

Energetski učinkovita rasvjeta tvrtke VJ-eko d.o.o.

Šantek, Ana

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:958304>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA
STROJARSKE KONSTRUKCIJE**

ANA ŠANTEK

**ENERGETSKI UČINKOVITA RASVJETA
TVRTKE VJ-eko d.o.o.**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2018.

Veleučilište u Karlovcu
Specijalistički diplomski stručni studij strojarstva
Strojarske konstrukcije

Ana Šantek

ENERGETSKI UČINKOVITA RASVJETA
TVRTKE VJ-eko d.o.o.

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Ljubomir Majdandžić, dipl.ing.

Karlovac, studeni 2018.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Trg J.J.Strossmayera 9

HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / specijalistički studij: Specijalistički diplomski stručni studij - Strojarsstvo
(označiti)

Usmjerenje: Strojarske konstrukcijeKarlovac, 29.06.2018. godine

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Student: Ana Šantek Matični broj: 0248020640

Naslov: **Energetski učinkovita rasvjeta tvrtke VJ-eko d.o.o.**

Opis zadatka:

Obzirom da je rasvjeta danas općepoznati pojam, koji svi zapravo uzimamo zdravo za gotovo, ovim radom treba napraviti analizu postojeće rasvjete tvrtke VJ-eko d.o.o. te analizirati mogućnost zamjene postojeće rasvjete sa energetski učinkovitom rasvjetom.

Kako osvijetljenje prostora rada mora biti u skladu sa važećim normama u radu treba voditi računa da sva rješenja budu u skladu s europskom normom EN 12464.

Radom treba pokazati usporedbu (financijsku i ekološku) kod zamjene postojećih rasvjetnih tijela s LED rasvjetom u proizvodna tri pogona tvrtke VJ-eko d.o.o.

Na kraju rada treba tablično prikazati uvid i usporedbu u stvarno stanje ekonomičnosti i kvalitete zamjene postojeće rasvjete korištenjem moderne energetski učinkovite rasvjete.

Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o diplomskom ispitu VUK-a.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

29.06.2018.

25.10.2018.

30.11.2018.

Mentor:

Prof. dr.sc. Ljubomir Majdandžić

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Marijan Brozović, dipl.ing.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ja – studentica Ana Šantek MB 0248020640, napisala ovaj završni rad na temu „Energetski učinkovita rasvjeta tvrtke VJ-eko d.o.o“ samostalno, na temelju znanja stečenog tijekom studiranja, uz pomoć stručne literature i korisnih savjeta mentora.

Osobito se zahvaljujem svom mentoru prof.dr.sc. Ljubomiru Majdandžiću na stručnim i korisnim savjetima koje mi je davao pri izradi završnog rada.

Posebno se zahvaljujem tvrtki VJ-eko d.o.o. na raspolaganju i pomoći pri izradi rada. Zahvaljujem se bližnjima na strpljenju i potpori tijekom studiranja, osobito suprugu, obitelji i prijateljima.

Ana Šantek

Karlovac, 30.studeni 2018.

Sadržaj:

1	Uvod.....	12
2	Povijesni razvoj.....	13
3	Svojstva svjetlosti	21
3.1	Svjetlosni tok i količina svjetlosti.....	22
3.2	Jakost svjetlosti ili svjetlosna jakost.....	24
3.3	Luminacija ili svjetljivost	24
3.4	Iluminacija ili osvjetljenje	25
3.5	Osvjetljenost, svjetlosna izloženost ili ekspozicija	25
3.6	Svjetlosna učinkovitost ili luminacijska efektnost	25
4	Vrste rasvjete	26
4.1	Umjetni izvori svjetlosti	28
4.1.1	Električna žarulja.....	28
4.1.2	Halogena žarulja.....	29
4.1.3	Fluorescentna žarulja (štedna; CFL)	31
4.1.4	Svjetleća dioda ili LED žarulja	32
5	Zakon o rasvjeti radnog prostora	35
6	Energetski učinkovita rasvjeta tvrtke VJ-eko d.o.o.	37
6.1	Postojeće stanje.....	41
6.1.1	Strojna obrada i bravarsko-zavarivački rad.....	44
6.1.2	Lakirnica.....	45
6.1.3	Vanjska rasvjeta	47
6.2	Zamjena rasvjetnih tijela	49
6.2.1	Strojna obrada i bravarsko-zavarivački rad.....	49
6.2.2	Lakirnica.....	51
6.2.3	Vanjska rasvjeta	52
7	ZAKLJUČAK	53
8	Literatura.....	54

Popis slika:

<i>Slika 1: Moderna LED rasvjeta [3]</i>	12
<i>Slika 2: Pećina Wonderwerk u Africi [5]</i>	13
<i>Slika 3: Svjetiljka na prirodni plin [6]</i>	14
<i>Slika 4: Reflektor u kazalištu [6]</i>	15
<i>Slika 5: Ksenonsko svjetlo [8]</i>	15
<i>Slika 6: Nikola Tesla i Thomas A. Edison [10]</i>	16
<i>Slika 7: Neonska reklama u raznim bojama [11]</i>	17
<i>Slika 8: Fluorescentne cijevi [6]</i>	18
<i>Slika 9: Lasersko čišćenje kamena [13]</i>	19
<i>Slika 10: Štedna žarulja (CFL) [10]</i>	20
<i>Slika 11: Objašnjenje svjetlosnog toka pomoću skice [29]</i>	22
<i>Slika 12: Lom svjetlosti na prizmi [16]</i>	26
<i>Slika 13: Aurora Borealis; Polarna svjetlost [19]</i>	27
<i>Slika 14: Električna žarulja s E27 grlom i volframova žarna nit pod mikroskopom [21]</i>	29
<i>Slika 15: Halogena žarulja [22]</i>	30
<i>Slika 16: Štedne žarulje i fluorescentne cijevi [24]</i>	31
<i>Slika 17: Visokotlačna živina žarulja u tvrtki VJ-eko d.o.o.</i>	38
<i>Slika 18: Dimenzije pogona tvrtke</i>	40
<i>Slika 19: Pogon strojne obrade</i>	41
<i>Slika 20: Pogon bravarsko-zavarivačkog rada</i>	42
<i>Slika 21: Pogon lakirnice i antikorozivne zaštite</i>	45
<i>Slika 22: Vanjska rasvjeta</i>	47

Popis oznaka:

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje
<i>LED</i>	/	<i>Light emitting diod</i> , svjetleća dioda
Ω	°	kut osvjetljenja
<i>UV</i>	/	ultraljubičasto zračenje
<i>IC</i>	/	infracrveno zračenje
<i>CFL</i>	/	štedna žarulja
<i>t</i>	sec	vrijeme
<i>E27</i>	mm	Edisonov navoj grla žarulje
η	lm/W	svjetlosna učinkovitost
Φ_s	lm	svjetlosni tok
Q_s	lm·s	svjetlosna energija
<i>I_s</i>	cd	svjetlosna jakost
<i>L_s</i>	cd/m ²	svjetljinost
<i>E_s</i>	lx	osvjetljenje
<i>H_s</i>	lx·s	osvjetljenost
<i>c</i>	m/s	brzina svjetlosti

Popis tablica:

<i>Tablica 1: Prikaz svojstava svjetlosti [29]</i>	<i>21</i>
<i>Tablica 2: Usporedba svjetlosnog toka različitih izvora svjetlosti [29]</i>	<i>23</i>
<i>Tablica 3: Tehničke karakteristike visokotlačne živine žarulje (400W) [37].....</i>	<i>37</i>
<i>Tablica 4: Tehničke karakteristike visokotlačne živine žarulje (250W) [37].....</i>	<i>38</i>
<i>Tablica 5: Analiza rasvjete u strojnoj i bravarskoj radionici</i>	<i>44</i>
<i>Tablica 6: Postojeća rasvjeta u lakirnici</i>	<i>46</i>
<i>Tablica 7: Postojeća vanjska rasvjeta</i>	<i>48</i>
<i>Tablica 8: Zamjena visokotlačnih živinih žarulja sa 72 LED žarulje.....</i>	<i>49</i>
<i>Tablica 9: Zamjena visokotlačnih živinih žarulja sa 100 LED žarulja.....</i>	<i>50</i>
<i>Tablica 10: Zamjena visokotlačnih živinih žarulja s LED žaruljama u lakirnici</i>	<i>51</i>
<i>Tablica 11: Zamjena visokotlačnih živinih žarulja vanjske rasvjete s LED žaruljama</i>	<i>52</i>

SAŽETAK

Većina nas se obazire na svjetlost tek onda kada je nema. Svjetlost je, po definiciji, elektromagnetno zračenje koje je vidljivo ljudskom oku, a to je svjetlost valne duljine od 380 do 780 nanometara [nm]. Primarni izvor svjetlosti je Sunce, no kako se rasvjetljenost, odnosno intenzitet svjetla, mijenja ne samo na godišnjoj razini već i na dnevnoj, tako je nastala i potreba za pronalaskom umjetnih izvora svjetlosti. [1]

U početku, točnije prije 400 000 godina, je to prvenstveno bila vatra. Vatra je bila iznimno korisna jer je služila kao zamjena za danje svjetlo, ali čak i važnije od toga- bila je izvor topline i zaštita od životinja. Zahvaljujući vatri nastali su brojni crteži u pećinama u koje nije dopirala sunčeva svjetlost poput pećine Altamira¹.

Električna rasvjeta kakvu danas poznajemo razvila se tek u 19. stoljeću, točnije 1879.godine kada je Thomas Alva Edison izumio žarulju sa žarnom niti prema nacrtima njemačkog urara Johanna Heinricha Goebela. [2] Upravo tada započinje razvoj umjetne rasvjete kakvu danas poznajemo, a što ćemo podrobnije istražiti u ovom završnom radu uz praktičan primjer zamjene postojeće rasvjete sa energetske prihvatljivom i sve popularnijom LED² rasvjetom.

Ključne riječi: svjetlost, umjetni izvori svjetlosti, rasvjeta, žarulja, LED rasvjeta

¹ Altamira-špilja u Španjolskoj, poznata po Paleolitskim slikama i crtežima koji prikazuju divlje životinje i ljudske ruke.

² LED rasvjeta-eng. *Light Emitting Diode*; poluvodički elektronički element koji pretvara električni signal u optički, tj. svjetlost.

ABSTRACT

Most of us notice the light only by its absence. Light is, by its definition, electromagnetic radiation visible by human eye, which is light containing wavelengths in the range of 380 to 780 nanometres [nm]. The main source of light is Sun, but as luminosity, that is- the intensity of light, changes not only on an annual basis but even on a daily basis, that way increases the need for artificial light. [1]

In the beginning, more precisely, 400 000 years ago, it was mostly fire. Fire was very useful because it has been used as substitution for sunlight, but even more important- it has been the source of heat and also animal protection. Thanks to the fire, numerous cave drawings were created, places where sunlight never reached like Altamira³ cave.

The electrical lighting as we know it nowadays, has developed in 19th century, in 1879, more precisely, when Thomas Alva Edison invented incandescent bulb using schemes by german watchmaker Johann Heinrich Goebel. [2]

That was the time when started the development of artificial lighting as we know it today which would be more thoroughly seen into in this thesis with the example of replacement of existing lighting with more efficient and popular LED⁴ lighting.

Keywords: light, artificial source of light, lighting, bulb, LED lighting

³ Altamira- cave situated in Spain, known for its parietal cave paintings of local fauna and human hands.

⁴ LED lighting- *Light Emitting Diode*; semiconductor light source that emits light when activated.

1 UVOD

„Dovoljna je samo jedna zraka svjetlosti da nestane mrak“

Carmen Ezgeta

Rasvjeta je danas općepoznati pojam koji svi zapravo uzimamo zdravo za gotovo. Mnogi od nas često ne mogu ni zamisliti svakodnevicu bez rasvjete. Upravo su svjetlost i njena primjena u svakodnevnom životu predmeti razmatranja ovog rada.

Rasvjeta je zapravo primjena svjetlosti dobivene uz pomoć nekakvog pomagala. Kako je već spomenuto, u samom početku je to bila vatra, odnosno baklje, kasnije svijeće, a tek onda se otkrićem električne energije počela koristiti puno sigurnija električna žarulja. [2]

U radu će se opisati početak korištenja svjetlosti, upotreba i razvoj te težnja za niskoenergetskom rasvjetom, tema koja je u sadašnjici aktualna i uvijek se iznova otkrivaju nove tehnologije u svakom području svakodnevnog života, pa tako i same rasvjete.



Slika 1: Moderna LED rasvjeta [3]

2 POVIJESNI RAZVOJ

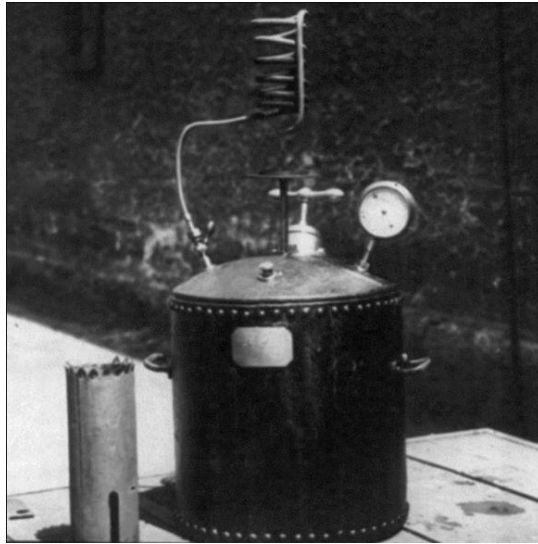
Kako je već spomenuto u radu, procjenjuje se početak umjetne rasvjete prije cca 400 000 godina kada su ljudski preci istu počeli koristiti pri kontroliranim uvjetima. Naravno, sama vatra je „nastala“ mnogo prije, dapače, najnovija istraživanja u pećini Wonderwerk u Južnoj Africi dokazuju kako se čovjek koristio vatrom prije gotovo 1,5 milijuna godina-čak u doba *Homo Erectusa*⁵. Naime, u unutrašnjosti potonje pećine nađeni su pepeo biljaka, četki te ostaci kostiju koji su siguran dokaz kako se u to doba koristila vatra u kontroliranim uvjetima, a nije bila posljedica prirodnih uvjeta. Sasvim suprotno, istraživanjem dubine sedimenata dokazano je kako je vatra zapravo paljena više puta na istom mjestu. Postoje i pretpostavke kako se pak koristila i prije, no ne postoje čvrsti dokazi da ista nije bila posljedica slučaja- udara groma ili slično. [4]



Slika 2: Pećina Wonderwerk u Africi [5]

⁵ *Homo Erectus* (lat.: „uspravan čovjek“)-izumrla vrsta hominina koja je živjela prije cca 1,9 milijuna godina.

Naravno, nakon otkrića vatre i njenih brojnih pogodnosti, razvojem i potrebama čovječanstva se razvijala i umjetna rasvjeta. Najveći razvoj se događao tek od 18.st. Tada su se počele koristiti plinske svjetiljke koje su koristile mješavinu plinova uključujući metan i etan. Najviše se koristio plin dobiven iz ugljena. No, bilo je i svjetiljki koje su koristile prirodni plin i tako krajem stoljeća počele zamijenjivati one na plin dobiven iz ugljena. [6]

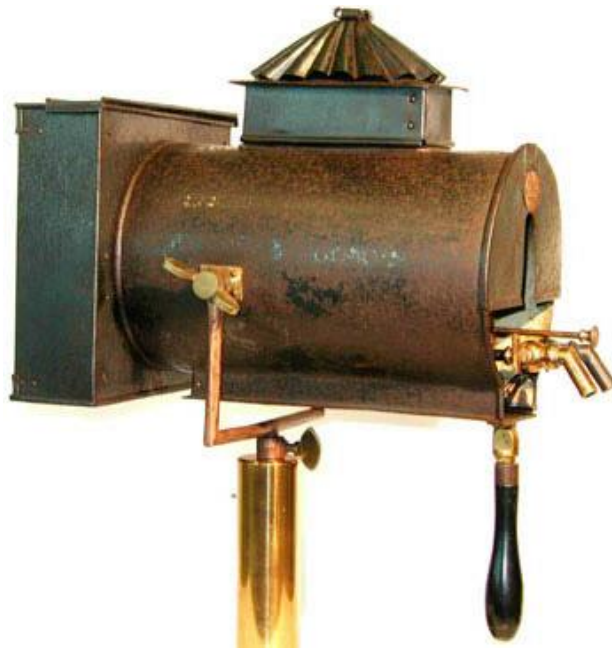


Slika 3: Svjetiljka na prirodni plin [6]

Ovakve svjetiljke, osobito one koje su zahtjevale upotrebu ugljena, nisu bile praktične upravo iz tog razloga – jer su trošile ugljen. U 19.st. su se počele koristiti svjetiljke na kerozin iako su se zapravo koristile još od 9.st., no moderne kerozinske lampe su nastale tek 1853.g. u Poljskoj. U Americi su se široko koristile 1930.-ih godina. [6]

Važan izum 1973.godine bio je galvanski članak fizičara Alessandra Volte koji je zapravo bio baterija sastavljena od naizmjenice poredanih ploča bakra i cinka. Na dodirnim površinama je nastala razlika potencijala, odnosno napon. Možemo zapravo i reći da je ovim izumom započelo doba električne rasvjete. U ranom 19.stoljeću, zahvaljujući Voltinom luku, se razvio i koncept elektrolučnih žarulja koje su postale popularnije tek krajem istog stoljeća. Elektrolučne žarulje stvaraju intenzivnu svjetlost pri pražnjenju elektriciteta u električnom luku. Sastoji se od dviju elektroda između kojih je plin poput neona, argona ili ksenona. Prema plinu kojim su ispunjene se često odnosi i sami njihov naziv- baš poput današnjih, modernih ksenon svjetala. [6][7]

Plinska rasvjeta se u 19.st. koristila i u kulturnim događanjima, točnije u kazalištima. Reflektori su koristili elektrolitički plin koji se usmjeravao u cilindar ispunjen kalcijevim oksidom ili vapnom. Nedostatak elektrolitičkog plina su bili česti požari, te su ovakvi reflektori vrlo brzo zamijenjeni električnom rasvjetom. Međutim, zanimljivo je kako se i dalje diljem svijeta koristi uzrečica „*In the limelight*“, u prijevodu „*Pod svjetlima reflektora*“. [6]

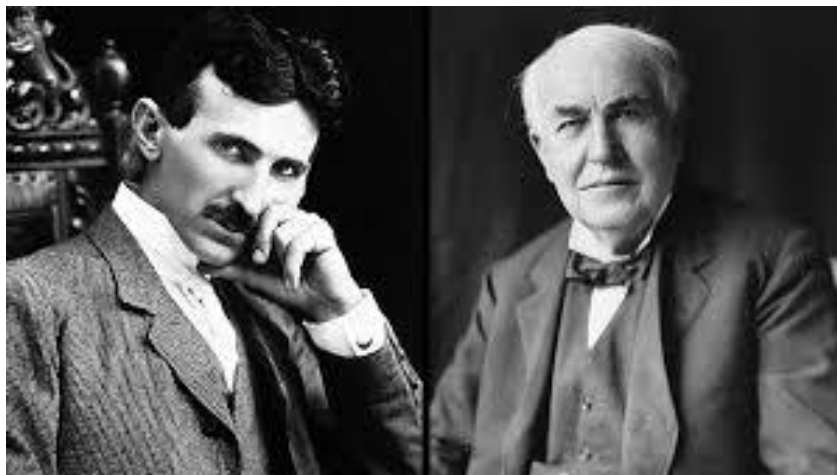


Slika 4: Reflektor u kazalištu [6]



Slika 5: Ksenonsko svjetlo [8]

Godine 1874. poznati znanstvenik s naših prostora, odnosno iz mjesta Smiljana, izumio je prvu električnu žarulju sa žarnom niti u suradnji s dvojicom kolega znanstvenika. Radi se dakako o Nikoli Tesli i njegovim kolegama Henryem Woodwardom i Matthewom Evansom. Opće je poznato kako Tesla nije htio imati monopol nad svojim izumima i stjecati bogatstvo na taj način, već je svoje izume dijelio diljem svijeta kako bi svi imali jednaku korist. To mu je bila veća nagrada i zadovoljstvo negoli novac koji bi od istoga zaradio. [9]



Slika 6: Nikola Tesla i Thomas A. Edison [10]

No, njegova nesebičnost je bila prednost ostalima koji su upotrijebili njegov patent i dodatno ga unaprijedili i time dali svoj doprinos tehnologiji električne rasvjete. Thomas A. Edison je 1879. godine prvi otvorio tržište žarulja sa žarnom niti, čiji je izumitelj bio već spomenuti Tesla. U SAD-u je imao gotovo 1100 patenata, a neke i u Europi. Za svog života je unaprijedio žarulju tako da je sa početnih 40-ak radnih sati, do kraja Edisonovog života potonja postignula 1200 sati rada.[6][9]

Tijekom Prvog svjetskog rata tijekom nestašice ugljena, pozivalo se na smanjenje potrošnje električne energije jer se za nastanak svjetla još uvijek koristio plin nastao iz ugljena. Nedugo nakon toga je otkrivena LED rasvjeta, otkrio ju je Oleg Losev- radio tehničar koji je primjetio da prolaskom struje kroz diode koje su se koristile u radiju, one zapravo emitiraju svjetlost. Losev je umro od gladi 1942.godine prilikom blokade Lenjingrada u Drugom svjetskom ratu, ne znajući koliko će njegovo tehnološko otkriće postati bitno samo par desetljeća kasnije. Vidimo da su LED diode otkrivene prilično rano, no njihova upotreba je zaživjela tek krajem istog stoljeća.

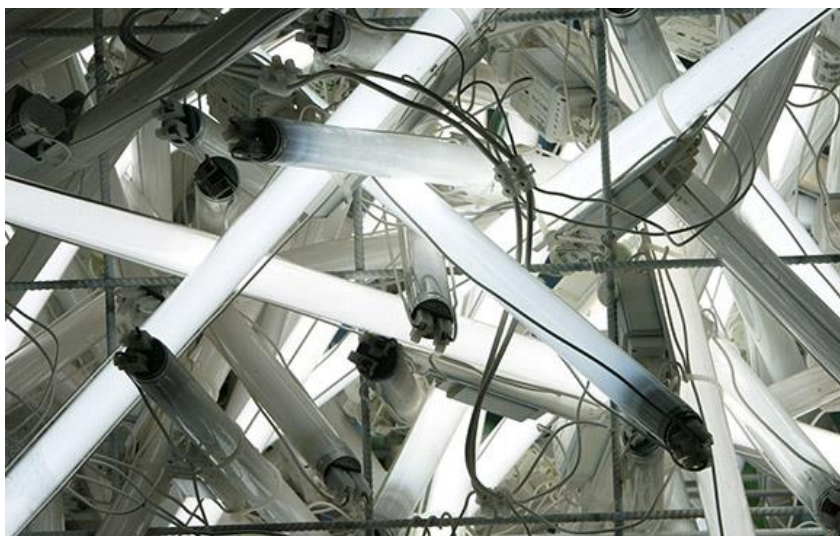
Procvat tehnologije umjetne rasvjete se, unatoč njenom ranom otkriću, zbivao upravo u 19.i 20.stoljeću što je relativno kasno. Već sada možemo zaključiti kako je većina vrsti umjetne rasvjete koja se koristi i danas već bila otkrivena. No, to nije kraj. Istog stoljeća i početkom idućeg je otkriveno još raznih vrsta umjetne rasvjete poput neonskog svjetla, fluorescentnih žarulja, čak i lasera, te tzv. štednih žarulja o čemu će biti govora u još nekoliko redaka ovog rada.

Zanimljiva i šarolika rasvjeta koja se koristi danas su prvi put predstavljene javnosti u ranom 20. stoljeću. Radi se dakako o neonskom svjetlu. Princip rada neonske rasvjete se bazira na upotrebi električne energije koja se priključi na zatvorenu cijev ispunjenu neonskim plinom zbog čega isti isijava svjetlost. Moguće je koristiti i druge vrste plinova poput argona ili kriptonu ili čak njihove kombinacije s neonom zbog čega nastaju različiti spektri boja. Prednost je u svakom slučaju što se ovakve cijevi mogu savijati i tako načiniti razni oblici. [6]



Slika 7: Neonska reklama u raznim bojama [11]

Na sličan način funkcioniraju i fluorescentne lampe- cijevi ispunjene živinom parom proizvode svjetlost kada kroz njih prolazi električna struja. Atomi žive se pobude na toplinsko zračenje i tako emitiraju ultraljubičasto zračenje. Na stijenkama cijevi se stvori fosforentni sloj koji apsorbira ultraljubičasto zračenje i procesom fluorescencije⁶ emitira vidljivo zračenje. Već spomenuti Nikola Tesla i Thomas Edison su obojica vršili pokuse i eksperimente s fluorescentnom rasvjetom još 1890.-ih godina. Do sredine 20.st. ove žarulje su u SAD-u postale učestalije negoli one sa žarnom niti. [6][12]



Slika 8: Fluorescentne cijevi [6]

U 1960.-ima razvijena je danas široko rasprostranjena vrsta svjetla, odnosno zračenja, a prisutna je od tehnoloških potreba poput zavarivanja, za prijenos podataka, u medicini osobito za precizne operacije poput skidanja dioptrije, uklanjanja madeža, tumora (poznato je da se za ovakve operacije načini vrlo malen rez za razliku od klasičnih operacija), u stomatologiji, astronomiji, građevinarstvu, čak služi i kao dječja igračka te još mnogo polja modernog života. Riječ je dakako o laseru⁷, uređaju za stvaranje i pojačavanje koherentnog elektromagnetskog usmjerenog zračenja. Ovu tehnologiju je prvi razvio tim stručnjaka u laboratoriju u Bell Labs-u. Zapravo je nasljednik *maser*⁸-a koji je koristio radijaciju mikrovalova umjesto vidljive svjetlosti, a razvijen je 7 godina ranije. Postoji nekoliko vrsta lasera poput pulsnih lasera, plinskih, poluvodičkih, lasera s bojilima itd. [6][13]

⁶ Fluorescencija-zračenje svjetlosti za vrijeme osvjetljavanja; svojstvo tvari koja pobuđena UV-zračenjem emitira svjetlost u vidljivom spektru.

⁷ Laser-akronim od eng. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*: pojačanje svjetlosti pomoću stimulirane emisije zračenja.

⁸ Maser-akronim za eng. *Microwave amplification by stimulated emission of radiation*: mikrovalno pojačanje svjetlosti pomoću stimulirane emisije zračenja.



Slika 9: Lasersko čišćenje kamena [13]

Ono što je bitno za ovaj rad je daljnji razvoj LED-ica. Kako je već rečeno, otkrivene su još 1920.-ih, ali to otkriće nije imalo značajan odjek. Tek 40-ak godina kasnije, točnije 1962. godine Nick Holonyak Jr., zaposlenik General Electric-a, izumio je praktičnu LED žarulju, diodu koja je primjenu vrlo brzo našla kao indikator u elektronici. U početku su bile samo crvene boje, zatim zelene i koristile su se za osvjetljavanje LED monitora, svjetlećih reklama i sl. U devedesetima je korištena i plava boja, te RGB⁹ boja. Kako se tehnologija sve više razvijala, tako su i LED žarulje postale iznimno koristan izvor svjetlosti, osobito zbog svoje mehaničke izdržljivosti na što su žarulje sa žarnom niti vrlo osjetljive. O prednostima i nedostacima LED-ica će biti govora kasnije u radu. [6][14]

⁹ RGB-akronim za eng. *Red Green Blue*: crvena, zelena, plava; tri osnovne boje koje se nalaze u bijeloj boji.

Prema sve većoj potrebi za očuvanjem energije 1890.-ih izumljena je i štedna žarulja (eng. *CFL*¹⁰), osobito nakon General Electric-ovih fluorescentnih žarulja. Štedne žarulje to zapravo i jesu, samo u kompaktnijem, manjem obliku žarulje. Osmišljene su tako da traju 15 puta duže od uobičajenih žarulja sa žarnom niti, s tim da koriste tek petinu energije potonjih. Naravno, imaju i nedostatke, osobito mnogima iritantne zvukove zujanja te jednako iritantno treperenje prilikom paljenja. Rasvjetljenost im nije osobito visoka tako da osim štednje nisu mnogo bolje od običnih žarulja. Također sadrže živu pa iz ekoloških razloga zahtjevaju posebno odlaganje i moraju se držati podalje od okoliša.[6]



Slika 10: Štedna žarulja (CFL) [10]

¹⁰ CFL- akronim za eng. *compact fluorescent bulbs*-kompaktne fluorescentne žarulje.

3 SVOJSTVA SVJETLOSTI

Svaka fizikalna pojava ima neka određena svojstva po kojima se razlikuje od ostalih, ali i koja se znanstveno ispituju dajući na taj način odgovore na brojna pitanja i potrebne informacije za daljnji razvoj. U prikazanoj tablici se mogu vidjeti svojstva svjetlosti, od kojih je nekoliko objašnjeno u ovom radu.

Tablica 1: Prikaz svojstava svjetlosti [29]

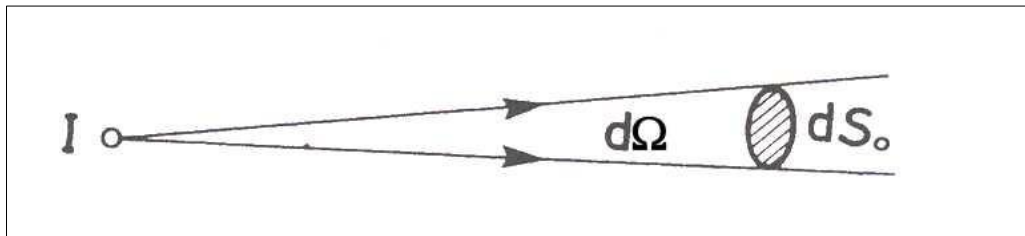
Veličina		Mjerna jedinica		Napomena
naziv	znak	naziv	znak	
Svjetlosna energija	Q_s	lumen sekunda	lm·s	naziva se i količina svjetlosti
Svjetlosni tok	Φ_s	lumen (cd·sr)	lm	naziva se i luminacijski fluks ili svjetlosna snaga
Svjetlosna jakost	I_s	kandela (lm/sr)	cd	naziva se i luminacijski intenzitet
Svjetljičnost	L_s	kandela po četvornom metru	cd/m ²	naziva se i luminancija
Osvjetljenje	E_s	luks (lm/m ²)	lx	naziva se i iluminacija
Osvjetljenost	H_s	luks sekunda	lx·s	naziva se i svjetlosna izloženost ili ekspozicija
Svjetlosna učinkovitost	η	lumen po vatu	lm/W	naziva se i luminacijska efektnost

3.1 Svjetlosni tok i količina svjetlosti

Ova dva svojstva su zapravo vrlo uska vezana. Svjetlosni tok ili luminacijski fluks (Φ_s) je fotometrijska¹¹ fizikalna veličina koja opisuje snagu odaslanog, prenesenog ili primljenog svjetlosnog zračenja. Mjerna jedinica svjetlosnoga toka jest lumen (lm). To je zapravo količina svjetlosti koju točkasti izvor šalje u prostor u svim pravcima u jednoj sekundi. Definirana je kao umnožak svjetlosne jakosti I_s i kuta osvjetljenja Ω , tj. $\Phi_s = I_s \cdot \Omega$, što bi značilo da je 1 lumen onaj svjetlosni tok koji daje točkasti izvor svjetlosti od 1 kandeले u prostorni kut od 1 steradiana¹². Ako izvor svjetlosti šalje svjetlost t sekunda, onda je ukupna količina svjetlosti ili svjetlosna energija koju on daje jednaka umnošku količine svjetlosti i vremena: [29]

- svjetlosni tok: $\Phi_s = I_s \cdot \Omega$ [lm]

- svjetlosna energija: $Q_s = \Phi_s \cdot t$ [lm·s]



Slika 11: Objašnjenje svjetlosnog toka pomoću skice [29]

¹¹ Fotometrija- grana optike koja se bavi mjerenjem svojstava svjetlosti.

¹² Steradian- prostorni kut koji pripada površini od 1m^2 .

Tablica 2: Usporedba svjetlosnog toka različitih izvora svjetlosti [29]

Izvor	Svjetlosni tok (lumen)
37 mW bijela LED (svjetleća dioda)	0,20
15 mW zeleni laser (532 nm valna duljina)	8,4
1 W bijela LED svjetiljka	25 – 120
Petrolejka	100
40 W električna žarulja	325
7 W bijela LED svjetiljka	450
18 W fluorescentna cijev	1 250
100 W električna žarulja	1 750
40 W fluorescentna cijev	2 800
35 W elektrolučna svjetiljka (ksenon)	2 200 – 3 200
100 W fluorescentna cijev	8 000
127 W natrijska svjetiljka	25 000
400 W halogena žarulja	40 000

3.2 *Jakost svjetlosti ili svjetlosna jakost*

Jakost svjetlosti (I_s) je jedna od sedam osnovnih fizikalnih veličina koja opisuje snagu elektromagnetskog zračenja u području valova vidljive svjetlosti. Karakterizira se prema energiji koju u jedinici vremena neki izvor svjetlosti preda u neki dio prostornog kuta. Određuje se kao količnik svjetlosnoga toka Φ_s koji emitira točkasti izvor svjetlosti i kuta Ω :

$$I_s = \frac{\Phi_s}{\Omega}$$

Prema SI-sustavu, mjerna jedinica jakosti svjetlosti je kandela (cd). [29]

3.3 *Luminacija ili svjetljivost*

Luminancija (L) je sjajnost rasvijetljene ili svjetleće površine kako je vidi ljudsko oko. Mjeri se u kandelama po površini (cd/m^2), a za izvore svjetlosti često se koristi i prikladniji oblik (cd/cm^2). Oko posebno dobro vidi razliku između luminancija. Luminancija je jedina fotometrijska veličina koju ljudsko oko može direktno vidjeti. Svaka površina koja svijetli, bez obzira na to je li ona sama izvor svjetlosti ili odbija svjetlo, ima neku određenu svjetljivost, veću ili manju. Npr. gledamo li direktno u električnu žarulju, ona nam previše blješti i brzo zamara očni živac te čovjek gubi sposobnost razabiranja okolnih predmeta. Svjetljivost Sunca je pak toliko velika da u njega ne možemo niti gledati. [30] Mjerna jedinica za luminaciju je 1 nit (nt). Nit je svjetloća plohe od 1 m^2 , koja u okomitom smjeru emitira jakost od 1 kande, što je matematički opisano:

$$1 \text{ nt} = \frac{1 \text{ cd}}{1 \text{ m}^2}$$

Ili u cm^2 čime dobijemo veću jedinicu:

$$1 \text{ sb} = \frac{1 \text{ cd}}{1 \text{ cm}^2} = 10\,000 \text{ nt}$$

3.4 *Iluminacija ili osvjetljenje*

Rasvjetljenost (E_s) je mjerilo za količinu svjetlosti koja pada na neku površinu. Određena je količnikom svjetlosnog toka i samom površinom na koju svjetlost pada. Jedinica za rasvjetljenost je lux i to je izvedena jedinica SI sustava. Lux je definiran kao rasvjetljenost 1 kvadratnog metra na koji pada ravnomjerno raspodijeljen svjetlosni tok od 1 lm [$\text{lx} = \text{lm}/\text{m}^2$]. Radi se o isključivo računskoj veličini, koju naše oko ne primjećuje. [31]

$$E_s = \frac{\Phi_s}{P}$$

3.5 *Osvjetljenost, svjetlosna izloženost ili ekspozicija*

Osvjetljenost (H_s) je također fotometrijska veličina koja pak opisuje ukupnu količinu svjetlosti koja pada na neku površinu u nekom vremenu. Određena je umnoškom osvjetljenja E_s i njegova trajanja t , a mjerna jedinica je lukssekunda [$\text{lx}\cdot\text{s}$]: [32]

$$H_s = E_s \cdot t$$

3.6 *Svjetlosna učinkovitost ili luminacijska efektnost*

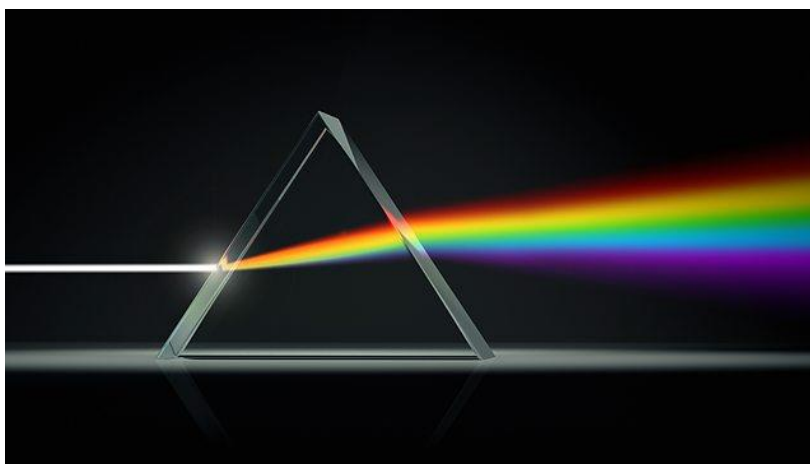
Svjetlosna učinkovitost ili luminacijska efektnost (η) je još jedna fotometrijska fizikalna veličina kojom se opisuje učinak određenih frekvencija elektromagnetskih valova na ljudski osjet vida. Ono je omjer svjetlosnog toka Φ_s i toka zračenja Φ . [33]

$$\eta = \frac{\Phi_s}{\Phi}$$

Mjerna jedinica svjetlosne učinkovitosti je lumen po vatu (lm/W), a kao primjer svjetlosti najveće svjetlosne učinkovitosti možemo navesti žutozelenu svjetlost valne duljine 555 nm čija je $\eta = 683 \text{ lm}/\text{W}$. [33]

4 VRSTE RASVJETE

Što je zapravo svjetlost? To je elektromagnetsko zračenje unutar određenog dijela elektromagnetskog spektra. Najčešće se pritom podrazumijeva vidljiva svjetlost, odnosno spektar vidljiv ljudskim okom i odgovoran je za osjet vida. Različite valne duljine vidimo kao boje, od crvene s najvećom valnom duljinom do ljubičaste s najmanjom. Kao i ostalo elektromagnetsko zračenje, širi se brzinom c^{13} od 299 792 458 m/s. Možemo reći da je to osjet uzrokovan podražajem očnog živca. Već je spomenuto ranije da je vidljivi spektar u intervalu od 380 do 780 nm, odnosno između ultraljubičastog i infracrvenog zračenja. Pomoću prizme se bijela svjetlost lomi na razne valne duljine, od crvene do ljubičaste. [15]



Slika 12: Lom svjetlosti na prizmi [16]

Izvori svjetlosti su fizikalna tijela koja uzrokuju podražaj očnog živca, a oni mogu biti primarni, sekundarni, prirodni i umjetni.

Primarni izvori su tijela koja emitiraju svjetlost sama od sebe (Sunce, zvijezde, tijela visoke temperature, kovine), zatim tijela koja svjetlost isijavaju zbog kemijskih procesa koja se u njima zbivaju (fosfor, kukci-krijesnice i sl.), tijela koja svijetle zbog električnih izbijanja (razrjeđeni plinovi u cijevima...). [17]

¹³ c- brzina svjetlosti; brzina širenja elektromagnetskih valova, iznosi $c=299\,792\,458$ m/s.

Sekundarni izvori svjetlosti su tijela od kojih se zapravo svjetlost odbija, što je dakako širok pojam, ali kao dobar primjer sekundarnog izvora svjetlosti možemo navesti Mjesec jer odbija svjetlost Sunca. [17]

Prirodni izvori svjetlosti su zapravo i primarni, to su ponajprije zvijezde (već spomenuto Sunce), munje, polarna svjetlost, vatra, čak i životinje poput krijesnica i drugo. [18]

Umjetni izvori svjetlosti su dobiveni umjetnim putem, oni ne isijavaju svjetlost sami od sebe već izgaranjem pomoću električne energije i sl. To su baklje, svijeće, žarulje, razne cijevi punjene plinom kroz koje prolazi električna energija i dr. [17]



Slika 13: Aurora Borealis; Polarna svjetlost [19]

4.1 *Umjetni izvori svjetlosti*

Umjetni izvori svjetlosti, ili skraćeno samo umjetna svjetlost, je suprotnost prirodnom svjetlu. Odnosi se na bilo koji izvor svjetlosti dobiven umjetnim putem, najčešće električnom energijom. Primjena umjetne rasvjete je široka, od korištenja istih u domovima do komercijalne svrhe. Mogu se naći u mnogo oblika, veličina, različitih boja svjetlosti te različitih jačina svjetlosti. Umjetna rasvjeta je od posebnog značaja za agronomiju, poljoprivredu i vrtlarenje, osobito za zatvorene prostore. Podijeliti ih možemo po načinu na koji svaki od njih stvara svjetlost. [17][20]

4.1.1 *Električna žarulja*

Električna žarulja, odnosno žarulja sa žarnom niti je električna sprava¹⁴ sa žičanom niti zagrijanom do temperature dovoljno visoke kako bi svjetlila vidljivom svjetlosti (užarenosti). Žarna nit je zaštićena od oksidacije staklom ili staklom s primjesama silicijeva dioksida u amorfnom obliku- što jača svojstva stakla, a ispunjena je inertnim plinom (He, Ne, Ar,...) ili vakuumom. Električnom energijom se opskrbljuje preko tzv. grla žarulje koje se pomoću navoja stavi u utičnicu što ju dodatno čini stabilnijom i manje sklonu razbijanju. Grlo je najčešće izvedeno s E27¹⁵ navojem, no postoje i brojni drugi (E14, E10, E5, itd). [21]

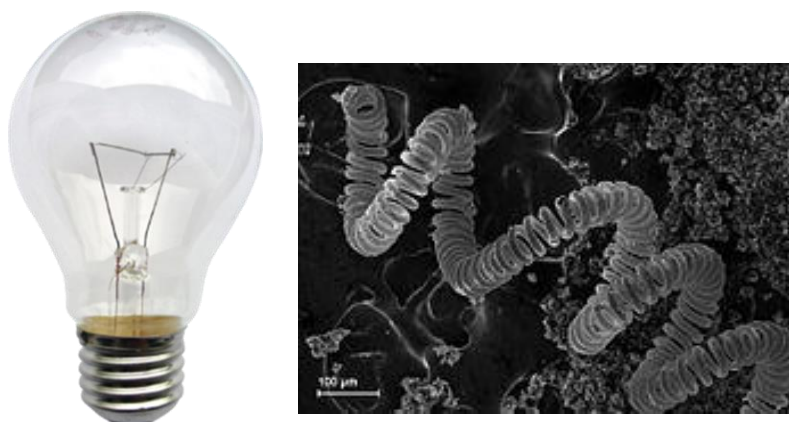
Proizvode se u širokom rasponu veličina, jakosti struje i napona (1,5 - cca 300V). Ne zahtjevaju nikakvu dodatnu opremu ili dodatke, troškovi proizvodnje su niski te jednako učinkovito rade kako na istosmjernoj, tako i na izmjeničnoj struji. Upravo zbog toga se naveliko koriste u brojnim kućanstvima, u komercijalnim svrhama, radnim prostorima, ali i kao dekorativnu te rasvjetu pri oglašavanju. [21]

Međutim, žarulje sa žarnom niti su mnogo manje učinkovite od ostalih vrsta rasvjete. Pri pretvorbi električne energije u vidljivu svjetlost manje od 5% (prosječne žarulje samo cca 2,2%) se zapravo pretvori u svjetlost. Sva ostala energija se pretvori u toplinsku energiju, što nije nužno loše jer se može koristiti u druge svrhe poput grijaćih tijela za terarije, inkubatore za

¹⁴ Električna sprava- izum koji koristi električnu energiju za proizvodnju svjetlosne energije.

¹⁵ E27 (*eng. Edison screw*)- Edisonov standardni navoj vanjskog promjera $\phi 27\text{mm}$.

perad, za lava-lampe i sl. Svjetlosna učinkovitost¹⁶ ovih žarulja je 16 lm/W. Usporedbe radi, fluorescentne žarulje dostižu 60 lm/W, a LED žarulje čak 150 lm/W. [21]



Slika 14: Električna žarulja s E27 grlom i volframova žarna nit pod mikroskopom [21]

4.1.2 Halogena žarulja

Nakon izuma klasične žarulje sa žarnom niti, ista je dugo ostala u upotrebi kao izvor umjetne rasvjete, a volframova nit se pokazala kao najizdržljiviji materijal koji također dobro odolijeva visokim temperaturama te se zbog vakuuma produljio i vijek trajanja same niti. Međutim, kako je klasična žarulja zapravo grijaće tijelo koje 90% ukupne enerije pretvara u nevidljivi dio (infracrveni dio spektra), a tek cca. 8% u svjetlost, iskazala se kao izvor svjetlosti koji nije efikasan niti ekonomičan. Dakako, stvorila se potreba za nekim novim izvorom svjetlosti, a upravo tada je nastala halogena žarulja koja je bila mnogo efikasnija. [22]

Princip rada halogene žarulje je zapravo isti kao kod žarulje sa žarnom niti, s tim što atmosferu unutar stakla umjesto vakuuma čine halogeni plinovi, kao npr. brom ili jod. Umjesto volframove niti korištena je tungstenova, još otpornija od volframove, koja u kombinaciji s halogenim plinovima stvara Halogeni ciklus¹⁷ - ispareni tungsten se tako ponovno deponira na nit što produljuje vijek trajanja, ali pritom ne smanjuje prozirnost stakla žarulje. [22]

¹⁶ Svjetlosna učinkovitost- mjera koja označava koliko učinkovito izvor proizvede vidljive svjetlosti; SI: [lm/W]-lumena po wattu; lumen dobivene svjetlosti za svaki watt električne energije.

¹⁷ Halogeni ciklus- kemijski proces kojim se raspada veza tungstena (ili volframa) i halogenog plina, pri čemu se tungsten (volfram) vraća u filament, brom natrag u plin, a pritom se ne smanjuje prozirnost stakla.

Halogena žarulja radi i na višim temperaturama od klasične žarulje, pritom dajući više svjetla. Ima produženi vijek trajanja, ali uz ponešto višu temperaturu bijelog svjetla-temperatura stakla nerijetko doseže temperaturu preko 300°C. Zbog toga ih treba držati podalje od zapaljivih tvari/materijala ili pak dodira i to po mogućnosti na udaljenosti od pola metra jer na toj udaljenosti nema utjecaja topline žarulje. Iz ovog razloga nisu pogodne za ugradnju većeg broja halogenih žarulja (npr. za osvjetljavanje radnog prostora) jer bi, zbog utjecaja topline velikog broja žarulja, za hlađenje osvijetljenog prostora bilo potrebno puno više energije. Pošto dostižu visoku temperaturu, površina iza halogene žarulje često pocrni upravo zbog utjecaja topline na boju koja tada tamni. Međutim, efikasnije su od običnih žarulja sa žarnom niti- halogena žarulja snage 60W daje jednaku količinu svjetlosti kao obična žarulja sa žarnom niti snage 100W. [22][23]



Slika 15: Halogena žarulja [22]

4.1.3 Fluorescentna žarulja (štedna; CFL)

Na početku je bitno napomenuti kako su fluorescentne cijevi (žarulje) i štedne žarulje (CFL) zapravo istog značenja, samo su štedne žarulje u biti kompatne fluorescentne cijevi. Fluorescentne cijevi su izumljene s ciljem izbacivanja žarulja sa žarnom niti s tržišta zbog nesrazmjera potrošnje električne energije i „proizvodnje“ vidljive svjetlosti. Kako je već rečeno, fluorescentna cijev „proizvodi“ svjetlost ultraljubičastim zračenjem nastalo električnim izbojem u smjesi živine pare i plemenitih plinova unutar cijevi. Mnogo je efikasnija od obične žarulja jer joj je stupanj pretvorbe električne energije u svjetlosnu energiju veći nego kod običnih- točnije 17-21%, odnosno daje 60 lm/W, a i ima dulji vijek trajanja- između 6000 i 15000 sati dok klasične imaju između 750 i 1000 sati. [24]

Nedostatak štednih žarulja je dakako u početnoj investiciji, odnosno razlici cijena- fluorescentna cijev je otprilike 3 do 10 puta skuplja od klasične žarulje. Međutim, ta razlika s vremenom nestane zbog manje potrošnje električne energije i dužeg vijeka trajanja. Uz veliku razliku cijene kupce dodatno smeta mogućnost treperenja fluorescentnih cijevi, što kod nekih izaziva osjetljivost i glavobolju. Isto tako pri uključivanju je često potrebno sačekati kratko vrijeme kako bi se plin dovoljno zagrijao za proizvodnju svjetlosti. [24]



Slika 16: Štedne žarulje i fluorescentne cijevi [24]

Pod nedostatkom fluorescentnih cijevi, odnosno štednih žarulja bi svakako mogli navesti i ograničen vijek trajanja brojem paljenja. Naime, ukupno trajanje žarulja se uvelike smanjuje ako se uključuju češće i na kraće vrijeme- tada vijek trajanja može biti i do 85% kraći što ih svrstava u klasu s običnim žaruljama sa žarnom niti. Isto tako, što su starije, proizvode manje svjetlosti nego kada su nove tako da pri kraju svog vijeka trajanja potonje proizvode 70-80% količine svjetlosti negoli nova žarulja. [24]

Pošto štedna žarulja sadrži živinu paru, potrebno je oprezno rukovati njome. Ukoliko se razbije, i vrlo malena količina pare će onečistiti prostor ili prostoriju. Preporuka je prozračiti prostoriju u kojoj se cijev razbila te mokrim rupčićem pokupiti ostatke koje je potrebno staviti u zatvorenu plastičnu vrećicu. [24]

4.1.4 Svjetleća dioda ili LED žarulja

LED dioda, odnosno LED žarulja je, može se slobodno reći, pri vrhu izvora umjetne svjetlosti uzimajući u obzir ekonomičnost, učinkovitost, praktičnost i vijek trajanja. Nije jednaka uobičajenoj žarulji sa žarnom niti koja ima staklenu ovojnica. LED žarulja ima staklenu ovojnica, no sastavljena je od malenih pločica, elektroničkih komponenti i upravo iz tog razloga se može nazivati i elektroničkim uređajem. LED žarulja je elektronički izum s dvije elektrode- anodom i katodom kroz koje u jednom smjeru teče električna energija; ulazi u anodu i izlazi iz katode. Zapravo je to poluvodički uređaj koji emitira vidljivu svjetlost kada kroz njega teče električna energija- upravo suprotnost fotonaponskim ćelijama koje pak pretvaraju Sunčevu energiju (vidljivu svjetlost) u električnu. [25][26]

LED se može koristiti posvuda, osobito u prostorima u kojima se dugo koriste izvori umjetne svjetlosti, npr. u javnoj rasvjeti, uredskim prostorima, pogonima u proizvodnji gdje je rasvjetljenost iznimno bitna, ali isto tako i u domovima. Nisu opasne jer ne sadrže nikakve plinove ili pare opasne za okoliš i floru i faunu, za razliku od fluorescentnih ili CFL žarulja pa isto tako ne zahtjevaju posebne načine skladištenja, odnosno odlaganja starih žarulja. [26]

Vrlo bitna stavka pri odabiru rasvjetnog tijela i izvora svjetlosti je njena učinkovitost i rasvjetljenost u čemu LED žarulje dominiraju. Pri proizvodnji svjetlosti vrlo malo energije prelazi u toplinsku energiju, što je kod klasičnih žarulja najveća mana. To svakako doprinosi

učinkovitosti LED-ica koja je otprilike 50% veća nego kod fluorescentnih, odnosno oko 85% veća nego kod običnih žarulja sa žarnom niti. Iznimno su povoljne za uštedu energije, a bilo koja LED žarulja, čak i ona s najmanje snage ima odlična svojstva rasvjetljavanja i odavanja vidljive svjetlosti. Za usporedbu s običnim žaruljama snage 15W koje daju svjetlost oko 130lm, LED žarulja snage samo 3W daje istu svjetlost 130lm. Prosječna LED-ica ima snagu 7W, odnosno kao obična žarulja snage 30-40W. Dizajnirane su tako da traju do 50 puta duže, čak i u slučaju pada često ne dolazi do kvara, što proporcionalno znači i manje održavanja i manje otpada.[26] [27]

4.1.4.1 Vijek trajanja i ekonomičnost

LED svjetla, uz odgovarajući dizajn, mogu imati vijek trajanja od 50 000 pa do 100 000 sati. U godinama bi to iznosilo od 6 do 7 godina, a ovisno o satima dnevnog korištenja, čak do 20 ili 25 godina. LED također nikada potpuno ne izgara, već kroz vrijeme upotrebe slabi jačina svjetlosti koju proizvodi. Ovisno o dizajnu, pojedine LED žarulje osiguravaju bar 70% početne jačine svjetlosti tijekom 50 000 radnih sati. Naravno, brojni čimbenici utječu na stvarni životni vijek LED žarulja. [26]

Pri investiranju u LED rasvjetu glavno pitanje je naravno isplativost same investicije zamjene postojeće rasvjete. Glavna stavka pri odluci je visoka početna cijena u nabavi novih izvora svjetlosti. No, početna investicija se vrlo brzo isplati jer se znatno smanjuje trošak potrošnje električne energije, a pritom su i troškovi održavanja niski- LED žarulja ima dug vijek trajanja, kako je već navedeno u radu, između 50 000 i 100 000 radnih sati. Naravno, bilo kakva početna investicija je uvijek skuplja u samom početku, no bitno je razraditi ekonomičan plan i koristiti ono što je najbolje u dugoročnom pogledu. [26]

4.1.4.2 Prednosti i nedostaci

Prednosti:

- Veća energetska učinkovitost
- Višestruko smanjena potrošnja električne energije za istu količinu svjetlosti
- Duži vijek trajanja
- Ne postoji opasnost zagađenja okoliša nakon loma (nema žive ili drugih opasnih materijala, ekološki prihvatljivija, moguća reciklaža svih dijelova)
- Manji gubitak snage
- Kvaliteta i dugotrajna izdržljivost (velika otpornost na vibracije, udarce, vremenske nepogode, ekstremno visoke ili niske temperature čak i namjeran lom)
- Ne emitira UV ili IC zračenje, nema zujanja, svjetlucanja ili strobo-efekta¹⁸
- Fleksibilnost u smislu dizajna, kako same žarulje tako i lampe u kojoj svijetli
- Disperzija svjetlosti – fokusiranost svjetlosnog snopa
- Trenutno paljenje na maksimalnu razinu svjetlosti
- Izdržljivost na učestalo paljenje/gašenje [34] [35]

Mane :

- Visoka početna cijena investicije
- Neznatno veća težina pojedine žarulje
- Osjetljivost na toplinu [34] [35]

¹⁸ Strobo-efekt ili stroboskopski efekt- vizualni fenomen pri kojem se objekti u kretanju mogu činiti kao da miruju, kreću mnogo sporije ili pak u suprotnom smjeru od stvarnog smjera kretanja.

5 ZAKON O RASVJETI RADNOG PROSTORA

Radni prostor mora biti osvijetljen prema važećim, odnosno usvojenim normama i zakonima. Prema novoj europskoj normi EN 12464, preporučena rasvijetljenost od 300 do 500 lx nije dovoljna, već očekuju vrijednosti između 1000 i 3000 lx za radne prostore. Trenutno je od Ministarstva rada i mirovinskog sustava usvojen Pravilnik o zaštiti na radu za mjesta rada, objavljen u Narodnim novinama (broj NN 29/13), a čiji članak 27. o prirodnoj i umjetnoj osvijetljenosti u radu citiram.

PRAVILNIK

O ZAŠTITI NA RADU ZA MJESTA RADA [36]

Prirodna i umjetna osvijetljenost

Članak 27.

(1) Na mjestima rada se mora osigurati prvenstveno prirodno osvijetljenje odnosno opskrbljenost umjetnom rasvjetom koja je primjerena zahtjevima za sigurnost i zaštitu zdravlja radnika.

(2) Osvijetljenje mjesta rada mora biti u skladu sa važećim normama.

(3) Površine za dovod prirodnog svjetla moraju biti raspoređene tako da osiguravaju ravnomjerno osvijetljavanje svih dijelova radne prostorije, a njihova ukupna površina mora iznositi najmanje 1/8 površine poda radne prostorije.

(4) Mjesta rada na kojima zbog tehnološkog procesa nije moguće ili nije dozvoljeno prirodno osvijetljenje, umjetno osvijetljenje mora biti u skladu s prirodom tehnološkog procesa.

(5) Otvore za prirodno osvjetljavanje treba raspoređivati tako da se spriječi direktno upadanje sunčeve svjetlosti na mjesta rada.

(6) Ako se ne može spriječiti upad direktne svjetlosti na mjesta rada onda je potrebno primijeniti sredstva za zasjenjivanje kao što su: podesne vrste stakla, brisoleji, zastori, zavjese, premazivanje staklenih površina, nadstrešnice, itd.

(7) Umjetno osvjetljenje potrebno je osigurati kao opće, a u ovisnosti o zahtjevima pojedinih djelatnosti i kao dopunsko osvjetljenje na mjestima rada.

(8) Instalacije rasvjete na mjestima rada i prolazima moraju biti izvedene tako da ne predstavljaju rizik za radnike i druge osobe s obzirom na vrstu rasvjete koja je postavljena.

(9) Mjesta rada na kojima su radnici u slučaju kvara umjetne rasvjete izloženi opasnostima moraju biti opskrbljena nužnom rasvjetom odgovarajuće jačine. [36]

6 ENERGETSKI UČINKOVITA RASVJETA TVRTKE

VJ-EKO D.O.O.

Tvrtka VJ-eko je tvrtka-kći tvrtke DOK-ING iz Zagreba. Nalazi se u Slunju, malenom gradu nedaleko Karlovca. Bavi se proizvodnjom specijalnih strojeva za razminiranje, rudarstvo i specijalnih vatrogasnih strojeva te uslugom izrade metalnih konstrukcija, strojne obrade, bravarsko-zavarivačkih poslova i antikorozivne zaštite. Sama tvrtka se sastoji od tri proizvodna pogona od kojih je jedan za strojnu obradu, jedan za bravarsko-zavarivački rad i jedan za antikorozivnu zaštitu. Zamjena rasvjetnih tijela, uz suglasnost tvrtke, se odnosi na upravo ta tri pogona, a za pogone strojne obrade i bravarsko-zavarivačkih radova prikazat će se dvije opcije- zamjena postojeće rasvjete s novih 72 LED žarulje te opcija sa 100 LED žarulja radi usporedbe ovih dviju analiza zamjene žarulja.

Pogoni za strojnu obradu i bravarsko-zavarivački rad su dimenzija 15x50x7.5 m, a trenutno se u njima nalazi 128 komada žarulja snage 250W, dok se u lakirnici dimenzija 20x15x7 nalazi 11 žarulja snage 400W. Točnije, radi se o visokotlačnoj živinim žaruljama koje koriste električni luk kako bi pomoću žive odavale bijelu svjetlost. Tehničke karakteristike prema proizvođaču su dane u tablici.

Tablica 3: Tehničke karakteristike visokotlačne živine žarulje (400W) [37]

Opis:	Osvjetljavanje grada, prometnica i velikih prostora(skladišta)
Grlo / sjedište:	E40
Snaga:	400 W
Napon:	230 V
Svjetlosni tok:	20 000 lm
Boja (temperatura boje)¹⁹:	4000 K (umjerena bijela svjetlost)
Trajnost:	12000 h
Dimenzije:	292,0 (120,0) mm
Specifičnosti:	Žarulja bazirana na živi

¹⁹ Laička interpretacija temperature boje:
2700 - 3500k - žuto svjetlo (standarna žarulja sa žarnom niti)
4000 - 5000k - umjereno bijelo svjetlo
5800 - 6500k - dnevno svjetlo

Tablica 4: Tehničke karakteristike visokotlačne živine žarulje (250W) [37]

Opis:	Osvjetljavanje grada, prometnica i velikih prostora(skladišta)
Grlo / sjedište:	E40
Snaga:	250 W
Napon:	230 V
Svjetlosni tok:	13 000 lm
Boja (temperatura boje):	4000 K (umjerena bijela svjetlost)
Trajnost:	20000 h
Dimenzije :	292,0 (120,0) mm
Specifičnosti:	Žarulja bazirana na živi



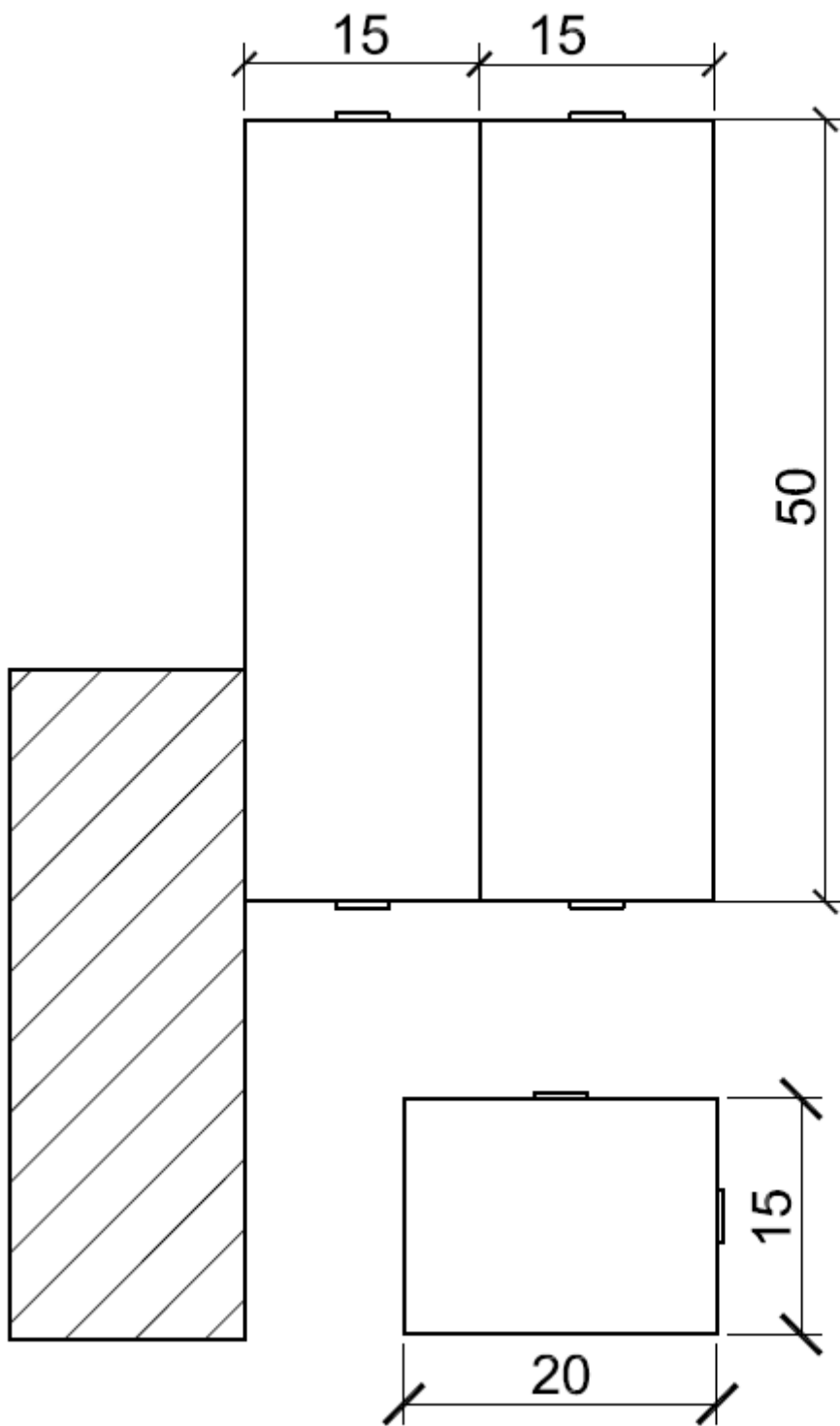
Slika 17: Visokotlačna živina žarulja u tvrtki VJ-eko d.o.o.

Kako bi se što bolje usporedila i prikazala ušteda prilikom zamjene postojeće rasvjete s LED žaruljama, prikazat će se rezultati zamjene sadašnjih 128 žarulja sa 72 LED žarulje-odnosno 350 luxa, a zatim sa 100 LED žarulja-odnosno 450 luxa. Dakako, početni trošak investiranja u zamjenu većeg broja žarulja je veći, a time i rok otplate istog. No, obzirom da LED žarulje imaju daleko dulji vijek trajanja od visokotlačnih živinih žarulja te za isto osvjetljenje troše manje električne energije, očigledno je kako se ovakva investicija brzo isplati i zapravo ubrzo počne doprinositi uštedi. Uz sve to, kako nemaju živinih para i mnogo su sigurnije za okoliš i zdravlje živih bića.

Kako visokotlačne živine žarulje imaju predspojne naprave zbog ograničenja struje pri uključivanju žarulje i tako sprječavaju uništavanje žarulje (do koje bi došlo zbog ionizacije plina i naglog povećanja struje), isto tako stvaraju gubitke. Zbog potonjih, živina žarulja snage 250W zapravo ima ukupnu snagu 275W.

Radi preglednosti, u radu će se analiza zamjene rasvjetnih tijela prikazati tablično s proračunom investicije, instalirane snage, potrošnje energije, uštede i ostalo. Na idućoj stranici je prikaz dimenzija svih pogona na koje se odnosi zamjena rasvjete (šrafirani dio nije uključen u analizu).

Isto tako, važno je znati kako je prilikom zamjene izvora svjetlosti bitno računati na stanje električnih instalacija i eventualne promjene istih zbog sigurnosti i ispravnosti, a zatim i same učinkovitosti čitave zamjene rasvjetnih tijela.



Slika 18: Dimenzije pogona tvrtke

6.1 *Postojeće stanje*



Slika 19: Pogon strojne obrade



Slika 20: Pogon bravarsko-zavarivačkog rada

Sve tablice sadrže iste podatke, kako one za postojeće stanje, tako i one nakon zamjene žarulja. Broj svjetiljki se razlikuje po radnim pogonima, dok je broj radnih sati uzet kao približna vrijednost 8-satnog radnog vremena, 5 dana u tjednu kroz godinu dana. Cijena kWh je poznata, a uređena je prema HEP-ovom cjeniku [37].

Proizvodnja CO₂ po kWh je uzeta u prosjeku, a kreće se od cca 0,3 do 0,6 prema online podacima [38]. Nadalje, podaci o cijenama svjetiljki su korištene prema cijenama postojeće rasvjete te određenih LED žarulja koje bi se koristile u projektu.

Ukupna instalirana snaga je izračunata umnoškom broja svjetiljki i ukupne snage svjetiljki, odnosno žarulja.

Podatak godišnje potrošnje energije se vrlo lako dobije umnoškom broja radnih sati i ukupne instalirane snage (podijeljeno s 1000 radi usklađivanja mjernih jedinica), a godišnji troškovi energije dobiveni su pak umnoškom cijene energije i godišnje potrošnje iste. Godišnja potrošnja energije također služi i za izračun godišnje količine emisije CO₂ tako da se pomnoži podatkom o proizvodnji CO₂ po kWh.

Životni vijek žarulja je prosječan vijek određenih LED žarulja koje bi se koristile za zamjenu, a pomoću tog podatka se izračuna prosjek broja zamjene žarulja i to omjerom životnog vijeka i broja radnih sati, a omjerom broja žarulja i broja zamjene žarulja dobijemo podatak o broju žarulja koje se mijenjaju.

Cijena koštanja žarulje ovisi o tipu žarulje dok cijena koštanja zamjene žarulje, dakako, ovisi o pružatelju usluge. Korištena je prosječna cijena sličnih usluga, te tako dobivena ukupna cijena kao zbroj cijena koštanja žarulja i njihove zamjene, a godišnji trošak pomoću umnoška broja zamjenjenih žarulja i ukupne cijene unutar godine dana.

Vrijeme povrata investicije dobiveno je omjerom ušteda ukupne cijene žarulje te zbroja godišnjeg troška energije i godišnjeg troška žarulja.

6.1.1 Strojna obrada i bravarsko-zavarivački rad

Tablica 5: Analiza rasvjete u strojnoj i bravarskoj radionici

POSTOJEĆA RASVJETA					
strojna obrada i bravarsko-zavarivački rad					
		Tip	Mj. jedinica	250W MH	Total
1		Broj svjetiljaka	kom	128	128
2		Broj radnih sati u godini	h	3200	
3		Cijena energije	kn/kWh	0,77	
4		1kW/hr energije = xxx kg/Co2	kg CO2	0,42	
5		Cijena svjetiljke (bez instalacije)	kn/svj.	0	
6		Ukupna cijena koštanja svjetiljaka	kn	0	0
7		Broj žarulja u svjetiljci	kom	1	
8		Snaga žarulje	W	250	
9		Gubici predspojne naprave (10%)	W	25	
10	(8+9)	Ukupna snaga svjetiljke	W	275	
11	(1*10)	Ukupna instalirana snaga	W	35 200	35 200
12	(2*11)	Godišnja potrošnja energije	kWh	112 640	112 640
13	(3*12)	Godišnji troškovi energije	kn	86.732,80	86.732,80
14	(4*12)	Godišnja količina CO2 emisije	kg CO2	47 308,80	47 308,80
15		Životni vijek izvora svjetlosti	h	6000	
16	(15/2)	Prosjek broja zamjene žarulja		1,875	
17	(1/16)	Br. žarulja koje se mijenjaju	kom/god	68,267	
18		Cijena koštanja žarulje	kn/kom	180	
19		Cijena koštanja zamjene žarulje	kn	150	
20	(18+19)	Ukupna cijena	kn	330	
21	(17*20)	Godišnji trošak žarulja	kn	22.528,00	22.528,00
22		Srednji nivo rasvijetljenosti	lux		156

6.1.2 Lakirnica



Slika 21: Pogon lakirnice i antikorozivne zaštite

Tablica 6: Postojeća rasvjeta u lakirnici

POSTOJEĆA RASVJETA					
LAKIRNICA					
		Tip	Mj. jedinica	400W MH	Total
1		Broj svjetiljaka	kom	11	11
2		Broj radnih sati u godini	h	3200	
3		Cijena energije	kn/kWh	0,77	
4		1kW/hr energije = xxx kg/Co2	kg CO2	0,42	
5		Cijena svjetiljke (bez instalacije)	kn/svj.	0	
6	(1*5)	Ukupna cijena koštanja svj.	kn	0	0
7		Broj žarulja u svjetiljci	kom	1	
8		Snaga žarulje	W	400	
9		Gubici predspojne naprave (10%)	W	40	
10	(8+9)	Ukupna snaga svjetiljke	W	440	
11	(1*10)	Ukupna instalirana snaga	W	4840	4840
12	(2*11)/1000	Godišnja potrošnja energije	kWh	15488	15488
13	(3*12)	Godišnji troškovi energije	kn	11.925,7	11.925,7
14	(4*12)	Godišnja količina CO2 emisije	kg CO2	6 504,96	6 504,96
15		Životni vijek izvora svjetlosti	h	6000	
16	(15/2)	Prosjek broja zamjene žarulja		1,875	
17	(1/16)	Br. žarulja koje se mijenjaju	kom/god	5,867	
18		Cijena koštanja žarulje	kn/kom	95	
19		Cijena koštanja zamjene žarulje	kn	150	
20	(18+19)	Ukupna cijena	kn	245	
21	(17*20)	Godišnji trošak žarulja	kn	1.437,33	1.437,33
22		Srednji nivo rasvijetljenosti	lux		256

6.1.3 Vanjska rasvjeta



Slika 22: Vanjska rasvjeta

Tablica 7: Postojeća vanjska rasvjeta

POSTOJEĆA RASVJETA					
VANJSKA RASVJETA					
		Tip	Mj. jedinica	250W	Total
1		Broj svjetiljaka	kom	23	23
2		Broj radnih sati u godini	h	3200	
3		Cijena energije	kn/kWh	0,77	
4		1kW/hr energije = xxx kg/Co2	kg CO2	0,42	
5		Cijena svjetiljke (bez instalacije)	kn/svj.	0	
6		Ukupna cijena koštanja svjetiljaka	kn	0	0,00
7		Broj žarulja u svjetiljci	kom	1	
8		Snaga žarulje	W	250	
9		Gubitci predspojne naprave	W	25	
10	(8+9)	Ukupna snaga svjetiljke	W	275	
11	(1*10)	Ukupna instalirana snaga	W	6325	6325
12	(2*11)/1000	Godišnja potrošnja energije	kWh	20240	20240
13	(3*12)	Godišnji troškovi energije	kn	15.584,80	15.584,80
14	(4*12)	Godišnja količina CO2 emisije	kg CO2	8500,8	8500,80
15		Životni vijek izvora svjetlosti	h	2000	
16	(15/2)	Prosjek broja zamjene žarulja		0,625	
17	(1/16)	Br. žarulja koje se mijenjaju	kom/god	36,800	
18		Cijena koštanja žarulje	kn/kom	95	
19		Cijena koštanja zamjene žarulje	kn	150	
20	(18+19)	Ukupna cijena	kn	245	
21	(17*20)	Godišnji trošak žarulja	kn	9.016,00	9.016,00
22		Srednji nivo rasvijetljenosti	lux		25

6.2 Zamjena rasvjetnih tijela

6.2.1 Strojna obrada i bravarsko-zavarivački rad

Tablica 8: Zamjena visokotlačnih živinih žarulja sa 72 LED žarulje

LED rasvjeta							God. ušteda	Ušteda
		Tip	Mj. jedinica	135W	Total		[%]	
1		Broj svjetiljaka	kom	72	72	56	-44	
2		Broj radnih sati u godini	h	3200,00				
3		Cijena energije	kn/kWh	0,77				
4		1kW/hr energije = xxx kg/Co2	kg CO2	0,42				
5		Cijena svjetiljke (nisu uklj. troškovi instalacije)	kn/svjetiljci	2.750,00				
6		Ukupna cijena koštanja svjetiljaka	kn	198.000,00	198.000,00			
7		Broj žarulja u svjetiljci	kom	1				
8		Snaga žarulje	W	135				
9		Gubitci predspojne naprave	W	0				
10	(8+9)	Ukupna snaga svjetiljke	W	135				
11	(1*10)	Ukupna instalirana snaga	W	9720,00	9720,00	25480,00		
12	(2*11)/1000	Godišnja potrošnja energije	kWh	31104,00	31104,00	81536,00		
13	(3*12)	Godišnji troškovi energije	kn	23.950,08	23.950,00	62.782,72		
14	(4*12)	Godišnja količina CO2 emisije	kg CO2	13063,68	13063,60	34245,12		
15		Životni vijek izvora svjetlosti	h	50000				
16	(15/2)	Prosjeke broja zamjene žarulja		0				
17	(1/16)	Br. žarulja koje se mijenjaju	kom/god	0				
18		Cijena koštanja žarulje	kn/kom	0				
19		Cijena koštanja zamjene žarulje	kn	0				
20	(18+19)	Ukupna cijena	kn	0				
21	(17*20)	Godišnji trošak žarulja	kn	0	0	22.528,00	-100%	
22		Srednji nivo rasvjetljenosti	lux		350	Povećanje	224%	
Vrijeme povrata investicije (god)				2,30				

Tablica 9: Zamjena visokotlačnih živinih žarulja sa 100 LED žarulja

LED rasvjeta							
						God. ušteda	Ušteda
		Tip	Mj. jedinica	135W	Total		[%]
1		Broj svjetiljaka	kom	100	100	28	-22
2		Broj radnih sati u godini	h	3200,00			
3		Cijena energije	kn/kWh	0,77			
4		1kW/hr energije = xxx kg/Co2	kg CO2	0,42			
5		Cijena svjetiljke (nisu uklj. troškovi instalacije)	kn/svjetiljci	2.750,00			
6		Ukupna cijena koštanja svjetiljaka	kn	275.000,00	275.000,00		
7		Broj žarulja u svjetiljci	kom	1			
8		Snaga žarulje	W	135			
9		Gubitci predspojne naprave	W	0			
10	(8+9)	Ukupna snaga svjetiljke	W	135			
11	(1*10)	Ukupna instalirana snaga	W	13500,00	13500,00	21700,00	
12	(2*11)/1000	Godišnja potrošnja energije	kWh	43200,00	43200,00	69440,00	
13	(3*12)	Godišnji troškovi energije	kn	33.264,00	33.264,00	53.468,80	
14	(4*12)	Godišnja količina CO2 emisije	kg CO2	18144,00	18144,00	29164,80	
15		Životni vijek izvora svjetlosti	h	50000			
16	(15/2)	Prosjek broja zamjene žarulja		0			
17	(1/16)	Br. žarulja koje se mijenjaju	kom/god	0			
18		Cijena koštanja žarulje	kn/kom	0			
19		Cijena koštanja zamjene žarulje	kn	0			
20	(18+19)	Ukupna cijena	kn	0			
21	(17*20)	Godišnji trošak žarulja	kn	0	0	22.528,11	-100%
22		Srednji nivo rasvijetljenosti	lux		450	Povećanje	288%
Vrijeme povrata investicije (god)			3,60				

6.2.2 Lakirnica

Tablica 10: Zamjena visokotlačnih živinih žarulja s LED žaruljama u lakirnici

LED rasvjeta							God. ušteda	Ušteda
		Tip	Mj. jedinica	135W	Total		[%]	
1		Broj svjetiljaka	kom	11	11	0	0	
2		Broj radnih sati u godini	h	3200,00				
3		Cijena energije	kn/kWh	0,77				
4		1kW/hr energije = xxx kg/Co2	kg CO2	0,42				
5		Cijena svjetiljke (bez instalacije)	kn/svjetiljci	2.750,00				
6		Ukupna cijena koštanja svjetiljaka	kn	30.250,00	30.250,00			
7		Broj žarulja u svjetiljci	kom	1				
8		Snaga žarulje	W	135				
9		Gubici predspojne naprave	W	0				
10	(8+9)	Ukupna snaga svjetiljke	W	135				
11	(1*10)	Ukupna instalirana snaga	W	1485,00	1485,00	3355,00	-69%	
12	(2*11)/1000	Godišnja potrošnja energije	kWh	4752,00	4752,00	10736,00	-69%	
13	(3*12)	Godišnji troškovi energije	kn	3.659,04	3.659,04	8.266,72	-69%	
14	(4*12)	Godišnja količina CO2 emisije	kg CO2	1995,84	1995,84	4509,12	-69%	
15		Životni vijek izvora svjetlosti	h	50000				
16	(15/2)	Prosjeak broja zamjene žarulja		0				
17	(1/16)	Br. žarulja koje se mijenjaju	kom/god	0				
18		Cijena koštanja žarulje	kn/kom	0				
19		Cijena koštanja zamjene žarulje	kn	0				
20	(18+19)	Ukupna cijena	kn	0				
21	(17*20)	Godišnji trošak žarulja	kn	0	0	1.437,33	-100%	
22		Srednji nivo rasvijetljenosti	lux		450	Povećanje	176%	
Vrijeme povrata investicije (god)				3,10				

6.2.3 Vanjska rasvjeta

Tablica 11: Zamjena visokotlačnih živinih žarulja vanjske rasvjete s LED žaruljama

LED rasvjeta							
						God. ušteda	Ušteda
		Tip	Mj. jedinica	71W	Total		[%]
1		Broj svjetiljaka	kom	23	23	0	0
2		Broj radnih sati u godini	h	3200,00			
3		Cijena energije	kn/kWh	0,77			
4		1kW/hr energije = xxx kg/Co2	kg CO2	0,42			
5		Cijena svjetiljke (bez instalacije)	kn/svj.	2.839,00			
6		Ukupna cijena koštanja svjetiljaka	kn	65.297,00	65.297,00		
7		Broj žarulja u svjetiljci	kom	1			
8		Snaga žarulje	W	71			
9		Gubitci predspojne naprave	W	0			
10	(8+9)	Ukupna snaga svjetiljke	W	71			
11	(1*10)	Ukupna instalirana snaga	W	1633,00	1633,00	4692,00	
12	(2*11)/1000	Godišnja potrošnja energije	kWh	5225,60	5225,60	15014,40	
13	(3*12)	Godišnji troškovi energije	kn	4.023,71	4.023,71	11.561,09	
14	(4*12)	Godišnja količina CO2 emisije	kg CO2	2194,75	2194,75	6306,05	
15		Životni vijek izvora svjetlosti	h	100000,00			
16	(15/2)	Prosjek broja zamjene žarulja		0			
17	(1/16)	Br. žarulja koje se mijenjaju	kom/god	0			
18		Cijena koštanja žarulje	kn/kom	0			
19		Cijena koštanja zamjene žarulje	kn	0			
20	(18+19)	Ukupna cijena	kn	0			
21	(17*20)	Godišnji trošak žarulja	kn	0	0	9.016,00	-100%
22		Srednji nivo rasvijetljenosti	lux		50	Povećanje	200%
Vrijeme povrata investicije (god)			3,20				

7 ZAKLJUČAK

Nakon uvida u sami razvoj umjetne rasvjete, koja se možda ne čini previše važna i koju uzimamo zdravo za gotovo, lako se može zaključiti da je rasvjeta prostora u kojem boravimo vrlo bitna zbog mnogih čimbenika. Prvenstveno radi zdravlja samih korisnika, njihovog okoliša-na što utječe način zbrinjavanja ekološki neprihvatljivih žarulja, kvalitete svijetla što značajno utječe na psihofizičko zdravlje korisnika, a najbolji primjer je što loša rasvjeta uzrokuje glavobolje, uzrokuje nervozu i tjeskobu (valja se prisjetiti fluorescentnih žarulja koje zuje i trepere).

Analizom zamjene rasvjete u proizvodnim pogonima tvrtke VJ-eko d.o.o. dobiven je uvid u stvarno stanje ekonomičnosti i kvalitete korištenjem moderne tehnologije rasvjete. Pogotovo u današnje vrijeme kada je električna energija sveprisutna i kada se vidi čak i daljnji napredak i budućnost u kojoj će svijet bez električne energije biti nezamisliv.

Upravo iz ovih razloga čovječanstvu je bitno imati svijest o ekonomičnom i ekološkom korištenju ne samo električne energije već i ostalih oblika energije.

8 LITERATURA

- [1] https://hr.wikipedia.org/wiki/Svjetlost#Izvori_svjetlosti
- [2] http://www.lipapromet.hr/Usluge/Projektiranje_svjetehtnike/Rasvjetaznanjeiskustva/tabid/72/ctl/details/itemid/175/mid/527/kratka-povijest-svjetlosti.aspx
- [3] <https://elcon.hr/naslovna/rasvjeta/>
- [4] <http://www.dnevno.hr/magazin/techno/znanost/video-ljudi-su-ovladali-vatrom-mozda-i-prije-milijun-godina-53582/>
- [5] <https://www.wheretostay.co.za/topic/4599-wonderwerk-caves>
- [6] <https://www.wired.com/2008/12/gallery-lights/>
- [7] https://hr.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta
- [8] https://www.fmf.uni-lj.si/~stepisnik/sola/energvir/Seminarji08_09/Ionski%20pogon/main8.htm
- [9] <http://kupiled.eu/povijest-svjetla/>
- [10] <https://onedio.co/content/16-undeniable-differences-between-nikola-tesla-and-thomas-edison-14790>
- [11] <http://www.aka.hr/izrada-reklama/neonske-reklame>
- [12] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Fluorescencija>
- [13] https://hr.wikipedia.org/wiki/Laser#Primjene_lasera
- [14] <http://www.led-sole.hr/hr/katalog/proizvod/169/>
- [15] <https://en.wikipedia.org/wiki/Light>
- [16] <https://www.ngbuntovnici.hr/index.php/separatum-votum/izdvojeni-glas/1285-kako-ustvari-nastaju-boje>
- [17] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Svjetlost>
- [18] https://bs.wikipedia.org/wiki/Svjetlosni_izvori

- [19] <https://thermos.com.co/mejores-lugares-aurora-boreal/auroraboreal-2-thm-2/>
- [20] <https://www.maximumyield.com/definition/2126/artificial-light>
- [21] https://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent_light_bulb
- [22] <https://art-rasvjeta.hr/rasvjeta-savjeti/svjetlost/sto-je-halogen-zarulja>
- [23] https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dna_%C5%BEarulja
- [24] https://hr.wikipedia.org/wiki/Fluorescentna_cijev
- [25] <http://www.stouchlighting.com/blog/all-about-led-lighting-what-does-led-stand-for>
- [26] <http://kupiled.eu/o-led/>
- [27] <http://www.trendrasvjeta.hr/index.php/vijesti/30-sto-je-led-rasvjeta>
- [28] <https://www.ictbusiness.info/vijesti/kako-ispravno-izabrati-odgovarajucu-led-zarulju>
- [29] https://hr.wikipedia.org/wiki/Svjetlosna_jakost
- [30] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Svjetljivost>
- [31] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Osvjetljenje>
- [32] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Osvjetljenost>
- [33] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=59118>
- [34] <https://www.mo-teh.hr/54/zasto-koristiti-led-rasvjetu>
- [35] <https://greenie-world.com/en/article/the-advantages-and-disadvantages-of-led-lighting/>
- [36] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_03_29_509.html
- [37] http://jet.hr/index.php?p=view_ro_detalji&m=kosarica&id=1057&idic=52
- [38] <http://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/tarifne-stavke-cijene/1547>
- [39] <https://www.rensmart.com/Calculators/KWH-to-CO2>