



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne
instalacije

PRENOVA INDUSTRIJSKE RAZSVETLJAVE

Mentor: doc. dr. Drago Papler
Lektorica: Nuša Fabjan Kastelic, mag. prof. slov.

Kandidat: Elvis Kerić

Ljubljana, december 2020

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Dragu Paplerju za usmeritve pri izdelavi diplomskega dela.

Posebna zahvala gre staršema, sestri in ženi za potrpežljivost ter podporo.

IZJAVA

Študent/ka _____ izjavljam, da sem avtor/ica tega diplomskega dela, ki sem ga napisal/a pod mentorstvom _____.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Prenova industrijske razsvetljave zahteva interdisciplinaren pristop v okviru elektrotehnike, zakonodaje in ekonomije, svetloba pa neposredno vpliva na človeka in okolje, zato je povezana tudi z ekologijo in medicino.

V teoretičnem delu diplomskega dela so predstavljeni osnovni svetlobno tehnični pojmi, ki so nujno potrebni za razumevanje področja, s katerim se ukvarja diplomsko delo. V teoretičnem delu je predstavljena tudi aktualna problematika cirkadianega ritma in pojav »flikerja«. Zakonodajne zahteve projektiranja notranje razsvetljave so zbrane iz različnih zakonov in pravilnikov ter strnjene v tabele. Strukturirano je obdelan standard SIST EN 1246-1:2011 kot osnova za izdelavo empiričnega dela.

V empiričnem delu je sistematično predstavljen proces projektiranja prenove industrijske razsvetljave. Z uporabo programskega okolja DIALUX in v skladu s zahtevami zakonodaje standardom SIST EN 1246-1:2011 je bil izdelan projekt za prenovo industrijske razsvetljave na namišljenem objektu. Razsvetljava je razdeljena na splošno in zasilno razsvetljavo. Rezultati programskih simulacij numerično in grafično prikazujejo, da je razsvetljava uspešno načrtovana. Z analizo ekonomske upravičenosti projekta je bila preverjena rentabilnost izvedbe, s cost-benefit analizo pa je dodatno dokazana upravičenost projekta izven zastavljenih okvirjev.

KLJUČNE BESEDE

- LED razsvetljava
- standard SIST EN 1246-1:2011
- cirkadiani ritem
- fliker
- ekonomska upravičenost

ABSTRACT

Renovation of industrial lighting requires an interdisciplinary approach, encompassing electrical engineering, legislation and economy. Furthermore, since the light has a direct impact on people and the environment, the importance of ecology and medicine is also stressed.

In the theoretical part of the paper, we present basic terms related to lighting, which appear in legislation and standards with a high register, so the reader is expected to be familiar with them. The theoretical part presents two currently relevant terms, circadian rhythm and flicker. Legislative requirements for interior lighting design are collected from various laws and regulations and summarized in tables. It also structurally discusses the SIST EN 1246-1:2011 standard, which acts as a basis for the empirical part.

The empirical part systematically presents the process of designing the renovation of industrial lighting. Using the DIALUX software environment and in accordance with the SIST EN 1246-1:2011 standard, we carried out the project for the renovation of industrial lighting on a selected facility. Lighting is divided into general and emergency lighting. The results of program simulations show numerically and graphically that the lighting is successfully designed. By analysing economic viability, we determined the profitability of the project realisation, and the cost-benefit analysis additionally proved the eligibility of the project implementation outside of the set objectives.

KEYWORDS

- LED lighting
- SIST EN 1246-1:2011 standard
- circadian rhythm
- flicker
- economic viability

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji.....	2
1.3	Metode dela.....	2
1.4	Pristop k diplomskemu delu.....	2
2	SVETLOBA IN RAZSVETLJAVA.....	3
2.1	Svetloba.....	3
2.1.1	Fotometrične veličine.....	7
2.1.2	Svetlobni tok.....	7
2.1.3	Svetloba in človek.....	11
2.1.4	LED in človek.....	12
2.1.5	LED, družba in okolje.....	13
2.2	Razsvetljava skozi čas.....	13
2.2.1	LED kot razsvetljava.....	15
2.3	Regulacija LED.....	15
3	ZAKONODAJA PROJEKTIRANJA NOTRANJE RAZSVETLJAVE.....	16
3.1	Arhitektura.....	17
3.2	Zakonodaja.....	17
3.2.1	Gradbeni zakon.....	17
3.2.2	Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih.....	18
3.2.3	Standard SIST EN 1246-1:2011.....	19
3.2.4	Tehnična smernica TSG-1-004.....	31
3.2.5	Zasilna/nujnostna razsvetljava.....	33
3.2.6	Izbira svetilk in regulacije.....	34
4	PROJEKT PRENOVE RAZSVETLJAVE V INDUSTRIJI.....	34
4.1	Idejna zasnova.....	35
4.2	Obstoječe stanje.....	35
4.2.1	Arhitektura.....	35
4.3	Obstoječa razsvetljava.....	36
4.4	Pogoji zakonodaje na projektu.....	37
4.4.1	Pogoji razsvetljava za izbrano industrijsko dejavnost.....	37
4.4.2	Izbira svetilk.....	38
4.5	Simulacija.....	40
4.5.1	Naravna svetloba.....	40
4.5.2	Umetna svetloba.....	43
4.5.3	Kombinirana svetloba.....	47
4.6	Zasilna razsvetljava.....	51
5	VREDNOTENJE NALOŽBE.....	54
5.1	Primerjava svetilk.....	55
5.2	Sestava kalkulacije.....	56

5.2.1	Amortizacija	56
5.3	Individualna diskontna stopnja	57
5.4	Ocena učinkov naložbe	57
5.4.1	Realni denarni tok in doba vračanja	57
5.4.2	Doba vračanja naložbe	57
5.5	Metoda sedanje vrednosti naložbe	58
5.5.1	Sedanja vrednost z upoštevanjem diskontne stopnje	58
5.5.2	Interna stopnja donosnosti projekta	59
5.6	Kazalniki donosa	60
5.7	Ocena tveganj in negotovosti	60
5.7.1	Sedanja vrednost z upoštevanjem diskontne stopnje pri tveganju	61
5.8	Cost-benefit analiza	63
6	ZAKLJUČEK	65
7	LITERATURA IN VIRI	67
	PRILOGA	70

KAZALO SLIK

Slika 1:	Razmerje družba–ekologija–ekonomija	1
Slika 2:	Proces diplomskega dela	2
Slika 3:	Elektromagnetno valovanje	3
Slika 4:	Barvni trikotnik CIE s koordinatama x in y	5
Slika 5:	Barvna temperatura s Planckovim lokom	5
Slika 6:	Barvna temperatura svetlobnega vira	6
Slika 7:	Indeks barvnega videza	7
Slika 8:	Povezava fotometričnih veličin	10
Slika 9:	Cirkadiani ritem	11
Slika 10:	Fliker	12
Slika 11:	Razsvetljava skozi čas	13
Slika 12:	»Bob« Biard in Gary Pittman patent	14
Slika 13:	GaAsP LED	14
Slika 14:	Zgradba LED	15
Slika 15:	Krožni diagram projektiranja	16
Slika 16:	SIST EN 12464-1:2011	19
Slika 17:	SIST EN 12464-1:2011 – porazdelitev svetlosti in osvetljenost	20
Slika 18:	SIST EN 12464-1:2011 – osvetljenost na delovni površini	20
Slika 19:	SIST EN 12464-1:2011 – mreža za izračun osvetljenosti	21
Slika 20:	SIST EN 12464-1:2011 – bleščanje	22
Slika 21:	SIST EN 12464-1:2011 – razsvetljava v notranjih prostorih	23
Slika 22:	SIST EN 12464-1:2011 – barvni vidiki	24
Slika 23:	SIST EN 12464-1:2011 – migotanje svetlobe in stroboskopski pojav	25

Slika 24:	SIST EN 12464-1:2011 – razsvetljava delovnih mest s slikovnimi zasloni (DSE)	26
Slika 25:	SIST EN 12464-1:2011 – faktor vzdrževanja	27
Slika 26:	SIST EN 12464-1:2011 – energetska učinkovitost	28
Slika 27:	SIST EN 12464-1:2011 – prednosti dnevne svetlobe	29
Slika 28:	SIST EN 12464-1:2011 – spremenljivost svetlobe	30
Slika 29:	EN 12464-1:2011 – pogoji za razsvetljavo	30
Slika 30:	SIST EN 12464-1:2011 – postopki preverjanja.....	31
Slika 31:	TSG004:2010	32
Slika 32:	Zasilna razsvetljava SIST EN 1838:2013	33
Slika 33:	Diagram poteka prenove industrijske razsvetljave.....	34
Slika 34:	Tloris obstoječega stanja	35
Slika 35:	3D-simulacija obstoječega stanja	36
Slika 36:	Obstoječa svetilka	36
Slika 37:	Pogoji razsvetljave za industrijsko dejavnost.....	37
Slika 38:	Varnostna razsvetljava – zahteve za industrijo.....	38
Slika 39:	Svetilka CRAFT M TEC LED13000-840 PC WB LDO WH	39
Slika 40:	Zumtobel – CROSSIGN 160	39
Slika 41:	Simulacija osvetljenosti naravne svetlobe, 3D-model.....	40
Slika 42:	Naravna svetloba nadomestne barve, ptičja perspektiva, 2D-model	41
Slika 43:	Simulacija osvetljenosti umetne svetlobe, 3D-model.....	44
Slika 44:	Simulacija umetne svetlobe z uporabo nadomestnih barv, 2D-model....	44
Slika 45:	Umetna svetloba, postavitve svetilk v prostor.....	45
Slika 46:	Simulacija kombinirane svetlobe z uporabo nadomestnih barv, 2D-model.....	48
Slika 47:	Simulacija kombinirane osvetljenosti, 3D-model.....	48
Slika 48:	Zasilna razsvetljava, elementi črne barve, minimalna refleksija, 3D-model.....	51
Slika 49:	Zasilna razsvetljava, elementi črne barve, minimalna refleksija, 2D-model.....	52
Slika 50:	Simulacija zasilne razsvetljave celotne površine	52
Slika 51:	Simulacija zasilne razsvetljave poti umika.....	53
Slika 52:	Primerjava svetilk.....	55
Slika 53:	Poraba električne energije	56
Slika 54:	Realni denarni tok	57
Slika 55:	Doba vračanja naložbe, grafikon.....	57
Slika 56:	Sedanja vrednost naložbe.....	58
Slika 57:	Interna stopnja donosnosti projekta.....	59
Slika 58:	Srednja vrednost pri tveganju.....	61
Slika 59:	Ocena tveganja pri 15-% podražitvi.....	61
Slika 60:	Primerjalna tabela kazalnikov.....	63
Slika 61:	Cost-benefit analiza pri predpostavkah	63
Slika 62:	Realni denarni tok in doba vračanja cost-benefit.....	64

Slika 63: Dobra vračanja cost-benefit	64
---	----

KAZALO TABEL

Tabela 1: Rezultati simulacij upada naravne svetlobe na delovna mesta	42
Tabela 2: Rezultati simulacij upada naravne svetlobe v halo, horizontalna osvetljenost	43
Tabela 3: Rezultati simulacij upada naravne svetlobe v halo, cilindrična osvetljenost	43
Tabela 4: Rezultati simulacij vpliva umetne svetlobe na delovna mesta	46
Tabela 5: Rezultati simulacij vpliva umetne svetlobe na področju celotne hale, horizontalna osvetljenost	47
Tabela 6: Rezultati simulacij vpliva umetne svetlobe na področju celotne hale, cilindrična osvetljenost	47
Tabela 7: Rezultati kombinirane svetlobe na delovna mesta	50
Tabela 8: Rezultati simulacij vpliva kombinirane svetlobe na področju celotne hale, horizontalna osvetljenost	50
Tabela 9: Rezultati simulacij vpliva kombinirane svetlobe na področju celotne hale, cilindrična osvetljenost	50
Tabela 10: Rezultati zasilne razsvetljave celotne površine	53
Tabela 11: Rezultati zasilne razsvetljave poti umika	53
Tabela 12: Skupni pogoji zasilne razsvetljave	54

POJMOVNIK

Elektroluminiscenca: je pojav, ki nastane pod vplivom močnega električnega polja ali električnega toka (npr. razelektrenje), pri katerem elektroni sproščajo svojo energijo v obliki fotonov.

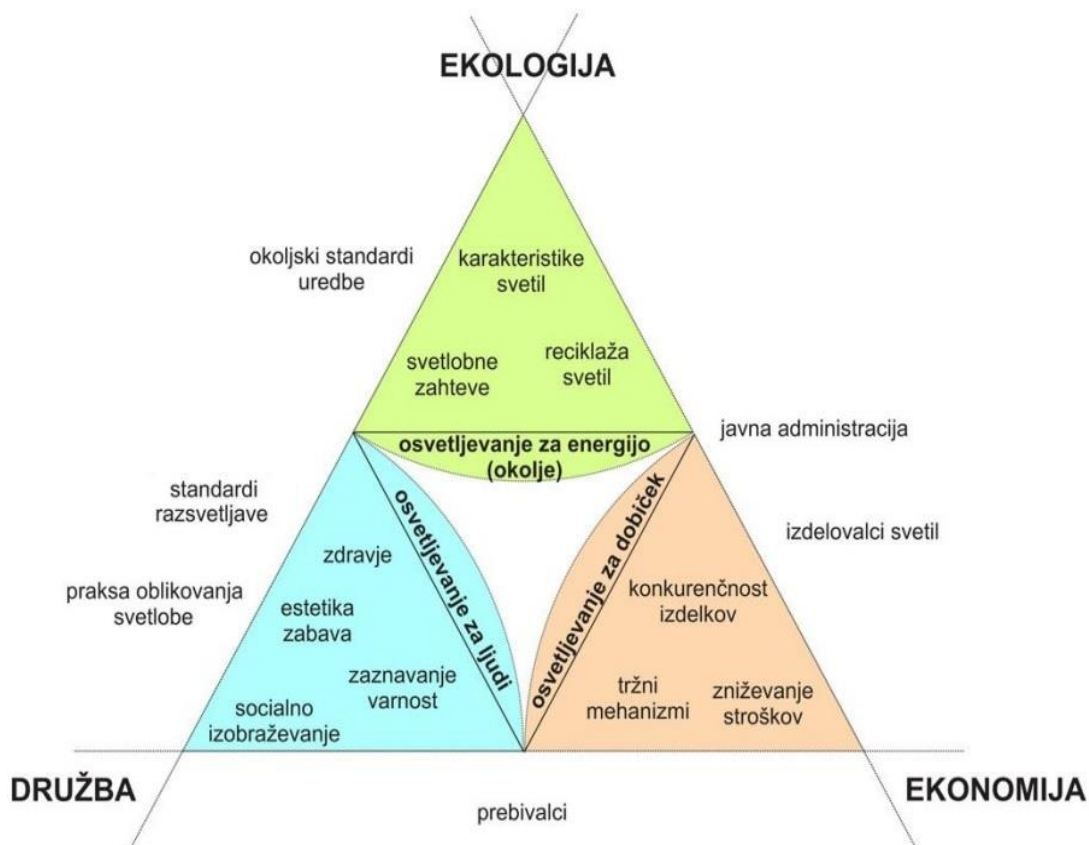
KRATICE IN AKRONIMI

CIE:	International Commission on Illumination – Mednarodna komisija za razsvetljavo
E:	osvetljenost
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers – Inštitut inženirjev elektrotehnike in elektronike
LED:	Light emitting diode – svetleča dioda
MOVD:	Metalorganic Chemical Vapor Deposition
Ra:	indeks barvnega videza
SCN:	suprachiasmatic nucleus – suprakiazmatično jedro
URG:	Unified glare rating – indeks bleščanja

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Človek ima po naravi težnjo po kontroli umetne svetlobe, zato izpopolnjuje večšine uporabe že tisoče let, vendar je z izumom električne energije postavljen nov mejnik, ki je popolnoma poenostavil uporabo ter zagotovil varnost in stabilnost delovanja. Čeprav je umetna svetloba z uporabo električne energije v praktični uporabi šele od leta 1980, ko je podjetje Edison Electric Light Company začelo izdelavo in prodajo komercialnih žarnic, je v naša življenja tako globoko ukoreninjena, da jo razumemo kot samoumevno. Uporabnik priključuje umetno svetlobo v prostor zelo lahko in relativno poceni, vendar se moramo zavedati, da umetna svetloba s seboj nosi kompleksno zgodbo. Znanost tehnologijo potiska v ekstreme, ki lomijo ravnotežje med maksimalnim izkoristkom, ceno in davkom, ki ga narava plača ob nevestnem ravnanju, zato je naša naloga, da stremimo k rešitvam, ki bodo kos vsem tem izzivom (Babuder et al., 2009; Kobav, 2020).



Slika 1: Razmerje družba–ekologija–ekonomija
(Vir: Rankel, 2014, str. 29)

1.2 CILJI

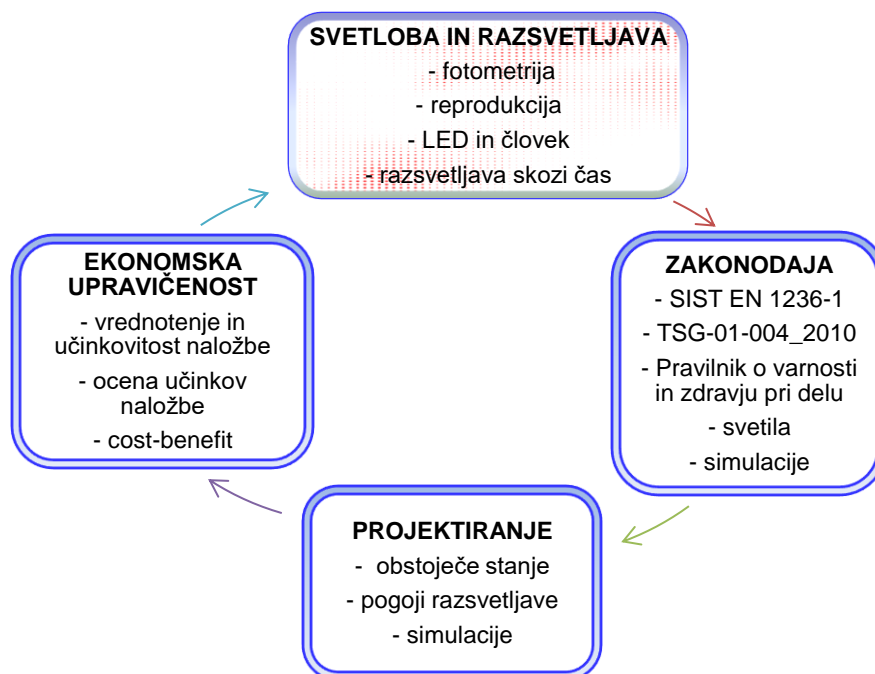
V diplomskem delu bomo skušali na konkretnem primeru prikazati, kako lahko obstoječ sistem osvetlitve (metalhalogenidna sijala) zamenjamo z novim sodobnejšim sistemom (LED). Pri tem bomo prikazali, na kakšen način pristopiti k takemu projektu, kakšni so naši cilji, pridobitve in tveganja. Tehnološki cilj je v programskem okolju dimenzionirati novo razsvetljavo v okviru veljavne zakonodaje in na podlagi standarda SIST EN 12464-1:2011. Ekonomski cilj je z metodologijo za ekonomsko ovrednotenje dokazati upravičenosti naložbe. Socialni in okoljevarstveni cilj je predstaviti vpliv LED na družbo in okolje.

1.3 METODE DELA

Z metodo modeliranja bomo v programskem okolju dimenzionirali novo razsvetljavo. Za izdelavo ekonomske analize bodo uporabljene statične in dinamične metode, skozi različne ekonomske kazalnike pa bomo pokazali učinkovitost in uspešnost investicije.

1.4 PRISTOP K DIPLOMSKEMU DELU

Z diagramom ponazarjamo, v kakšnih segmentih bomo pristopili k diplomskemu delu.

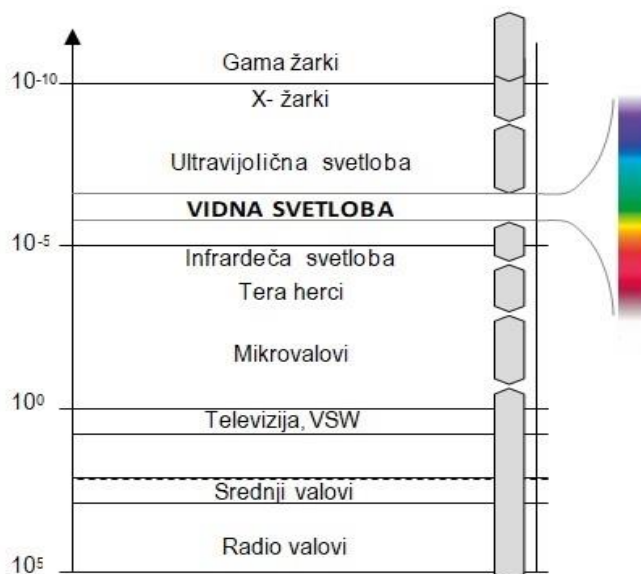


Slika 2: Proces diplomskega dela
(Lastni vir)

2 SVETLOBA IN RAZSVETLJAVA

2.1 SVETLOBA

Svetloba je elektromagnetno valovanje oz. sevanje, ki ga pri določenih valovnih dolžinah zazna človeško oko. Svetlobo lahko tako obravnavamo s pomočjo fizikalnih zakonov ali pa v spektru vidnih čutil. Spekter elektromagnetnega valovanja sestavlja vse od radijskih valov pa do rentgenskih žarkov. Svetloba se kot del elektromagnetnega spektra nahaja med mikrovalovi in rentgenskimi žarki. Človeško oko je sposobno zaznati le del spektra svetlobe, temu delu, ki zajema sinusne valove z valovno dolžino od 340 nm (vijolična svetloba) do 830 nm (rdeča svetloba), pravimo vidna svetloba (Bizjak et al., 2013; Orgulan, 2011).



Slika 3: Elektromagnetno valovanje
(Vir: The Lighting Handbook, 2018, str. 6)

Svetloba in barve

Barva svetlobe je čutna zaznava, ki jo v možganih sproži v oko vpadla svetloba, ki seva, preseva ali odseva od predmeta v okolici, to zaznavo lahko poimenujemo barvni dražljaj. Barva predmeta nastane le pri svetlobi in je v osnovi odvisna od spektra svetlobe, ki ga osvetljuje. Najbolj naravna barva svetlobe za človeka je bela barva, ki jo oddaja sonce, sestavljena je iz vseh barv različnih valovnih dolžin. Človeško oko ima tri različne vrste čepnic, s katerimi zaznava barve in ustvarja tridimenzionalni barvni prostor. Vsako barvo svetlobe lahko sestavimo iz barvnega tona in svetlosti (Bizjak, 2020b).

Kolorimetrijski sistem CIE

V sistemu CIE barvne učinke opisujemo predvsem meroslovno, na podlagi matematično numeričnih metod, materialni vzorci barvnih atlasov in barvnih kart pa služijo zgolj za vizualno ponazarjanje meritev. Za označevanje barv se uporablja trikromatski sistem, ki omogoča, da z aditivnim mešanjem treh osnovnih barv dobimo vse barve. Tri osnovne barve opisujemo s t. i. trikromatskimi komponentami, ki jih označujemo z X, Y in Z, te pa predstavljajo delež primarnih barvnih dražljajev v barvnem učinku. X predstavlja količino rdečih barvnih dražljajev, Y zelenih, Z pa modrih. Vrednosti komponent določimo iz izmerjene spektralne porazdelitve sevanja in s pomočjo treh krivulj (funkcij) standardnih spektralnih vrednosti oz. spektralne občutljivosti očesa.

Vrednotenje barvnih lastnosti po sistemu CIE s pomočjo trikromatskih koordinat je predstavljeno v spodnjih enačbah (Bizjak et al., 2013).

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

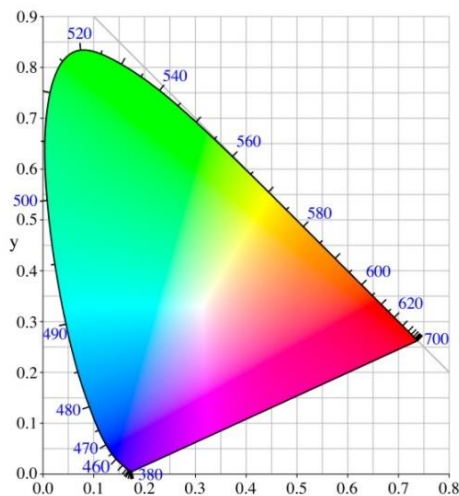
$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Vsota trikromatskih koordinat je 1.

$$x + y + z = 1$$

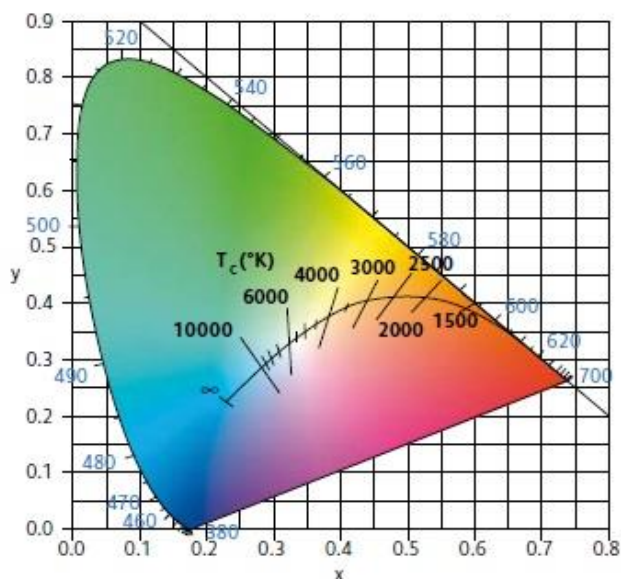
Glede na razmerja trikromatskih koordinat sta za določitev barve sevanja svetlobe dovolj dve spremenljivki. Mednarodna komisija za razsvetljavo CIE je glede na teorem sprejela t. i. barvni diagram, ki prikazuje aditivno mešanje dveh trikromatskih komponent, pri čemer vrednosti x in y določata položaj barv, svetlost barve pa je določena s komponento Y v območju od 0 (črna) do 100 (bela). Tako lahko ob poznavanju koordinat x in y s pomočjo diagrama definiramo barvo sevanja (svetlobo) oz. barvo telesa (Bizjak et al., 2013).



Slika 4: Barvni trikotnik CIE s koordinatama x in y
(Vir: Wikimedia Commons)

Barvna temperature bele svetlobe

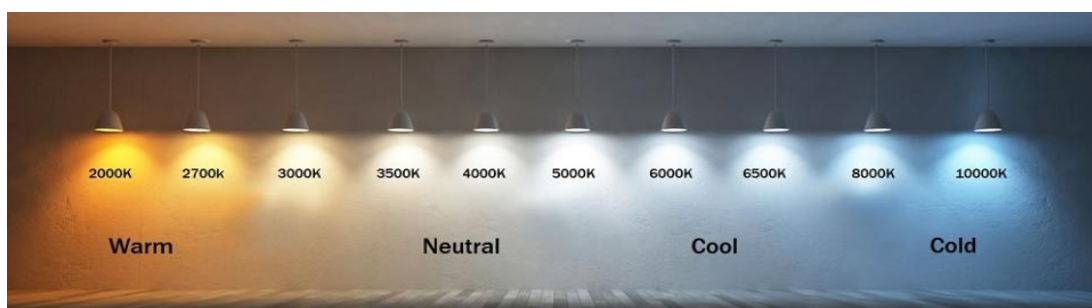
Za opis barvne temperature bele svetlobe uporabimo kromatičen diagram s Planckovim lokom, ki prikazuje barve, ki jih seva črno telo ob različnih temperaturah v diagramu barvnega prostora CIE. S slike s Planckovim lokom razberemo, da imajo tople barve več rdečih in oranžnih odtenkov, medtem ko imajo hladne barve več modrih odtenkov (Bizjak et al., 2013).



Slika 5: Barvna temperatura s Planckovim lokom
(Vir: The Lighting Handbook, 2018, str. 76)

Barvna temperatura svetlobnega vira

Barvna temperatura je temperatura idealnega črnega telesa v kelvinih, pri kateri je sevanje črnega telesa po barvnosti popolnoma enako barvi opazovanega svetlobnega vira. Barvna temperatura svetlobnega vira je značilnost vidne svetlobe, ki jo uporabljamo pri projektiranju ali pri meritvah svetlobe, zato je smiselna le za vire svetlobe, ki v resnici ustrezajo sevanju nekega črnega telesa, torej oddajajo svetlobo od rdeče/oranžne, rumene in bolj ali manj bele do modrikaste bele barve.



Slika 6: Barvna temperatura svetlobnega vira
(Vir: LED Lighting Wholesale, 2020)

Barva svetlobe, ki jo oddaja dovolj segreto telo, je odvisna od temperature telesa in je pri 2.000 K rdeče oranžna, pri 3.000 K rumenkasta, med 5.000 in 6.000 K približno nevtralnno bela, pri višjih temperaturah pa postane modrikasto bela. Sonce je zelo blizu idealnega črnega telesa in ima barvno temperaturo 5.780 K, dnevna svetloba pa 6.500 K (nebo brez direktne sončne svetlobe). Telesa, ki toplotno sevajo, vrednotimo glede na sevanje idealnega črnega telesa, večine novih umetnih svetlobnih virov (fluorescenčne sijalke ali LED) pa za tako vrednotenje ne moremo uporabiti, saj oddajajo svetlobo na podlagi elektroluminiscence. Takim svetlobnim virom so dodeljene barvne temperature CCT. CTT je barvna temperatura sevanja črnega telesa, ki mu človeško dožemanje barv najbolj ustreza (Bizjak et al., 2013).

Indeks barvnega videza

Za določitev barvnega videza pod različnimi svetlobnimi viri z enako barvno temperaturo uporabljamo indeks barvnega videza. Različni svetlobni viri oddajajo različno svetlobo, zato isti opazovani predmet ni videti enako. Če parafraziramo indeks barvnega videza, nam pove, kako naravno se vidi barva predmetov, osvetljenih s svetlobo določenega svetlobnega vira. Največja vrednost barvnega indeksa je 100, to vrednost pa poleg sonca dosežajo še referenčni svetlobni viri, ki delujejo na principu žarjenja. Za svetila, ki delujejo na principu elektroluminiscence (LED), pa raziskovalci ugotavljajo, da je vidno določanje ustreznosti barv boljše, kot ga poda indeks barvnega videza (Bizjak et al., 2013).



Slika 7: Indeks barvnega videza
(Vir: Quora, 2018)

2.1.1 Fotometrične veličine

Fotometrija je veda, katere bistvo je merjenje svetlobe, ki jo zazna človeško oko, ali t. i. vidne svetlobe, ki je izpostavljena na sliki »Elektromagnetno valovanje«. Veličine, ki jih obravnava fotometrija, so definirane s pomočjo relativne spektralne učinkovitosti človeškega očesa (Bizjak et al., 2013).

2.1.2 Svetlobni tok

Svetlobni tok je količina vidne svetlobe, ki jo svetlobni vir seva v okolico. Vsaka valovna dolžina specifično vpliva na spektralno občutljivost očesa, zato se vidni svetlobni tok razlikuje od energijskega svetlobnega toka, ki ga oddaja vir svetlobe. Svetlobni tok merimo v lumnih (lm) (Bizjak et al., 2013).

Enačba svetlobnega toka:

$$\Phi = K_m \times \int_{380}^{780} \frac{d\Phi_e}{d\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

Φ – svetlobni tok,

K_m – maksimalni fotometrični ekvivalent sevanja, ki pri dnevnem videnju znaša 683 lm/W in se nanaša na monokromatsko sevanje dolžine $\lambda = 555$ nm (konstanta K_m izhaja iz definicije kande),

Φ_e – sevalni tok,

$V(\lambda)$ – relativna svetlobna učinkovitost monokromatskega sevanja.

Svetilnost

Svetilnost svetlobnega vira je svetlobni tok v določeni smeri. Smer sevanja svetila je definirana s prostorskim kotom. Svetlobni tok je vsota svetilnosti v vseh ravninah okoli svetlobnega vira. Če je ta vsota enakomerna, je svetilnost konstantna. Enota za

svetilnost je kandela (cd). Kandela je svetilnost, ki jo seva vir svetlobe v določeni smeri pri frekvenci 540 THz in ima pri tem sevnost v tej smeri 1/683 W na steradian (Bizjak et al., 2013).

Enačba svetilnosti

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

I – svetilnost,
 Ω – prostorski kot,
 Φ – svetlobni tok.

Prostorski kot

Prostorski kot je definiran kot razmerje med površino krogelnega izseka proti kvadratu polmera krogle. Enota je steradian (sr) (Bizjak et al., 2013).

$$\omega = \frac{A}{r^2}$$

ω – prostorski kot (sr = m²/m²),
A – površina (m²),
r – polmer krogle.

Osvetljenost

Osvetljenost je ena od najpogosteje merjenih veličin v fotometriji. Merimo jo v luksih (lx) in predstavlja količino svetlobnega toka, ki pade na merjeno ploskev. Lx je definiran kot osvetljenost površine velikosti 1 m², na katero seva enakomerno porazdeljen svetlobni tok velikosti 1 lm. Osvetljenost neke površine je odvisna od oddaljenosti svetlobnega vira in vpadnega kota svetlobe. Poznamo več vrst osvetljenosti, horizontalna, vertikalna in cilindrična so definirane s standardi in svetlobno tehničnimi predpisi (Bizjak et al., 2013).

Enačba osvetljenosti

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

E – osvetljenost (lx),
 Φ – svetlobni tok,
A – površina (m²).

Fotometrični zakon oddaljenosti

Osvetljenost upada obratno sorazmerno s kvadratom oddaljenosti med virom svetlobe in opazovano točko.

$$E = \frac{I}{r^2}$$

E – osvetljenost (lx),

I – svetilnost svetlobnega vira (cd),

r – oddaljenost med svetlobnim virom in merjeno točko na površini (m).

Svetlost

Svetlost je svetlobni tok, ki ga opazovana površina seva v določen prostorski kot pod določenim kotom glede na opazovano površino. Merska enota za svetlost je kandela na kvadratni meter (cd/m²) (Bizjak et al., 2013).

$$L = \frac{dI}{dA}$$

L – svetlost osvetljene površine (cd/m²),

I – svetilnost svetlobnega vira (cd),

A – osvetljena površina (m²).

Svetilnost, definirana preko osvetljenosti:

$$L = \frac{dE}{d\omega \cos \Theta}$$

Svetilnost, definirana preko svetilnosti:

$$L = \frac{dl}{dA \cos \Theta}$$

dE – osvetljenost svetlobnega vira,

dl – svetilnost svetlobnega vira,

dA – izbrana površina,

cos Θ – kot glede na normalo na površino.

Za optimalne vidne pogoje pri predpostavki, da je odsevnost belega papirja 0,7, mora biti svetlost opazovane površine nad 100 cd/m² (Bizjak, 2020a).

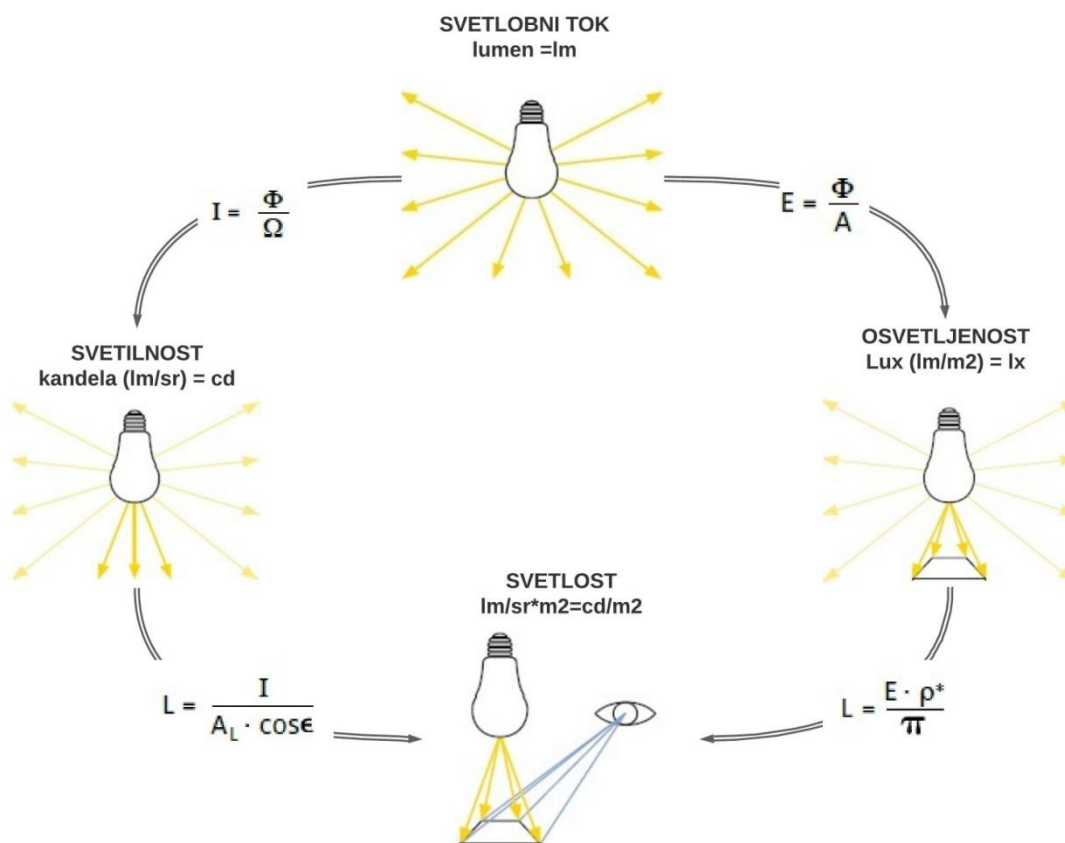
$$E = \frac{L \cdot \pi}{\rho} = \frac{100 \cdot \pi}{0,7} = 450 \text{ lx}$$

E – osvetljenost (lx),
 L – svetlost osvetljene površine (cd/m²),
 ρ – odsevnost belega papirja.

Svetlobni izkoristek

S svetlobnim izkoristkom podamo informacijo, kako dobro električni svetlobni vir pretvarja električno energijo v svetlobo. Mejne vrednosti svetlobnega izkoristka so podane v tehničnih smernicah. Podan je lm/W (Bizjak et al., 2013).

V nadaljevanju je podan diagram povezave fotometričnih veličin.



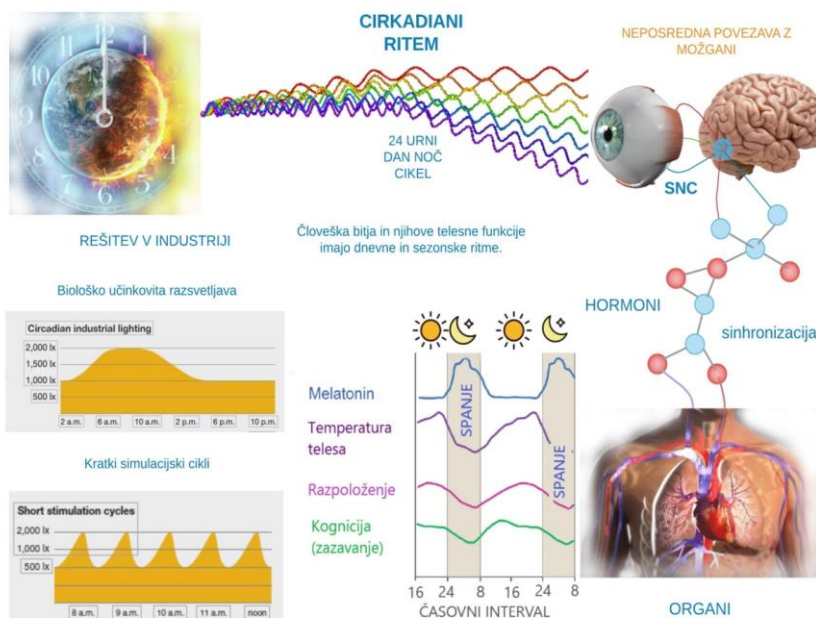
Slika 8: Povezava fotometričnih veličin
 (Vir: The Lighting Handbook, 2018, str. 10)

2.1.3 Svetloba in človek

O močnem vplivu svetlobe na človeka govori podatek, da je bila Nobelova nagrada za medicino leta 2017 podeljena raziskovalcem notranje biološke ure oz. 24-urnega ciklusa aktivnosti organizmov, znanega kot cirkadiani ritem, ki je neposredno povezan s svetlobo.

Cirkadiani ritem

Biološka notranja ura nadzoruje faze spanja in budnosti, pa tudi srčni utrip, krvni tlak in razpoloženje. Svetloba preko fotoreceptorjev in ganglijskih celic, ki se nahajajo v globokih plasteh mrežnice in imajo neposredno povezavo z možgani oz. suprakiazmatičnim jedrom SCN v našem telesu, vpliva na delovanje cirkadianega ritma, ki se s pomočjo izločanja hormonov uravnava glede na svetlobo. Melatonin, serotonin in kortizol so hormoni, ki s svojim delovanjem vplivajo na budnost oz. spanje. Zaradi melatonina ali spalnega hormona se počutimo zaspano, telesu pomaga zmanjšati telesno temperaturo, metabolični procesi pa se upočasnijo, kar pripravi telo na lažje spanje. V tej fazi telo izloča rastne hormone, ki med spanjem obnavljajo celice. Kortizol ali stresni hormon začne telo izločati okoli 3. ure zjutraj, zadolžen pa je za ponovno spodbujanje presnove, saj programira telo za dnevno delovanje. Serotonin je prenašalec informacij, ki se z zaznavanjem svetlobe povečuje, kar je nasprotno od delovanja melatonina, ki se povečuje ob primanjkljaju svetlobe (Licht.de, 2014; Münch et al., 2017).



Slika 9: Cirkadiani ritem

(Vir: Licht.de, 2014; Münch et al., 2017, str. 19; Pngimg, 2020)

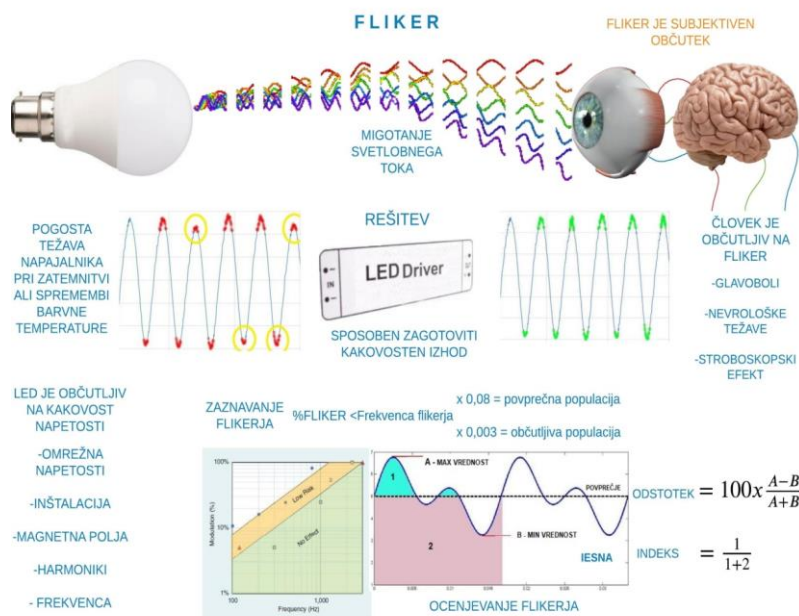
Cirkadiani ritem v industriji

V industriji, kjer delo poteka v več izmenah, je vzpostavitev človeku naravnega 24-urnega cikla dan-noč z vidika organizacijsko delovnega procesa in nezmožnosti zagotavljanja naravne svetlobe izredno kompleksna, predvsem zaradi narave gradenj industrijskih objektov. Stroka s tem namenom razvija t. i. biološko učinkovito razsvetljavo, ki simulira naravni 24-urni cikel dan-noč. Umetna razsvetljava simulira spremembe dnevne svetlobe in s simulacijskimi cikli pripravlja delavca na začetek delovnega dne, prav tako pa ga proti koncu dneva sprošča. Med delovnim časom razsvetljava deluje v kratkih intervalih od 500 do 2.000 lx in postopoma nazaj na 500 lx pri različnih barvnih temperaturah svetlobe. Barva 4.000 K se je izkazala kot najbolj primerna za nočno delo. Kratki simulacijski intervali naj bi ugodno vplivali na fiziološke in psihološke procese.

2.1.4 LED in človek

Fliker

Fliker ali pogovorno »nadležno utripanje svetil« je subjektiven občutek, ki ga povzroča migotanje svetlobnega toka (Orgulan, 2019). Ta subjektiven občutek ljudje zaznavamo različno, zato je vrednotenje tega kompleksno in še v fazi razvoja. IESNA ga vrednoti z modelom deleža in indeksom flikerja (Miller in Lehmar, 2015).



Slika 10: Fliker

(Vir: Miller in Lehmar, 2015; Orgulan, 2019; Pngimg, 2020; Standards Committee of the IEEE Power Electronics Society; 2015)

Priporočilo standarda IEEE navaja, da diode LED kot vir svetlobe same po sebi ne povzročajo flikerja, vendar so občutljive na kakovost napetosti, ki je ključna za normalno delovanje LED. Fliker se pogosto pojavi pri uporabi zatemnilnika oz. pri spreminjanju barvne temperature, to težavo pa lahko odpravimo z uporabo ustreznega driverja (napajalnika). Človek je občutljiv na fliker, ta mu povzroča glavobole, nevrološke težave in stroboskopski efekt (IEEE, 2015; Miller in Lehmar, 2015).

2.1.5 LED, družba in okolje

S preudarno uporabo surovin in z izbiro svetil LED, ki nam omogočajo manjšo porabo električne energije in podaljšano življenjsko dobo elementov, zavestno vplivamo na okolje. V Evropi za potrebe razsvetljave porabimo 14 % proizvedene električne energije, od tega 20 % porabijo gospodinjstva, 80 % pa profesionalna razsvetljava. Na svetovnem nivoju je bilo leta 2005 porabljenih 2.650 TWh ali 1,9 M CO², do leta 2030 se pričakuje 160-% povečanje, če do takrat ne bo prišlo do tehnoloških izboljšav. Ena svetilka LED »Aero II Hybrid« proizvede v življenjskem ciklusu 2.100 kg CO², od tega 6 % predstavljajo surovine, 1 % proizvodnja, 1 % transport in recikliranje, ostalih 92 % pa predstavlja delovanje svetilke (Orgulan, 2011).

2.2 RAZSVETLJAVA SKOZI ČAS

Razsvetljava se je v zadnjih sto letih razvijala v mnogo smereh, večinoma so spremembe temeljile na segrevanju nitke, to predstavlja Edisonova žarnica (1879), ali kurjenju plina (fluorescenčne in kovinske halogenidne sijalke), take žarnice je predstavil Wiliam D. Colige leta 1991. Nova, revolucionarna tehnologija Solid State Lighting oz. SSL sloni na popolnoma drugačni fiziki, saj izkorišča svetlobo, ki jo oddaja polprevodniška svetleča dioda oz. LED (Sayigh, 2013), vendar je njena uporaba v permanentni oz. generalni razsvetljavi prisotna šele od leta 2009 (Schubert, 2018).

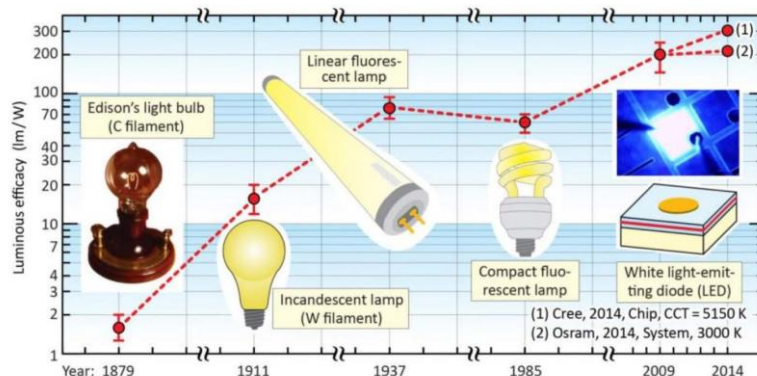
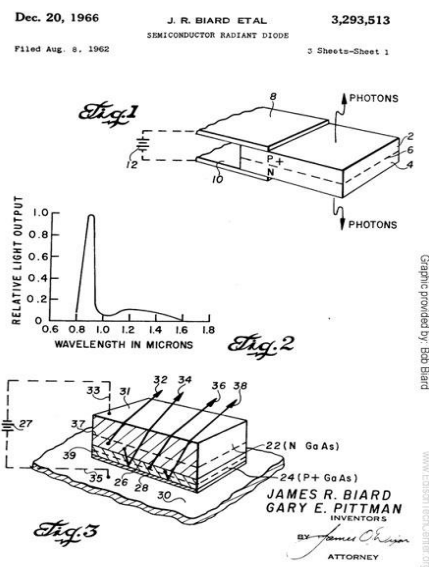


Fig. 3.10: Temporal development of the luminous efficiency of different types of lamps. The 2014 points represent: (1) White LED device performance (Cree Company, 2014; 303 lm/W; CCT = 5150 K), and (2) White LED device and system performance (Osram Company, 2014; 215 lm/W (device); 205 lm/W (system); CCT = 3000 K).

Slika 11: Razsvetljava skozi čas
(Vir: Schubert, 2018, str. 43)

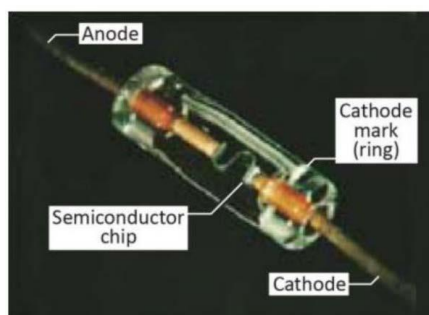
Prvo poročilo o komponenti LED, izdelani iz silicijevega karbida, ki pa še ni bila pripravljena za množično uporabo, je predstavil H. J. Round že leta 1907 (Schubert, 2018).

Prvo uporabno in patentirano LED iz galijevega arzenida sta leta 1961 med poskusom razvoja varakorske diode¹ naključno odkrila James R. »Bob« Biard in Gary Pittman (Biard, 1962).



Slika 12: »Bob« Biard in Gary Pittman patent
(Vir: Biard, 1962)

General Electric (GE) je prvo podjetje, ki je leta 1960 komercializiralo GaAsP LED², vendar pa zaradi visoke cene 260 US\$/kos ni požela velikih uspehov. Kar ni uspelo GE, pa je uspelo podjetju Monsanto Company, ki je leta 1968 pripravilo nizkocenovno GaAsP LED za masovno proizvodnjo (Schubert, 2018).

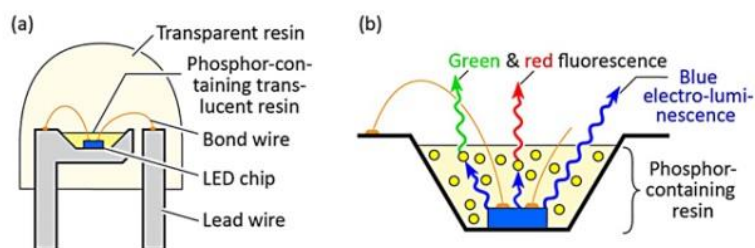


Slika 13: GaAsP LED
(Vir: Schubert, 2018, str. 8)

¹ Varaktorska dioda se uporablja za avtomatsko regulacijo frekvence (AFC).

² GaAsP LED je prva LED, ki je oddajala rdečo vidno svetlobo.

V zgodnjih devetdesetih letih prejšnjega stoletja je dr. Nakamura predstavil revolucionaren prelom z uporabo nitridnih materialov. Sestavljeni materiali, ki so bili predhodno narejeni, so sestavljeni iz večplastnih kristalov v zapletenem kemičnem postopku, imenovanem Metalorganic Chemical Vapor Deposition ali MOVVD. Elementi, vključeni v kristal, določajo barvo, ki jo oddaja določena dioda. Sestavljen polprevodnik, ki ga je razvil dr. Nakamura, temelji na galijevem nitridu in oddaja svetlo modro svetlobo (Sayigh, 2013). Kmalu za tem je v sodelovanju s kolegi (Isamu Akasaki, Hiroshi Aman) razvil visokointenzivne modre in zelene LED, ki so bile temelj za izgradnjo visokoučinkovitih belih LED. Leta 2014 so bili vsi trije nagrajeni z Nobelovo nagrado za fiziko (Schubert, 2018).



Slika 14: Zgradba LED
(Vir: Schubert, 2018, str. 34)

Na sliki 14 lahko vidimo strukturo prve bele LED in (b) čip InGaN LED, ki oddaja modro elektroluminiscenco (EL) in YAG. Če fosfor, vzbujen z modro E, oddaja tamkajšnjo širokopasovno rumeno fluorescenco, ki sega od zelene do rdeče, ustvarja belo svetlobo (Schubert, 2018).

2.2.1 LED kot razsvetljava

Prve LED so bile v uporabi večinoma kot signalne (indikacijske) lučke za osvetlitev ekranov ali pa infrardeče za komunikacijo, primer je uporaba TV-upravljalnika. Leta 2000 pa so se pojavile ideje, da bi LED zaradi edinstvenih lastnosti lahko uporabljali v širokem spektru na področju razsvetljave (Schubert, 2018).

2.3 REGULACIJA LED

Regulacija in krmiljenje razsvetljave nudita možnost projektiranja dinamične razsvetljave, ki omogočata optimalno delovanje oz. prilagoditev trenutnim zahtevam porabnika. Z ustrezno postavljenim sistemom krmiljenja dosežemo ugodne učinke razsvetljave za porabnika, z regulacijo pa zmanjšamo porabo električne energije, kar pomeni denarni prihranek. Ekonomska upravičenost postavitve regulacije in krmilja je smiselna tam, kjer so prostori, ki jih želimo osvetliti, neenakomerno osvetljeni z naravno svetlobo oz. prisotnost oseb v prostoru ni konstantna. V praksi krmiljenje in

regulacijo svetlobe povezujemo s senčili oz. drugimi sistemi zatemnitve steklenih površin (Bizjak, 2020a).

3 ZAKONODAJA PROJEKTIRANJA NOTRANJE RAZSVETLJAVE

Projektiranje razsvetljave je proces, ki ga je treba prilagoditi arhitekturi prostora ter ga razvijati v skladu z zakonodajo in standardi, prav tako pa ne smemo pozabiti na ekonomsko in druge upravičenosti. Za vsak prostor obstajajo glede na njegovo namembnost različni pristopi, prav tako pa tudi različne tehnične in oblikovne rešitve. Pomembno je, da sledimo priporočilom standardov in tehničnih smernic (Bizjak, 2020a). Za kakovostno projektiranje potrebujemo veliko izkušenj, saj moramo paralelno zadovoljevati vse pogoje, ne da bi pokvarili razmerje med cilji, ki smo jih predstavili v prvem delu. Arhitektura in namen prostora določata, v kakšno smer bomo razvijali projekt, zato je treba pridobiti informacije o dimenzijah objekta, področju del, kjer je predvidena razsvetljava, arhitektonsko gradbeni zasnovi, opremi prostorov, uporabljenih barvah in materialih.



Slika 15: Krožni diagram projektiranja
(Lastni vir)

Diagram prikazuje idealizirane korake projektiranja razsvetljave, ki se med seboj prepletajo in pogojujejo, zato v realnem projektiranju sodeluje mnogo različnih strokovnjakov z različnih področij, ki sodelujejo v okviru zakonodaje, smernic in dogovorov. Leta 2020 je skoraj nemogoče opisati popoln proces projektiranja, saj bi to obsegalo več tisoč strani literature in različnih znanosti, glede na hitrost razvijanja novih tehnologij pa obstaja velika možnost, da bi še v času pisanja prišlo do novih sprememb trendov in zakonodaje. Projektant razsvetljave mora opraviti strokovni izpit in sodelovati na aktualnih seminarjih, hkrati pa mora biti vpet v zakonodajo, standarde in trende prodaje.

3.1 ARHITEKTURA

Gradnja/izbira prostora

Glede na namen objekta moramo graditi ali izbrati objekt, ki ustreza zahtevanim predpisom in zakonodaji, saj so določeni deli projektiranja razsvetljave vezani že v osnovno graditev objekta.

Integracija

Z integracijo razsvetljave v arhitekturo okolja in delovnega prostora v industriji, kjer je učinkovitost najbolj pomembna, estetska integracija ni bistvenega pomena, obratno je npr. pri muzejih ali galerijah, vendar pa ima integracija razsvetljave vpliv na delavce, ki so najbolj pomemben del delovnega procesa.

3.2 ZAKONODAJA

V Sloveniji osnovo za zakonodajo na področju notranje razsvetljave predstavlja Gradbeni zakon v poglavju o varčevanju z energijo, ohranjanju toplote in rabi obnovljivih virov energije. Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih podaja navodila o naravni razsvetljavi, Tehnična smernica TSG-1-004 del pa navodila o dnevni svetlobi.

3.2.1 Gradbeni zakon

Gradbeni zakon (2017) v 21. členu (varčevanje z energijo, ohranjanje toplote in raba obnovljivih virov energije) navaja učinkovito rabo energije za razsvetljavo, ki se zagotavlja z naravno osvetlitvijo. Če to ni mogoče, se uporabijo energijsko učinkovita svetila in pripadajoči elementi ter ustrezna regulacija.

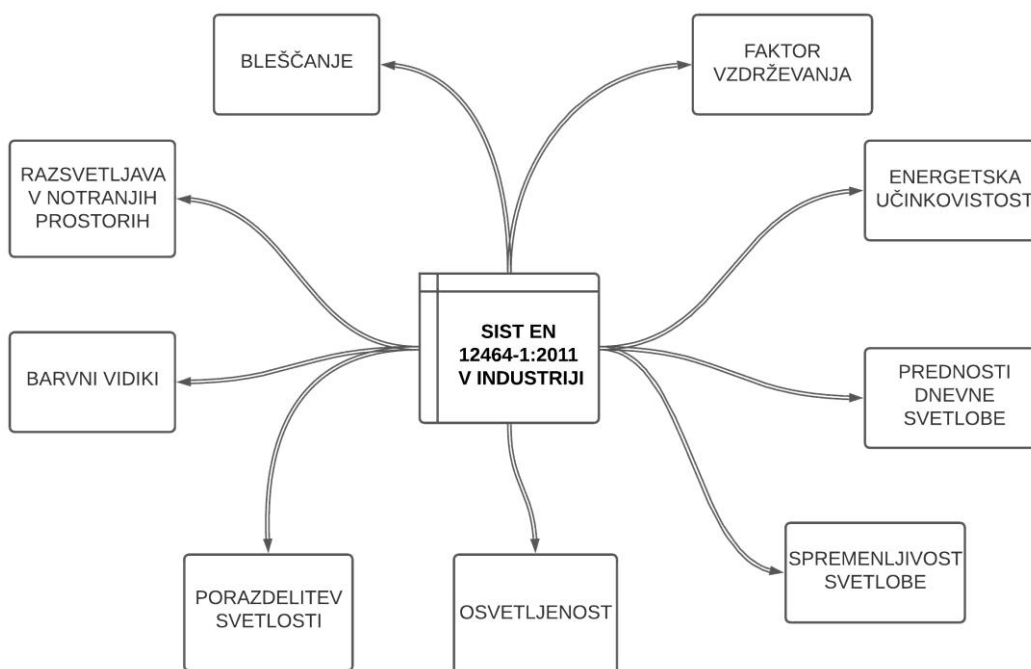
3.2.2 Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih

Delodajalec mora zagotoviti (Bizjak et al., 2013; Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih, 1999):

- naravno razsvetljavo, da so delovni prostori podnevi praviloma osvetljeni z naravno svetlobo. Razpored, velikost, število in kakovost površin za osvetljevanje z naravno svetlobo morajo zagotoviti osvetljenost delovnih mest v skladu s standardi, delavcem pa vidni stik z okoljem. Velikost okenskih površin mora znašati najmanj 1/8 talne površine prostora, površina posameznega prozornega okna najmanj 1 m² pri globini prostora do 4 m oziroma 1,5 m² pri globini nad 4 m, višina in širina okna morata biti vsaj 1 m, višina spodnjega roba okna pa manj kot 1,5 m. Zahteve ne veljajo za: delovne prostore, v katerih obratovalne razmere dnevne svetlobe ne dopuščajo; prodajne prostore, skladišča in podobne prostore, če ležijo pod zemeljskim nivojem; delovne prostore s talno površino nad 2.000 m², če imajo svetlobne jaške;
- umetno razsvetljavo, da so delovni prostori opremljeni z umetno razsvetljavo, ki bo višja od 200 lx, kjer je treba uporabiti dodatno lokalno razsvetljavo. Prostori morajo biti opremljeni z zasilno razsvetljavo, ki zagotavlja osvetljenost vsaj 1 % predpisane vrednosti oz. vsaj 1 lx;
- mešano razsvetljavo, ki mora biti usklajena z naravno svetlobo (smer vpada, barva svetlobe).

3.2.3 Standard SIST EN 1246-1:2011

Za projektiranje razsvetljave in ocenjevanje (oz. meritve) notranjih delovnih prostorov se v Sloveniji uporablja Evropski standard SIST EN 12464-1:2011. Glavni del standarda predstavlja tabela, v kateri so navedeni ključni parametri za različna delovna mesta (Bizjak et al., 2013). V zahodni Evropi že uporabljajo standard SN EN 12464-1:2013-06, ki ga bomo v nadaljevanju predstavili s pomočjo blok diagramov.



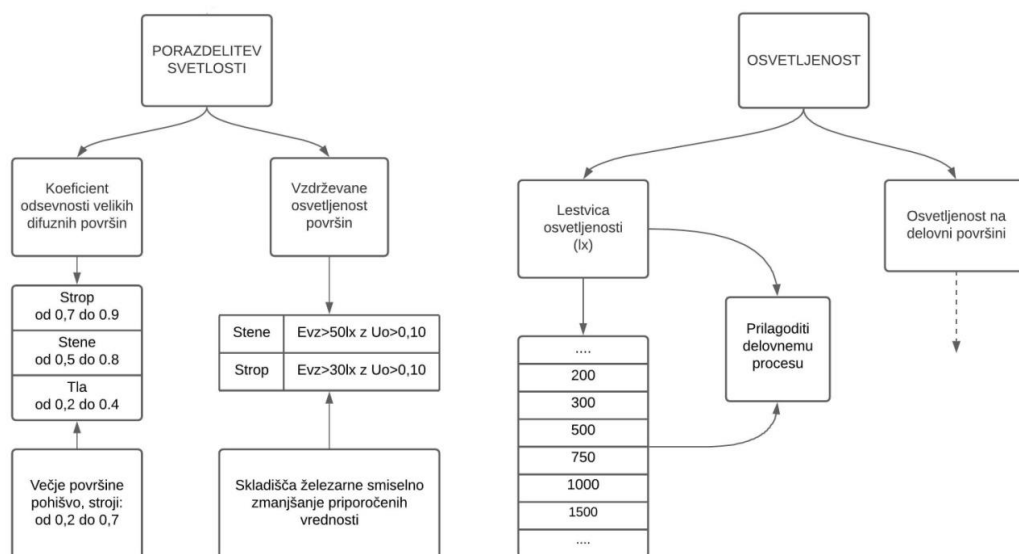
Slika 16: SIST EN 12464-1:2011
(Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Porazdelitev svetlosti

Porazdelitev svetlosti v vidnem polju vpliva na adaptacijo očesa in s tem tudi na vidnost delovne naloge. Za uravnoteženo porazdelitev svetlosti je treba upoštevati svetlosti vseh površin, njihove vrednosti pa mora projektant razsvetljave upoštevati in izbrati ustrezne vrednosti odsevnosti (SIST EN 12464-1:2011, 2011).

Osvetljenost

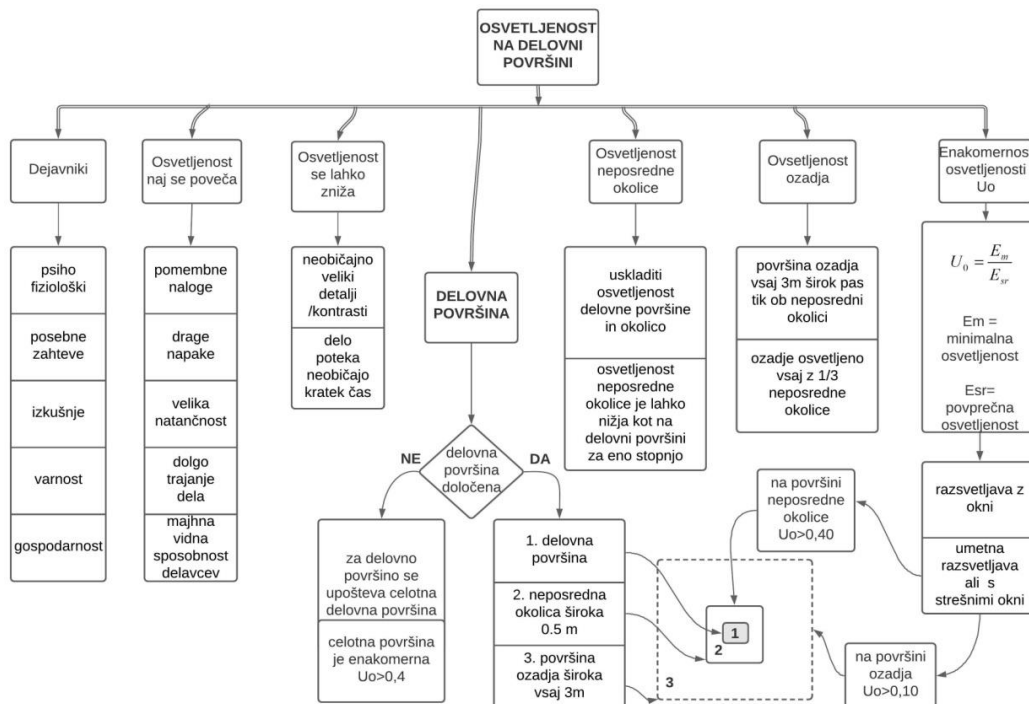
Osvetljenost ter njena porazdelitev na delovni površini in na površini neposredne okolice zelo vpliva na hitrost, varnost in udobnost zaznave (SIST EN 12464-1:2011, 2011).



Slika 17: SIST EN 12464-1:2011 – porazdelitev svetlosti in osvetljenost (Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Osvetljenost na delovni površini

V standardu je bolj podrobno obdelana osvetljenost na delovni površini, saj se tam delavec zadržuje najdlje. Če delovna površina v prostoru ni določena, se kot delovno mesto upošteva celoten prostor.



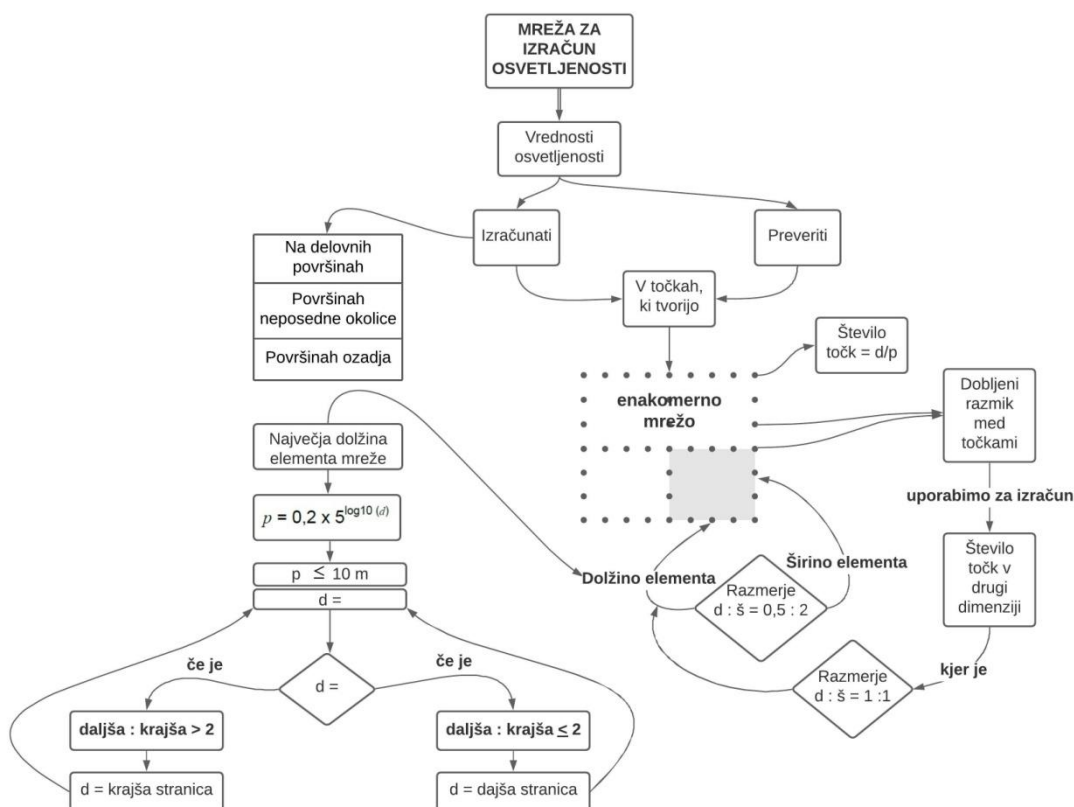
Slika 18: SIST EN 12464-1:2011 – osvetljenost na delovni površini (Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Enakomernost osvetljenosti na delovni površini

Pri osvetlitvi si želimo maksimalne enakomerne osvetljenosti, ki pa jo v realnih prostorih zelo težko dosežemo. Minimalno prostorsko enakomernost standard poda kot razmerje med minimalno in povprečno vrednostjo osvetljenosti. Prav tako kot enakomernost osvetljenosti prostora je pomembna tudi osvetljenost neposredne okolice delovnega mesta. Neposredna okolica delovnega mesta so področja, ki so na vidnem dosegu delavca, oz. območja, ki so vsaj 0,5 m okoli delovne površine (Bizjak et al., 2013; SIST EN 12464-1:2011, 2011).

Mreža za izračun osvetljenosti

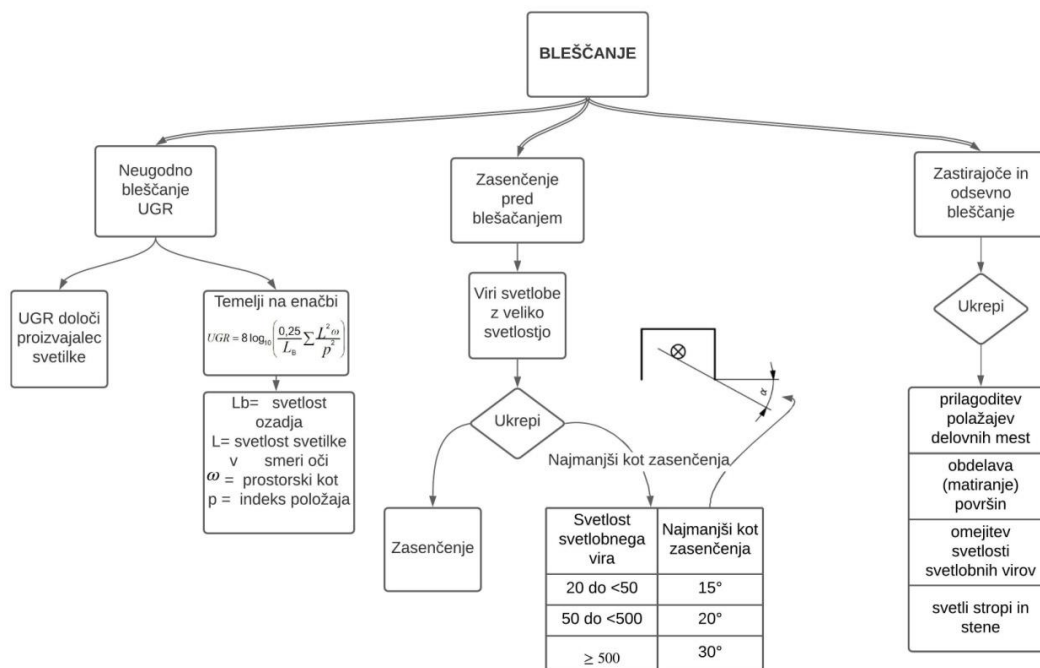
Vrednosti osvetljenosti je treba izračunati in preveriti v točkah, ki tvorijo enakomerno mrežo. Merjene površine so delovna površina ter površina neposredne okolice ozadja (SIST EN 12464-1:2011, 2011).



Slika 19: SIST EN 12464-1:2011 – mreža za izračun osvetljenosti
(Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Bleščanje

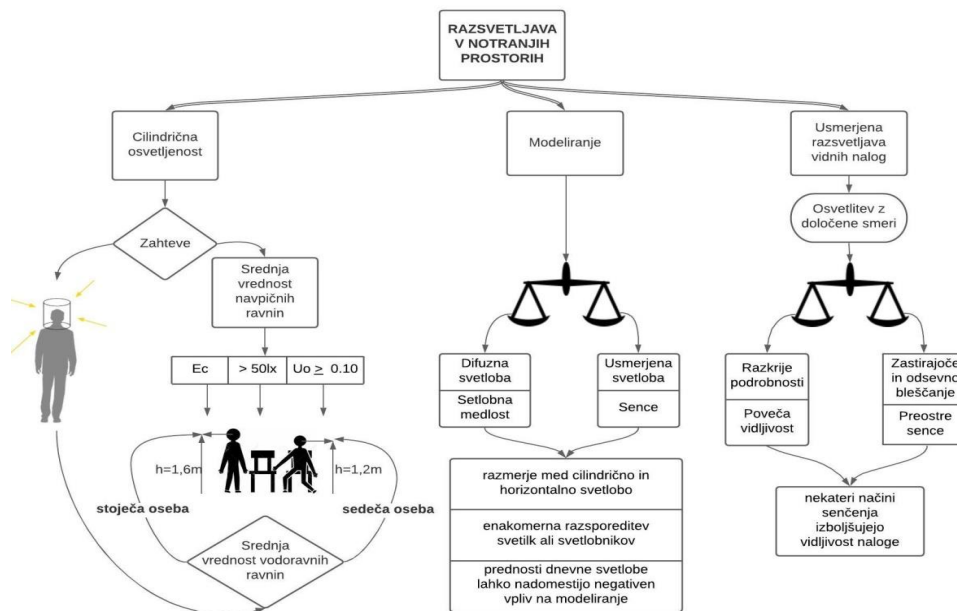
Bleščanje je občutek, ki nastane zaradi svetlih površin v vidnem polju. Bleščanje je treba omejiti, saj poslabša vidne sposobnosti ter povzroča psihološke in fiziološke motnje. Bleščanje odpravimo s pravilno izbiro svetil in z njihovo postavitvijo v prostor. V posebnih primerih, ko uporabljamo več različnih svetil v enem prostoru, bleščanje predvidimo z metodo CIE UGR (Unified Glare Rating), vendar v splošnem projektiranju uporabljamo preglednice UGR, ki jih podajo proizvajalci svetil (Bizjak et al., 2013; SIST EN 12464-1:2011, 2011).



Slika 20: SIST EN 12464-1:2011 – bleščanje
(Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Razsvetljava v notranjih prostorih

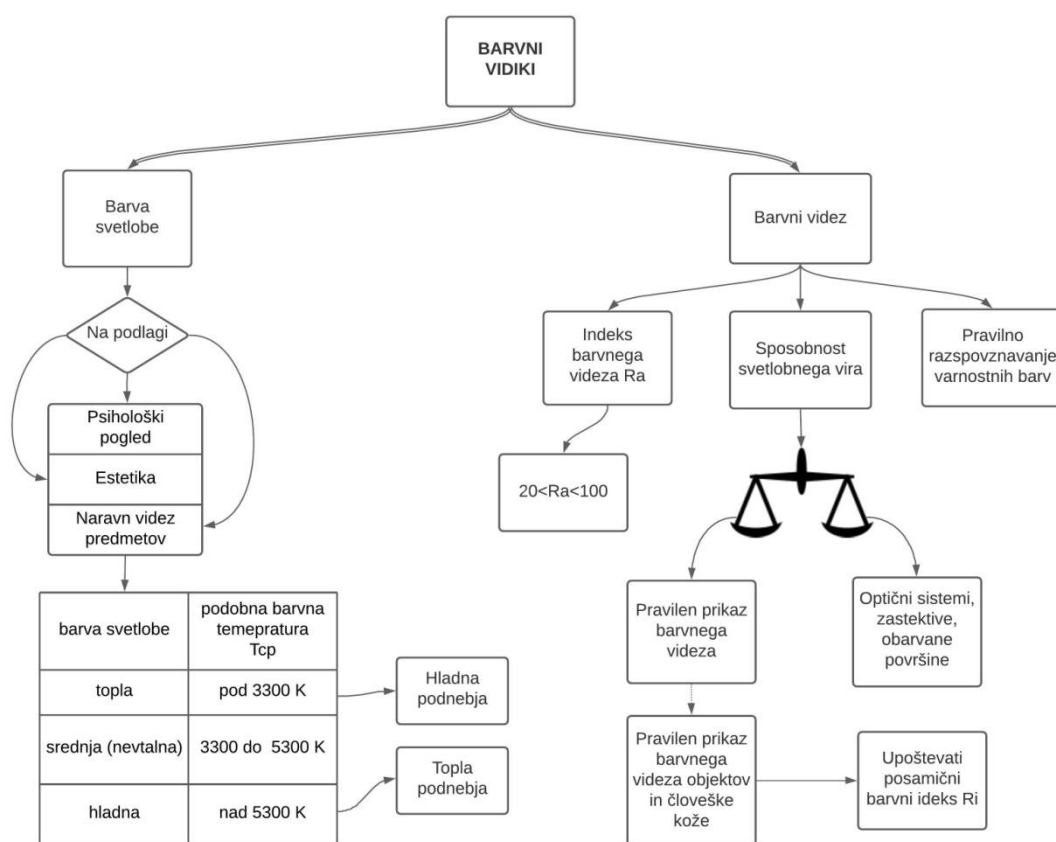
Da poudarimo objekte, razkrijemo teksture in izboljšamo vidnost oseb, moramo razsvetliti celoten prostor.



Slika 21: SIST EN 12464-1:2011 – razsvetljava v notranjih prostorih (Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011; The Lighting Handbook, 2018)

Barvni vidiki

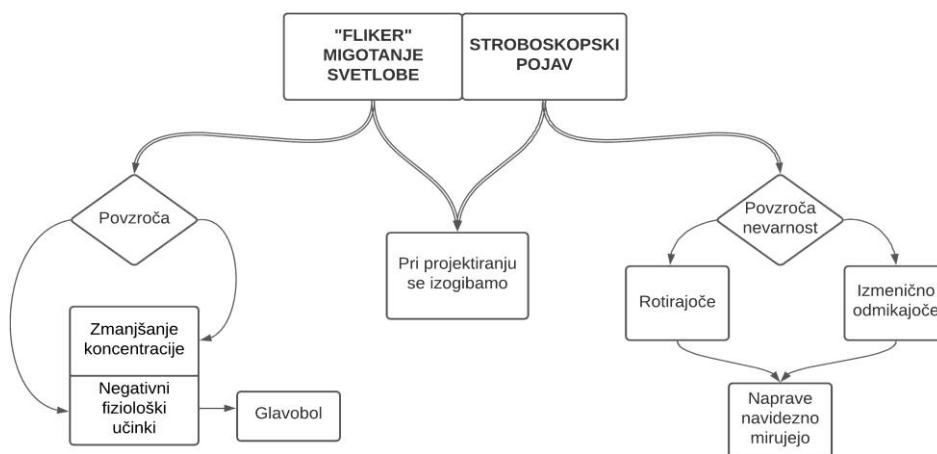
Barva svetlobe in indeks barvnega videza sta odvisna od spektralne sestave svetlobe in uporabljenega svetlobnega vira. Za ocenjevanje barv svetlobe svetlobnih virov uporabljamo barvno temperaturo. Za lažje prepoznavanje barvnih lastnosti svetil jih delimo glede na njihovo najbolj podobno barvno temperaturo v tri osnovne skupine. Indeks barvnega videza vpliva na barvni videz predmetov v prostoru, zato je pomemben pri izbiri svetil v delovnih okoljih, kjer so odtenki barve pomembni ali pa v teh prostorih ljudje delajo ali se zadržujejo dlje časa (Bizjak et al., 2013; SIST EN 12464-1:2011, 2011).



Slika 22: SIST EN 12464-1:2011 – barvni vidiki
(Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Migotanje svetlobe (fliker) in stroboskopski pojav

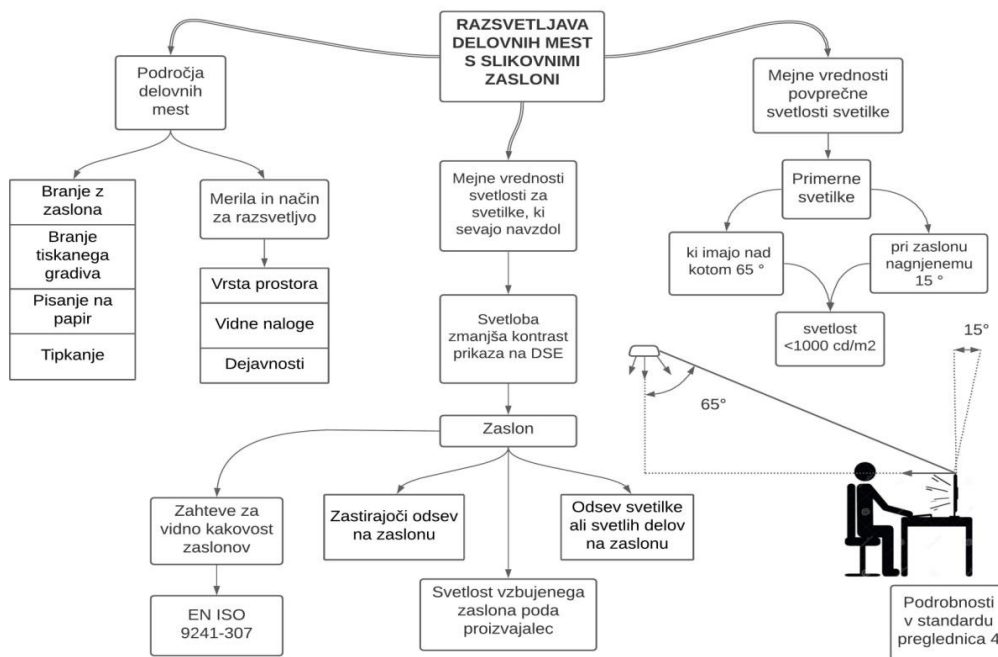
Migotanje svetlobe povzroča negativne fiziološke učinke, nevarne posledice pri zaznavanju predmetov pa ima tudi stroboskopski pojav, zato se pri projektiranju razsvetljave zmanjšuje možnosti teh pojavov.



Slika 23: SIST EN 12464-1:2011 – migotanje svetlobe in stroboskopski pojav
(Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Razsvetljava delovnih mest s slikovnimi zasloni (DSE)

Svetloba lahko zmanjša kontrast prikaza na DSE zaradi zastirajočih odsevov ter zaradi osvetljenosti na površini zaslona in odsevov svetlih delov svetilk ali svetlih površin na zaslonu. Da izničimo odsevno bleščanje na slikovnih zaslonih, moramo paziti pri izbiri svetil, pozorni pa moramo biti tudi na ustrezno nizke svetlosti v področju kritičnih kotov (Bizjak et al., 2013; SIST EN 12464-1:2011, 2011).

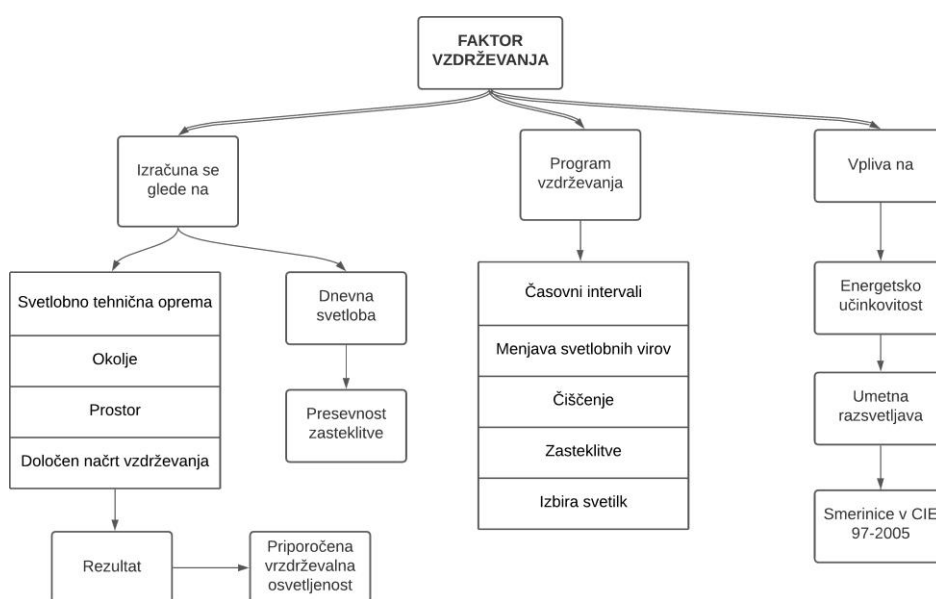


Slika 24: SIST EN 12464-1:2011 – razsvetljava delovnih mest s slikovnimi zasloni (DSE)

(Vir: Bizjak et al., 2013; SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Faktor vzdrževanja

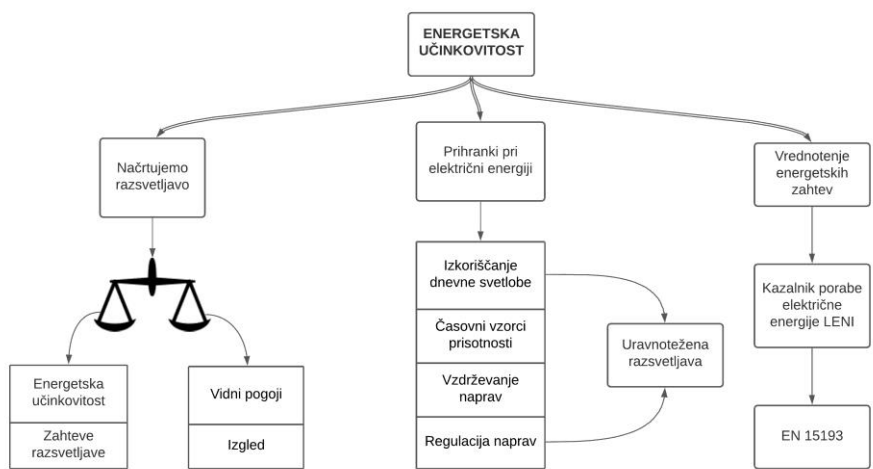
Sestavni del projekta razsvetljave je projekt vzdrževanja, kjer opišemo vzdrževanje svetlobno tehnične opreme. Pogostost vzdrževanja določimo s faktorjem, ki vpliva na število svetil v prostoru in začetno osvetljenost, ki je glede na faktor lahko nižja. V praksi bi to pomenilo, da če projektant razsvetljave določi faktor 0,8, je začetna osvetljenost za 20 % višja od tiste, ki jo določa standard. S časom osvetljenost pada zaradi staranja svetlobnih virov ter zaprašeniosti svetil in sten. Standard to odpravlja s faktorjem vzdrževanja, ki je določen glede na namembnost prostora in upad svetlobnega toka pri svetilih (Bizjak et al., 2013; SIST EN 12464-1:2011, 2011).



Slika 25: SIST EN 12464-1:2011 – faktor vzdrževanja
(Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Zahteve za energetska učinkovitost

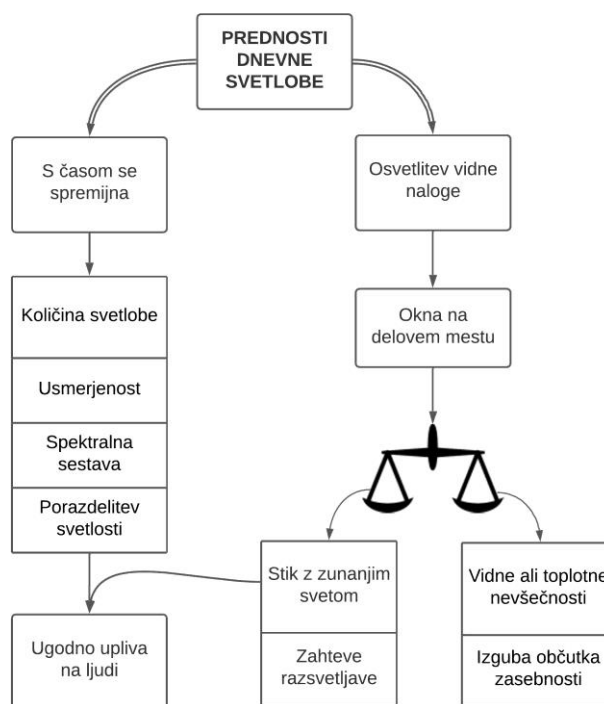
Pri načrtovanju razsvetljave smo pozorni, da pri zagotavljanju zahtev razsvetljave in energetske učinkovitosti ne pozabimo na vidne pogoje in videz razsvetljave. Pri prihranku električne energije maksimalno izkoriščamo dnevno svetlobo, njene pomanjkljivosti pa odpravljamo s krmilno tehniko in časovnimi vzorci prisotnosti. Energetska učinkovitost vrednotimo s kazalnikom porabe električne energije, ki predstavlja energetska učinkovitost razsvetljave v stavbah (Bizjak et al., 2013; SIST EN 12464-1:2011, 2011).



Slika 26: SIST EN 12464-1:2011 – energetska učinkovitost
(Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Dodatne prednosti dnevne svetlobe

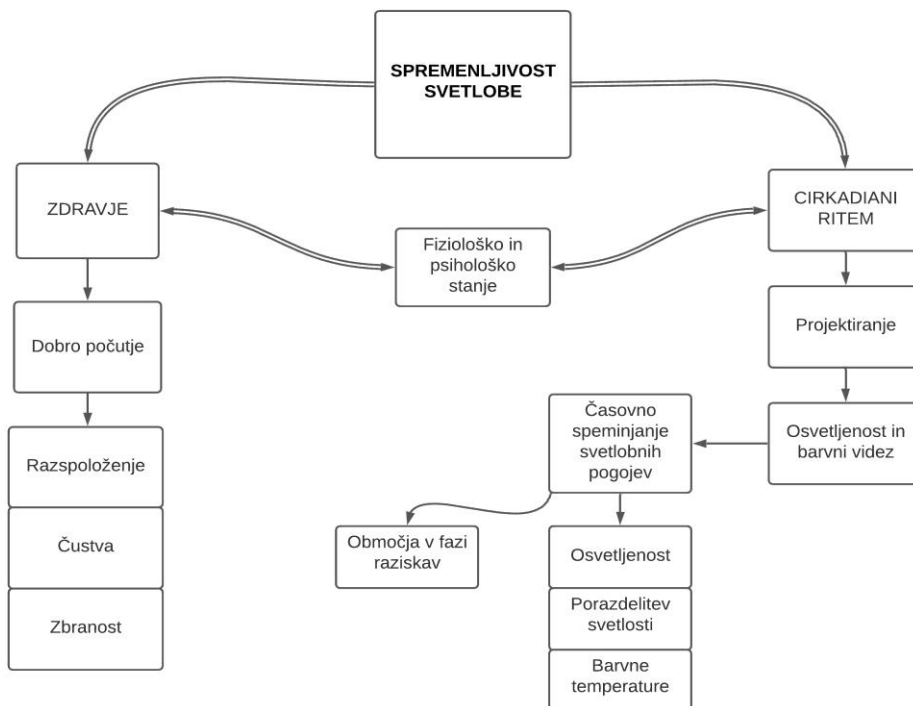
Dnevna svetloba poleg energetske učinkovitosti zaradi svojih edinstvenih lastnosti ugodno vpliva na ljudi. Pri tem je treba poskrbeti za vidne ali toplotne nevšečnosti ali izgubo občutka zasebnosti (SIST EN 12464-1:2011, 2011).



Slika 27: SIST EN 12464-1:2011 – prednosti dnevne svetlobe
(Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Spremenljivost svetlobe

Spremenljivost dnevne svetlobe je naraven pojav, ki je pomemben za zdravje in dobro počutje ljudi. S spreminjanjem dnevne svetlobe se pojavi cirkadiani ritem, ki fiziološko in psihološko vpliva na človeka. Za doseganje tega pojava je treba manipulirati z osvetljenostjo in barvnim videzom izven vidne zaznave (SIST EN 12464-1:2011, 2011).



Slika 28: SIST EN 12464-1:2011 – spremenljivost svetlobe
(Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Pogoji za razsvetljavo

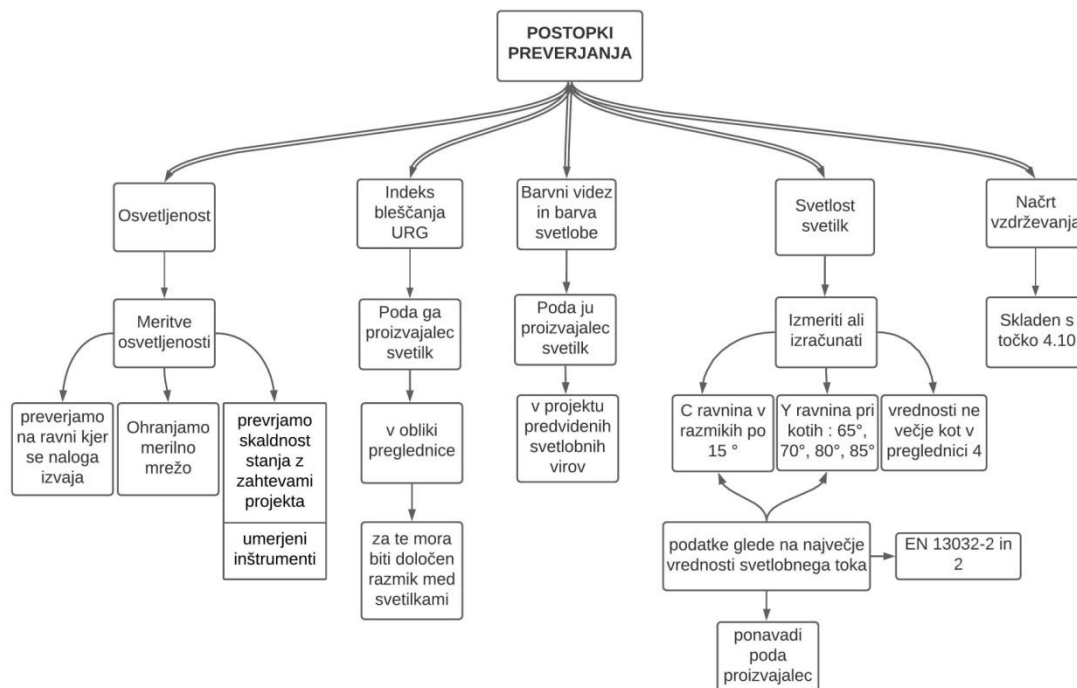
V standardu so predstavljeni pogoji za različna območja, naloge ali dejavnosti. Navedli bomo le pogoje standarda, ki bodo izhodišče za diplomsko delo.

Referenčna številka:	Vrsta območja, vidne naloge ali dejavnosti :	Pogoji:
5.11.5	Industrijske dejavnosti in obrti - Električna in elektronska industrija : Montažna dela : srednje fina, napr. stikalne	Em: 500lx Uo: 0,6 UGRL : 22 Ra : 80

Slika 29: EN 12464-1:2011 – pogoji za razsvetljavo
(Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Postopki preverjanja

Razsvetljavo projektiramo ob določenih predpostavkah, ki jih moramo navesti v projektu. Eden od postopkov preverjanja je preverjanje, ali sta vgrajena oprema in okolje v skladu s predvidevanji ob načrtovanju.



Slika 30: SIST EN 12464-1:2011 – postopki preverjanja
(Vir: SIST EN 12464-1:2011, 2011)

3.2.4 Tehnična smernica TSG-1-004

Ministrstvo za okolje in prostor na podlagi Zakona o graditvi objektov izdaja tehnično smernico učinkovite rabe energije (Ministrstvo za okolje in prostor, 2010).

Dnevna svetloba

V prostorih, ki bi jih bilo mogoče neposredno osvetliti z dnevno svetlobo, mora biti primerna okenska ali strešna odprtina primarni vir osvetlitve v dnevnem času. Pri načrtovanju in vgradnji oken je treba upoštevati prepustnost stekla za dnevno svetlobo pri okenskih in strešnih odprtinah, ki mora biti $tv > 0,50$ (Ministrstvo za okolje in prostor, 2010).

Svetilke

Projektirajo in vgrajujejo se lahko le svetilke z elektronskimi predstikali oz. elektronskim balastom in sijalke z elektromagnetnimi predstikalnimi napravami z zmanjšanimi izgubami, razen kadar s posebnim predpisom ni drugače določeno. Za lokalno in občasno razsvetljavo je dovoljeno uporabljati žarnice z žarilno nitko, vendar njihova priključna moč ne sme presegati 20 % priključne moči vse razsvetljave. Povprečna moč vgrajenih svetilk na enoto uporabne površine (W/m^2) za posamezne vrste stavb ne sme presegati vrednosti, navedenih v standardu (Ministrstvo za okolje in prostor, 2010).

Ekonomska upravičenost

V nestanovanjskih stavbah je treba v prostorih, kjer se lahko zadržuje več kot 100 uporabnikov in so večji od $100 m^2$, preveriti ekonomsko upravičenost in po potrebi vgraditi sistem za regulacijo umetne osvetlitve v odvisnosti od naravne osvetlitve in prisotnosti uporabnikov v njih. V primerih, ko je sistem za regulacijo umetne osvetlitve vgrajen, je v takšnem prostoru dopustna za 50 % večja gostota moči svetilk, kot je dovoljeno v pogojih TSG004:2010 (Ministrstvo za okolje in prostor, 2010).

Regulacija

V prostorih brez stalne prisotnosti uporabnikov (stopnišča, hodniki, kleti, pomožni prostori) ter v večstanovanjskih in nestanovanjskih stavbah z večjim številom uporabnikov morajo biti svetilke oz. ustrezni deli sistema osvetlitve opremljeni s senzorji prisotnosti, ki z nastavljivo zakasnitvijo ugašajo sijalke, kadar v prostoru ni uporabnikov (Ministrstvo za okolje in prostor, 2010).

Gostota moči svetilk

Na spodnji sliki so navedene povprečne vrednosti, ki omogočajo lokalno bistveno višjo ali bistveno nižjo moč svetilk, s tem pa prilagajanje realnim potrebam in razmeram v stavbi oz. prostorih v njej (Ministrstvo za okolje in prostor, 2010).

Opis	Gostota moči svetilk (W/m^2)
Industrijske stavbe, knjižnice, stavbe za opravljanje verskih obredov	14

Slika 31: TSG004:2010

(Vir: Ministrstvo za okolje in prostor, 2010)

3.2.5 Zasilna/nujnostna razsvetljava

Zasilno oz. nujnostno razsvetljavo uporabljamo v primeru izpada splošne razsvetljave. Delimo jo na podskupine, to so razsvetljava za umik, varnostna in nadomestna razsvetljava. Nadomestna razsvetljava je tisti del nujnostne razsvetljave, ki omogoča, da se normalne dejavnosti nadaljujejo nespremenjene po izpadu splošne razsvetljave, napaja se iz ločenega vira in omogoča gibanje, usmerjanje v prostoru in izvajanje potrebnih varnostnih zaščitnih ukrepov. Osvetljenost na tleh mora biti najmanj 5 lx (Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, 2013). Varnostna razsvetljava je opredeljena v Pravilniku o pregledovanju in preizkušanju vgrajenih sistemov aktivne požarne zaščite (2007). Za načrtovanje zasilne razsvetljave uporabljamo standard SIST EN 1838:2013, ki deli varnostno razsvetljavo na dodatne podskupine. Varnostna razsvetljava poti umika je namenjena umiku v sili, ki se začne na mestu začetka evakuacije in konča na varnem območju. Protipanična razsvetljava je namenjena preprečevanju panike in zagotavljanju osvetlitve ter s tem omogoča osebam, da pridejo do mesta, kjer lahko prepoznajo pot umika. Varnostna razsvetljava posebej ogroženih delovnih mest osebom omogoča varen umik iz prostora ali stavbe ali omogoča osebam, da pred umikom končajo potencialno nevaren delovni proces. Varnostna razsvetljava poti umika pa obsega še podskupino varnostnih znakov. Zakonodaja predpisuje pogoje osvetljenosti, čas delovanja in hitrost prižiganja. Kot pri splošni razsvetljavi moramo tudi tukaj zagotoviti ustrezno osvetljenost, enakomernost, omejitvev bleščanja in faktor reprodukcije barv, minimalna osvetljenost tal na sredini poti rešitve ne sme biti manjša od 1 lx, razmerje med največjo in najmanjšo osvetljenostjo vzdolž sredinske črte poti rešitve pa ne sme preseči 40 : 1 (Mežič, 2015; Slovenski inštitut za standardizacijo, 2013).



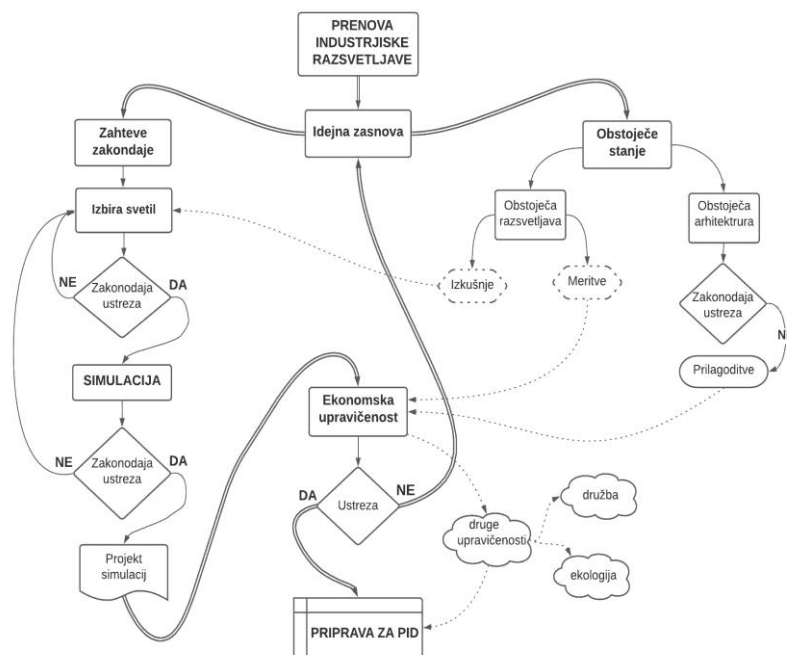
Slika 32: Zasilna razsvetljava SIST EN 1838:2013
(Vir: Slovenski inštitut za standardizacijo, 2013)

3.2.6 Izbira svetilk in regulacije

Pri projektiranju razsvetljave moramo biti pozorni na izbiro svetil, saj bomo omejeni glede na tehnične lastnosti svetilke. Izbor svetil obsega svetlobne lastnosti, obratovne lastnosti in vrsto svetlobnega vira, pri tem moramo zadovoljiti tudi zahtevam standardov. Ker je na trgu veliko število izdelkov, so trgovci pripravili digitalne knjižnice, ki omogočajo enostaven vpogled v digitalne kataloge različnih proizvajalcev. Digitalne knjižnice vsebujejo podatke, ki jih programska okolja, kot je Relux, potrebujejo za simulacijo razsvetljave v prostoru. Regulacijo oz. krmiljenje razsvetljave izberemo glede na zahteve prostora, pri tem pa pazimo, da je oprema regulacije kompatibilna s svetili.

4 PROJEKT PRENOVE RAZSVETLJAVE V INDUSTRIJI

Prenove razsvetljave so v osnovi bolj kompleksne kot je projektiranje novih objektov, saj se moramo arhitekturno in delovnoproceno prilagajati obstoječemu objektu. Obstoječi objekti so velikokrat grajeni pred izdajo zakona, po katerem želimo izvesti prenovo, zato v praksi težko sledimo krožnemu procesu. Zelo uporaben je diagram poteka, ker vsako odločitev preverjamo glede na obstoječe stanje, glede na veljavno zakonodajo in zastavljene cilje, ki so v našem primeru večplastni. Izpostavljena bo ekonomska upravičenost, saj je v večini industrijskih prenov razsvetljave naročnikom najbolj pomembna. V nadaljevanju bomo predstavili korake diagrama poteka za obstoječo halo.



Slika 33: Diagram poteka prenov industrijske razsvetljave (Lastni vir)

4.1 IDEJNA ZASNOVA

V idejni zasnovi določimo okvirne cilje, ki jih želimo doseči s prenovo razsvetljave, ter zberemo pogoje, ki jih postavljata zakonodaja in investitor, investitor pa določi tudi višino investicije. Projektnim zakonodajnim pogojem morata slediti elektro projektant in izvajalec del, delo izvajalca pa preverja odgovorni nadzornik del, če je za dela potrebno gradbeno dovoljenje. V tem delu projekta predvidimo svetila ter način krmiljenja in montaže glede na obstoječe stanje. Idejna zasnova prenove industrijske razsvetljave se lahko razlikuje od drugih, saj so pogoji razsvetljave v veliki večini že standardizirani glede na dejavnost in prostor.

4.2 OBSTOJEČE STANJE

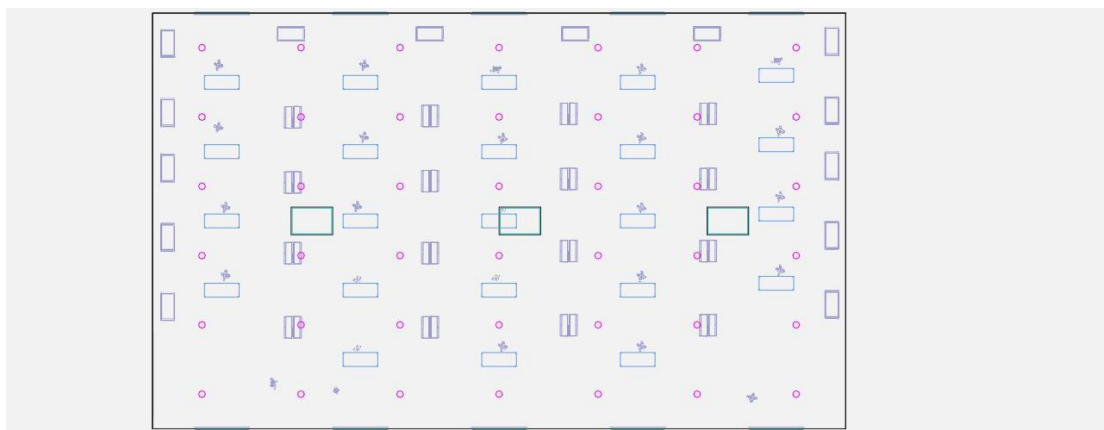
4.2.1 Arhitektura

Prostor, kjer je namišljena prenova razsvetljave, je hala, ki je del industrijskega obrata, njegova primarna dejavnost pa je sestavljanje električne opreme in energetskih sestavov. Po prostoru so razporejena delovna mesta in regali, na katerih se hrani orodje in opremo. Hala je del kompleksa, ki ga z vzhoda in zahoda povezuje dvoje vrat, ta imajo tudi vlogo požarnih in evakuacijskih izhodov. Severna in južna stran sta zunanji strani objekta, na teh so vgrajene steklene okenske površine. Na položni strehi so vgrajene tri stropne kupole. V programu Relux smo izdelali tloris z opremo namišljenega prostora.

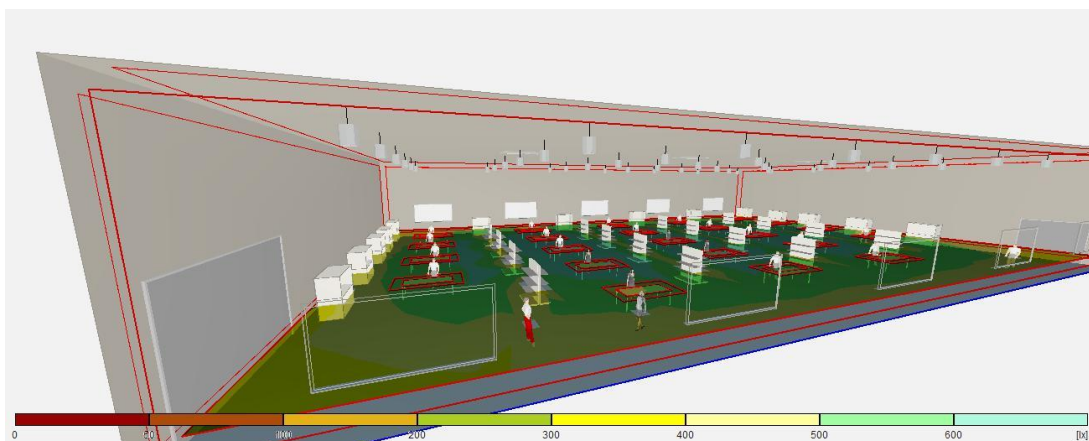
Tehnični podatki:

Dimenzije hale (d, š, v): (50 x 30 x 8,5 m).

Steklene površine: stranske steklene površine 5 x 6 m², kupole 3 x 3 m².



Slika 34: Tloris obstoječega stanja
(Lastni vir)



Slika 35: 3D-simulacija obstoječega stanja
(Lastni vir)

4.3 OBSTOJEČA RAZSVETLJAVA

Namišljena obstoječa razsvetljava je izvedena na način, ki je bil za osvetlitev hal priljubljen pred 20 leti, še vedno pa ga lahko srečamo v mnogih delujočih proizvodnih obratih. Uporabljena so reflektorska svetila, v katera so nameščena metalhalogenidna sijala. Svetila visijo na jeklenicah, ki so vpeta na stropno konstrukcijo.

Obstoječa svetilka

Obstoječa svetilka je Gewiss s predstikalno napravo in metalhalogenidno sijalko Osram nazivne napetosti $U = 230\text{ V}$, moči 400 W , s svetlobnim tokom 36.000 lm , njena življenjska doba je 12.000 ur , faktor bleščanja pa $UGR = 32$. Svetlobni izkoristek sijalke je 88 lm/W .



Slika 36: Obstoječa svetilka
(Lastni vir)

Zahteve zakonodaje obstoječe razsvetljave

Faktor bleščanja naše sijalke je $UGR \leq 32$, kar ne ustreza zahtevam standarda SIST EN 12464-1:2011, ki faktor bleščanja za prostore v industriji omejuje na $UGR \leq 22$. Tehnična smernica TSG-004 pogojuje izkoristek 14 W na kvadratni meter površin, kar je trenutno ustrezno, saj je skupna električna poraba razsvetljave 19.320 W, kar pri 1.500 m² veliki površini pomeni 12,88 W/m².

4.4 POGOJI ZAKONODAJE NA PROJEKTU

V tabelah pogojev razsvetljave so strnjene zakonodajne zahteve za prenovu razsvetljave, izvzeta je tehnična smernica TSG-1: 2010, ki ureja polaganje inštalacijskih kablov, saj menjava inštalacijske opreme in kablov ni predmet tega dela, za pravilno postavitve pogojev zasilne razsvetljave pa bi potrebovali tudi požarni elaborat. V osnovi nam na obstoječi razsvetljavi razen meritev naravne svetlobe ni treba preverjati, ali objekt izpolnjuje pogoje trenutno veljavne zakonodaje, saj je grajen pred veljavno zakonodajo, vendar nam bo to v pomoč pri dimenzioniranju nove razsvetljave, v primeru neustreznosti pa dobro izhodišče za upravičenost zamenjave.

4.4.1 Pogoji razsvetljave za izbrano industrijsko dejavnost

Na spodnji sliki so predstavljeni pogoji na podlagi standarda SIST EN 12464-1:2011 ter tehnične smernice TSG-1-004 za industrijske dejavnosti in obrti (podzvrst: električna in elektronska industrija, podzvrst: montažna dela, podzvrst: srednja, npr. stikalna plošča).

Splošna razsvetljava

Referenčne številke:	Vrsta območja, vidne naloge ali dejavnosti :		Delovno področje vertikalno DPv	Delovno področje cilindrično DPc	Okolica delovnega področja	Ozadje delovnega področja	Stena	Strop
SISST EN 1246-1 5.11.5 TSG1-004:2010-4	Industrijske dejavnosti in obrti - Električna in elektronska industrija : Montažna dela : srednje fina, napr. stikalne plošče	Pogoji:	Em ≥ 500lx Uo ≥ 0,6 UGRL : 22 Ra : 80 (K): 4000 Fv : 0,8 (W/m ²) ≤ 14 h : 0,75m	Em ≥ 50lx Uo ≥ 0,10 h:1,2 sedeče h:1,6 stoječe	Em ≥ 300lx Uo ≥ 0,4 0,5m od DPv	Em ≥ 100lx Uo ≥ 0,1 3m od DPv	Em ≥ 50lx Uo ≥ 0,1	Em ≥ 30lx Uo ≥ 0,1

Slika 37: Pogoji razsvetljave za industrijsko dejavnost
(Vir: Ministrstvo za okolje in prostor, 2010; SIST EN 12464-1:2011, 2011)

Zasilna razsvetljava

Maksimalni čas vklopa za industrijske objekte nad 1000MJ/m (s)	Bleščanje URG	Razmerje Emax/Emin vzdolž poti (lx)	Ra	Minimalni čas obratovanja z lastnim napajanjem (h)	Znak rešitve v trajnem spoju	Varnostna razsvetljava h=0m (lx)	Nadomestna razsvetljava h=0m (lx)
1	maximalna svetilnost v določeni smeri	<40	<40	1	ne	1	5

Slika 38: Varnostna razsvetljava – zahteve za industrijo
(Vir: Slovenski inštitut za standardizacijo, 2013)

4.4.2 Izbira svetil

Splošna razsvetljava/glavno svetilo

V digitalni knjižnici Zumtobel Product Explorer poiščemo svetilo, ki bo primerno za okolje hale in bo ustrezalo pogojem standarda. Pozorni smo na obratovalne in svetlobne lastnosti. Izbiramo različna svetila podobnih lastnosti, z vsakim izbranim svetilom pa izvedemo testno simulacijo v programskem okolju. Pri testnih simulacijah smo pozorni predvsem na enakomernost osvetlitve in možnosti montaže. Po več testnih primerih izberemo svetilo CRAFT M TEC LED13000-840 PC WB LDO WH. Svetilo je izdelano za osvetlitev proizvodnih hal, v katerih lahko na svetilki pričakujemo nabiranje prevodnega prahu. Način montaže in priključitve je sistem svetlobnega traku TECTON. Svetlobni tok je do 12.700 lm, svetlobni izkoristek pa 156 lm/W. Ohišje iz litega aluminija je v beli barvi, prašno lakirano in s hladilnimi rebri, ki omogočajo optimalno termično upravljanje in preprečujejo nabiranje prahu. Življenjska doba je 50.000 ur pri znižanju svetlobnega toka na 85 % začetne vrednosti. Reprodukcijska barva je Ra > 80. Barvna temperatura je 4.000 K LED840 nevtralnno bele barve. Obratovalna temperatura okolice je do +25 °C, kar ustreza našim zahtevam. Posebej razvita optika WideBeam je primerna za enakomerno kvadratno osvetlitev brez temnih mest (UGR < 22). Svetilka v osnovi ustreza pogojem za pravilno osvetlitev hale. Ima možnost DALI, torej je primerna za napajanje v sili, to možnost pa bomo uporabili pri projektiranju zasilne razsvetljave (Zumtobel, 2020a).



Slika 39: Svetilka CRAFT M TEC LED13000-840 PC WB LDO WH
(Vir: Zumtobel, 2020a)

Zasilna svetila

Izbira glavne svetilke je bila namenska, saj se v kombinaciji z vmesnikom DALI in centralnim napajanjem lahko uporablja tudi kot svetilo za namene zasilne razsvetljave. Viseča vodila Tecton, na katera bodo montirana svetila, so inštalacijsko že pripravljena za napajanje zasilne razsvetljave. Glavno svetilo bomo uporabili kot zasilno svetilko v celem prostoru. Prednastavljena vrednost je 15 % nazivnega svetlobnega toka. Za evakuacijski prostor bomo uporabili dodatno piktogramsko svetilko CROSSIGN 160 P TEC-GP, ki označuje pot evakuacije, locirana bo nad izhodna vrata. Zasilna svetilka Crossing ima možnost napajanja preko centralne baterije, ki bo delovala v sklopu z ostalimi glavnimi svetili.



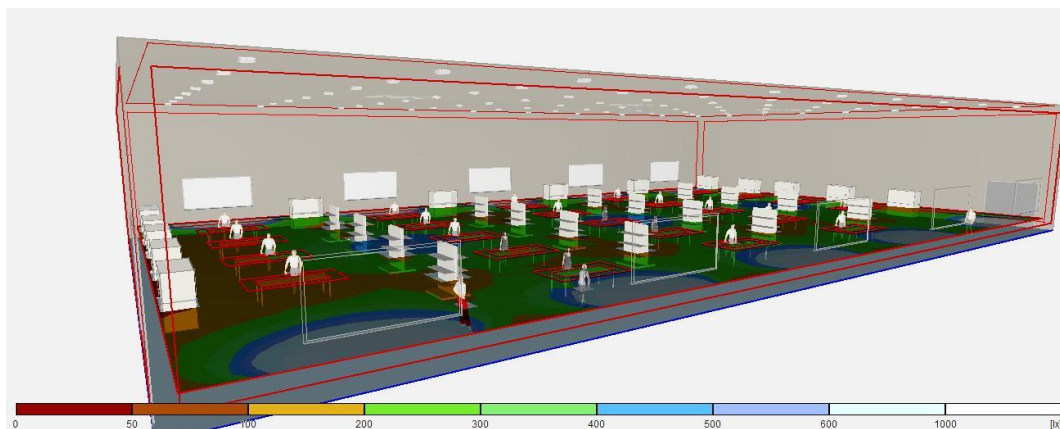
Slika 40: Zumtobel – CROSSIGN 160
(Vir: Zumtobel, 2020b)

4.5 SIMULACIJA

Simulacijo razsvetljave smo izvedli v programskem okolju Relux. Tloris hale, ki smo ga ustvarili za potrebe predstavitve obstoječega stanja, je naše izhodišče za simulacijo nove razsvetljave. Simulacijski parametri so nastavljeni v skladu z zahtevami standarda SIST EN 1246-1.

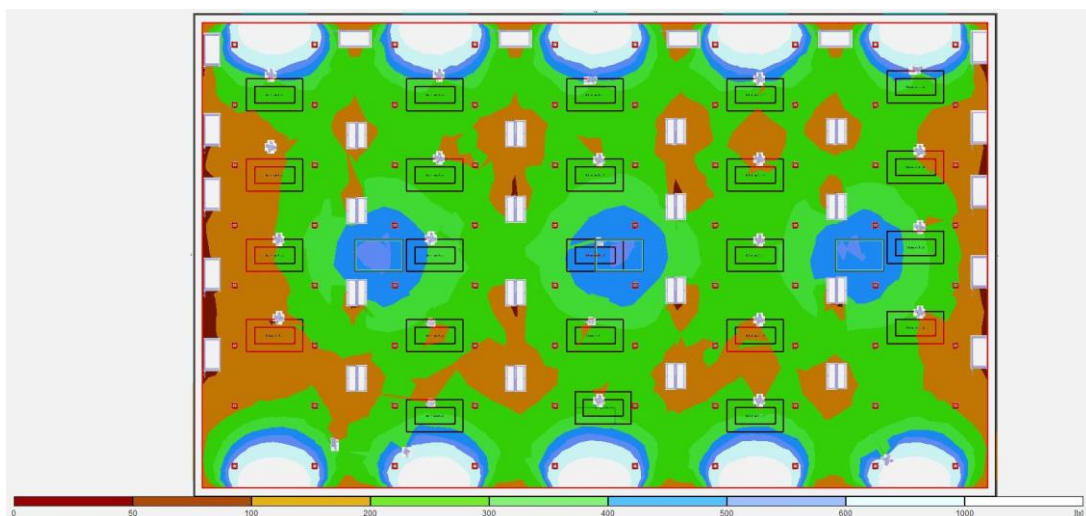
4.5.1 Naravna svetloba

Simulacija naravne svetlobe oz. osvetljenost prostora s svetlobo, ki jo pridobimo izključno skozi okenske površine, je simulirana na podlagi predpostavke povprečno svetlega dne za okolje, v katerem se nahaja hala. Na sliki »*Simulacija osvetljenosti naravne svetlobe, 3D-model*« je predstavljen 3D-model (vzporedni pogled) hale z delovnimi mesti brez vpliva svetil.



Slika 41: Simulacija osvetljenosti naravne svetlobe, 3D-model
(Lastni vir)

Na sliki »*Naravna svetloba nadomestne barve, ptičja perspektiva, 2D-model*« je predstavljen 2D-model simulacije naravne svetlobe z uporabo nadomestnih barv v ptičji perspektivi. Nadomestne barve skozi barvno lestvico prikazujejo območja z različno osvetljenostjo. Še preden si ogledamo numerične rezultate, lahko s pomočjo slike z uporabo nadomestnih barv razberemo, da svetloba ni enakomerno razporejena po prostoru. V okolici steklenih oken so svetle barve, kar ponazarja visoko osvetljenost, ob stenah pa so uporabljene temnejše barve, ki simbolizirajo manj osvetljene površine.



Slika 42: Naravna svetloba nadomestne barve, ptičja perspektiva, 2D-model (Lastni vir)

Spodnja tabela predstavlja numerične rezultate upada naravne svetlobe skozi steklene površine v halo in horizontalno osvetljenost delovnih mest.

Naravna svetloba	Delovno področje	Em	Emin	Emax	Uo	ustreza
		(lx)	(lx)	(lx)	(/)	(da + ne –)
Delovno mesto 1	Delovna miza	155	128	183	0,83	–
	Okolica delovne mize	158	87	215	0,55	–
	Ozadje	342	111	1331	0,32	–
Delovno mesto 2	Delovna miza	193	158	248	0,82	–
	Okolica delovne mize	197	80	276	0,41	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 3	Delovna miza	173	149	203	0,86	–
	Okolica delovne mize	176	146	225	0,83	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 4	Delovna miza	240	157	323	0,65	–
	Okolica delovne mize	167	118	410	0,71	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 5	Delovna miza	281	231	328	0,82	–
	Okolica delovne mize	289	150	410	0,52	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 6	Delovna miza	230	111	259	0,48	–
	Okolica delovne mize	236	126	301	0,53	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 7	Delovna miza	360	354	422	0,98	–
	Okolica delovne mize	301	161	449	0,53	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 8	Delovna miza	239	204	273	0,85	–
	Okolica delovne mize	243	194	274	0,80	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 9	Delovna miza	253	207	325	0,82	–
	Okolica delovne mize	247	182	407	0,74	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 10	Delovna miza	252	209	286	0,83	–

	Okolica delovne mize	257	148	341	0,58	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 11	Delovna miza	260	127	260	0,49	–
	Okolica delovne mize	261	109	328	0,42	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 12	Delovna miza	447	398	489	0,89	–
	Okolica delovne mize	432	288	485	0,67	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 13	Delovna miza	271	244	271	0,90	–
	Okolica delovne mize	273	225	334	0,82	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 14	Delovna miza	254	151	253	0,59	–
	Okolica delovne mize	278	128	410	0,46	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 15	Delovna miza	278	241	316	0,87	–
	Okolica delovne mize	290	199	410	0,69	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 16	Delovna miza	274	169	212	0,62	–
	Okolica delovne mize	286	235	242	0,82	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 17	Delovna miza	250	236	283	0,94	–
	Okolica delovne mize	253	141	283	0,56	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 18	Delovna miza	199	177	219	0,89	–
	Okolica delovne mize	203	172	218	0,85	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 19	Delovna miza	240	132	313	0,55	–
	Okolica delovne mize	169	125	405	0,74	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 20	Delovna miza	229	143	277	0,62	–
	Okolica delovne mize	229	99	316	0,43	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 21	Delovna miza	329	265	405	0,81	–
	Okolica delovne mize	328	235	431	0,72	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 22	Delovna miza	206	172	237	0,83	–
	Okolica delovne mize	208	119	268	0,57	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–
Delovno mesto 23	Delovna miza	196	163	374	0,83	–
	Okolica delovne mize	201	117	519	0,58	–
	Ozadje	341	111	1331	0,33	–

Tabela 1: Rezultati simulacij upada naravne svetlobe na delovna mesta
(Lastni vir)

Spodnja tabela vsebuje numerične rezultate upada naravne svetlobe skozi steklene okenske površine v halo na celotni površini.

Horizontalna osvetljenost, hala.

Naravna svetloba	Em	Emin	E _{max}	U _o	ustreza
	(lx)	(lx)	(lx)	(/)	(da + ne –)
Celotna površina hale	341	111	1331	0,33	–
Stena 1.1	98	59	148	0,60	+
Stena 1.2	163	12	346	0,07	–
Stena 1.3	104	61	156	0,59	+
Stena 1.4	154	23	360	0,15	+
Strop	118	64	931	0,54	+

Tabela 2: Rezultati simulacij upada naravne svetlobe v halo, horizontalna osvetljenost
(Lastni vir)

Cilindrična osvetljenost hale.

Naravna svetloba	Em	Emin	E _{max}	U _o	ustreza
	(lx)	(lx)	(lx)	(/)	(da + ne –)
Celotna površina hale	361	92	1233	0,25	–
Stena 1.1	119	/	/	0,25	–
Stena 1.2	98	/	/	0,51	+
Stena 1.3	163	/	/	0,14	+
Stena 1.4	104	/	/	0,47	+
Strop	154	/	/	0,13	+

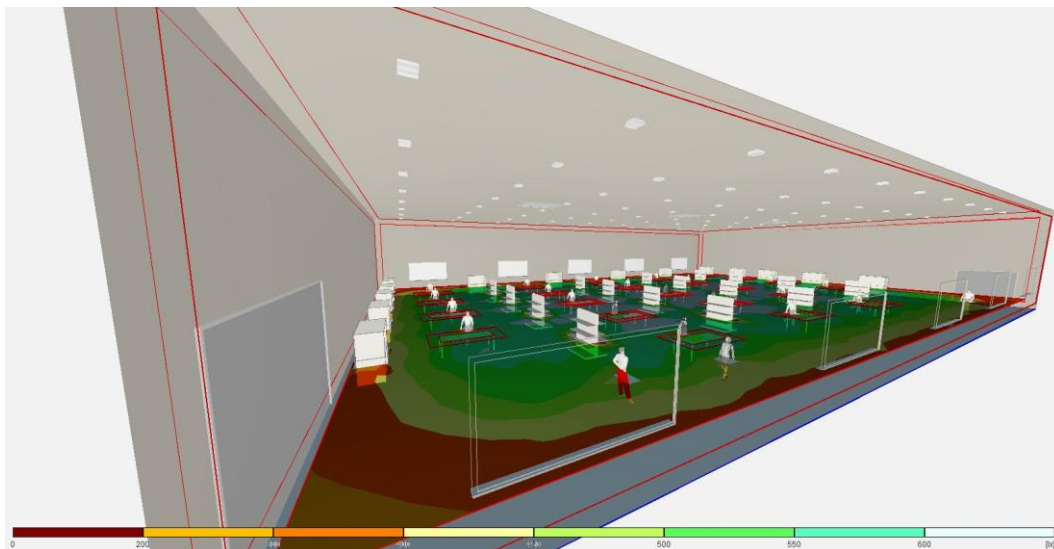
Tabela 3: Rezultati simulacij upada naravne svetlobe v halo, cilindrična osvetljenost
(Lastni vir)

Prikazani so numerični rezultati upada naravne svetlobe skozi steklene okenske površine v halo in posamičnih delovnih mest. Rezultati po pričakovanjih ne izpolnjujejo zahtev. Na podlagi izpisanih rezultatov lahko odčitamo, da je program za izračun ozadja delovne površine izbral kar povprečne vrednosti horizontalne osvetljenosti, kar pravzaprav ni narobe, saj je povprečna medsebojna razdalja delovnih mest približno enaka razdalji ocenjevanja. Prav tako so za maksimalne vrednosti ozadja delovne površine delovne mize izbrane kar maksimalne vrednosti celotnega področja ocenjevalne površine.

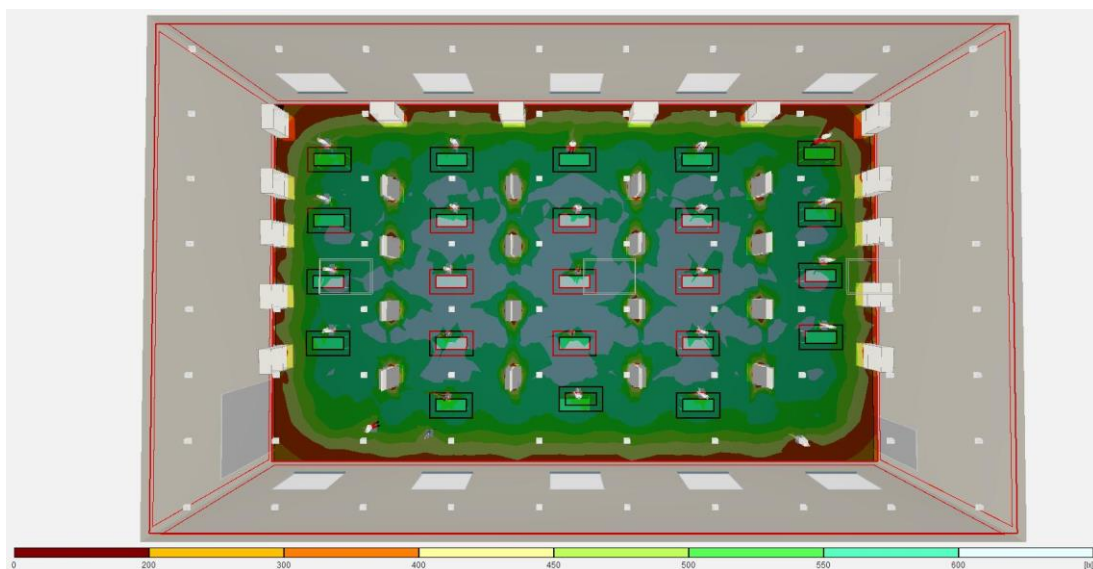
4.5.2 Umetna svetloba

Umetna svetloba je svetloba, ki jo pridobimo izključno s svetilkami in predpostavko, da skozi steklene okenske površine ne pridobimo nič svetlobe. Na sliki »Simulacija osvetljenosti umetne svetlobe, 3D-model« je predstavljen 3D-model, na sliki »Simulacija umetne svetlobe z uporabo nadomestnih barv, 2D-model« pa 2D-model simulacije umetne osvetlitve hale z uporabo svetilk CRAFT M PC TEC. *Nadomestne*

barve indicirajo, da je osvetljenost enakomerna in v intervalu zastavljenih pogojev. Cilj umetne svetlobe je enakomernost osvetljenosti skozi celotno površino, saj s tem dopuščamo dinamično spreminjanje lokacij delovnih mest.

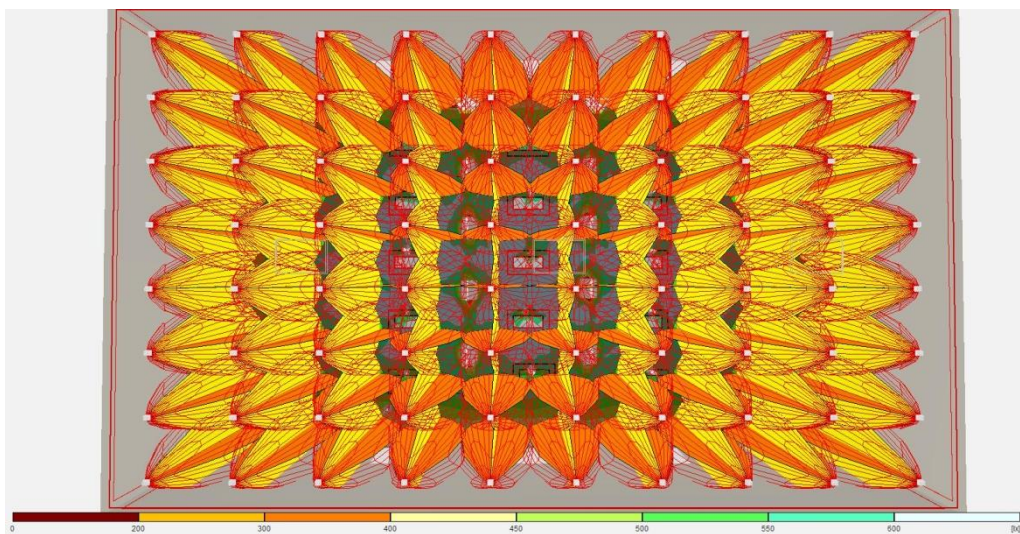


Slika 43: Simulacija osvetljenosti umetne svetlobe, 3D-model
(Lastni vir)



Slika 44: Simulacija umetne svetlobe z uporabo nadomestnih barv, 2D-model
(Lastni vir)

Slika »Umetna svetloba, postavitve svetilk v prostor« prikazuje postavitve svetilk v prostor. Pri postavitvi svetilk v prostor je pomembno, da maksimalno izkoristimo dano fotometrijo svetilke LED.



Slika 45: Umetna svetloba, postavitev svetilk v prostor
(Lastni vir)

Zato smo postavitev svetilk preverili skozi mrežni model, saj nam v programskem okolju virtualni asistent ponuja postavitev svetil v rastru 9 x 9. Z nekaj poskusi pa lahko ugotovimo, da taka postavitev ni optimalna. Na podlagi mrežnega modula določimo, da je za halo naših lastnosti in dimenzij optimalna postavitev svetilk 8 x 10, kar pomeni 80 svetilk. Pri dobljenem številu svetilk in znani električni porabi ene svetilke lahko preverimo pogoj električne porabe na kvadratni meter, ki je določen s tehnično smernico TSG004 : $80 \times 87,3 \text{ W} / 1500 \text{ m}^2 = 4,66 \text{ W/m}^2 < 14 \text{ W/m}^2$. Pogoj je izpolnjen.

V spodnji tabeli so predstavljeni numerični rezultati vpliva umetne svetlobe.

Delovna mesta, horizontalna osvetljenost.

Umetna svetloba	Delovno področje	Em (lx)	Emin (lx)	Emax (lx)	Uo (l)	ustreza (da + ne -)
Delovno mesto 1	Delovna miza	541	499	566	0,92	+
	Okolica delovne mize	532	446	592	0,84	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 2	Delovna miza	576	538	597	0,93	+
	Okolica delovne mize	544	427	585	0,78	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 3	Delovna miza	544	500	544	0,92	+
	Okolica delovne mize	539	575	539	1,07	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 4	Delovna miza	509	474	509	0,93	+
	Okolica delovne mize	500	531	599	1,06	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 5	Delovna miza	534	480	534	0,90	+
	Okolica delovne mize	534	450	534	0,84	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 6	Delovna miza	575	502	575	0,87	+

	Okolica delovne mize	575	486	575	0,85	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 7	Delovna miza	617	584	617	0,95	+
	Okolica delovne mize	589	459	588	0,78	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 8	Delovna miza	582	523	581	0,90	+
	Okolica delovne mize	578	451	578	0,78	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 9	Delovna miza	544	532	544	0,98	+
	Okolica delovne mize	539	463	539	0,86	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 10	Delovna miza	530	426	530	0,80	+
	Okolica delovne mize	544	450	544	0,83	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 11	Delovna miza	581	567	581	0,98	+
	Okolica delovne mize	575	460	575	0,80	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 12	Delovna miza	615	582	588	0,95	+
	Okolica delovne mize	588	433	583	0,74	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 13	Delovna miza	583	526	581	0,90	+
	Okolica delovne mize	581	441	627	0,76	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 14	Delovna miza	546	535	213	0,98	+
	Okolica delovne mize	539	468	539	0,87	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 15	Delovna miza	538	488	538	0,91	+
	Okolica delovne mize	534	427	534	0,80	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 16	Delovna miza	581	566	581	0,97	+
	Okolica delovne mize	576	486	576	0,84	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 17	Delovna miza	615	585	515	0,95	+
	Okolica delovne mize	591	493	591	0,83	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 18	Delovna miza	582	523	603	0,90	+
	Okolica delovne mize	578	441	578	0,76	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 19	Delovna miza	544	533	544	0,98	+
	Okolica delovne mize	536	426	536	0,79	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 20	Delovna miza	556	509	556	0,92	+
	Okolica delovne mize	540	457	540	0,85	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 21	Delovna miza	570	520	570	0,91	+
	Okolica delovne mize	547	482	547	0,88	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 22	Delovna miza	536	498	546	0,93	+
	Okolica delovne mize	528	403	528	0,76	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+
Delovno mesto 23	Delovna miza	512	474	512	0,93	+
	Okolica delovne mize	495	404	495	0,82	+
	Ozadje	506	304	605	0,60	+

Tabela 4: Rezultati simulacij vpliva umetne svetlobe na delovna mesta
(Lastni vir)

V spodnji tabeli so prikazani numerični rezultati vpliva umetne svetlobe v hali na celotni površini.

Horizontalna osvetljenost, hala.

Umetna svetloba	Em	Emin	Emax	Uo	ustreza
	(lx)	(lx)	(lx)	(/)	(da + ne –)
Celotna površina hale	506	304	605	0,60	+
Stena 1.1	197	69	297	0,35	+
Stena 1.2	185	63	272	0,34	+
Stena 1.3	198	72	299	0,36	+
Stena 1.4	186	72	271	0,39	+
Strop	94	72	104	0,77	+

Tabela 5: Rezultati simulacij vpliva umetne svetlobe na področju celotne hale, horizontalna osvetljenost
(Lastni vir)

V spodnji tabeli je prikazana cilindrična osvetljenost hale.

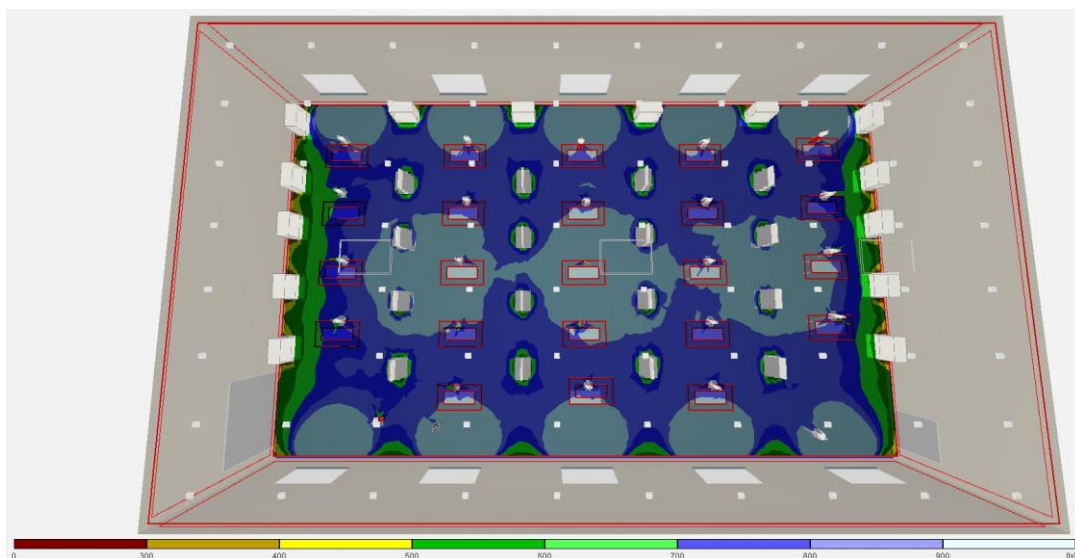
Umetna svetloba	Em	Emin	Emax	Uo	ustreza
	(lx)	(lx)	(lx)	(/)	(da + ne –)
Celotna površina hale	168	99	213	0,59	+
Stena 1.1	197	/	/	0,77	+
Stena 1.2	185	/	/	0,35	+
Stena 1.3	198	/	/	0,34	+
Stena 1.4	186	/	/	0,37	+
Strop	94	/	/	0,39	+

Tabela 6: Rezultati simulacij vpliva umetne svetlobe na področju celotne hale, cilindrična osvetljenost
(Lastni vir)

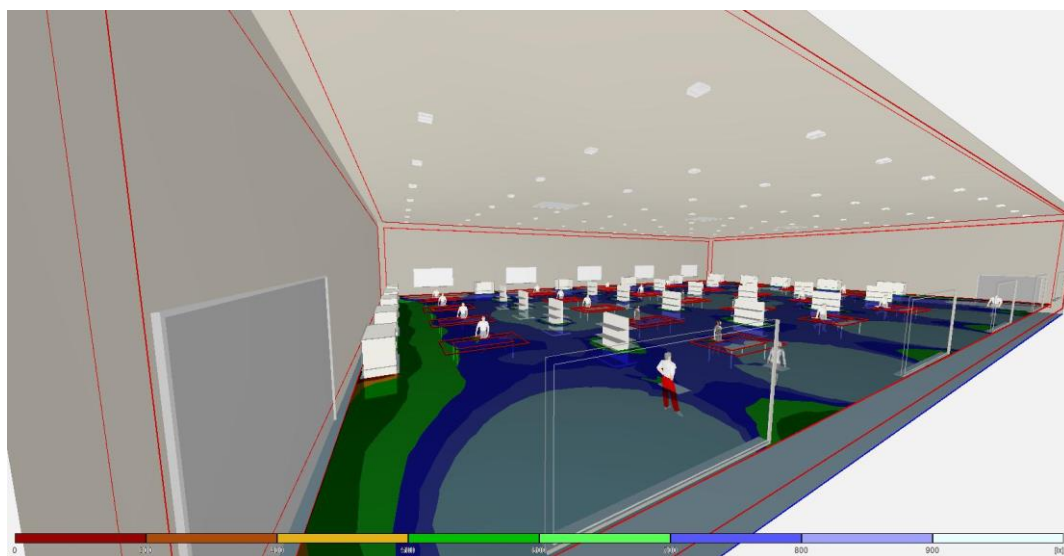
Numerični rezultati prikazujejo, da so vsi pogoji zadovoljeni, kar pomeni, da lahko delo v hali s stališča osvetljenosti poteka nemoteno brez vpliva naravne svetlobe. Pogoj gostote moči svetilk je izpolnjen: $87,3 \text{ W} \times 80/1500 = 4,65 \text{ W/m}^2 < 14 \text{ W/m}^2$.

4.5.3 Kombinirana svetloba

Kombinirana svetloba je svetloba, ki jo pridobimo s svetlobo svetilk in naravno svetlobo. Na sliki »Simulacija umetne svetlobe z uporabo nadomestnih barv, 2D-model« je predstavljen 2D-model, na sliki »Simulacija kombinirane osvetljenosti, 3D-model« pa je predstavljen 3D-model simulacije kombinirane osvetlitve hale z uporabo svetilk CRAFT M PC TEC. Kombinirana svetloba je simulirana v predpostavljenih enakih pogojih, kot je bilo to določeno pri umetni in naravni svetlobi. Na sliki nadomestne barve prikazujejo še sprejemljivo neenakomerno osvetljenost v okolici steklenih okenskih površin.



Slika 46: Simulacija kombinirane svetlobe z uporabo nadomestnih barv, 2D-model (Lastni vir)



Slika 47: Simulacija kombinirane osvetljenosti, 3D-model (Lastni vir)

V spodnji tabeli so prikazani numerični rezultati upada kombinirane svetlobe na delovna mesta pri horizontalni osvetljenosti.

Kombinirana svetloba	Delovno področje	Em (lx)	Emin (lx)	Emax (lx)	Uo (/)	ustreza (da + ne -)
Delovno mesto 1	Delovna miza	719	660	771	0,92	+
	Okolica delovne mize	712	573	804	0,80	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 2	Delovna miza	776	705	840	0,91	+

	Okolica delovne mize	748	619	858	0,83	+
	Ozadje	881	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 3	Delovna miza	712	654	766	0,92	+
	Okolica delovne mize	712	615	799	0,86	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 4	Delovna miza	755	64	852	0,08	+
	Okolica delovne mize	772	653	951	0,85	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 5	Delovna miza	851	751	910	0,88	+
	Okolica delovne mize	858	688	997	0,80	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 6	Delovna miza	831	684	862	0,82	+
	Okolica delovne mize	837	657	911	0,78	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 7	Delovna miza	993	922	1045	0,93	+
	Okolica delovne mize	959	682	1053	0,71	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 8	Delovna miza	842	775	880	0,92	+
	Okolica delovne mize	841	679	923	0,81	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 9	Delovna miza	822	760	902	0,92	+
	Okolica delovne mize	845	727	988	0,86	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 10	Delovna miza	817	836	866	1,02	+
	Okolica delovne mize	836	690	923	0,83	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 11	Delovna miza	869	732	912	0,84	+
	Okolica delovne mize	864	655	964	0,76	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 12	Delovna miza	1080	1020	1124	0,94	+
	Okolica delovne mize	1040	739	1109	0,71	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 13	Delovna miza	880	815	921	0,93	+
	Okolica delovne mize	879	705	967	0,80	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 14	Delovna miza	837	748	947	0,89	+
	Okolica delovne mize	853	714	987	0,84	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 15	Delovna miza	856	774	906	0,90	+
	Okolica delovne mize	863	676	1001	0,78	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 16	Delovna miza	809	791	829	0,98	+
	Okolica delovne mize	807	662	863	0,82	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 17	Delovna miza	891	858	915	0,96	+
	Okolica delovne mize	868	726	918	0,84	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 18	Delovna miza	810	747	841	0,92	+
	Okolica delovne mize	811	662	866	0,82	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 19	Delovna miza	823	730	903	0,89	+
	Okolica delovne mize	843	730	989	0,87	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
Delovno mesto 20	Delovna miza	813	705	886	0,87	+
	Okolica delovne mize	795	611	913	0,77	+

Delovno mesto 21	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
	Delovna miza	920	806	1014	0,88	+
	Okolica delovne mize	896	736	1028	0,82	+
Delovno mesto 22	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
	Delovna miza	769	703	816	0,91	+
	Okolica delovne mize	763	547	854	0,72	+
Delovno mesto 23	Ozadje	882	527	1776	0,60	+
	Delovna miza	812	737	937	0,91	+
	Okolica delovne mize	835	682	1058	0,82	+
	Ozadje	882	527	1776	0,60	+

Tabela 7: Rezultati kombinirane svetlobe na delovna mesta
(Lastni vir)

V spodnji tabeli so prikazani numerični rezultati vpliva umetne svetlobe v hali na celotno površino.

Prikazana je horizontalna osvetljenost hale.

Kombinirana svetloba	Em	Emin	Emax	Uo	ustreza
	(lx)	(lx)	(lx)	(/)	(da + ne –)
Celotna površina hale	881	527	1776	0,60	+
Stena 1.1	319	146	420	0,46	+
Stena 1.2	357	83	501	0,23	+
Stena 1.3	326	151	431	0,46	+
Stena 1.4	342	109	483	0,32	+
Strop	245	151	446	0,62	+

Tabela 8: Rezultati simulacij vpliva kombinirane svetlobe na področju celotne hale, horizontalna osvetljenost
(Lastni vir)

Prikazana je cilindrična osvetljenost hale.

Kombinirana svetloba	Em	Emin	Emax	Uo	ustreza
	(lx)	(lx)	(lx)	(/)	(da + ne –)
Celotna površina hale	504	227	1402	0,45	+
Stena 1.1	314	/	/	0,46	+
Stena 1.2	278	/	/	0,19	+
Stena 1.3	378	/	/	0,59	+
Stena 1.4	309	/	/	0,21	+
Strop	366	/	/	0,61	+

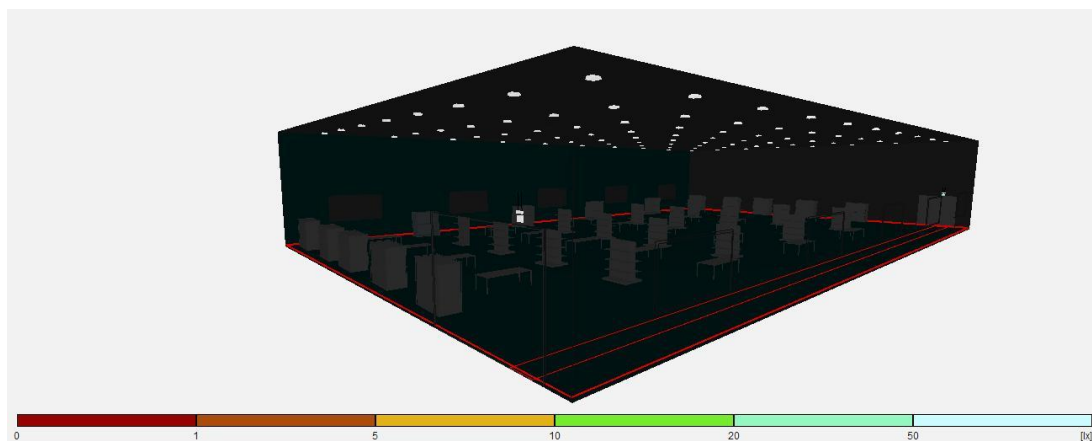
Tabela 9: Rezultati simulacij vpliva kombinirane svetlobe na področju celotne hale, cilindrična osvetljenost
(Lastni vir)

Numerični rezultati prikazujejo, da uporaba kombinirane svetlobe ustreza vsem pogojem. Kombinirano svetlobo lahko v našem primeru poimenujemo tudi realna

svetloba, saj je to pričakovana osvetljenost pri pogojih na povprečen delovni dan. Delavci imajo na delovnih površinah in v njihovih okolici zadovoljive svetlobne pogoje, vendar so vrednosti osvetljenosti delovnih mest v okolici steklenih okenskih površin višje kot tiste, ki jih obseva le umetna svetloba, tak primer sta delovni mesti št. 1 in 12, na katerih je razlika srednje vzdrževalne osvetljenosti 30 %. Taka odstopanja so povsem realna, in čeprav smo simulirali v realnih pogojih, se moramo zavedati, da so industrijsko obratne proizvodnje izredno dinamičen poslovni prostor, zato moramo razsvetljavo načrtovati na tak način, da če naročnik uvede manjše prostorske zahteve, ki so še v okviru zahtev standarda glede namembnosti prostora, srednja vzdrževana osvetljenost ostane znotraj določil standarda. Zaradi takih pojavov temelji načrtovanje razsvetljave na umetni svetlobi, dodatne zahteve pa lahko kompenziramo s t. i. inteligentno inštalacijo, ki krmili svetlobno tehniko v povezavi s senčili na način, da zagotavlja posebne pogoje, ki so prilagojeni porabniku.

4.6 ZASILNA RAZSVETLJAVA

Izdelali smo simulacije varnostne razsvetljave celotnega prostora in simulacijo varnostne razsvetljave poti umika. Za razliko od splošne razsvetljave predpostavimo, da so vsi elementi ter steklene površine, stene, strop in talne površine v hali črne barve z minimalno refleksijo. Iz simulacij smo umaknili namišljene osebe v prostoru. S temi ukrepi zagotovimo najslabše pogoje, kljub temu da v hali delovni proces ne proizvaja umazanije ali stranskega produkta, ki bi bistveno spremenil barvo ali refleksijo predmetov v hali.

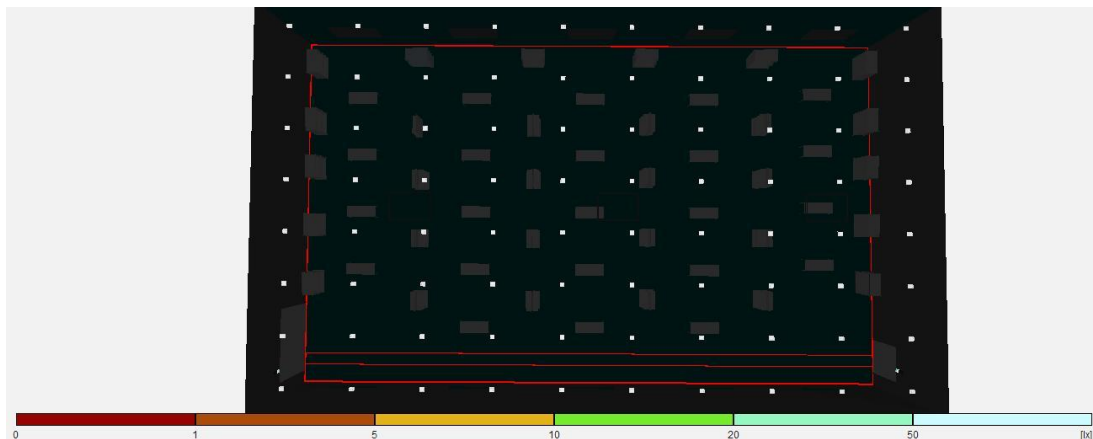


Slika 48: Zasilna razsvetljava, elementi črne barve, minimalna refleksija, 3D-model (Lastni vir)

Pregled merilnih površin

Pregled zasilnih površin si lahko najboljše ogledamo na sliki 2D-modela. Zasilna površina je pravzaprav celotna hala v velikem rdečem okvirju, ki je popolnoma

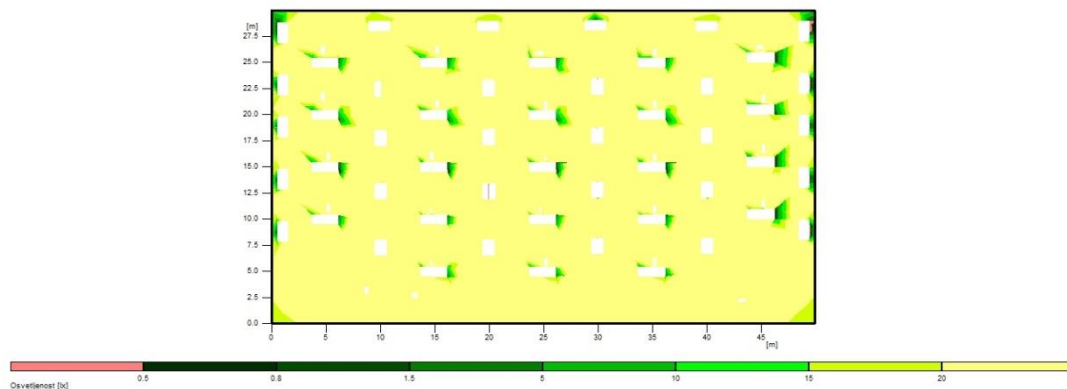
poravnani s stenami objekta in na referenčni merilni višini $h = 0$ m. V manjšem rdečem pravokotniku je označena pot rešitve, ki sega med oba požarno evakuacijska izhoda.



Slika 49: Zasilna razsvetljava, elementi črne barve, minimalna refleksija, 2D-model (Lastni vir)

Zasilna razsvetljava celotne površine

Nadomestne barve s slike »Simulacija zasilne razsvetljave celotne površine« prikazujejo, da je osvetljenost po celotni površini višja kot enakomerna in v intervalu pogojev.



Slika 50: Simulacija zasilne razsvetljave celotne površine (Lastni vir)

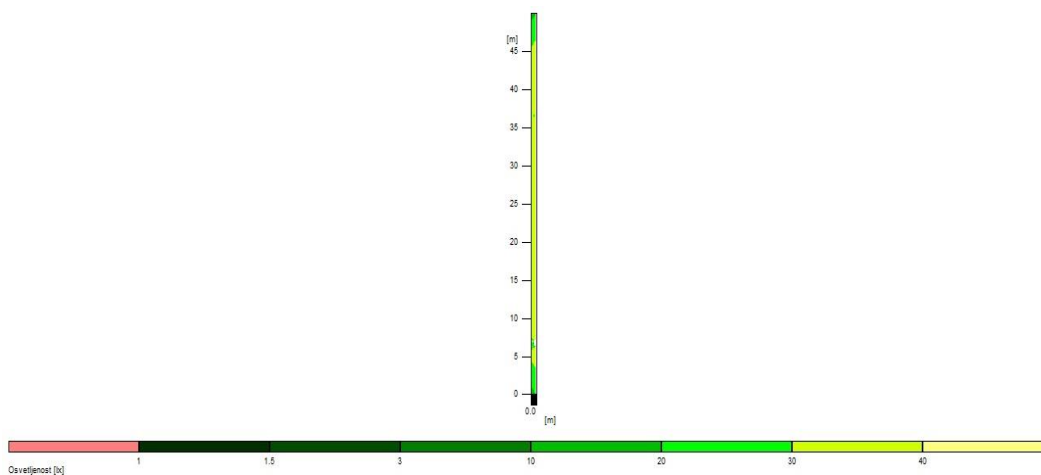
V tabeli 10 so prikazani numerični rezultati zasilne razsvetljave.

Varnostna površina	E _{min}	E _{max}	U _d = E _{min} /E _{max}	ustreza
	(lx)	(lx)	(/)	(da + ne -)
Celotna površina hale	6	50	0,12	+

Tabela 10: Rezultati zasilne razsvetljave celotne površine
(Lastni vir)

Na celotni zasilni površini je minimalna osvetljenost 6 lx, kar ustreza pogoju E_{min} > 1 lx, ostalim pogojem smo zadostili že z izbiro svetila in načinom napajanja.

Zasilna razsvetljava poti umika



Slika 51: Simulacija zasilne razsvetljave poti umika
(Lastni vir)

V tabeli 11 so prikazani numerični rezultati poti umika.

Varnostna površina	E _{min}	E _{max}	U _d = E _{min} /E _{max}	ustreza
	(lx)	(lx)	(/)	(da + ne -)
Pot umika	12	37	0,32	+

Tabela 11: Rezultati zasilne razsvetljave poti umika
(Lastni vir)

Na celotni zasilni površini je minimalna osvetljenost 12 lx, kar ustreza pogoju $E_{min} > 1$ lx. Razmerje med maksimalno in minimalno osvetljenostjo na srednji črti poti umika je $1 : 2,95 < 1 : 40$, kar zadostuje pogojem.

V tabeli 12 so prikazani skupni pogoji zasilne razsvetljave.

Varnostna površina	Maksimalni čas vklopa	Bleščanje URG	Razmerje E_{max}/E_{min} vzdolž poti (lx)	Ra	Znak rešitve v trajnem spoju	Varnostna razsvetljava $h=0m$ (lx)	Nadomestna razsvetljava $h=0m$ (lx)
Celotna površina Pot rešitve	<1	CRAFT : 22 CROSSIGN : 17	2,35	<40	ne	6	6

*Tabela 12: Skupni pogoji zasilne razsvetljave
(Lastni vir)*

Rezultati prikazujejo, da je zasilna razsvetljava pravilno dimenzionirana. To ni edini način izvedbe zasilne razsvetljave. V realnem projektu bi po vsej verjetnosti naročniku morali predstaviti več možnosti, kjer bi racionalizirali stroške modulov izbranih svetil. Prav tako pa je to del požarnega elaborata, ki bi bil osnova za izdelavo projekta varnostne razsvetljave.

5 VREDNOTENJE NALOŽBE

Ekonomsko upravičenost prenove razsvetljave bomo izvedli na podlagi merjenih rezultatov trenutne porabe električne energije in obratovalnih stroškov obstoječe razsvetljave v primerjavi z novo razsvetljavo LED. Izračun bo izveden le na splošni razsvetljavi, saj zasilna razsvetljava ni predmet ekonomske upravičenosti. Referenca za likvidnost naložbe bo 10-letna investicija v elektrogospodarstvo, njen minimalni donos naj bi bil 7 %. V proizvodni hali poteka delo vsak dan v dveh izmenah po 8 ur, vendar je v povprečju zasedena še eno uro pred začetkom delovnega časa in eno uro po odhodu, kar zneso skupno 18 ur na dan. Z izjemo dodatnih naročil delo poteka 350 dni na leto. Predpostavljena cena električne energije je 0,087 EUR/kWh.

5.1 PRIMERJAVA SVETILK

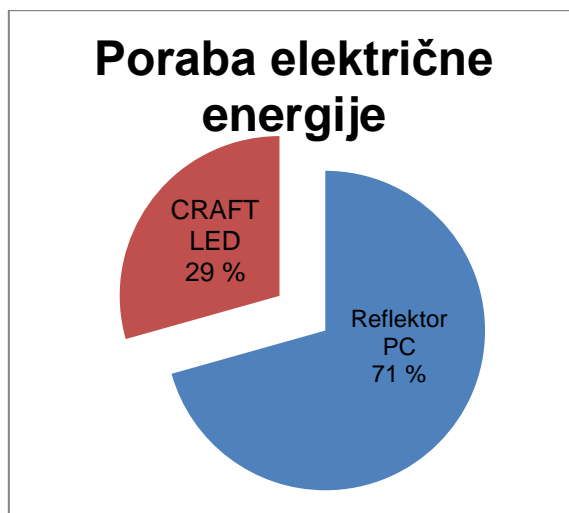
	Moč (W)	Količina (kos)	Realna poraba na svetilko (kW)	Poraba električne energije na investicijo (EUR)	Življenjska doba (ure)	Cena (EUR)	Cena materiala (EUR)	Dobava ter montaža (EUR)	Začetna investicija (EUR)	Strošek vzdrževanja v času investicije (EUR)
Reflektor PC	400	42	0,4	92.472,41	100000	150,00	6.300,00	200,00	/	-
Pod elementi										
Magnetna dušilka	60	42	0,06		38000	31,00	1.302,00	61,00	/	4.247,5
Sijalka HQ1	/	42	/	92.472,41	12000	48,00	2.016,00	53,00	/	11.686,5
Pregled ter čiščenje svetilk	/	42	/	/	43200	/	/	/	/	924
Skupaj obstoječe	460			184.944,82	/	/	/	/	/	16.858,03
CRAFT LED	87,3	80	0,0873	38.442,10	50000	240,00	19.200,00	260,00	20.800,00	20.800,0
Led driver	/	80	/	/	50000	/	/	/	/	
Led panel	/	160	/	/	50000	/	/	/	/	
INŠTALACIJE										
Demontaža obstoječe opreme	/	80	/	/	/	5,00	400,00	5,00	400,00	0
Kabel NYM-J 5 x 1.5 mm ²	/	232	/	/	/	0,95	220,40	1,25	290,00	0
TECTON T 4000 WH	/	96	/	/	/	44,00	4.224,00	80,00	7.680,00	0
Pregled ter čiščenje svetilk	/	80			43200					1760,00
Skupaj novo	/	/	/	38.442,10					29.170,00	22.560,00

Slika 52: Primerjava svetilk
(Lastni vir)

V ceno investicije je poleg svetil LED všteta še delna zamenjava inštalacije, in sicer demontaža in odklop obstoječih svetil, menjava inštalacijskih kablov tipa NYM-J preseka 5 x 1,5 mm² ter montaža Tecton 400 WH tračnic, pripravljenih za montažo Craft svetil. Predvidena zamenjava inštalacije je minimalni strošek investicije, ki je potreben za vzpostavitev namišljenega sistema splošne razsvetljave.

Poraba električne energije

Največja razlika v stroških je pri porabi električne energije, ki je ključni faktor za ekonomsko upravičenost zamenjave svetilk.



Slika 53: Poraba električne energije
(Lastni vir)

5.2 SESTAVA KALKULACIJE

5.2.1 Amortizacija

Strošek amortizacije na leto je izračunan v spodnji enačbi.

$$Am = \frac{Nv}{Pp} = \frac{29.170,00}{10} = 29.170,00EUR$$

Nv – nabavna vrednost naložbe,
 Pp – predvidena življenjska doba.

Stopnja amortizacije je izračunana v spodnji enačbi.

$$Sta = \frac{100\%}{Za} = \frac{100\%}{10} = 10\%$$

Za – življenjska doba,
 Sta – stopnja amortizacije.

5.3 INDIVIDUALNA DISKONTNA STOPNJA

Individualno diskontno stopnjo smo določili glede na zahteve v elektrogospodarstvu, ki so 7 % v predpostavki, da imamo 100 % lastnih sredstev.

5.4 OCENA UČINKOV NALOŽBE

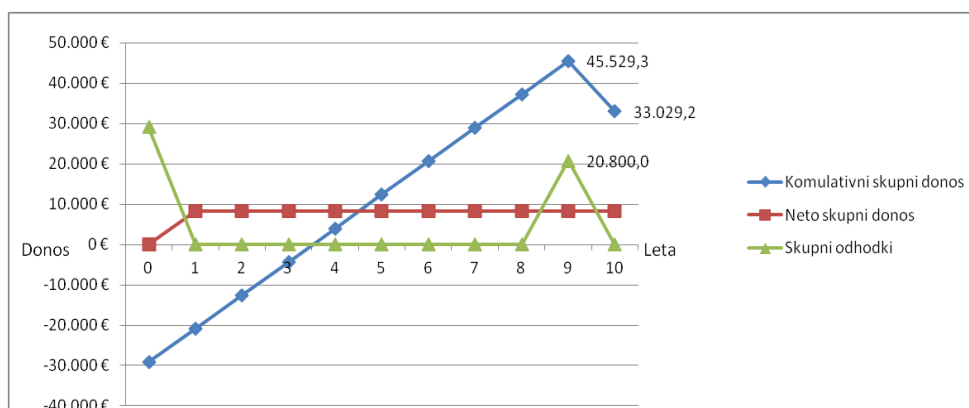
5.4.1 Realni denarni tok in doba vračanja

Realni denarni tok nam pokaže dobo vračanja naložbe. To je vidno, ko komulativni skupni donos preide iz negativnega v pozitivno stanje. Komulativni skupni donos nam pokaže, v katerem letu se bo naša investicija povrnila (Papler, 2011).

Stanje	SKUPAJ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leto		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
SKUPNI DONOS (1 + 2 + 3)	82.999,19	-	8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92
Prihranek pri porabi el. energije	67.901,17	-	6.790,12	6.790,12	6.790,12	6.790,12	6.790,12	6.790,12	6.790,12	6.790,12	6.790,12	6.790,12
Prihranek pri stroških			1.509,80	1.509,80	1.509,80	1.509,80	1.509,80	1.509,80	1.509,80	1.509,80	1.509,80	1.509,80
Skupna sredstva	29.170,00	29.170,00										
Lastna sredstva	29.170,00	29.170,00										
Kredit	/	/										
SKUPNI ODHODKI	49.970,00	29.170,00	-	-	-	-	-	-	-	-	20.800,00	-
Naložba v osnovna sredstva	29.170,00	-29.170,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stroški vzdrževanja	20.800,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.800,00	-
Neto skupni donos	49.799,52		8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92	8.299,92	-12.500,08	8.299,92
Kumulativni skupni donos	-29.891,69	-29.170,00	-20.870,08	-12.570,16	-4.270,24	4.029,68	12.329,60	20.629,52	28.929,44	37.229,36	45.529,28	33.029,19

Slika 54: Realni denarni tok
(Lastni vir)

5.4.2 Doba vračanja naložbe



Slika 55: Doba vračanja naložbe, grafikon
(Lastni vir)

$$EVS = t = \frac{N}{d} = \frac{N}{Sd - So} = \frac{29.170,00}{8.299,90 - 0} = 3,51 \text{ let}$$

S slike »Realni denarni tok« razberemo, da je realni denarni tok projekta pozitiven. Doba vračanja naložbe je od 3 do 4 leta. Premica komulativnega skupnega donosa konstantno raste do 8. leta, saj bo predvidoma v 9. letu potekla življenjska doba novih luči LED, zato v tem letu pričakujemo popolno zamenjavo.

5.5 METODA SEDANJE VREDNOSTI NALOŽBE

5.5.1 Sedanja vrednost z upoštevanjem diskontne stopnje

Sedanja vrednost naložbe je vrednost projekta na današnji dan. Izračun temelji na bančni obrestni meri 7 %, kar predstavlja diskontno stopnjo 7 %.

časovna obdobja				(1+r) ⁱ	1/(1+r) ⁱ		
Tekoči indeks	leto	Skupaj prihodki	Skupaj odhodki So	Diskontna stopnja r= 7%	Diskontni faktor	Skupni donos Sd pri diskontnem faktorju r=7%	Skupni odhodki So pri diskontnem faktorju r=7%
0	2020	0	29.170	1	1	0	29.170,00
1	2021	8.299,92	0	1,070	0,93	7.756,93	0,00
2	2022	8.299,92	0	1,145	0,87	7.249,47	0,00
3	2023	8.299,92	0	1,225	0,82	6.775,21	0,00
4	2024	8.299,92	0	1,311	0,76	6.331,97	0,00
5	2025	8.299,92	0	1,403	0,71	5.917,73	0,00
6	2026	8.299,92	0	1,501	0,67	5.530,59	0,00
7	2027	8.299,92	0	1,501	0,67	5.530,59	0,00
8	2028	8.299,92	0	1,501	0,67	5.530,59	0,00
9	2029	8.299,92	20.800	1,501	0,67	5.530,59	13.859,92
10	2030	8.299,92	0	1,838	0,54	4.514,61	0,00
Skupaj		82.999,19	49.970,00			60.668,26	43.029,92
Srednja vrednost		Sd-So=	33.029,19			Sv=Sd-So=	17.638,34

Slika 56: Sedanja vrednost naložbe
(Lastni vir)

$$SVN = Sd - So = 82.999,19 - 60.668,26 = 22.330,93 \text{ EUR}$$

- SV – sedanja vrednost projekta,
- Sd – skupni donosi projekta,
- So – skupni odhodki projekta,
- r – diskontna stopnja, določena vnaprej,
- n – število obdobj v življenjski dobi projekta,
- i – tekoči indeks časovnih obdobj.

Po metodi sedanje vrednosti naložbe naložba ustreza pogoju $SV = 22.330,93 \text{ EUR} \geq 0$, kar pomeni, da je projekt sprejemljiv.

5.5.2 Interna stopnja donosnosti projekta

Pomemben kazalnik učinkovitosti projekta je izračun interne stopnje donosnosti. ISD je tista diskontna stopnja donosnosti, pri kateri je sedanja vrednost enaka nič. Izenačijo se vsi donosi in odhodki projekta v celotni življenjski dobi. Pri tej metodi je diskontna stopnja neznana, izračunamo pa jo s postopkom diskontiranja in uporabo metode interpolacije (Papler, 2011).

časovna obdobja		Diskontna stopnja 0		(1+r) _i	1/(1+r) _i			(1+r) _i	1/(1+r) _i		
Tekoči indeks i	Leto	Skupaj prihodki Sd	Skupaj odhodki So	Diskontna stopnja r=7 %	Diskontni faktor	Skupni donos Sd pri diskontnem faktorju r=7 %	Skupni odhodki So pri diskontnem faktorju r=7 %	Diskontna stopnja r=23%	Diskontni faktor	Skupni donos Sd pri diskontnem faktorju r=23 %	Skupni odhodki So pri diskontnem faktorju r=23%
-	2020	-	29.170,00	1,000	1,000	-	29.170,00	1,000	1,000	-	29.170,00
1	2021	8.299,92	-	1,070	0,935	7.756,93	-	1,230	0,813	6.747,90	-
2	2022	8.299,92	-	1,145	0,873	7.249,47	-	1,513	0,661	5.486,10	-
3	2023	8.299,92	-	1,225	0,816	6.775,21	-	1,861	0,537	4.460,24	-
4	2024	8.299,92	-	1,311	0,763	6.331,97	-	2,289	0,437	3.626,21	-
5	2025	8.299,92	-	1,403	0,713	5.917,73	-	2,815	0,355	2.948,14	-
6	2026	8.299,92	-	1,501	0,666	5.530,59	-	3,463	0,289	2.396,86	-
7	2027	8.299,92	-	1,606	0,623	5.168,77	-	4,259	0,235	1.948,67	-
8	2028	8.299,92	-	1,718	0,582	4.830,63	-	5,239	0,191	1.584,28	-
9	2029	8.299,92	20.800,00	1,838	0,544	4.514,61	11.313,82	6,444	0,155	1.288,04	3.227,88
10	2030	8.299,92	-	1,967	0,508	4.219,26	-	7,926	0,126	1.047,18	-
Skupaj		82.999,19	49.970,00			58.295,16	40.483,82			31.533,63	32.397,88
SV		Sd-So= 33.029,19				Sv=Sd-So= 17.811,34				Sv=Sd-So= - 864,24	

Slika 57: Interna stopnja donosnosti projekta
(Lastni vir)

$$ISD = r_p + (r_n - r_p) \cdot \frac{NSD_p}{NSD_p - NSD_n} = 7 + (23 - 7) \cdot \frac{17.811,34}{17.811,34 - (-864,24)} = 22,26\%$$

ISD – interna stopnja donosnosti,
NSD – neto skupni donos (Sd – So),
r_p – diskontna stopnja, pri kateri je NSD pozitiven,
r_n – diskontna stopnja, pri kateri je NSD negativen,
NSD_p – NSD pri uporabljeni diskontni stopnji r_p,
NSD_n – NSD pri uporabljeni diskontni stopnji r_n.

Pri diskontni stopnji 7 % je neto sedanja vrednost 17.811,34 EUR, pri diskontni stopnji 23 % pa –864,24 EUR.

5.6 KAZALNIKI DONOSA

Kazalnik gospodarnosti

$$E = \frac{Sd}{So} = \frac{58.295,16}{40.483,82} = 1,44$$

Kazalnik nakazuje na pozitivno gospodarnost.

Kazalnik rentabilnosti naložbe

$$D = \frac{Sd - So}{N} \cdot 100(\%) = \frac{17.811,34}{29.170,00} * 100 = 61,06\%$$

Kazalnik pri 61,06 % kaže na rentabilnost naložbe.

Kazalnik donosa odhodkov

$$Do = \frac{Sd - So}{So} \cdot 100(\%) = \frac{17.811,34}{49.970,00} * 100 = 35,64\%$$

Kazalnik pri 35,64 % kaže na pozitiven donos odhodkov.

5.7 OCENA TVEGANJ IN NEGOTOVOSTI

V oceni tveganja predpostavljamo, da se bo projekt podražil za 15 % zaradi nepričakovanih stroškov.

5.7.1 Sedanja vrednost z upoštevanjem diskontne stopnje pri tveganju

časovna obdobja				(1+r) ⁱ	1/(1+r) ⁱ		
Tekoči indeks	leto	Skupaj prihodki	Skupaj odhodki So	Diskontna stopnja r=7%	Diskontni faktor	Skupni donos Sd pri diskontnem faktorju r=7%	Skupni odhodki So pri diskontnem faktorju r=7%
0	2020	0	29.170	1	1	0	29.170,00
1	2021	7.469,93	0	1,070	0,93	6.981,24	0,00
2	2022	7.469,93	0	1,145	0,87	6.524,52	0,00
3	2023	7.469,93	0	1,225	0,82	6.097,69	0,00
4	2024	7.469,93	0	1,311	0,76	5.698,77	0,00
5	2025	7.469,93	0	1,403	0,71	5.325,96	0,00
6	2026	7.469,93	0	1,501	0,67	4.977,53	0,00
7	2027	7.469,93	0	1,501	0,67	4.977,53	0,00
8	2028	7.469,93	0	1,501	0,67	4.977,53	0,00
9	2029	7.469,93	20.800	1,501	0,67	4.977,53	13.859,92
10	2030	7.469,93	0	1,838	0,54	4.063,15	0,00
Skupaj		74.699,28	49.970,00			54.601,44	43.029,92
Srednja vrednost		Sd-So= 24.729,28				Sv=Sd-So= 11.571,52	

Slika 58: Srednja vrednost pri tveganju
(Lastni vir)

Po metodi sedanje vrednosti naložbe naložba ustreza pogoju $SV = 11.571,52 \text{ EUR} \geq 0$, kar pomeni, da je projekt sprejemljiv.

Interna stopnja donosnosti projekta pri tveganju

časovna obdobja		Diskontna stopnja 0		(1+r) ⁱ	1/(1+r) ⁱ			(1+r) ⁱ	1/(1+r) ⁱ	Skupni donos Sd pri diskontnem faktorju r=18%	Skupni odhodki So pri diskontnem faktorju r=18%
Tekoči indeks i	Leto	Skupaj prihodki Sd	Skupaj odhodki So	Diskontna stopnja r=7%	Diskontni faktor	Skupni donos Sd pri diskontnem faktorju r=7%	Skupni odhodki So pri diskontnem faktorju r=7%	Diskontna stopnja r=18%	Diskontni faktor	Skupni donos Sd pri diskontnem faktorju r=18%	Skupni odhodki So pri diskontnem faktorju r=18%
0	2020	-	29.170,00	1	1	0	29.170,00	1	1	0	29.170,00
1	2021	7.469,93	-	1,070	0,935	6.981,24	0,00	1,180	0,847	6.330,45	0,00
2	2022	7.469,93	-	1,145	0,873	6.524,52	0,00	1,392	0,718	5.364,79	0,00
3	2023	7.469,93	-	1,225	0,816	6.097,69	0,00	1,643	0,609	4.546,43	0,00
4	2024	7.469,93	-	1,311	0,763	5.698,77	0,00	1,939	0,516	3.852,91	0,00
5	2025	7.469,93	-	1,403	0,713	5.325,96	0,00	2,288	0,437	3.265,17	0,00
6	2026	7.469,93	-	1,501	0,666	4.977,53	0,00	2,700	0,370	2.767,10	0,00
7	2027	7.469,93	-	1,606	0,623	4.651,90	0,00	3,185	0,314	2.345,00	0,00
8	2028	7.469,93	-	1,718	0,582	4.347,57	0,00	3,759	0,266	1.987,29	0,00
9	2029	7.469,93	20.800,00	1,838	0,544	4.063,15	11.313,82	4,435	0,225	1.684,14	4.689,49
10	2030	7.469,93	-	1,967	0,508	3.797,33	0,00	5,234	0,191	1.427,24	0,00
Skupaj		74.699,28	49.970,00			52.465,64	40.483,82			33.570,50	33.859,49
SV		Sd-So= 24.729,28				Sv=Sd-So= 11.981,82				Sv=Sd-So= -288,99	

Slika 59: Ocena tveganja pri 15-% podražitvi
(Lastni vir)

V oceni tveganja zmanjšamo donos za 15 % in diskontiramo s 7 %. Pri diskontni stopnji 7 % je neto sedanja vrednost 11.981,82 EUR, pri diskontni stopnji 18 % pa – 288,99 EUR.

$$ISD = r_p + (r_n - r_p) \cdot \frac{NSD_p}{NSD_p - NSD_n} = 7 + (18 - 7) \cdot \frac{11.981,82}{11.981,82 - (-288,99)} = 17,74\%$$

Interna stopnja donosnosti kaže, da je pri podražitvi za 17,74 % projekt še vedno rentabilen.

Kazalnik gospodarnosti pri 15-% podražitvi projekta

$$E = \frac{S_d}{S_o} = \frac{52.465,64}{40.483,82} = 1,30$$

Kazalnik nakazuje na pozitivno gospodarnost.

Kazalnik rentabilnosti naložbe pri 15-% podražitvi projekta

$$D = \frac{S_d - S_o}{N} \cdot 100(\%) = \frac{11.981,82}{29.170,00} \cdot 100 = 41,08\%$$

Kazalnik pri 41,08 % kaže na rentabilnost naložbe.

Kazalnik donosa odhodkov pri 15-% podražitvi projekta

$$Do = \frac{S_d - S_o}{S_o} \cdot 100(\%) = \frac{11.981,82}{49.729,28} \cdot 100 = 23,98\%$$

Kazalnik pri 23,98 % kaže na pozitiven donos odhodkov.

Primerjalna tabela kazalnikov

Iz primerjalne tabele kazalnikov odčitamo, da je pri normalnem stanju in pri 15-% tveganju naložba sprejemljiva.

Kazalnik	Enota	Normalno stanje	Tveganje 15%
SV	(EUR)	22.330,93	11.571,52
ISD	(%)	22,26	17,74
E	/	1,44	1,30
D	(%)	61,06	41,08
Do	(%)	35,64	23,98

Slika 60: Primerjalna tabela kazalnikov
(Lastni vir)

5.8 COST-BENEFIT ANALIZA

Cost-benefit oz. posredna pridobitev investicije je nedvomno trend velikih podjetij oz. investorjev, ki razmišljajo izven osnovnih okvirjev poslovanja. Našo cost-benefit analizo bomo obravnavali z dveh vidikov. Prvi vidik je ekonomski vidik skozi prizmo človeškega faktorja v delovnem procesu, drugi del pa posredna povezava z ekologijo.

Človeški faktor

Pri sestavljanju energetskih sestavov se pri branju načrtov in montaži velikokrat srečamo s številnimi pomembnimi podrobnostmi. Primerna razsvetljava, ki bi lahko potencialno zmanjšala napake pri delu in možnost poškodb ter časovno zmanjšala končni čas montaže, je tako zelo pomembna. Cost-benefit naše analize je skupna boljša učinkovitost za en promil ali tisoči del delovnega procesa pri sledečih predpostavkah:

Delovnih ur na dan	18
Delovnih dni na leto	350
Št. let investicije	10
Št. delavcev v enem dnevu	26
Efektivnost povečana za 0,1 %	1000
Strošek delavca bruto ura v EUR	20
Skupna investicija	29.170,00
Skupni donos v 1 letu (EUR)	5.460,00

Slika 61: Cost-benefit analiza pri predpostavkah
(Lastni vir)

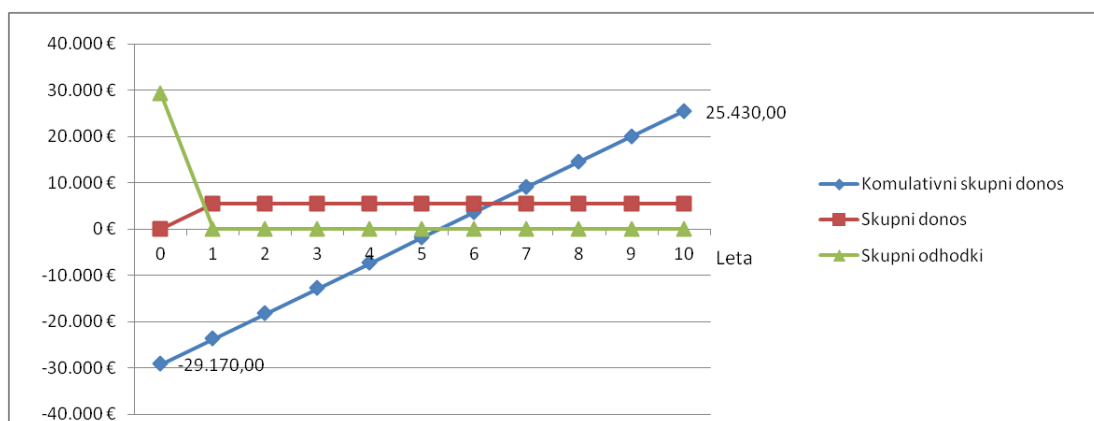
Na spodnji sliki sta predstavljena realni denarni tok in doba vračanja po cost-benefit analizi.

Stanje	SKUPAJ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Leto		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
I SKUPNI DONOS (1 + 2 + 3)	54.600,00	-	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00
1. Zaslужek enega delavca							-	-		-	-	
2.							-	-		-	-	
3. Cost benefit	54.600,00		5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00
3.1 Lastna sredstva	29.170,00	29.170,00										
3.2 Kredit	/	/										
II SKUPNI ODHODKI	29.170,00	29.170,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. Naložba v osnovna sredstva	29.170,00	29.170,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. Stroški vzdrževanja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III Neto skupni donos	54.600,00	-	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00	5.460,00
IV. Kumulativni skupni donos	-20.570,00	-29.170,00	-23.710,00	-18.250,00	-12.790,00	-7.330,00	-1.870,00	3.590,00	9.050,00	14.510,00	19.970,00	25.430,00

Slika 62: Realni denarni tok in doba vračanja cost-benefit (Lastni vir)

Rezultati cost-benefit analize kažejo, da je pri naših predpostavkah investicija upravičena že z vidika postranskih pridobitev, ki niso zanemarljive, saj bi imeli pri takem scenariju 36,200 EUR čistega prihodka, kar je približen strošek enega delavca na delovno leto v takem obratu. Investicija se zaradi postranskih pridobitev povrne že v treh letih in treh mesecih.

$$EVS = t = \frac{N}{d} = \frac{N}{Sd - So} = \frac{29.170,00}{5400,60 - 0} = 5,34let$$



Slika 63: Dobra vračanja cost-benefit (Lastni vir)

Ekologija

Vpliv na naravo bomo merili z emisijskimi faktorji za izpust CO², ki so opredeljeni v slovenskih strateških dokumentih OP TGP-2020 (Operativni program zmanjševanja emisij toplogrednih plinov, Akcijski načrt za energetske učinkovitost in Akcijski načrt za obnovljive vire energije).

Povprečni emisijski faktor za izpuste CO² v obdobju 2002–2018 znaša 0,48 kg CO²/kWh (Institut Jožef Stefan, 2018).

Zmanjšanje porabe električne energije v desetih letih na našem projektu je

$$CO2_{razs} = prihranek * faktor$$

$$CO2_{razs} = (1.058,400 - 439,992)kWh * 0,48kgCO2 = 296,835kgCO2 / kWh$$

Rezultat kaže, da pri projektu zaradi zmanjšanja porabe električne energije v času investicije zmanjšamo za 0,3 tone CO₂ izpustov. Za primerjavo na podlagi podatkov, pridobljenih na statističnem uradu Slovenije, je to približno 10 let vožnje z avtomobilom, če prevozimo 20.000 km na leto (Statistični urad Republike Slovenije, 2020).

Primerjalni izračun:

$$CO2_{avto} = 119,6 * 1000 * 20000km * 10let = 239.200,00CO2 / km$$

Povprečen izpust CO² na kilometer pri novih osebnih avtomobilih je za leto 2017 119,6 g CO²/km (Statistični urad Republike Slovenije, 2020).

6 ZAKLJUČEK

Ekologija, družba, človek

Čeprav je osrednji del projekta umetna notranja razsvetljava in njena ekonomska upravičenost, lahko ugotovimo, da je naravna svetloba za človeka izrednega pomena. Naravna svetloba ugodno vpliva na pravilno delovanje telesa, zato je treba pri načrtovanju umetne svetlobe upoštevati ne le obvezna zakonska določila, za doseganje maksimalnih izkoristkov razsvetljave je treba posnemati tudi naravne procese in jih integrirati v delovno okolje. Vsak umeten proces ima t. i. izgube ali stranske učinke, ki smo jih z uporabo tehnologije LED minimizirali v primerjavi z obstoječimi metalhalogenidnimi sijali, saj ima manjša električna poraba neposredno

povezavo z naravo. Ta povezava je vidna v ekološkem delu cost-benefit analize, kjer z izračunom prikažemo zmanjšano produkcijo CO² v nezanemarljivi količini.

Zakonodaja

Zakonodaja, tehnične smernice, standardi in priporočila so sestavni del pri projektiranju razsvetljave. Dobro poznavanje zakonodaje in nenehno izobraževanje omogočata neovirano delo in konkurenčnost na trgu.

Simulacije

Simulacije so predvsem virtualno delo, za katerega so potrebne terenske izkušnje, saj programska okolja velikokrat predlagajo rešitve, ki pa na objektu niso tehnično izvedljive. Pridobljene praktične izkušnje moramo spretno implementirati že v začetku projekta, saj je princip dela predvsem numeričen, kar pomeni, da se lahko projektant hitro znajde v t. i. domino efektu. Iz simulacij naravne svetlobe razberemo, kako zelo pomembna je naravna osvetlitev, saj je sevanje sonca nepogrešljiv vir svetlobe tudi pri načrtovanju. Skozi steklene površine pri direktnem upadu naravne svetlobe na merjeno točko na povprečno svetel dan dosegamo normirane rezultate brez vpliva umetne razsvetljave. Simulacija umetne svetlobe je osrednji del projektiranja v proizvodnih obratih, v našem primeru pa je bila izvedena uspešno. Svetlobo bi bilo treba preveriti še po končani izvedbi v realnem stanju. Pri kombinirani svetlobi povprečna osvetljenost na povprečno svetel dan presega minimalni pogoj »Em > 500 lx < 881« za 76 %, zato ugotavljamo, da je smiselno opraviti raziskavo smotrnosti uporabe regulacije osvetljenosti delovnih mest.

Ekonomske ugotovitve

V grafikonih dobe vračanja naložbe opazimo strmo naraščanje skupnih komulativnih donosov do devetega leta, ko opazimo strm padec donosa. V devetem letu bo potekla pričakovana življenjska doba novih svetilk LED, ki jih bo treba v celoti zamenjati. V industriji, kjer je treba za zamenjavo svetilke ustaviti delovni proces zaradi dela na višini, se razen v ekstremnih primerih ekonomsko ne izplača menjati komponent, temveč se zamenjajo cele svetilke. Na podlagi tega ugotovimo, da bi bilo bolj primerno vrednotiti investicijo na devet let, saj lahko prikažemo višje donose. V praksi se kalkulacije investicij gradi na osnovi garancije izdelka, v našem primeru smo uporabili kalkulacijo na deset let zaradi prikaza teh pojavov. V obeh primerih so investicije rentabilne.

7 LITERATURA IN VIRI

Babuder, M. et al. (2009). *Obnovljivi viri energije (OVE) v Sloveniji*. Celje: Fit media.

Biard, B. (1962). *Semiconductor radiant diode*. Pridobljeno 5. 12. 2019 z naslova <https://edisontechcenter.org/lighting/LED/FirstLEDpatent700.jpg>.

Bizjak, G. (b. l.a). *Projektiranje notranje razsvetljave*. Pridobljeno 5. 9. 2020 z naslova http://lrf.fe.uni-lj.si/e_eir/eir11i.pdf.

Bizjak, G. (b. l.b). *Svetloba in barve*. Pridobljeno 5. 9. 2020 z naslova http://lrf.fe.uni-lj.si/e_sv_tehnika/SI/i_SvetlobaBarve.pdf.

Bizjak, G., Kobav, M. B. in Prelovšek, M. (2013). *Razsvetljava: učbenik za poglavja o razsvetljavi pri predmetih Električne inštalacije in razsvetljava, Niskonapetostne električne inštalacije, Elektrotehnika in varnost, Svetlobna tehnika*. Ljubljana: Založba FE in FRI.

Gradbeni zakon. (2017). Uradni list RS, št. 61/2017.

IEEE. (2015). *IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers*. Pridobljeno 7. 8. 2020 z naslova <https://www.techstreet.com/mss/products/preview/1896595>.

Institut Jožef Stefan. (2018). *Izpusti CO₂/TGP na enoto električne energije in daljinske toplote*. Pridobljeno 5. 11. 2020 z naslova <https://ceu.ijs.si/izpusti-co2-tgp-na-enoto-elektricne-energije/>.

Kobav, M. B. (b. l.). *Izvajanje meritev osvetljenost DM v skladu s standardom SIST EN 12464 – Razsvetljava na delovnem mestu*. Pridobljeno 5. 9. 2020 z naslova <http://files.strani.domenca.com/0b/cf/0bcf2421-e2d9-417d-a04d-af1a40d2388a.pdf>.

LED Lighting Wholesale. (b. l.). *LEDi2 PL Retrofit Lamp 5 Watt (Choose Base Type)*. Pridobljeno 5. 10. 2020 z naslova <https://www.ledlightingwholesaleinc.com/i2-PU-PLC-5W-p/i2-pu-plc-5w.htm>.

Licht.de. (2014). *Wirkung des Lichts auf den Menschen*. Pridobljeno 8. 11. 2020 z naslova https://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/1403_lw19_Wirkung_auf_Mensch_web.pdf.

Mežič, D. (2015). *Priročnik zasilne/nujnostne razsvetljave*. Pridobljeno 1. 8. 2020 z naslova <https://www.izs.si/assets/media/izsnovo/2019/MSE/Prirocnik-MSE-evakua-cijske-poti-final-www-jan-15.pdf>.

Miller, N. J. in Lehmar, B. (2015). *Flicker: Understanding the New IEEE Recommended Practice*. Pridobljeno 20. 8. 2020 z naslova https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/05/f22/miller%20Blehman_flicker_lightfair2015.pdf.

Ministrstvo za infrastrukturo in prostor. (2013). *Tehnična smernica TSG-N-002:2013: nizkonapetostne električne inštalacije*. Pridobljeno 20. 8. 2020 z naslova https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Graditev/tsg_N_002_2013_ni_zkonapetosne_el_instalacije.pdf.

Ministrstvo za okolje in prostor. (2010). *Tehnična smernica TSG-1-004:2010: Učinkovita raba energije*. Pridobljeno 20. 8. 2020 z naslova https://www.ozs.si/datoteke/ozs/sekcije/Janko%20Rozman/Sekcija%20instalaterjev-energetikov/TSG-01-004_2010_U%C4%8Dinkovita%20raba%20energije.pdf.

Münch, M. et al. (2017). The effect of light on humans. V *Changing perspectives on daylight: Science, technology, and culture* (str. 16–23). Washington, DC: Science/AAAS Custom.

Orgulan, A. (ur.). (2011). *Razsvetljava 2011: zbornik posvetovanja*. Pridobljeno 1. 8. 2020 z naslova <http://www.sdr.si/pdf/zbornik11.pdf>.

Orgulan, A. (2019). *Pojavi flikerja pri prenovi razsvetljave z LED svetilkami*. Pridobljeno 5. 11. 2020 z naslova http://www.sdr.si/pdf/r18_orgulan.pdf.

Papler, D. (2011). Metodologija za ekonomsko ovrednotenje upravičenosti naložbe: skripta s predavanj.

Pngimg. (b. l.). *Brain PNG image with transparent background*. Pridobljeno 8. 12. 2020 z naslova <https://pngimg.com/download/86561>.

Pravilnik o pregledovanju in preizkušanju vgrajenih sistemov aktivne požarne zaščite. (2007). Uradni list RS, št. 45/2007, 102/2009 in 53/2019.

Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih. (1999). Uradni list RS, št. 89/1999, 39/2005 in 43/2011 – ZVZD-1.

Quora. (2018). *A-Plus Lighting*. Pridobljeno 5. 10. 2020 z naslova <https://www.quora.com/profile/A-Plus-Lighting>.

Rankel, S. (2014). *LED in OLED svetila v urbanističnem oblikovanju ter njihov vpliv na urbane elemente bivalnega okolja*. Doktorska disertacija, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Sayigh, A. (2013). *Sustainability, Energy and Architecture: Case Studies in Realizing Green Buildings*. San Diego: Elsevier Science & Technology.

Schubert, E. F. (2018). *Light-Emitting Diodes* (Third Edition). New York: Rensselaer Polytechnic Institute.

SIST EN 12464-1:2011, *Svetloba in razsvetljava. Razsvetljava na delovnem mestu. Del 1, Notranji delovni prostori*. (2011). Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo.

Slovenski inštitut za standardizacijo. (2013). *Evropski komite za standardizacijo SIST EN 1838:2013 Razsvetljava – Zasilna razsvetljava*. Pridobljeno 1. 8. 2020 z naslova <http://ecommerce.sist.si/catalog/project.aspx?id=38d14d43-4579-40cc-9deb-230ab59f9fa7>.

Statistični urad Republike Slovenije. (b. l.). *Povprečni izpusti CO₂ na kilometer pri novih osebnih avtomobilih, Slovenija*. Pridobljeno 15. 11. 2020 z naslova https://www.stat.si/Pages/docs/librariesprovider2/podatki/12_4_slo.xlsx?sfvrsn=7f4e0302_0.

The Lighting Handbook. (2018). Dornbirn: Zumtobel Lighting.

Wikimedia Commons. (b. l.). *02/CIExy1931*. Pridobljeno 5. 10. 2020 z naslova <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/CIExy1931.svg>.

Zumtobel. (b. l.a). *CRAFT M TEC LED13000-840 PC WB LDO WH*. Pridobljeno 5. 8. 2020 z naslova <https://www.zumtobel.com/si-sl/products/1338.html?42183585#>.

Zumtobel. (b. l.b). *Crossign 160 P*. Pridobljeno 5. 8. 2020 z naslova <https://www.zumtobel.com/si-sl/products/crossign.html>.

PRILOGA

Priloga 1: Tehnični list sijalke HQI TS 400 W



Osram HQI TS 400W ndI Fc2

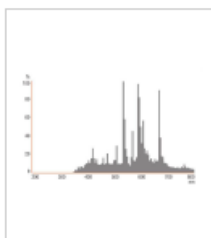
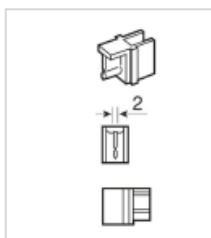
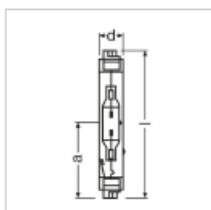
ID: 689214 | EAN: 4008321689214 | MPN: HQI-TS-400-NDL | ILCOS: MD/UB-400/842-H/E/SL-Fc2-25/162/H | HS Tariff: 85393290



Metalhalogenidna sijalka s kremenovo tehnologijo, za uporabo v zaprtih svetilkah.

Nominal wattage 400.00W
 Rated wattage 410.00W
 Lamp current 4.1 A
 PFC capacitor at 50 Hz 45 µF
 Nominal voltage 118V
 Ignition voltage 4.0 / 25 kVp
 Rated lamp efficacy (standard condition) 88 lm/W
 Rated luminous flux 36000 lm
 Color rendering index Ra 85
 Color temperature 4200 K
 Light color 842
 Rated LLMF at 2,000 h 0.70
 Rated LLMF at 4,000 h 0.60
 Rated LLMF at 6,000 h 0.55
 Diameter 33.0 mm
 Length 206.0 mm
 Light center length (LCL) 103.0 mm
 Maximum permitted outer bulb temperature 650 °C
 Maximum permitted pinch temperature 300 °C
 Rated lamp survival factor at 2,000 h 0.95
 Rated lamp survival factor at 4,000 h 0.90
 Lifespan B50 12000 h

Barvna temperatura svetlobe - Kelvin (K): 4200
 Index barvnega upodabljanja - CRI: 85
 Koda barve svetlobe: 842
 Moč - Watt (W): 400
 Okov/Podnožje: Fc2
 Poraba energije - (kWh / 1000h): 451
 Potrebuje predstikalno napravo: Da
 Razred energijske učinkovitosti: A+
 Svetlobni izkoristek sijalke - (lm / W): 88
 Svetlobni tok - Lumen (lm): 360000
 Tovarniško pakiranje - kosov (kos): 12
 Življenska doba - ure (h): 12000



Base (standard designation) Fc2
 Product remark Operate only with NAV control gear
 Design / version Clear
 Mercury content 29.0 mg
 Dimmable No
 Burning position p45
 Enclosed luminaire required Yes
 Hot restart Yes
 Energy efficiency class A+
 Energy consumption 451 kWh/1000h
 Product benefits
 -High efficiency
 -Uniform distribution of light
 -Good to excellent color rendering
 -Long life time
 -Hot restrike capable
 -UV values significantly below the maximum permitted thresholds to IEC 61167 thanks to UV filter
 Areas of application
 -Foyers, reception areas
 -Factory and hall lighting with low-cost installations
 -Exhibition halls and trade fairs
 -Sports halls and multi-purpose halls
 -Pedestrian zones, public squares
 -Parks and gardens
 -Buildings, monuments, bridges
 -Approved only for use in enclosed luminaires
 -Outdoor applications only in suitable luminaires
 Product features
 -POWERSTAR quartz technology
 -Light colors: warm white (WDL), neutral white (NDL), daylight (D)