

UNIVERZA V NOVI GORICI
POSLOVNO-TEHNIŠKA FAKULTETA

**OCENA EKONOMSKE UPRAVIČENOSTI
POSODOBITVE RAZSVETLJAVE V PROIZVODNEM
PODJETJU**

DIPLOMSKO DELO

Uroš Kobal

Mentor: pred. Silvester Vončina, univ. dipl. ekon.

Nova Gorica, 2010

ZAHVALA

Zahvaljujem se predavatelju Silvestru Vončini, univ. dipl. ekon., za mentorstvo, nasvete in pomoč pri izdelavi tega diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi podjetju Fructal, d. d., ki mi je najprej omogočilo opravljanje praktičnega usposabljanja in kasneje tudi nudilo vse potrebne podatke za diplomsko delo. Ne nazadnje gredo zahvale tudi podjetju Svetloba, d. o. o., za pomoč pri sklepni fazi diplomskega dela.

NASLOV

Ocena ekonomske upravičenosti posodobitve razsvetljave v proizvodnem podjetju

IZVLEČEK

Razsvetljava predstavlja v vsakem podjetju pomemben faktor, ki ustvarja okolje, gradi ali ruši delovno klimo in tako neposredno vpliva na produktivnost zaposlenih. Istočasno pa predstavlja relativno velik strošek za porabljeno energijo, zato mora biti razsvetljava hkrati kvalitetna in varčna.

V diplomskem delu so najprej opisane osnovne značilnosti svetlobe in definirane lastnosti dobre osvetljenosti delovnih mest. V nadaljevanju je predstavljena najnovejša tehnologija na področju razsvetljave, možnost njene uporabe in vse njene prednosti v primerjavi s starejšo tehnologijo. Tukaj so mišljene prednosti v zvezi s prihrankom energije, zmanjšanjem stroška za vzdrževanje ter izboljšanjem delovnega okolja oziroma urejenosti delovnih mest. Pri različnih tipih svetil so razložene njihove prednosti in slabosti ter na njihovi podlagi navedena najbolj pogosta uporaba. Poleg svetil predstavlja pomemben del tehnologije tudi avtomatsko krmiljenje razsvetljave, ki v kombinaciji z ustreznimi svetili močno zmanjša porabo električne energije za osvetlitev. Za projekt posodobitve razsvetljave so seveda pomembne tudi zakonske zahteve in standardi, ki so zato ustrezno predstavljeni.

Projekt posodobitve razsvetljave je prikazan na primeru iz podjetja Fructal, d. d., kjer sem že tekom praktičnega usposabljanja sodeloval pri posodobitvi razsvetljave v določenih proizvodnih prostorih. Izbrana je bila tehnologija svetilk z vgrajenimi fluorescentnimi sijalkami, ki jih krmili avtomatski senzorski nadzorni sistem. Pričakovani rezultati obravnavanega projekta so pozitivni s tehnološkega kot tudi ekonomskega vidika. Doba vračanja projekta je 3 leta, interna stopnja prihranka pa kar 38 odstotkov.

KLJUČNE BESEDE

Svetloba, razsvetljava, tehnologija razsvetljave, zakonske zahteve razsvetljave, posodobitev razsvetljave, prihranki energije, ocena ekonomske upravičenosti

TITLE

Economic assessment of lighting systems renovation in industry buildings

ABSTRACT

Lighting represents an important factor in every single company, creating a positive environment, building or upsetting the work climate and thus consequently directly influencing staff productivity. It also represents a relatively large expenditure for used energy, therefore it must be economical and of good quality at the same time.

This bachelor thesis starts with basic descriptions of light, followed by defined characteristics of quality lighting design in workplaces. Then the newest lighting technologies are described and compared in terms of all their advantages to the older ones, especially in regards to advantages related to power consumption, lower maintenance costs and improvement of working environment or organization of the working place. Different types of illuminants are described on the basis of their advantages and disadvantages and their most frequent application on the grounds thereof. An important role is also played by automatic lighting, which, combined with the right illuminants, reduces power consumption to a great extent. Legal requirements and standards are immensely important for lighting systems renovation, so they are all appropriately described.

A lighting renovation project is shown at the example of Fructal d.d. (Fructal, plc), where I participated in the lighting system renovation in some parts of their production plant during my internship. Fluorescent lamp lighting technology, controlled by an automatic sensor control system, was chosen. The expected results of the discussed project are positive from both a technological and economical point of view. The return period for such an investment is less than 3 years and the internal rate of return as high as 38 %.

KEYWORDS

Light, illumination, illumination technology, illumination legal requirements, lighting renovation, energy savings, economic viability assessment

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Cilji diplomskega dela.....	1
1.2	Metodologija dela.....	1
2	OSNOVNE ZNAČILNOSTI SVETLOBE	2
2.1	Sevanje in svetloba.....	2
2.2	Optično sevanje.....	3
2.2.1	Ultravijolično sevanje.....	3
2.2.2	Vidno sevanje	3
2.2.3	Infrardeče sevanje.....	4
2.3	Svetloba in barve.....	4
2.3.1	Temperatura barve.....	4
2.3.2	Mera primerljivosti barv.....	5
2.4	Fotometrične lastnosti svetlobe.....	6
2.4.1	Svetlobni tok.....	7
2.4.2	Izkoristek svetlobe.....	7
2.4.3	Svetilnost.....	8
2.4.4	Osvetljenost.....	9
2.4.5	Svetlost.....	10
2.4.6	Pregled glavnih fotometričnih veličin	11
2.5	Vpliv svetlobe na človeka	11

3	TEHNOLOGIJA RAZSVETLJAVE.....	13
3.1	Električna svetila.....	13
3.1.1	Žarnice.....	13
3.1.1.1	Navadna žarnica.....	14
3.1.1.2	Halogenska žarnica.....	14
3.1.2	Sijalke.....	15
3.1.2.1	Visokotlačne sijalke.....	16
3.1.2.2	Nizkotlačne sijalke.....	17
3.1.3	Svetleče diode – LED.....	19
3.1.4	Celoten pregled svetil in njihove uporabe.....	20
3.2	Svetilke.....	22
3.3	Regulacijski sistemi.....	23
3.3.1	Princip delovanja.....	23
3.3.2	Zahteve regulacijskih sistemov.....	24
3.3.3	Rezultati vgradnje sistema.....	24
4	ZAKONSKE ZAHTEVE IN STANDARDI.....	26
4.1	Zakon o varnosti in zdravju pri delu.....	26
4.2	Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih.....	27
4.3	Standard SIST EN 12464-1.....	27
5	PRIMER POSODOBITVE RAZSVETLJAVE.....	29
5.1	Podjetje Fructal, d. d.	29

5.1.1	Zgodovina podjetja	29
5.1.2	Podjetje danes	31
5.1.3	Okolje in narava kot vrednota podjetja	31
5.1.4	Energetski pregled podjetja	31
5.2	Začetek projekta posodobitve razsvetljave	32
5.2.1	Posodobitev razsvetljave v prostorih skladišča	33
5.3	Posodobitev razsvetljave v proizvodni hali Aseptika	35
5.3.1	Opis hale	35
5.3.2	Stanje razsvetljave pred posodobitvijo	36
5.3.3	Cilji posodobitve razsvetljave	37
5.3.3.1	Tehnično-tehnološki cilji	37
5.3.3.2	Ekonomski cilji	37
5.3.3.3	Okoljski cilji	38
5.3.4	Izbira tehnologije nove razsvetljave	38
5.3.4.1	Mrežna analiza	39
5.3.5	Načrtovano stanje razsvetljave po posodobitvi	40
6	Ocena ekonomske upravičenosti posodobitve	42
6.1	Stroški in prihranki	42
6.1.1	Stroški pred posodobitvijo	42
6.1.2	Stroški po posodobitvi	42
6.1.3	Primerjava stroškov	43

6.2	Investicijska vrednost.....	44
6.3	Izračun kriterijev učinkovitosti investicije.....	44
6.3.1	Primerjava diskontiranih vrednosti stroškov.....	44
6.3.2	Doba vračanja investicije	45
6.3.3	Interna stopnja prihranka.....	45
7	ZAKLJUČEK.....	47
8	LITERATURA	48
	PRILOGA 1: SPLOŠNE KALKULACIJE ZA PROJEKT POSODOBITVE RAZSVETLJAVE.....	50
	PRILOGA 2: BILANCA REALNEGA DENARNEGA TOKA NALOŽBE V POSODOBITEV RAZSVETLJAVE	51

KAZALO SLIK

Slika 1: Spekter elektromagnetnega valovanja (Prezentacija, 2010)	3
Slika 2: Prikaz svetlobnega toka.....	7
Slika 3: Prikaz svetilnosti v izbrani smeri	9
Slika 4: Prikaz principa osvetljenosti	10
Slika 5: Pregled fotometričnih veličin.....	11
Slika 6: Navadna in halogenska žarnica.....	14
Slika 7: Natrijeva, živosrebrna in kovinsko halogenidna visokotlačna sijalka	16
Slika 8: Fluorescentna sijalka, kompaktna fluorescentna sijalka in natrijeva nizkotlačna sijalka	18
Slika 9: LED-svetilo z vznožjem E27	20
Slika 10: Logotip podjetja Fructal, d. d.	29
Slika 11: Primerjava razsvetljave pred posodobitvijo in po njej.....	34
Slika 12: Tloris hale Aseptika	35
Slika 13: Računalniška simulacija razsvetljave po posodobitvi.....	41

KAZALO TABEL

Tabela 1: Označevanje barvnega videza svetlobnih virov	5
Tabela 2: Karakteristike pogostejših svetil.....	21
Tabela 3: Najpogostejša uporaba različnih tipov svetil.....	22
Tabela 4: Primerjava stanja razsvetljave pred in po posodobitvi v skladišču	34
Tabela 5: Mrežna analiza izbire tehnologije svetilk.....	40
Tabela 6: Učinki posodobitve razsvetljave.....	43

1 UVOD

Svetloba je eden osnovnih pogojev, brez katerega življenje na Zemlji ne bi bilo možno. Od svetlobe je v prvi vrsti odvisen osnovni biokemijski proces fotosinteze, od katerega smo odvisni vsi. Zaradi hrane in zaradi kisika, ki se pri tem ustvarjata. Od svetlobe pa niso odvisne le osnovne človekove funkcije, temveč tudi počutje in s tem sposobnost produktivnega delovanja, mišljenja in ustvarjanja. To pa so kvalitete, ki so zaželeno v vseh podjetjih, saj je z istim naporom in v istem času opravljenega več kvalitetnega dela. Zato je dobra razsvetljava v proizvodnih in poslovnih prostorih ključna za dobro produktivnost in manj delovnih napak ter nezdod.

Dobra razsvetljava pa ne pomeni le kvalitetno osvetljenih prostorov, temveč tudi varčno rabo energije. Od 5 do 15 odstotkov vse električne energije se v razvitih deželah porabi za razsvetljava, zato so na tem področju možni veliki prihranki energije, denarja in ne nazadnje izpustov toplogrednih plinov (Orgulan, 2006). Te prihranke je možno doseči z vgradnjo novih svetil in regulacijskih sistemov. Vendar v mnogih podjetjih na ta problem žal pozabljajo in si s tem višajo stroške električne energije.

1.1 Cilji diplomskega dela

Cilj diplomskega dela je prikazati pomen svetlobe in osvetljenosti v prostorih podjetja, predstaviti nove tehnologije tega področja in oceniti ekonomske koristi projekta posodobitve razsvetljave. Ocena ekonomske upravičenosti investicije je izvedena na podlagi primera iz podjetja Fructal, d. d., kjer sem opravljal praktično usposabljanje.

1.2 Metodologija dela

Pri predstavitvi in opisu fizičnih značilnosti svetlobe in tehnoloških značilnosti svetil ter regulacijskih sistemov sem črpal podatke predvsem iz strokovne literature, za dopolnitev nekaterih podatkov pa tudi iz svetovnega spleta. Pri ekonomskih izračunih sem se oprl na izkušnje iz praktičnega usposabljanja, kjer sem že delal na izračunih upravičenosti investicije v prenovi razsvetljave, ter na znanja, metode in gradiva, ki sem jih pridobil med šolanjem na Poslovno-tehniški fakulteti.

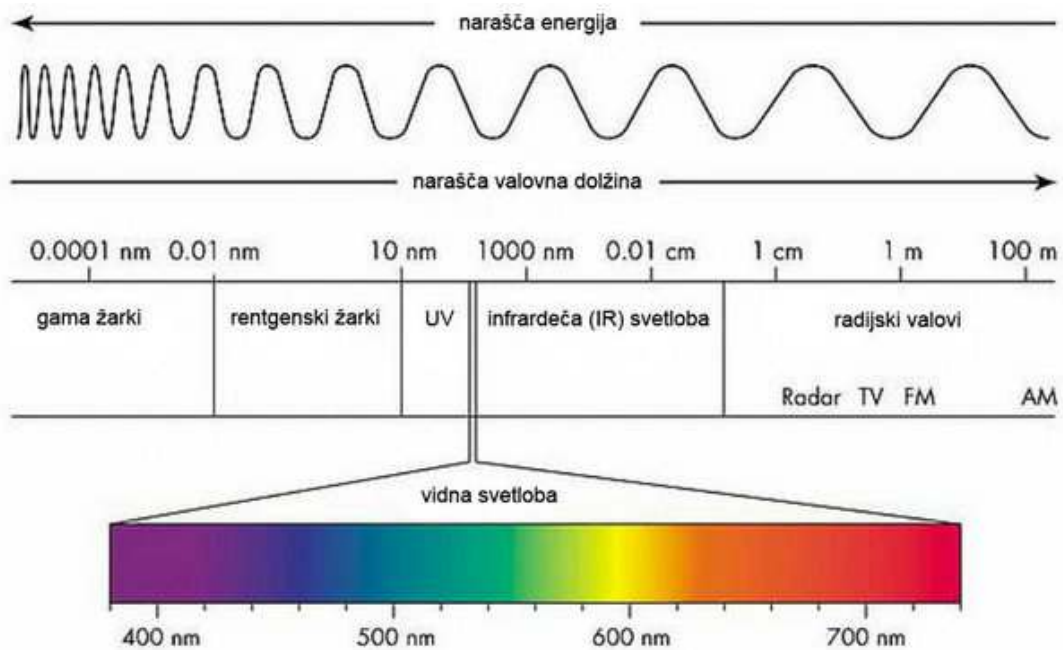
2 OSNOVNE ZNAČILNOSTI SVETLOBE

2.1 Sevanje in svetloba

Sevanje je v fizikalnem smislu definirano kot razširjanje valovanja skozi neko sredstvo, navadno prazen prostor ali plin (Sevanje, 2010). Z drugimi besedami je elektromagnetno sevanje razširjanje valovanja električnega in magnetnega polja. Posebna lastnost elektromagnetnega sevanja je njegov prehod s telesa na telo brez posredovanja snovi v vmesnem prostoru, zato lahko prehaja tudi skozi vakuum, in sicer s hitrostjo 300.000 km/s. Tako lahko svetloba, ki je del tega elektromagnetnega sevanja, neovirano prehaja iz Sonca na Zemljo in tako omogoča življenje na njej.

Kot prikazuje slika 1, se spekter celotnega elektromagnetnega valovanja razteza od valovne dolžine 0,0001 nm (enota nanometer se najpogosteje uporablja pri označevanju valovnih dolžin svetlobnega sevanja in predstavlja 10^{-9} metra) vse do valovnih dolžin 100 m. Glede na valovno dolžino lahko elektromagnetno valovanje razdelimo na štiri pomembnejše skupine valovanja (razvrščene so po valovnih dolžinah od najmanjše do največje):

- žarki gama,
- rentgenski žarki,
- optično sevanje,
- radijski valovi.



Slika 1: Spekter elektromagnetnega valovanja (Prezentacija, 2010)

2.2 Optično sevanje

Optično sevanje je tisti del elektromagnetnega sevanja, ki se uporablja pri tehniki razsvetljave. Razdeljeno je na tri področja, in sicer ultravijolično sevanje, vidno sevanje ter infrardeče sevanje. Mejne valovne dolžine med tremi sevanji niso povsem natančno določene, saj se občutljivost zaznavanja različnih valovnih dolžin oziroma svetlobe med ljudmi razlikuje.

2.2.1 Ultravijolično sevanje

Ultravijolično (UV) sevanje zajema valovne dolžine med približno 10 nm in 380 nm. UV-sevanje povzroča pri človeku tvorbo vitamina D, porjavitev kože, pri predolgi izpostavljenosti pa opekline roženice očesa, kožne opekline ter tudi kožnega raka. Pri tehniki razsvetljave pa igra pomembno vlogo pri večini sijalk na razelektrenje, kjer plini in pare raznih elementov oddajajo UV-svetlobo, ki jo nato razni fluorescentni premazi pretvorijo v uporabno vidno svetlobo.

2.2.2 Vidno sevanje

Kot sem že prej omenil, se mejnih valovnih dolžin vidnega sevanja ne da natančno določiti, saj so odvisne od množine svetlobnega toka, ki pade na mrežnico očesa, in

od barvne občutljivosti posameznega očesa. Spodnja meja je nekje med 360 in 400 nm (deloma v UV-področju), zgornja pa med 760 in 830 nm (deloma v IR-področju). Kot je razvidno na sliki 1 si od UV- do IR-področja sledijo barve vijolična, modra, zelena, rumena, oranžna ter rdeča. Sevanje svetlobnih virov je lahko monokromatsko (enobarvno) ali polikromatsko (večbarvno). Popolnoma naravna sončna bela svetloba, ki je za človeka najbolj prijazna in ob kateri se človek najboljše počuti, je polikromatska, saj vsebuje celoten spekter barv.

2.2.3 Infrardeče sevanje

Infrardeče (IR) sevanje oziroma infrardeča svetloba je toplotno sevanje, ki zajema elektromagnetna valovanja od 780 do 1.000.000 nm (1 mm). Pri človeku povzroča občutek toplote, pri izrazito predolgi izpostavljenosti pa škodljive učinke v očesni leči in lokalne opekline kože. IR-svetloba predstavlja v tehniki razsvetljave izgube, saj svetila niso namenjena za ogrevanje prostorov. Na drugi strani pa se infrardeča svetloba uporablja pri električnih grelcih, ki jih po zakonski prepovedi kajenja v lokalih pogosto vidimo zunaj teh objektov.

2.3 Svetloba in barve

Človeško oko ne zazna svetlobe le po njeni svetlosti oziroma intenziteti, temveč razlikuje glede na valovno dolžino odsevane svetlobe tudi barve stvari. Pravo barvo predmetov je možno videti le, če je predmet osvetljen s svetlobo, ki vsebuje vse barve spektra, torej z naravno ali naravni enako belo svetlobo. Za ocenjevanje te kvalitete svetlobe je bila uvedena mera primerljivosti barv. Na področju barvnega zaznavanja je pomembna tudi temperatura barve svetlobe, s katero so označena tudi vsa svetila (Ogrinc, 2000).

2.3.1 Temperatura barve

Temperatura barve je značilnost oddane svetlobe svetlobnega vira. Meri se jo v kelvinih (K). Teorija za temperaturo barv izhaja iz segrevanja temperaturnega sevala oziroma popolnega črnega telesa, ki začne pri segrevanju oddajati energijo v obliki vidne svetlobe (na tak način deluje tudi navadna žarnica). Najprej je telo temno rdeče, nato pa njegova barva prehaja preko oranžne in rumene v belo in na koncu v modro. Posledično lahko določen ton barve opišemo s temperaturo, ki jo ima telo, ko

žari v določeni barvi. Višja kot je temperatura barve, hladnejši občutek pusti svetloba pri opazovalcu.

Za barvni videz svetlobe svetlobnih virov je dogovorjeno splošno označevanje, ki je prikazano v tabeli 1.

Tabela 1: Označevanje barvnega videza svetlobnih virov

Ime barve	Oznaka	Temperatura barve (K)
Toplo bela barva	Ww	pod 3.300
Nevtralno bela barva	Nw	od 3.300 do 5.300
Dnevno bela barva	Tw	nad 5.300

Temperatura barve svetlobe je zelo pomemben dejavnik v tehniki razsvetljave, saj v veliki meri vpliva na počutje ljudi. Pri manjši osvetljenosti namreč puščajo svetlobni viri dnevno bele svetlobe neprijeten, hladno-mračen vtis. V takem primeru so bolj primerna svetila, ki oddajajo nevtralno belo ali toplo belo barvo svetlobe. Temperatura barve nekaj tipičnih svetlobnih virov:

- običajna žarnica 2.800 K,
- fluorescentna sijalka 2.800–6.500 K,
- živosrebrna visokotlačna sijalka 2.900–4.200 K,
- kovinsko halogenidna sijalka 3.000–6.000 K,
- natrijeva visokotlačna sijalka 2.000–2.200 K,
- natrijeva nizkotlačna sijalka 2.000 K,
- naravna dnevna svetloba 6.500 K.

2.3.2 Mera primerljivosti barv

Mera oziroma indeks primerljivosti barv je ocena za spektralno kvaliteto oddane svetlobe nekega svetila, kar ima velik vpliv na počutje ljudi. Barvni vtis predmetov je namreč odvisen od svetlobe, ki pada nanje. Popolnoma naravno barvo predmeta je mogoče dobiti le, če je osvetljen s svetlobo, ki vsebuje celoten spekter barv (dnevna svetloba). V tem primeru predmet vpije svetlobo nekaterih valovnih dolžin, druge pa

odseva. Predmet ima videz tiste barve, katere svetlobo odseva (nek predmet je rdeč, če odbija rdeč delež svetlobe). Bel predmet tako vse barve spektra odbija, črn pa jih vpije. Če v spektru svetlobe, s katero je obsevan predmet, manjka barva samega predmeta, potem barve osvetljenega predmeta ne moremo opredeliti in predmet ima sivkast videz.

Po tem, kako kakovostno svetlobni viri prikažejo barvo okolice oziroma v kolikšni meri spremenijo barvo okolice, je definirana mera primerljivosti barv R_a , ki zavzema vrednosti od 0 do 100. Pri tem pomeni vrednost 100 najboljše podajanje barv, vrednost 0 pa najslabše podajanje. Za barvno zahtevna dela mora biti vrednost R_a višja od 80, za barvno zelo nezahtevna opravila pa zadošča že vrednost nad 20. Vrednosti mere primerljivosti barv za nekaj značilnih svetil so sledeče:

- običajne žarnice 100,
- fluorescentne sijalke 70–99,
- živosrebrne visokotlačne sijalke 40–60,
- kovinsko halogenidne sijalke 60–70,
- natrijeve visokotlačne sijalke 20–40,
- natrijeve nizkotlačne sijalke 20–40.

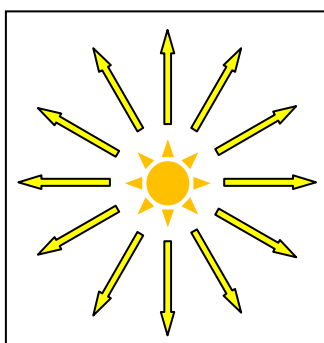
V tehniki razsvetljave je pomembno, da so na mestih, kjer je dobro dojetje barv bistveno, nameščena svetila z dobro mero primerljivosti barv. Sem spadajo običajne žarnice ali pa ustrezne fluorescentne sijalke. Na drugi strani se predvsem natrijeve sijalke uporabljajo večinoma v prometu, kjer zaznavanje barv ni tako pomembno.

2.4 Fotometrične lastnosti svetlobe

Fotometrija je veda, ki se ukvarja z merjenjem vidnega dela elektromagnetnega sevanja. Pri fotometričnih veličinah se torej svetlobo vrednoti na osnovi človeškega vidnega organa. Najpomembnejše fotometrične veličine, ki so pomembne v tehniki razsvetljave, so svetlobni tok, izkoristek svetlobe, svetilnost, svetlost in osvetljenost. Naštete veličine so v naslednjih poglavjih poljudno razložene (Ogrinc, 2000).

2.4.1 Svetlobni tok

Svetlobni tok je fotometrična veličina, ki opisuje, kakšno svetlobno sevanje oziroma svetlobno moč oddaja svetlobni vir v vse smeri okrog sebe oziroma v vse smeri prostorskega kota, kot prikazuje slika 2. Pri tem se šteje le svetloba, ki jo zazna človeško oko. Svetlobni tok se označi z grško črko Φ (fi), njegova enota pa je lumen (lm).



Slika 2: Prikaz svetlobnega toka

Svetlobni tok nekaj tipičnih svetil:

- običajna žarnica 100 W1.380 lm,
- fluorescentna sijalka 36 W3.450 lm,
- visokotlačna natrijeva sijalka 100 W.....10.000 lm,
- nizkotlačna natrijeva sijalka 90 W13.500 lm,
- kovinsko halogenidna sijalka 70 W.....5.500 lm,
- halogenska žarnica 100 W (12 V).....2.550 lm.

2.4.2 Izkoristek svetlobe

Izkoristek svetlobe predstavlja merilo učinkovitosti vira glede na porabljeno moč. Kot vse izkoristke se ga označi z grško črko η (eta), njegova enota je lumen na watt (lm/W), izračuna se ga z enačbo (1).

$$\eta = \frac{\Phi}{P_{el}} \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right] \quad (1)$$

Teoretična meja najvišjega možnega izkoristka predstavlja vrednost 683 lm/W. Tako bi namreč svetil idealen svetlobni vir zelene svetlobe z valovno dolžino 555 nm

(svetloba, ki jo človeško oko najboljše zaznava). Izkoristki svetlobe realnih svetil, ki jih uporabljamo v tehniki razsvetljave, so seveda mnogo nižji:

- običajne žarnice10–15 lm/W,
- halogenske žarnice.....12–25 lm/W,
- fluorescentne sijalke60–100 lm/W,
- visokotlačne živosrebrne sijalke.....40–55 lm/W,
- kovinsko halogenidne sijalke60–100 lm/W,
- visokotlačne natrijeve sijalke100–150 lm/W,
- nizkotlačne natrijeve sijalkedo 200 lm/W.

Pri večini tipov svetil velja pravilo, da večji kot je izkoristek svetlobe, manjša sta njihova življenjska doba in/ali mera primerljivosti barv (kvaliteta svetlobe).

2.4.3 Svetilnost

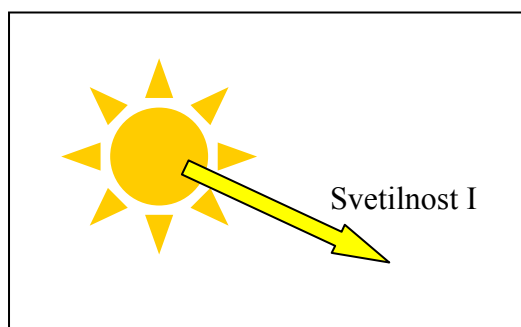
Kot je razloženo v poglavju 2.4.1, je svetlobni tok veličina, ki zajema celotno svetlobno sevanje, ki ga oddaja nek svetlobni vir v vse smeri. Vendar v vse smeri enakomerno svetijo le viri, ki jih imamo (poenostavljeno) za točkaste vire. Realni viri pa sevajo v različne smeri različno energijo, zato je uvedena svetilnost, ki obravnava sevalno energijo v točno določeni izbrani smeri (slika 3). Svetilnost je označena s črko I , njena enota pa je kandela (cd). Izračuna se jo tako, da se svetlobni tok odreja po prostorskem kotu oziroma po prostoru okrog svetila, kot je prikazano v enačbi (2).

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \left[\frac{\text{lm}}{\text{sr}} = \text{cd} \right] \quad (2)$$

Prostorski kot predstavlja vlogo prostora okrog neke točke. Njegova oznaka je grška črka Ω (omega), enota je steradian (sr), vrednost celotnega prostorskega kota pa 4π sr.

Kot je razvidno iz enačbe je svetilnost premo sorazmerna s svetlobnim tokom in obratno sorazmerna s prostorskim kotom. To pomeni, da večji kot bo svetlobni tok oziroma moč sevanja, večja bo svetilnost; po drugi strani pa manjši kot bo prostorski kot (bolj kot bo svetloba vira usmerjena), večja bo svetilnost. Tako se lahko pri

reflektorjih ali še bolj izrazito pri laserjih doseže s svetlobnimi viri relativno majhnih moči izredno velika svetilnost.



Slika 3: Prikaz svetilnosti v izbrani smeri

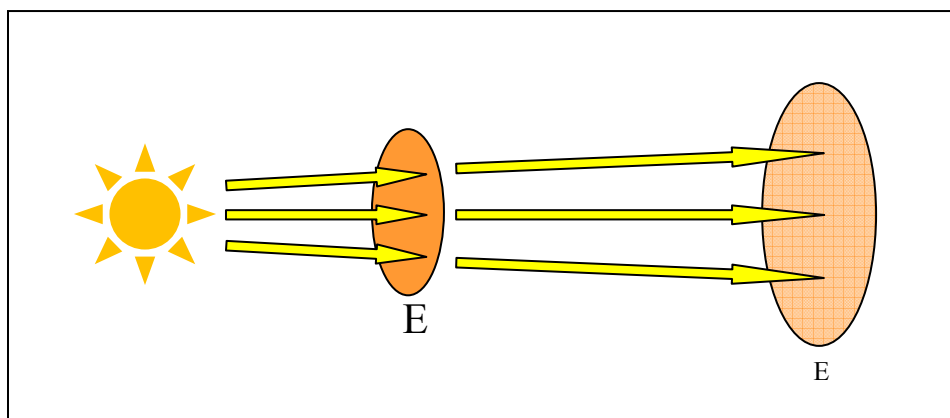
2.4.4 Osvetljenost

Osvetljenost je fotometrična veličina, ki je definirana kot svetlobni tok, ki pada na določeno ploskev (A) oziroma kot odvod svetlobnega toka po ploskvi, kot je razvidno iz enačbe (3). Torej večji kot je svetlobni tok in manjša kot je ploskev, ki je z nekim svetlobnim tokom osvetljena, večja je osvetljenost. Oznaka osvetljenosti je E , njena enota pa je luks (lx).

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \left[\frac{lm}{m^2} = lx \right] \quad (3)$$

Iz te formule izhaja še ena, za tehniko razsvetljave bolj praktično naravnana enačba (4). Z enačbo predpostavljamo, da gre skozi vsako zaključeno ploskev okrog svetlobnega vira enak svetlobni tok oziroma v neki določeni smeri skozi eno določeno ploskev enaka svetilnost. Vendar je vsaka navidezna ploskev, ki je bolj oddaljena od nekega svetila, mnogo večja, kot ploskev bliže svetlobnemu viru. Zato je osvetljenost dlje od svetila manjša, spreminja pa se s kvadratom razdalje. Poleg razdalje med svetilom in osvetljeno ploskvijo je osvetljenost odvisna tudi od kosinusne funkcije vpadnega kota svetilnosti na ploskev (α). Za boljšo predstavbo je prikaz principa osvetljenosti na sliki 4.

$$E = I \frac{\cos \alpha}{r^2} \quad (4)$$



Slika 4: Prikaz principa osvetljenosti

Za bolj konkretno predstavo o vrednostih osvetljenosti je tu podanih nekaj značilnih vrednosti:

- poletni dan brez oblakov100.000 lx,
- oblačen poletni dan.....22.000 lx,
- oblačen zimski dan400 lx,
- razsvetljava delovnega mesta v pisarni500 lx,
- noč ob polni luni.....0,3 lx,
- jasna zvezdna noč ob mlaju.....0,01 lx.

Pri razsvetljavi notranjih prostorov predstavlja osvetljenost izhodno veličino za dimenzioniranje. Primerno osvetljenost delovnih prostorov in delovnih mest zahtevata tako pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih kot tudi standard SIST EN 12464-1, ki obravnava razsvetljavo na delovnih mestih.

2.4.5 Svetlost

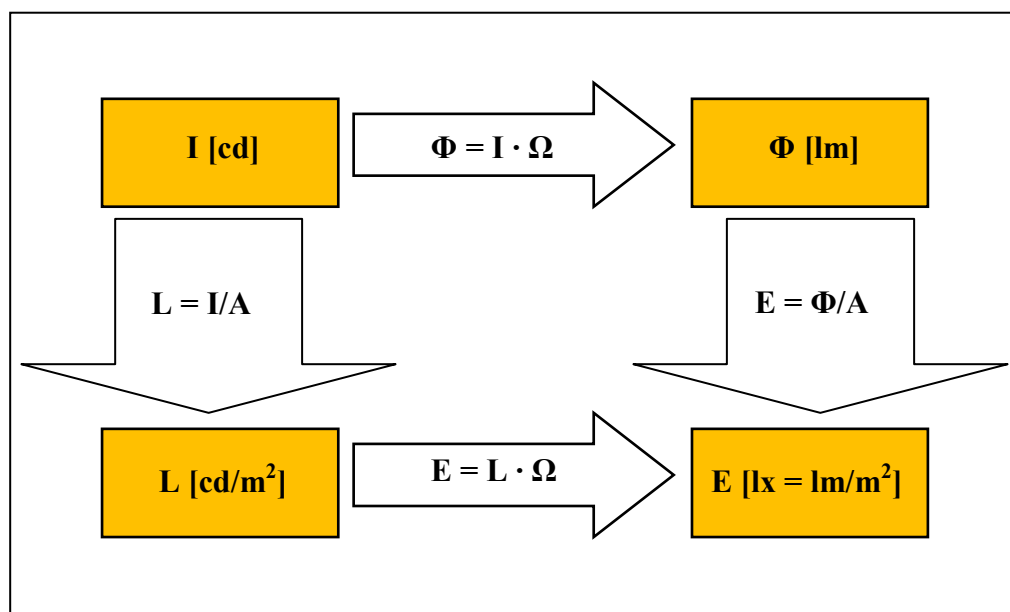
Svetlost je mera za vtis svetlobnosti, ki jo v očesu ustvari svetleča ali osvetljena ploskev in je kot taka edina vidna veličina svetlobne tehnike. Označena je s črko L , njena enota je kandela na kvadratni meter cd/m^2 , izračuna pa se jo po enačbi (5).

$$L = \frac{dI}{\cos \alpha \cdot dA} \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right] \quad (5)$$

Svetlost je večja ob večji svetilnosti vira svetlobe ali pa ob manjši površini svetlečega dela ploskve (ki vključuje tudi morebiten kot padanja sevanja). Tako je zaradi svoje majhne površine svetilnost nitke navadne žarnice tako visoka, da je človeškemu očesu škodljiva. Če je ista svetloba žarnice obdana s prosojno kroglo, ki brez izgub samo razprši sevano svetlobo, bistveno povečamo svetlečo površino in svetlost ustrezno zmanjšamo na primerno mero. Tudi fluorescentne sijalke imajo ob enaki svetilnosti zaradi večje svetilne površine mnogo manjšo svetlost kot navadne žarnice in so tako ob pogledu nanje manj moteče.

2.4.6 Pregled glavnih fotometričnih veličin

Na sliki 5 je prikazan enostaven in jasen pregled medsebojne povezanosti fotometričnih veličin. Med veličinami se v vodoravni smeri množi oziroma deli s prostorskim kotom osvetlitve Ω , v navpični smeri pa z osvetljeno površino A .



Slika 5: Pregled fotometričnih veličin

2.5 Vpliv svetlobe na človeka

Človek sprejme iz okolice okrog 80 odstotkov vseh informacij preko vida. Vendar svetloba ni pomembna le zaradi posredovanja teh informacij v vidne centre možganov, temveč vpliva tudi na regulacijske organe vegetativnega živčnega sistema; torej na hipofizo, ki vpliva na količino hormonov po telesu. Razsvetljava

zato učinkuje neposredno na krvni obtok, presnovo in druge funkcije človeškega organizma. Dobra razsvetljava tako podpira ugodno počutje in vzbuja zadovoljstvo. Z ustrezno osvetljenostjo se poveča storilnost in pozornost, zmanjša pa se utrujenost in raztresenost. Število delovnih napak in nezgod se zmanjša, saj večja storilnost vida in večja koncentracija pripomoreta k večji pazljivosti pri delu.

Posledično mora biti razsvetljava v delovne prostore nameščena tako, da učinkuje na človeka čim bolj naravno in nemoteče. V splošnem deluje razsvetljava ugodno, če učinkuje kot dnevna svetloba. To je tedaj, ko prihaja svetloba pretežno od zgoraj in je sestavljena iz difuzne (odbite) in usmerjene komponente. Postavljena mora biti na takem mestu, da opazovalec v normalnem položaju med delom ne vidi svetleče ploskve nobenega svetila in nikjer ne opazi leska ter zrcaljenja. Na tak način razsvetljava ne povzroča motečega bleščanja.

Umetna razsvetljava mora imeti tudi ustrezno mero primerljivosti barv ter barvno temperaturo glede na osvetljenost. Visoka mera primerljivosti barv omogoča naravno odsevnost barv oziroma pravilno podajanje barv predmetov. V tem primeru so ljudje, okolica in delovna sredstva videti v naravni barvi ter dajo ustrezen in zdrav videz. Barvna temperatura pa je pomembna zato, ker dnevno bela svetloba (nad 6.000 K) pri osvetljenosti pod 1.000 lx (kar pomeni večino vseh delovnih prostorov) povzroča neprijeten, hladno-mračen vtis. Zato sta za tako osvetljene prostore bolj primerni nevtralno bela svetloba ali pa toplo bela svetloba (Gspan in Žebovec, 2006).

Za dobro počutje ljudi je prav tako pomembno vzdrževanje naprav. Pri koncu življenjske dobe sijalk le te ne svetijo več tako dobro, kot ob času namestitve, pri sijalkah na razelektrenje pa je takrat zelo moteče tudi migotanje svetlobe. Zato je ob predpisanem koncu življenjske dobe pravilna in dobra odločitev zamenjava svetil (Ogrinc, 2000).

3 TEHNOLOGIJA RAZSVETLJAVE

Pod tehnologijo razsvetljave spadajo sama svetila, svetilke in tudi regulacijski sistemi s spremljajočimi senzorji svetlobe. Vse tri kategorije tehnologije so pomembne za manjšanje porabe energije in s tem manjšanje stroškov zanjo ter tudi za kvalitetno razsvetljavo delovnih prostorov.

3.1 Električna svetila

Svetila so se skozi zgodovino od Edisonovega razvitja prve uporabne žarnice na volframovo žarilno nitko vseskozi razvijala in izboljševala svoje izkoristke svetlobe. V današnjem času, ko se še posebej poudarja varovanje okolja, nižanje izpusta toplogrednih plinov in vsesplošna trajna raba dobrin, je ta razvoj na področju učinkovitosti svetil še posebej intenziven. Razvoj novih tehnologij in optimizacija obstoječih je privedla do velikega števila različic svetil. V naslednjih poglavjih so torej razložene pogostejše vrste svetil, ki razsvetljujejo okolico naših življenj. Predstavljena so starejša svetila, ki počasi odhajajo v zgodovinske anale in pa moderna svetila, ki svoje predhodnike nadomeščajo.

Splošno se električna svetila delijo na tri kategorije. **Žarnice** ustvarjajo svetlobo s temperaturnim sevanjem, **sijalke** svetijo zaradi ustvarjenega sevanja pri razelektrenju plina, **svetleče diode (LED)** pa oddajajo svetlobo, ko teče električni tok skozi polprevodniški element.

3.1.1 Žarnice

Bistvo vsem žarnicam je ustvarjanje svetlobe s segrevanjem žarilne nitke. Spiralno zavita nitka iz volframa, ki ima premer velikostnega reda stotinke milimetra, pri segrevanju žari in oddaja svetlobo. Da lahko nitka žari, je v notranjosti žarnice vakuum ali pa so inertni plini, kot so dušik, argon ali kripton. Svetlobni izkoristki žarnic so relativno nizki, saj se večina porabljene električne energije izseva v obliki infrardečega sevanja oziroma toplote. Svetlobni izkoristek se sicer povečuje z višanjem temperature žarenja nitke, vendar se ob tem zmanjšuje že tako dokaj kratka življenjska doba žarnice. Dobra lastnost žarnic je mera primerljivosti barv R_a , ki je najvišja možna in tako dosega vrednost 100.

V uporabi sta dva tipa žarnic:

- navadna žarnica,
- halogenska žarnica.



Slika 6: Navadna in halogenska žarnica

3.1.1.1 Navadna žarnica

Žarilna nitka navadne žarnice (na levi strani slike 6) se segreje na temperaturo med 2.500 in 2.700 °C in ob tem oddaja svetlobo toplo bele barve. Svetlobni izkoristek se giblje le med 10 in 15 lm/W, življenjska doba pa dosega okrog 1.000 ur. Slabost navadne žarnice je tudi pojevanje svetlobnega toka tekom življenjske dobe, saj iz žarilne nitke izpareva volfram in se nalaga na notranjost steklenega balona zaradi česar steklo temni.

3.1.1.2 Halogenska žarnica

Slabost pojevanja svetlobnega toka je z uvedbo t. i. krožnega procesa odpravljena pri izboljšani verziji žarnice, to je pri halogenski žarnici (primer na desni strani slike 6). V notranjosti žarnice niso več le inertni plini, temveč jim je dodana tudi majhna količina halogenega plina, največkrat joda ali broma. Ta plin je zelo kemično reaktiven in se pri visoki temperaturi žarenja spoji z izparelim volframom iz žarilne nitke. Ko nastala spojina pride v hladnejše območje ob steklenem balonu, tam razpade in volfram se vrne v vroče področje, kjer se zopet spoji z žarilno nitko. Krožni proces poteka pri zelo visokih temperaturah, zato so primerni majhni baloni iz temperaturno obstojnejšega stekla. Tehnologija omogoča žarenje pri višji

temperaturi (2.800 °C) brez krajšanja življenjske dobe in tako izboljšuje mnoge lastnosti žarnice. Svetlobni izkoristek se zviša na 25 lm/W, življenjska doba na 2.000 do 3.500 ur, temperatura barve pa na območje nevtralnno bele barve.

Žarnice so od konca 19. stoletja do začetka prodaje fluorescentnih sijalk razsvetljevale domove ljudi in v veliki meri tudi gospodarske prostore po vsem svetu. Zaradi napredka na področju drugih svetil se je uporaba žarnic v gospodarstvu močno zmanjšala po 2. svetovni vojni. Še danes se zaradi izjemno visokega indeksa primerljivosti barv uporabo halogenske žarnice priporoča za branje, slikanje in podobna vidno zelo zahtevna dela (Kovač, 2009). Uporaba navadnih žarnic pa se je zaradi premajhnih izkoristkov začela omejevati z zakonodajo, tako da se navadna žarnica počasi umika iz prodajnih polic po vsem svetu. Evropska unija je leta 2009 izdala zahtevo, da se navadne žarnice umaknejo s trga do konca leta 2012. Nadomeščajo jih bolj učinkovita svetila, kot so najbolj učinkovite halogenske žarnice ali kompaktne fluorescentne sijalke oziroma »varčne žarnice« (Navadne, 2010).

3.1.2 Sijalke

Sijalke ustvarjajo svetlobo s procesom razelektrenja plina. V cevi sijalk se med dvema elektrodama nahaja plin, ki je sestavljen iz nevtralnih atomov, električno nabitih ionov in prostih elektronov. Dokler med elektrodama ni električne napetosti, je plin neprevoden in sijalka seveda ne sveti. Ko se pojavi napetost med elektrodama, le ta ionizira plin v negativno nabite elektrone, ki letijo na pozitivno elektrodo, in pozitivne ione, ki letijo na negativno elektrodo. Vse to se dogaja pri zelo veliki hitrosti, ki dosega več km/s, zato pride do trkov z nevtralnimi atomi, pri katerih se ustvarja svetlobo. Ker nekateri plini in pare (predvsem živosrebrne) oddajajo svetlobo v ultravijoličnem spektru, je pri nekaterih sijalkah potreben fluorescenčni premaz na notranji strani cevi (glej sijalko na sredini slike 7), ki to UV-svetlobo pretvori v vidno svetlobo. Plin je zelo specifičen prevodnik, zato potrebujejo vse sijalke predstikalno napravo, ki omogoča vžig in stabilizacijo toka v fazi gorenja. Prav nujnost predstikalnih naprav precej poveča ceno takih svetilk in nekoliko zniža njihov svetlobni izkoristek. Življenjska doba kateregakoli tipa sijalk je v primerjavi z življenjsko dobo žarnic občutno večja, in sicer 15.000 ur ali več.

Obstaja mnogo različic sijalk, ki pa jih na podlagi tlaka, pri katerem poteka proces razelektrenja, lahko razvrstimo v dve kategoriji:

- visokotlačne (VT) sijalke (tlak plina med 0,1 in 30 bar),
- nizkotlačne (NT) sijalke (tlak plina med 0,1 in 10 mbar).

3.1.2.1 Visokotlačne sijalke

Zaradi višjega tlaka plina je v visokotlačnih sijalkah temperatura plina višja, svetlobni izkoristek je boljši in delež UV-svetlobe je manjši. Vendar je mera primerljivosti barv nizka, zagonski čas je daljši (od 5 do 15 minut) in po ugasnitvi jih ni mogoče takoj vključiti (potrebno je nekaj minutno ohlajanje). Ob pogostem vklopjanju in izklopjanju pa se jim krajša življenjska doba. Zato ni možna namestitev senzorskega nadzora pri uporabi teh sijalk. Naslednje značilnosti visokotlačnih sijalk so, da so relativno velikih moči, zasedejo majhno prostornino in imajo zelo velik svetlobni tok ter s tem visoko svetlost. Pri tem pa je treba upoštevati, da čim večji svetlobni tok imajo, tem manjša je mera primerljivosti barv. Najpomembnejše izvedbe VT-sijalk, ki so tudi prikazane na sliki 7, so:

- živosrebrna visokotlačna sijalka,
- kovinsko halogenidna sijalka,
- natrijeva visokotlačna sijalka.



Slika 7: Natrijeva, živosrebrna in kovinsko halogenidna visokotlačna sijalka

Živosrebrna visokotlačna sijalka je dokaj zastarel tip sijalke, ki oddaja modrikasto belo svetlobo temperature med 2.900 in 4.200 K (velik del oddane svetlobe je tudi na področju UV-spektra). Faktor primerljivosti barv se giblje med 23 in 55, tako da

sijalka ni primerna za mesta, kjer je pomembna kvalitetna svetloba z visokim R_a . Življenjska doba sijalke je okrog 15.000 ur, svetlobni izkoristek pa je najmanjši med visokotlačnimi sijalkami in se kot tak giblje med 32 in 58 lm/W. Kljub temu je sijalka še vedno močno prisotna na področju prometne razsvetljave in razsvetljave skladišč, vendar se njena uporaba opušča zaradi boljših nadomestkov kot sta kovinsko halogenidna in VT-natrijeva sijalka.

Kovinsko halogenidna sijalka je izboljšana izvedba VT-živosrebrne sijalke. Pri tej sijalki je zaradi dodatkov kovinskih redkih zemelj (disprozij, holmij, tulij) in selena, natrija, litija ter indija razširjen spekter barv, tako da se temperatura oddane svetlobe giblje med 3.000 in 6.000 K. Mera primerljivosti barv se izboljša na območje med 40 in 95, delež UV-svetlobe se toliko zniža, da ni potreben fluorescenčni premaz, izkoristek svetlobe pa se povzpne do 95 lm/W. Življenjska doba je tako kot pri VT-živosrebrni sijalki 15.000 ur. Kot izboljšani nadomestek živosrebrnih sijalk se lahko uporablja na področju prometne razsvetljave, razsvetljave skladišč, ob tem pa tudi za razsvetljavo stalnih delovnih prostorov.

Natrijeva visokotlačna sijalka je zelo gospodarna sijalka z visokim svetlobnim izkoristkom, ki dosega 150 lm/W, ter visoko življenjsko dobo 24.000 ur. VT natrijeva sijalka oddaja toplo belo oziroma že dokaj rumenkasto svetlobo s temperaturo okrog 2.200 K in s slabim indeksom primerljivosti barv (do 65). Zato se uporablja v okoljih, kjer se človek ne zadržuje veliko časa oziroma narava dela ne zahteva kvalitetne svetlobe. Njena prednost pred živosrebrno sijalko je (poleg visokih izkoristkov in življenjske dobe) v spektru svetlobe. Rumenkasta svetloba namreč ne privablja žuželk ter nima močnega prodora skozi zrak, kar zmanjšuje svetlobno onesnaževanje. Zato je najbolj razširjena na področju cestne razsvetljave, uporablja pa se še za razsvetljavo težke industrije in skladišč.

3.1.2.2 Nizkotlačne sijalke

Druga vrsta sijalk so nizkotlačne sijalke. Te so v osnovi podolgovate oblike in velike prostornine, so manjših moči, oddajajo manjše svetlobne tokove ter so posledično manjše svetlosti. Zaradi teh lastnosti morajo biti svetilke, v katerih so montirane nizkotlačne sijalke, večje, bolj kompleksno narejene in s tem dražje. Najbolj poznane in najbolj pogosto uporabljane nizkotlačne sijalke so prikazane na sliki 8 in so:

- fluorescentna sijalka,
- kompaktna fluorescentna sijalka (imenovana tudi »varčna žarnica«),
- natrijeva nizekotlačna sijalka.



Slika 8: Fluorescentna sijalka, kompaktna fluorescentna sijalka in natrijeva nizekotlačna sijalka

Med temi je najpomembnejša fluorescentna sijalka, ki je med ljudmi zmotno imenovana tudi neonka. Slednje namreč svetijo rdeče in se uporabljajo zgolj za reklamne napise. Na drugi strani je fluorescentna sijalka napolnjena z žlahtnimi plini (največkrat argon ali kripton) ter majhnim dodatkom živega srebra ter ima obliko dolge cevi. V odvisnosti od fluorescentnega premaza se temperatura barve svetlobe lahko giblje med 2.800 in 6.500 K, torej vse od toplo bele do dnevno bele svetlobe. Mera primerljivosti barv je odvisna od izvedbe in lahko zavzame vrednosti vse med 50 in 99. Kot pri večini sijalk tudi tu velja, da boljše kot je mera primerljivosti barv, manjši je izkoristek svetlobe, ki se tako giblje med 60 in 100 lm/W. Življenjska doba teh sijalk je do 40.000 ur, vendar se pri pogostem vklopjanju in izklopjanju močno skrajša. Zaradi številnih izvedb in različic se uporablja praktično povsod, najbolj pogosto pa po poslovnih prostorih, javnih ustanovah, proizvodnih prostorih, skladiščih in gospodinjstvih.

Enak princip delovanja, zasnovo in lastnosti kot navadna fluorescentna sijalka ima tudi kompaktna fluorescentna sijalka. Namesto dolge cevi je pri njej cev lomljena ali zvita. Zaradi vgrajene predstikalne naprave ter enakega vznožja, kot ga ima navadna žarnica, je kompaktna fluorescentna sijalka na mestih, kjer ni prepogostega vklopjanja in izklopjanja, dolgoročen nadomestek omenjeni navadni žarnici.

Natrijeva nizekotlačna sijalka je napolnjena z natrijem, ki je v hladnem stanju trdna kovina, in z žlahtnim plinom neonom. Na začetku delovanja, dokler se ne upari ves natrij, seva predvsem neon, zato ima takrat sijalka rdeč soj. Ogreta sijalka seva rumeno enobarvno oziroma monokromatsko svetlobo, zato so pod njo vse barve predmetov bolj ali manj rumenkaste in natančna razpoznavna barv predmetov ni mogoča (mera primerljivosti barv je le med 20 in 40). Med vsemi svetili dosega največji svetlobni izkoristek, in sicer do 200 lm/W. Njena življenjska doba znaša okrog 18.000 ur. Zaradi visokega izkoristka in slabega R_a se uporablja predvsem za razsvetljavo tunelov in prostorov težke industrije.

3.1.3 Svetleče diode – LED

Svetleča dioda ali LED (angl. light-emitting diode) je polprevodniški elektronski element, ki ob prevajanju električnega toka oddaja svetlobo. Bistvo delovanja je v elektronih, ki ob spuščanju na nižje energetske stanje oddajajo odvečno energijo v obliki svetlobe (Svetleča dioda, 2010). Obstaja mnogo vrst svetlečih diod, ki se razlikujejo po barvi, velikosti, obliki in električnih značilnostih. Barva izsevane svetlobe je odvisna od sestave polprevodnika, ki ga lahko sestavljajo elementi, kot so galij, arzen, indij, fosfor in drugi, in od električne napetosti. Prve svetleče diode iz leta 1962 so svetile le šibko rdečo svetlobo, bile so zelo drage in dokaj neuporabne. Vendar so v naslednjih nekaj letih oziroma desetletjih raziskovalci razvijali svetleče diode, ki so oddajale tudi svetlobo drugih barv. Tako so razvili tudi LED-diode, ki svetijo belo svetlobo. Šele tedaj je tehnologija svetlečih diod postala zanimiva tudi za tehniko razsvetljave.

Bela svetloba LED-diod najbolj pogosto nastaja tako, da fluorescentni premaz pretvori modro ali UV-svetlobo svetlečih diod v vidno belo svetlobo. Ta svetloba ima po navadi barvno temperaturo okrog 6.000 K, indeks primerljivosti barv pa okrog 75. Prav spekter oddane svetlobe je ena večjih težav tehnologije LED. Bela svetloba svetlečih diod namreč vsebuje veliko modre in malo rumene svetlobe (od tod visoka barvna temperatura), zato ni primerna za prostore, kjer se veliko časa zadržuje človek. Ker modra svetloba najboljše prodira skozi zrak, se poveča tudi svetlobno onesnaževanje tam, kjer javna razsvetljava temelji na LED-tehnologiji. Spekter svetlobe se sicer da izboljšati, vendar gre to na račun svetlobnega izkoristka. Le ta dosega v prostorih laboratorijev tudi 208 lm/W, vendar je v realnih pogojih

relativno nizek, in sicer okrog 46 lm/W. Na drugi strani je prednost svetlečih diod življenjska doba, ki je izjemno dolga in dosega vse do 100.000 ur (Light-emitting, 2010).

Svetleče diode, ki oddajajo dovolj močno in tudi belo svetlobo, so sorazmerno nova tehnologija, ki še vedno drži visoko ceno in ima določene pomanjkljivosti, zato jih še ni v množični uporabi. Svetleče diode se v največji meri zaradi prodornosti svetlobe uporabljajo v prometni in drugi signalizaciji, na področju reklamnih panojev, v avtomobilski industriji ter kljub vprašanju svetlobnega onesnaževanja ponekod v cestni razsvetljavi. Obstajajo tudi z vznožji E27 (slika 9) in E14, ki so najpogostejša v gospodinjstvih, vendar se tam predvsem zaradi visoke cene in majhnih svetlobnih tokov za zdaj redko uporabljajo.



Slika 9: LED-svetilo z vznožjem E27

3.1.4 Celoten pregled svetil in njihove uporabe

Vsako izmed svetil, ki so v prejšnjih poglavjih opisana, ima svoje prednosti in slabosti. Karakteristike, kot so izkoristek svetlobe, temperatura barve, mera primerljivosti barv, čas vžiganja, življenjska doba ter cena določajo, za katere prostore oziroma za katere dejavnosti je neko svetilo najbolj primerno. V tabeli 2 so tako na enem mestu predstavljene tri najpomembnejše lastnosti različnih svetil, na podlagi katerih se načrtovalci razsvetljave odločajo, katero svetilo je primerno za določeno okolje.

Tabela 2: Karakteristike pogostejših svetil

Vrsta svetila	Svetlobni izkoristek [lm/W]	Temperatura barve [K]	Indeks primerlj. barv	Življenjska doba (h)
Navadna žarnica	10–15	2.800	100	1.000
Halogenska žarnica	15–25	3.100–3.400	100	2.000–3.500
VT Na sijalka	100–150	2.000–2.200	25	24.000
VT Hg sijalka	40–55	2.900–4.200	40–60	15.000
Kovinsko hal. sijalka	60–100	3.000–6.000	60–70	15.000
Fluorescentna sijalka	60–100	2.800–6.500	50–99	do 40.000
NT natrijeva sijalka	150–200	2.000	5	18.000
LED-dioda	46–208	6.000	okoli 75	do 100.000

Izključno iz strogega ekonomskega vidika sta za investitorja najbolj pomembni karakteristiki izkoristek svetlobe in življenjska doba. Večji kot je izkoristek svetlobe svetila, manjša bo poraba energije in posledično bo manj stroškov za porabljeno energijo. Enako razmišljanje velja za življenjsko dobo, vendar je na delovnih mestih pomembno predvsem počutje zaposlenih in s tem njihova zbranost in produktivnost. V tem se skriva precej večji potencial za dober poslovni rezultat, zato je treba pri izbiri ustreznih svetil upoštevati tudi kazalce za kvaliteto dane svetlobe. Iz vseh teh lastnosti so se skozi čas ustvarili določeni vzorci, na katerih mestih se najpogosteje uporabljajo določena svetila. Ta uporaba je prikazana v tabeli 3.

Tabela 3: Najpogostejša uporaba različnih tipov svetil

Vrsta svetila	Najpogostejša uporaba
Žarnica	gospodinjstva, vozila, prostori za primerjavo barv
VT natrijeva sijalka	težka industrija, cestna razsvetljava
VT živosrebrna sijalka	težka industrija, skladiščni prostori
Kovinsko halogenidna sijalka	industrijska dela, skladiščni prostori
Fluorescentna sijalka	industrijska dela, skladiščni prostori, poslovni prostori, hoteli, restavracije, šole
NT natrijeva sijalka	razsvetljava v tunelih
LED-dioda	signalne table, vozila, zunanja razsvetljava

3.2 Svetilke

Pomemben del tehnologije razsvetljave so tudi svetilke. Svetilka je naprava, ki povezuje svetlobni vir z električnim omrežjem. Ob tej temeljni nalogi mora notranjost ščititi pred dotiki, tujki, prahom in vodo ter vzdrževati primerno temperaturo vira svetlobe. Pomembno je tudi, da s svojimi refleksijami ustrezno usmerja, porazdeljuje in filtrira svetlobo in tako predstavlja zaščito pred bleščanjem. Ne nazadnje mora omogočati primerno namestitvev in vzdrževanje ter v največji možni meri ustrezati arhitekturi prostora. Glede na način oziroma prostor uporabe mora svetilka imeti ustrezno:

- mehansko trdnost,
- toplotno obstojnost,
- korozijsko odpornost,
- svetlobno obstojnost pri dolgotrajnem obsevanju z UV- in IR-sevanjem.

Te štiri kvalitete so bistvene predvsem v neprijaznih okoljih, kjer vladajo težke razmere, kot so visoka temperatura in visoka vlaga. V takih pogojih mora svetilka ustrezno oddajati odvečno toploto, ki ga generira svetlobni vir, in hkrati čim bolj

tesniti pred vlago, prahom in drugimi tujki. Tako se podaljša življenjska doba svetila, spremljajoče elektronike in samega ohišja svetilke.

3.3 Regulacijski sistemi

Sistemi za regulacijo razsvetljave predstavljajo velik potencial pri izboljšanju izkoristka in okoljske kakovosti stavb. Zaradi strožjih energetskega zahtev, višjih cen energentov, želje po nižanju stroškov in vedno bolj izpopolnjenih ter cenejših tehnologij se njihova uporaba v zadnjih letih precej povečuje. Še posebej se povečuje interes za vgradnjo sistemov za regulacijo razsvetljave v odvisnosti od dnevne svetlobe. Čeprav je možen velik prihranek električne energije, se zaradi slabega načrtovanja, tehničnih omejitev in napak pri izvedbi velikokrat ne dosega pričakovanih rezultatov. Zato je pri implementaciji teh sistemov potrebno temeljito načrtovanje na podlagi poznavanja potreb in zahtev uporabnikov razsvetljave.

3.3.1 Princip delovanja

Polno funkcionalen regulacijski sistem razsvetljave mora vsebovati:

- krmilnik,
- ustrezno programsko opremo,
- senzorsko opremo.

V osnovi je delovanje regulacijskega sistema precej preprosto. Senzorji svetlobe in/ali gibanja stalno pošiljajo v krmilnik informacije iz okolja. Na podlagi teh informacij nato s pomočjo programske opreme in njenih parametrov krmilnik ustrezno vklopja svetilke le takrat, ko je to potrebno. Posledično je rezultat dobrega regulacijskega sistema znižanje porabe energije in kvalitetna svetloba v delovnih prostorih, usklajena z željami in potrebami uporabnikov.

Regulacijski sistemi so zelo fleksibilna oprema, saj se lahko preko nastavitve vžiga ali izklopa luči dosega poljubne osvetljenosti prostorov v različnih urah dneva, v različnih prostorih in v različnih letnih časih. Te nastavitve se nastavlja preko krmilnika oziroma natančneje preko njegovega zaslona in upravljalnih tipk. Prvotne nastavitve pred začetkom uporabe so določene s strani dobavitelja sistema, za kasnejšo optimizacijo delovanja pa lahko nastavitve spreminja tudi pristojno osebje

uporabnika razsvetljave. Pravilna nastavitve delovanja regulacijskih sistemov pa je bistvena za dobro delovanje sistema. Kajti v primeru, če celoten regulacijski sistem ne upošteva želja uporabnikov, se lahko med uporabniki razširi nezadovoljstvo z regulacijo in v skrajnem primeru se dogodi tudi, da avtomatski režim popolnoma izklopijo in preidejo nazaj na ročno upravljanje razsvetljave.

3.3.2 Zahteve regulacijskih sistemov

Regulacijski sistemi morajo v prvi vrsti biti povsem združljivi z ostalim delom opreme za razsvetljavo; bodisi obstoječe opreme bodisi morebitne nove opreme. Zato morajo biti načrtovalci razsvetljave dobro seznanjeni s produkti različnih proizvajalcev in združiti skupaj le opremo, s katero se lahko doseže želene funkcije in rešitve.

Naslednja pomembna zahteva je vzdržljivost in pravilno delovanje sistemov skozi celotno življenjsko dobo. Za pravilno delovanje je pomembno programiranje vseh nastavitvev in umeritev senzorske opreme. Pri procesu programiranja je potrebno poleg osnovnih zahtev glede minimalne osvetljenosti upoštevati tudi orientacijo stavbe, morebitne ovire svetlobe (sence), namembnost in zasedenost prostorov ter potrebe in želje uporabnikov. V primeru, da načrtovalci upoštevajo te značilnosti in zahteve, ima regulacijski sistem dobre temelje za uspešno delovanje (Orgulan, 2010).

3.3.3 Rezultati vgradnje sistema

Vgradnja sistema za regulacijo razsvetljave pusti posledice na dveh področjih. Na prvem mestu je zadovoljstvo uporabnikov. Ocena rezultatov na tem področju je precej opisna in subjektivna, saj ima vsak posameznik drugačne želje, navade in prioritete glede svojega okolja, na kar ima osvetljenost velik vpliv. Na splošno pa je delovanje sistema dobro, če je dovolj fleksibilno za zadovoljevanje večine potreb ljudi.

Na drugi strani so na področju varčevanja z električno energijo povsem merljivi rezultati. Končni rezultat prihranka energije je odvisen od karakteristik stavbe, količine naravne svetlobe in lastnosti samega sistema oziroma njegovega delovanja, tako da je za vsak primer rezultat in učinek drugačen in specifičen. V splošnem pa je prihranek energije okrog 15 odstotkov; v industrijski uporabi, kjer ni nekega nadzora

nad ugašanjem svetilk, pa je lahko rezultat mnogo višji, celo do 40 odstotkov (Orgulan, 2010).

4 ZAKONSKE ZAHTEVE IN STANDARDI

Pri projektu posodobitve razsvetljave ne moremo mimo zakonov in predpisov, ki urejajo to področje. Krovni zakon, ki določa temeljna načela, zahteve, pravice in dolžnosti delodajalca in delavca v zvezi z varnim in zdravim delom, je Zakon o varnosti in zdravju pri delu (Uradni list RS, št. 56/1999). Na podlagi 1. člena tega zakona je ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve izdalo Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih (Uradni list RS, št. 89/1999), ki natančneje določa ureditev, opremo in vzdrževanje delovnih mest. Določila tega pravilnika pa so preskromno določena za operativno delo na področju razsvetljave, zato se pravilnik glede zahtev za razsvetljavo pri delu sklicuje na določila slovenskih standardov za razsvetljavo na delovnih mestih. Standard, ki se nanaša na delovno razsvetljavo na delovnih mestih v prostorih, je standard SIST EN 12464-1, ki določa smernice in zahteve na področju razsvetljave delovnih mest.

4.1 Zakon o varnosti in zdravju pri delu

Med temeljnimi načeli določa zakon v prvem odstavku petega člena naslednje: »Delodajalec je dolžan zagotoviti varnost in zdravje delavcev v zvezi z delom. V ta namen mora delodajalec izvajati ukrepe, potrebne za zagotovitev varnosti in zdravja delavcev, vključno s preprečevanjem nevarnosti pri delu, obveščanjem in usposabljanjem delavcev, z ustrezno organiziranostjo ter potrebnimi materialnimi sredstvi.« V drugem odstavku istega člena pa nadaljuje: »Delodajalec je dolžan izvajati take preventivne ukrepe in izbirati take delovne in proizvodne metode, ki bodo zagotavljale večjo stopnjo varnosti in zdravja pri delu, ter bodo vključene v vse aktivnosti delodajalca in na vseh organizacijskih ravneh.«

Na strani delodajalca je torej obveza, da na vseh ravneh čim bolj poskrbi za primerno delovno okolje, ki varuje življenje, zdravje in delovne zmožnosti delavca ter preprečuje poškodbe pri delu, poklicne bolezni in bolezni, ki so posledica dela oziroma so z delom povezane. Delovno okolje mora glede na naravo dela zagotavljati delavcu varnost in ne sme ogroziti njegovega zdravja. V 6. členu zakon določa tudi, da se mora delodajalec prilagajati tehničnemu napredku ter mora razvijati celovito varnostno politiko, ki vključuje tudi delovne pogoje ter dejavnike delovnega okolja. Zakon torej spodbuja delodajalce, da izvajajo procese izboljšanja

delovnih pogojev, med katere vsekakor spada razsvetljava oziroma osvetlitev delovnih mest.

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

Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih je izvršilni predpis s področja varnosti in zdravja pri delu, ki ima podlago v 1. členu Zakona o varnosti in zdravju pri delu. V njem so določene zahteve o prezračevanju delovnih mest, temperaturi v prostorih, fizični postavitvi in ureditvi prostorov, urejenosti prometnih poti oziroma poti za gibanje, namembnosti prostorov in ne nazadnje tudi o razsvetljavi delovnih prostorov.

V pravilniku je osem členov, ki določajo zahteve o razsvetljavi delovnih prostorov. Za samo prenovo razsvetljave sta najpomembnejša 31. in 34. člen pravilnika. V 31. členu je glede umetne razsvetljave določeno, da mora delodajalec zagotoviti, da so delovni prostori sploh opremljeni z umetno razsvetljavo. Osvetljenost delovnih mest, ki jo zagotavlja umetna razsvetljava, mora ustrezati vidnim zahtevam delavcev pri delu na takšnih delovnih mestih, za izpolnjevanje teh zahtev pa mora delodajalec upoštevati določila slovenskih standardov za razsvetljava na delovnih mestih. Pravilnik še doda, da mora na stalnih delovnih mestih (neodvisno od vidnih zahtev) osvetljenost znašati najmanj 200 lx. Delovna mesta, na katerih delavci opravljajo dela z večjimi vidnimi zahtevami, pa mora delodajalec opremiti z dodatno lokalno razsvetljavo.

V 34. členu pravilnika je zapisano, da morajo biti svetlobna telesa v delovnih prostorih razporejena in nameščena tako, da sama po sebi ne ogrožajo varnosti in zdravja delavcev ter da ne smejo popačiti barv in povzročati bleščanja. Delodajalec mora zagotoviti tudi redno vzdrževanje in čiščenje svetlobnih teles.

4.3 Standard SIST EN 12464-1

Standard SIST EN 12464-1 (Gspan in Žebovec, 2006) obravnava zahteve za razsvetljava na delovnih mestih v prostorih. Njemu soroden je standard SIST EN 12464-2, ki velja za delovna mesta na prostem. Oba standarda predstavljata trden temelj za projektiranje, presojo ustreznosti in vzdrževanje razsvetljave za delo na

delovnih mestih. Standarda definirata zahteve za razsvetljavo z vidika zmožnosti za opravljanje vidnih nalog, udobja pri delu in varnosti. Med zahteve spadajo tudi postavke dobrega gospodarjenja in racionalne rabe energije.

Standard vsebuje določila več kot tristo gesel (delovnih prostorov) s področij, kot so promet, industrija in obrt, trgovina, zdravstvo, javni prostori in drugi. Za vsakega od delovnih prostorov postavlja standard tri glavne zahteve, ki jih mora razsvetljava na delovnem mestu izpolnjevati:

- povprečna vzdrževana osvetljenost,
- mejna vrednost dopustnega bleščanja,
- zahtevana stopnja mere primerljivosti barv.

Povprečna vzdrževana osvetljenost pomeni tisto osvetljenost, pod katero povprečna osvetljenost na določeni površini ne sme nikdar pasti. To pomeni, da je potrebno vzdrževanje vsakič, ko povprečna osvetljenost na delovni površini pade pod to vrednost. Sem na primer spada menjava izrabljenih ali pokvarjenih svetil ali pa čiščenje stekel svetilk. Zato, da vzdrževanje ni prepogosto in s tem predrago, se začetno oziroma imensko osvetljenost nove razsvetljave postavi višje od te zahtevane vzdrževane osvetljenosti. Na tak način je tudi v primeru izpada nekaterih svetil oziroma zmanjšanja svetilnosti svetilk, osvetljenost prostorov nad zahtevano vzdrževano osvetljenostjo in s tem v skladu z zakonodajo.

Druga zahteva standarda je stopnja bleščanja. Bleščanje nastane zaradi prevelike svetlosti opazovanega predmeta ali prevelikega kontrasta med okolico in opazovanim predmetom. Njegova lastnost je, da onemogoča videnje in zmanjšuje udobje človeka, zato mora ostati na primerno nizkih ravneh. Da bi se izognili bleščanju, obstaja več ukrepov, kot so razporeditev svetilk in delovnih mest, obdelava delovnih površin, omejevanje svetlosti svetilk, povečanje svetleče površine svetilk in obarvanje stropa in stene v svetle barve.

Tretje določilo standarda je zahtevana stopnja mere primerljivosti barv, saj le ta pomembno vpliva na počutje in zdravje človeka. Za barvno zahtevna dela mora biti glede na zahteve standarda ustrezno visoka, zato je važna izbira pravih svetil.

5 PRIMER POSODOBITVE RAZSVETLJAVE

Do te točke diplomskega dela sem opisoval splošna dejstva in zahteve iz področja svetlobe in notranje razsvetljave. Tako so bile podane značilnosti svetlobe, njen vpliv na človeka, možnosti tehnologije razsvetljave in zakonske obveze delodajalcev. V tem in naslednjem poglavju pa je opisan praktičen primer posodobitve razsvetljave v podjetju Fructal, d. d., in ocena ekonomske upravičenosti te investicije.

5.1 Podjetje Fructal, d. d.

Fructal, d. d., je slovensko živilsko podjetje, ki se v osnovi ukvarja s proizvodnjo pijač. Sem spadajo sokovi, nektarji, sadne pijače, vode, sirupi ter alkoholne pijače. Asortiment izdelkov za široko potrošnjo zaključujejo še sadne rezine in otroška hrana (Fructalovi izdelki, 2010). Poleg naštetih izdelkov za končne kupce se v Fructalu, d.d., ukvarjajo še s pripravo sadnih baz za mlečno industrijo (npr. pripravki za sadne jogurte). Na sliki 10 je prikazan prepoznaven logotip ter slogan podjetja.



Slika 10: Logotip podjetja Fructal, d. d.

5.1.1 Zgodovina podjetja

Začetek proizvodnje sega v leto 1945, natančneje 5. oktobra 1945 je bilo ustanovljeno Pokrajinsko podjetje za izvoz in predelavo sadja. Takrat je pet delavcev začelo s proizvodnjo žganja v opuščeni zgradbi tekstilne tovarne. Njihova prva oprema je bil pretihotapljen kotel iz Lipice in star nemški kotel za prekuhanje oblek. Kljub temu se je razvoj podjetja hitro začel. Nova oprema, novi izdelki in

dodatni zaposleni so do leta 1955 privedli do podjetja, ki se je preimenovalo v »Fructal, Sadno – likerski kombinat Ajdovščina«, ki je imelo 251 zaposlenih in ki je bilo na poti rekonstrukcije in modernizacije. Vendar je to še vse bil obrtniški način dela.

V letu 1962 so se v podjetju odločili, da preidejo iz takega obrtniškega dela na pravo industrijsko proizvodnjo. Tako se je leto zatem začela gradnja novih proizvodnih prostorov, v katere so uvajali mehanizirane proizvodne linije. Modernizirali so tudi tehnološke procese in notranji transport ter se že takrat v skrbi za zdravo življenje in pozitiven odnos do narave odločili za zahtevnejšo proizvodnjo brez kemijskih konzervansov. Tako so bili postavljeni temelji za Fructalovo kakovost in ime. Od tedaj naprej je z nenehnimi vlaganji in posodobitvami v tehnologijo, procese in ljudi podjetje vseskozi ostalo konkurenčno.

Leta 1971 se je zgodil nov mejnik, saj se je Fructalu pridružilo ljubljansko podjetje Alko. Skupna družba Fructal – Alko je takrat proizvajala vse od polizdelkov, sadnih sokov in marmelad (Fructal) pa do alkoholnih pijač, sirupov in brezalkoholnih pijač (Alko). Zaradi bližine surovin (veliki nasadi sadja v bližini) je kmalu sledila dogradnja predelovalnega obrata Frigos v Bosni in Hercegovini (1973) in nakup obrata Irig v Srbiji (1984). Uspešno sodelovanje z obrati v bratskih republikah Jugoslavije je nato leta 1991 prekinil razpad Jugoslavije in kasnejši zapleti v zvezi z njim.

V novih pogojih tržnega gospodarstva si je Fructal hitro opomogel. Dobil je nove nabavne trge in si pridobival kupce na novih prodajnih trgih. Še vedno so pomembno vlogo v podjetju imele investicije v najmodernejšo opremo. Ob vsem tem pa sta v prvi polovici 90. let potekala tudi dva večja projekta. To sta bila izgradnja sistema kakovosti ISO 9001 ter lastninsko preoblikovanje podjetja (v letu 1996 je družbeno podjetje postalo delniška družba). V zvezi z lastništvom družbe je velik mejnik tudi leto 2001. Takrat je postala Pivovarna Union, d. d., s sovražnim prevzemom večinska lastnica podjetja. Danes posledično spada podjetje v skupino Pivovarna Laško Group in kot njen sestavni del ostaja vodilni slovenski proizvajalec izdelkov iz sadja (Zgodovina, 2010).

5.1.2 Podjetje danes

Fructal, d. d., zaposluje približno 400 zaposlenih na dveh lokacijah v Sloveniji. Podjetje vodi enočlanska uprava, ki jo voli in nadzira nadzorni svet. V nadzornem svetu so trije člani. Dva sta predstavnika kapitala in ju z navadno večino voli skupščina družbe, eden pa je predstavnik delavcev, ki ga izvoli svet delavcev (Organi družbe, 2010). Poleg matičnega obrata v Ajdovščini ima še obrat na Duplici pri Kamniku.

Na lokaciji v Ajdovščini redno obratuje 10 proizvodnih linij. Med pomembnejšimi so linije *Tetra Pak*, *Aseptika*, *polnjenje v stekleničko*, *otročka hrana*, *sadne rezine* in seveda linija *predelave sadja*. V podjetju poteka predelava od junija do oktobra, ko predelajo tri vrste sadja, in sicer breskve, hruške in jabolka.

5.1.3 Okolje in narava kot vrednota podjetja

Fructalov prepoznaven slogan »v sodelovanju z naravo« (slika 10) pove, da v organizaciji zaseda zelo pomembno mesto pozitiven odnos do narave. Le ta se izraža skozi Fructalove izdelke, ki so rezultat tehnološko zahtevne predelave naravnih plodov. Na tak način izdelki ohranijo vse bogastvo naravnih vsebin brez umetnih kemičnih dodatkov. Posledično je proizvodnja kot celota prijazna do okolja in pušča zelo majhen pečat na naravo.

Sodelovanje z naravo pa je prisotno tudi na energetskega področju. Čim bolj varčno in okolju prijazno ravnanje z energetskimi in surovinskimi viri je eden izmed ciljev družbe. Zato je v letu 2008 podjetje pristopilo k izvedbi energetskega pregleda, ki je podal smernice za racionalizacijo rabe energije.

5.1.4 Energetski pregled podjetja

Energetski pregled podjetja Fructal, d. d., vsebuje natančen opis rabe energije. Najprej je predstavljeno trenutno stanje, nato pa so na osnovi izvedenih zahtevnejših meritev in specifičnih analiz rabe in stroška električne energije, pare, toplote, hladilne energije in komprimiranega zraka podane smernice za racionalizacijo rabe energije. Podani so tako organizacijski ukrepi za zmanjšanje porabe energije kot tudi smernice za investicijsko odločanje v energetske naprave.

Pod organizacijske ukrepe sodijo vsi tisti ukrepi, ki ne zahtevajo investicijskih vlaganj, temveč le nove nastavitve določenih parametrov delovanja naprav ter osveščeno ravnanje zaposlenih. Sem spadajo organizacijski ukrepi na področju porabe pare, optimizacija porabe toplote za ogrevanje prostorov, optimizacija obratovanja hladilnih in klimatizacijskih sistemov v poletnem času ter enostavni organizacijski ukrepi na področju razsvetljave.

Na drugi strani so investicijski ukrepi zahtevnejši in obsežnejši v primerjavi z organizacijskimi tako po izvedbi kot tudi po pridobivanju potrebnih investicijskih sredstev. Za ukrepe, ki zahtevajo višjo investicijo, je pred izvedbo običajno potrebna podrobnejša analiza, zbiranje ponudb ter na koncu seveda uskladitev z vodstvom podjetja. Predlogi teh investicijskih ukrepov so odprava puščanj komprimiranega zraka, izraba odpadne toplote zračnega kompresorja, hlajenje vstopnega zraka za klimatizacijo prostorov s tehnološko vodo, frekvenčna regulacija tehnološkega črpališča, izraba odpadne toplote na liniji polnjenja v stekleničke na komori za hlajenje in ne nazadnje rekonstrukcija razsvetljave v podjetju. Glede na to, da je bila obstoječa razsvetljava dokaj zastarela (tudi 20 let in več), so v podjetju spoznali, da so na tem področju možne občutne izboljšave delovnih pogojev in hkrati veliki prihranki energije. Posledično so se odločili investirati v nove sisteme, s katerimi bi izboljšali osvetljenost prostorov in prihranili pri porabljeni energiji in pri stroških poslovanja (Energetski pregled, 2008).

5.2 Začetek projekta posodobitve razsvetljave

Zadnja leta je bila razsvetljava na nekaterih mestih po proizvodnem obratu nezadostna za kvalitetno opravljanje delovnih nalog. Razlog za to je bila predvsem starost svetilk in njihova kratka življenjska doba. Ene svetilke so svetile slabo, druge pa sploh niso svetile. Rešitev je bila posodobitev celotne razsvetljave po sektorjih podjetja, kar bi izboljšalo delovne pogoje in tudi zmanjšalo porabo energije in strošek zanjo. Najprej so uspešno izvedli projekt posodobitve razsvetljave v skladiščnih in nekaterih manjših proizvodnih prostorih, sedaj pa v družbi načrtujejo nadaljnjo posodobitev razsvetljave, tokrat v proizvodni hali *Aseptika*, kjer se nahaja linija za aseptično polnjenje pijač v plastenke PET.

5.2.1 Posodobitev razsvetljave v prostorih skladišča

Kot primer dobre prakse bom najprej na kratko opisal projekt posodobitve razsvetljave v prostorih skladišča končnih proizvodov. Ta projekt se je začel že v letu 2009, zaključil pa se je med obdobjem mojega praktičnega usposabljanja na podjetju, spomladi 2010.

V vseh prostorih skladišča so bile pred posodobitvijo v večjem delu nameščene stare potratne svetilke, ki so imele vgrajene visokotlačne živosrebrne sijalke. Življenjska doba samih živosrebrnih sijalk je po izkušnjah elektrikarjev na podjetju le dve leti oziroma približno 12.000 ur. Tudi njihov izkoristek tekom uporabe občutno pada, tako da je bilo večkrat mogoče videti, kako so živosrebrne sijalke le še rahlo brlele, kar je negativno vplivalo na počutje ljudi.

Med prenovo razsvetljave v skladišču se je zamenjalo stara svetila z novimi, v nekaterih delih prostora pa se je zaradi prenove delovnih procesov in posledično večje potrebe po osvetljenosti namestilo dodatna svetila. Postavilo se je tudi novo električne instalacijo, senzor dnevne svetlobe ter avtomatski krmilnik svetil. Nova svetila so razdeljena v 8 skupin, tako da je omogočeno ločeno vžiganje posameznih skupin luči. Ta nova svetila imajo vgrajene po 4 fluorescentne sijalke, ki imajo podaljšano življenjsko dobo (tudi do 60.000 ur, vendar realno okrog 40.000 ur, kar v tem primeru pomeni okrog 5 let), visok izkoristek ter maksimalno svetilnost v širokem temperaturnem razponu med 5 in 70 °C. Zaradi prilagodljivih oblik refleksij je dosežena optimalna pokritost in razpršenost svetlobe. Konektor s petimi žicami omogoča prižiganje le polovice svetilke, kar omogoča dodaten prihranek energije (Reflecta EcoPower, 2010). Da bi lahko izkoriščali to prednost, je bilo potrebno namestiti senzor dnevne svetlobe in avtomatski krmilni sistem. Senzor pošilja v krmilnik podatke o dnevni zunanji svetlobi, ki skozi strešne svetlobne kupole, vrata in okna, prihaja v prostore skladišča. Krmilnik nato na podlagi kriterijev, ki so vneseni vanj, in podatkov iz sensorja, ustrezno vklaplja in izklaplja posamezne skupine luči. V krmilniku je določen tudi časovnik, ki določa, kdaj naj bodo luči sploh prižgane. V izrednih primerih ali v primeru odpovedi krmilnika je tu še možnost ročnega vklopa in izklopa luči. Krmilnik je povezan z mrežnim kablom, tako da je možno upravljanje razsvetljave tudi od drugod. Tako je v vratarnici podjetja preko računalnika možen vklop in izklop katerihkoli luči. Krmilnik tudi

shranjuje podatke o preteklem času delovanja posameznih skupin svetil. Tako lahko upravljavec razsvetljave spremlja delovanje sistema in v primeru izstopajočih rezultatov popravi regulacijo sistema.

Hiter pregled stanja pred posodobitvijo in po njej je v tabeli 4. Pri tem velja še enkrat poudariti, da bi bilo v primeru enakega področja osvetlitve število svetilk po posodobitvi še manjše in zato prihranek večji. Za boljšo predstavo stanja v skladišču je primerjava razsvetljave prikazana na sliki 11 (na levi strani slike je stanje razsvetljave pred posodobitvijo, na desni pa po njej).

Tabela 4: Primerjava stanja razsvetljave pred in po posodobitvi v skladišču

	Pred posodobitvijo	Po posodobitvi
Skupno število svetilk	89	68
Skupna moč (W)	38.220	15.708
Poraba el. energije na leto (kWh)	238.493	58.811
Strošek za el. energ. na leto (EUR)	16.695	4.117
Strošek vzdrževanja na leto (EUR)	1.053	209
Letni ocenjeni prihranek (EUR)	13.422	



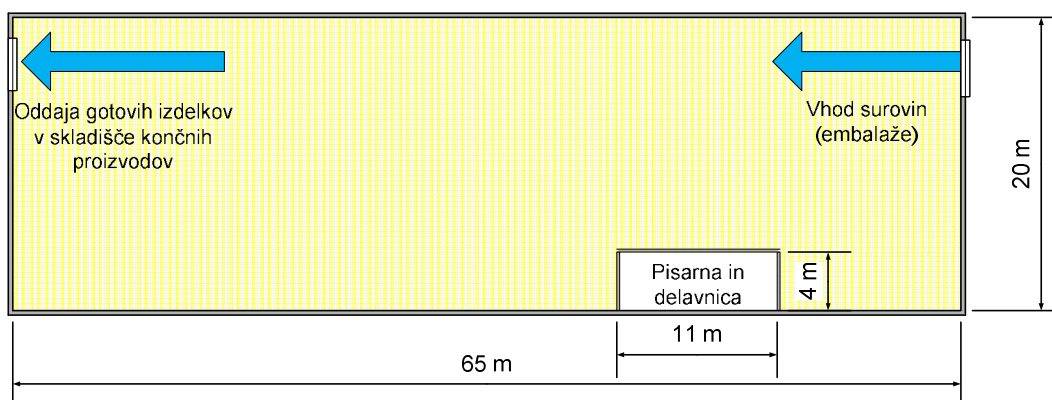
Slika 11: Primerjava razsvetljave pred posodobitvijo in po njej

5.3 Posodobitev razsvetljave v proizvodni hali Aseptika

5.3.1 Opis hale

V hali Aseptika se nahaja proizvodna linija za aseptično polnjenje pijač v PET-plastenke. Na tej liniji nastaja družina izdelkov sadnih pijač Fruc. Proizvodnja poteka čez celo leto v treh izmenah, tako da je število obratovalnih ur in s tem potencial prihranka na področju razsvetljave velik.

Kot vidimo na sliki 12, ki prikazuje tloris objekta, celoten prostor sestoji iz dveh delov. Poglavitni del prostora predstavlja proizvodni del hale, kjer so nameščeni stroji in tekoči trakovi za potrebe proizvodnje pijač. Na manjšem delu (na spodnjem delu tlorisa) pa se nahajata prostora pisarne in elektromehanične delavnice, ki imata svojo lastno razsvetljavo. Projekt posodobitve razsvetljave torej zajema le proizvodni del prostora, ki je na sliki rumeno obarvan in čigar površina znaša 1256 m². Ves ta prostor mora biti osvetljen s povprečno vzdrževano osvetljenostjo 200 luksov (Gspan in Žebovec, 2006). Takšno osvetljenost zahteva tako Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih kot tudi standard SIST EN 12464-1. Osvetljenost mora biti po vsej površini enako intenzivna, saj se proizvodna linija razteza po vsej hali. Na posameznih delovnih mestih, kjer je zahtevana večja osvetljenost, je razsvetljava rešena ločeno. Tam je po potrebi postavljena dodatna lokalna razsvetljava v obliki dodatnih svetilk.



Slika 12: Tloris hale Aseptika

Ugodna okoliščina v prostoru je velika količina naravne dnevne razsvetljave, ki prihaja skozi štiri vrste strešnih kupol oziroma strešnih svetlobnih plošč, ki se

raztezajo po celotni dolžini hale. Celotna površina svetlobnih plošč je 260 m^2 , tako da ob sončnem dnevu doteka skoznje dovolj svetlobe za obratovanje proizvodnje s povsem izključeno umetno razsvetljavo.

5.3.2 Stanje razsvetljave pred posodobitvijo

Pred posodobitvijo razsvetljujejo halo običajne svetilke srednjega kakovostnega razreda z vgrajenimi fluorescentnimi sijalkami, katerih življenjska doba je 3 leta. Prisotnega ni kakršnegakoli krmiljenja, zato se svetilke vklaplja in izklaplja ročno. V hali je nameščenih 106 svetilk. 100 svetilk je pritrjenih na nosilce, ki so prečno postavljeni po celotni dolžini hale. Višina teh svetilk je 5,20 metra nad tlemi. Dodatnih 6 svetilk je zaradi večje potrebe po osvetljenosti nameščenih na zid ob paletizerju in ovijalcu na koncu hale. V vsaki izmed teh 106 svetilk sta nameščeni 2 fluorescentni sijalki z močijo 58 W. Torej je moč vsake svetilke skupaj s porabo elektronike 140 W, kar pomeni skupno moč vseh svetilk 14.840 W.

Za izračun porabe energije je potrebno imeti poleg moči še podatek o številu svetilnih ur. Določitev števila svetilnih ur ni povsem natančna, saj evidence o tem ni, je pa naslednja določitev najboljši možni približek za nadaljnje izračune. Z izjemo praznikov in dela prostih dni poteka proizvodnja vsak teden v letu v treh izmenah. Tako privzamem za dovolj točen približek podatek, da hala obratuje 50 tednov v letu. V enem tednu je 120 delovnih ur (5 dni po 24 ur), torej je seštevek vseh delovnih ur v enem letu 6.000. Za število realnih svetilnih ur je treba od te številke odšteti še znesek ur, ko je razsvetljava kljub obratovanju proizvodnje ugasnjena, saj v halo predvsem v poletnih mesecih doteka velika količina naravne dnevne svetlobe. Po podatkih iz Fructala naj bi bila razsvetljava izklopljena povprečno 6 ur na dan. To se tudi ujema s številom sončnih ur v Vipavski dolini, ki v povprečju med leti 2000 in 2008 dosega 2.232 ur letno oziroma 6,12 ure dnevno (Številko, 2010). Število ur, ko razsvetljava obratuje, torej znaša 4.500 letno, 90 tedensko in 18 dnevno.

Ocenjena poraba električne energije za razsvetljavo prostora Aseptika je v trenutnem stanju torej 66.780 kWh letno.

5.3.3 Cilji posodobitve razsvetljave

V podjetju so si pred začetkom investicij v razsvetljavo zadali več ciljev, ki so podlaga za ocenjevanje uspešnosti investicije. Cilje bi lahko uvrstili v tri kategorije:

- tehnično-tehnološki cilji,
- ekonomski cilji,
- okoljski cilji.

5.3.3.1 Tehnično-tehnološki cilji

Ti cilji so za podjetje najbolj pomembni, saj sem spada izboljšanje osvetljenosti delovnega okolja. Na nekaterih mestih prej obstoječa razsvetljava namreč ni dovolj dobro osvetljevala delovnega prostora. Cilj za novo razsvetljavo je izboljšati osvetljenost najmanj na vrednosti, ki jih zahtevata zakon in standard SIST EN 12464-1. V večini primerov na podjetju to pomeni minimalno osvetljenost 200 lx. Poleg osvetljenosti spada pod to kategorijo še izboljšanje kvalitete same svetlobe. To pomeni, da mora biti na mestih, kjer svetloba v obstoječem stanju ni človeku prijazna, izboljššan indeks primerljivosti barv vsaj na vrednost 80 in popravljeno razmerje med osvetljenostjo in barvno temperaturo. Le ta mora biti glede na dano osvetljenost na območju nevtralnno bele barve. Tudi bleščanje, ki je moteč dejavnik pri razsvetljavi, mora biti v največji možni meri odpravljeno.

5.3.3.2 Ekonomski cilji

Za razsvetljavo delovnih mest je na podjetju Fructal, d. d., nameščenih za približno 256 kW svetil, ki letno porabijo približno 500.000 kWh električne energije. Poraba električne energije za razsvetljavo tako predstavlja desetino celotne porabe elektrike in ob ceni 0,07 EUR za kWh (podatek iz leta 2009) predstavlja letni strošek v višini 35.000 EUR. Glede na starost obstoječe razsvetljave je potencial prihranka velik. Glavni ekonomski cilj projekta pa je, da mora biti prihranek na področju električne energije in vzdrževanj tako velik, da je čas vračanja investicije manjši od treh let, interna stopnja donosnosti pa je višja od 20 odstotkov. Pri prihranku električne energije sta najpomembnejša izkoristek svetlobe svetlobnih virov ter svetilk in optimalna regulacija delovanja razsvetljave. Za čim večji prihranek na strani

vzdrževanja je najbolj pomembna življenjska doba svetlobnih virov in svetilk s spremljajočo elektroniko.

5.3.3.3 Okoljski cilji

Okoljski cilji so za podjetje Fructal, d. d., še posebej pomembni. Vsakršno zmanjšanje porabe električne energije pomeni zmanjšanje obremenjevanja okolja in posredno zmanjšanje izpusta toplogrednega plina CO₂ v okolje. Za Slovenijo velja podatek, da se za vsako porabljeno kWh električne energije ustvari in izpusti v okolje 0,469 kilograma CO₂ (Objava, 2010). Z zmanjševanjem porabe električne energije se tako znižuje specifična emisija CO₂ podjetja, ki pove, koliko kilogramov plina CO₂ spusti podjetje v okolje za proizvodnjo ene tone izdelkov.

5.3.4 Izbira tehnologije nove razsvetljave

Pri izbiri tehnologije za novo razsvetljavo smo upoštevali vse zakonske zahteve o razsvetljavi, lastnosti samega prostora, zadane cilje in izkušnje iz prvega projekta posodobitve razsvetljave v skladiščnih prostorih.

Od začetnih treh možnih tehnologij svetil, kamor spadajo žarnice, sijalke in svetleče diode, smo na samem začetku zaradi stare tehnologije in slabega svetlobnega izkoristka izključili žarnice. Med sijalkami smo takoj odmislili visokotlačne sijalke, ki imajo za tako nizko postavljeno razsvetljavo (višina nosilcev je 5,20 metra) preveč skoncentriran sij oziroma preveliko svetlost, ki bi povzročala bleščanje in prevelike sence. Med nizkotlačnimi sijalkami so natrijeve sijalke zaradi svoje slabe mere primerljivosti barv povsem neprimerne za industrijsko rabo, varčne žarnice pa so zaradi nizkih moči in visokih cen neprimerne za tako velik prostor. Tako smo prišli do dveh tehnologij, ki bi bile primerne za osvetlitev proizvodnega prostora Aseptika. To sta tehnologiji fluorescentnih sijalk in svetlečih diod, ki smo ju natančneje primerjali. Pri tej primerjavi je treba poudariti, da so svetleče diode trenutno v procesu intenzivnega razvoja in se zato njihove lastnosti neprestano spreminjajo. Njihove karakteristike so močno odvisne od nabavne cene in od okolja, v katerem delujejo. Celo strokovnjaki se ne morejo zediniti o prednostih in slabostih svetlečih diod, zato je naslednja mrežna analiza za pomoč pri odločanju naša ocena na podlagi vseh informacij, ki smo jih lahko dobili. Tehniko mrežne analize smo izbrali zato,

ker vsako opcijah ocenjuje po različnih faktorjih, ki se jim določi tudi njihovo pomembnost.

5.3.4.1 Mrežna analiza

Mrežna analiza je metoda systemskega inženiringa za vrednotenje in izbor idej oziroma rešitev. Uporablja se takrat, ko je na voljo več opcij in več faktorjev, ki so pomembni pri odločitvi. Vsako možno rešitev torej oceni po več različnih faktorjih, poleg tega pa za vsak faktor določi njegovo pomembnost oziroma težo. Različne možnosti se po vseh faktorjih ocenjuje od 0 (slabo) do 3 (zelo dobro). Teža faktorja pa se oceni s številkami od 1 do 5, kjer 1 pomeni najmanjšo, 5 pa največjo pomembnost. Možnost, ki dobi največ točk, je na podlagi danih kriterijev najboljša možnost za rešitev problema (Cikajlo, 2009).

Za naš primer odločanja imamo torej možnosti tehnologije fluorescentnih sijalk ali svetlečih diod. Izbrali smo pet faktorjev, po katerih smo ocenjevali ti dve možnosti:

- kvaliteta svetlobe,
- cena svetilk,
- poraba energije,
- življenjska doba,
- vzdrževanje v primeru okvar.

Od teh petih faktorjev je pri dveh potrebno dodatno pojasnilo. Pri faktorju kvalitete svetlobe smo upoštevali mero primerljivosti barv dane svetlobe in možnost izbire temperature svetlobe. Pri vzdrževanju pa smo se osredotočili predvsem na zahtevnost in ceno posegov v primeru okvar svetilk.

V mrežno tabelo (tabela 5) smo vstavili ustrezne ocene in težo faktorjev in dobili skupno oceno 38 za tehnologijo svetilk z vgrajenimi fluorescentnimi sijalkami ter 28 za tehnologijo svetlečih diod. Posledično smo se odločili za zadnjo generacijo visoko kakovostnih svetilk z vgrajenimi fluorescentnimi sijalkami.

Tabela 5: Mrežna analiza izbire tehnologije svetilk

	Kvaliteta svetlobe	Cena	Poraba energije	Življenjska doba	Vzdrževanje	Skupaj
Teža	5	4	4	3	2	
Fluorescentne sijalke	2	2	2	2	3	38
Svetleče diode	1	0	3	3	1	28

5.3.5 Načrtovano stanje razsvetljave po posodobitvi

Načrtovanje same razsvetljave in izvedbo računalniških simulacij smo prepustili podjetju Svetloba, d. o. o., ki je eno najuspešnejših podjetij v kategoriji mikro, malih in srednje velikih podjetjih in kot tako popoln ekspert na področju projektiranja razsvetljave in proizvodnje visoko kakovostnih svetilk.

Na podlagi zahtev o osvetljenosti delovnega prostora so nam izdelali najbolj optimalen načrt razsvetljave in zraven priložili razne analize in simulacije osvetljenosti delovne površine (primer na sliki 13). Predvidena nova razsvetljava bi tako zahtevala 58 svetilk z vgrajenimi najnovejšimi fluorescentnimi sijalkami. Te svetilke spadajo v višji kakovostni razred, zato imajo dolgo življenjsko dobo in višjo energetske učinkovitost. Uspešno namreč odvajajo toploto, tako da se življenjska doba sijalk in predvsem elektronskih predstikalnih naprav podaljša in možnost okvar zmanjša. Za boljšo energetske učinkovitost pa skrbijo poleg sijalk in posebne industrijske elektronike tudi refleksije svetilk, ki so zaradi nanosa aluminija in srebra kar od 95 do 98 odstotkov odbojne. Vsaka svetilka ima vgrajeni 2 fluorescentni sijalki moči 49 W, kar v kombinaciji z najnovejšo elektroniko, ki se prilagaja dejanski porabi, pomeni skupno moč svetilke 92 W (Reflecta Oval, 2010).

50 svetilk bi bilo obešenih na obstoječe nosilce, dodatnih 8 svetilk pa bi bilo nameščenih na steno na vsaki strani hale, kot prikazuje slika 13. S tem bi dosegli povprečno osvetljenost 245 lx, kar za 22 odstotkov presega zakonsko predpisano mejo, ki znaša 200 lx. Skupna moč nove razsvetljave bi bila 5.336 W.



Slika 13: Računalniška simulacija razsvetljave po posodobitvi

V halo bi na novo vgradili tudi inteligentni senzorski krmilni nadzor, ki bi ugašal in prižigal svetilke v odvisnosti od prisotnosti dnevne svetlobe. Svetilke bi bile razporejene v 8 medsebojno neodvisnih skupin, ki bi jih nato krmilnik na podlagi vnesenih parametrov in podatkov iz sensorja dnevne svetlobe prižigal in ugašal skladno s potrebami osvetljenosti. Na tak način bi zaradi zmanjšanja svetilnih ur posameznih luči ob oblačnem vremenu in ob prehodih iz dneva v noč dodatno prihranili 25 odstotkov električne energije.

Poraba električne energije v enem letu bi torej na podlagi podatkov o skupni moči svetilk ter prihrankov zaradi senzorskega sistema znašala 18.009 kWh. Letni prihranek energije bi tako znašal 48.771 kWh, kar bi posredno znižalo izpuste toplogrednega CO₂ v okolje za 22.874 kg.

6 OCENA EKONOMSKE UPRAVIČENOSTI POSODOBITVE

Posodobitev razsvetljave predstavlja poleg izboljšanja same osvetljenosti prostorov tudi naložbo v stalna sredstva, od katere se pričakujejo pozitivni finančni učinki. Namreč med življenjsko dobo nove opreme nastajajo prihranki na področju energije in na področju vzdrževanja opreme. Ob primerjavi stroškov pred posodobitvijo in po njej lahko z metodo interne stopnje prihranka izračunamo kriterije učinkovitosti posodobitve (Vončina, 2008).

6.1 Stroški in prihranki

Učinki posodobitve razsvetljave bi bili vidni na zmanjšanju stroškov porabe energije in zmanjšanju stroškov vzdrževanja. Poraba energije bi se zmanjšala zaradi energetsko učinkovitejših svetil in zaradi avtomatskega senzorskega krmiljenja; vzdrževanje pa bi bilo zmanjšano zaradi podaljšane življenjske dobe svetilk in zaradi manjšega števila samih svetilk. Vsi relevantni podatki, ki smo jih rabili za izračune stroškov, prihrankov in nadaljnjih kazalcev investicije, so zbrani v prilogi 1.

6.1.1 Stroški pred posodobitvijo

Pred posodobitvijo razsvetljave znaša poraba električne energije 66.780 kWh na leto, kar ob ceni 0,07 EUR za kWh predstavlja strošek 4.675 EUR. Na področju vzdrževanja pa nastaja strošek zaradi menjave sijalk oziroma zaradi menjave celotnih svetilk. Sijalke imajo življenjsko dobo 13.000 ur, zato jih je potrebno menjati vsaka 3 leta, kar predstavlja strošek 551 EUR. Menjavo celotnih svetilk (elektronika in ohišje) pa je potrebno izvesti vsakih 6 let, strošek za to pa je 4.240 EUR.

6.1.2 Stroški po posodobitvi

Po posodobitvi se znižajo obe kategoriji stroškov. Zaradi boljših svetlobnih izkoristkov svetilk in zmanjšanja svetilnih ur zaradi avtomatskega krmiljenja, se bo izrazito zmanjšala poraba energije. Skupna moč sistema razsvetljave v hali se bo znižala iz 14.840 W na 5.336 W, število svetilnih ur pa se bo zaradi avtomatskega krmiljenja zmanjšalo iz 90 na 68 svetilnih ur na teden. Iz teh števil sledi, da bo poraba energije na oddelku aseptike padla iz 66.780 kWh na 18.009 kWh električne energije na leto, kar predstavlja 73 odstotni upad. Ob ceni električne energije 0,07

EUR na kWh se strošek za električno energijo razsvetljave zniža iz 4.675 EUR na 1.261 EUR.

Stroški na področju vzdrževanja se zmanjšajo zaradi boljše življenjske dobe svetil in zaradi manjšega števila svetilk. Življenjska doba nove generacije sijalk je zaradi boljše prenapetostne zaščite 25.000 ur, kar ob manjšem številu svetilnih ur zaradi regulacijskega sistema pomeni 7 let obratovanja. Tudi elektronika ima daljšo življenjsko dobo, 50.000 ur, kar pomeni ob avtomatskem krmiljenju 14 let delovanja. Na vsakih 7 let znaša strošek za sijalke 417,60 EUR, za elektroniko pa 1.450 EUR na vsakih 14 let. Samo ohišje svetilk ima zaradi vgrajenih materialov, ki so najvišje kakovosti, dolgo delovno dobo 25 let. Dobo 25 let smo privzeli tudi za življenjsko dobo celotne investicije.

6.1.3 Primerjava stroškov

Iz primerjave stroškov razsvetljave pred posodobitvijo in po njej dobimo prihranke, ki jih dosežemo z novo razsvetljavo. V tabeli 6 so zbrani podatki vseh relevantnih postavk, ki prispevajo k zmanjšanju stroškov za energijo in vzdrževanje.

Tabela 6: Učinki posodobitve razsvetljave

	Stanje pred posodobitvijo	Stanje po posodobitvi	Zmanjšanje v procentih
Skupna moč razsvetljave (W)	14.840	5.336	64 %
Svetilne ure na teden (h)	90	68	25 %
Letna poraba energije (kWh)	66.780	18.009	73 %
Letni strošek za energijo (EUR)	4.674,60	1.260,63	73 %
Strošek vzdrževanja, preračunan na letni nivo (EUR)	890,40	163,23	82 %

6.2 Investicijska vrednost

Višina celotne investicije je na podlagi ponudbe izvajalca del ocenjena na 11.000 EUR. V ceno so vključene nove svetilke, priključitveni set, električni vodniki, avtomatski senzorski nadzor, namestitev instalacije, demontaža starih svetilk in njihova ekološka odstranitev s certifikatom o zakonskem uničenju. Za financiranje investicije bi podjetje uporabilo lastna sredstva, tako da smo za nadaljnje računanje uporabljali diskontno stopnjo 4 odstotkov, kolikor trenutno znašajo obresti pri naložbenem dolgoročnem depozitnem računu.

6.3 Izračun kriterijev učinkovitosti investicije

Za izračun kriterijev učinkovitosti projektov prenove poslovnih procesov se uporablja metoda interne stopnje prihranka (ISP). Pri tej metodi se primerja le stran odlivov oziroma stroškov dveh stanj: stanja brez posegov in stanja po posegu oziroma investiciji. Rezultat te metode je doba vračanja investicije in interna stopnja prihranka.

V našem primeru smo tako naredili prikaz stroškov pred in po investiciji za dobo 10 let, kar predstavlja 40 odstotkov koriščenja investicije. Na podlagi prejšnjih izračunov smo primerjali stroške razsvetljave za stanje pred posodobitvijo in po njej ter dobili pozitivne rezultate. Celoten izračun interne stopnje prihranka je v prilogi 2.

6.3.1 Primerjava diskontiranih vrednosti stroškov

Diskontirane vrednosti vseh stroškov po nekem obdobju nam povedo, katera varianta je za določen problem najbolj optimalna. Varianta, ki ima najmanjše diskontirane stroške, je za rešitev problema najbolj ugodna.

Kot je razvidno v izračunih v prilogi 2, so v našem primeru diskontirani stroški za stanje pred izboljšavo razsvetljave 45.650 EUR, za stanje po izboljšavi pa le 21.542 EUR. Torej naložba v posodobitev razsvetljave absolutno prinaša ekonomske koristi.

6.3.2 Doba vračanja investicije

Doba vračanja investicije je kazalec, ki nam pove po kolikih letih nam pozitivni učinki investicije povrnejo vložek vanjo. Izračuna se jo lahko na dva načina, in sicer po statični ali dinamični metodi. Po statični metodi računanja se upošteva nediskontirane vrednosti denarnega toka projekta. Torej se cene denarja ne upošteva. Bolj popolna je dinamična metoda, kjer se upošteva tudi diskontno stopnjo.

V našem primeru je doba vračanja investicije tista doba, po kateri bodo prihranki na področju energije in vzdrževanja enaki višini investicije. Kot je razvidno iz bilance realnega denarnega toka v prilogi 2, je tako po statični kot tudi po dinamični metodi doba vračanja investicije 4 leta po pričetku naložbe oziroma 3. leto eksploatacije naložbe (prvi pozitivni vrednosti kumulativnega neto denarnega toka sta označeni s krepko pisavo). Projekt posodobitve razsvetljave bo vrnil vložena sredstva in začel prinašati dobiček leta 2013, kar pomeni da izpolnjuje pričakovanja podjetja.

6.3.3 Interna stopnja prihranka

Interna stopnja prihranka je dinamični kazalec učinkovitosti izboljšave. Pove nam, koliko je vredna izboljšava nekega projekta ob upoštevanju bilance realnega denarnega toka samo na strani odlivov s predpostavko, da se stran prilivov ne spreminja. Interna stopnja prihranka torej pomeni tisto diskontno stopnjo projekta, pri kateri bi bili neto sedanji vrednosti za obe varianti enaki. Pri taki stopnji diskontiranja bi bili na koncu ekonomske dobe projekta pozitivni in negativni učinki enaki nič. S projektom ne bi imeli niti dobička niti izgube.

Interno stopnjo prihranka se označi z *ISP* ali IRR, izračuna pa se jo lahko na dva načina. Prvi je uporaba funkcije IRR v programu Microsoft Excel, drugi način brez uporabe računalnika pa je način s pomočjo dveh diskontnih stopenj. Poleg individualne diskontne stopnje ($ds1$) se vzame še drugo diskontno stopnjo ($ds2$), ki mora biti višja od pričakovane interne stopnje prihranka. Za izračun *ISP* je potrebno določiti še razliko neto sedanjih vrednosti za diskontno stopnjo 1 ($\Delta 1NSV$) in za diskontno stopnjo 2 ($\Delta 2NSV$) in vse vrednosti vstaviti v enačbo (7).

$$ISP = ds1 + (ds2 - ds1) \frac{\Delta 1NSV}{\Delta 1NSV - \Delta 2NSV} \quad (7)$$

Interna stopnja donosa za projekt posodobitve razsvetljave na Fructalu, d. d., je 38,24 odstotna. Glede na to, da je stopnja donosa večja od 20 odstotkov, je iz tega vidika projekt sprejemljiv in uspešen.

7 ZAKLJUČEK

Svetloba in s tem tudi razsvetljava predstavljata pomemben gradnik vsakega življenjskega ter delovnega okolja. V večini proizvodnih podjetjih poteka delo v treh izmenah, torej tudi ponoči. Takrat pride najbolj do izraza dobra in kvalitetna svetloba, ki upošteva osnovne zakonitosti svetlobe in osvetljenosti. Dobro osvetljenje pa je mogoče dobiti le z ustrezno tehnologijo. Izbrani morajo biti ustrezni viri svetlobe s kvalitetnim spektrom svetlobe in tudi primerno energetska učinkovitostjo. Za doseganje dobrih rezultatov pa niso dovolj le primerna svetila, temveč mora biti tudi zgradba samih svetilk na visokem nivoju. Z regulacijskimi sistemi je možen dodaten prihranek energije ob enaki kvaliteti svetlobe. Ob pravilni izbiri tehnologije in ob upoštevanju zakonskih predpisov ter standardov je torej možna postavitve kvalitetne in učinkovite razsvetljave, ki izboljša delovne pogoje in hkrati predstavlja varno in donosno naložbo.

Na primeru posodobitve razsvetljave iz podjetja Fructal, d. d., smo dokazali, da je projekt posodobitve razsvetljave izboljšal energetska učinkovitost in s tem upravičil investicijo vanjo. Poraba energije se z uporabo visokokvalitetnih sijalk, svetilk in avtomatskega krmiljenja zniža za 73 odstotkov. To ne pomeni le 73 odstotkov nižje stroške razsvetljave, temveč tudi bistveno zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov, ki onesnažujejo svet (Greenhouse gas, 2010). Tudi življenjska doba nove tehnologije je daljša, kar je skupaj s prihranki energije podlaga za zanimive in izredno pozitivne rezultate. Doba vračanja projekta je namreč le 3 leta po pričetku koriščenja naložbe, interna stopnja donosnosti pa znaša 38,2 odstotka.

Posodobitev razsvetljave je močno izboljšala delovne pogoje, izkazala pa se je tudi za odlično naložbo, ki jo odlikuje visoka stopnja donosa in popolna varnost. Tako predstavlja kamenček v mozaiku na poti do poslovne odličnosti, ki si jo želi doseči vsako podjetje. Do poslovne odličnosti, ki pomeni tak način poslovanja, da se ob stalnih izboljšavah zmanjšujejo stroški, napake in popravila ter zvišuje zadovoljstvo kupcev.

8 LITERATURA

Cikajlo I. (2009). Gradivo iz predavanj pri predmetu. Metode systemskega inženiringa. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici

Energetski pregled podjetja Fructal živilska industrija d. d., Ajdovščina (2008). Interno gradivo. Ajdovščina: Fructal, d. d.

Fructalovi izdelki. Pridobljeno 19. 4. 2010 s svetovnega spleta:

<http://www.fructal.si/izdelki/>

Greenhouse Gas. Pridobljeno 5.12.2010 s svetovnega spleta:

http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas

Gspan, P., Žebovec, S. (2006). Zahteve za razsvetljavo pri delu in standard 12464. Ljubljana: ZVD Zavod za varstvo pri delu d. d.

Kovač K., A. (2009). Ne berite pod LED-svetilko. Pridobljeni 20. 7. 2010 s svetovnega spleta: <http://www.rtvsllo.si/znanost-in-tehnologija/ne-berite-pod-led-svetilko/203123>

Light-emitting diode. Pridobljeno 19. 7. 2010 s svetovnega spleta:

<http://en.wikipedia.org/wiki/LED>

Navadne žarnice bodo ugasnile. Pridobljeno 1. 7. 2010 s svetovnega spleta:

<http://24ur.com/novice/gospodarstvo/navadne-zarnice-bodo-ugasnile.html>

Objava sestave primarnih virov za proizvodnjo električne energije. Pridobljeno 31. 8. 2010 s svetovnega spleta: <http://www.elektro-ljubljana.si/LinkClick.aspx?fileticket=wPrCVV4yvbU%3d&tabid=134&language=en-US>

Ogrinc, E. (2000). Delovno okolje razsvetljava. Ljubljana: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo.

Organi družbe. Pridobljeno 19. 4. 2010 s svetovnega spleta:

<http://www.fructal.si/podjetje-fructal/organi-druzbe/>

Orgulan A. (ur.) (2006). Razsvetljava delovnih mest: zbornik. Bled: Slovensko društvo za razsvetljavo

Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih. Uradni list RS, št. 89/1999 (1999)

Prezentacija. Pridobljeno 29. 6. 2010 s svetovnega spleta:

<http://www.kvarkadabra.net/mediagallery/mediaobjects/disp/4/41ec2b8240d376cb5f83dddb1c82b4dd.jpg>

Reflecta EcoPower. Pridobljeno 13. 5. 2010 s svetovnega spleta:

<http://www.svetloba.eu/izdelki/reflecta-ecopower/>

Reflecta Oval. Pridobljeno 13. 5. 2010 s svetovnega spleta:

<http://www.svetloba.eu/izdelki/reflecta-oval/>

Sevanje. Pridobljeno 29. 6. 2010 s svetovnega spleta:

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Sevanje>

Svetleča dioda. Pridobljeno 19. 7. 2010 s svetovnega spleta:

http://sl.wikipedia.org/wiki/Svetle%C4%8Da_dioda

Število sončnih ur v Sloveniji. Pridobljeno 29. 8. 2010 s svetovnega spleta:

<http://aldanet.si/stevilo-soncnih-ur-v-sloveniji.html>

Vončina S. (2008). Gradivo iz vaj pri predmetu. Ekonomika in organizacija projektov. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici

Zakon o varnosti in zdravju pri delu. Uradni list RS, št. 56/1999 (1999)

Zgodovina. Pridobljeno 19. 4. 2010 s svetovnega spleta:

<http://www.fructal.si/podjetje-fructal/zgodovina/>

**PRILOGA 1: SPLOŠNE KALKULACIJE ZA PROJEKT POSODOBITVE
RAZSVETLJAVE**

Stanje pred posodobitvijo (star sistem razsvetljave)	A1	Svetilne ure na teden (h)		90
	A2	Število svetilk		106
	A3	Število sijalk na svetilko		2
	A4	Življ. doba sijalk (tedni)		144
	A5	Življ. doba svetilk (tedni)		300
	A6	Moč svetilk (W)		140
	A7	Skupna moč (W)		14.840
	A8	Poraba na teden (kWh)		1.336
	A8	Poraba na leto (kWh)		66.780
	A9	Stroški za energ. na leto (EUR)		4674,60
	A10	Cena za svetilko (EUR)		40,00
	A11	Cena za sijalko (EUR)		2,60
	A10*A2	Strošek zamenjave svetilk (EUR)		4240,00
A11*A2*A3	Strošek zamenjave sijalk (EUR)		551,20	
A12	Strošek vzdrževanja na leto (EUR)		890,40	
Stanje po posodobitvi (nov sistem razsvetljave)		Učinek senzorskega nadzora (-25 %)		0,75
	B1	Svetilne ure na teden (h)		68
	B2	Število svetilk		58
	B3	Število sijalk na svetilko		2
	B4	Življenjska doba sijalk (tedni)		370
	B5	Življenjska doba elektronike (tedni)		741
	B6	Moč svetilk (W)		92
	B7	Skupna moč (W)		5336
	B8	Poraba na teden (kWh)		360
	B8	Poraba na leto (kWh)		18009
	B9	Stroški za energ. na leto (EUR)		1260,63
	B10	Cena za elektroniko (EUR)		25,00
	B11	Cena za sijalko (EUR)		3,60
	B10*B2	Strošek zamenjave elektronike (EUR)		1.450,00
	B11*B2*B3	Strošek zamenjave sijalk (EUR)		417,60
B12	Strošek vzdrževanja na leto (EUR)		163,23	
Pozitivni učinki posodobitve	A7-B7	Zmanjšanje skupne moči (W)		9504
		Zmanjšanje moči razsvetljave (%)		64,04
	A8-B8	Zmanjšanje porabe energije na leto (kWh)		48771
		Zmanjšanje porabe energije na leto (%)		73,03
	A12-B12	Zmanjšanje str. vzdrževanja na leto (EUR)		727,17
		Zmanjšanje str. vzdrževanja na leto (%)		81,67
	E1	Investicija (EUR)		11.000,00
	E2	Povp. cena el. energije (EUR/kWh)		0,07

PRILOGA 2: BILANCA REALNEGA DENARNEGA TOKA NALOŽBE V POSODOBITEV RAZSVETLJAVE

Leto	0	1	2	3	6	7	8	9	10	
Leto	2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018	2019	2020	
STROŠKI PRED POSODOBITVIJO	551,20	4.674,60	4.674,60	8.914,60	5.225,80	4.674,60	4.674,60	8.914,60	4.674,60	56.328,40
Stroški električne energije	0,00	4.674,60	4.674,60	4.674,60	4.674,60	4.674,60	4.674,60	4.674,60	4.674,60	46.746,00
Stroški vzdrževanja	551,20	0,00	0,00	4.240,00	551,20	0,00	0,00	4.240,00	0,00	9.582,40
Ostane vrednosti investicije									3.533,33	3.533,33
STROŠKI PO POSODOBITVI	11.000,00	1.260,63	1.260,63	1.260,63	1.260,63	1.678,23	1.260,63	1.260,63	1.260,63	24.023,90
Investicija	11.000,00									11.000,00
Stroški električne energije	0,00	1.260,63	1.260,63	1.260,63	1.260,63	1.260,63	1.260,63	1.260,63	1.260,63	12.606,30
Stroški vzdrževanja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	417,60	0,00	0,00	0,00	417,60
Ostane vrednosti investicije									6600,00	6600,00
PRIHRANKI	-10448,80	3413,97	3413,97	7653,97	3965,17	2996,37	3413,97	7653,97	3413,97	32304,50
KUMULATIVNI PRIHRANKI	-10448,80	-7034,83	-3620,86	4033,11	14826,22	17822,59	21236,56	28890,53	32304,50	
										NSV
DISKONTNI FAKTOR (4 %)	1,000	0,962	0,925	0,889	0,790	0,760	0,731	0,703	0,676	
Disk. stroški pred posodobitvijo	551,200	4494,808	4321,930	7925,047	4130,026	3552,312	3415,684	6263,280	3157,992	45650,33
Disk. stroški po posodobitvi	11000,000	1212,144	1165,523	1120,695	996,294	1275,317	921,130	885,702	851,636	21542,18
DISKONTIRANI PRIHRANKI	-10448,80	3282,66	3156,41	6804,35	3133,73	2276,99	2494,55	5377,58	2306,36	Δ1NSV
KUM. DISK. PRIHRANKI	-10448,80	-7166,14	-4009,73	2794,62	11652,66	13929,66	16424,21	21801,79	24108,15	24108,15
DISKONTNI FAKTOR 2 (40 %)	1,000	0,714	0,510	0,364	0,133	0,095	0,068	0,048	0,035	
Disk. stroški pred posodobitvijo	551,20	3339,00	2385,00	3248,76	694,04	443,45	316,75	431,47	161,61	13657,29
Disk. stroški po posodobitvi	11000,00	900,45	643,18	459,41	167,42	159,20	85,42	61,01	43,58	14082,24
DISKONTIRANI PRIHRANKI 2	-10448,80	2438,55	1741,82	2789,35	526,62	284,25	231,33	370,45	118,03	Δ2NSV
KUM. DISK. PRIHRANKI 2	-10448,80	-8010,25	-6268,43	-3479,08	-1429,01	-1144,76	-913,43	-542,97	-424,94	-424,94
INTERNA STOPNJA PRIHRANKA	38,24%									