

Upravljanje sustavom LED RGB rasvjete DMX protokolom

Martinek, Adam

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:200:784286>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni studij

**UPRAVLJANJE SUSTAVOM LED RGB RASVJETE
DMX PROTOKOLOM**

Diplomski rad

Adam Martinek

Osijek, 2018.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak diplomskog rada	1
2. SPECIFIKACIJE VANJSKE RASVJETE	2
3. SUSTAVI UPRAVLJANJA RASVJETE	4
3.1. Sustav upravljanja 1-10 V	4
3.2. DSI sustav upravljanja	5
3.3. DALI sustav upravljanja	6
3.4. DMX sustav upravljanja.....	6
4. TEHNIČKO RJEŠENJE PRAKTIČNOG PRIMJERA.....	9
4.1. Izrada modela i svjetlotehničkog proračuna.....	9
4.2. Tehnički opis sustava upravljanja	13
4.3. Izrada svjetlosnih scena.....	17
4.3.1. Općenito o računalnom programu ESA2	17
4.3.2. Praktična realizacija svjetlosne scene	17
5. ANALIZA UŠTEDE ENERGIJE USPOREDBOM REFLEKTORA S LED I METALHALOGENIM IZVOROM	20
6. ZAKLJUČAK	24
LITERATURA.....	25
SAŽETAK.....	27
ŽIVOTOPIS	29

1. UVOD

Od proteklog desetljeća LED rasvjeta je sve prisutnija kada se govori o dekorativnom osvjetljavanju zgrada, parkova, šetnica itd., stoga nije ni čudo da su se razvili sustavi upravljanja rasvjete koji omogućavaju inženjerima i dizajnerima da naprave sve što im padne na pamet. Od klasičnog prigušivanja, uključivanja na detekciju pokreta pa sve do mijenjanja boja svakog pojedinog svjetlosnog izvora i to u ritmu glazbe. Sve je to omogućeno današnjim sustavima upravljanja. Zbog prostornog, vremenskog i predmetnog ograničenja ovaj rad se ne bavi o povijesti i podijeli rasvjete, nastanku LED-a, spektralnoj strukturi niti prostorima boje. U ovome radu detaljno se analizira DMX (eng. *Digital Multiplex*) sustav rasvjete koji je implementiran na praktičnom primjeru. Za taj se primjer smišlja tehničko rješenje te se kreiraju dinamički svjetlosni scenariji koristeći računalne programe DIALux i ESA (eng. *Easy Stand Alone*). U konačnici se uspoređuje potrošnja električne energije primjenom reflektora s LED izvorom svjetlosti u odnosu na klasično rješenje s metalhalogenim izvorom svjetlosti.

1.1. Zadatak diplomskog rada

Potrebno je izvršiti analizu raspoloživih tehničkih rješenja upravljanja rasvjetom te odabrati jednu od potencijalnih mogućnosti realizacije i primjeniti ju na praktičnom primjeru. Za taj primjer kreirati dinamičke svjetlosne scenarije te implementirati sustav upravljanja zasnovan na DMX protokolu. Neophodno je detaljno opisati predloženi sustav, sve potrebne elemente sustava, način rada pojedinih elemenata predloženog sustava upravljanja te način prijenosa informacija do rasvjetnih tijela. Na praktičnom primjeru izvršiti izračun uštede energije te donijeti zaključke opravdanosti sustava s LED izvorom svjetlosti.

2. SPECIFIKACIJE VANJSKE RASVJETE

Četiri osnovne odrednice koje rasvjeta zahtijeva su funkcionalnost, ekonomičnost, estetika i ekologija.

- Funkcionalnost- zadaća rasvjete je osiguravanje minimalno propisanih vrijednosti osvjetljenja pri tome pazeći na uniformnost koja smanjuje efekt bliještanja.
- Ekonomičnost- čak tri posto ukupne potrošnje električne energije u Republici Hrvatskoj odlazi samo na javnu rasvjetu stoga je vrlo bitno sagledati rasvjetu s ekonomskog aspekta. Osnovni prijedlog uštede je promjena izvora svjetla s jednim od učinkovitijih tehnologija. Nove tehnologije omogućuju uštede energije i do pedeset posto smanjenjem intenziteta rasvjete dok se daljinskim upravljanjem, kao što je EFR System, mogu smanjiti troškovi upravljanja. Moguće je i kombinirati rasvjetu s obnovljivim izvorima energije posebice ako je riječ o off-grid sustavu. Na kraju glavnina troška odnosi izgradnja i zamjena iako je dokazano da se redovitom zamjenom rasvjetnih tijela osiguravaju značajne uštede pogotovo ako se radi o rekonstrukciji cijelog sustava rasvjete od jednom.
- Estetika- u prošlosti se često koristila rasvjeta s niskim indeksom uzvrata boje što je imalo negativan učinak na ambijent i psihu ljudi. Primjenom LED ili fluokompaktne rasvjete dobiva se boja slična sunčevoj svjetlosti. Visokim indeksom uzvrata boja sada je moguće razne osvijetljene objekte dovesti do izražaja. LED rasvjeta pruža nisku potrošnju energije, ima životni vijek preko 50000 sati, ne zrači toplinu u tom razmjeru kao npr. natrijeva žarulja, malih je dimenzija, ima visoku učinkovitosti te pouzdanost.
- Ekologija- prema zakonu o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, NN 114/2011, slijedi da je svjetlosno onečišćenje okoliša „emisija svjetlosti iz umjetnih izvora svjetlosti koja štetno djeluje na ljudsko zdravlje i uzrokuje osjećaj bliještanja, ugrožava sigurnost u prometu zbog bliještanja, zbog neposrednog ili posrednog zračenja svjetlosti prema nebu ometa život i/ili seobu ptica, šišmiša, kukaca i drugih životinja te remeti rast biljaka, ugrožava prirodnu ravnotežu na zaštićenim područjima, ometa profesionalno i/ili amatersko astronomsko promatranje neba ili zračenjem svjetlosti prema nebu nepotrebno troši električnu energiju te narušava sliku noćnog krajobraza“. Slika 2.1. prikazuje primjer svjetlosnog zagađenja. Kako bi se doskočilo prethodno navedenim problemima potrebno je koristiti ekološki prihvatljive svjetlosne izvore koji zadovoljavaju potrebe za umjetnom rasvjetom pojedine lokacije te ne ometaju aktivnosti ni zdravlje ljudi i životinja. To je

moгуće postići specifičnim oblikom kojim se svjetlo usmjerava prema tlu za razliku od prijašnjih rasvjetnih tijela gdje usmjerenost svjetla 360° oko sebe, [1], [2], [3], [4].



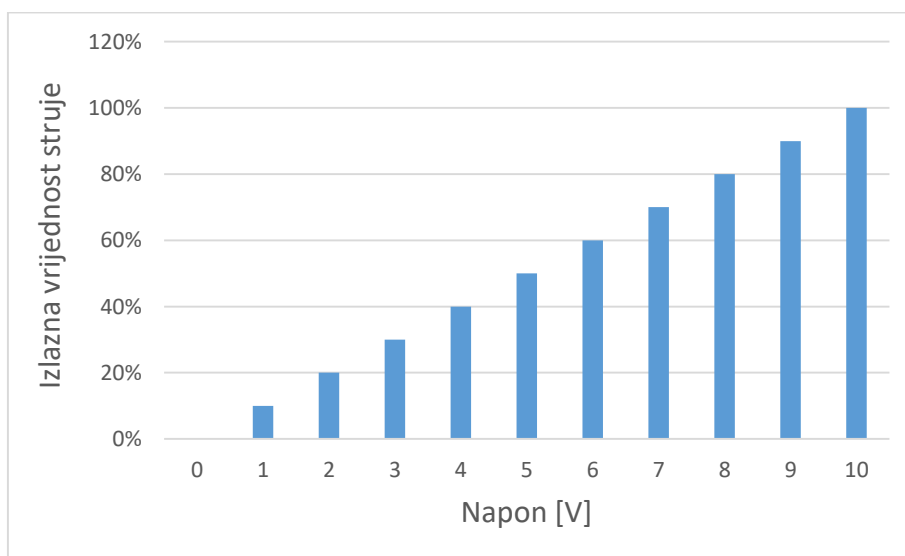
Slika 2.1 Stvaranje izmaglice i nemogućnost uočavanja zvijezda je primjer svjetlosnog zagađenja iznad Los Angelesa [5]

3. SUSTAVI UPRAVLJANJA RASVJETE

Kada se govori o sustavima upravljanja rasvjetom, govori se o svim sustavima koji nadilaze funkcije uključivanja i isključivanja. Upravo ti sustavi omogućuju regulaciju i kontrolu rasvjete prema željama i potrebama korisnika, pazeći pri tome na zakonom propisane norme. Neke od funkcija sustava upravljanja su detekcija pokreta, prigušivanje ovisno o količini dnevne svjetlosti te programiranje svjetlosnih scenarija. Prema ovim funkcijama jasno je vidljivo da sustavi upravljanja nalaze svoju primjenu unutar zgrada ali i vani. Sustavi upravljanja rasvjetom kombiniraju se ovisno o zahtjevima i mogućnostima klijenta, [6].

3.1. Sustav upravljanja 1-10 V

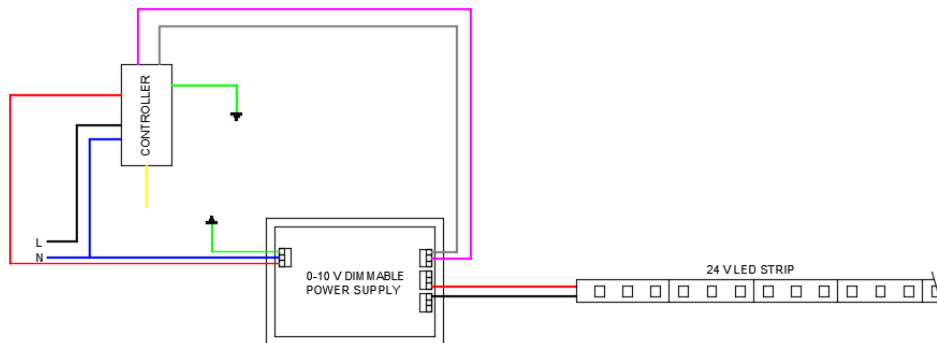
1-10 V je jedan od najstarijih načina upravljanja rasvjetom a druga generacija ovog upravljanja, poznatija kao 0-10 V, koristi se i dan danas. Za svoj rad, sustav 1-10 V zahtijeva istosmjerni izvor energije. Kontrolni signal takvog izvora kreće se između jedan i deset volti što omogućuje prigušivanje svjetla u rasponu od deset do sto posto kao što je vidljivo na slici 3.1. Upravo tu se javlja problem gdje za vrijednost od 0 V ovakav sustav ne raspoznaje je li rasvjeta isključena ili i dalje radi. U ovome slučaju ne pomaže niti kratki spoj stoga se zahtijeva dodatna sklopka koja bi osigurala isključenje sustava.



Slika 3.1 Izlazne vrijednosti 1-10 V sustava upravljanja temeljene na ulaznom signalu napona

Razlika sustava 0-10 V od 1-10 V je taj što 0-10 V većinom dolazi s kontrolerima koji osiguravaju isključenje rasvjete korištenjem sklopke ili naponskog releja. U ovome slučaju minimalna razina

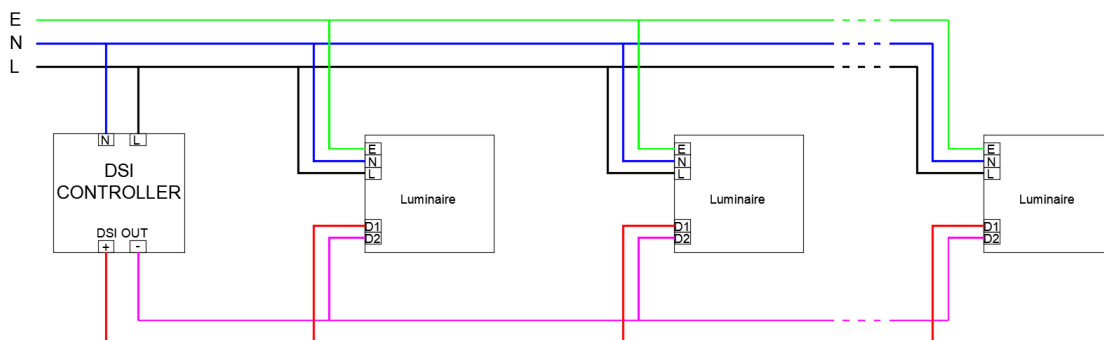
prigušivanja nije više deset posto nego 5,7 %. Česta je pojava da svjetlosni izvori koji su priključeni na istu grupu spoja ne pružaju jednaku izlaznu vrijednost struje zbog pada napona. Polaritet spoja je vrlo bitan te se zahtijeva kompleksno ožičavanje kao na slici 3.2, [7], [8], [9].



Slika 3.2 Primjer ožičenja kontrolera, napajanja i svjetlosnog izvora za 0-10 V sustav upravljanja

3.2. DSI sustav upravljanja

DSI sustav (eng. *Digital Serial Interface*) razlikuje se od 1-10 V sustava upravljanja po tome što koristi digitalni signal kako bi promijenio intenzitet rasvjete. Taj signal se temelji na 8-bitnim informacijama koje komuniciraju s kontrolerom. Korištenje digitalnog signala omogućuje održavanje stabilnog napona, bez povremenih propada napona u signalnom kabeu. Prednost ovog sustava upravljanja je ta što nije bitan polaritet spajanja te pruža povratne informacije o statusu svjetlosnog izvora. Svjetla se mogu isključiti koristeći signalni kabel što znači da dovodni naponski vodovi mogu biti smješteni odvojeno od signalnih kablova što na kraju rezultira manjim regulacijskim jedinicama (SI.3.3.). DSI sustav koristi se na lokacijama gdje se redovito mijenja plan raspoređenosti svjetlosnih izvora.



Slika 3.3 Primjer ožičenja kontrolera, napajanja i svjetlosnih izvora za DSI sustav upravljanja

Nedostatak je taj što maksimalan razmak iznosi oko 250 m, ako se koristi kabel presjeka 1,5 mm². Razmak govori o udaljenosti između DSI uređaja pa sve do posljednjeg svjetlosnog izvora. Upravljačka jedinica diktira mogući broj spojenih prigušnica. Zbog obavezne uporabe kontrolera cijena postaje vrlo visoka za neke manje sustave koji zahtijevaju upravljanje, [7], [10].

3.3. DALI sustav upravljanja

DALI (eng. *Digital Addressable Lighting Interface*) je protokol koji se nadograđuje na DSI sustav upravljanja. On predstavlja sučelje koje povezuje svu elektroničku opremu koristeći digitalni signal. Općeprihvaćenost ovog sustava upravljanja omogućilo je korištenje opreme različitih proizvođača koja međusobno može komunicirati zahvaljujući DALI-ju. Napojni i kontrolni kablovi mogu se položiti u istome vodu. Ne mora se brinuti o polaritetu signalnih kablova, no mora se pripaziti na duljinu kabela koja se određuje prema sljedećoj formuli:

$$l = \frac{U_v \cdot \gamma \cdot Q}{2 \cdot I} \quad (3-1)$$

gdje je:

l - duljina kabela u metrima,

U_v - pad napona u voltima (iznosi maksimalno 2 V),

γ – specifična vodljivost izražena u m/(Ω mm²),

Q – presjek kabela u milimetrima kvadratnim te

I – struja DALI sustava u amperima.

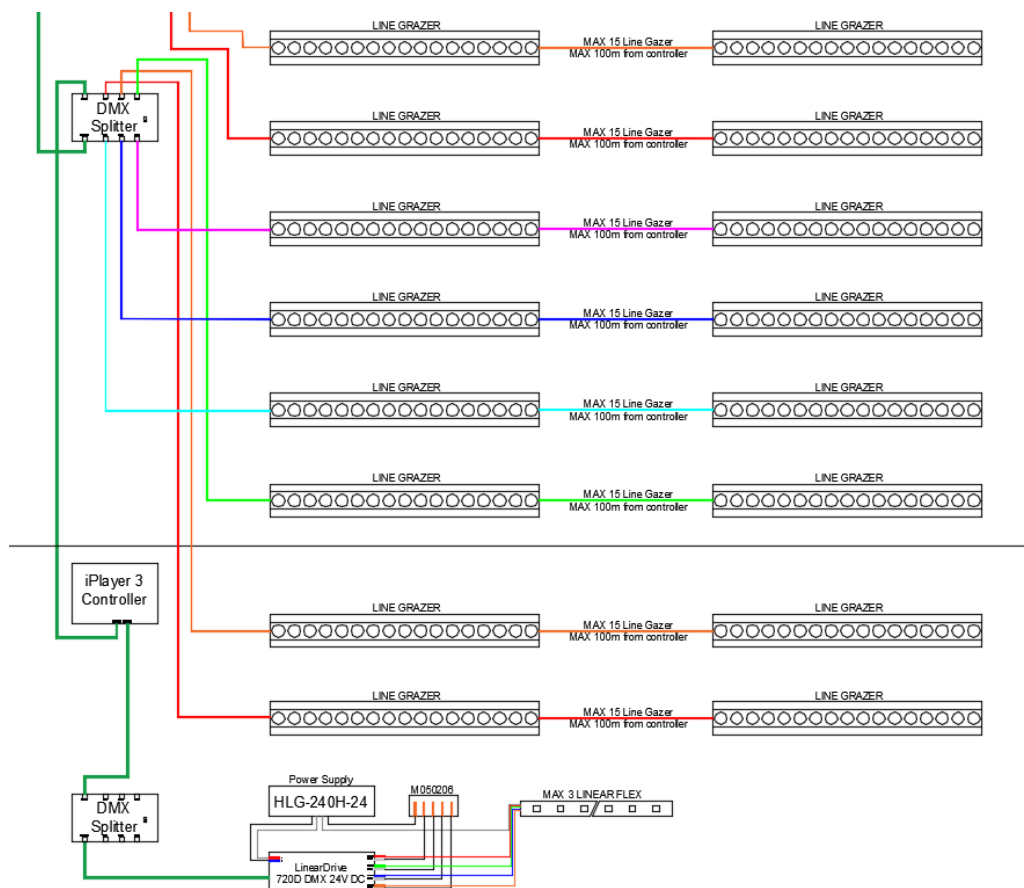
Velika prednost DALI-ja naspram DSI sustava je ta što se dobiva povratna informacija o stanju uređaja (vrlo korisno kada je potrebno pregledati ispravnost svjetlosnog izvora). Još jedna značajna prednost je mogućnost adresiranja jedinica unutar sustava. DALI omogućuje maksimalno 16 grupa po vodu i 16 scena po uređaju no moguće je spojiti i 64 uređaja po jednom vodu. Da bi takav vod mogao raditi, potrebno je dovesti napajanje, [11], [12].

3.4. DMX sustav upravljanja

DMX je sustav upravljanja koji će se koristiti u ovome radu. On se ne razlikuje mnogo u principu rada u odnosu na DALI sustav, no ima neke značajke koje ga čine boljom opcijom u određenim

situacijama. Brze izmjene boja i intenziteta te 512 adresa čine ovaj sustav upravljanja odličnim za izradu svjetlosnih scena na koncertima, na fasadama zgrada ili bilo gdje gdje je potrebno dinamičko osvjetljenje. DMX je baziran na RS-485 protokolu što mu daje brzine prijenosa od 250 kbit/s (usporedno DALI ima brzine prijenosa do 1,2 kbit/s, što je čak 208 puta sporije od DMX sustava).

Kao i drugi digitalni sustavi i DMX je ograničen udaljenošću. Stoga maksimalna udaljenost od kontrolera do posljednjeg svjetlosnog izvora iznosi oko 300 m. DMX je moguće ograničiti i s maksimalnim brojem spojenih uređaja po jednoj liniji. U tom slučaju moguće je spojiti do 32 uređaja. Ako je potrebno taj niz se može nastaviti dodavanjem pojačala ili *splittera*. Mora se spojiti otpornik od 120 Ω nakon zadnjeg svjetlosnog izvora u nizu. Time se osigurava od potencijalnih refleksija signala koje mogu uzrokovati bliještanje svjetla. Primjer ožičenja DMX sustava upravljanja (Sl.3.4.). Za prijenos signala DMX koristi kabel s upletenom paricom, tzv. STP (eng. *Shielded Twisted Pair*) kabel. Sastoji se od 3 izvoda, Data +, Data – i Data Link Common. Takva vrsta ožičenja govori da je potrebno pripaziti na polaritet pri spajanju uređaja, [13], [14], [15].



Slika 3.4 Primjer ožičenja kontrolera, splittera i svjetlosnih izvora za DMX sustav upravljanja

Na temelju DMX sustava upravljanja razvila su se još dva sustava Art-Net te RDM. RDM (eng. Remote Device Management) omogućuje dvosmjernu komunikaciju podataka za razliku od klasičnog DMX protokola što daje uvid u cijeli sustav te se tako u svakom trenutku zna što se događa na pojedinim svjetlosnim izvorima. Art-Net je nastao zbog potrebe dizajnera za većim brojem DMX adresa od početnih 512. Omogućio je da više DMX sustava komunicira preko jednog Cat5 kabela koristeći ethernet. Od 1998. godine do sada proizašlo je četiri iteracija ove tehnologije te se od 2016. godine koristi Art-Net 4 koji je kompatibilan s prethodnim verzijama, ugrađen je direktno u skoro svakom regulatoru, upravljačkoj ploči. Jedna od najvećih prednosti ove tehnologije je to što omogućuje *multihoming*, što znači da je moguće npr priključiti jedan svjetlosni izvor na više mreža, [16].

4. TEHNIČKO RJEŠENJE PRAKTIČNOG PRIMJERA

4.1. Izrada modela i svjetlotehničkog proračuna

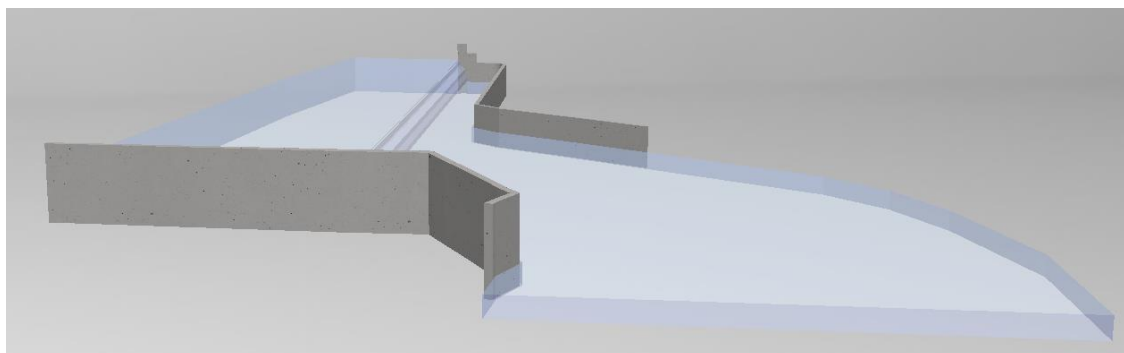
Grad Pleternica smješten je uz rijeku Orljavu na kojoj je 2012. godine izgrađena mala hidroelektrana Pleternica koja se karakterizira kao protočna hidroelektrana. Za primjer sustava upravljanja rasvjete korištenjem DMX protokola koristi se projekt slapa u mjestu Pleternica. Izlaskom na teren utvrđeno je trenutno stanje te su zabilježene bitne stavke kako bi se mogao izraditi model slapa. Zatraženi su AutoCAD nacrti i opisi od investitora što omogućuje da model bude vjerna slika originala (Sl. 4.1, 4.2).



Slika 4.1 Stvarni izgled slapa na rijeci Orljavi u gradu Pleternici

Slika 4.2 Tehnički nacrt situacije slapa u Pleternici koju je pribavio investitor, slika 4.2, prikazuje visinske kote, duljine slapa i okolnih zidova. Iz tog nacрта daje se zaključiti da je duljina slapa 88,95 m, kota vrha preljeva slapa nalazi se na 118,92 m nadmorske visine dok je razina vode u dolini pada na 114,88 m nadmorske visine što ukazuje na pad visine od 4,04 m.

Kako bi se kreirao 3D model slapa potrebno je iskoristiti AutoCAD nacрте dobivene uz ostalu dokumentaciju te ih kao takve unijeti u računalni program SolidWorks koji omogućuje trodimenzionalno crtanje. Nakon izrade modela prikazanog na slici 4.3, sprema se datoteka u oblik koji prihvaća računalni program DIALux. Svi svjetlotehnički proračuni, proračunska polja te prikaz lažnih boja (eng. *False colour rendering*) izrađuju se u DIALuxu.

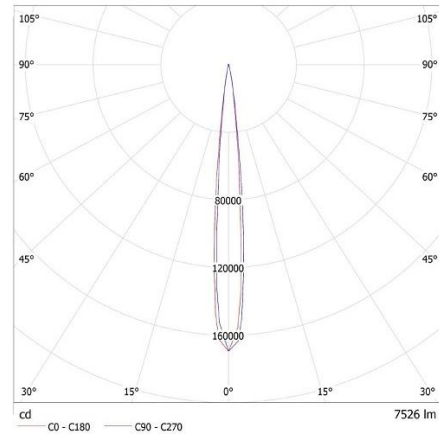


Slika 4.3 Model nacrtan u SolidWorksu koji odražava stvarni izgled slapa a koristi se za daljnju izradu svjetlotehničkog proračuna

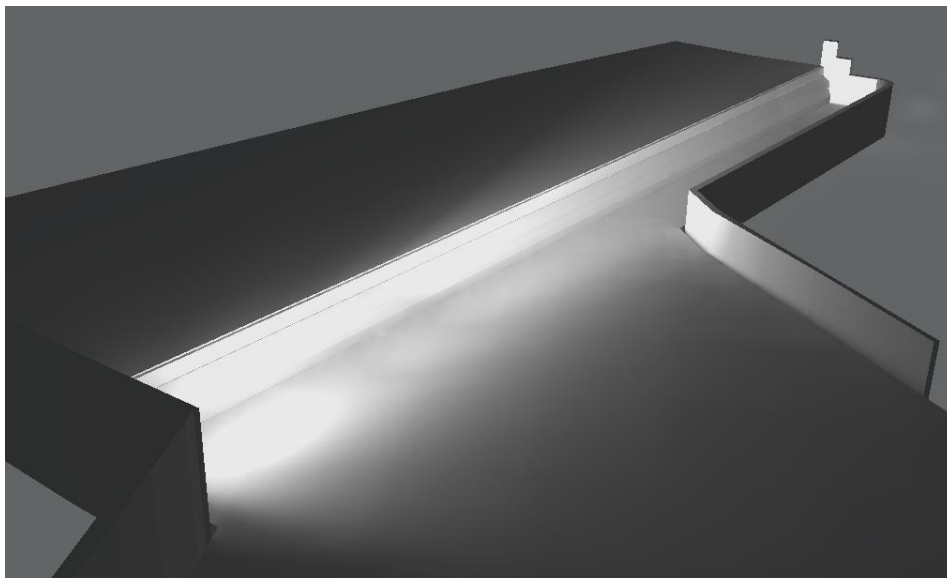
Svjetlosni izvori koji se koriste pri proračunu su proizvođača ACDC Lighting, tip: FUSION 48 (Sl.4.4). Pri odabiru svjetlosnog izvora bitno je pripaziti na nekoliko ključnih segmenata kao što su boje svjetlosti i dostupne optike (kut zrake). U tablici 4.1. dane su tehničke specifikacije svjetlosnih izvora korištenih u svjetlotehničkom proračunu. Korištenjem izrađenog modela te tehničkih specifikacija svjetlosnih izvora omogućuje se izrada svjetlotehničkog proračuna u računalnom programu DIALux, kao što je i prikazano na slici 4.5. Ta slika daje grubu predodžbu kako će izgledati osvijetljeni slap.

Tablica 4.1 Tehničke specifikacije za svjetlosni izvor ACDC FUSION 48

Boja svjetlosti	RGBW		
Kut zrake [°]	10	30	64
Snaga [W]	81		
Svjetlosni tok [lm]	5358	4366	4374
Stupanj zaštite	IP66		
Indeks uzvrata boje (CRI)	80		
Efikasnost svjetlosnog izvora [lm/W]	66,15	53,9	54

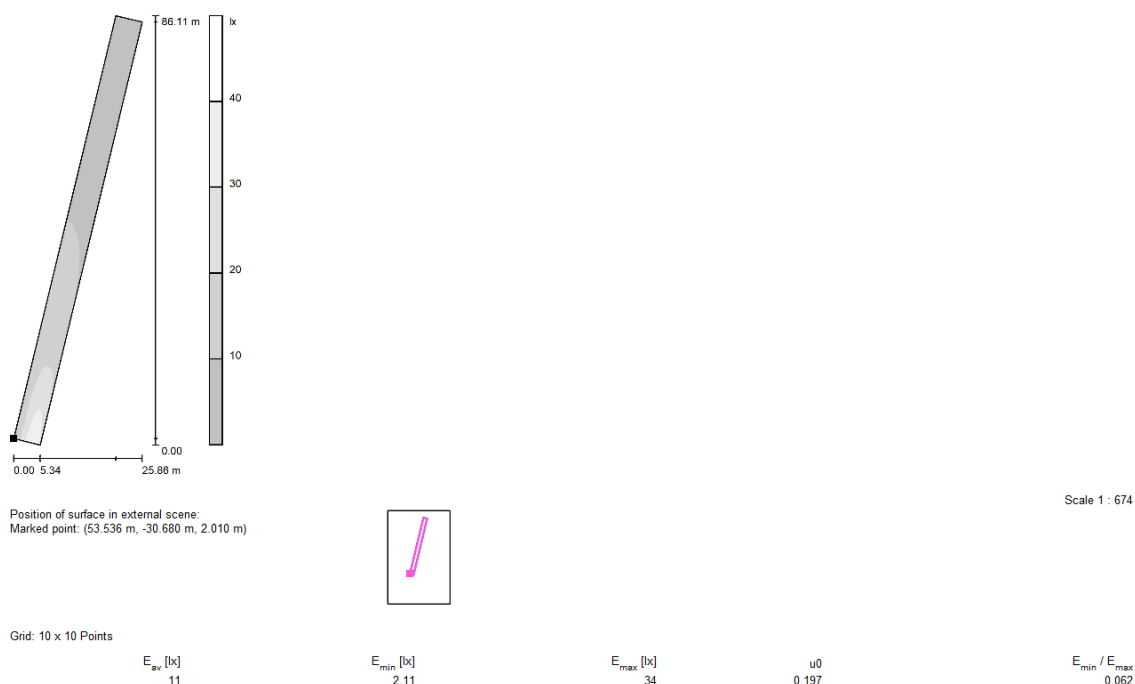


Slika 4.4 Stvarni izgled svjetlosnog izvora acdc Fusion 48 (lijevo) i njegov polarni dijagram za snop svjetlosti od 10 ° i temperaturu boje 3000 K (desno) [17]



Slika 4.5 Rezultat generiran svjetlotehničkim proračunom u DIALuxu koji prikazuje distribuciju svjetla duž cijelog slapa

Svjetlotehnički proračun se iskazuje i na drugi način i to numeričkim pristupom, (Sl. 4.6), koji pobliže odražava stvarno stanje a bitan je pri realizaciji samog projekta zbog toga što se lako može usporediti projektirano i izvedeno stanje.

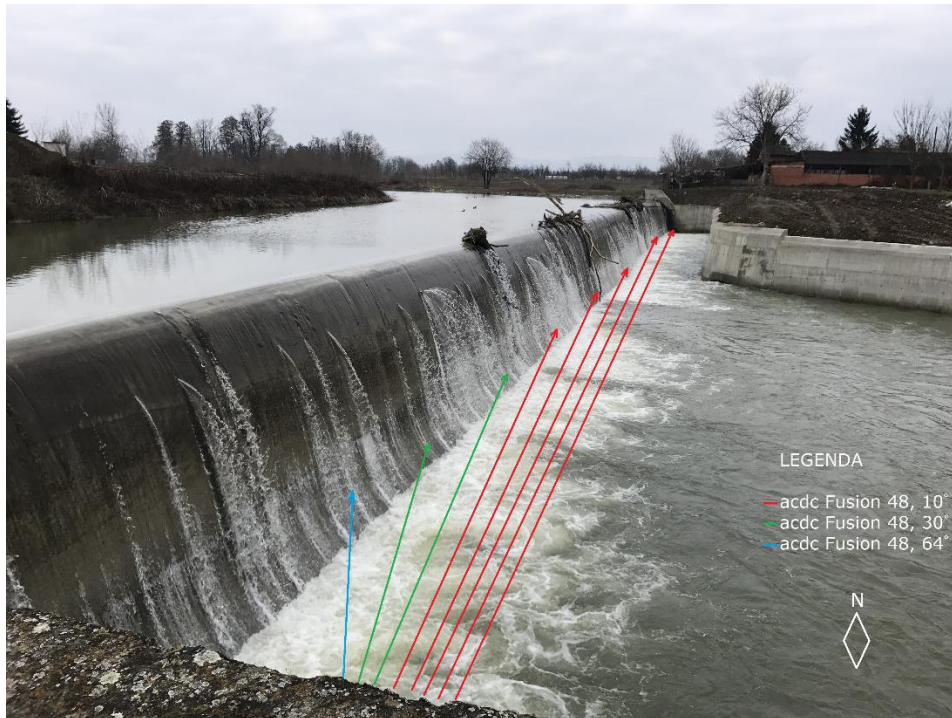


Slika 4.6 Numerički rezultat generiran svjetlotehničkim proračunom u DIALuxu koristeći proračunsko polje kako bi se iskazale vrijednosti razina osvjjetljenosti duž slapa

4.2. Tehnički opis sustava upravljanja

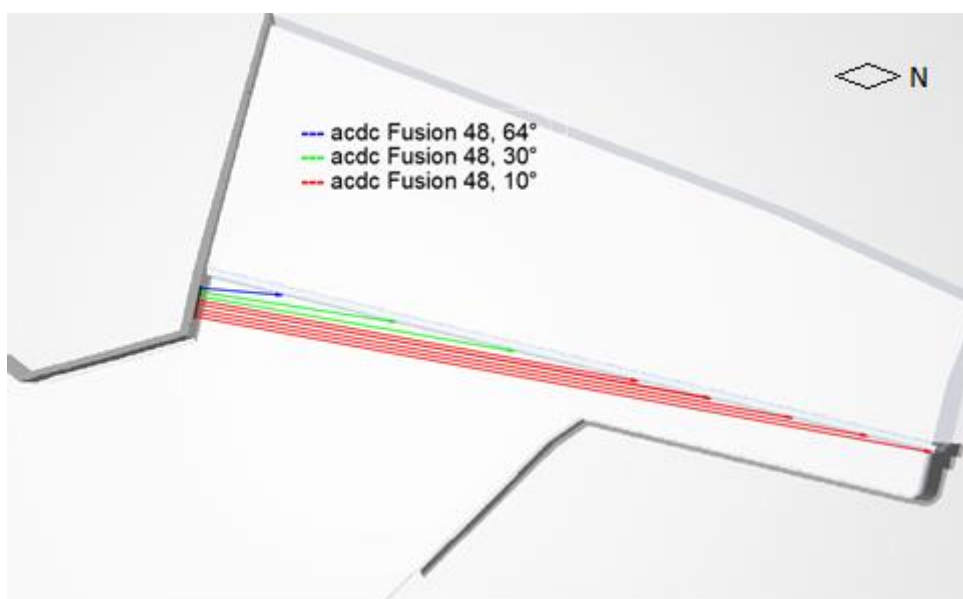
Na temelju dobivenog svjetlotehničkog proračuna definira se cijeli sustav rasvjete implementirajući pri tome sustav upravljanja. Upravljački dio smješta se u obližnju hidrocentralu u zaseban ormar, RO-UPR, koji osigurava zahtjeve propisane od strane proizvođača, a svode se na stupanj zaštite, optimalnu operativnu temperaturu. Upravljački dio se sastoji od DMX kontrolera tipa SLESA-UE7 koji se napaja putem ispravljača napona 5 V-5,5 V. S druge strane, povezuje se ethernet kablom RJ45 do obližnjeg routera osiguravajući tako spoj s lokalnom internetskom mrežom. Takav spoj osigurava komunikaciju putem pametnog telefona ili tableta što omogućuje promjenu svjetlosnih scena na licu mjesta. Neke od osnovnih karakteristika kontrolera su broj DMX kanala (1024), broj scena (200) te kapacitet memorije (ograničen veličinom SD kartice). SLESA-UE7 podržava zvučno, infracrveno upravljanje i upravljanje pomoću sata, tzv. *timer*.

Iz RO-UPR provlači se napojni kabel promjera 2,5 mm² skupa s trožilnim upravljačkim kablom (*data+*, *data-* i *ground*) do acdc FUSION Huba koji se ponaša kao splitter. Na FUSION Hub se dalje priključuju svjetlosni izvori tipa acdc Fusion 48 koji su udaljene 40 m od razvodnog ormara.



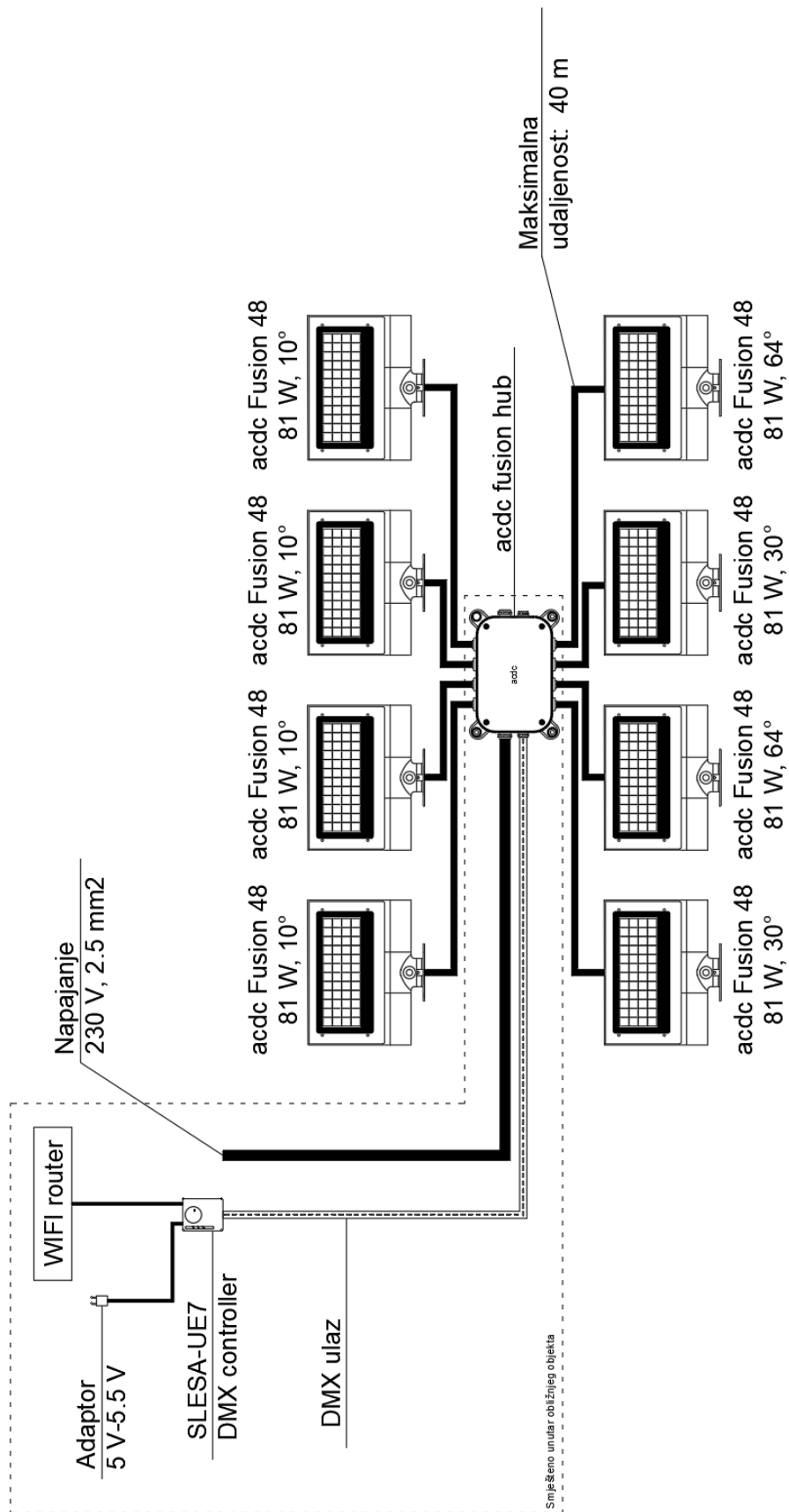
Slika 4.7 Prikaz usmjerenja snopova svjetlosnih izvora acdc Fusion 48

Svjetlosni izvori se smještaju na postojeći betonski zid bliže hidrocentrali prema rasporedu definiranom u svjetlotehničkom proračunu i to na visini 1,5 m od vrha betonskog zida. Na taj način osigurava se što manja izloženost vodi te se pri tome izbjegava rasipanje svjetla u okolinu pazeći na svjetlosno onečišćenje okoliša. Usmjerenje snopova za osam svjetlosnih izvora koji trebaju osvjetljavati slap u Pleternici može se vidjeti na slici 4.7 i 4.8.



Slika 4.8 Tlocrtni prikaz usmjerenosti snopova svjetlosnih izvora acdc Fusion 48

Ovakvo usmjerenje omogućuje ravnomjernost osvjetljenosti duž cijelog slapa pogotovo ako se uzme u obzir mogućnost upravljanja, točnije prigušivanja rasvjete. Detaljna shema spoja DMX sustava upravljanja rasvjetom prikazana je na slici 4.9.



Slika 4.9 Shema spoja DMX sustava upravljanja i svjetlosnih izvora na primjeru slapa u Pleternici

4.3. Izrada svjetlosnih scena

4.3.1. Općenito o računalnom programu ESA2

ESA2 je računalni program nastao kao jedan od proizvoda koji se nudi u asortimanu firme Nicolaudie. Prvotna verzija datira još iz 2004. godine s nešto manje mogućnosti za razliku od trenutne verzije. ESA je zamišljen kao kontroler koji se temelji na DMX protokolu i omogućuje upravljanje rasvjetom na način da joj mijenja boju, usmjerava ju gore-dolje, lijevo-desno, treperi i slično. Kako bi se isprogramirale svjetlosne scene i pohranile za dalju uporabu potrebno je priključiti neki od kontrolera putem USB kabla. Moguće je i upravljanje putem pametnih telefona, tableta ili putem interneta, ovisno o izvedbama kontrolera. Za upravljanje putem pametnih telefona razvile su se aplikacije Arcolis i Easy Remote koje mogu zamijeniti reguliranje izgleda svjetlosnih scena no ne i adresiranje svjetlosnih izvora.

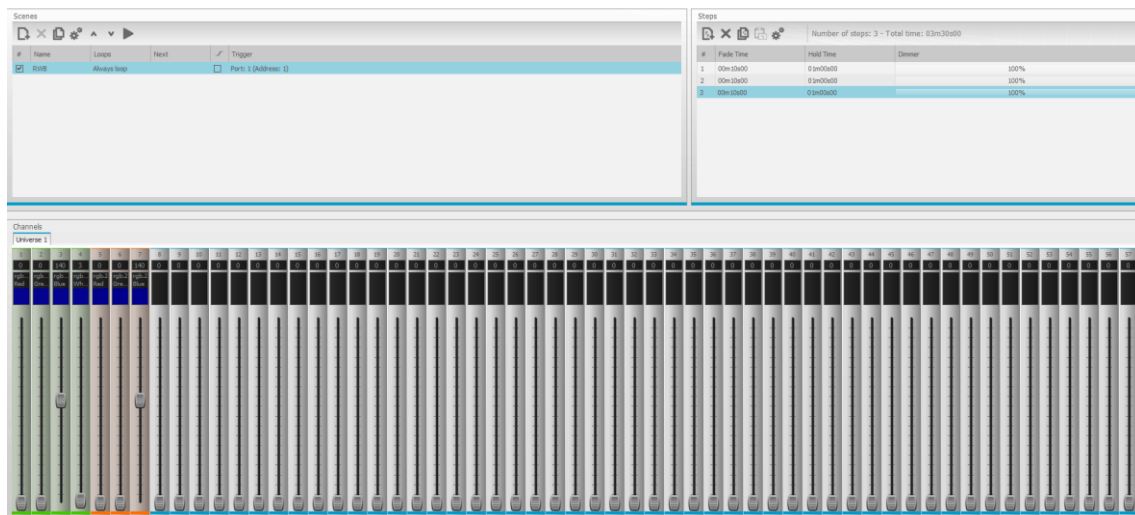
4.3.2. Praktična realizacija svjetlosne scene

Svjetlosna scena je ključan faktor svakog filma ili predstave. Ona diktira ugođaj koji se želi nametnuti gledatelju ili pokušava naglasiti specifične dijelove koji su od velike važnosti. Upravo to se pokušava dobiti izradom svjetlosnih scena zgrada, parkova ili šetnica. Jedan takav primjer je pješački most na rijeci Dravi u Osijeku (Sl. 4.10).



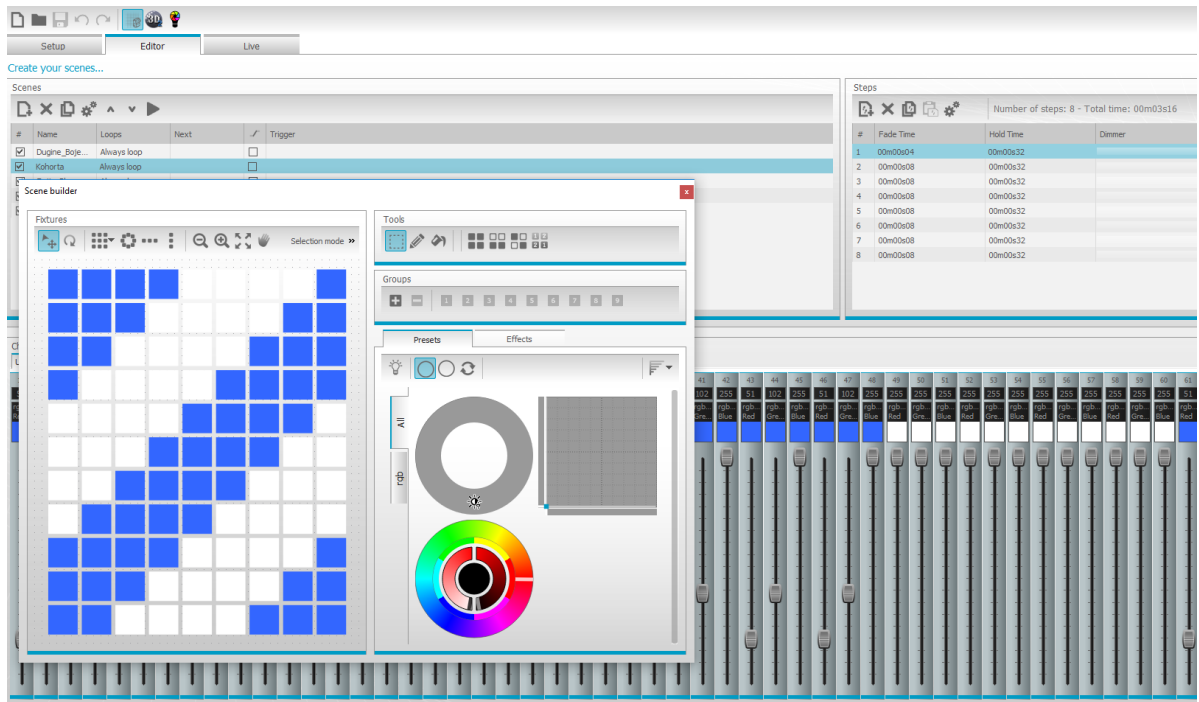
Slika 4.10 Jedna od svjetlosnih scena pješačkog mosta na rijeci Dravi u Osijeku [18]

Za programiranje svjetlosnih scena računalnim programom ESA2, koristi se direktan spoj računala putem USB kabela s kontrolerom SLESA-UE7. Pri pokretanju programa automatski se prepoznaje kontroler na koji je moguće čitati, pisati te brisati pohranjenu memoriju. Svaki od različitih efekata, poput treperenja svjetla, pomicanja rasvjete ili promjene boja, zauzimaju jednu od slobodnih adresa svjetlosnog izvora. U primjeru na slici 4.11., prvom svjetlosnom izvoru, prikazanom zelenom bojom u donjem dijelu slike, dodijeljeni su efekti RGBW (*eng. red, green, blue, white*) što za posljedicu ima zauzimanje prvih četiri adresa kontrolera. Drugi svjetlosni izvor podržava samo RGB pa zato zauzima samo tri adrese. Pomicanjem kliznika gore-dolje, ovisno o želji korisnika, postiže se željena boja na izlazu svjetlosnog izvora. U polju *Scene* može se primijetiti naziv scene RWB, što bi značilo crveno, bijelo i plavo. Kako bi se postigao točno takav efekt scenu treba isprogramirati u pojedinim koracima. Za scenu RWB definirana su tri koraka, svaki u trajanju od jedne minute te je svaki korak zastupljen drugom bojom.



Slika 4.11 Definiranje svjetlosnih scena i koraka u računalnom programu ESA2 kako bi se dobio efekt crven, bijeli, plavi

Ovim pristupom bi na praktičnom primjeru svih osam svjetlosnih izvora prikazivalo istu boju u isto vrijeme. Kako bi se to izbjeglo koristi se *Scene builder* gdje je moguće svakom svjetlosnom izvoru zasebno odrediti koju boju prikazivati i s kakvim efektom (Sl. 4.12). 3D Visualizer je opcija programa ESA2 za vjerni prikaz svjetlosnih scena u stvarnom vremenu. Zbog ograničenja programa koji je još uvijek u beta verziji, nije moguće ubaciti 3D model slapa.



Slika 4.12 Prikaz izrade plavo-bijele svjetlosne scene pješačkog mosta u Osijeku u računalnom programu ESA2 [19]

5. ANALIZA UŠTEDE ENERGIJE USPOREDBOM REFLEKTORA S LED I METALHALOGENIM IZVOROM

Koristeći model iz prethodnog poglavlja može se izračunati proračun ušteda tako da se za referentno stanje koriste svjetlosni izvori od 150 W, tipa Thorn QBA 2 HIT-CE R/S EXT a za projektirano stanje koriste svjetlosni izvori ACDC Fusion 48. Podaci ovih svjetlosnih izvora nalaze se u tablici 5.1.

Tablica 5.1 Tehničke specifikacije svjetlosnih izvora

Naziv	ACDC Fusion 48	Thorn QBA 2 HIT-CE R/S EXT
Vrsta izvora	LED	MH
Kut zrake [°]	10	10-15
Snaga [W]	81	170
Svjetlosni tok [lm]	5358	14000
Stupanj zaštite	IP66	IP66
Indeks uzvrata boje (CRI)	80	80
Efikasnost svjetlosnog izvora [lm/W]	66,15	82

Prvo se izračuna ukupna snaga projektiranog i referentnog stanja prema sljedećoj formuli:

$$P_{ru} = n \cdot P_r \quad (5-1)$$

gdje je:

P_{ru} – ukupna snaga referentnog stanja izražena u vatima

n – ukupan broj svjetlosnih izvora

P_r – snaga jednog referentnog svjetlosnog izvora izražen u vatima

Na tome principu, koristeći podatke projektiranih svjetlosnih izvora, dobije se ukupna snaga projektiranog stanja. Godišnje utrošena električna energija računa se tako da se pomnoži ukupna snaga referentnog (projektiranog) stanja te broj radnih sati svjetlosnih izvora u rasponu od cijele godine.

$$E_r = \frac{P_{ru} \cdot t}{1000} \quad (5-2)$$

gdje je:

E_r – godišnje utrošena električna energija referentnog stanja izražena (kWh)

t – broj radnih sati godišnje

$$P_U = P_{ru} - P_{pu} \quad (5-3)$$

gdje je:

P_U – godišnja ušteda električne energije (kWh)

P_{pu} - ukupna snaga projektiranog stanja izražena u vatima

$$P_{U\%} = \frac{P_{ru}}{P_{pu}} \cdot 100 \% \quad (5-4)$$

gdje je:

$P_{U\%}$ – godišnja ušteda električne energije izražena u postocima

$$c_U = P_U \cdot c_{el.en} \quad (5-5)$$

gdje je:

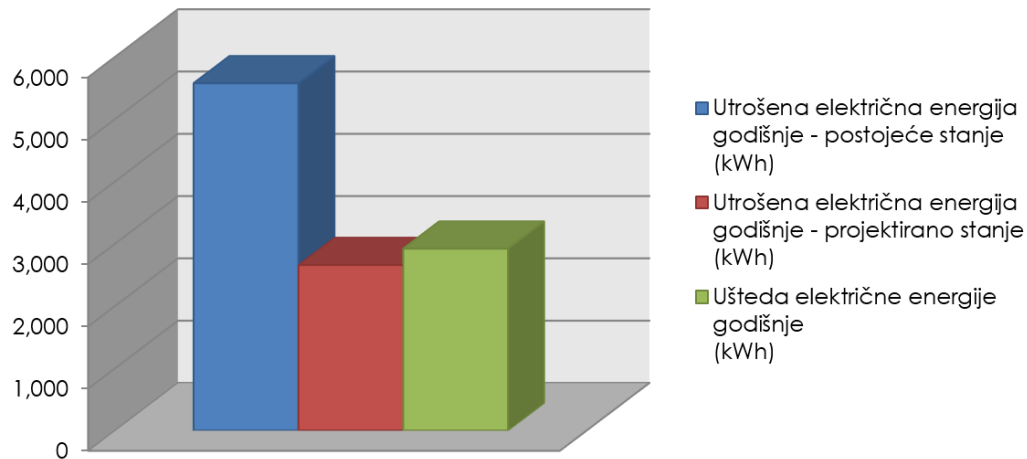
c_U – godišnja financijska ušteda izražena u kunama

$c_{el.en}$ – cijena električne energije (kn/kWh)

U tablici 5.2. prikazan je kompletan proračun uštede energije s iskazanim financijskim uštedama u kunama te postotnom uštedom električne energije koja iznosi 52 % za ovaj slučaj. Na slici 5.1 grafički je prikazana razlika između referentnog stanja (plavo) i projektiranog stanja (crveno) zelenom bojom koja prikazuje uštedu električne energije a godišnjoj razini u kilovat satima a iznosi 2919 kWh.

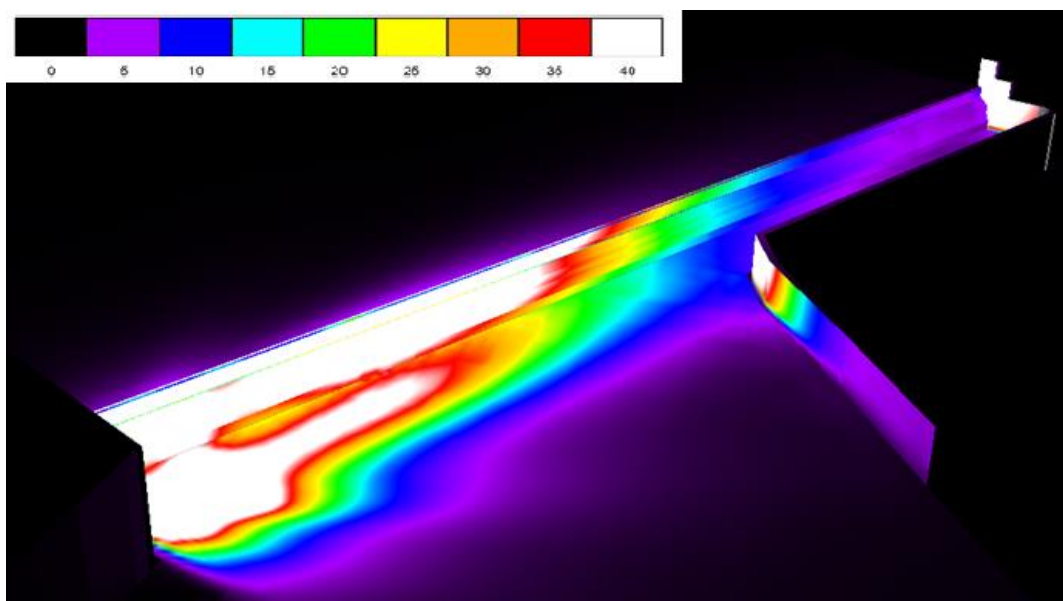
Tablica 5.2 Prikaz proračuna uštede energije na primjeru metalhalogenog izvora (referentno stanje) te LED izvora (projektirano stanje)

REF. STANJE	Ukupna snaga (W)	1360
	Broj radnih sati godišnje	4100
	Utrošena električna energija godišnje (kWh)	5576
PROJ. STANJE	Ukupna snaga (W)	648
	Broj radnih sati godišnje	4100
	Utrošena električna energija godišnje (kWh)	2657
UŠTEDE ENERGIJE	Ušteda električne energije godišnje (kWh)	2919
	Cijena električne energije (kn/kWh)	0.69
	Financijske uštede godišnje (kn)	2014,25
	Ušteda električne energije godišnje (%)	52

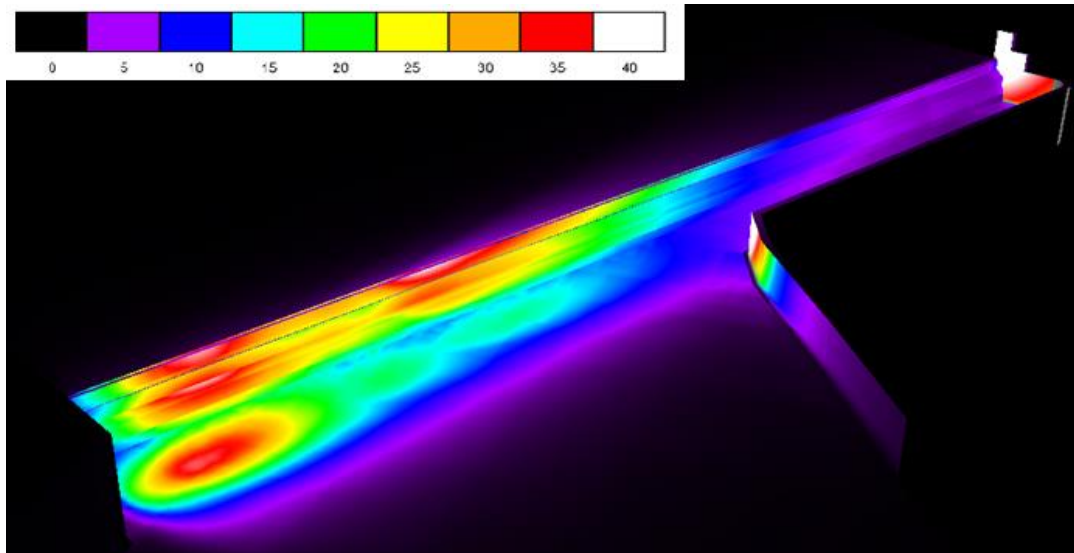


Slika 5.1 Grafički prikaz uštede energije na primjeru metalhalogenog izvora (referentno stanje) te LED izvora (projektirano stanje)

Slike 5.2 i 5.3 dobivene su svjetlotehničkim proračunom u DIALuxu a predstavljaju prikaz lažnih boja. Takav prikaz naglašava nijanse sive boje koje inače budu generirane svjetlotehničkim proračunom. Prikaz lažnih boja olakšava uočavanje eventualnih nepravilnosti koje se nebi uočile golim okom. Može se primijetiti da je na slici 5.2, koja predstavlja svjetlosni izvor tipa Thorn QBA 150W, najrasprostranjenija bijela boja koja prema legendi u gornjem lijevom uglu slike ukazuje na to da se radi o vrijednosti većoj od 40 lx. Mjerenjem u programu dolazi se do zaključka da se radi o točnije 110 lx, skoro tri puta više od ACDC Fusion 48, što znači da se radi o bliještanju.



Slika 5.2 Prikaz lažnih boja za svjetlosni izvor Thorn QBA 150W



Slika 5.3 Prikaz lažnih boja za svjetlosni izvor ACDC Fusion 48

Ujedno dolazi i do prevelikog kontrasta jer je suprotni kraj slapa osvijetljen sa samo 5 lx. Iz toga se može zaključiti da je i estetski gledano bolje rješenje korištenjem ACDC Fusion 48. Osim što korištenjem LED rasvjete dolazi do uštede električne energije od 52% iz tablice 5.2 vidljivo je da se novčane uštede kreću oko 2000,00 kn godišnje.

6. ZAKLJUČAK

DMX sustav upravljanja nadogradnja je svakog od ovdje navedenih sustava. Ne zahtjeva istosmjerni izvor za napajanje, niti ima pad napona nakon određene udaljenosti kao sustava upravljanja 1-10 V. Temelji se na digitalnom signalu poput DSI i DALI sustava, no nije ograničen na maksimalnu udaljenost od 250 m svjetlosnog izvora do kontrolera kao DSI. Pruža puno više adresa i scena od DALI sustava, no zato ne dobiva povratnu informaciju o stanju uređaja. Art-Net i RDM su unprijeđeni sustavi upravljanja DMX-a koji su eliminirali njegove nedostatke.

Analiziranjem projektnog zadatka ponuđeno je tehničko rješenje koje je spremno za glavni elektrotehnički projekt, a u drugoj fazi za izradu izvedbenog projekta. Računalni program ESA2 omogućio je jednostavno rukovanje te brzu implementaciju DMX-a kao sustava upravljanja što se može vidjeti na primjeru pješakog mosta u Osijeku.

Proračunom ušteda dolazi se do zaključka da se korištenjem neučinkovitih svjetlosnih izvora troši i do dva puta više energije, što u ovom primjeru rezultira povećanjem troškova preko 2000,00 kn na godišnjoj razini. S obzirom na to da samo javna rasvjeta čini tri posto ukupne potrošnje električne energije u RH, ako bi na to nadodali svu ostalu rasvjetu unutar kućanstva, industrijskih postrojenja i sl. tada ta brojka postaje mnogo veća a problem energetske učinkovitosti puno značajniji. Estetika cijelog grada te osjećaj ugone kod ljudi, stavlja potrošnju jednog ovakvog sustava rasvjete u drugi plan iz razloga što je Pleternica grad u razvitku, na dobroj poziciji gledano s geografskog aspekta, sa željom da privuče što više ljudi.

Zbog sve veće prisutnosti sustava upravljanja po građevinama i prirodnim znamenitostima vrlo je važno razumjeti princip rada te educirati se kako na najbolji način ponuditi rješenje koje će projekt dovesti do izražaja, pružajući karakter koji zaslužuje. Dolaskom LED rasvjete na tržište ubrzao se napredak sustava upravljanja zbog svojih mnogobrojnih prednosti koje pruža. LED rasvjeta je uvelike zastupljena na globalnom tržištu što govori i brojka od 43,247 milijarde dolara za 2017. godinu, a predviđa se da će taj broj rasti i do 60 milijardi dolara do 2020. godine. Iz ovih brojki se sa sigurnošću može reći da budućnost leži u sustavima upravljanja rasvjete zbog velikog utjecaja LED rasvjete.

LITERATURA

- [1] Philips: "Studija rekonstrukcije javne rasvjete u Gradu Zaprešiću", prezentacija, Philips electronics- Rep office Zagreb, Zagreb, RH, 01.02.2010., dostupno na: http://www.regea.org/assets/files/obavjestvtvrtkama/Zapresic_studija.pdf, pristup ostvaren 21.05.2018.
- [2] "Javna rasvjeta", Nacionalni portal energetske učinkovitosti, dostupno na: <https://www.enu.hr/javna-rasvjeta>, pristup ostvaren 21.05.2018.
- [3] Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost: "Javna rasvjeta", FZOEU, Zagreb, RH, dostupno na: http://www.fzoeu.hr/hr/energetska_ucinkovitost/javna_rasvjeta, pristup ostvaren 21.05.2018.
- [4] "Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja", Narodne novine 114/2011, pristup ostvaren 21.05.2018.
- [5] M. Knell, "Light Pollution", 19.06.2006., dostupno na: <https://www.flickr.com/photos/mpk/171117951/in/photostream>, pristup ostvaren 04.05.2018.
- [6] ENERGYPLUS: "Upravljanje LED rasvjetom-rasvjeta po mjeri", ENERGYPLUS d.o.o., Ludbreg, RH, dostupno na: http://www.energyplus.hr/o_led_upravljanje, pristup ostvaren 02.05.2018.
- [7] T. Griva, "Osnove upravljanja 1-10 V, DSI, DALI, DMX", Zumtobel, dostupno na: http://www.ingkomora.me/ikcg_sajt/cms/public/image/uploads/Nacini_upravljanja_rasvjetom.pdf, pristup ostvaren 27.04.2018.
- [8] Lightology: "What is 0-10 V dimming?", Lightology, Chicago, USA, dostupno na: https://www.lightology.com/index.php?module=tools_faq_0_10v_control, pristup ostvaren 02.05.2018.
- [9] MEAN WELL EUROPE B.V.: "Difference between DC 1-10 V or 0-10 V dimming methods in MW dimmable LED driver", 07.04.2015., dostupno na: <http://www.meanwell.eu/ExclusivePDF/DIMMING-NOTE.pdf>, pristup ostvaren 02.05.2018.
- [10] GLAMOX: "Digital DSI", dostupno na: <http://glamox.com/uk/digital-dsi>, pristup ostvaren 02.05.2018.
- [11] TRIDONIC: "DALI manual", 01.08.2013., dostupno na: http://www.tridonic.com/com/en/download/technical/DALI-manual_en.pdf, pristup ostvaren 02.05.2018.

- [12] TRIDONIC: "DALI At a glance", 05.07.2018., dostupno na: http://www.tridonic.com/com/en/download/technical/DALI_important_facts_at_a_glance_en.pdf, pristup ostvaren 02.05.2018.
- [13] eldoLED: "How to wire DMX lighting systems", 2017., dostupno na: <https://www.eldoled.com> <https://www.eldoled.com/support/learning-center/how-to-wire-dmx-lighting-systems>, pristup ostvaren 03.05.2018.
- [14] LUTRON: "DMX-512 Fundamentals", Lutron electronics ltd., Pennsylvania, USA, dostupno na: http://www.lutron.com/en-us/education-training/documents/dmx_webinar_7-29-2010.pdf, pristup ostvaren 03.05.2018.
- [15] J. Rene, M. Philipp, S. Markus, "DMX digital multiplex basics", prezentacija, Zumtobel, 09.02.2011.
- [16] W. Howell, "Art-Net", Artistic Licence, dostupno na: <https://art-net.org.uk>, pristup ostvaren 22.06.2018.
- [17] acdc lighting: "Fusion Specification Sheets", 2017. dostupno na: <http://www.acdclighting.co.uk>, pristup ostvaren 01.07.2018.
- [18] V. Kos, "Osvjetljen pješački most u Osijeku", Cropix, 26.06.2017., <https://www.jutarnji.hr/vijesti/hrvatska/osvijetljen-pjesacki-most-u-osijeku/6309066>, pristup ostvaren 06.07.2018.
- [19] Nova-Lux: "Pješački most Osijek 16-050", Nova-Lux d.o.o., Osijek, RH, 09.04.2016.

SAŽETAK

U ovome radu analizirali su se sustavi upravljanja LED RGB rasvjetom. Opisane su prednosti i mane najčešće korištenih sustava upravljanja, a naglasak se stavio na DMX. Ovaj sustav odlikuje se velikom brzinom prijenosa signala, a manu pronalazi u jednosmjernoj komunikaciji. Ta mana rješava se naprednijim sustavima upravljanja, RDM-om i Art-Netom, koji se ponašaju kao nadogradnja na DMX. Na praktičnom primjeru osmišljeno je tehničko rješenje te svjetlosni scenariji korištenjem računalnih programa DIALux i ESA2. Za tehničko rješenje izrađen je proračun uštede usporedbom referentnog i projektiranog stanja.

Ključne riječi: sustavi upravljanja rasvjetom, DMX, tehničko rješenje, svjetlosni scenariji, proračun uštede

LED RGB lighting system management using DMX protocol

Abstract

This paper analyses LED RGB lighting management systems. Advantages and disadvantages of the most commonly used management systems are described, with an emphasis on DMX. This system is characterized by a high-speed signal transfer, with its only disadvantage being one-way communication. This disadvantage is solved with the use of more advanced management systems, RDM and Art-Net, which serve as DMX's upgrades. Technical solution and lighting scenarios were designed in a practical example using the DIALux and ESA2 computer programs. A savings budget was made for the technical solution by comparing the reference and the projected state.

Keywords: Lighting Management Systems, DMX, Technical Solution, Lighting Scenarios, Savings Budget

ŽIVOTOPIS

Adam Martinek rođen je u Osijeku. Pohađao je osnovnu školu Josipovac u Josipovcu, nakon koje 2009. godine upisuje Elektrotehničku i prometnu školu Osijek, gdje se izučava kao elektrotehničar. Za vrijeme srednjoškolskog obrazovanja stječe znanje na praksi u Elektroslavoniji gdje se upoznaje s distribucijskim sustavom Slavonije i Baranje. Nakon završene srednje škole upisuje preddiplomski studij elektrotehnike 2013. godine na tadašnjem Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku a završava ga 2016. godine, kada upisuje sveučilišni diplomski studij elektrotehnika, smjer elektroenergetika, izborni blok održiva elektroenergetika na fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. Tijekom pete godine studija radi na poslovima projektiranja instalacija i rasvjete. Uže područje interesa i istraživanja: iskorištavanje otpada u energetske svrhe, baterijski sustavi električnih vozila, 3D modeliranje.
