MODERNIZACIJA I UPRAVLJANJE RASVJETOM TVORNICE ROCKWOOL ADRIATIC

Kliman, Goran

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

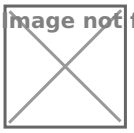
2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic Pula - College of Applied Sciences / Politehnika Pula - Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:212:862114

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

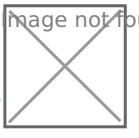
Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Digital repository of Istrian University of applied sciences





POLITEHNIKA PULA

VISOKA TEHNIČKO POSLOVNA ŠKOLA S.P.J.

PULA

SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ

KREATIVNI MENADŽMENT U PROCESIMA

GORAN KLIMAN

MODERNIZACIJA I UPRAVLJANJE RASVJETOM TVORNICE ROCKWOOL ADRIATIC

SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI RAD

PULA, 2016.

POLITEHNIKA PULA

VISOKA TEHNIČKO POSLOVNA ŠKOLA S.P.J.

PULA

SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ

KREATIVNI MENADŽMENT U PROCESIMA

MODERNIZACIJA I UPRAVLJANJE RASVJETOM TVORNICE ROCKWOOL ADRIATIC

SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI RAD

Predmet: Energetska učinkovitost

Mentor: Mr. sc. Davor Mišković

Magistrand: Goran Kliman

Matični broj: 0103

Pula, lipanj 2016.

Prazna stranica

Ime i prezime

Goran Kliman

Matični broj: 0103

ZAHVALA

Za izradu ovoga rada koristio sam dokumentaciju i resurse koje mi je omogućio moj poslodavac ROCKWOOL Adriatic d.o.o. posredstvom menadžera odjela održavanja Olivera Fatorića i tehničkog direktora tvornice Aleksa Fonovića, bez kojih ne bih bio u mogućnosti izraditi ovaj specijalistički diplomski rad, te im se iskreno zahvaljujem na tome.

Posebno bi se zahvalio i mentoru, profesoru Davoru Miškoviću koji mi je uvijek bio na raspolaganju za dodatne sugestije i mišljenja, te time prenio i dio svoga znanja na mene.

SAŽETAK

Smanjenje potrošnje neobnovljivih izvora energije, zagađenje zraka i emisije CO_2 postali su jedan od prioriteta prilikom izgradnje ili nadogradnje infrastrukture koja nas okružuje. Europska unija propisuje direktivu o energetskoj učinkovitosti koja definira ciljeve i obveze članova za povećanje energetske učinkovitosti. Danas, se pokreću mnogi projekti povećanja energetske učinkovitosti u sektorima komunalne i cestovne infrastrukture, te zgradarstvu koji obuhvaćaju sustave grijanja i hlađenja, potrošnju vode i potrošnju električne energije.

Tvrtka ROCKWOOL, kojoj je energetska učinkovitost i održivost dio korporativne misije, pružanjem rješenja za očuvanje toplinske energije mora pratiti trend i pružati uzor na tržištu. Prilika za poboljšanje energetske učinkovitosti uvidjela se modernizacijom sustava rasvjete tvornice. Projekt povećanja energetske učinkovitosti realiziran je poboljšanjem postojećeg sustava, uvođenjem sustavnog upravljanja rasvjetom i ulaganjem u nove tehnologije rasvjete.

Neiskorištena energija najbolji je izvor energije.

SUMMARY

Reducing the consumption of non-renewable energy sources, air pollution and CO_2 emissions have become main priority of infrastructure projects. European union released Energy efficiency directive containing goals and obligations for members that will ensure total energy savings prescribed by directive. Lot of new project across residential, commercial, communal and transport building sectors are started to achieve energy savings. In the scope of the projects are building heating and cooling systems, water consumption and artificial lighting.

ROCKWOOL, company with energy efficiency and sustainability as a part of corporate mission, providing heating insulation systems, must follow the trend and be role model on market. The opportunity for improving energy efficiency realized with the modernization of the factory lighting system. Project for increasing energy efficiency is realized by improving the existing system, the introduction of systematic lighting control and investing in new lighting technology.

The energy we don't use should be our prior energy source.

POPIS KRATICA

cca. – latinski, circa, otprilike

CRI – engleski, color rendering indeks, indeks uzvrata boje, mjeri se u rasponu 0 - 100

EE – električna energija

EUR – novčana valuta Euro

Fluo – Fluorescentna žarulja

HPS – engleski, High pressure sodium, žarulja na izboj punjena natrijevim plinom pod visokim tlakom

HRK – novčana valuta Hrvatska kuna

K – Kelvin, temperatura svjetlosti boje

kW – kilowatt, izvedenica jedinice električne snage Watt

kWh – kilowatt sat, izvedenica jedinice utroška električne energije

LE – engleski, Light emmiting, emitiranje svijetlosti

LED – engleski, Light emmiting diode, Dioda koja emitira svijetlost u različitim spektrima valnih duljina

Lm – lumen, mjerna jedinica za svjetlosni tok

lm/W – lumen po wattu električne snage rasvjetnog tijela, mjerna jedinica za mjerenje svjetlosne učinkovitosti rasvjetnog tijela.

lx – luks – mjerna jedinica za mjerenje osvjetljenja površine, predstavlja broj lumena na površini jednog metra kvadratnog

mA – miliamper, izvedenica jedinice električne struje

mg – miligram, izvedenica jedinice težine

MH – engleski, Metal halide, Metal halogena žarulja na izboj

nm – nanometar, izvedenica jedinice duljine

OLED – engleski, Organic light emmiting diode, Dioda koja emitira svijetlost u različitim spektrima valnih duljina napravljena od slojeva organskih materijala

PLC – engleski, Programmable logic controller – Programibilni industrijski kontroler koji se sastoji od ulaza i izlaza, memorije i komunikacijskih modula. Koristi se za upravljanje

automatskim sustavima u industriji. Algoritam izvršavanja naredbi može se na jednostavan način mijenjati.

ROI – engleski, Return of investment, financijska metoda izračuna povrata ulaganja

S/P faktor – engleski, Scotopic/Pupils lumen factor, indeks koji prikazuje odnos između izmjerenih lumena (Scotopic) i okom doživljenih lumena (Pupils).

SCADA – eng. Supervisory Control And Data Acquisition – Računalni sustav za nadzor, mjerenje i upravljanje industrijskim sustavima, može se reći da vizualizira rezultate algoritama koji se odvijaju unutar PLC-a.

W – Watt, izvedena jedinica za snagu električne energije

WinCC – Siemens SCADA sustav integriran u tvornici ROCKWOOL

ZG – zgrada

SADRŽAJ

Zahvala .....
Sažetak.....
Summary .....
Popis kratica .....
Sadržaj .....
1. UVOD 1
1.1. Opis i definicija problema 1
1.2. Cilj i svrha rada 2
1.3. Hipoteza rada..... 2
1.4. Metode rada..... 2
1.5. Struktura rada 3
2. Tehnologija rasvjete 4
2.1. Svjetlost..... 4
2.2. Projektiranje rasvjete..... 5
2.3. Žarulje 9
2.3.1. Fluorescentne žarulje..... 9
2.3.2. Natrijeve žarulje 10
2.3.3. Metal halogene žarulje 11
2.3.4. LED rasvjetna tijela..... 12
3. PRIKAZ TEHNIČKOG RJEŠENJA RASVJETE TVORNICE..... 16
3.1. Nužna rasvjeta 18
3.1.1. Nužna rasvjeta tvornice..... 18
3.1.2. Nužna rasvjeta kupolne peći ZG 301 21
3.2. Radna rasvjeta 24
3.2.1. Unutarnja rasvjeta zgrade sirovina – ZG 200..... 24
3.2.1.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja..... 24
3.2.1.1. Prikaz ostvarivih ušteda..... 27
3.2.2. Unutarnja rasvjeta zgrade kupolne peći – ZG 300 30
3.2.2.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja..... 30
3.2.2.1. Prikaz ostvarivih ušteda..... 32
3.2.3. Unutarnja rasvjeta zgrade peći za polimerizaciju – ZG 400 35

3.2.3.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja 35
3.2.3.2. Prikaz ostvarivih ušteda 37
3.2.4. Unutarnja rasvjeta zgrade oblikovanja i pakiranja – ZG500 39
3.2.4.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja 39
3.2.4.1.1. Ugradnja LED rasvjete 40
3.2.4.1.2. Upravljanje sustavom rasvjete ZG 500 41
3.2.4.2. Prikaz ostvarivih ušteda 43
3.2.5. Unutarnja rasvjeta ureda i garderoba ZG 600 45
3.2.5.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja 45
3.2.5.2. Prikaz ostvarivih ušteda 46
3.2.6. Vanjska rasvjeta ukrcajnog platoa i skladišta gotovih proizvoda 48
3.2.6.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja 48
3.2.6.2. Prikaz ostvarivih ušteda 50
3.2.7. Vanjska rasvjeta transportnih putova i platoa 51
3.2.7.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja 52
3.2.7.1. Prikaz ostvarivih ušteda 54
4. PROCJENA TROŠKOVA I ISPLATIVOSTI INVESTICIJE 57
4.1. Unutarnja rasvjeta zgrade sirovina – ZG 200 58
4.2. Unutarnja rasvjeta zgrade kupolne peći – ZG 300 60
4.3. Unutarnja rasvjeta zgrade peći za polimerizaciju – ZG 400 63
4.4. Unutarnja rasvjeta zgrade oblikovanja i pakiranja – ZG 500 66
4.5. Unutarnja rasvjeta ureda i garderoba ZG 600 69
4.6. Vanjska rasvjeta ukrcajnog platoa i skladišnog prostora 72
4.7. Vanjska rasvjeta transportnih putova i platoa 74
5. PRIKAZ PROJEKTNOG RJEŠENJA 78
6. ZAKLJUČAK 86
Popis literature 87
Popis tabela 90
Popis izraza 92

1. UVOD

Ovim diplomskim radom obrađen je projektni zadatak povećanja energetske učinkovitosti sustava rasvjete tvornice. Tvrtka je donijela odluku o ulaganju 100.000,00 EUR u sklopu godišnjeg investicijskog plana, projektni tim zadužen je za izradu rješenja i realizaciju projekta, a čine ga autor ovog diplomskog rada i kolege iz odjela električnog održavanja tvornice. Projektni tim mora temeljem analiza sadašnjeg stanja, predložiti tehnička rješenja i donijeti odluke o primjeni određenih rješenja za poboljšanje sustava koja će osigurati povrat uloženih sredstava unutar tri godine od početka eksploatacije.

Radom su prikazane analize sadašnjeg stanja, prijedlozi poboljšanja, izračuni ušteda električne energije, te financijske analize koje prikazuju trošak realizacije i vrijeme povrata ulaganja svakog prijedloga poboljšanja koji je razmatran kao moguće rješenje. Realizacijom ovoga projekta smanjiti će se potrošnja električne energije, generiranje elektroničkog otpada, te trošak održavanja sustava rasvjete tvornice ROCKWOOL Adriatic d.o.o. Navedeno je ostvareno realizacijom projekta kojim se poboljšao postojeći sustav uvođenjem sustava automatske regulacije, te u jednome dijelu postrojenja investiranjem u zamjenu postojećih rasvjetnih tijela, LED rasvjetnim tijelima.

1.1. Opis i definicija problema

Analizom slučaja utvrđeno je da postojeći sustav rasvjete ne pruža korisniku fleksibilnost regulacije kojom bi se mogle ostvariti uštede, navedeno rezultira kontinuiranim radom sustava na maksimalnom kapacitetu sa vrlo velikim brojem radnih sati na godišnjoj razini. Veliki broj radnih sati i rad sa maksimalnom instaliranom snagom proporcionalno utječu na potrošnju električne energije, stoga kao glavne nedostatke sustava može se navesti:

- Nedovoljna mogućnost regulacije
- Nedostatak kontrole prisutnosti (paljenje i gašenje sustava detekcijom pokreta)
- Nedostatak automatskog gašenja rasvjete

Temeljni problem koji se rješava ovim projektom je moderniziranje i poboljšanje sustava rasvjete kako bi se povećala energetska učinkovitost uz istodobno smanjenje troškova električne energije i održavanja sustava.

1.2. Cilj i svrha rada

Cilj rada je realizacija projekta poboljšanja sustava rasvjete kojima će se povećat energetska učinkovitost tvornice i istovremeno omogućiti povrat uloženih financijskih sredstva unutar zadanog vremenskog roka.

Svrha rada je generirati primjenjiva projektna rješenja, te na temelju financijskih i tehničkih analiza utvrditi isplativost ulaganja i izraditi kombinaciju istih koja će omogućiti realizaciju cilja rada.

1.3. Hipoteza rada

Hipoteza rada postavljena je na temelju analize stanja i zahtjeva projekta, te glasi da je samo kombinacijom poboljšavanja i maksimalnog iskorištenja svih mogućnosti postojećeg sustava zajedno sa ulaganjem u nove tehnologije moguće je ostvariti uštede koje će osigurati povrat sredstva u roku od tri godine. Autor će tijekom rada analizama dokazivati da nije uvijek moguće primijeniti najmodernija rješenja u svakoj situaciji, već je potrebno ponuditi kombinaciju kreativnih novih rješenja koja mogu unutar zadanoga budžeta ostvariti zahtijevane uštede električne energije.

1.4. Metode rada

Tijekom izrade ovoga rada korištene su sljedeće metode:

- Deskriptivna,
- Grafička,
- Metoda kompilacije,
- Induktivno – deduktivna,
- Matematička metoda i
- Metoda modeliranja.

Deskriptivna metoda korištena je tijekom izrade cijeloga rada za opisivanje sustava i tehnoloških rješenja, dobivenih rezultata analiza i iznošenja mišljenja. Jednako tako tijekom izrade cijelog projekta korištena je i grafička metoda za izradu tablica i grafičkih prikaza. Kod analize tehnologije rasvjete u poglavlju dva ovoga rada korištena je metoda kompilacije. Metoda modeliranja korištena je u poglavlju tri za izradu projekcija radnih sati rasvjete.

Matematička metoda korištena je za izračune ušteda električne energije i isplativosti ulaganja u investiciju u poglavljima tri i četiri. Induktivno-deduktivna metoda korištena je za donošenje odluke o investiciju u projekt, te potvrđivanje postavljene hipoteze u zaključku.

1.5. Struktura rada

Prvi dio rada sastoji se od prikaza uvoda u diplomski rad. Drugi dio rada daje kratki uvid u samu povijest rasvjete, osnovna načela kojih se treba pridržavati kod projektiranja rasvjete, te opis tehnologija rasvjete instalirane u tvrtci ROCKWOOL Adriatic. Treći dio rada sastoji se od detaljnog opisa sadašnjeg stanja sustava rasvjete i prijedloga poboljšanja sa projekcijama potrošnje električne energije. Proračuni troška investicije te financijske analize isplativosti ulaganja prikazane su u četvrtom poglavlju. Peto poglavlje prikazuje sažetak projekta, dok je u posljednjem, šestom poglavlju prikazan zaključak diplomskog rada.

2. TEHNOLOGIJA RASVJETE

Poglavlje prikazuje kratki presjek povijesti, činjenice koje treba poznavati prilikom projektiranja rasvjete i tehnologije izvora svjetlosti. Tehnologija rasvjete poznaje mnogo više žarulja kao izvora svjetlosti, međutim u ovome radu prikazane su samo one koje su trenutno instalirane u tvrtci ROCKWOOL Adriatic, te tehnologija LED rasvjete koja će u jednom dijelu tvornice biti integrirana.

2.1. Svjetlost

Svjetlost je elektromagnetski val koje se giba transverzalno kroz prostor. Ljudskom oku vidljiv je u rasponu valne duljine 380-780 nm, gdje svaka valna duljina predstavlja jednu boju. Može se reći da bez svjetlosti i nema života kakvog ga danas znamo[1]. Ljudsko oko je jedan od važnijih organa sa aspekta primanja informacija, bez svijetla taj prijenos informacija bio bi nemoguć. U tami čovjek nema informacija o području u kojem se nalazi, tama stvara osjećaj straha u čovjeku, pa se može reći da svjetlo ne samo omogućava da prijenos informacija iz okoline već i utječe na čovjekovo raspoloženje.

U prirodi se susrećemo sa suncem i mjesecom kao prirodnim izvorima svjetlosti, međutim njihovo je zračenje vremenski ograničeno i ne dopire u sve prostore gdje čovjek obitava. Kako bi mogao živjeti i raditi čovjek se od davnina koristio vatrom kao umjetnim izvorom svjetlosti za osvjetljavanje prostora na kojima je provodio vrijeme. Vatra kao izvor umjetne svjetlosti koristio se dugi niz godina, međutim evaluiralo je gorivo kao izvor vatre i svjetlosti. Počevši sa drvom, koristile su se dalje razne vrste masti, smola koje su bile dostupne čovjeku u prirodi, prve veće promjene u osvjetljenju nastale su krajem 18. stoljeća izumljivanjem uljne lampe sa centralnim plamenikom od strane švicarskog fizičara François Pierre Ami Argand.

Nakon uljne lampe počele su se razvijati plinske lampe, lampe na kerozin i petrolej koje su bile u upotrebi sve do lampe sa žarnom niti predstavljene 1879. godine od strane Američkog inovatora Thomasa Edisona. Proizvodnjom lampe sa žarnom niti započinje era električnih izvora svjetlosti. Valja napomenuti da je prvu takvu žarulju izmislio njemački inovator Heinrich Göbel 25 godina ranije[2]. Žarulja sa žarnom niti spada u skupinu žarulja toplinskim isijavanjem što znači da svjetlost nastaje zagrijavanjem volframove niti u žarulji.

Početkom 20. stoljeća nastaju mnoge žarulje čiji se principi rada i danas koriste, pri tome misleći na žarulje na izboj. Žarulje na izboj proizvode svjetlost emitiranjem električnog izboja u atmosferi nekog ionizirajućeg plina ili metalne pare. Dijele se na visokotlačne ili

[1] < http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/F2_fizikalna%20optika_ppt.pdf > (11.04.2016.)
[2] < www.licht.de/fileadmin/.../lichtwissen01_artificial_light.pdf > (07.04.2016.)

niskotlačne te prema vrsti medija kojim je žarulja ispunjena. U ovu skupinu žarulja spadaju fluorescentne, indukcijske, metal halogene ili natrijeve žarulje, pored navedenih plinova, koriste se mnogi drugi iako su znatno manje zastupljene. U ovisnosti o plinu ili kombinaciji nekoliko plinova dobivaju se različite boje svjetlosti.

Nova era rasvjete započinje krajem 20. stoljeća kada se pojavljuju poluvodičke diode za emitiranje svjetlosti, bijele boje upotrebljive za osvjetljavanje prostora. Iako su LED izvori svjetlosti izmišljeni sredinom 20. i korišteni stoljeća njihova je upotreba bila ograničena.

2.2. Projektiranje rasvjete

Poglavlje daje kratki presjek parametara svjetlosti koje je potrebno uzeti u obzir da bi boravak u osvijetljenom prostoru bio što ugodniji jer rasvjeta uvelike utječe na radne sposobnosti čovjeka[3]. Osvjetljenje prostora treba projektirati prema njegovoj namjeni. Na osvjetljenje djeluje žarulja kao izvor svjetlosti i rasvjetno tijelo načinom na koji će se proizvedena svjetlost disipirati, odnosno usmjeravati u prostor.

Današnje vrijeme rasvjeta je nešto više od samog osvjetljavanje prostora radi obavljanja određenih djelatnosti. Pored obavljanja primarne funkcije osvjetljavanja, danas se rasvjeta vrlo često koristi i za naglašavanje detalja, bilo to u domu, ulici, muzeju ili nekim drugim lokacijama. Prema tome koriste se svjetiljke raznih spektara bolja i intenziteta svjetlosti. O samom projektiranju rasvjete moglo bi se jako puno pisati, međutim kako se ovaj rad odnosi na industrijsku rasvjetu, u daljnjem tekstu istraživanje je fokusirano na parametre koji imaju utjecaja na osvjetljenje industrijskih pogona.

Osvjetljenje prostora mjeri se luksima, ta mjerna jedinica prikazuje koja je količina svjetlosnog toga koju emitira žarulja dobivena na željenoj površini koju je potrebno osvijetliti, primjerice radni stol. Jedan luks je osvjetljavanje površine veličine jednog metra kvadratnog sa svjetlosnim tokom jačine jednog lumena. Proizvođači u specifikacijama proizvoda navode parametar svjetlosnog toka, dok je zadaća projektanta odrediti vrstu rasvjetnog tijela i definirati njegovu poziciju kako bi na zadanoj radnoj površini zadovoljio parametar osvjetljenja. Parametri osvjetljenja korišteni u industriji i u ovome radu dati su dvjema normama, i to:

- HRN EN 12464-1 – definira osvjetljenje unutarnjih radnih prostora i
- HRN EN 12464-2 – definira osvjetljenje vanjskih radnih prostora i

[3] < http://www.lipapromet.hr/Usluge/Projektiranjesvjetlotehnike/Rasvjetaznanjeiiskustva.aspx > (11.04.2016.)

U većini slučajeva, na svim radnim površinama, propisano osvjetljenje u tvornici je ili-ili 150 lx za stalne radne površine, na iznimnim pozicijama koje nisu predviđene za rad propisano je osvjetljenje od 20 lx.

Kako bi vlasnik tvrtke mogao dobiti uvjerenje o ispitivanju radnog okoliša, koji je potrebno periodički vršiti sustav rasvjete mora zadovoljiti postavljene parametre osvjetljenja, u protivnom proizvodni pogon može biti proglašen neispravnim za rad.

Za kvalitetno rasvjetu nije dovoljno paziti samo na parametar osvjetljenja, već i na drugi niz parametara koji utječu na radnu sposobnost radnika, to su:

- Odsjaj
- Sjene
- Boja svjetlosti
- Uzvrat boja
- Ujednačena distribucija svjetla

Blještavilo ili odsjaj rezultiraju zasljepljivanjem, time uvelike otežava rad te ukoliko se radnik koristi nekim alatom direktno utječe i na zaštitnu na radu. U praksi, sa blještavilom se susrećemo u uredima, kongresnim salama i transportnim putovima, te na njega treba posebnu pažnju obratiti prilikom projektiranja rasvjete na navedenim lokacijama. Postoje dvije vrste odsjaja, direktni i indirektni odsjaj.

Direktni odsjaj nastaje osvjetljavanjem radne površine neadekvatnim rasvjetnim dijelom ili neadekvatno pozicioniranim rasvjetnim tijelom. Direktni odsjaj nastaje kada rasvjetno tijelo pod određenim kutom koji nije primjeren pada na radnu površinu. Primjer je prikazan slikom jedan. Problem se rješava pravilnim pozicioniranjem rasvjetnih tijela i korištenjem rasvjetnih tijela sa difuzorima svjetlosti.

Slika 1. Direktni odsjaj



Izvor 1. < www.licht.de/fileadmin/.../lichtwissen01_artificial_light.pdf > (11.04.2016.)

Indirektni odsjaj javlja se kada svjetlost pada pod određenim kutom na sjajnu površinu, ovo je veoma česti primjer na monitorima računala na radnim površinama korisnika. Slika niže prikazuje odsjaj rasvjetnog tijela u monitoru. Problem se rješava isto kao i što je to bio slučaj kod direktnog odsjaja, pozicioniranjem rasvjetnih tijela i korištenjem rasvjetnih tijela sa difuzorima svjetlosti.

Slika 2. Indirektni odsjaj



Izvor 2. < www.licht.de/fileadmin/.../lichtwissen01_artificial_light.pdf > (11.04.2016.)

Sjenu čini prostor koji se nalazi na putu svjetlost između izvora svjetlosti i površine koju je potrebno osvijetliti. U industrijskim postrojenjima sjene su česta pojava, zbog opreme, međukatnih konstrukcija i itd., takav primjer u tvornici je zgrada kupolne peći. Upravo da bi se riješio problem sjena, a samim time i nedovoljne osjetljivosti koju sjene uzrokuju, ugrađeno je mnogo više manjih rasvjetnih tijela. Prostore sa među konstrukcijama i opremom nije moguće sa visećim svjetiljkama, već se postavljaju manja rasvjetna tijela širokog snopa direktno na površine koje stvaraju sjene.

Boja svjetlosti definira osjećaj osvijetljenosti, naime zbog same fizike ljudskog oka, odnosno receptora koji se nalaze unutar mrežnice koji se brže uzbuđuju na podražaj svjetlosti sa svijetlo plavim komponentama. Takva boja svjetlosti ima valnu duljinu oko 460 nm i temperaturu iznad 6500 K. Korištenjem rasvjetnih tijela temperature boje u ovome rasponu moguće je sa manjim osvjetljenjem, samim time i manjom snagom rasvjetnog tijela postići isti vizualni efekt u oku[4]. Temperature svjetlosti dijele se u tri glavne grupe i to:

- Topla bijela – temperature manje od 3300 K
- Neutralna bijela – temperature u rasponu između 3300 K i 5300 K
- Dnevna bijela – temperature veće od 5300 K

[4] < http://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/the-biological-effects-of-light---light-means-quality-of-life/scientific-studies-on-the-biological-effects-of-light/study-on-the-effect-of-light-on-the-performance-of-students/index.jsp > (11.04.2016.)

Uzvrat boja je parametar koji definira kako će koja boja biti doživljena ispod različitih izvora svjetlosti. Sunčeva svjetlost ima indeks uzvrata boje CRI jednak 100. Različiti izvori svjetlosti imaju različite CRI indekse, što znači da će isti predmet osvijetljen različitim tipovima svjetlosti, ljudskom oko imati različite boje. Utjecaj indeksa uzvrata boje na percepciju ljudskoga oka vidljiv je na slici tri. Za unutarnje radne površine propisan je minimalni indeks uzvrata boje od CRI > 80.

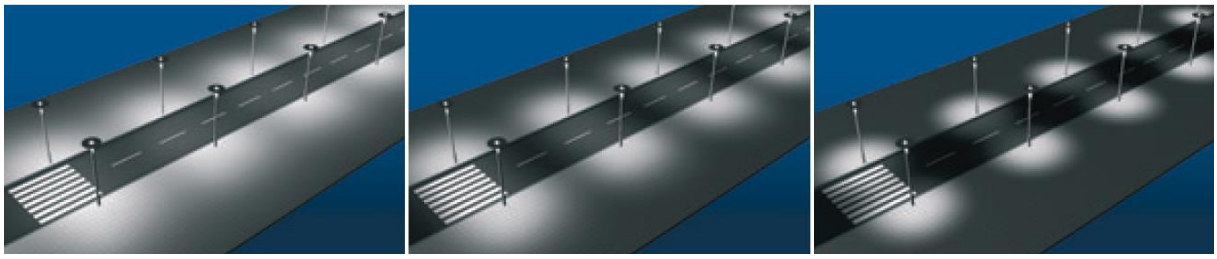
Slika 3. Utjecaj indeksa uzvrata boje



Izvor 3. < http://www.usa.philips.com/c-m-li/led-lights/quality-of-light-led-lighting > (12.04.2016.)

Ujednačena distribucija svjetlosti ima dugoročni utjecaj na ugodu zbog djelovanja ovoga parametra na rad ljudskoga oka. Prostor koji se osvjetljava treba biti što je moguće više jednoliko osvijetljen, prilikom projektiranja rasvjete potrebno je izbjegavati situacije da jedan dio prostora jako osvijetljen, a drugi manje. Nejednoliko osvjetljenje opterećuje ljudsko oko koje se tada kontinuirano prilagođava razini osvjetljenja. Iris je cirkularni mišić oka koji djeluje na širenje i sužavanje zjenice koja kontrolira količinu svjetlosti koja pada na mrežnicu. Tako će se kod jake svjetlosti mrežnica skupiti da propusti manju količinu svjetlosti i obratno. Ovaj parametar posebno dolazi do izražaja kod osvjetljavanja transportnih putova, primjerice kreće li se radnik viličarom na transportnome putu koji ima lošu distribuciju svjetla tijekom cijeloga radnoga dana, radnikovo oko će stalno djelovati na širinu zjenice stvarajući tako dodatni umor. Slika četiri prikazuje tri primjera distribucije svjetlosti, gdje je na slici lijevo prikazana ujednačena distribucija svjetlosti, a na slici desno loša.

Slika 4. Prikaz različite distribucije svjetlosti



Izvor 4. < www.licht.de/fileadmin/.../lichtwissen01_artificial_light.pdf > (11.04.2016.)

2.3. Žarulje

Kroz poglavlje će biti opisane žarulje koje se koriste u sustavu rasvjete tvrtke ROCKWOOL. Prikazani su načini generiranja svjetlosti i glavni parametri svake žarulje.

2.3.1. Fluorescentne žarulje

Fluorescentne žarulje spadaju u skupinu žarulja na izboj, njihova komercijalna upotreba započela je tridesetih godina prošloga stoljeća. Rasvjetno tijelo sastoji se od zavojnice, startera i žarulje. Žarulja je cijevnog oblika, unutar nje se nalazi mala količina žive (ovisno o proizvođaču od dva do osam mg), dok je unutarnja strana cijevi premazana fosforom. Prolaskom električne struje kroz elektrode žarulje ioniziraju se živine pare koje emitiraju fotone, stvarajući tako svjetlost u ultraljubičastom spektru. Kako bi svjetlo postalo vidljivo ljudskome oku, žarulja je premazana fosforom koji ultraljubičastu frekvenciju svjetla pomiče u frekvenciju vidljivu ljudskome oku. Ovisno o premazu moguće je dobiti različite boje svjetlosti.

Rasvjetna tijela sa fluorescentnim žaruljama su veoma zastupljena u upotrebi. Njihova je odlika mala potrošnja energije uz relativno visoku osvijetljenost, spadaju u energetsku klasu A ili A+ ovisno o proizvođaču. Kut osvijetljenosti im je širok što ih čini idealnima za osvjetljavanje nižih prostora. Pored širokog kuta osvijetljenosti, indeks uzvrata boja kreće im se između 80 i 90, što im omogućuje upotrebu na svim radnim površinama. Unutar tvornice koriste se za osvjetljavanje evakuacijskih prolaza (dio nužne rasvjete), ureda, manjih zasebnih prostorija, te prostora u sjeni (dio među konstrukcija i strojeva). U tvornici je instalirano nešto više od 500 rasvjetnih tijela sa cijevnim fluorescentnim žaruljama snaga 18, 36 ili 58 W.

Životni vijek žarulje kreće se oko 10.000 – 20.000 radnih sati, ovisno o specifikaciji proizvođača, a same specifikacije često puta znaju biti veoma različite i nejasne. Na sam životni vijek značajno utječe i vijek ciklusa upaljenosti žarulje, naime ako žarulja radi stalno vijek žarulje se smanjuje i do 50 %. U ovome slučaju pridržavati ćemo se proizvođača žarulja koje su korištene u tvornici i on navodi životni vijek od 12.000 radnih sati uz sigurnost otkaza od 10 %. Navedeno znači da unutar 12.000 radnih sati 10 % žarulja će prestati sa radom, nakon tog broja radnih sati postotak otkaza se progresivno povećava i već za 20.000 radnih sati postoji mogućnost kvara na 50 % žarulja.

Pored radnih sati, još je jedan parametar koji govori o životnom vijeku žarulje a to je održavanje svjetlosnog toka, ovaj parametar govori koji će postotak deklariranog svjetlosnog toka lampa izgubiti nakon određenog broja radnih sati. Ovisno od proizvođača, on može biti

prikazan postotkom ili lumenima. Lampe koje su ugrađene u tvornici, nakon 12.000 radnih sati imati će 92 % deklariranog svjetlosnog toka.

Efikasnost žarulje mjeri se količinom lumena koje stvara sa jednim Wattom električne snage i ona se za fluorescentne žarulje kreće od 65 do 110 lm/W. Cijena žarulje kreće se između 10 i 50 HRK za raspon snaga od 18 do 58 W, ovisno o dobavljaču i proizvođaču.

2.3.2. Natrijeve žarulje

Kao što je bio slučaj sa prethodnim žaruljama, natrijeve žarulje također spadaju u skupinu žarulja na izboj. Postoje dvije osnovne vrste natrijevih žarulja, niskotlačne i visokotlačne, niskotlačne je stavio na tržište prvi Phillips. 1932 godine, dok je visokotlačne razvio i komercijalizirao General Electric u Americi 1964. Kao što i njeno ime govori, žarulja je punjena natrijem, koji kada počne isparavati stvara svjetlost, pored natrija u žaruljama ima i žive i to oko 20 mg. Natrijeve žarulje isijavaju svjetlost niskih valnih duljina, za niskotlačne žarulje temperatura boje je oko 1.800 K, dok za visokotlačne ona iznosi 2.000 K što je ujedno i glavna razlika između ova dva tipa žarulja.

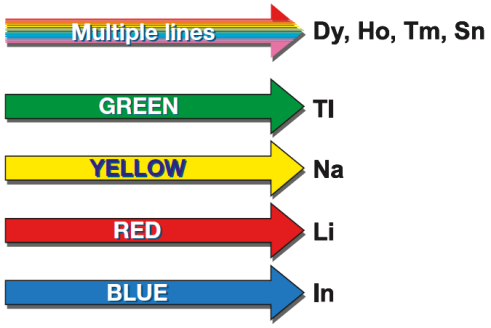
Natrijeve žarulje spadaju u skupinu efikasnih žarulja certificiranih A+ ili A++ energetskom klasom, svjetlosna efikasnost iznosi od 50 do 140 lm/W. U tvornici su ugrađene visokotlačne žarulje, A+ energetskog razreda snaga 150, 250, 600 i 1000 W. Iako žarulje imaju veliku efikasnost, zbog monokromatskog svjetla i niske temperature boje, žarulja ima indeks uzvrata boje oko 20 što znatno ograničava njenu upotrebu. Prema navedenome žarulja se najviše koristi za osvjetljavanje cesta, skladišnih prostora, brodskih terminala i luka te sličnih velikih objekata, gdje uzvrat boje nije prioritet. Na sličnim lokacijama lampa se koristi i u tvrtci ROCKWOOL, za osvjetljavanje transportnih putova, manevarskih prostora i skladišnih platoa.

Životni vijek ugrađenih lampi iznosi 17.000 radnih sati za 10 % otkaza žarulja, dok održivost svjetlosnog toka iznosi 90 % nakon 20.000 radnih sati. Dugi životni vijek i održivost svjetlosnog toga, uz veliku efikasnost dodatna su prednost u korištenu natrijevih žarulja. Zahvaljujući velikom broju radnih sati i niskoj cijeni žarulje, rasvjetna tijela sa natrijevim žaruljama su veoma povoljna za održavanje, npr. cijena žarulje ovisno o dobavljaču i proizvođaču kreće se od 100 do 500 HRK za raspon snaga žarulja od 250 do 1000 W.

2.3.3. Metal halogene žarulje

Metal halogene žarulje dio su skupine žarulja na izboj visokog intenziteta, u komercijalnoj upotrebi je od 1960. godine. Žarulja stvara svjetlost električnim lukom koji se stvara između dvije elektrode koje se nalaze u plinskoj ioniziranoj atmosferi. Plinska atmosfera nastaje zagrijavanjem žive i prelaskom iste u paru i halogenih željeznih spojeva[5]. Ovisno o primjesama metala (koriste se: natrij (Na), talij (TI), indij (In), kositar (Sn), litij (Li) i drugi) dobivaju se različite boje svjetlosti. Važno je napomenuti da metal halogene žarulje pored vidljive svjetlosti, generiraju i dio UV spektra zbog čega je žarulja premazana sredstvima za smanjenje UV zračenja.

Slika 5. Prikaz različitih temperatura i uzvrata boja ovisno o primjesama metala u metal halogenim žaruljama



Variation possibilities of the Colour Temperature

		T_n	CRI
Daylight	D	> 5000 K	≥90
Neutral White	N	ca. 4000 K	60-69
Neutral White de luxe	NDL	4200 K	≥80
Warm White de luxe	WDL	3000 K	≥70

Izvor 5. < https://www.osram.com/media/resource/HIRES/339014/3238365/metal-halide-lamps.pdf > (13.04.2016.)

Metal halogene žarulje proizvode se u širokom spektru snaga, od 150 do 2.000 Watta, boja svjetlosti od 3.000 Kelvina na više, što ih čini bliskima dnevnome svjetlu. Pored više mogućnosti temperature boje svjetlosti lampe se odlikuju i dobrim indeksom uzvrata boje koji se kreće ovisno o boji svjetlosti između 60 i 90. Žarulja spada u energetski razred klase A+, te se može reći da je energetski učinkovita. Iako je lampa energetski učinkovita ima veoma kratak vijek trajanja, za žarulje snage 2.000W koje su ugrađene u tvornici ROCKWOOL, proizvođač garantira 6.000 radnih sati prije 10 % otkaza rada, što je 200 % manje od natrijevih žarulja. Za drugi tip koji je također ugrađen u tvornici a koristi se za unutarnju rasvjetu, žarulja snage 450 W, radni vijek je minimalno duži i iznosi 7.500 radnih sati. Pored malog broja radnih sati žarulja ima također veoma kratak broj sati održavanja svjetlosnog toka, pa tako svjetlosni tok nakon 10.000 radnih sati opadne na 64 % inicijalnoga. Cijena metal halogena žarulje snage 2.000 W ovisno o dobavljaču i proizvođaču se kreće između

[5] < https://www.osram.com/media/resource/HIRES/339014/3238365/metal-halide-lamps.pdf > (13.04.2016.)

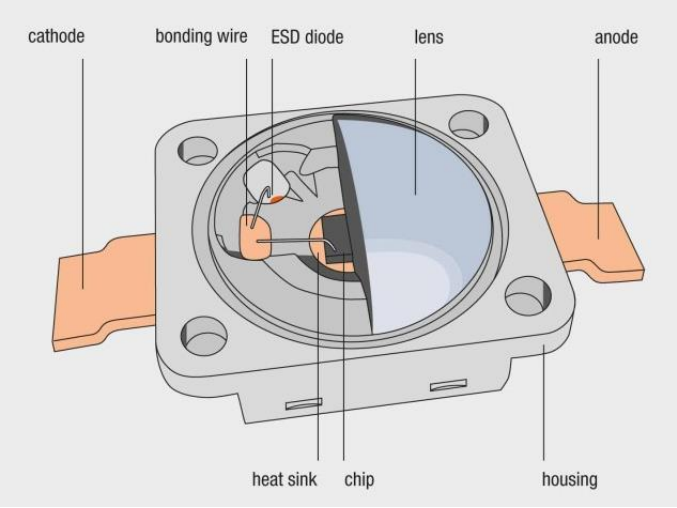
2.000 i 3.000 HRK, dok je cijena natrijeve žarulje snage 1.000 W oko 500 HRK. U usporedbi su date cijene za različite snage žarulja koje se koriste u tvornici.

Iako su cijena i održavanje metal halogenih žarulja znatno nepovoljnije od natrijevih, zbog velikih snaga, dobrog indeksa uzvrata boja, metal halogena žarulja nalazi svoje mjesto u upotrebi. Žarulje se koriste u unutarnjoj i vanjskoj rasvjeti, za osvjetljavanje visokih industrijskih hala, sportskih dvorana i igrališta, ulične i cestovne rasvjete, parkirališta, velikih industrijskih prostora kao što su luke, skladišta i terminali. U tvornici ROCKWOOL koriste se za vanjsku rasvjetu skladišta gotovih proizvoda i ukrcajnog platoa, te za unutarnju rasvjetu proizvodnih hala.

2.3.4. LED rasvjetna tijela

LED rasvjetna tehnologija u potpunosti se razlikuje od dosad spomenutih. LED rasvjetna tijela stvaraju svijetlost direktno iz krutih elektroničkih komponenti, bez prisustva plinova kao što je to slučaj sa žaruljama na izboj. LED rasvjetno tijelo dolazi od engleske skraćenice principa rada ovog izvora svjetlosti, odnosno light emiting diode što u prijevodu znači dioda koja emitira svjetlost. Dioda je elektronička komponenta koja se sastoji od dva spoja poluvodičkih materijala, u elektronici se koriste u svojstvu digitalnih sklopki. LED je izvedenica diode koja posredstvom svojstva elektroničke luminiscencije prolaskom struje i pomicanjem elektrona kroz pn spoj diode stvara svjetlost.

Slika 6. Dizajn LE diode



Izvor 6. < http://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/led-home/professional-knowledge/led-basics/basic-knowledge/index.jsp > (13.04.2016.)

Tehnologija generiranja svjetlosti LE diodama datira sa početka dvadesetoga stoljeća, dok je prva proizvedena dioda sa vidljivim spektrom crvene boje proizvedena 1962. u američkoj tvrtci General Electric od strane inženjera Nicka Holonyaka mlađeg. Kasnije su razvijene LE diode različitih boja, međutim njihova je upotreba bila ograničena uglavnom kao dio signalne opreme u automobilima, industrijskim kontrolnim pločama, HI-FI i IT tehnici.

LE diode kakve danas poznajemo i koje se upotrebljavaju u izvorima svjetlosti počele su se razvijati devedesetih godina prošloga stoljeća. Upotrebu LE diode za generiranje svjetlosti najviše je ograničavala boja i snaga. Trojica japanskih znanstvenika Isamu Akasaki, Hiroshi Aman i Shuji Nakamura uspjela su razviti prvu LE diodu koja je emitirala svjetlo plavu boju, što je omogućilo daljnji razvoj LE dioda za korištenje u rasvjetni prostora. Boja je postignuta kombinacijom galija i nitrida, Shuji Nakamura je bio zaposlenik tvrtke Nichia koja je 1993. godine proizvela i stavila na tržište navedenu LE diodu. Za razvoj plave LE diode trojica znanstvenika dobila su 2014. godine Nobelovu nagradu.

Nakon ovog značajnog koraka u razvoju razne tvrtke razvijale su LED diode sve jačih snaga čime, da bi pravi zamah ostvarile početkom dvadesetoga stoljeća kada su proizvedene diode efikasnosti do 150 lm/W[6].

Danas su na tržištu dostupna rasvjetna tijela sa LED proizvodima za kućanstva, industriju, uličnu rasvjetu, sportske dvorane i ostale segmente zgradarstva. Pozitivne karakteristike LED rasvjetnih tijela su energetska učinkovitost, dobar indeks uzvrata boja (70 – 90), jednostavna mogućnost regulacije svjetlosnog toka i širok spektar temperature boja (2700 – 7500 K).

Slika 7. LED reflektor za vanjsku upotrebu snage 1.400 W



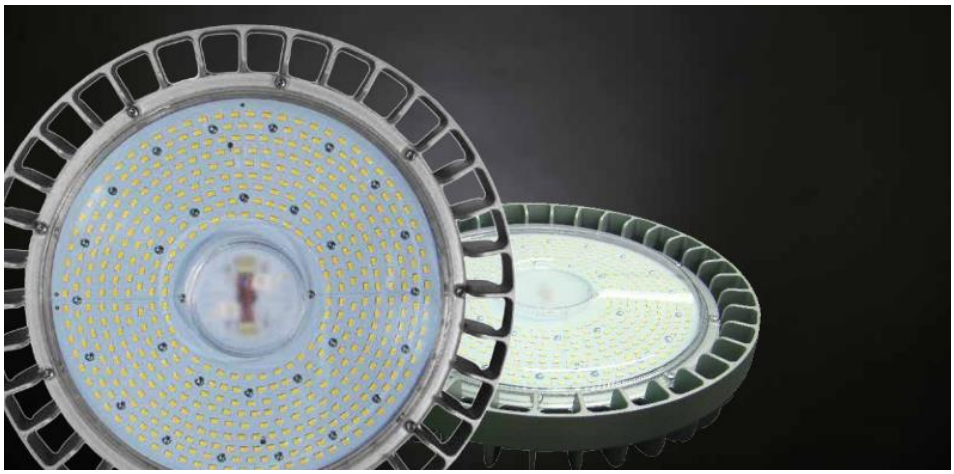
Izvor 7. < http://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/sports-and-area-floodlighting/area-and-recreational-floodlighting/optivision-led/912300022850_EU/product > (15.04.2016.)

Još je jedna značajna prednost LED rasvjete a to je veoma dug životni vijek, većina proizvođača specificira životni vijek LED rasvjetnih tijela 100.000 radnih sati. Iako ima dugi životni vijek, kod LED rasvjete treba uzeti u obzir parametar koji definira svjetlosni tok u vremenu, naime kao i kod ostalih izvora svjetlosti tako i kod LED-a, s brojem radnih sati opada jačina svjetlosnoga toka, neki proizvođači specificiraju da će svjetlosni tok iznositi 80

[6] < http://www.nichia.co.jp/en/about_nichia/ > (15.04.2016.)

% inicijalnoga i nakon 60.000 radnih sati. Led rasvjetna tijela nalaze se u energetskom razredu A+ ili A++.

Slika 8. LED viseće rasvjetno tijelo za unutarnju i vanjsku upotrebu snage 100 W



Izvor 8. < http://www.energyplus.hr/pdf/E+HB380_MP_HR.pdf > (15.04.2016.)

Ljudsko oko pod različitim bojama doživljava različito osvjetljenje, bez obzira na fizikalno izmjereni svjetlosni tok u lumenima[7]. Najbolji primjer je različiti doživljaj osvjetljenja između natrijeve i LED lampe istog svjetlosnog toka. Zbog boje svjetlosti LED-a, oko doživljava površinu mnogo svjetlijom, dok će ispod natrijeve lampe istog svjetlosnog toka biti doživljaj površine tamniji. Prema navedenome uz iste fizikalne veličine doživljaj osvjetljenja će biti različit. Za kvantificiranje vizualnog efekta doživljaja, učinkovitosti različitih izvora svjetlosti koristi se S/P faktor. To je broj koji predstavlja vizualnu učinkovitost izvora svjetlosti. U tablici niže prikazani su parametri različitih žarulja u prema S/P faktoru.

Tabela 1. Prikaz utjecaja S/P faktora na svjetlosni tok različitih izvora svjetlosti

Tip žarulje	Snaga [W]	Svjetlosni tok [lm]	Efikasnost [lm/W]	S/P faktor	Vizualni svjetlosni tok [lm]	Vizualna efikasnost [lm/W]
Cijevna fluorescentna	58	5.000	80,0	1,8	9.000	144
Metal halogena	250	18.000	72,0	1,7	30.240	121
Visokotlačni natrij	250	28.000	112,0	0,7	18.480	74
LED	130	13.000	100,0	1,7	22.100	170

Izvor 9. Autor

U tablici se vidi da je primjerice S/P faktor za natrijevu lampu negativan, dok je za ostale izvore pozitivan. Promatrajući mogućnost zamjene natrijeve lampe sa LED lampom vidi se da je moguća zamjena natrijeve visokotlačne žarulje snage 250 W, koja ostvaruje vizualni svjetlosni tok od 18.000 lumena, može zamijeniti sa LED rasvjetnim tijelom snage 130 W

[7] < http://ledlight.osram-os.com/wp-content/uploads/2014/04/OSRAM-OS_LED-FUNDAMENTALS_Mesopic_Vision_v1_4-2-141.pdf > (15.04.2016.)

koji ostvaruje 22.000 lm, razlog tome je upravo vizualni efekt osvjetljenje zbog različitih temperatura boja. Kada bi se osvjetljenje razmatralo kroz izmjerene lumene instrumentom ispada da LED uopće ne bi bio efikasan iz razloga što visokotlačna natrijeva žarulja snage 250 W generira 28.000 lm, što je znatno više ad analiziranog LED rasvjetnog tijela snage 130 W koje generira 13.000 lm.

Uspoređujući LED i fluorescentne žarulje ili metal halogene čiji je S/P faktor gotovo jednak, prednost LED rasvjetnog tijela je što sa gotovo duplo manjom snagom generira isti svjetlosni tok. Pa tako primjerice LED rasvjetno tijelo snage 30 W generira svjetlosni tok isti kao i cijevna fluorescentna žarulja snage 58 W.

Iako LED rasvjetna tijela imaju niz prednosti koje su prethodno u potpoglavlju navedene, potrebno je naglasiti i njegove nedostatke, a to na prvome mjestu još uvijek visoka cijena, te na drugome mjestu tehnička ograničenja temperatura okoline. S obzirom da poluvodički spojevi unutar dioda, te elektronika lampe i sami disipiraju snagu potrebna su velika hladila na koja su dio rasvjetnog tijela za disipiranje topline u okolinu. Trenutno većina proizvođača specificira temperaturu radne okoline 40 ili 50 °C. Veća temperatura okoline znatno utječe na skraćenje radnog vijeka elektroničkih sklopova rasvjetnog tijela.

Pored LED-a rasvjetnih tijela valja spomenuti i OLED. OLED dolazi od kratice engleskog naziva Organic Light Emitting Diode, što znači organska dioda koja emitira svjetlost. OLED ima smješten sloj organskog materijala, u većini slučajeva su to materijali ugljikovog porijekla između katode i anode elektrode, i taj materijal generira svjetlost[8]. LED rasvjetna tijela su točkastog izvora svjetlosti, dok je OLED napravljen kao panel, što rezultira rasutim, ujednačenim svjetlosnim tokom. Trenutno se OLED ne koristi u industriji već samo u dekorativnoj rasvjeti, i HI-FI tehnologiji.

[8] < http://www.osram.com/osram_com/tools-and-services/services/faq/ledoled-lighting/index.jsp > (16.04.2016.)

3. PRIKAZ TEHNIČKOG RJEŠENJA RASVJETE TVORNICE

Kroz poglavlje je dat uvid u tehničko rješenje koje na određenoj lokaciji ostvaruje najveće uštede. Valja napomenuti nisu za sve lokacije primijenjena slična ili ista rješenja. Prikazana rješenja ne baziraju se na ugradnji novijih tehnologija kao što je LED rasvjeta, iako je i ona u jednom dijelu tvornice ugrađena, već na maksimalnom iskorištavanju potencijala već ugrađene opreme. Projektom je zahvaćeno cca. 800 rasvjetnih tijela, ukupne snage cca 165,00 kW. Prosječna snaga tvornice iznosi 3,5 MW, pa tako sustav rasvjete čini otprilike četiri posto ukupne potrošnje električne energije.

Može se reći da je svako trošilo ostvaruje uštedu električne energije dok ne radi, prema navedenome, jedan od glavnih kriterija ostvarenja ušteda bio je upravo definiranje minimalne rasvjete prema radnim satima boravka osoblja tvornice na navedenoj lokaciji.

Određeni dijelovi tvornice opremljeni svjetlarnicima, na tim pozicijama za vrijeme sunčanih sati može se u potpunosti raditi bez rasvjete. Kod proračuna isplativosti za vrijeme koje se može raditi bez rasvjetnih tijela koristiti će se podatak o klimi Istarske županije gdje se navodi godišnji prosjek u iznosu od 2400 sunčanih sati[9].

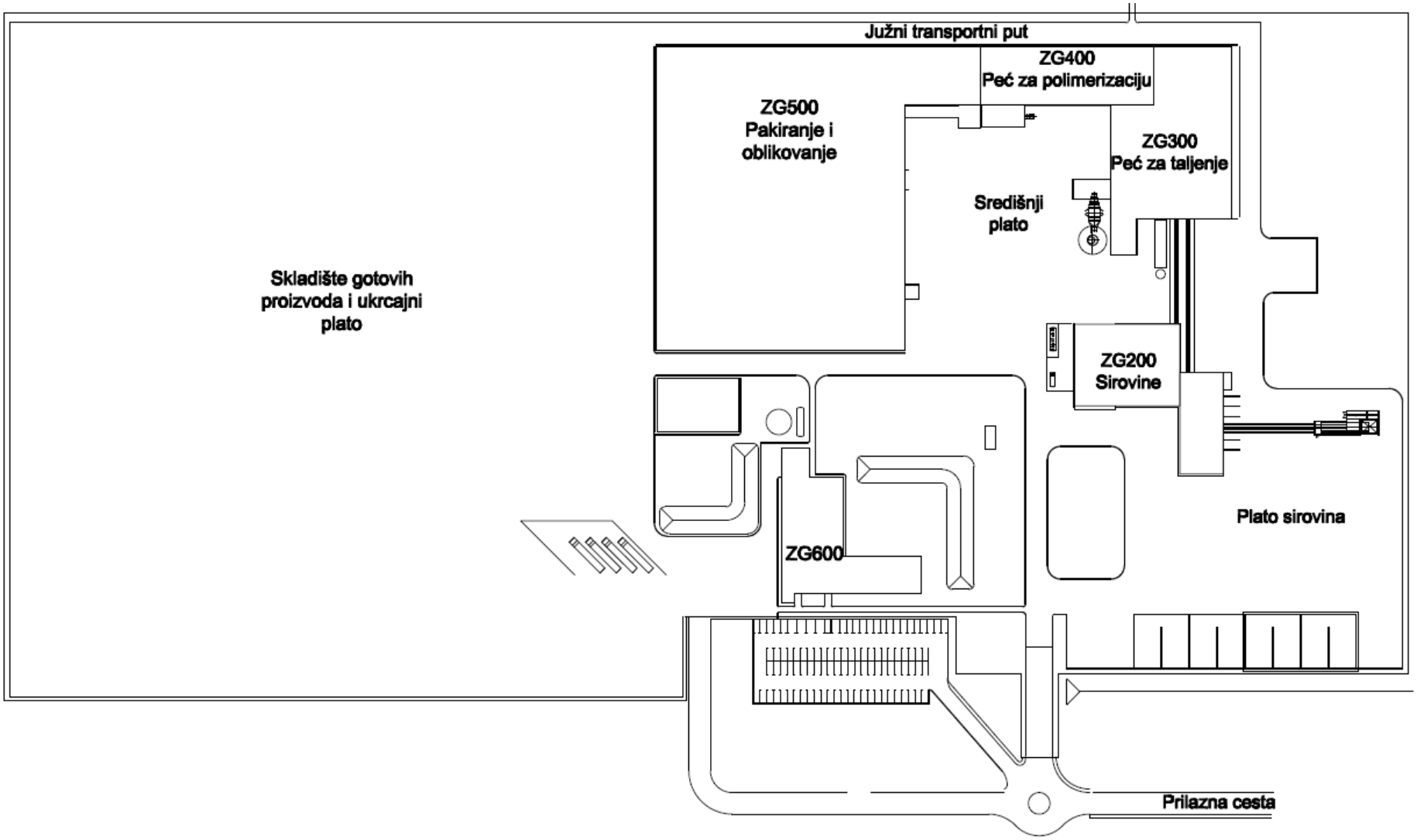
Tabela 2. Prikaz vrsta instaliranih rasvjetnih tijela i ukupnih količina

Tip rasvjetnog tijela	Električna snaga [W]	Količina
Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom	1x18, 2x18, 4x18, 1x58, 2x58	538,00
Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom	250, 400	156,00
Reflektor sa metal halogenom žaruljom	250, 2000	27,00
Reflektor sa natrijevom žaruljom	150, 250, 630, 1000	20,00
Ulična svjetiljka sa natrijevom žaruljom	160,00	23,00
Viseća svjetiljka sa indukcijskom žaruljom	60, 80, 160	21,00
Broj rasvjetnih tijela u opsegu projekta		***785,00***

Izvor 10. Autor prema snimci sadašnjeg stanja

[9] < http://www.istra-istria.hr/index.php?id=263 > (18.04.2016.)

Slika 9. Prikaz objekata tvornice obuhvaćenih projektom



Izvor 11. Autor

3.1. Nužna rasvjeta

Nužna rasvjeta osigurava minimalno osvjetljenje koje je potrebno za osiguravanje evakuacijskih putova u slučaju nestanka električne energije. Kao takva mora zadovoljiti dva osnovna kriterija i to:

- Propisano osvjetljenje i
- Vrijeme autonomije

Nužna rasvjeta je u većini dijelova tvornice izvedena na identičan način, opisan u sljedećem potpoglavlju. Pored ovog načina izvođenja nužne rasvjete, izdvaja se nužna rasvjeta kupolne peći u zgradi 301, koja je kao takva obrađena u zasebnom potpoglavlju.

3.1.1. Nužna rasvjeta tvornice

Nužna rasvjeta u svim je dijelovima tvornice izvedena polikarbonatnim industrijskim svjetiljkama, za teške uvjete rada, stupnja zaštite IP65. Ovisno o određenoj lokaciji mijenja se količina potrebnog osvjetljenja i vremena autonomije. Prema navedenome dijele se na:

- Svjetiljke sa dvije neonske cijevi, ukupne instalirane snage 116 W
- Svjetiljke sa jednom neonske cijevi, ukupne instalirane snage 58 W
- Svjetiljke autonomije 60 minuta
- Svjetiljke autonomije 30 minuta

Nužna rasvjeta izvedena je rasvjetnim tijelima sa akumulatorima, u trajnome spoju. Trajni spoj označava način rada tako da je svjetiljka stalno upaljena, za razliku od trajnog postoji i pripravni spoj kada se svjetiljka pali tek kad nestane napajanja. Prema navedenome može se reći da svjetiljke rade maksimalnim brojem godišnjih sati.

Što se tiče same nužne rasvjete ona se mora zadržati kakva je, što znači da se ne smije smanjivati broj svjetiljki ili radnih sati kako bi se povećala energetska učinkovitost. S ciljem povećanja energetske učinkovitosti, može se pristupiti zamjeni fluorescentnih svjetiljki sa LED svjetiljkama.

Analizom je utvrđen broj rasvjetnih tijela, instalirana snaga i potrošnja električne energije na sustavu nužne rasvjete. Ukupno su ugrađena 152 rasvjetna tijela, sa jednom ili dvije fluorescentne žarulje snaga 58 W, ostvarujući tako 9,4 kW instalirane snage, samim time 81.181,44 kWh godišnje potrošnje električne energije.

Tabela 3. Instalirana snaga nužne rasvjete tvornice

Lokacija	Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
Zgrada visoko naponskog rasklopišta ZG 120	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 1x58 W	58,0	1,0	0,06
Zgrada skladišta krutih sirovina ZG 220 i ZG 230	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 1x58 W	58,0	22,0	1,28
Zgrada mlina za mljevenje vune ZG 240	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 1x58 W	58,0	4,0	0,23
Zgrada skladišta tekućih sirovina ZG 250	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 1x58 W	58,0	2,0	0,12
Zgrada kupolne peći ZG 300	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 1x58 W	58,0	38,0	2,20
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 2x58 W	116,0	8,0	0,93
Zgrada peći za polimerizaciju ZG 400	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 1x58 W	58,0	22,0	1,28
Zgrada oblikovanja i pakiranja ZG 500	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 1x58 W	58,0	46,0	2,67
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 2x58 W	116,0	1,0	0,12
Zgrada sa uredima i garderobama ZG 600	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 1x58 W	58,0	7,0	0,41
Zgrada skladišta sirovina ZG 700	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 2x58 W	116,0	1,0	0,12
Ukupna instalirana snaga				***9,4***

Izvor 12.Autor prema snimci izvedenog stanja

Kao što je prethodno spomenuto, fluorescentne žarulje moguće je zamijeniti LED izvorima svjetlosti. LED rasvjetno tijelo snage 24 W zamjenjuje rasvjetno tijelo sa fluorescentnom žaruljom snage 58 W, čineći tako smanjenje instalirane snage, za 5,5 kW. Novi sustav će sa manjom instaliranom snagom godišnje trošiti 33.668,93 kWh električne energije čineći tako godišnje uštede od 14.300,88 HRK.

Tabela 4. Projekcija ušteda primjenom poboljšanja sustava nužne rasvjete tvornice

Sadašnje stanje				
Tip rasvjetnog tijela	Instalirana snaga [kw]	Radni sati [h]	Potrošnja EE [kWh]	Trošak [HRK]
Rasvjetna tijela sa fluorescentnim žaruljama	9,40	8.640	81.181,44	34.481,82
Buduće stanje				
LED rasvjetna tijela	3,90	8.640	33.668,93	14.300,88
Rezime				
Buduće stanje ukupno			***33.668,93***	***14.300,88***
Godišnje uštede			***47.512,51***	***20.180,94***
Godišnje uštede			***58,53%***	

Izvor 13.Autor prema projekciji budućeg stanja

Zbog velike količine svjetiljki i njihove visoke cijene, sama investicija iziskuje značajna financijska sredstva od čak 339.350,00 HRK. Sredstva za realizaciju prikazana su troškovnikom niže, čini ih materijal za ugradnju i financijske rezerve dok je izvedba radova planirana sa internim zaposlenicima radi čega rad nije troškovno prikazan.

Tabela 5. Troškovnik realizacije prijedloga poboljšanja sustava nužne rasvjete

Rb.	Opis stavke	Količina [kom.]	Jedinična cijena [HRK]	Ukupno [HRK]
1	Rasvjetno tijelo LED 24 W autonomije 1h	143	2.000,00	286.000,00
2	Rasvjetno tijelo LED 2x24 W autonomije 1h	9	2.500,00	22.500,00
3	Unutarnji rad			0,00
4	Nepredvidivi troškovi - 10%			30.850,00
Iznos investicije				***339.350,00***

Izvor 14. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tabela 6. Prikaz povrata investicije prijedloga poboljšanja sustava nužne rasvjete

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	339.350,00			-339.350,00
1		47.512,51	20.180,94	-319.169,06
2		47.512,51	20.180,94	-298.988,13
3		47.512,51	20.180,94	-278.807,19
4		47.512,51	20.180,94	-258.626,25
5		47.512,51	20.180,94	-238.445,32
6		47.512,51	20.180,94	-218.264,38
7		47.512,51	20.180,94	-198.083,44
8		47.512,51	20.180,94	-177.902,50
9		47.512,51	20.180,94	-157.721,57
10		47.512,51	20.180,94	-137.540,63
11		47.512,51	20.180,94	-117.359,69
12		47.512,51	20.180,94	-97.178,76
13		47.512,51	20.180,94	-76.997,82
14		47.512,51	20.180,94	-56.816,88
15		47.512,51	20.180,94	-36.635,95
16		47.512,51	20.180,94	-16.455,01
17		47.512,51	20.180,94	3.725,93
Povrat investicije - 16 godina i 9,78 mjeseci				

Izvor 15. Autor prema projekciji budućeg stanja

Temeljem izračuna ušteda i troškova realizacije izračunato je vrijeme povrata investicije prikazano tablicom niže u periodu od 16 godina i 10 mjeseci. Radi vrlo dugog povrata investicije koji je i dulji do samog žitnog vijeka rasvjetnih tijela prijedlog poboljšanja nije prihvaćen.

3.1.2. Nužna rasvjeta kupolne peći ZG 301

Unutar samog dijela projekta nužne rasvjete poseban dio predstavlja nužna rasvjeta dna kupolne peći gdje se vrši taljenje kamena u ZG 301. Zbog tehnološkog procesa, ovaj dio tvornice zahtjeva povećano osvjetljenje i autonomiju. Okolina same kupolne peći nerijetko prelazi temperature od 30 °C, a tijekom ljetnih mjeseci i 50 °C, radi čega prostor treba osvijetliti iz većih udaljenosti kako bi se smanjio utjecaj isijavanja temperature na sama rasvjetna tijela te time izbjeglo oštećenje istih.

Trenutno je sustav izveden sljedećim sa tri tipa rasvjetnih tijela i to:

- Svjetiljkama sa neonskim cijevima i integriranom baterijom
- Reflektor sa metal halogenom lampom snage 250 W
- Viseća industrijska svjetiljka sa metal halogenom lampom snage 250 W

Tabela 7. Instalirana snaga nužne rasvjete kupolne peći ZG 301

Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [W]
Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom	280,0	1,0	280,0
Reflektor sa metal halogenom žaruljom	280,0	4,0	1120,0
Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (2x58 W)	116,0	5,0	580,0
Ukupna instalirana snaga			***1980,0***

Izvor 16.Autor prema snimci izvedenog stanja

S obzirom da se na ovoj lokaciji za nužnu rasvjetu koriste reflektori i viseće svjetiljke koje nemaju integrirane baterije, cijeli se sustav napaja iz sustava neprekidnog napajanja. Utvrđena su dva glavna problema koja se javljaju to je veoma često pregaranje postojećih rasvjetnih tijela zbog velike okolišne temperature i povećanih vibracija, te kao drugi problem, granična autonomija postojećeg neprekidnog napajanja.

Postojeći ugrađeni sustav neprekidnog napajanja ima malu vremensku rezervu, zbog čega se dešava da zbog slabljenja baterija veoma često parametar autonomije nije zadovoljen. Navedeni problem može se riješiti ugradnjom neprekidnog napajanja veće autonomije ili

smanjenjem opterećenja. Smanjenje opterećenja može se postići ugradnjom energetski učinkovitije rasvjete, što u ovome slučaju može biti LED. Problem sa LED rasvjetnim tijelima je upravo okolišna temperatura, naime većina proizvođača specificira okolišnu temperaturu u granicama između 40 ili 50°C, što dovodi do zaključka da navedeno nije moguće izvesti. Tijekom istraživanja tržišta pronađen je jedan proizvođač industrijskih LED reflektora namijenjenih za teške uvjete rada u okolišnim temperaturama do 70°C. Spomenuti reflektor snage je 100 W, izradom svjetlo tehničkog proračuna utvrđeno je da pet reflektora može zamijeniti postojeće metal halogene. Prema tablici izračuna snage nakon poboljšanja moguće je smanjiti opterećenje sustava neprekidnog napajanja za 45,5 %, čime se znatno povećava autonomija.

Tabela 8. Instalirana snaga nužne rasvjete kupolne peći ZG 301 nakon poboljšanja

Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [W]
LED reflektor	100,0	5,0	500,0
Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom	116,0	5,0	580,0
Ukupna instalirana snaga			***1080,0***
Razlika instalirane snage			***900,0***
Razlika instalirane snage			***45,5%***

Izvor 17. Autor prema projekciji budućeg stanja

Pored same zamjene rasvjetnih tijela sustav bi se preradio na način da se napaja iz dva strujna kruga, na način da svako drugo rasvjetno tijelo bude spojeno na drugi strujni krug. Navedenim poboljšanjem dodatno bi se poveća sigurnost sustava i zaštita na radu jer bi u slučaju kvara na jednome krugu polovica rasvjetnih tijela nastavila raditi. Za ostvarenje ovog poboljšanja uz ugradnju LED rasvjetnih, potrebno je izvesti i novo ožičenje što je i navedeno u troškovniku.

Tabela 9. Troškovnik realizacije prijedloga poboljšanja sustava nužne rasvjete kupolne peći

Rb.	Opis stavke	Količina [kom.]	Jedinična cijena [HRK]	Ukupno [HRK]
1	Rasvjetno tijelo LED 100W	5	7.500,00	37.500,00
2	Zaštitna oprema	1	200,00	200,00
3	Električni kablovi	200	10,00	2.000,00
7	Unutarnji rad			0,00
8	Nepredvidivi troškovi - 10%			3.970,00
Iznos investicije				***43.670,00***

Izvor 18. Autor prema projekciji budućeg stanja

Ukupna investicija iznosi 43.670,00 HRK, smanjenjem instalirane snage ugradnjom LED reflektora, moguće je ostvariti godišnje uštede od 3.963,43 HRK, što znači da bi investicija bila povraćena tek nakon trinaest godina i šest mjeseci. Prema izračunatom povratu investicije i postavljenim financijskim kriterijima prijedlog poboljšanja bio bi odbijen, međutim zbog

direktnog utjecaja na povećanje sigurnosti na radu što je prioritet tvrtke ROCKWOOL opisano poboljšanje će se ipak primijeniti.

Tabela 10. Prikaz povrata investicije prijedloga poboljšanja sustava nužne rasvjete kupolne peći

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. Uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	43.670,00			-43.670,00
1		7.776,00	3.302,86	-40.367,14
2		7.776,00	3.302,86	-37.064,29
3		7.776,00	3.302,86	-33.761,43
4		7.776,00	3.302,86	-30.458,58
5		7.776,00	3.302,86	-27.155,72
6		7.776,00	3.302,86	-23.852,86
7		7.776,00	3.302,86	-20.550,01
8		7.776,00	3.302,86	-17.247,15
9		7.776,00	3.302,86	-13.944,30
10		7.776,00	3.302,86	-10.641,44
11		7.776,00	3.302,86	-7.338,58
12		7.776,00	3.302,86	-4.035,73
13		7.776,00	3.302,86	-732,87
14		7.776,00	3.302,86	2.569,98
Povrat investicije - 13 godina i 2,66 mjeseca				

Izvor 19. Autor prema projekciji budućeg stanja

3.2. Radna rasvjeta

Poglavlje daje uvid u sustav osvjetljenja koji se koristi prilikom rada zaposlenika. Sustav radne rasvjete izveden je sa nekoliko vrsta svjetiljki. Niže u poglavljima svaki će dio tvornice biti posebno obrađen, prikazom sadašnjeg stanja i mogućnosti poboljšanja. S obzirom na glavni detektirani temeljni problem, koji se pojavljuje na svim analiziranim lokacijama, za sve lokacije, analizirane su uštede sa tri ista prijedloga poboljšanja, i to:

1) Upravljanje radnim satima postojećih rasvjetnih tijela,
2) Investiranje u energetski učinkovitiju, LED rasvjetu i
3) Upravljanje radnim satima i investiranje u energetski učinkovitiju, LED rasvjetu

Zbog opsega izračuna u sljedećim potpoglavljima detaljni izračuni prikazani su samo za prihvaćena tehnička rješenja.

3.2.1. Unutarnja rasvjeta zgrade sirovina – ZG 200

Kroz poglavlje biti će analizirana radna rasvjeta zgrade sirovina, odnosno ZG 200. Zgrada sirovina objedinjuje tri zasebna postrojenja i to:

- Postrojenje sirovina za taljenje, smješteno u prostorima zgrada ZG 220 i ZG 230
- Postrojenje mlina za mljevenje i recikliranje vune, smješteno u prostoru zgrade ZG 240
- Postrojenje tekućih sirovina, smješteno u prostoru zgrade ZG 250

3.2.1.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja

Cijelo je postrojenje izvedeno na sličan način sa istim tipom rasvjetnih tijela. Korištena su rasvjetna tijela sa fluorescentnim žaruljama instalirane snage 58 W ili 116 W, u polikarbonatnim kućištima. Upravljanje rasvjetom podijeljeno je na 33 i 66 %, izuzev transportnih mostova koji nemaju mogućnost regulacije, već uvijek rade na 100 %. Rasvjeta se pali i gasi tipkalima koji se nalaze na ulazima u prostorije.

Radi okolišnih uvjeta, pritom misleći na povećanu prašinu i velike sjene u navedenim prostorima svjetlosni tok jako oslabi i operateri uvijek pale rasvjetu na 100 %, pridodavši na to činjenicu da ne postoji sustav automatskog gašenja rasvjete, utvrđeno je da većinu vremena rasvjeta radi na 100 % snage.

Ukupna instalirana snaga zgrade sirovina iznosi 11,4 kW, tablica niže detaljno prikazuje električnu snagu rasvjete po mikro lokacijama.

Tabela 11. Instalirana snaga radne rasvjete ZG 200

Sadašnje stanje				
Lokacija	Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
ZG 230 sa transportnim mostom prema ZG 220	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom	58,0	19,0	1,1
				1,1
ZG 220	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom	58,0	36,0	2,1
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom	116,0	14,0	1,6
				3,7
ZG 240	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom	116,0	13,0	1,5
				1,5
ZG 250	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom	116,0	32,0	3,7
				3,7
Transportni most ZG 220 – ZG 303	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom	116,0	7,0	0,8
				0,8
Transportni most ZG 240 – ZG 300	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom	116,0	5,0	0,6
				0,6
Ukupna instalirana snaga				***11,4***

Izvor 20. Autor prema snimci izvedenog stanja

Prilikom analize ističu se dva glavna problema i to:

- Nedostatno osvjetljenje kada je sustav upaljen na 33 % zbog čega rasvjeta stalno radi na 100 % i
- Nepostojanost automatskog gašenja ili detekcije prisutnosti.

Navedeni problemi riješiti će smanjenjem broja radnih sati rasvjete tijekom vremena kada nema operatera u navedenim prostorijama, za što su niže prikazani i izračuni ušteda. Analizirana je i opcija da se ugradi LED rasvjeta, međutim s obzirom da je rasvjeta izvedena fluorescentnim žaruljama, efikasnost istih u LED izvedbi je 100 % manja, odnosno LED žarulja snage 24 – 30 W ekvivalenta je fluorescentnim žarulji od 58 W. S obzirom na malu efikasnost, a istovremeno velik broj rasvjetnih tijela i njihovu cijenu, od navedenog se odustalo. Detaljniji izračun isplativosti investiranja u LED rasvjetna tijela dat je u četvrtom poglavlju.

Sustav upravljanja rasvjetom u potpunosti će se promijeniti na način da će se tipkala spojiti na PLC sustav tvornice. Tipkala će tako biti spojena na PLC sustav odakle će se

regulirati vremena koliko će rasvjeta biti upaljena i kada će se paliti. PLC sustav povezan je i SCADA sustavom tvornice što znači da će operaterima biti vidljivo koja su svjetla upaljena, te će im kolege iz operatorskih jedinica moći daljinski upaliti svjetlo u slučaju da se ne nalaze u blizini tipkala. PLC sustav je također povezan sa serverima za snimanje podataka, što znači da će se moći pratiti koliko je u kojem dijelu postrojenja utrošeno električne energije na rasvjetu.

Postrojenje sirovina za taljenje nalazi se u dva odvojena prostora, ZG 230 u kojoj kamioni iskrcavaju sirovine i ZG 220 unutar koje se nalaze silosi i dozatori sirovina. Zgrada 230 povezana je transportnim mostom sa vrhom ZG 220, te jednako tako ZG 220 transportnim mostom je povezana sa vrhom zgrade kupolne peći ZG 303.

Unutar navedenih prostorija ne nalaze se operaterske stanice za upravljanje već se postrojenjem upravlja iz centralne upravljačke ploče koja se nalazi u zgradi kupolne peći. Analizom proizvodnog procesa i načina upravljanja utvrđeno je da u navedenim prostorima operateri borave tijekom rješavanja problema ili servisnih radnji, navedeno iznosi dvadeset posto ukupnog vremena, valja napomenuti da je u ovaj iznos uključena i vremenska rezerva.

Zgrada mlina za mljevenje vune je također kao i zgrada sirovina za taljenje u potpunosti automatizirana, te se unutar iste ne nalaze operatorske jedinice. Sustavom mlina za mljevenje upravlja se operatorskom jedinicom koja se nalazi u zgradi skladišta tekućih sirovina ZG 250. Identično kao i što je bio slučaj sa skladištem sirovina za taljenje operateri na ovoj lokaciji borave tijekom rješavanja problema ili servisnih radnji, što u konačnici iznosi dvadeset posto ukupnog vremena.

Unutar zgrade skladišta tekućih sirovina, ZG 250, nalaze se tri manja postrojenja i to:

- Skladište tekućih sirovina
- Postrojenje za proizvodnju veziva
- Laboratorij za kvalitetu tekućih i sirovina za taljenje

U sklopu laboratorija za kvalitetu tekućih i sirovina za taljenje nalazi se ured za operatera i upravljačka jedinica kojom se daljinski upravlja postrojenjem za mljevenje vune i postrojenjima unutar skladišta tekućih sirovina. Analizom navedenoga utvrđeno je da će operater u ovoj prostoriji boraviti nešto duže nego što je to bio prethodni slučaj. Vrijeme boravka operatera u prostorijama zgrade iznosi pedeset posto ukupnog vremena.

Transportni most između zgrada ZG 220 i ZG 303 služi za prijenos sirovina za taljenje iz dozatora u kupolnu peć, dok transportni most između zgrada ZG 300 i ZG 240 služi za prijenos otpadne vune nastale u proizvodnome procesu u postrojenje mlina za mljevenje otpadne vune. Kao što je to bio i slučaj sa skladištem sirovina za taljenje i postrojenjem za mljevenje vune, operateri na navedenim transporterima borave tijekom rješavanja problema ili servisnih radnji, što ukupno iznosi dvadeset posto ukupnog vremena.

3.2.1.1. Prikaz ostvarivih ušteda

Temeljem postojećeg sustava utvrđeno je koja će se rasvjeta automatski gasiti, te samim time su dobivene nove inicijalne snage rasvjete. Jednako tako na temelju analize prisustva operatera na lokacijama izračunati su optimizirani radni sati rasvjete, a samim time i potrošnja električne energije po mikro lokacijama.

Prije poboljšanja sustava utvrđena je potrošnja električne energije u iznosu od 98.720,64 kWh. Potrošnja električne energije u navedenome iznosu prouzročena je radom rasvjete na maksimalnoj snazi od 11,4 kW tijekom godišnjih radnih sati umanjenih za tri neradna dana (Uskrs i Uskrsni ponedjeljak, Božić i dan sv. Stjepana, Nova godina), odnosno 8640 radnih sati.

Izraz 1. Utrošak EE skladišta sirovina prije poboljšanja sustava

$$W = 11{,}4 \cdot 8640$$

$$W = 98.720{,}64\ kWh$$

Tabela 12. Instalirana snaga skladišta sirovina nakon poboljšanja sustava

Buduće stanje				
Lokacija	Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
ZG 230 sa transportnim mostom prema ZG 220	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 100 %	58,0	19,0	1,1
ZG 220	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 33 %	58,0	21,0	1,2
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 66 %	58,0	15,0	0,9
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 66 %	116,0	14,0	1,6
ZG 240	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 33 %	116,0	4,0	0,5
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 66 %	116,0	9,0	1,0
ZG 250	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 33 %	116,0	11,0	1,3
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 66 %	116,0	21,0	2,4
Transportni most ZG 220 – ZG 303	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 100 %	116,0	7,0	0,8
Transportni most ZG 240 – ZG 300	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom 100 %	116,0	5,0	0,6
Ukupna instalirana snaga 33%				***3,0***
Ukupna instalirana snaga 100%				***8,5***

Izvor 21. Autor prema projekciji budućeg stanja

Nakon poboljšanja sustava, inicijalna rasvjeta odnosno 33 %, paliti će se po želji korisnika, međutim i dalje se neće automatski isključivati. Sustav isključivanja 33 % snage rasvjete nije izveden sa automatskim isključivanjem iz sigurnosnih razloga, primjerice ako operater obavlja neke radove u zoni, minimalna rasvjeta koja će mu omogućiti put do sklopke za paljenje rasvjete mora biti omogućena. Prema navedenome u izračunu utroška električne energije korišten je isti broj radnih sati kao što je to bio slučaj prije poboljšanja, odnosno 8640 radnih sati.

Uvidom u tablicu instaliranih snaga nakon poboljšanja sustava vidljivo je da će rasvjeta uvijek raditi na 33 % u prostorima zgrade ZG 220 sa snagom od 1,2 kW, u zgradi ZG 240 sa snagom od 0,5 kW i u zgradi ZG 250 sa snagom električne energije od 1,3 kW, čineći tako cjelinu od ukupno 3,0 kW instalirane snage, sa godišnjom potrošnjom od 25.557,12 kWh.

Izraz 2. Utrošak EE inicijalne rasvjete 33 %, skladišta sirovina nakon poboljšanja sustava

$$W = 3{,}0 \cdot 8640$$

$$W = 25.557{,}12\ kWh$$

Maksimalna snaga rasvjetnog sustava biti će izvedena na način da se svakih sat vremena automatski gasi, što će osigurati uštede izbjegavajući ljudsku grešku da se rasvjeta ostavi upaljena i nakon napuštanja lokacije izvođenja radova. S obzirom da je zgrada sirovina izvedena bez krovnih svjetlarnika i prozora, postoji potreba za umjetnim svjetlom tijekom sunčanih i mračnih dana, prema navedenome sve će se uštede računati sa godišnjim brojem radnih sati.

Ukupna instalirana snaga zgrade sirovina na 100 % snage iznosi 8,5 kW što rezultira ukupnom potrošnjom električne energije na godišnjoj razini iznosom od 49.109,76 kWh. Izračuni su temeljeni na postotku provedenog vremena operatera na lokaciji koji su dobiveni analizom u prošlom potpoglavlju i oni iznose za sve lokacije 25 % osim 50 % za zgradu skladišta tekućih sirovina. Detaljan pregled potrošnje električne energije po lokacijama prikazan je izračunima dalje u tekstu.

Izraz 3. Utrošak EE ZG 220 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage

$$W = 2{,}5 \cdot (8640 \cdot 0{,}25)$$

$$W = 5.387{,}04\ kWh$$

Izraz 4. Utrošak EE ZG 230 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage

$$W = 1{,}1 \cdot (8640 \cdot 0{,}25)$$

$$W = 2.380{,}32\ kWh$$

Izraz 5. Utrošak EE ZG 240 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage

$$W = 1{,}0 \cdot (8640 \cdot 0{,}25)$$

$$W = 2.255{,}04\ kWh$$

Izraz 6. Utrošak EE ZG 250 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage

$$W = 2{,}4 \cdot (8640 \cdot 0{,}5)$$

$$W = 10.523{,}52\ kWh$$

Izraz 7. Utrošak EE Transportnog mosta ZG 220 – ZG 303 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage

$$W = 0{,}8 \cdot (8640 \cdot 0{,}25)$$

$$W = 1.753{,}92\ kWh$$

Izraz 8. Utrošak EE Transportnog mosta ZG 240 – ZG 300 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage

$$W = 0{,}6 \cdot (8640 \cdot 0{,}25)$$

$$W = 1.252{,}80\ kWh$$

Izraz 9. Godišnje uštede EE skladišta sirovina nakon primjene poboljšanja

$$W = (25.557{,}12 + 5.387{,}04 + 2.380{,}32 + 2.255{,}04 + 10.523{,}52 + 1.753{,}92 + 1.252{,}80)$$

$$W = 49.109{,}76\ kWh$$

$$W = 98.720{,}64 - 49.109{,}76$$

$$W = 49.610{,}88\ kWh$$

Ukupna potrošnja električne energije skladišta sirovina na godišnjoj razini iznosi 49.109,76 kWh. Ovaj iznos uključuje rad rasvjete na svim lokacijama na 33 % i 100 % snage. Novo dobiveni iznos manji je za 52,25 % od sadašnjeg stanja 98.720,64 kWh. Poboljšanjem je moguće ostvariti godišnje uštede električne energije od 49.610,88 kWh.

3.2.2. Unutarnja rasvjeta zgrade kupolne peći – ZG 300

Unutar zgrade 300 odvija se početak proizvodnog procesa, odnosno proces taljenja kamena u kupolnoj peći i nastanka vunenih vlakana od kojih se formira vuneni madrac. Taljenje se odvija u kupolnoj peći, iz kupolne peći tekuća se lavina preusmjeruje na strojeve za stvaranje vlakna. Zgrada 300 izvedena je na tri kata, sa nizom pomoćnih prostorija i međukatova, ističe se u odnosu na druge analizirane lokacije po povećanim broju radnih sati koje operateri u njoj provode kao što je to slučaj sa zgradom pakiranja. Analiza slučaja dana je u sljedećim potpoglavljima.

3.2.2.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja

Rasvjeta zgrade izvedena je sa nekoliko tipova rasvjetnih tijela. Sama zgrada specifična je po međukatovima, zasebnim prostorima i mnoštvom opreme koje je smješteno u postrojenjima unutar iste. Navedeno rezultira sjenama radi čega je upotrijebljen nešto veći broj lampi za osvjetljavanje. Drugi problem koji se ističe zbog konstrukcije zgrade je nemogućnost iskorištavanja prirodnog svjetla putem svjetlarnika, radi čega su svi izračuni računati sa maksimalnim godišnjim satima, svjetlarnici su ugrađeni u cca. 25 % prostora.

Kao što je to slučaj i u ostatku tvornice, rasvjetom zgrade ZG 300, upravlja se bistabilnim relejnim sklopovima koji se pale tipkalima postavljenim na određene lokacije. Jakost svjetla regulira se paljenjem i gašenjem određenih svjetiljki čija je snaga podijeljena na 33 % i 66 %.

Rasvjeta je izvedena korištenjem nekoliko tipa rasvjetnih tijela ovisno o visini prostora, svjetlosnom toku rasvjetnog tijela i dispozicije opreme unutar zgrade, prema navedenom korištene su:

- Polikarbonatna svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom različitih snaga
- Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom
- Viseća svjetiljka sa indukcijskom žaruljom

Analizom slučaja utvrđeni su slični nedostaci sustava kao što je to slučaj sa ostatkom tvornice, a to je da ne postoji automatsko gašenje ili paljenje prema prisustvu operatera na lokaciji radi čega rasvjeta radi kontinuirano na maksimalnoj snazi. Navedeni problem rješavati će se na već prihvaćeni način kao i u zgradi sirovina, spajanjem na PLC sustav omogućiti će se upravljanje i kontrola rada sustava.

S obzirom na nešto veću prisutnost operatera i povećanom opasnosti djelovati će se samo na 66 % posto snage sustava, odnosno 33 % snage moći će operateri ručno upaliti i ugasiti, dok će 66 % operateri ručno paliti, a sustav će automatski gasiti nakon jednog sata rada. Prema navedenome u izračunima ušteda za dio rasvjete koji čini 33 % ukupne snage koristiti

će se ukupan broj godišnjih radnih sati. Izračun utroška električne energije za drugi dio ravjete koji čini 66 % snage koristit će se također ukupan broj godišnjih radnih sati umanjen za vrijeme faktor boravka operatera na lokaciji.

Trenutna ukupna instalirana snaga sustava rasvjete zgrade ZG 300 iznosi 21,9 kW, te kao takva čini godišnju potrošnju električne energije od 189.103,68 kWh.

Tabela 13. Instalirana snaga radne rasvjete ZG 300

Sadašnje stanje				
Lokacija	Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
ZG 300, etaža 0	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (2x58W)	116,0	33,0	3,8
	Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom	280,0	29,0	8,1
				11,9
ZG 300, etaža 6,5	Svjetiljka za spušteni strop sa fluorescentnom žaruljom	74,0	12,0	0,9
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (2x58W)	118,0	8,0	0,9
	Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom	280,0	13,0	3,6
				5,5
ZG 300, etaža 12,5	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (2x58W)	118,0	4,0	0,5
	Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom	280,0	6,0	1,7
	Viseća svjetiljka sa indukcijskom žaruljom	165,0	3,0	0,5
	Viseća svjetiljka sa indukcijskom žaruljom	85,0	2,0	0,2
	Viseća svjetiljka sa indukcijskom žaruljom	55,0	9,0	0,5
				3,3
ZG 300, etaža 16,0	Viseća svjetiljka sa indukcijskom žaruljom	165,0	7,0	1,2
				1,2
Ukupna instalirana snaga				***21,9***

Izvor 22. Autor prema snimci izvedenog stanja

Izraz 10. Utrošak EE ZG 300

$$W = 21{,}9 \cdot 8640$$

$$W = 189.103{,}68\ kWh$$

Pored navedenog poboljšanja na nekim dijelovima postrojenja etaže 12.5 promijeniti će se tip rasvjetnih tijela, čime će se pojačati osvijetljenost prostora i ujedno smanjiti snaga instalirane snage električne energije. Naime etaža 12.5 zgrade u jednome dijelu visoka je

samo 3,5 metra, a osvijetljena je sa visećim svjetiljkama sa metal halogenom ili indukcijskom lampom različitih snaga. Problem sa visećim svjetiljkama takozvanog „lončanog“ oblika je što one zahtijevaju nešto veću visinu kako bi se svjetlosni tok mogao rasprostirati u potpunosti, što ovdje nije slučaj. Radi navedenog problema, prostor je slabo osvijetljen i ujedno troši više električne energije jer je kontinuirano uključen na maksimalnoj snazi. Navedeni problem riješiti će se zamjenom visećih svjetiljki rasvjetnim tijelima sa fluorescentnom žaruljom, snage 4x58 W.

3.2.2.1. Prikaz ostvarivih ušteda

Spajanjem sustava rasvjete na sustav PLC-a te programiranjem istog na automatsko isključivanje, moguće je ostvariti značajne uštede prikazane dalje u poglavlju. Kao što je prethodno navedeno sustav rasvjete 33 % neće se automatski gasiti, što znači će se koristiti pretpostavka da će raditi maksimalan broj godišnjih radnih sati od 8640. Sa navedenim radnim satima i snagom sustava od 8,1 kW godišnji utrošak električne energije iznosi 69.906,24 kWh.

Izraz 11. Utrošak EE inicijalne rasvjete 33 %, zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava

$$W = 8{,}1 \cdot 8640$$

$$W = 69.906{,}24\ kWh$$

Nulta etaža zgrade ZG 300 je prolazni prostor, prostor je gdje borave operateri peći za polimerizaciju te jednako tako i operateri kupolne peći, kao takva učestalost boravka je veoma velika radi čega će vrijeme rada sustava na maksimalnoj snazi biti računata sa 50 % godišnjih radnih sati. Za osvjetljenje se koriste svjetiljke sa fluorescentnim žaruljama i viseće svjetiljke sa metal halogenim žaruljama ukupne snage 8,0 kW. Prednost ove etaže je što na 25 % površine nalaze se svjetlarnici koji dodatno osvjetljavaju prostor. Prema navedenome za osvjetljenje nulte etaže maksimalnom jačinom svjetlosti utrošiti će se 34.706,88 kWh za 4320 radna sata.

Izraz 12. Utrošak EE inicijalne rasvjete 66 %, etaže 0, zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava

$$W = 8{,}0 \cdot 4320$$

$$W = 34.706{,}88\ kWh$$

Za etažu 6,5, zgrade kupolne peći, može se reći da ima iste karakteristike kao i nulta etaža sa stajališta boravljenja operatera i obavljanja radnih zadataka na istoj. Tako će se i za izračun

snage koristiti isti broj radnih sati u iznosu od 4320. Instalirana snaga iznosi etaže 6,5 sustava rasvjete na 66 % snage iznosi 2,8 kW što rezultira godišnjom potrošnjom od 12.096,00 kWh.

Izraz 13. Utrošak EE inicijalne rasvjete 66 %, etaže 6,5, zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava

$$W = 2{,}8 \cdot 4320$$

$$W = 12.096{,}00\ kWh$$

U odnosu na nultu etažu i etažu 6,5, učestalost boravka na etažama 12,5 i 16,0 je znatno manja. Naime na ovim etažama operateri obavljaju radne zadatke u kratkim dnevnim pregledima opreme i tijekom servisiranja, što dnevno unutar jedne smjene čini maksimalni utrošak od dva sata rada. Stoga će se za izračune koristiti 25 % ukupnih radnih sati, odnosno 2160 radna sata. Sa instaliranom snagom sustava od samo 1,4 kW, utrošak električne energije etaže 12,5 iznosi 3.095,28 kWh, dok za etažu 16,0 sa instaliranom snagom od 0,7 kW, ona iznosi 1.425,60 kWh.

Izraz 14. Utrošak EE inicijalne rasvjete 66 %, etaže 12,5, zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava

$$W = 1{,}4 \cdot 2160$$

$$W = 3.095{,}28\ \ kWh$$

Izraz 15. Utrošak EE inicijalne rasvjete 66 %, etaže 16,0, zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava

$$W = 0{,}7 \cdot 2160$$

$$W = 1.425{,}60\ kWh$$

Primjenom navedenih poboljšanja sustava znatno su smanjeni radni sati i dok je instalirana snaga neznatno smanjena, tek za 0,9 kW, odnosno četiri posto. Sa navedenim poboljšanjima na godišnjoj razini moguće je ostvariti uštede električne energije od 67.873,68 kWh, odnosno 35,89 %.

Izraz 16. Godišnje uštede EE zgrade kupolne peći nakon primjene poboljšanja

$$W = 189.103{,}68 - \ (69.906{,}24 + \ 34.706{,}88 + 12.096{,}00 + 3.095{,}28 + 1.425{,}60)$$

$$W = 67.873{,}68\ \ kWh$$

Tabela 14. Instalirana snaga zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava

Buduće stanje				
Lokacija	Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
ZG 300, etaža 0	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (2x58W) 33%	118,0	10,0	1,2
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (2x58W) 66%	118,0	23,0	2,7
	Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom 33%	280,0	10,0	2,8
	Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom 66%	280,0	19,0	5,3
ZG300, etaža 6,5	Svjetiljka za spušteni strop sa fluorescentnom žaruljom 33%	74,0	12,0	0,9
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (2x58W) 33%	118,0	8,0	0,9
	Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom 33%	280,0	3,0	0,8
	Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom 66%	280,0	10,0	2,8
ZG300, etaža 12,5	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (2x58W) 33%	118,0	4,0	0,5
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (4x58W) 33%	236,0	2,0	0,5
	Svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (4x58W) 66%	236,0	3,0	0,7
	Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom 66%	280,0	2,0	0,6
	Viseća svjetiljka sa indukcijskom žaruljom 66%	165,0	1,0	0,2
ZG300, etaža 16,0	Viseća svjetiljka sa indukcijskom žaruljom 33%	165,0	3,0	0,5
	Viseća svjetiljka sa indukcijskom žaruljom 66%	165,0	4,0	0,7
Ukupna instalirana snaga 33%				***8,1***
Ukupna instalirana snaga 100%				***12,9***

Izvor 23. Autor prema projekciji budućeg stanja

3.2.3. Unutarnja rasvjeta zgrade peći za polimerizaciju – ZG 400

Poglavljem je prikazana analiza i prijedlozi poboljšanja, te procjena ušteda zgrade peći za polimerizaciju. Zgrada je specifična po tome što radnici u njoj vrlo malo vremena borave, što daje iznimnu prednost kod ostvarivanja ušteda EE.

3.2.3.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja

Unutarnja rasvjeta zgrade peći za polimerizaciju izvedena je metal halogenim visećim svjetiljkama. Svaka svjetiljka snage je 280 wata, ukupno ih je instalirano 20 komada. Regulacija osvjetljenja vrši se podjelom rasvjete na 33 ili 66 posto kao što je to napravljeno u ostatku tvornice, a pale se klasičnim tipkalima, bistabilni sklop za upravljanje i sklopnih snage nalaze se u razdjelnom ormaru rasvjete zgrade 400. Ukupna instalirana snaga iznosi 5,6 kW.

Tijekom analize sadašnjeg stanja utvrđeno je da rasvjeta u zgradi peći za polimerizaciju radi kontinuirano na maksimalnoj instaliranoj snazi.

Izraz 17. Instalirana snaga rasvjete ZG 400

$$P = 280 \cdot 20$$

$$P = 5{,}6\ kW$$

Izraz 18. Utrošak EE ZG 400

$$W = 5{,}6 \cdot 8640$$

$$W = 48.384{,}00\ kWh$$

Unutar zgrade 400 nalazi se peć za polimerizaciju kojom se daljinski upravlja te u većini slučajeva unutar same zgrade ne nalaze se radnici. Međutim radnici koriste zgradu kao poveznicu između zgrade 300 i zgrade 500. Kao što je vidljivo na nacrtu zgrada je pravokutna, s gdje je na sredini pozicionirana peć, dok se transportni prolazi nalaze uz uzdužne zidove zgrade, od kojih je u upotrebni cca. 90 % samo jedan, dok se drugi koristi isključivo za servisiranje opreme.

Na uzdužnim zidovima zgrade nalazi se i nužna rasvjeta što u ovome slučaju znači veliku prednost jer to znači da će transportni putovi i putovi kretanja ljudi biti osvijetljeni i u slučaju da je radna rasvjeta isključena. Dodatna olakotna okolnost je i da je zgrada opremljena

svjetlarnicima za dnevno svjetlo, koji tijekom sunčanih sati dovoljno osvjetljuju radnu površinu.

Za unaprjeđenje sustava rasvjete zgrade 400 primijeniti će se kombinacija dva poboljšanja i to:

- Rekonfiguracija rasvjete iz sustava 33/66 u 3 zone smještene prema stroju i kretanju radnika.
- Upravljanje radnim satima.

Kako se unutar zgrade 400 nalazi peć za polimerizaciju unutar koje se određeni dijelovi zagrijavaju od 250 °C do 350 °C, te kamena vuna na izlazu iz peći ima u prosjeku temperaturu od 50°C disipira se velika količina toplinske energije, radi čega unutar same zgrade tijekom ljetnih mjeseci ambijentalna temperatura prelazi 40°C, a pogotovo ispod stropa gdje se rasvjetna tijela nalaze. Radi povećane okolišne temperature, LED rasvjeta u ovome slučaju nije prihvatljiva jer je prema specifikaciji ovisno o proizvođaču namijenjena za rad do 40 °C ili 50 °C, iz navedenog razloga zadržati će se metal halogene lampe sa određenim poboljšanjima sustava. Bez obzira na navedeni nedostatak u poglavlju četiri dati su izračuni troška investicije u LED rasvjetu, te kombinaciju LED rasvjete sa automatskim isključivanjem. Navedeni izračuni mogu se koristiti u slučaju da se na tržištu pojavi LED rasvjetno tijelo sa višom gornjom granicom ambijentalne temperature.

S obzirom da sadašnji raspored rasvjetnih tijela ne odgovara rasporedu opreme i kretanju radnika, radi čega sustav radi većinu vremena na 100% instalirane snage, sustav će se podijeliti u tri zone. Prvu zonu činiti će rasvjetna tijela smještena na ulazu i izlazu zgrade. Prva zona rasvjete služi za dodatno osvjetljavanje transportnih putova prilikom prolaska radnika kroz zgradu 400. Druga zona je zona koja će osvjetljavati desnu stranu peći. S obzirom da na desnoj strani peći nema proizvodne opreme, već se taj dio zgrade koristi isključivo za servisne radove, može se pretpostaviti da će zona dva biti u većini vremena isključena. Treća zona osvjetljava lijevi dio zgrade 400. Na tom se dijelu nalaze pomoćna postrojenja peći za polimerizaciju i transportni put. Zbog obilaska postrojenja tijekom smjene i mogućih radova može se očekivati da će rasvjeta zone tri raditi u nešto većem obimu nego što je to slučaj zone dva. Izračuni potrošnje i ušteda prikazani su u sljedećem potpoglavlju, dok je raspored zona prikazan slikom niže.

Drugo poboljšanje koje će se primijeniti je da se samo upravljanje rasvjetom integrira u PLC i SCADA sustav. Navedeno znači da se više neće tipkalima paliti bistabilni sklopnici za upravljanje rasvjetom, već će se taj signal prosljeđivati na I/O jedinicu PLC sustava. Jednako tako izlazni signal PLC-a upravljati će sklopnikom za paljenje rasvjete.

Rasvjetu će se pored tipkala moći paliti i putem SCADA-e. Logika upravljanja paljenjem i gašenjem rasvjete integrirati će se u PLC program putem vremenskog brojača. Predviđen je vremenski isklop nakon 60 minuta rada.

Slika 10. Prikaz prijedloga novog rasporeda zona osvjetljenja hale 400



Izvor 24. Autor prema prijedlogu poboljšanja

3.2.3.2. Prikaz ostvarivih ušteda

Primjenom prethodno opisanih poboljšanja smanjiti će se vrijeme rada rasvjete, a i podjelom u zone instalirana snaga koja se koristi. Kako je prethodno opisano zona 1 predstavlja transportni put i kao takva najviše će se koristiti. Kod izračuna će se koristiti broj godišnjih sati bez sunčevog svjetla.

S obzirom na analizu proizvodnog procesa, poznato je vrijeme zadržavanja u navedenom prostoru, toj iznos iznosi četiri sata po smjeni, odnosno osam sati dnevno, uzevši u obzir da je jutarnja smjena osvijetljena dnevnim svjetlom putem svjetlarnika. Navedenim se dobiva godišnjih broj radnih sati u iznosu od 2920. Radi sigurnosti kod proračuna ušteda korišten je iznos od 50 % godišnjih sati bez sunčevog svjetla, što iznosi 3120 sati. Zona 1 ima ukupnu instaliranu snagu u iznosu od 2,24 kW, što daje potrošnju električne energije od 6.988,80 kWh godišnje.

Izraz 19. Utrošak EE Zone 1 ZG 400

$$W = 2{,}24 \cdot 6240 \cdot 0{,}5$$

$$W = 6.988{,}80\ kWh$$

Zona 2 osvjetljava servisni dio postrojenja. Servisne radnje postrojena većinom vremena obavljaju se u jutarnjoj smjeni, kao što je već navedeno tijekom jutarnje smjene postrojenje je osvijetljeno sunčevom svjetlošću kroz svjetlarnike koji se nalaze na krovu zgrade. Radi navedenoga za izračun potrošnje električne energije zone 2 korišten je parametar od 10 % godišnjih sati bez sunčeve svjetlosti. Instalirana snaga zone 2 iznosi 1,68 kW, što rezultira potrošnjom od 1.048,32 kWh godišnje.

Izraz 20. Utrošak EE Zone 2 ZG 400

$$W = 1{,}68 \cdot 6240 \cdot 0{,}1$$

$$W = 1.048{,}32 \ kWh$$

Transportni put i pomoćna postrojenja koja se nalaze sa desne strane peći za polimerizaciju osvjetljavaju se u prosjeku nešto više vremena nego što je to slučaj sa zonom 2. Radi navedenog u proračunu je korišten iznos od 25 % godišnjih sati bez sunčeve svjetlosti. Instalirana snaga zone 3 jednaka je zoni 2 i iznosi 1,68 kW, što rezultira potrošnjom od 2.620,80 kWh godišnje.

Izraz 21. Utrošak EE Zone 3 ZG 400

$$W = 1{,}68 \cdot 6240 \cdot 0{,}25$$

$$W = 2.620{,}80 \ kWh$$

Izraz 22. Uštede EE ZG 400 nakon primjene poboljšanja

$$W = 48.384{,}00 - (6.988{,}80 + 1.048{,}32 + 2.620{,}80)$$

$$W = 37.726{,}08 \ kWh$$

Primjenom poboljšanja sustava rasvjete zgrade 400 moguće je ostvariti 78% ušteda potrošnje električne energije, odnosno 37.726,08 kWh godišnje.

3.2.4. Unutarnja rasvjeta zgrade oblikovanja i pakiranja – ZG500

Zgrada 500 u kojoj su smješteni pogonski strojevi za oblikovanje i pakiranje kamene vune, površinski je najveći dio tvornice i kao takav najveći potrošač električne energije na unutarnju rasvjetu. S obzirom da se radi o velikoj instaliranoj snazi poseban je izazov smanjiti potrošnju na minimalnu razinu primjenom nekoliko različitih rješenja koja su prikazana dalje u poglavlju.

3.2.4.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja

Rasvjeta ovog dijela tvornice izvedena je visećim svjetiljkama sa metal halogenom žaruljom snage 400 W. Ukupno je instalirano 87 svjetiljki čineći tako sustav sa 38,3 kW instalirane snage. Sa navedenom snagom to je druga po redu lokacija prema količini instalirane snage. S obzirom na proizvodni proces, lokacija zgrade oblikovanja i pakiranja je dio tvornice u kojem se kontinuirano nalazi najveći dio operatera strojeva, zbog čega se ne može rasvjeta gasiti već je potrebno pronaći nova tehnička rješenja. Kontinuirano obitavanje operatera znači i da će novi sustav raditi sa velikim brojem radnih sati.

Kao i u ostalim dijelovima tvornice sustav ima mogućnost regulacije na 33% ili 100%. Kod rada na 33% svaki drugi red svjetiljki ne radi, međutim to ne odgovara kretanju operatera u proizvodnji, radi čega je sustav uvijek radio na 100% snage cijelo vrijeme tijekom cijele godine.

Izraz 23. Instalirana snaga rasvjete ZG 500

$$P = 440 \cdot 87$$

$$P = 38{,}3\ kW$$

Prihvaćeni su sljedeći prijedlozi poboljšanja sustava rasvjete zgrade 500:

- Zamjena metal halogenih sa LED svjetiljkama
- Izmjena regulacijskih krugova za paljenje i gašenje rasvjete prema dispoziciji strojeva
- Ugradnja regulacijskih krugova za promjenu svjetlosnog toka
- Povezivanje sustava rasvjete na PLC i SCADA sustav

Zbog velikog broja radnih sati i instalirane snage, u ovome slučaju zamjena konvencionalnih metal halogenih svjetiljki sa LED svjetiljkama je isplativa. Tablica niže prikazuje smanjenje instalirane snage električne energije od 66,8 %. Smanjenje instalirane

snage direktno utječe i na smanjenje potrošnje električne energije, izradom zona osvjetljenja prema rasporedu strojeva i kretanja ljudi, te regulacijom svjetlosnog toka, taj će se iznos dodatno povećati što je niže u radu i prikazano.

Tabela 15. Usporedba instalirane snage radne rasvjete ZG 500

Sadašnje stanje			
Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
Viseća svjetiljka sa metal halogenom žaruljom	440,0	87,0	38,3
Prijedlog poboljšanja			
LED viseća svjetiljka sa mogućnošću regulacije svjetlosnog toka	120,0	106,0	12,7
Razlika instalirane snage			***25,6***
Razlika instalirane snage			***66,8%***

Izvor 25. Autor prema snimci izvedenog stanja

3.2.4.1.1. Ugradnja LED rasvjete

Postavljeni kriterij za odabir LED rasvjetnih tijela bio je da novo rasvjetno tijelo zamjenjuje jedno postojeće i da postoji mogućnost upravljanja svjetlosnim tokom. Prvi od uvjeta nije niti jedan proizvođač mogao zadovoljiti, dok je drugi bio zadovoljen od strane više proizvođača međutim uz vidnu razliku u cijeni proizvoda.

Odabran je proizvod sa mogućnošću regulacije svjetlosnog toka u rasponu od 20 – 100 %, upravljanje se vrši promjenom upravljačkog napona razine 0 – 10 V.

Izradom svjetlo-tehničkog proračuna utvrđeno je da će umjesto sadašnjih 87 rasvjetnih tijela biti potrebno ugraditi ukupno 106 rasvjetnih tijela, navedeno je rezultat drukčijeg svjetlosnog toka i optike LED rasvjetnih tijela. Rasvjetna tijela ugrađuju se prema pozicijama danim u nacrtu dispozicije rasvjetnih tijela iz svjetlo-tehničkog proračuna kako bi se zadovoljila količina osvjetljenja svake površine.

Prije same ugradnje rasvjetnih tijela 2 su bila ugrađena radi testiranja i odabira temperature svjetla koja se za ovaj tip lampi kreće u rasponu od 2800 – 7500 Kelvina. Sama temperatura svjetla utječe na radnu okolinu, radi čega je potrebno odabrati temperaturu svjetla ovisno o aplikaciji. Odabrano LED rasvjetno tijelo ima životni vijek od 100.000 radnih sati, od toga 60.000 radnih sati lampe emisija svjetla je 100 % deklariranog, nakon čega svjetlosni tok opadne na 80 %..

Samo izvođenje investicije radi koordinacije svih učesnika predstavljalo je poseban izazov. S obzirom da je potrebna ukupno 3 radna tjedna za izvođenje radova nije bilo moguće radove izvoditi izvan pogona dok je tvornica zaustavljena, već se sve izvodilo u proizvodnji. To znači da je postojeća rasvjeta trebala biti stalno u funkciji a izvođač i voditelj projekta morali su precizno koordinirati radove kako se ne bi ometala proizvodnja ili došlo do ozljede na radu.

3.2.4.1.2. Upravljanje sustavom rasvjete ZG 500

S obzirom da će sustav rasvjete biti integriran u SCADA i PLC sustav tvornice, moguće je ostvariti dodatne uštede električne energije. Dodatne uštede moguće je ostvariti primjenom sljedećih tehničkih rješenja:

- Regulacija svjetlosnog intenziteta,
- Upravljanje automatskim gašenjem rasvjete,
- Paljenje rasvjete prema dispoziciji proizvodnih strojeva.

Odabrana LED rasvjeta tijela imaju mogućnost regulacije svjetlosnog intenziteta. Svjetlosni intenzitet proporcionalan je sa potrošnjom električne energije. Odabrana rasvjetna tijela nazivne snage su 120 W, s mogućnošću regulacije svjetlosnog intenziteta 20 – 100 %, prema navedenome, može se reći da rasvjetno tijelo troši od 0,024 – 0,120 kWh za sat rada. Unutar projekta predviđena je ugradnja detektora svjetlosnog intenziteta koji će putem signala 4-20 mA biti spojen na PLC sustav. Prema PLC programu uspoređivati će se željena vrijednost svjetlosnog intenziteta i očitana vrijednost sa detektora svjetlosnog intenziteta, te će se prema rezultatu te operacije regulirati svjetlosni tok LED rasvjetnog tijela.

Jedan od navedenih nedostataka postojećeg sustava zgrade 500 je taj što nije prilagođen radnom prostoru operatera proizvodne linije. Radi navedenog pristupilo se analizi kretanja operatera proizvodnje i utvrdilo da u određenim dijelovima postrojenja kroz određeno vrijeme uopće nema operatera proizvodnje. Stoga se pristupilo izradi 5 strujnih krugova rasvjete koji će ujedno predstavljati i 5 rasvjetnih zona.

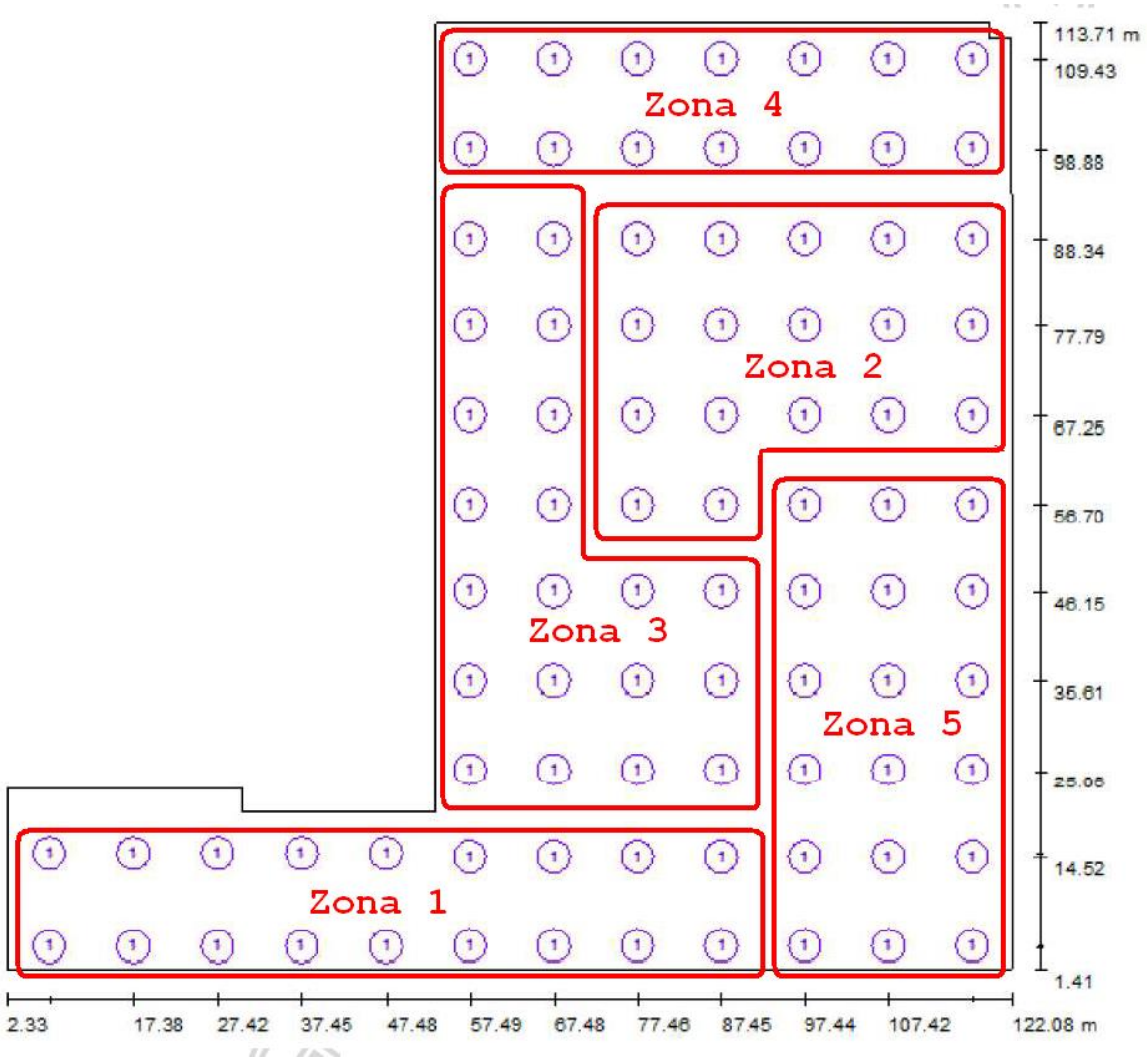
Rasvjetne zone 1, 2 i 3 pokrivaju prostor iznad kojeg se nalaze proizvodni strojevi, dok zone 5 i 6 osvjetljavaju priručna skladišta proizvoda. Prijedlog zona rasvjete prema strojevima prikazan je nacrtom na slici 11. Prema nacrtu izračunata je i instalirana snaga u zonama i prikazana tablicom 16.

Tabela 16. Instalirana snaga prema radnim zonama ZG500

Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
Zone 1, 2 i 3	120,0	81,0	9,7
Zone 4 i 5	120,0	25,0	3,0

Izvor 26. Autor prema snimci izvedenog stanja

Slika 11. Prikaz prijedloga novog rasporeda zona osvjetljenja hale 500



Izvor 27. Autor prema prijedlogu poboljšanja

3.2.4.2. Prikaz ostvarivih ušteda

Poglavlje prikazuje zbir ostvarivih ušteda primjenom sva 3 prijedloga poboljšanja. Uštede su prikazane u potrošenoj električnoj energiji na temelju izračunate instalirane snage i procijenjenih sati rada. Izračunom je dobivena godišnja potrošnja električne energije za postojeći sustav u iznosu od 330.739 kWh. Kod izračuna korišten je godišnji broj od 8640 radnih sati i maksimalna instalirana snaga od 38,28 kW. U istim uvjetima sa maksimalnom instaliranom snagom LED rasvjeta na godišnjoj razini trošila bi 109.900 kWh.

Izraz 24. Utrošak EE metal halogenih rasvjetnih tijela ZG 500

$$W = 38{,}28 \cdot 8640$$

$$W = 330.739{,}20\ kWh$$

Izraz 25. Utrošak EE LED rasvjetnih tijela ZG 500

$$W = 12{,}7 \cdot 8640$$

$$W = 109.900{,}80\ kWh$$

Podjelom rasvjete na zone koje će se automatski gasiti kada nema proizvodnje na strojevima i tijekom dnevnog svjetla izračunom je dobivena potrošnja električne energije od 60.653 kWh za zone rasvjete 1 – 3. Navedeno je dobiveno umnoškom maksimalne instalirane snage u trima zonama i radnih sati bez sunčanog svjetla u iznosi od 6240 sati.

Kod izračuna električne energije za zone rasvjete 4 i 5, korišten je 50 % manji broj radnih sati iz razloga što su te dvije zone skladišni prostori koji se gotovo i ne koriste tijekom popodnevne i noćne radne smjene. Prema navedenome, godišnja potrošnja električne energije zone 4 i 5 iznositi će 9.360 kWh.

Izraz 26. Utrošak EE LED rasvjetnih tijela zone 1- 3 sa automatskim gašenjem

$$W = 9{,}72 \cdot 6240$$

$$W = 60.652{,}80\ kWh$$

Izraz 27. Utrošak EE LED rasvjetnih tijela zone 4 i 5 sa automatskim gašenjem

$$W = 3 \cdot 3120$$

$$W = 9.360{,}00\ kWh$$

Sljedeća 2 izračuna prikazuju utrošak električne energije integracijom svih rješenja. Kod izračuna električne energije korišten je podatak instalirane snage smanjenje za 25 % koliko će biti postignuta ušteda regulacijom svjetlosnog toka. Tako će zone 1 – 3 trošiti 7,29 kW tijekom 6240 radnih sati bez sunčanog svjetla što dovodi do potrošnje od 45.490 kWh na godišnjoj razini. Korištenjem istih ulaznih parametara za zone 4 i 5 dobivena je godišnja potrošnja od 7.020 kWh.

Izraz 28. Utrošak EE LED rasvjetnih tijela zone 1-3 sa automatskim gašenjem i regulacijom intenziteta

$$W = 7{,}29 \cdot 6240$$

$$W = 45.489{,}60\ kWh$$

Izraz 29. Utrošak EE LED rasvjetnih tijela zone 4 i 5, sa automatskim gašenjem i regulacijom intenziteta

$$W = 2{,}25 \cdot 6240$$

$$W = 7.020{,}00\ kWh$$

Ukupne ostvarive uštede radne rasvjete zgrade 500 prikazane izračunom 29. iznose 278.230 kWh godišnje. Podatak je dobiven kao razlika trenutnog stanja kada 87 lampi radi cijelo vrijeme na maksimalnoj snazi i nakon integracije svih predloženih rješenja.

Izraz 30. Prikaz ušteda EE ZG 500 nakon integracije svih poboljšanja

$$W = 330.739{,}20 - (45.489{,}60 + 7.020{,}00)$$

$$W = 278.229{,}60\ kWh$$

3.2.5. Unutarnja rasvjeta ureda i garderoba ZG 600

Poglavlje prikazuje analizu stanja i prijedloge poboljšanja sustava rasvjete zgrade 600, u kojoj su smješteni uredi i garderobe za radnike pogona.

3.2.5.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja

Unutar lokaliteta tvornice nalazi se odvojena zgrada sa uredima, garderobama i kantinom. Na navedenim lokacijama, rasvjeta je izvedena sa dva tipa svjetiljki sa fluorescentnim žaruljama.

Paljenje i gašenje rasvjetnih tijela u uredima i ostalim prostorijama vrši se jednopolnim prekidačima, dok je na hodnicima upravljanje rasvjetom izvedeno pomoću tipkala. Iako je paljenje i gašenje izvedeno na dva načina niti jedan od navedenih nema mogućnost regulacije i automatskog gašenja. Kao i što je bio slučaj i kod analize ostalih dijelova tvornice navedeni nedostaci predstavljaju prepreko ka ostvarivanju ušteda električne energije, te temeljni problem koji je potrebno riješiti.

Uredi, hodnici i kantina opremljeni su rasvjetnim tijelima ugrađenim u spušteni stop. Svako rasvjetno tijelo ima četiri fluorescentne žarulje snage 18 W, što znači da je instalirana snaga svakog rasvjetnog tijela 72 W. Na hodnicima su ugrađeni i svjetlarnici za osvjetljavanje prostorija dnevnim svjetlom.

U garderobama rasvjeta je izvedena polikarbonatnim rasvjetnim tijelima sa fluorescentnim žaruljama različitih tipova i snaga.

Tabela 17. Instalirana snaga po lokacijama ZG 600

Sadašnje stanje			
Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
Svjetiljka za spušteni strop sa fluorescentnom žaruljom (4x18W)	72,0	107,0	7,70
Polikarbonatna svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (2x18W)	36,0	40,0	1,44
Polikarbonatna svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (1x18W)	18,0	34,0	0,61
Polikarbonatna svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (1x58W)	58,0	29,0	1,68
Ukupna instalirana snaga			***11,44***

Izvor 28. Autor prema snimci izvedenog stanja

Tijekom analize utvrđeno je da na hodnicima, garderobama i sanitarnim prostorijama uvijek radi sva rasvjeta, bez obzira jesu li radnici prisutni ili ne, iako primjerice na hodnicima su ugrađeni i svjetlarnici za dnevno svjetlo. Primjenjivo poboljšanje sustava je ugradnja vremenskih sklopova za automatsko gašenje rasvjete na navedenim lokacijama.

U uredima rasvjeta radi samo tijekom vremena kada je zaista potrebna, radi navedenoga lokacije ureda neće ući u opseg projekta poboljšanja sustava. Ostvarive uštede date su izračunima u sljedećem potpoglavlju.

Razmatrano je i poboljšanje zamjene fluorescentnih rasvjetnih tijela sa LED rasvjetnim tijelima. Temeljem svjetlo tehničkih proračuna utvrđeno je da bi rasvjetna tijela za spušteni strop trenutne snage 78 W bila zamijenjena sa istom količinom LED rasvjetnih tijela snage 44W. Polikarbonatna nadgradna rasvjetna tijela snage 2x18 W, te 1x58 W bila bi zamijenjena LED rasvjetnim tijelima snage 2x12 W, te 1x24 W.

Zbog vrlo velikog broja rasvjetnih tijela a samim time i značajnih financijskih sredstva, te ujedno malih ušteda električne energije ovo poboljšanje nije prihvaćeno. Detaljniji izračuni ušteda električne energije i financijskih sredstava prikazani su u četvrtom poglavlju.

3.2.5.2. Prikaz ostvarivih ušteda

Kao što je u prethodnome potpoglavlju objašnjeno, projektom će biti zahvaćena rasvjeta u hodnicima, garderobama i sanitarnim prostorijama. Ukupna obuhvaćena snaga iznosi ukupno 3,76 kW. Za izvedbu poboljšanja koristiti će se vremenski sklopnici koji će biti ugrađeni u seriju sa strujnim krugom lampi. Definirano je vrijeme od pola sata za rad lampi nakon paljenja. Postavljeno je duže vrijeme zbog garderoba i sanitarnih čvorova, kako se rasvjeta ne bi gasila tijekom boravka radnika i čistačica u garderobama i hodnicima, u protivnom to vrijeme može biti i znatno kraće.

U ZG 600 neće se investirati u energetski učinkovitija rasvjetna tijela s ciljem smanjenja instalirane radne snage, uštede proizlaze iz sustava upravljanja rasvjetom odnosno vremena rada rasvjete.

Kod procjene rada rasvjete tijekom poboljšanja, koristiti će se iznos od 5 sati dnevnog rada rasvjete. Uzme li se u obzir da tvornica radi u 3 smjene, znači da će ljudi boraviti u garderobama 3 puta na dan, za ovaj dio zaokružiti će se 3 sata i uzeti će se dodatno dva sata rezerve za proračun. Za očekivati je da će u stvarnosti taj iznos biti i manji.

Tabela 18. Instalirana snaga ZG 600 obuhvaćena projektom

Sadašnje stanje			
Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
Svjetiljka za spušteni strop sa fluorescentnom žaruljom (4x18W)	72,0	26,0	1,87
Polikarbonatna svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (2x18W)	36,0	30,0	1,08
Polikarbonatna svjetiljka sa fluorescentnom žaruljom (1x58W)	58,0	14,0	0,81
Ukupna instalirana snaga			***3,76***

Izvor 29. Autor prema snimci izvedenog stanja

Prema izračunu za 8640 radnih sati godišnje sustav utrošak električne energije prije poboljšanja iznosi 32.520,96 kWh, primjenom poboljšanja, za 5 sati dnevnog rada kroz godinu dana sustav rasvjete raditi će 1825 sati, te potrošiti 6.869,30 kWh. Ušteda iznosi 25.651,66 kWh, odnosno 77,88 %.

Izraz 31. Utrošak EE ZG 600 prije poboljšanja sustava

$$W = 3{,}76 \cdot 8640$$

$$W = 32.520{,}96\ kWh$$

Izraz 32. Utrošak EE ZG 600 nakon poboljšanja sustava

$$W = 3{,}76 \cdot 1825$$

$$W = 6.869{,}30\ kWh$$

Izraz 33. Uštede potrošnje EE ZG 600 nakon poboljšanja sustava

$$W = 32.520{,}96 - 6.869{,}30\ kWh$$

$$W = 25.651{,}66\ kWh$$

3.2.6. Vanjska rasvjeta ukrcajnog platoa i skladišta gotovih proizvoda

Prostor za ukrcaj i skladište gotovih proizvoda rasprostiru se na površini od 60.000 metara kvadratnih. Skladište gotovih proizvoda prostire se prema rubovima površine, dok se na centralnom dijelu nalazi prostor za ukrcaj kamiona gotovim proizvodima. Jednom stranom ovaj je prostor vezan na proizvodnu zgradu oblikovanja i pakiranja gdje se nalaze izlazni transporteri stroja za omatanje paleta koji čine zadnji korak u proizvodnji proizvoda.

S obzirom da je riječ o on-line proizvodnji skladište gotovih proizvoda radi u istom vremenskom periodu kao i proizvodna linija, za razliku od skladišta, prostor za ukrcaj koristi se u periodu od 06:00 – 22:00 dok traju ukrcaji kamiona za otpremu gotovih proizvoda.

Analiza i prijedlozi poboljšanja dati su u nastavku poglavlja.

3.2.6.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja

Prostor za ukrcaj i skladište gotovih proizvoda, zbog svoje veličine nalaze se na otvorenom prostoru. Kao takvi osvijetljeni su reflektorima snage 2100 W sa metal halogenim žaruljama i priključnim naponom od 400 V. Četiri reflektora montirana su na zgradi 500 i jedan na zgradi 700, te usmjereni na prostor skladišta i ukrcaja, preostalih 18 reflektora montirano je na šest čeličnih stupova visine 24 metra.

Prema tabeli niže, vidljivo je da je prostor za ukrcaj i skladište gotovih proizvoda osvijetljen sa ukupno 48,3 kW instalirane snage, te kao takav predstavlja lokaciju sa najvećom instaliranom snagom u tvornici.

Tabela 19. Instalirana snaga prostora ukrcajnog platoa i skladišta gotovih proizvoda

Sadašnje stanje			
Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
Reflektor sa metal halogenom žaruljom	2100,0	23,0	48,3
Ukupna instalirana snaga			***48,3***

Izvor 30. Autor prema snimci izvedenog stanja

Rasvjetom se upravlja i portirnice, odakle je moguće ručno paliti reflektore i odabrati jačinu osvjetljenja. Za razliku od ostatka tvornice, u ovome je slučaju jačina osvjetljenja podijeljena u odnosu 50 % i 100 %. Pored ručnog paljenja rasvjete skladišta gotovih

proizvoda i ukrcajnog prostora, upravljački krug opremljen je i luksomatom[10] koji ovisno o prirodnom svjetlu pali i gasi rasvjetu, luksomat je postavljen na krovu portirnice.

Problemi postojećeg sustava iskazani su kroz kontinuirano nepotrebno osvjetljavanje cijele površine. Naime, tijekom proizvodnje, gotovi proizvodi slažu se uvijek na istu lokaciju na skladište gotovih proizvoda. Zbog specifičnosti proizvodnog pogona minimalno vrijeme koje se može proizvoditi jedan proizvod iznosi 30 minuta, za sustav rasvjete to znači da će tih 30 minuta biti u upotrebi jedna lokacija na skladištu, dok je ostatak nepotrebno osvijetljen.

Primjenjivo poboljšanje je korištenje sustava rasvjete na zadovoljavajućem kapacitetu za osvjetljavanje skladišne lokacije koja se koristi za skladištenje aktualnog proizvoda, dok se ostatak rasvjete može koristiti na minimalnoj snazi. Rasvjeta se neće u potpunosti gasiti na površinama koje se ne koriste zbog zadovoljavanja kriterija minimalne rasvjete koji iznosi 20 lx.

Tijekom analize slučaja istraženo je tržište i u suradnji sa renomiranim kućama koje se bave rasvjetom pristupilo se izradi svijetlo-tehničkog proračuna za zamjenu postojećih reflektorima LED tehnologijom, međutim trenutno nema jednostavnih i prihvatljivih rješenja. LED reflektori još uvijek nisu dostupni u ovako velikim snagama, već bi bilo potrebno dodavati znatan broj reflektora, što znači još stupova, građevinske radove, što sve znatno poskupljuje investiciju, te kao takvo trenutno nije prihvaćeno.

Problem će se rješavati na način kao što je to već napravljeno i na drugim lokacijama tvornice, odnosno paljenju minimalnog broja reflektora. Problem se može riješiti na način da svaki stup na minimalnoj razini osvjetljava sa jednim reflektorom, a ostatak radnik na skladištu gotovih proizvoda pali daljinskim upravljačem koji će se nalaziti u viličarima. Daljinskim upravljačem paliti će se ostala dva reflektora na dva susjedna rasvjetna stupa što će omogućiti nesmetan rad za skladištenje proizvoda. Novi sustav koji će upravljati sa dva reflektora na dva rasvjetna stupa biti će opremljen i sustavom za automatsko isključivanje sa vremenskom zadrškom od jedan sat.

Navedenim poboljšanjem ističe se novi problem a to je osvjetljavanje ukrcajnog prostora. S obzirom da je do sada rasvjeta radila uvijek na maksimalnoj snazi, uspjelo se osvijetliti i ukrcajni prostor koji se nalazi na središnjem dijelu platoa a služi za vršenje ukrcaja kamiona. Za osvjetljavanje ukrcajnog platoa ugraditi će se četiri nova dalekometna reflektora. Dalekometni reflektori su reflektori precizno usmjerenog svjetlosnog snopa, jedino takav tip svjetlosnog snopa može osigurati potrebno osvjetljenje na velikim udaljenostima kao što je ovdje slučaj.

[10] Luksomat – Svjetlosna sklopka, uređaj za automatsko paljenje i gašenje rasvjete kada intenzitet dnevnog svijetla padne/poraste ispod/iznad podešenog intenziteta na luksomatu

3.2.6.2. Prikaz ostvarivih ušteda

Primjena predloženih rješenja iz prošloga poglavlja bazirati će se na smanjenju radnih sati reflektora, primjenom navedenog rješenja dobivene su zadovoljavajuće uštede koje su prikazane u nastavku potpoglavlja.

Trenutna potrošnja izračunata je putem broja mračnih sati i ukupne instalirane snage od 48,3 kW, i kao takva iznosi na godišnjoj razini ukupno 301.392,00 kWh.

Izraz 34. Utrošak EE skladišta gotovih proizvoda prije poboljšanja sustava

$$W = 48{,}3 \cdot 6240$$

$$W = 301.392{,}00\ kWh$$

Inicijalna rasvjeta koja će kontinuirano svijetliti sačinjena je od ukupno 11 reflektora, za razliku od prijašnjih 23. Od navedenih 11 reflektora, četiri ih se nalazi na pročelju zgrade 500, kao takvi prijeko su potrebni zbog osvjetljavanja skladišta praznih paleta, transportnog puta i dijela izlaza linije iz tvornice sa gotovim proizvodima odakle viličaristi transportiraju proizvode na skladište gotovih proizvoda. Jedan reflektor nalazi se na zgradi 700 i on osvjetljava transportni put prema skladištu gotovih proizvoda, ostalih šest reflektora minimalne rasvjete nalaze se po jedan na svakome rasvjetnome stupu skladišta gotovih proizvoda.

Kod proračuna potrošnje električne energije za navedenih 11 reflektora minimalne snage računati će se sa utroškom radnih sati u iznosu od 6240 mračnih sati i potrošnjom snage od 23,1 kW. Prema navedenome minimalna rasvjeta trošiti će 144.144,00 kWh.

Izraz 35. Utrošak EE skladišta gotovih proizvoda – minimalna rasvjeta

$$W = 23{,}1 \cdot 6240$$

$$W = 144.144{,}00\ kWh$$

Tijekom analize utvrđeno je da je tijekom proizvodnje samo dio skladišta gotovih proizvoda koristi ovisno na koji se dio odlažu gotovi proizvodi. U svrhu osvjetljavanja dijela skladišta na koji slažu gotove proizvode viličaristi će posjedovati u viličaru daljinski upravljač sa radio kontrolerom koji će paliti četiri reflektora na dva susjedna reflektorska stupa. Za izračun potrošnje električne energije pomoćne rasvjete koristiti će se godišnji broj mračnih sati i ukupna snaga od 8,4 kW, iz navedenoga slijedi da je godišnja potrošnja pomoćne rasvjete 52.416,00 kWh.

Izraz 36. Utrošak EE skladišta gotovih proizvoda – pomoćna rasvjeta

$$W = 8{,}4 \cdot 6240$$

$$W = 52.416{,}00\ kWh$$

S ciljem osvjetljavanja ukrcajnog prostora dodana su četiri nova dalekometna reflektora ukupne snage 8,4 kW. Navedeni reflektori koristiti će se samo tijekom druge radne smjene odnosno u periodu od 14:00 – 22:00, tijekom 360 dana u godini, slijedi da će reflektori raditi 2880 radnih sati, te će za taj rad utrošiti 24.192,00 kWh.

Izraz 37. Utrošak EE skladišta gotovih proizvoda – rasvjeta ukrcajnog prostora

$$W = 8{,}4 \cdot 2880$$

$$W = 24.192{,}00\ kWh$$

Izraz 38. Uštede potrošnje EE skladišta gotovih proizvoda

$$W = 301.392{,}00 - (144.144{,}00 + 52.416{,}00 + 24.192{,}00)\ kWh$$

$$W = 80.640{,}00\ kWh$$

Godišnja ušteda električne energije skladišta gotovih proizvoda iznosi 80.640,00 kWh, odnosno 26,76%.

3.2.7. Vanjska rasvjeta transportnih putova i platoa

Pored skladišta gotovih proizvoda u segment vanjske rasvjete svrstava se i osvjetljavanje transportnih putova i pomoćnih površina, odnosno platoa tvornice koji će biti analizirani dalje u poglavlju. Površine su podijeljene u četiri zasebne cjeline i to:

- Južni transportni put
- Središnji plato
- Plato skladišta sirovina
- Upravna zgrada 600, prilazni put i parkiralište

3.2.7.1. Analiza sadašnjeg stanja i prijedlozi poboljšanja

Cjeline navedene u uvodnom dijelu poglavlja nisu radne površine, već putovi koji se ne koriste često, što se zbog same organizacije posla u tvornici posebno ističe u noćnoj smjeni, kada se navedene površine veoma malo koriste. Za osvjetljavanje navedenih površina koriste se natrijeve visokotlačne žarulje snaga 150, 250, 600 i 100 W, u izračunima je korištena snaga uključujući gubitke u predspojnim elementima pa slijedi da rasvjetno tijelo troši 172,5, 287,5, 690 i 1150 W.

Transportni putovi širine su osam metara, i ukupne duljine 600 metara. Kao takvi osvijetljeni su uličnim svjetiljkama sa natrijevom žaruljom snage 150 W, svjetiljke su montirane na rasvjetne stupove ili fasadu zgrade. Ukupna instalirana snaga iznosi 1,6 kW.

Površina upravne zgrade, prilaznih putova i parkirališta rasprostire se na ukupno 18.000 metara kvadratnih. Sva rasvjeta ove cjeline izvedena je uličnim svjetiljkama sa natrijevom žaruljom snage 150 W montiranim na rasvjetne stupove. Instalirana snaga iznosi 2,4 kW.

Središnji plato zauzima površinu od 7.000 metara kvadratnih i osvijetljen je reflektorima montiranim na fasadu zgrade sa natrijevom žaruljom snaga 250 ili 600 W. Instalirana snaga za osvjetljavanje središnjeg platoa iznosi 3,6 kW.

Posljednja cjelinu čini plato skladišta sirovina koji se rasprostire površinom od 10.000 metara kvadratnih. Za osvjetljavanje platoa korišteni su reflektori sa natrijevom žaruljom snaga 150, 600 i 1000 W, zajedno čine cjelinu sa najvećom instaliranom snagom od 7,5 kW.

Za osvjetljavanje svih četiriju cjelina ukupno je instalirano 15,0 kW snage električne energije. Detaljni prikaz svih snaga i korištenih rasvjetnih tijela dat je u tablici niže.

Upravljanje rasvjetom vrši se iz portirnice kao što je to slučaj sa rasvjetom ukrcajnog platoa i skladišta gotovih proizvoda. Rasvjetu je moguće paliti ručno ili automatski. U automatskom režimu rasvjeta se pali putem luksomata. Cjeline nemaju mogućnost regulacije jačine osvjetljenja što znači da kontinuirano sva rasvjeta radi na maksimalnoj instaliranoj snazi.

Kao što je u uvodnome dijelu poglavlja spomenuto navedene se površine tijekom noćne smjene veoma rijetko koriste, međutim usprkos tome sva je rasvjeta upaljena jer se njome upravlja iz druge lokacije na kojoj nema informacije je li rasvjeta potrebna ili nije. Može se reći da većinu vremena tijekom noćne smjene rasvjeta radi nepotrebno. Navedenim površinama u većini vremena koriste se operateri viličara ili utovarivača.

Tabela 20. Instalirana snaga transportnih putova i platoa

Sadašnje stanje				
Lokacija	Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
Južni transportni put	Reflektor sa natrijevom žaruljom	172,5	9,0	1,6
				1,6
Središnji plato	Reflektor sa natrijevom žaruljom	287,5	10,0	2,9
	Reflektor sa natrijevom žaruljom	690,0	1,0	0,7
				3,6
Plato skladišta sirovina	Reflektor sa natrijevom žaruljom	172,5	2,0	0,3
	Reflektor sa natrijevom žaruljom	690,0	2,0	1,4
	Reflektor sa natrijevom žaruljom	1150,0	5,0	5,8
				7,5
Upravna zgrada 600, prilazni put i parkiralište	Reflektor sa natrijevom žaruljom	172,5	14,0	2,4
				2,4
Ukupna instalirana snaga				***15,0***

Izvor 31. Autor prema snimci izvedenog stanja

Temeljni problem ovog segmenta rasvjete tvornice je nepotrebno osvjetljavanje površina na kojima se ne obavljaju nikakvi radovi i rad na maksimalnoj instaliranoj snazi. Navedeni problem može se riješiti:

- smanjenjem instalirane snage ugradnjom energetski učinkovitije rasvjete odnosno LED rasvjetnih tijela,
- smanjenjem instalirane snage postojećeg sustava i
- smanjenje radnih sati postojećeg sustava

LED rasvjetna tijela moguće je ugraditi na pozicije gdje se koriste žarulje snage 150, 250 i 600 W, dok je LED reflektor snage 1000 W još uvijek nedostupan na tržištu. Natrijevu žarulju snage 150 W moguće je zamijeniti LED reflektorom snage 80 W, čime se ostvaruje ušteda od 54 %. Snaga zamjenskog LED reflektora za natrijevu žarulju od 250 W iznosi 142 W, odnosno 51 % ušteda energije, dok je za žarulju snage 600 W to tek 29%, tj. 488 W. Cijena navedenih reflektora vrlo je visoka zbog čega navedeni prijedlog poboljšanja nije prihvaćen, ukupni iznos investicije i vrijeme povrata prikazani su poglavljem četiri.

Nasuprot navedenim nedostacima LED-a, u korist natrijevoj žarulji ide i njen visoki broj radnih sati u iznosu od 22.000 i niska cijena zamjenskih žarulja ovisno o dobavljaču i snazi cijene za npr. lampu snage 150 W se kreću do maksimalno sto hrvatskih kuna, dok za lampu snage 600 W taj je iznos oko 600 HRK. Životni vijek LED rasvjetnog tijela iznosi oko 50.000 radnih sati.

Zbog svega navedenog odlučeno je i na ovoj lokaciji primijeniti slična rješenja kao što je to i ostatku tvornice, omogućiti bolju regulaciju jačine svjetla i smanjiti broj radnih sati, a samim time i potrošnju električne energije.

Temeljem prihvaćenog rješenja modificirati će se strujni krugovi na način da se 50% rasvjete pali putem luksomata u automatskome režimu, dok će se ostatak paliti daljinskim upravljačima koji će se nalaziti kod operatera u viličarima i utovarivaču. Navedena jačina osvjetljenja zadržati će se iz sigurnosnih razloga kako bi uvijek bio zadovoljen kriterij minimalne rasvjete. Cjelina upravne zgrade 600, pristupnih prilaza i parkirališta radi malih ušteda i sigurnosnih razloga biti će izuzeta iz opsega ovoga projekta, sljedeća projektna rješenja djelovati će na lokacije: južni transportni put, središnji plato i plato skladišta sirovina.

3.2.7.1. Prikaz ostvarivih ušteda

Kao što je prethodno i opisano ostvarive uštede bazirati će se na smanjenju snage tijekom sati rada i smanjenje broja radnih sati. Trenutna potrošnja električne energije računata je prema broju sati bez sunca i maksimalnoj snazi, temeljem izračuna na godišnjoj razini ona iznosi 93.646,80 kWh.

Izraz 39. Utrošak EE skladišta transportnih sustava i platoa prije poboljšanja sustava

$$W = 15{,}0 \cdot 6240$$

$$W = 93.646{,}80\ kWh$$

Cilj je smanjenje snage na 50%, to će biti ostvareno na način da se otprilike svaka druga žarulja upali u automatskome režimu rada izuzev cjeline upravne zgrade koja se odmah pali na 100%. Tablica niže prikazuje instalirane snage rasvjetnih tijela po mikro lokacijama nakon poboljšanja sustava, temeljem tih podataka izračunata je potrošnja električne energije nakon poboljšanja sustava.

Ovakvim načinom rada smanjena je inicijalna instalirana snaga od 15,0 na 7,6 kW. Uzevši u obzir radne sate kada će rasvjeta raditi u novome režimu dobivena je potrošnja od 47.361,60 kWh.

Tabela 21. Instalirana snaga transportnih putova i platoa nakon poboljšanja sustava

Buduće stanje				
Lokacija	Tip rasvjetnog tijela	Pojedinačna snaga [W]	Količina [kom]	Instalirana snaga [kW]
Južni transportni put	Ulična svjetiljka sa natrijevom žaruljom 100%	172,5	5,0	0,9
	Ulična svjetiljka sa natrijevom žaruljom 50%	172,5	4,0	0,7
Središnji plato	Reflektor sa natrijevom žaruljom 100%	287,5	6,0	1,7
	Reflektor sa natrijevom žaruljom 50%	287,5	4,0	1,2
	Reflektor sa natrijevom žaruljom 50%	690,0	1,0	0,7
Plato skladišta sirovina	Reflektor sa natrijevom žaruljom 100%	1150,0	3,0	3,5
	Reflektor sa natrijevom žaruljom 100%	690,0	2,0	1,4
	Reflektor sa natrijevom žaruljom 50%	172,5	2,0	0,3
	Reflektor sa natrijevom žaruljom 50%	1150,0	2,0	2,3
Upravna zgrada 600, prilazni put i parkiralište	Reflektor sa natrijevom žaruljom 100%	172,5	14,0	2,4
Ukupna instalirana snaga 50%				***7,6***
Ukupna instalirana snaga 100%				***7,4***

Izvor 32. Autor prema projekciji budućeg stanja

Izraz 40. Utrošak EE skladišta transportnih sustava i platoa na 50% snage

$$W = 7{,}6 \cdot 6240$$

$$W = 47.361{,}60\ kWh$$

Analizom kretanja radnika na lokacijama koje su obrađene ovim poglavljem utvrđeno je da će lampe biti upaljene na 100 % snage minimalno vrijeme. Naime tijekom noćne smjene južni transportni put se koristi malim dijelom tijekom maksimalno 50% vremena, situacija sa središnjim platoom je još povoljnija jer se koristi tijekom 25% vremena noćne smijene, dok se plato skladišta sirovina tijekom noćne smjene u potpunosti ne koristi. Plato skladišta sirovina ne koristi se tijekom noćne smjene iz razloga što se sirovine pune u silose tijekom prve i druge smjene, jednako tako primanje kamiona sa sirovinama vrši se samo tijekom prve i druge smjene.

Temeljem prethodno opisanih proizvodnih procesa dobiveni su radni sati korišteni za izračun sustava na 100 % snage. Slijedi da će cjelina južnog transportnog puta raditi godišnje na 100 % snage tijekom 3.120 radnih sati biti će utrošeno 2.691,00 kWh. Središnji plato tijekom 1560 radnih sati na maksimalnoj snazi utrošiti će 2.691,00 kWh, dok će slučaj sa

platoom skladišta sirovina biti najpovoljniji i tijekom 624 radnih sati utrošiti će se 3.013,92 kWh.

Izraz 41. Utrošak EE skladišta južnog transportnog puta na 100% snage

$$W = 0{,}9 \cdot (6240 \cdot 0{,}5)$$

$$W = 2.691{,}00\ kWh$$

Izraz 42. Utrošak EE središnjeg platoa na 100% snage

$$W = 1{,}7 \cdot (6240 \cdot 0{,}25)$$

$$W = 2.691{,}00\ kWh$$

Izraz 43. Utrošak EE platoa skladišta sirovina na 100% snage

$$W = 4{,}83 \cdot (6240 \cdot 0{,}1)$$

$$W = 3.013{,}92\ kWh$$

Izraz 44. Godišnja potrošnja električne energije nakon primjene poboljšanja

$$W = 47.361{,}60 + 2.691{,}00 + 2.691{,}00 + 3.013{,}92$$

$$W = 55.757{,}52\ kWh$$

Ukupna potrošnja električne energije na godišnjoj razini iznosi 55.757,52 kWh, što je za 40,46% manje od sadašnjeg stanja 93.646,80 kWh. Godišnje uštede električne energije iznose 37.889,28 kWh.

4. PROCJENA TROŠKOVA I ISPLATIVOSTI INVESTICIJE

Poglavlje prikazuje sve aspekte ušteda koje će biti ostvarive realizacijom ovoga projekta. Isplativost ulaganja prikazana je uštedama električne energije, pored ušteda u poglavlju su prikazani troškovi investicije za svaki dio postrojenja te prikaz povrata uloženih sredstava. Za svaku navedenu lokaciju uzeto je u obzir više projektnih rješenja te je konačno rješenje odabrano temeljem financijskih analiza.

Izračuni su rađeni na temelju ušteda prikazanih u prethodnome poglavlju i troškova investicija prikazanim troškovnicima. Potrebno je naglasiti da će u troškovnicima biti prikazana stavka unutarnjeg rada, pri tome misleći na radne sate utrošene od strane radnika odjela elektro održavanja, kao takvi oni ne predstavljaju direktno financijsko opterećenje. Također biti će prikazana i stavka vanjskog rada, pri tome misleći na radne sate utrošene od strane vanjskih izvođača, kooperanata koji takvi predstavljaju direktno financijsko opterećenje te su i izraženi financijskim iznosom. Pored troškova rada, troškovnicima je prikazan i sažet trošak materijala. Financijski prikaz ušteda električne energije računat je prema važenjem cjeniku HEP ODS d.o.o.[11] i HEP Opskrba d.o.o.[12], sa prosječnom cijenom od 0,42475 HRK za 1,0 kWh bez uključenog poreza na dodanu vrijednost. Zbog tajnosti podataka o poslovanju i zaštite poslovnog odnosa između ROCKWOOLA i dobavljača materijala i usluga, za izradu izračuna u radu su korištene tržišne cijene materijala i usluga.

Povrat uloženih sredstava izračunat je financijskom metodom razdoblje povrata – ROI. Razdoblje povrata je statička metoda ocjene učinkovitosti. Razdoblje povrata ukazuje na period koji je potreban da bi se vratila investicija. Rezultat je pozitivan ukoliko je razdoblje povrata manje od vijeka trajanja projekta. Razdoblje povrata izračunava se prema izrazu 1[13].

Izraz 45. Razdoblje povrata investicije

$$t_p = \frac{I}{V_t}$$

Gdje su:

I – Investirani kapital

V_t – čisti godišnji novčani tokovi

t_p –period povratka

Izraz 46. Kriterij prihvaćanja projekta metodom ROI

$$P_{po} < P_{ef} - 3\ god.$$

[11] < http://www.hep.hr/ods/kupci/poduzetnistvo.aspx > (25.04.2016.)
[12] < http://www.hep.hr/opskrba/cijena.aspx > (25.04.2016.)
[13] AMIDŽIĆ D.: **"Financijski menadžment 2"**, RRIF, Zagreb, 2014., p. 17.

4.1. Unutarnja rasvjeta zgrade sirovina – ZG 200

Temeljem analize slučaja dalje u tekstu prikazani su troškovi i analize investiranja u poboljšanje sustava rasvjete zgrade sirovina. Razmatrana su tri rješenja i to:

1) Upravljanje radnim satima sustava rasvjete
2) Zamjena rasvjetnih tijela sa fluorescentnim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima
3) Zamjena rasvjetnih tijela sa fluorescentnim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima i upravljanje radnim satima sustava rasvjete

Investiranje u prvi prijedlog poboljšanja koji podrazumijeva spajanje rasvjete na PLC i SCADA sustav, te putem istog upravljanje radnim satima sustava rasvjete iziskuje najmanja novčana sredstva. Za realizaciju ovog poboljšanja prema prikazanome troškovniku potrebna su financijska sredstva u iznosu od 10.500,00 HRK. Temeljem izračunatih ušteda električne energije dobiven je iznos godišnje uštede električne energije od 21.072,22 HRK, što dovodi do povrata investicije već u šestom mjesecu nakon ulaganja.

Tabela 22. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 200

Rb.	Opis stavke	Iznos
1	PLC oprema	2.000,00 kn
2	Električni kablovi	4.000,00 kn
3	Sklopna oprema	1.000,00 kn
4	Unutarnji rad	- kn
5	Nepredvidivi troškovi	3.500,00 kn
Iznos investicije		***10.500,00 kn***

Izvor 33. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tabela 23. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 200

Godina	Iznos investicije [HRK]	Godišnje uštede [kWh]	Godišnje uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	10.500,00			-10.500,00
1		49.610,88	21.072,22	10.572,22
2		49.610,88	21.072,22	31.644,44
3		49.610,88	21.072,22	52.716,66
Povrat investicije - 5,98 mjeseci				

Izvor 34. Autor prema projekciji budućeg stanja

Realizacija drugog prijedloga poboljšanja iziskuje znatno veća financijska ulaganja u iznosu od 216.700,00 HRK. Kao što je već spomenuto drugi prijedlog poboljšanja uključuje zamjenu fluorescentnih rasvjetnih tijela sa LED rasvjetnim tijelima istog svjetlosnog toka.

Tabela 24. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 200

Rb.	Opis stavke	Iznos
1	Rasvjetno tijelo LED 24W	55.000,00 kn
2	Rasvjetno tijelo LED 2x24W	142.000,00 kn
3	Unutarnji rad	- kn
4	Nepredvidivi troškovi	19.700,00 kn
Iznos investicije		***216.700,00 kn***

Izvor 35. Autor prema projekciji budućeg stanja

Primjenom ovog rješenja, bez smanjenja radnih sati sustava rasvjete, samo ugradnjom energetski učinkovita rasvjete, moguće je ostvariti godišnje uštede od 57.777,55 kWh, odnosno, 24.541,02 HRK. S navedenim uštedama povrat investicije trajao bi 8 godina i 5,6 mjeseci, te je on kao takav neprihvatljiv, jer je interno pravilo ROCKWOOL grupe da investicija mora biti povraćena nakon tri godine.

Tabela 25. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 200

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	216.700,00			-216.700,00
1		57.777,55	24.541,02	-192.158,98
2		57.777,55	24.541,02	-167.617,97
3		57.777,55	24.541,02	-143.076,95
4		57.777,55	24.541,02	-118.535,94
5		57.777,55	24.541,02	-93.994,92
6		57.777,55	24.541,02	-69.453,90
7		57.777,55	24.541,02	-44.912,89
8		57.777,55	24.541,02	-20.371,87
9		57.777,55	24.541,02	4.169,14
Povrat investicije - 8 godina i 5,6 mjeseci				

Izvor 36. Autor prema projekciji budućeg stanja

Posljednji prijedlog poboljšanja predstavlja kombinaciju prethodna dva, ulaganje u energetski učinkovitija rasvjetna tijela i upravljanje radnim satima sustava rasvjete kako je to već prethodno opisano. Navedenom kombinacijom ostvarilo bi se smanjenje broja radnih sati te smanjenje instalirane snage što u konačnici rezultira godišnjim uštedama od 78.353,01 kWh, odnosno 33.280,44 HRK. Financijska sredstva potrebna za realizaciju iznose 227.200,00 HRK, što znači da će vrijeme povrata investicije iznositi 6 godina i 5,6 mjeseci.

Tabela 26. Prikaz povrata investicije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 200

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	227.200,00			-227.200,00
1		78.353,01	33.280,44	-193.919,56
2		78.353,01	33.280,44	-160.639,12
3		78.353,01	33.280,44	-127.358,67
4		78.353,01	33.280,44	-94.078,23
5		78.353,01	33.280,44	-60.797,79
6		78.353,01	33.280,44	-27.517,35
7		78.353,01	33.280,44	5.763,10
8		78.353,01	33.280,44	39.043,54
9		78.353,01	33.280,44	72.323,98
Povrat investicije - 6 godina i 5,6 mjeseci				

Izvor 37. Autor prema projekciji budućeg stanja

4.2. Unutarnja rasvjeta zgrade kupolne peći – ZG 300

Zgrada kupolne peći predstavlja lokaciju sa povećanim brojem radnih sati boravka operatera na lokaciji, radi čega će prikazane uštede biti nešto manji nego što je to slučaj u ostatku tvornice. Kod izračuna ušteda i vremena povrata investicije u obzir su uzeta tri prijedloga poboljšanja sustava:

1) Upravljanje vremenom radnih sati sustava rasvjete
2) Zamjena rasvjetnih tijela sa metal halogenim žaruljama, indukcijskim i fluorescentnim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima
3) Zamjena rasvjetnih tijela sa metal halogenim žaruljama, indukcijskim i fluorescentnim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima i upravljanje vremenom radnih sati

Prvi prijedlog poboljšanja iziskuje najmanja financijska sredstva, međutim jednako tako rezultira i najmanjim uštedama od navedenih poboljšanja. Kao što je to bio slučaj kod zgrade sirovina opisane prošlim potpoglavljem, prvi prijedlog poboljšanja se bazira na smanjenju broja radnih sati rasvjete kako je to detaljnije opisano u trećem poglavlju. Trošak materijala potrebnog za realizaciju poboljšanja sukladno troškovniku niže iznosi ukupno 30.750,00 HRK. Realizacijom projekta ostvarivale bi se godišnje uštede od 67.873,68 kWh električne energije, odnosno 28.829,35 HRK.

Vidljivo je da su ulaganja malo veća od godišnjih ušteda što ima veoma pozitivan učinak na povrat investicije koja će prema izračunu prikazanom tabelom niže iznositi godina dana od primjene poboljšanja.

Tabela 27. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 300

Rb.	Opis stavke	Iznos
1	PLC oprema	2.000,00
2	Električni kablovi	4.000,00
3	Sklopna oprema	2.000,00
4	Rasvjetno tijelo FLUO 4x58W - 5 komada	12.500,00
5	Unutarnji rad	0,00
6	Nepredvidivi troškovi	10.250,00
Iznos investicije		***30.750,00***

Izvor 38. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tabela 28. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 300

Godina	Iznos investicije [HRK]	Godišnje uštede [kWh]	Godišnje uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	30.750,00			-30.750,00
1		67.873,68	28.829,35	-1.920,65
2		67.873,68	28.829,35	26.908,69
3		67.873,68	28.829,35	55.738,04
Povrat investicije - 1 godina i 0,8 mjeseci				

Izvor 39. Autor prema projekciji budućeg stanja

Drugi prijedlog poboljšanja razmatra zamjenu postojećih rasvjetnih tijela sa rasvjetnim tijelima koje koriste LED kao izvor svijetla. Sukladno analizi napravljen je troškovnik materijala koji predviđa četiri vrste novih rasvjetnih tijela koja mogu zamijeniti trenutno postavljenih šest tipova rasvjetnih tijela. S obzirom da se radi o većoj količini, ukupno 109 rasvjetnih tijela pridodajući i k tome najam vanjskih radnika i platforme za rad na visini vrijednost investicije je ukupno iznosi 335.808,00 HRK.

Navedenim ulaganjem moguće je ostvarivati godišnje uštede električne energije od 92.646,72 kWh. Vidljivo je da su nastale uštede zbog ugradnje energetski učinkovitije rasvjete znatno veće nego što je to slučaj kod prethodnog prijedloga, međutim zbog visokog iznosa investicije one nisu financijski opravdane. Uštede električne energije rezultiraju financijskim uštedama od 39.351,69 HRK, što za posljedicu ima negativni učinak na povrat investicije koji je moguće ostvariti nakon osam godina i šest mjeseci od primjene poboljšanja.

Tabela 29. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 300

Rb.	Opis stavke	Količina [kom.]	Jedinična cijena [HRK]	Ukupno [HRK]
1	Rasvjetno tijelo LED 48W – zamjena FLUO 74 W	45	2.000,00	90.000,00
2	Rasvjetno tijelo LED 44W – zamjena FLUO 2x58 W	12	1.200,00	14.400,00
3	Viseća LED svjetiljka 120W – zamjena IND. 165 W	8	3.500,00	28.000,00
4	Viseća LED svjetiljka 144W – zamjena MH 250 W	44	3.700,00	162.800,00
6	Vanjski rad – Najam radnika i platforme za rad na visini	1	10.080,00	10.080,00
7	Unutarnji rad			0,00
8	Nepredvidivi troškovi - 10%			30.528,00
Iznos investicije				***335.808,00***

Izvor 40. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tabela 30. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 300

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	335.808,00			-335.808,00
1		92.646,72	39.351,69	-296.456,31
2		92.646,72	39.351,69	-257.104,61
3		92.646,72	39.351,69	-217.752,92
4		92.646,72	39.351,69	-178.401,22
5		92.646,72	39.351,69	-139.049,53
6		92.646,72	39.351,69	-99.697,83
7		92.646,72	39.351,69	-60.346,14
8		92.646,72	39.351,69	-20.994,45
9		92.646,72	39.351,69	18.357,25
Povrat investicije - 8 godina i 6,4 mjeseca				

Izvor 41. Autor prema projekciji budućeg stanja

Smanjenjem instalirane snage električne energije koje se ostvaruje realizacijom drugoga prijedloga poboljšanja uz istovremeno ulaganje u sustav upravljanja rasvjetom s ciljem smanjenja radnih sati ostvaruju se najveće uštede koje su predstavljene trećim prijedlogom poboljšanja. Realizacija trećeg prijedloga poboljšanja zahtjeva financijska ulaganja od 354.058,00 HRK, iznos ulaganja zanemarivo je veći od ulaganja u drugi prijedlog poboljšanja, međutim ostvarive uštede su znatno veće i ukupno iznose 127.276,38 kWh električne energije na godišnjoj razini. Smanjenjem potrošnje električne energije moguće je ostvariti 54.060,64 HRK godišnjih ušteda, što rezultira i kraćim povratom investicije, u ovome slučaju to je period od šest godina i sedam mjeseci.

Tabela 31. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 300

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	354.058,00			-354.058,00
1		127.276,38	54.060,64	-299.997,36
2		127.276,38	54.060,64	-245.936,72
3		127.276,38	54.060,64	-191.876,07
4		127.276,38	54.060,64	-137.815,43
5		127.276,38	54.060,64	-83.754,79
6		127.276,38	54.060,64	-29.694,15
7		127.276,38	54.060,64	24.366,50
Povrat investicije - 6 godina i 6,59 mjeseci				

Izvor 42. Autor prema projekciji budućeg stanja

4.3. Unutarnja rasvjeta zgrade peći za polimerizaciju – ZG 400

Poglavlje daje uvid u izračune na kojim su temeljene odluke o prihvaćenim poboljšanjima sustava rasvjete zgrade peći za polimerizaciju. Prihvaćeno poboljšanje rasvjete zgrade peći za kaljenje prikazano je prvim prijedlogom poboljšanja. Iako drugo i treće poboljšanje radi tehničkih ograničenja izračuni su izvršeni te su kao takvi i primjenjivi u budućnosti. Kod izračuna ušteda korištena su tri ustaljena modela i to:

1) Upravljanje radnim satima sustava rasvjete
2) Zamjena rasvjetnih tijela sa metal halogenim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima
3) Zamjena rasvjetnih tijela sa metal halogenim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima i upravljanje radnim satima sustava rasvjete

Prvo rješenje uključuje spajanje sustava rasvjete na PLC sustav tvornice kako bi se istim moglo lakše upravljati i pratiti. Realizacija navedenog poboljšanja zahtjeva financijska sredstva u iznosu od 7.500,00 HRK. Upravo zbog malih uloženih sredstava, primjena ovog rješenja osigurava veoma brzi povrat uloženih sredstava, već nakon nešto manje od pola godine, što je iznimno brzo. Nakon realizacije poboljšanja na sustavu rasvjete zgrade peći za polimerizaciju predviđene su godišnje uštede od 37.726,08 kWh, odnosno 16.024,15 HRK.

Tabela 32. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 400

Rb.	Opis stavke	Iznos
1	PLC oprema	2.000,00 kn
2	Električni kablovi	1.000,00 kn
3	Sklopna oprema	2.000,00 kn
4	Unutarnji rad	- kn
5	Nepredvidivi troškovi	2.500,00 kn
Iznos investicije		***7.500,00 kn***

Izvor 43. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tabela 33. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 400

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	7.500,00			-7.500,00
1		37.726,08	16.024,15	8.524,15
2		37.726,08	16.024,15	24.548,30
3		37.726,08	16.024,15	40.572,46
Povrat investicije - 5,62 mjeseca				

Izvor 44. Autor prema projekciji budućeg stanja

Dugi prijedlog poboljšanja uključuje zamjenu klasičnih metal halogeni rasvjetnih lampi, LED rasvjetnim tijelima povećane energetske učinkovitosti. Investicija iznosi 82.800,00 HRK, te uključuje rad i materijal potreban za realizaciju poboljšanje prema troškovniku prikazanom u tabeli 34. Samim investiranjem u energetski učinkoviti rasvjetu bez smanjenja radnih sati nije moguće ostvariti povrat uloženih sredstava u željenom roku, u konkretnome slučaju povrat uloženih sredstava vraća se nakon devet godina i pet mjeseci što je neprihvatljivo. Tijekom eksploatacije moguće je ostvariti godišnje uštede od 22.740,48 kWh, odnosno 9.659,02 HRK.

Tabela 34. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 400

Rb.	Opis stavke	Iznos
1	Rasvjetno tijelo LED 150 W	60.000,00 kn
2	Unutarnji rad	- kn
3	Vanjski rad - najam radnika i platforme za rad na visini	16.800,00 kn
4	Nepredvidivi troškovi	6.000,00 kn
Iznos investicije		***82.800,00 kn***

Izvor 45. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tabela 35. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 400

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	82.800,00			-82.800,00
1		22.740,48	9.659,02	-73.140,98
2		22.740,48	9.659,02	-63.481,96
3		22.740,48	9.659,02	-53.822,94
4		22.740,48	9.659,02	-44.163,92
5		22.740,48	9.659,02	-34.504,91
6		22.740,48	9.659,02	-24.845,89
7		22.740,48	9.659,02	-15.186,87
8		22.740,48	9.659,02	-5.527,85
9		22.740,48	9.659,02	4.131,17
10		22.740,48	9.659,02	13.790,19
Povrat investicije - 9 godina, 4,43 mjeseca				

Izvor 46. Autor prema projekciji budućeg stanja

Realizacija trećeg prijedloga poboljšanja predstavlja kombinaciju prvog i drugog poboljšanja te kao takva iziskuje nešto veća novčana sredstva nego što je to bio slučaj sa drugim prijedlogom. Ukupna investicija iznosila bi 90.300,00 HRK, zbog smanjenja broja radnih sati, uštede su znatno veće nego što je to prethodno bio slučaj i kao takve iznose 41.901,89 kWh godišnje. Sa navedenim uštedama električne energije ostvaruju se godišnje uštede od 17.797,83 HRK, što rezultira povratom uloženih sredstava u periodu od pet godina i šest mjeseci.

Tabela 36. Prikaz povrata investicije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 400

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	90.300,00			-90.300,00
1		41.901,89	17.797,83	-72.502,17
2		41.901,89	17.797,83	-54.704,35
3		41.901,89	17.797,83	-36.906,52
4		41.901,89	17.797,83	-19.108,69
5		41.901,89	17.797,83	-1.310,87
6		41.901,89	17.797,83	16.486,96
Povrat investicije - 5 godina, 6,03 mjeseca				

Izvor 47. Autor prema projekciji budućeg stanja

4.4. Unutarnja rasvjeta zgrade oblikovanja i pakiranja – ZG 500

Poglavlje prikazuje trošak investicije zahvata modernizacije i poboljšanja rasvjete zgrade 500. Analizirana su tri prijedloga poboljšanja, od kojih je jedno i prihvaćeno. Kao što je to bio i slučaj sa prethodnim lokacijama, razmatrani su sljedeći prijedlozi poboljšanja:

1) Upravljanje vremenom radnih sati sustava rasvjete
2) Zamjena rasvjetnih tijela sa metal halogenim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima
3) Zamjena rasvjetnih tijela sa metal halogenim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima, upravljanje vremenom radnih sati i jačinom svjetlosti rasvjete

Temeljenim analize napravljeni su troškovnici i financijske projekcije potrebnih novčanih sredstava. Novčana sredstva za realizaciju prvoga prijedloga poboljšanja iznose 48.120,00 HRK, navedeni iznos uključuje sav materijal i rad vanjskih suradnika potreban za realizaciju poboljšanja. Poboljšanje uključuje novi raspored rasvjetnih tijela koji omogućuje gašenje rasvjete na lokacijama gdje nije potrebna, te paljenje ostatka rasvjete putem luksmetra što rezultira manjim broje radnih sati, a samim time i većim uštedama.

Realizacijom prvoga prijedloga poboljšanja moguće je postići uštede od 33.792,00 kWh, što i nije mnogo, svega 10 % od trenutne potrošnje. Sa navedenim uštedama električne energije postižu se financijske uštede od 14.353,15 HRK, što uz navedeno ulaganje rezultira povratom uloženih sredstva u periodu od tri godine i četiri mjeseca.

Tabela 37. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500

Rb.	Opis stavke	Iznos
1	Sklopna oprema	3.000,00 kn
2	PLC oprema	3.000,00 kn
3	Luksmetar	2.000,00 kn
4	Električni kablovi	12.500,00 kn
5	Potrošni materijal	2.000,00 kn
6	Vanjski rad - najam radnika i platforme za rad na visini	17.600,00 kn
7	Unutarnji rad	- kn
8	Nepredvidivi troškovi - 20%	8.020,00 kn
Iznos investicije		***48.120,00 kn***

Izvor 48. Autor

Tabela 38. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	48.120,00			-48.120,00
1		33.792,00	14.353,15	-33.766,85
2		33.792,00	14.353,15	-19.413,70
3		33.792,00	14.353,15	-5.060,54
4		33.792,00	14.353,15	9.292,61
5		33.792,00	14.353,15	23.645,76
Povrat investicije - 3 godine, 4,23 mjeseca				

Izvor 49. Autor

Realizacija drugoga prijedloga poboljšanja uključuje zamjenu postojećih rasvjetnih tijela sa metal halogenim žaruljama snage 400 W, sa LED rasvjetnim tijelima. Takav zahvat iziskuje mnogo veća financijska sredstva i to u iznosu od čak 530.398,00 HRK, od čega 450.398,00 HRK je cijena potrebnog materijala, dok 85.00,00 HRK su potrebna sredstva za izvođenje radova.

Tabela 39. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500

Rb.	Opis stavke	Količina [kom.]	Jedinična cijena [HRK]	Ukupno [HRK]
1	Rasvjetno tijelo LED 120W	106	3.500,00	371.000,00
2	Električni kablovi	1500	10,00	15.000,00
3	Instalacijski pribor	1	8.000,00	8.000,00
4	Ovjesni pribor	106	30,00	3.180,00
6	Vanjski rad - najam radnika i platforme za rad na visini	1	85.000,00	85.000,00
7	Unutarnji rad			0,00
8	Nepredvidivi troškovi - 10%			48.218,00
Iznos investicije				***530.398,00***

Izvor 50. Autor

Veliki broj instaliranih lampi sa znatno većom energetskom učinkovitošću rezultira i velikim uštedama električne energije u iznosu od 220.838,40 kWh, što je mnogo više nego što je to bio slučaj sa prvim prijedlogom poboljšanja. Sa uštedama električne energije od 66 % trenutne potrošnje ostvaruju se novčane uštede na godišnjoj razini od 93.801,11, što prema izračunu dovodi do povrata investicije nakon pet godina i osam mjeseci eksploatacije projekta.

Tabela 40. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	530.398,00			-530.398,00
1		220.838,40	93.801,11	-436.596,89
2		220.838,40	93.801,11	-342.795,78
3		220.838,40	93.801,11	-248.994,67
4		220.838,40	93.801,11	-155.193,56
5		220.838,40	93.801,11	-61.392,45
6		220.838,40	93.801,11	32.408,66
Povrat investicije - 5 godina, 7,85 mjeseci				

Izvor 51. Autor

Za razliku od prethodno analiziranih lokacija, treći prijedlog nije kombinacija prva dva, već je uključena još jedna novina, a to je upravljanje jačinom svjetlosnoga toka. Za potrebe regulacije svjetlosnoga toka, dodatni elektro ormar sa zaštitnim i upravljačkim elementima, što rezultira krajnjim iznosom investicije od 546.898,00 HRK. Upravljanje radnim satima i svjetlosnim tokom ostvaruju se rekordne uštede od gotovo 85 % inicijalne potrošnje električne energije, odnosno 278.229,60 kWh godišnje. Sa godišnjim uštedama od 118.178,02 HRK, investicija može biti povraćena unutar četiri godine i osam mjeseci. Iako je sam povrat investicije izvan postavljenog roka od tri godine, zbog vrlo velikih godišnjih ušteda, donesena je odluka o investiranju u ovaj prijedlog poboljšanja, nakon pete godine projekt će ostvarivati godišnju dobit od 118.178,02 HRK.

Tabela 41. Troškovnik realizacije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500

Rb.	Opis stavke	Količina [kom.]	Jedinična cijena [HRK]	Ukupno [HRK]
1	Rasvjetno tijelo LED 120W	106	3.500,00	371.000,00
2	Električni kablovi	1500	10,00	15.000,00
3	Instalacijski pribor	1	8.000,00	8.000,00
4	Ovjesni pribor	106	30,00	3.180,00
5	Luksmetar	1	2.000,00	2.000,00
6	Elektro ormar sa zaštitnom i opremom za upravljanje	1	10.000,00	10.000,00
7	PLC oprema	1	3.000,00	3.000,00
8	Vanjski rad - najam radnika i platforme za rad na visini	1	85.000,00	85.000,00
9	Unutarnji rad			0,00
10	Nepredvidivi troškovi - 10%			49.718,00
Iznos investicije				***546.898,00***

Izvor 52. Autor

Tabela 42. Prikaz povrata investicije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	546.898,00			-546.898,00
1		278.229,60	118.178,02	-428.719,98
2		278.229,60	118.178,02	-310.541,95
3		278.229,60	118.178,02	-192.363,93
4		278.229,60	118.178,02	-74.185,91
5		278.229,60	118.178,02	43.992,11
Povrat investicije - 4 godine, 7,53 mjeseca				

Izvor 53. Autor

4.5. Unutarnja rasvjeta ureda i garderoba ZG 600

Unutarnja zgrada rasvjeta ureda i garderoba koje se nalaze u zgradi uprave ZG 600 izvedena je u potpunosti rasvjetnim tijelima sa fluorescentnim žaruljama kao što je to bio slučaj zgrade sirovina. I kod rješavanja problematike ove lokacije primijenjena su tri rješenja koja su već prethodno u radu bila zastupljena, ista su niže navedena i opisana dalje u tekstu:

1) Upravljanje radnim satima sustava rasvjete
2) Zamjena rasvjetnih tijela sa fluorescentnim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima
3) Zamjena rasvjetnih tijela sa fluorescentnim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima i upravljanje radnim satima sustava rasvjete

Za razliku od ostatka tvornice unutar upravne zgrade sustav rasvjete neće biti spojen na PLC i SCADA sustav iz razloga što je jednostavnije rješenje bilo ugraditi vremenske releje i postojeće jednopolne prekidače zamijeniti jednopolnim tipkalima za paljenje rasvjete. Prijedlog rješenja uključuje sklopnu opremu za paljenja električkih napajačkih krugova, ugradnju vremenskih releja za automatsko isključivanje te tipkala koja zamjenjuju prekidače.

Trošak materijala čiju će ugradnju vršiti interni radnici iznosi 8.250,00 HRK, što je veoma povoljno u odnosu na moguće ostvarive uštede. Ostvarive uštede na godišnjoj razini jesu 25.651,66 kWh, što iznosi 10.895,54 HRK, iz navedenoga se vidi da je godišnja ušteda veća od same investicije, te proizlazi da je vrijeme povrata uloženih sredstava samo devet mjeseci. Detaljni prikaz povrata investicije dat je tablicom 44.

Tabela 43. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 600

Rb.	Opis stavke	Iznos
1	Sklopna oprema	2.000,00 kn
2	Vremenski releji	3.000,00 kn
3	Potrošni materijal	500,00 kn
4	Unutarnji rad	- kn
5	Nepredvidivi troškovi	2.750,00 kn
Iznos investicije		***8.250,00 kn***

Izvor 54. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tabela 44. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 600

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	8.250,00			-8.250,00
1		25.651,66	10.895,54	2.645,54
2		25.651,66	10.895,54	13.541,09
3		25.651,66	10.895,54	24.436,63
Povrat investicije - 9,09 mjeseci				

Izvor 55. Autor prema projekciji budućeg stanja

Drugi prijedlog poboljšanja uključuje zamjenu postojećih rasvjetnih tijela, LED rasvjetnim tijelima. Prednost fluorescentnih žarulja je što su klasificirane energetskim razredom A klase, što znači da su s aspekta energetske učinkovitosti prilično pri vrhu ljestvice. Sa druge strane ova prednost fluorescentnih žarulja, te visoka cijena LED rasvjetnih tijela glavni su razlog nepovoljnih pokazatelja ulaganja u LED rasvjetu kao što je to predviđeno ovim prijedlogom te odbijeno nakon financijske analize.

Unutar zgrade 600 instalirano je ukupno 70 rasvjetnih tijela različit snaga koje je potrebno zamijeniti. Sa prosječnom cijenom od cca. 1.130,00 HRK, po rasvjetnom tijelu dobivena je veoma visok iznos cijene osnovnog materijala potrebnog za realizaciju investicije od 81.200,00 HRK, uključujući potrošni materijal i potrebite rezerve za nepredvidive troškove ukupan iznos investicije penje se na 98.120,00 HRK. Ulaganjem u ovaj prijedlog poboljšanja moguće je godišnje uštediti 12.787,20 kWh, odnosno 5.431,36 HRK. Vidljiv je veliki razmjer između ukupnog iznosa investicije i ostvarivih godišnjih ušteda što rezultira i neprihvatljivim povratom investicije, ukupno ulaganje bilo bi povraćeno tek nakon 18 godina, dok bi se u 19. godini ostvarila dobit od 5.075,90 HRK.

Tabela 45. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 600

Rb.	Opis stavke	Iznos
1	Rasvjetno tijelo 26 komada LED 44 W	31.200,00 kn
2	Rasvjetno tijelo 30 komada LED 2x12 W	36.000,00 kn
3	Rasvjetno tijelo 14 komada LED 24 W	14.000,00 kn
4	Potrošni materijal	8.000,00 kn
5	Unutarnji rad	- kn
6	Nepredvidivi troškovi	8.920,00 kn
Iznos investicije		***98.120,00 kn***

Izvor 56. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tabela 46. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 600

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	98.120,00			-98.120,00
1		12.787,20	5.431,36	-92.688,64
2		12.787,20	5.431,36	-87.257,27
3		12.787,20	5.431,36	-81.825,91
4		12.787,20	5.431,36	-76.394,55
5		12.787,20	5.431,36	-70.963,18
6		12.787,20	5.431,36	-65.531,82
7		12.787,20	5.431,36	-60.100,46
8		12.787,20	5.431,36	-54.669,09
9		12.787,20	5.431,36	-49.237,73
10		12.787,20	5.431,36	-43.806,37
11		12.787,20	5.431,36	-38.375,00
12		12.787,20	5.431,36	-32.943,64
13		12.787,20	5.431,36	-27.512,28
14		12.787,20	5.431,36	-22.080,92
15		12.787,20	5.431,36	-16.649,55
16		12.787,20	5.431,36	-11.218,19
17		12.787,20	5.431,36	-5.786,83
18		12.787,20	5.431,36	-355,46
19		12.787,20	5.431,36	5.075,90
20		12.787,20	5.431,36	10.507,26
Povrat investicije - 18 godina				

Izvor 57. Autor prema projekciji budućeg stanja

Treći prijedlog poboljšanja ima kraći povrat uloženih sredstava nego što je to bio slučaj sa prethodnim prijedlogom poboljšanja. Treći prijedlog pored ulaganja u LED rasvjetna tijela

uključuje i instaliranje vremenskih releja za automatsko gašenje rasvjete. Investicija uključuje materijal iz prethodna dva troškovnika, te iznosi 106.370,00 HRK. Iako je ulaganje veće od onog prikazanom drugim prijedlogom poboljšanja, zbog sustava automatskog isključivanja rasvjete vrijeme povrata uloženih sredstava je kraće i iznosi 8 godina i 10 mjeseci. Ovim prijedlogom moguće je ostvarivati godišnje uštede od 28.352,66 kWh, odnosno 12.042,79 HRK, koje u desetoj godini predstavljaju čistu dobit.

Tabela 47. Prikaz povrata investicije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 600

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	106.370,00			-106.370,00
1		28.352,66	12.042,79	-94.327,21
2		28.352,66	12.042,79	-82.284,42
3		28.352,66	12.042,79	-70.241,62
4		28.352,66	12.042,79	-58.198,83
5		28.352,66	12.042,79	-46.156,04
6		28.352,66	12.042,79	-34.113,25
7		28.352,66	12.042,79	-22.070,45
8		28.352,66	12.042,79	-10.027,66
9		28.352,66	12.042,79	2.015,13
10		28.352,66	12.042,79	14.057,92
Povrat investicije - 8 godina i 10 mjeseci				

Izvor 58. Autor prema projekciji budućeg stanja

Nakon provedenih financijskih analiza donesena je odluka o ulaganju u prvi prijedlog poboljšanja.

4.6. Vanjska rasvjeta ukrcajnog platoa i skladišnog prostora

Kao što je tijekom analize slučaja navedeno, lokacija ukrcajnog platoa i skladišnog prostora osvjetljava se reflektorima velikih snaga postavljenim na rasvjetne stupove. Trenutno na tržištu ne postoje adekvatni reflektori sa LED rasvjetnim tijelima koji mogu zamijeniti postojeće, radi navedenoga u ovome poglavlju prikazan je samo jedan prijedlog poboljšanja.

Prijedlog poboljšanja uključuje kontrolu rasvjete putem PLC-a i daljinskih upravljača s ciljem smanjenja radnih sati kako je to detaljnije prikazano poglavljem tri, te ugradnju dalekometnih reflektora za osvjetljavanje ukrcajnog platoa. Trošak materijala i radova potrebnih za realizaciju poboljšanja iznosi 61.600,00 HRK. Nakon poboljšanja sustava, ostvarivale bi se godišnje od 80.640,00 kWh, odnosno 34.251,84 HRK što rezultira povratom

uloženih sredstava već nakon jedne godine i deset mjeseci te čini investiciju financijski opravdanom.

Tabela 48. Troškovnik realizacije poboljšanja sustava rasvjete ukrcajnog platoa i skladišnog prostora

Rb.	Opis stavke	Iznos
1	Dalekometni reflektori 2 kW	45.000,00 kn
2	Električni kablovi	1.000,00 kn
3	Sklopna oprema	2.000,00 kn
4	PLC oprema	5.000,00 kn
5	Daljinski upravljači	2.000,00 kn
6	Potrošni materijal	1.000,00 kn
7	Unutarnji rad	- kn
8	Nepredvidivi troškovi	5.600,00 kn
Iznos investicije		***61.600,00 kn***

Izvor 59. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tabela 49. Prikaz povrata investicije poboljšanja sustava rasvjete ukrcajnog platoa i skladišnog prostora

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	61.600,00			-61.600,00
1		80.640,00	34.251,84	-27.348,16
2		80.640,00	34.251,84	6.903,68
3		80.640,00	34.251,84	41.155,52
Povrat investicije - 1 godina i 9,58 mjeseci				

Izvor 60. Autor prema projekciji budućeg stanja

4.7. Vanjska rasvjeta transportnih putova i platoa

Sustav rasvjete transportnih putova i platoa prema potrošnji električne energije nalazi se u sredini prema godišnjoj potrošnji električne energije. Kao što je već u poglavlju tri opisano, sve su lokacije osvijetljene rasvjetnim tijelima sa visokotlačnim natrijevim žaruljama, od kojih je neke moguće zamijeniti LED rasvjetnim tijelima. Kod rješavanja problematike analizirana su tri rješenja koja se već spominju u radu i to:

1) Upravljanje radnim satima sustava rasvjete
2) Zamjena dijela rasvjetnih tijela sa visokotlačnim natrijevim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima
3) Zamjena dijela rasvjetnih tijela sa visokotlačnim natrijevim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima i upravljanje radnim satima sustava rasvjete

Kao što se već pokazalo u radu, prvo rješenje, koje uključuje upravljanje rasvjetom, odnosno kontrolom radnih sati iste iziskuje najmanja financijska sredstva, u ovome slučaju to je iznos od 12.100,00 HRK. Specifikacija opreme i rada prikazana je troškovnikom niže. S obzirom na veoma mali iznos ulaganja može se očekivati i kratki vijek povrata investicije što je u ovome slučaju i potvrđeno, te on iznosi samo devet mjeseci. Nakon ulaganja u ovaj prijedlog poboljšanja utrošak električne energije sustava rasvjete transportnih putova i platoa iznosio bi 37.889,28 kWh, odnosno 16.093,47 HRK.

Tabela 50. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete transportnih putova i platoa

Rb.	Opis stavke	Iznos
1	Električni kablovi	1.000,00 kn
2	Sklopna oprema	2.000,00 kn
3	PLC oprema	5.000,00 kn
4	Daljinski upravljači	2.000,00 kn
5	Potrošni materijal	1.000,00 kn
6	Unutarnji rad	- kn
7	Nepredvidivi troškovi	1.100,00 kn
Iznos investicije		***12.100,00 kn***

Izvor 61. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tabela 51. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete transportnih putova i platoa

Sadašnja rasvjeta sa automatskim isključivanjem				
Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	12.100,00			-12.100,00
1		37.889,28	16.093,47	3.993,47
2		37.889,28	16.093,47	20.086,94
3		37.889,28	16.093,47	36.180,42
Povrat investicije – 9,02 mjeseca				

Izvor 62. Autor prema projekciji budućeg stanja

Kod razmatranja drugoga prijedloga poboljšanja analizirana je projekcija ulaganja u zamjenu rasvjetnih tijela sa visokotlačnim natrijevim žaruljama sa LED rasvjetnim tijelima. Prilikom razmatranja ušteda u drugi prijedlog poboljšanja nije uzeta u obzir potrošnja kompletnog sustava, jer ona uključuje i potrošnju električne energije pet komada reflektora snage jedan kilowat koje nije moguće zamijeniti LED rasvjetnim tijelima.

Trošak zamjene uključuje nabavku materijala, trošak vanjskih radnika i platforme za rad na visini s obzirom da su sva rasvjetna tijela montirana na visini između šest i šesnaest metara što dodatno povećava vrijednost investicije. Ukupno ulaganje iznosi 274.120,00 HRK, tijekom eksploatacije ostvarivale bi se godišnje uštede u iznosu od 27.290,64 kWh, tj. 11.591,70 HRK, navedeno rezultira veoma dugim vremenom povrata investicije u trajanju od dvadeset tri godine i osam mjeseci. Kao što je vidljivo rezultat je veoma nepovoljan te dovodi do zaključka da nije isplativo ulaganje u ovaj prijedlog poboljšanja. Uzrok ovako iznimno nepovoljnog rezultata je veoma visoka cijena LED reflektora, i manja energetska učinkovitost kod reflektora većih snaga.

Tabela 52. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete transportnih putova i platoa

Rb.	Opis stavke	Iznos
1	Rasvjetno tijelo LED 80 W	125.000,00 kn
2	Rasvjetno tijelo LED 142 W	70.000,00 kn
3	Rasvjetno tijelo LED 488 W	30.000,00 kn
4	Potrošni materijal	1.000,00 kn
5	Unutarnji rad	- kn
6	Vanjski rad - najam radnika i platforme za rad na visini	23.200,00 kn
8	Nepredvidivi troškovi	24.920,00 kn
Iznos investicije		***274.120,00 kn***

Izvor 63. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tabela 53. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete transportnih putova i platoa

LED bez isključivanja				
Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	274.120,00			-274.120,00
1		27.290,64	11.591,70	-262.528,30
2		27.290,64	11.591,70	-250.936,60
3		27.290,64	11.591,70	-239.344,90
4		27.290,64	11.591,70	-227.753,20
5		27.290,64	11.591,70	-216.161,50
6		27.290,64	11.591,70	-204.569,80
7		27.290,64	11.591,70	-192.978,10
8		27.290,64	11.591,70	-181.386,41
9		27.290,64	11.591,70	-169.794,71
10		27.290,64	11.591,70	-158.203,01
11		27.290,64	11.591,70	-146.611,31
12		27.290,64	11.591,70	-135.019,61
13		27.290,64	11.591,70	-123.427,91
14		27.290,64	11.591,70	-111.836,21
15		27.290,64	11.591,70	-100.244,51
16		27.290,64	11.591,70	-88.652,81
17		27.290,64	11.591,70	-77.061,11
18		27.290,64	11.591,70	-65.469,41
19		27.290,64	11.591,70	-53.877,71
20		27.290,64	11.591,70	-42.286,01
21		27.290,64	11.591,70	-30.694,31
22		27.290,64	11.591,70	-19.102,61
23		27.290,64	11.591,70	-7.510,92
24		27.290,64	11.591,70	4.080,78
Povrat investicije - 23 godine i 7,78 mjeseci				

Izvor 64. Autor prema projekciji budućeg stanja

Treći prijedlog poboljšanja kao što je to bio slučaj i u prethodnim analizama predstavlja kombinaciju prvog i drugog prijedloga poboljšanja. Ukupno ulaganje u sustav za kontrolu radnih sati rasvjete, te uz to i zamjenu natrijevih sa LED rasvjetnim tijelima zahtjeva novčana sredstva u iznosu od 286.220,00 HRK. Kombinacijom smanjenja radnih sati te ugradnjom LED rasvjetnih tijela ostvaruju se nešto veće uštede nego što je bio slučaj sa prethodnim poboljšanjem te one iznose na godišnjoj razini 52.627,54 kWh, što je nešto manje od 100 %. Godišnjim uštedama od 22.353,55 HRK, moguće je ostvariti povrat investicije nakon dvanaest godina i šest mjeseci, što je ponovno neprihvatljivo.

Valja napomenuti da u oba slučaja, odnosno i kod drugog i trećeg prijedloga poboljšanja vrijeme povrata investicije dulje je od samog trajanja LED rasvjetnog tijela, te je donesena odluka o investiranju u prvi prijedlog poboljšanja.

Tabela 54. Prikaz povrata investicije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete transportnih putova i platoa

Godina	Iznos investicije [HRK]	God. uštede [kWh]	God. uštede [HRK]	Kumulativ neto primitaka [HRK]
0	286.220,00			-286.220,00
1		52.627,54	22.353,55	-263.866,45
2		52.627,54	22.353,55	-241.512,91
3		52.627,54	22.353,55	-219.159,36
4		52.627,54	22.353,55	-196.805,82
5		52.627,54	22.353,55	-174.452,27
6		52.627,54	22.353,55	-152.098,72
7		52.627,54	22.353,55	-129.745,18
8		52.627,54	22.353,55	-107.391,63
9		52.627,54	22.353,55	-85.038,09
10		52.627,54	22.353,55	-62.684,54
11		52.627,54	22.353,55	-40.330,99
12		52.627,54	22.353,55	-17.977,45
13		52.627,54	22.353,55	4.376,10
Povrat investicije - 12 godina i 9,65 mjeseci				

Izvor 65. Autor prema projekciji budućeg stanja

5. PRIKAZ PROJEKTNOG RJEŠENJA

Poglavlje daje uvid u odabrana tehnička rješenja. Kriteriji odabira temeljeni su na financijskim uštedama dobivenim analizama potrošnje električne energije svih prijedloga poboljšanja. Generalno govoreći može se reći da su ovisno o lokacijama tvornice primijenjena dva tehnička rješenja, odnosno njihove kombinacije pritom misleći na:

- Upravljanje radnim satima rasvjete
    - Podjela rasvjetnih tijela prema lokacijama strojeva
    - Integracija sustava rasvjete na PLC i SCADA sustav
- Zamjena postojećih sa LED rasvjetnim tijelima

Sinteza svih analiza ušteda električne energije kao i procjena ulaganja prikazani su tablicom 55. Kao što je to već spomenuto u samome uvodu investicija je budžetirana sa 100.000,00 €, odnosno 750.000,00 HRK, temeljem financijskih analiza isplativosti i analiza ušteda potrebno je donijeti odluke na koji način će se poboljšanja sprovesti unutar budžeta i zadanog povrata financijskih sredstava unutar tri godine. Kriterij donošenja odluke o prihvaćanju rješenja bio brzina povrata investicije koja je prikazana poljem ROI u tablici i razlika ušteda električne energije prikazana u postocima i kWh.

Sustav rasvjete zgrade sirovina, ZG 200, poboljšati će se primjenom najjednostavnijeg i najjeftinijeg tehničkog rješenja, a to je upravljanje radnim satima rasvjete navedene lokacije. Za primjenu rješenja potrebno je uložiti svega 10.500,00 HRK, koje će generirati godišnje uštede od 50,3 % sadašnje potrošnje električne energije, odnosno 21.072,20 HRK. Što rezultira povratom uloženih sredstava pola godine nakon implementacije poboljšanja. Prijedlog drugog i trećeg poboljšanja uključuje ulaganje u rasvjetna tijela sa LED izvorom svjetlosti. Primjenom navedenih rješenja energetska učinkovitost povećala bi se za 58,5 odnosno 79,4 % za treći prijedlog što je veoma značajno, međutim uz visoku cijenu LED rasvjetnih tijela i veliku količinu za investiciju je potrebno izdvojiti 216.700,00 HRK ili 227.200,00 HRK. Tako velika ulaganja dovode do veoma nepovoljnih perioda povrata investicije, tek nakon devet, odnosno šest godina, radi čega su prijedlozi i odbijeni.

Kao što je to slučaj sa zgradom sirovina, slično će se poboljšanje primijeniti i u zgradi kupolne peći, prikazano također prvim prijedlogom poboljšanja. Uz primjenu upravljanja radnim satima, u zgradi kupolne peći zamijeniti će se određeni broj rasvjetnih tijela čime će se i smanjiti ukupna instalirana snaga uz istovremeno poboljšanje osvijetljenosti prostora. Primjenom poboljšanja povećati će se energetska učinkovitost za 35,90 %, čime će se ostvarivati uštede električne energije od 67.873,70 kWh godišnje. Promjena poboljšanja zahtjeva ulaganje od 30.750,00, uz godišnje uštede 28.829,30 HRK, nakon jedne godine i jednog mjeseca biti će povraćena uložena financijska sredstva. Investiranje u drugi prijedlog poboljšanja zahtjeva 335.808,00 sa povećanjem efikasnosti za 49,0 % što rezultira povratom sredstava nakon devet godina, dok treći prijedlog zahtjeva ulaganje 366.558,00 HRK, sa povratom u šestoj godini eksploatacije i povećanje energetske učinkovitosti od 67,3 %.

Sa financijskog stajališta najpovoljniji prijedlog ulaganja u rasvjetu zgrade peći za polimerizaciju je prvi prijedlog poboljšanja, radi čega je i prihvaćen. Ulaganjem 7.500,00 HRK, energetska učinkovitost povećati će se za 77,97 %, te ostvarivati godišnje uštede od 37.726,08 kWh. Takve uštede električne energije dovode do godišnjih ušteda 16.024,15 HRK, što čini prijedlog veoma privlačnim za ulaganje jer će uložena sredstva biti povraćena već nakon pola godine eksploatacije. Prikazane uštede gotovo dvostruko su veće od drugoga prijedloga poboljšanja koji iziskuje jedanaest puta veća ulaganja u iznosu 82.800,00 HRK, što negativno utječe i na sam povrat investicije. Ulaganjem u treći prijedlog poboljšanja moguće je ostvariti najveće uštede električne energije od 41.901,89 kWh godišnje, međutim uz velika zahtijevana ulaganja, 90.300,00 HRK, investicija bi bila povraćena u petoj godini.

Kod analize prijedloga poboljšanja rasvjete zgrade oblikovanja i pakiranja, ZG 500, donesena je odluka o ulaganju u treći prijedlog poboljšanja. Iako pojedinačno promatrano prvi prijedlog poboljšanja ima povoljniji rok povrata investicije, prihvaćen je prijedlog o ulaganju u prijedlog sa nepovoljnijim rokom povrata koji u ovome slučaju iznosi 4,63 godine. Međutim s obzirom da svi ostali prijedlozi poboljšanja imaju veoma povoljne povrate investicije ukupno vrijeme povrata iznosi 2,9 godina što je unutar zadanoga parametra. Zgrada oblikovanja i pakiranja predstavlja dio tvornice sa najvećom instaliranom snagom na radnoj rasvjeti unutarnjih površina, jednako tako na više od 75 % površine kontinuirano se obavljaju radne aktivnosti što znači da se rasvjeta ne može isključivati kao što je to slučaj sa drugim lokacijama u tvornici. Zbog velikog broja rasvjetnih tijela i kontinuiranog rada opravdano je ulaganje u LED rasvjetu jer usprkos velikoj početnoj investiciji koja iznosi 546.898,00 HRK ostvaruju se godišnje uštede od 278.229,60 kWh, što dovodi do povećanja energetske učinkovitosti od čak 84,12 % i financijskih ušteda u iznosu 118.178,02 HRK. Upravo zbog činjenice da veći dio rasvjete mora stalno raditi energetska efikasnost prvoga prijedloga poboljšanja iznosi tek 10,22% što je znatno nepovoljnije nego što je to slučaj sa drugim lokacijama u tvornici, uz zahtijevana ulaganja od 48.120,00 HRK, povrat investiranih sredstava ostvario bi se nakon tri godine. Drugi prijedlog prema energetskoj efikasnosti bolji je od prvoga, međutim lošiji od trećega dok su zahtijevana financijska sredstva skoro jednaka trećemu. Realizacija drugog prijedloga poboljšanja zahtjeva 530.398,00 HRK, što osigurava povećanje energetske učinkovitosti za 66,77%, ostvarujući 220.838,40 kWh ušteda na godišnjoj razini. Vrijeme povrata investicije iznosi pet godina i osam mjeseci.

Rasvjeta zgrade ureda i garderoba, ZG 600 poboljšati će se primjenom prvog prijedloga poboljšanja. Primjena prvoga prijedloga poboljšanja na ovoj lokaciji značajno djeluje na smanjenje broja radnih sati rasvjete povećavajući tako energetsku učinkovitost na 78,88 %, čineći godišnje uštede električne energije od 25.651,66 kWh. Realizacija prijedloga zahtijeva ulaganje od 8.250,00 HRK, što rezultira povratom investicije nakon devet mjeseci. Realizacija drugoga i trećeg prijedloga poboljšanja koje uključuje zamjenu fluorescentnih sa LED rasvjetnim tijelima zahtjeva znatno veća ulaganja, i to u iznosu 98.120,00 HRK, odnosno 106.370,00 HRK. Realizacijom drugog prijedloga poboljšanja povećava se energetska efikasnost za 39,32%, što dovodi do godišnjih ušteda od 5.431,36 HRK, i veoma dugog vremena povrata investicije od osamnaest godina. U ovome slučaju valja napomenuti jednu činjenicu a to je da drugi prijedlog poboljšanja uključuje samo zamjenu fluorescentnih sa

LED rasvjetnim tijelima bez upravljanja, odnosno smanjenja radnih sati. Znači da bi rasvjetna tijela u osamnaest godina radila gotovo 155.000 sati, dok je specificirani vijek ovisno o proizvođaču do maksimalnih 100.000 sati. Navedeno dovodi do zaključka da bi se u ovome slučaju i LED rasvjeta prije počela kvariti nego što bi se isplatila, te bi samim time zahtijevala dodatna ulaganja. Ulaganjem 106.370,00 HRK moguća je realizacija trećeg prijedloga poboljšanja čija je prednost nad drugim i smanjenje broja radnih sati. Trećim prijedlogom moguće je ostvarenje 28.352,66 kWh godišnjih ušteda što povećava energetsku učinkovitost 87,18%, međutim zbog velikih početnih ulaganja, investicija bi bila povraćena nakon devet godina.

Kod rješavanja problematike skladišta gotovih proizvoda generiran je samo jedan prijedlog poboljšanja, koji je i prihvaćen. Prijedlog uključuje ugradnju dodatnih reflektora i ulaganje u sustav za upravljanje radnim satima. Investicija iznosi 61.600,00 HRK, te će ostvarivati uštede od 80.640,00 kWh, što čini 26,76% sadašnje potrošnje električne energije. Navedenim uštedama investicija će biti povraćena nakon jedne godine i deset mjeseci.

Rasvjeta transportnih putova i platoa poboljšati će se prijedlogom poboljšanja baziranom na postojećem rješenju uz upravljanje radnim satima. Sustav trenutno koristi energetski učinkovite natrijeve žarulje, glavni problem kao i na većini lokacija je rad rasvjete bez potrebe u slučaju kada na navedenim površinama nema radnika. Ovo je rješenje najjeftinije i sa najkraćim vijekom povrata investicije od sva tri analizirana prijedloga. Za realizaciju je potrebno ulaganje 12.100 HRK, čime će se ostvarivati godišnje uštede od 37.889,30 kWh, odnosno 16.093,47 HRK, što rezultira povratom ulaganja već nakon devet mjeseci. U drugome prijedlogu poboljšanja, razmatrana je zamjena natrijevih žarulja sa LED rasvjetnim tijelima, međutim ta investicija nije isplativa zbog visoke cijene LED rasvjetnih tijela i malih razlika u potrošnji rasvjetnih tijela. Primjerice natrijeva žarulja snage 600 W, može biti zamijenjena LED rasvjetnim tijelom od 450 W, što čini uštedu manju od 30 %, dok je cijena takvog rasvjetnog tijela veoma visoka, više od desetak tisuća kuna, ovisno o dobavljaču i proizvođaču. Zamjena svih rasvjetnih tijela na ovoj lokaciji LED-om iziskuje iznos od 274.120,00 HRK, uz ostvarivanje godišnjih ušteda 11.591,70 HRK, što rezultira neprihvatljivo dugim povratom uloženih financijskih sredstava. Ulaganjem u LED rasvjetna tijela i sustav upravljanja radnim satima, povećala bi se efikasnost sustava rasvjete na ovoj lokaciji 56,20 %, te ostvarivala godišnje uštede od 52.627,54 kWh, čime bi početno ulaganje bilo povraćeno nakon trinaest godina. Za realizaciju ovoga prijedloga poboljšanja potrebno je uložiti 286.220,00 HRK.

Pored opisanih rješenja valja naglasiti i sustav nužne rasvjete kupolne peći koji nije razmatran kroz financijske uštede. Naime s obzirom na povećanu opasnost na navedenoj lokaciji i učestale kvarove rasvjete tog dijela postrojenja kako bi se povećala kvaliteta radne okoline i zaštite na radu odlučilo se investirati u zamjenu postojećih rasvjetnih tijela sa LED reflektorima. Ulaganje u poboljšanje nužne rasvjete u prostoru kupolne peći zahtjeva ulaganja od 43.670,00 HRK, uštede koje će sustav ostvarivati nisu zanemarive jer se energetska učinkovitost povećava za 45,45 %, što rezultira godišnjim uštedama od 3.302,86 HRK, međutim kao što je to slučaj sa svim lokacijama gdje je razmatran prijedlog ulaganja u LED rasvjetu zbog visoke početne cijene investicija sa financijskog gledišta nije opravdana.

Tabela 55. Sinteza prijedloga poboljšanja sustava rasvjete

Lokacija	Trenutno stanje			Rezultati analiza prijedloga poboljšanja						
	Instalirana snaga [kW]	Godišnja potrošnja [kWh]	Godišnja potrošnja [HRK]	Prijedlog	Uštede [kWh]	Uštede EE	Uštede [HRK]	Ulaganje [HRK]	ROI	Status
ZG200	11,4	98.720,6	41.931,6	1.	49.610,9	50,3%	21.072,2	10.500,0	0,5	✓
				2.	57.777,6	58,5%	24.541,0	216.700,0	8,8	×
				3.	78.353,0	79,4%	33.280,4	227.200,0	6,8	×
ZG300	21,9	189.103,7	80.321,8	1.	67.873,7	35,9%	28.829,3	30.750,0	1,1	✓
				2.	92.646,7	49,0%	39.351,7	335.808,0	8,5	×
				3.	127.276,4	67,3%	54.060,6	366.558,0	6,2	×
ZG400	5,6	48.384,0	20.551,1	1.	37.726,1	22,0%	16.024,1	7.500,0	0,5	✓
				2.	22.740,5	47,0%	9.659,0	82.800,0	8,6	×
				3.	41.901,9	86,6%	17.797,8	90.300,0	5,1	×
ZG500	38,3	330.739,2	140.481,5	1.	33.792,0	10,2%	14.353,2	48.120,0	3,4	×
				2.	220.838,4	66,8%	93.801,1	530.398,0	5,7	×
				3.	278.229,6	84,1%	118.178,0	546.898,0	4,6	✓
ZG600	11,4	32.521,0	13.813,3	1.	25.651,7	78,9%	10.895,5	8.250,0	0,8	✓
				2.	12.787,2	39,3%	5.431,4	98.120,0	18,1	×
				3.	28.352,7	87,2%	12.042,8	106.370,0	8,8	×
Skladište gotovih proizvoda	48,3	301.392,0	128.016,3	1.	80.640,0	26,8%	34.251,8	61.600,0	1,8	✓
Transportni putovi i vanjski platoi	15,0	93.646,8	39.776,5	1.	37.889,3	40,5%	16.093,5	12.100,0	0,8	✓
				2.	27.290,6	29,1%	11.591,7	274.120,0	23,6	×
				3.	52.627,5	56,2%	22.353,5	286.220,00	12,8	×

Izvor 66. Autor prema projekciji budućeg stanja

Tablica 56 usporedno prikazuje potrebna financijska sredstva te energetske i financijske uštede za svaki prijedlog poboljšanja. Primjena sustava upravljanja radnim satima predstavlja najjeftinije projektno rješenje, međutim ostvaruje i najmanje uštede električne energije u iznosu od 30,44 %. Vidljivo je da je za zamjenu postojećih rasvjetnih tijela sa LED rasvjetnim tijelima potrebno ukupno 1,6 miliona HRK, realizacija tog projekta rezultirala bi uštedama električne energije od 47,03 % trenutne potrošnje. Za zamjenu postojećih rasvjetnih tijela sa LED rasvjetnim tijelima uz istovremeno upravljanje radnim satima potrebno je izdvojiti 1,7 miliona HRK, realizacijom ovih projektnih rješenja ostvarivale bi se uštede od 62,80 % sadašnje potrošnje električne energije. Odabrana rješenja koja su kombinacija modernizacije postojećeg sustava uz istovremeno ulaganje u LED tehnologiju u jednome dijelu tvornice manja su od postavljenog financijskog budžeta, a istovremeno ostvaruju veće uštede električne energije od 52,77 %.

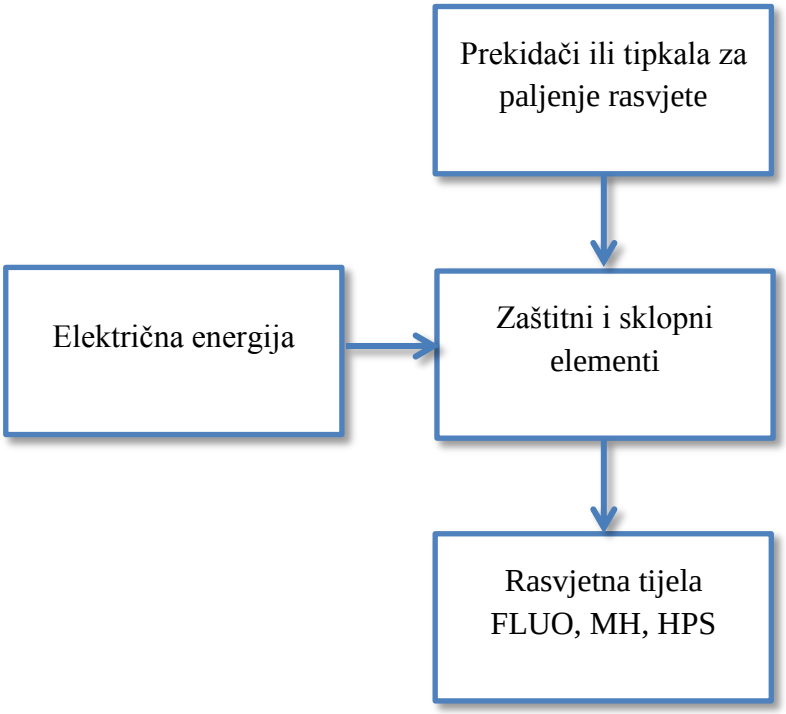
Tabela 56. Usporedni prikaz predloženih i odabranog projektnog rješenja

Opis prijedloga poboljšanja	Ulaganje [HRK]	Uštede [kWh]	Uštede EE	Uštede [HRK]	ROI
Prijedlog 1. Upravljanje radnim satima postojećih rasvjetnih tijela	178.820,00	333.183,58	30,44%	141.519,73	1,26
Prijedlog 2. Investiranje u energetski učinkovitiju rasvjetu - LED	1.599.546,00	514.720,99	47,03%	218.627,74	7,32
Prijedlog 3. Upravljanje radnim satima i investiranje u energetski učinkovitiju rasvjetu	1.685.146,00	687.381,08	62,80%	291.965,11	5,77
Odabrana rješenja za poboljšanje radne rasvjete	***677.598,00***	***577.621,18***	***52,77%***	***245.344,60***	***2,76***
Odabrana rješenja za poboljšanje nužne rasvjete kupolne peći	***43.670,00***	***7.776,00***	***45,45%***	***3.302,86***	***13,22***
Ukupno	***721.268,00***	***585.397,18***	***52,66%***	***248.647,45***	***2,90***

Izvor 67. Autor prema projekciji budućeg stanja

Upravljanje radnim satima rasvjete ostvareno je primjenom niže grafički prikazanog tehničkog rješenja. Prvi grafikon prikazuje sadašnje stanje gdje ne postoji sustav upravljanja rasvjetom, već korisnik direktno putem prekidača i tipkala za paljenje djeluje na rad rasvjete, iz ovog tehničkog rješenja proizlazi i temeljni problem koji se rješavao, a to je kontinuirani rad sustava rasvjete na maksimalnoj snazi.

Slika 12. Prikaz tehničkog rješenje sadašnjeg sustava rasvjete

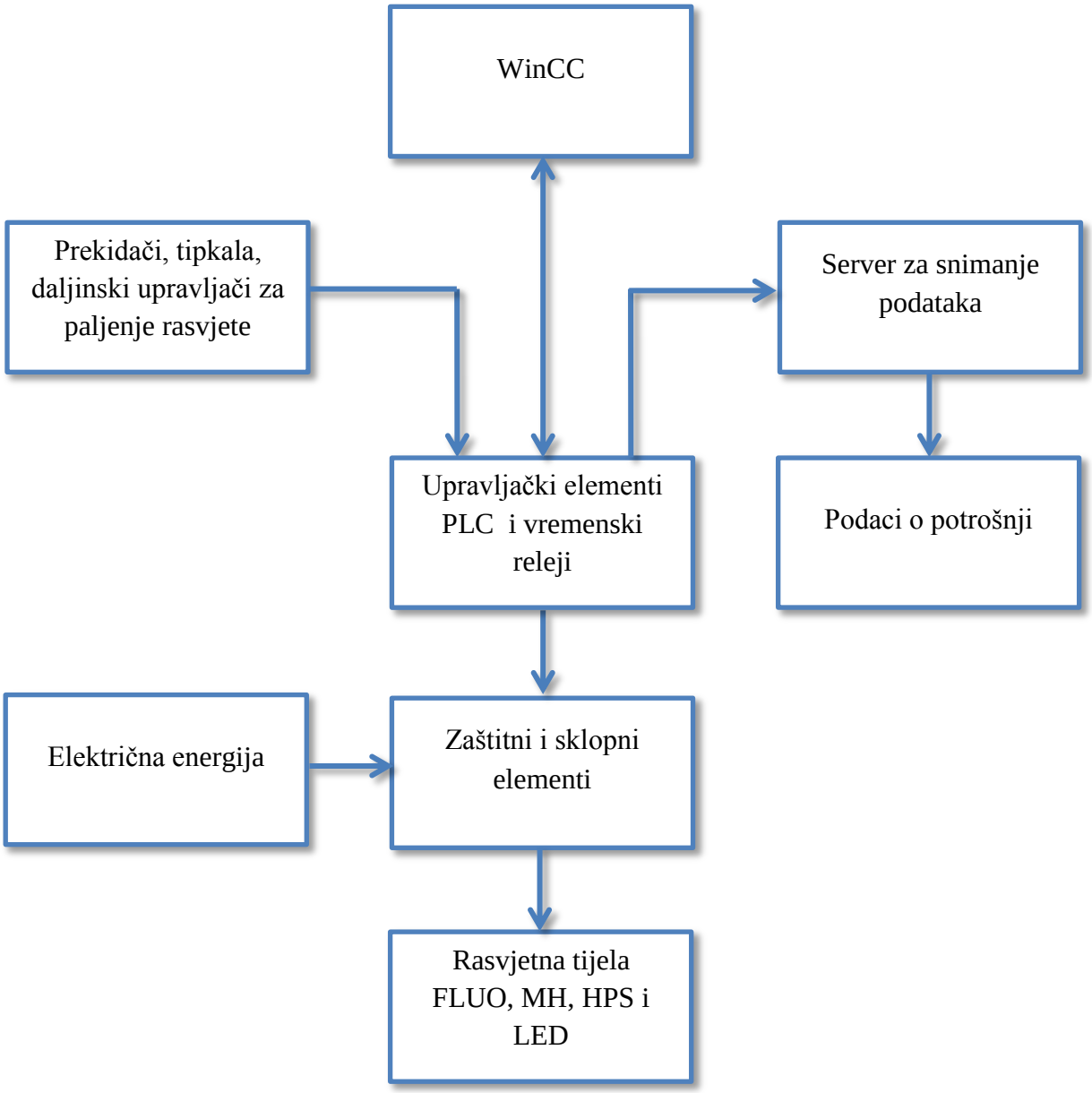


Izvor 68. Autor prema snimci sadašnjeg stanja

Tehničko rješenje kojim je moguće smanjiti navedeni problem prikazano je drugim grafikonom. Drugi grafikon prikazuje sustavno upravljanje rasvjetom, odakle je vidljivo da korisnik sa željom da upali rasvjetu u određenom dijelu tvornice putem prekidača, tipkala ili WinCC-a, djeluje na upravljački sustav koji je predstavlja PLC, te na nekim lokacijama samo vremenski releji. PLC i vremenski releji upravljaju radnim satima rasvjete čineći tako sustav energetski učinkovitijim.

Pored upravljanje PLC šalje podatak o radu sustava natrag na WinCC odakle je vidljiv operateru sustava, međutim jednako tako i na server za snimanje podataka. Iz servera za snimanje podataka mogu se u svakome trenutku iščitati podaci o potrošnji te na temelju njih vršiti daljnje optimizacije sustava što sa trenutnim tehničkim rješenjem nije moguće.

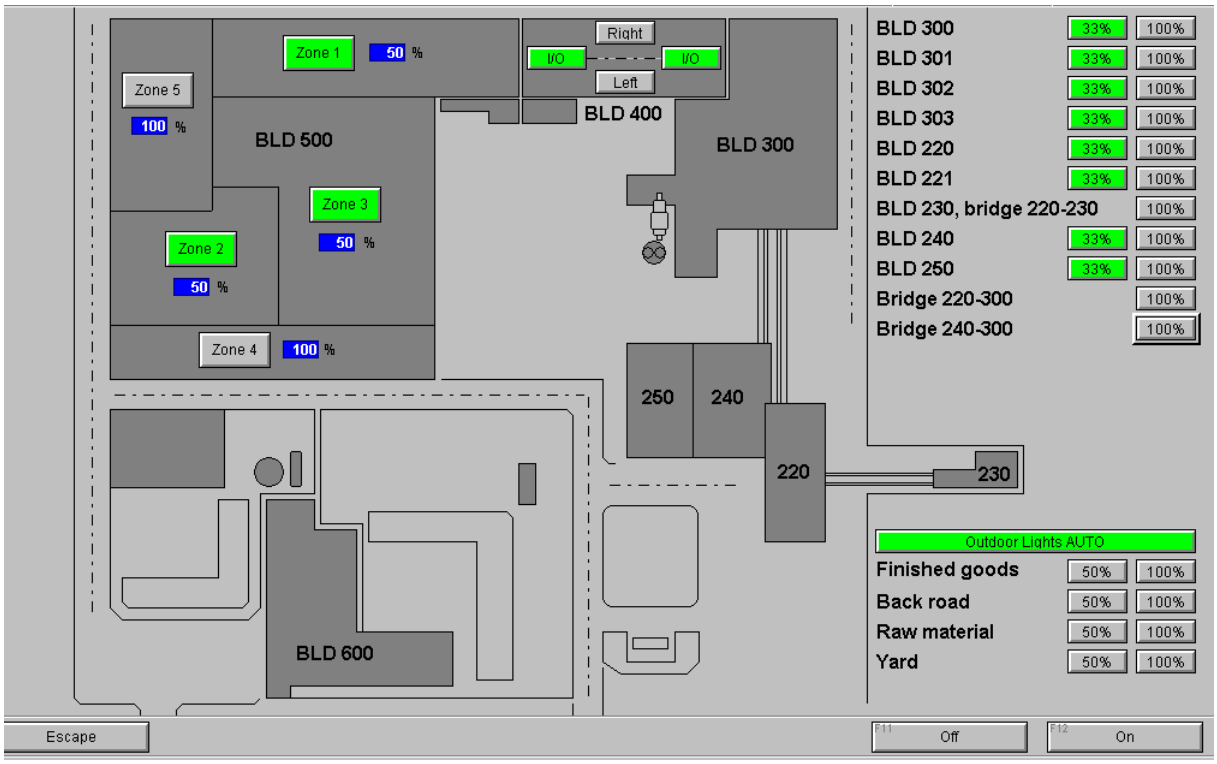
Slika 13. Prikaz prijedloga poboljšanja tehničkog rješenja sustava rasvjete



Izvor 69. Autor prema projekciji budućeg stanja

Slika 14. prikazuje WinCC pogled koji omogućuje daljinsko upravljanje sustavom rasvjete, što je dio predloženih poboljšanja sustava.

Slika 14. Simulacija WinCC pogleda na sustav rasvjete



Izvor 70. Autor prema prijedlogu poboljšanja

6. ZAKLJUČAK

Izradom ovog diplomskog rada stvorena su rješenja za poboljšanje sustava na temelju kojih je realiziran projekt modernizacije sustava rasvjete tvornice. U modernom poslovanju financijski budžeti su unaprijed definirani, a projektni timovi prihvaćaju se izazova da sa raspoloživim sredstvima ostvare najbolje moguće rezultate.

Danas, kada je veliki naglasak na energetskoj učinkovitosti, proizvođači LED rasvjetnih tijela može se reći i veoma agresivno pokušavaju prodati svoje proizvode pod okriljem ušteda električne energije. Neosporno je da LED rasvjeta povećava energetsku učinkovitost, međutim zbog svoje visoke cijene ona još uvijek u većini slučajeva nije financijski opravdana. Ulaganje u LED rasvjetu iziskuje značajna financijska sredstva koja nije moguće u svim situacijama osigurati.

U realnim uvjetima kao što je slučaj izrade ovoga projektnoga rješenja budžet mnogo manji od potrebnih financijskih sredstava za zamjenu postojeće rasvjete LED rasvjetnim tijelima u cijeloj tvornici, potreban je kreativan pristup rješavanju problema uz maksimalno iskorištavanje postojećih resursa.

Takvim pristupom napravljen je projekt koji će se sa postojećim budžetom moći realizirati i njegovom će se realizacijom smanjiti potrošnja električne energije za 52 %, ostvarivim uštedama uložena financijska sredstva povratiti će se unutar tri godine. Projektna rješenja prikazana ovim projektom su primijenjena u tvornici ROCKWOOL.

Postavljena hipoteza rada je potvrđena.

POPIS LITERATURE

Knjige:

[1] AMIDŽIĆ D.: "Financijski menadžment 2", RRIF, Zagreb, 2014.

[2] BOYCE P. R.: „Human Factors in Lighting, Third Edition“, CRC Press“, Boca Raton, 2014.

[3] KARLICEK R., et. Al.: „Handbook of Advanced Lighting Technology“, „Springer reference “, 2014.

[4] KHAN M. N.: „Understanding LED Illumination“, „CRC Press“, Boca Raton, 2014.

[5] KHANNA V. K.: „Fundamentals of Solid-State Lighting“, „CRC Press“, Boca Raton, 2014.

[6] KITSINELIS S.: „Light Sources Second Edition, Second edition“ „CRC Press“, Boca Raton, 2015.

[7] LYONS S. L.: „Handbook of Industrial Lighting“, „Butterworth & Co“, England, 1981.

Propisi i norme:

[8] Zakon o zaštiti na radu, „Narodne novine“ 2014., 71., 2014., 118., 2014., 154.

[9] Pravilnik o zaštiti na radu pri korištenju električne energije, „Narodne novine“ 2012., 88.

[10] Pravilnik o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona, „Narodne novine“ 2002., 05.

[11] Pravilnik o zaštiti na radu za radne i pomoćne prostorije i prostore, „Narodne novine“, 2013., 509.

[12] Pravilnika o ispitivanju radnog okoliša te strojeva i uređaja s povećanim opasnostima „Narodne novine“, 2012., 114., 2012., 131., 2013., 126.

[13] Tehnički propis za niskonaponske električne instalacije, „Narodne novine“, 2010., 132.

[14] HRN EN 12464-1:2012 „Svjetlo i rasvjeta -- Rasvjeta radnih mjesta -- 1. dio: Unutrašnji radni prostori“ (EN 12464-1:2011)

[15] HRN EN 12464-2:2014: „Svjetlo i rasvjeta -- Rasvjeta radnih mjesta -- 2. dio: Vanjski radni prostori“ (EN 12464-2:2014)

WEB:

[16] Bommel W, Rouhana A.: "Lighting hardware", Koninklijke Philips Electronics N.V., Netherlands, 2011.
< http://www.lighting.philips.com/main/education/lighting-university/lighting-university-browser/publication/lighting-ebook-hardware.html > (05.04.2016.)

[17] „E+ HB380 Classic series“, Energy plus, Hrvatska
< http://www.energyplus.hr/pdf/E+HB380_classic_series_HR.pdf > (07.04.2016.)

[18] „Family - full data sheet: MASTER TL-D Eco“, Koninklijke Philips Electronics N.V., Netherlands, 2016.
< http://download.p4c.philips.com/lfb/c/comf-2538/comf-2538_pss_en_aa_001.pdf > (30.05.2016.)

[19] „Family - full data sheet: MASTER TL-D HF Super 80“, Koninklijke Philips Electronics N.V., Netherlands, 2016.
< http://download.p4c.philips.com/lfb/c/comf-2548/comf-2548_pss_en_aa_001.pdf > (30.05.2016.)

[20] „Family leaflet: MASTER HPI Plus“, Koninklijke Philips Electronics N.V., Netherlands, 2016.
< http://download.p4c.philips.com/lfb/c/comf-1555/comf-1555_pss_en_aa_001.pdf > (29.05.2016.)

[21] „Family leaflet: MASTER MHN-LA“, Koninklijke Philips Electronics N.V., Netherlands, 2016.
< http://download.p4c.philips.com/lfb/c/comf-1568/comf-1568_pss_en_aa_001.pdf > (30.05.2016.)

[22] „Family leaflet: SON – T“, Koninklijke Philips Electronics N.V., Netherlands, 2015.
< http://download.p4c.philips.com/lfb/c/comf-1608/comf-1608_pss_en_aa_001.pdf > (29.05.2016.)

[23] „LED Fundamental – Mesopic Vision“, Osram AG, Germany
< http://ledlight.osram-os.com/wp-content/uploads/2014/04/OSRAM-OS_LED-FUNDAMENTALS_Mesopic_Vision_v1_4-2-141.pdf > (15.04.2016.)

[24] „LED/OLED Lighting“, Osram AG, Germany < http://www.osram.com/osram_com/tools-and-services/services/faq/ledoled-lighting/index.jsp > (16.04.2016.)

[25] „LED: Technology for energy-efficient, flexible lighting solutions“, Osram AG, Germany < http://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/led-home/professional-knowledge/led-basics/basic-knowledge/index.jsp > (13.04.2016.)

[26] „Lighting at work“, Health and Safety Executive, UK, 1997.
< http://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg38.htm > (07.04.2016.)

[27] „Lighting with Artificial Light“, Licht.de, Germany
< www.licht.de/fileadmin/.../lichtwissen01_artificial_light.pdf > (07.04.2016.)

[28] „Metal halide lamps“, Osram AG, Germany < https://www.osram.com/media/resource/HIRES/339014/3238365/metal-halide-lamps.pdf > (13.04.2016.)

[29] Helbig H.: „The effect of light on the performance capability of pupil“, Osram AG, Germany, 2011. < http://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/the-biological-effects-of-light---light-means-quality-of-life/scientific-studies-on-the-biological-effects-of-light/study-on-the-effect-of-light-on-the-performance-of-students/index.jsp > (11.04.2016.)

[30] Stern V.: „zamjena klasične rasvjete sa LED rasvjetom“, Schrack, Hrvatska, 2013. < http://www.schrack.hr/fileadmin/f/hr/Bilder/Produkte_Shop/stranice/Info-dani/2013/Schrack_Info-dani_2013_Schrack_LED_rasvjeta.pdf > (10.04.2016.)

[31] < http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/F2_fizikalna%20optika_ppt.pdf > (11.04.2016.)

[32] < http://www.lipapromet.hr/Usluge/Projektiranjesvjetlotehnike/Rasvjetaznanjeiiskustva.aspx > (11.04.2016.)

[33] < http://www.usa.philips.com/c-m-li/led-lights/quality-of-light-led-lighting > (12.04.2016.)

[34] < http://www.nichia.co.jp/en/about_nichia/ > (15.04.2016.)

[35] < http://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/sports-and-area-floodlighting/area-and-recreational-floodlighting/optivision-led/912300022850_EU/product > (15.04.2016.)

[36] < http://energy.gov/eere/energybasics/articles/lighting-basics > (15.04.2016.)

[37] < http://arklighting.co/2013/10/comparison-of-led-v-other-light-sources-including-hid/ > (15.04.2016.)

[38] < http://www.telektra.hr/site/industrijska-rasvjeta/ > (15.04.2016.)

[39] < http://www.istra-istria.hr/index.php?id=263 > (18.04.2016.)

[40] < http://www.hep.hr/ods/kupci/poduzetnistvo.aspx > (25.04.2016.)

[41] < http://www.hep.hr/opskrba/cijena.aspx > (25.04.2016.)

POPIS TABELA

Tabela 1. Prikaz utjecaja S/P faktora na svjetlosni tok različitih izvora svjetlosti 14
Tabela 2. Prikaz vrsta instaliranih rasvjetnih tijela i ukupnih količina 16
Tabela 3. Instalirana snaga nužne rasvjete tvornice 19
Tabela 4. Projekcija ušteda primjenom poboljšanja sustava nužne rasvjete tvornice 19
Tabela 5. Troškovnik realizacije prijedloga poboljšanja sustava nužne rasvjete kupolne peći 20
Tabela 6. Prikaz povrata investicije prijedloga poboljšanja sustava nužne rasvjete kupolne peći 20
Tabela 7. Instalirana snaga nužne rasvjete kupolne peći ZG301 21
Tabela 8. Instalirana snaga nužne rasvjete kupolne peći ZG 301 nakon poboljšanja 22
Tabela 9. Troškovnik realizacije prijedloga poboljšanja sustava nužne rasvjete kupolne peći 22
Tabela 10. Prikaz povrata investicije prijedloga poboljšanja sustava nužne rasvjete kupolne peći 23
Tabela 11. Instalirana snaga radne rasvjete ZG 200 25
Tabela 12. Instalirana snaga skladišta sirovina nakon poboljšanja sustava 27
Tabela 13. Instalirana snaga radne rasvjete ZG 300 31
Tabela 14. Instalirana snaga zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava 34
Tabela 15. Usporedba instalirane snage radne rasvjete ZG 500 40
Tabela 16. Instalirana snaga prema radnim zonama ZG500 42
Tabela 17. Instalirana snaga po lokacijama ZG 600 45
Tabela 18. Instalirana snaga ZG 600 obuhvaćena projektom 47
Tabela 19. Instalirana snaga prostora ukrcajnog platoa i skladišta gotovih proizvoda 48
Tabela 20. Instalirana snaga transportnih putova i platoa 53
Tabela 21. Instalirana snaga transportnih putova i platoa nakon poboljšanja sustava 55
Tabela 22. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 200 58
Tabela 23. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 200 . 58
Tabela 24. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 200 59
Tabela 25. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 200 . 59
Tabela 26. Prikaz povrata investicije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 200 . 60
Tabela 27. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 300 61
Tabela 28. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 300 . 61
Tabela 29. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 300 62
Tabela 30. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 300 . 62
Tabela 31. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 300 . 63
Tabela 32. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 400 64
Tabela 33. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 400 . 64
Tabela 34. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 400 64
Tabela 35. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 400 . 65
Tabela 36. Prikaz povrata investicije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 400 . 65
Tabela 37. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500 66

Tabela 38. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500 . 67
Tabela 39. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500 67
Tabela 40. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500 . 68
Tabela 41. Troškovnik realizacije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500 68
Tabela 42. Prikaz povrata investicije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 500 . 69
Tabela 43. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 600 70
Tabela 44. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 600 . 70
Tabela 45. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 600 71
Tabela 46. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 600 . 71
Tabela 47. Prikaz povrata investicije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete ZG 600 . 72
Tabela 48. Troškovnik realizacije poboljšanja sustava rasvjete ukrcajnog platoa i skladišnog prostora 73
Tabela 49. Prikaz povrata investicije poboljšanja sustava rasvjete ukrcajnog platoa i skladišnog prostora 73
Tabela 50. Troškovnik realizacije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete transportnih putova i platoa 74
Tabela 51. Prikaz povrata investicije 1. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete transportnih putova i platoa 75
Tabela 52. Troškovnik realizacije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete transportnih putova i platoa 75
Tabela 53. Prikaz povrata investicije 2. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete transportnih putova i platoa 76
Tabela 54. Prikaz povrata investicije 3. prijedloga poboljšanja sustava rasvjete transportnih putova i platoa 77
Tabela 55. Sinteza prijedloga poboljšanja sustava rasvjete 81
Tabela 56. Usporedni prikaz predloženih i odabranog projektnog rješenja 82

POPIS IZRAZA

Izraz 1. Utrošak EE skladišta sirovina prije poboljšanja sustava 27
Izraz 2. Utrošak EE inicijalne rasvjete 33 %, skladišta sirovina nakon poboljšanja sustava 28
Izraz 3. Utrošak EE ZG 220 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage 28
Izraz 4. Utrošak EE ZG 230 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage 28
Izraz 5. Utrošak EE ZG 240 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage 29
Izraz 6. Utrošak EE ZG 250 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage 29
Izraz 7. Utrošak EE Transportnog mosta ZG 220 – ZG 303 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage 29
Izraz 8. Utrošak EE Transportnog mosta ZG 240 – ZG 300 nakon poboljšanja sustava na 100 % snage 29
Izraz 9. Godišnje uštede EE skladišta sirovina nakon primjene poboljšanja 29
Izraz 10. Utrošak EE ZG 300 31
Izraz 11. Utrošak EE inicijalne rasvjete 33 %, zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava 32
Izraz 12. Utrošak EE inicijalne rasvjete 66 %, etaže 0, zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava 32
Izraz 13. Utrošak EE inicijalne rasvjete 66 %, etaže 6,5, zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava 33
Izraz 14. Utrošak EE inicijalne rasvjete 66 %, etaže 12,5, zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava 33
Izraz 15. Utrošak EE inicijalne rasvjete 66 %, etaže 16,0, zgrade kupolne peći nakon poboljšanja sustava 33
Izraz 16. Godišnje uštede EE zgrade kupolne peći nakon primjene poboljšanja 33
Izraz 17. Instalirana snaga rasvjete ZG 400 35
Izraz 18. Utrošak EE ZG 400 35
Izraz 19. Utrošak EE Zone 1 ZG 400 37
Izraz 20. Utrošak EE Zone 2 ZG 400 38
Izraz 21. Utrošak EE Zone 3 ZG 400 38
Izraz 22. Uštede EE ZG 400 nakon primjene poboljšanja 38
Izraz 23. Instalirana snaga rasvjete ZG 500 39
Izraz 24. Utrošak EE metal halogenih rasvjetnih tijela ZG 500 43
Izraz 25. Utrošak EE LED rasvjetnih tijela ZG 500 43
Izraz 26. Utrošak EE LED rasvjetnih tijela zone 1-3 sa automatskim gašenjem 43
Izraz 27. Utrošak EE LED rasvjetnih tijela zone 4 i 5 sa automatskim gašenjem 43
Izraz 28. Utrošak EE LED rasvjetnih tijela zone 1-3 sa automatskim gašenjem i regulacijom intenziteta 44
Izraz 29. Utrošak EE LED rasvjetnih tijela zone 4 i 5, sa automatskim gašenjem i regulacijom intenziteta 44
Izraz 30. Prikaz ušteda EE ZG 500 nakon integracije svih poboljšanja 44
Izraz 31. Utrošak EE ZG 600 prije poboljšanja sustava 47

Izraz 32. Utrošak EE ZG 600 nakon poboljšanja sustava 47
Izraz 33. Uštede potrošnje EE ZG 600 nakon poboljšanja sustava 47
Izraz 34. Utrošak EE skladišta gotovih proizvoda prije poboljšanja sustava 50
Izraz 35. Utrošak EE skladišta gotovih proizvoda – minimalna rasvjeta 50
Izraz 36. Utrošak EE skladišta gotovih proizvoda – pomoćna rasvjeta 51
Izraz 37. Utrošak EE skladišta gotovih proizvoda – rasvjeta ukrcajnog prostora 51
Izraz 38. Uštede potrošnje EE skladišta gotovih proizvoda 51
Izraz 39. Utrošak EE skladišta transportnih sustava i platoa prije poboljšanja sustava 54
Izraz 40. Utrošak EE skladišta transportnih sustava i platoa na 50% snage 55
Izraz 41. Utrošak EE skladišta južnog transportnog puta na 100% snage 56
Izraz 42. Utrošak EE središnjeg platoa na 100% snage 56
Izraz 43. Utrošak EE platoa skladišta sirovina na 100% snage 56
Izraz 44. Godišnja potrošnja električne energije nakon primjene poboljšanja 56
Izraz 45. Razdoblje povrata investicije 57
Izraz 46. Kriterij prihvaćanja projekta metodom ROI 57