, Veleučilište u Šibeniku, Šibenik, 2015, dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:143:404627> , pristupljeno 3.3.2021.
- [4] Zakon o komunalnom gospodarstvu, Narodne novine broj 68/18 i 110/18, Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/319/Zakon-o-komunalnom-gospodarstvu> , pristupljeno 3.3.2021.
- [5] LEDA, Brošura proizvoda, dostupno na poveznici <https://www.ledaled.hr/pametni-ormar-javne-rasvjete/27> , 3.3.2021.
- [6] Tehnički propis za niskonaponske električne instalacije, Narodne novine broj 5/2010, dostupno na https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_01_5_132.html , pristupljeno 3.3.2021.
- [7] Dostupno na poveznici: <http://www.prometna-signalizacija.com/oprema-ceste/cestovna-rasvjeta> , pristupljeno 3.3.2021.
- [8] Tehnički propis za betonske konstrukcije, Narodne novine broj 101/2005 , dostupno na https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2005_08_101_1960.html , pristupljeno 3.3.2021.
- [9] „Svjetlotehnički priručnik“, Katalog energetski učinkovite rasvjete, 2015., dostupno na poveznici: <https://www.scribd.com/document/374798353/Svjetlotehnicki-Prirucnik-i-Katalog-Energijski-Ucinkovite-Rasvjete> , pristupljeno 3.3.2021.
- [10] HRI CEN/TR 13201-1:2014; Cestovna rasvjeta – Prvi dio: Smjernice za odabir razreda rasvjete (CEN/TR 13201-1:2014)
- [11] HRN EN 13201-2:2015; Cestovna rasvjeta – Drugi dio: Zahtijevana svojstva (EN 13201-2:2015)
- [12] HRN EN 13201-3:2015; Cestovna rasvjeta – Treći dio: Proračun svojstava (EN 13201-3:2015)
- [13] HRN EN 13201-4:2015; Cestovna rasvjeta – Četvrti dio: Metode mjerenja svojstava rasvjete (EN 13201-4:2015)
- [14] HRN EN 13201-5:2015; Cestovna rasvjeta – Peti dio: Pokazatelji energetskih svojstava (EN 13201-5:2015)
- [15] Dostupno na poveznici: <http://www.c40cities.org> , pristupljeno 15.3.2021.
- [16] F. Leccese ; G. Tuoni, “On the environmental pollution and energy waste due to urban lighting”, 2003., dostupno na poveznici <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/63/1665> , pristupljeno 15.3.2021.
- [17] Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvijetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima, Narodne novine 128/2020, dostupno na https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_11_128_2442.html , pristupljeno 5.3.2021.

- [18] Andrisano, O, „The Need of Multidisciplinary Approaches and Engineering Tools for the Development and Implementation of the Smart City Paradigm“, 2018, dostupno na poveznici: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8326770> , pristupljeno 5.3.2021.
- [19] R. Puentes;A. Tomer, „Getting smarter about smart cities“, 2014, dostupno na poveznici: https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/BMPP_SmartCities.pdf , pristupljeno 5.3.2021.
- [20] Yang, F.; Xu, J. , „Privacy concerns in China’s smart city campaign: The deficit of China’s Cybersecurity Law“, 2018, dostupno na poveznici: <https://doi.org/10.1002/app5.246> , pristupljeno 5.3.2021.
- [21] Valentová, M.; Quicheron, M.; Bertoldi, „LED Projects and Economic Test Cases in Europe“, 2015, dostupno na poveznici: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC68768/led_report_test_cases-new-layout-v4.1-online.pdf , pristupljeno 5.3.2021.
- [22] Dostupno na poveznici : <https://www.hgk.hr/centar-inovacije-i-eu-projekte/strateski-projekt-za-podrsku-uspostavi-inovacijske-mreze-za-industriju-i-tematskih-inovacijskih-platformi> ,pristupljeno 5.3.2020.
- [23] M. Stojkov, D. Šljivac, D. Topić, K. Trupinić, T. Alinjak, S. Arsoski, Z. Klaić, D. Kozak, „Energetski učinkovita rasvjeta“, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek, Strojarski fakultet u Slavskom Brodu, Osijek 2016.
- [24] Cacciatore, G.; Fiandrino, C.; Kliazovich, D.; Granelli, F.; Bouvry, „Cost analysis of smart lighting solutions for smart cities“,2017, dostupno na poveznici: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7996886> , pristupljeno 5.3.2021.
- [25] Donatello, S.; Rodríguez Quintero, R.; Gama Caldas, M.; Wolf, O.; Van Tichelen, P.; Van Hoof Veronique, „ Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and Traffic Signals—Technical Report and Criteria Proposal“ ,2019, dostupno na poveznici: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC115406/jrc115406_eugpp_road_lighting_technical_report_1.pdf , pristupljeno 5.3.2021.
- [26] Dostupno na poveznici: <https://guidehouseinsights.com/news-and-views/when-5g-meets-smart-street-lighting> , pristupljeno 16.3.2021.
- [27] ISO/CIE TS 22012: „Light and Lighting—Maintenance Factor Determination—Way of Working“, 2019., dostupno na poveznici: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/8c58ed51-868a-4ed7-867f-d067e8766e94/iso-cie-ts-22012-2019#!> , pristupljeno 16.3.2021.
- [28] Ikpehai, A.; Adebisi, B.; Kharel, „Smart street lighting over narrowband PLC in a smart city: The Triangulum case study“, 2016., dostupno na poveznici: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7790365> , pristupljeno 16.3.2021.
- [29] Dostupno na poveznici: <https://www.worldtimezone.com/4g.html> , pristupljeno 12.3.2021.
- [30] Dostupno na poveznici: <https://lora-alliance.org/> ,pristupljeno 13.3.2021.
- [31] Dostupno na poveznici: <https://www.sigfox.com/en> ,pristupljeno 15.3.2021.

- [32] IEEE; „IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks“, 2021., dostupno na poveznici: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7460875> , pristupljeno 16.3.2021.
- [33] Dostupno na poveznici <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/bluetooth-technology/topology%20options/> , pristupljeno 16.3.2021.
- [34] Avotins, A.; Apse-Apsitis, P.; Kunickis, M.; Ribickis, „ Towards smart street LED lighting systems and preliminary energy saving results“, 2019., dostupno na poveznici: https://www.researchgate.net/publication/262352965_Smart_street_light_system_with_energy_saving_function_based_on_the_sensor_network/stats , pristupljeno 16.3.2021.
- [35] Dostupno na poveznici <https://www.krinner.io/en/products/detail/m-76x1600-m16/> , pristupljeno 13.6.2021
- [36] Dostupno na poveznici <https://merkasol.com/Polycrystalline-Solar-Panel-120W-12V-High-Performance> , pristupljeno 13.6.2021.
- [37] Dostupno na poveznici <https://www.hep.hr/elektra/poduzetnistvo/tarifne-stavke-cijene-1578/1578> , pristupljeno 20.6.2021.
- [38] Dostupno na poveznici https://www.researchgate.net/publication/309946589_PROJEKTIRANJE_ENERGETSKI_EFIKASNE_JAVNE_RASVJETE/stats , pristupljeno 20.6.2021.
- [39] Perko Z. „Standardizirani sustav za nadzor i upravljanje javnom rasvjetom“, 2017., dostupno na poveznici: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:355005> , pristupljeno 20.6.2021.
- [40] Dostupno na poveznici: <https://www.street-lighting.com/smart-multi-functional-lighting-pole.html> , pristupljeno 20.6.2021.
- [41] Ozadowicz, A.; Grela, J. „Energy saving in the street lighting control system—A new approach based on the EN-15232 standard“, 2017., dostupno na poveznici: <https://doi.org/10.1007/s12053-016-9476-1> , pristupljeno 20.6.2021.
- [42] Francesco Marino; Fabio Leccese; Stefano Pizzuti , „Adaptive Street Lighting Predictive Control“, 2017., dostupno na poveznici: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.241> , pristupljeno 20.6.2021.
- [43] Wojnicki, I.; Komnata, K.; Kotulski, L., „Comparative Study of Road Lighting Efficiency in the Context of CEN/TR 13201 2004 and 2014 Lighting Standards and Dynamic Control“, 2019., dostupno na poveznici: <https://doi.org/10.3390/en12081524> , pristupljeno 20.6.2021.
- [44] Adam, G.K.; Kontaxis, P.A.; Doulos, L.T.; Madias, E.N.D.; Bouroussis, C.A.; Topalis, F.V., “Embedded Microcontroller with a CCD Camera as a Digital Lighting Control System“, 2018., dostupno na poveznici: <https://doi.org/10.3390/electronics8010033> , pristupljeno 20.6.2021.
- [45] E. Širola, „Cestovna rasvjeta“, ESING, Zagreb, 1997.
- [46] Pravilnik, NN 23/2015-484, „Pravilnik o projektima JPP-a male vrijednosti“, 2015., dostupno na poveznici: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_02_23_484.html , pristupljeno 20.6.2021.

[47] Dostupno na poveznici: <https://www.chinapole.cc/product/streetlight-poles-m-lj/> , pristupljeno 10.7.2021.

SAŽETAK

U diplomskom radu je obrađena tema pametnog upravljanja javnom rasvjetom te ekonomska i energetska učinkovitost istog. Opisani su elementi javne rasvjete te norme koje obuhvaćaju javnu rasvjetu. Posebna pozornost posvećena je pametnom upravljanju javnom rasvjetom u sustavu pametnoga grada, gdje je opisana infrastruktura i načini upravljanja javnom rasvjetom. Pametnim pristupom rasvjetnim tijelom upravljamo na ekonomičniji i isplativiji način, a na rasvjetni stup omogućujemo postavljanje raznih senzora čije informacije naplaćujemo kroz razne servise. Svakom analizom projekta provjerava se ekonomska i energetska učinkovitost kao što je napravljeno u samom radu kroz primjer iz prakse. U primjeru iz prakse opisan je novoizgrađeni projekt javne rasvjete u Rokovcima koja ima pametni pristup. Uspoređen je s konvencionalnim pristupom i opisane su pogodnosti koje pametno upravljanje ima na životni vijek i zagađenje okoliša. Pametnim pristupom pri izgradnji biciklističke staze postignut je veći životni vijek sustava i smanjen utjecaj sustava na prirodu. Sami projekt izgrađen je s mogućnošću daljnjeg unaprjeđenja i povećanja isplativosti upotrebom dodatnih senzora i sl.

KLJUČNE RIJEČI: analiza, energetska učinkovitost, LED, norme, pametna javna rasvjeta, pametni grad

ABSTRACT

The topic deals with the smart public lighting management and the economic and energetic efficiency. Public lighting elements and standards covering public lighting are described in this written work. The special attention is paid to the smart management of the public lighting in the smart city systems, which describes the infrastructure and ways of managing the public lighting. We manage the smart approach with the lighting body in a more economical and cost-effective way, and in the lighting column we enable installation of various sensors whose information we charge through various services. Each project analysis looks at the economic and energy efficiency as done in the work itself through the example from the practice. That example describes the newly built public lighting project in Rokovci, which is built as smart. It is compared with the conventional approach and which advantages do the smart management has on the life expectancy and the environmental pollution. The smart approach in the construction of the bike path has achieved the greater lifespan of the system and the lower impact on the nature. The project itself is built with the possibility of the further improvement and the increasing cost-effectiveness by using additional sensors and similar.

KEYWORDS: analysis, energy efficiency, LED, standards, smart public lighting, smart city

ŽIVOTOPIS

Ivan Vendl rođen je 6. studenog 1996. godine u Zagrebu, upisuje osnovnu školu „Ivane Brlić-Mažuranić“. Svih osam razreda prolazi s odličnim uspjehom i uzornim vladanjem, te je nekoliko puta sudjelovao na školskim i županijskim natjecanjima iz geografije, povijesti, informatike i tehničkog. Osim na natjecanjima iz znanja aktivno se bavio rukometom. Po završetku osnovne škole upisuje Tehničku školu Ruđera Boškovića u Vinkovcima, smjer Mehatronika. Sva četiri razreda srednje škole završava s odličnim i uzornim vladanjem te postaje učenik generacije gdje ostvaruje izravan upis na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Upisuje preddiplomski studij Elektrotehnike 2015. godine te stječe zvanje prvostupnik inženjer elektrotehnike 2019. godine. 2019 godine upisuje diplomski studij i opredjeljuje se za područje energetike. Na ljeto 2021. godine namjerava diplomirati i zaposliti se u Vukovarsko-srijemskoj županiji.
