

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za elektrotehniko

Jernej Iljaš

**PREGLED ZAHTEV IN POTREB ZA
BIOLOŠKO AKTIVNO RAZSVETLJAVO
UČILNICE**

DIPLOMSKO DELO VISOKOŠOLSKEGA ŠTUDIJA

Ljubljana, 2016

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za elektrotehniko

Jernej Iljaš

**PREGLED ZAHTEV IN POTREB ZA
BIOLOŠKO AKTIVNO RAZSVETLJAVO
UČILNICE**

DIPLOMSKO DELO VISOKOŠOLSKEGA ŠTUDIJA

Mentor: doc. dr. Matej B. Kobav, univ. dipl. inž. el.

Ljubljana, 2016

Izjava

Izjavljam, da sem diplomsko delo izdelal samostojno pod vodstvom mentorja doc. dr. Mateja B. Kobava, univ. dipl. inž. el.. Izkazano pomoč drugih sodelavcev sem v celoti navedel v zahvali.

V Ljubljani, maj 2016

Jernej Iljaš

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Mateju B. Kobavu za pomoč in vodenje pri izdelavi diplomskega dela.

Posebna zahvala velja staršem, ki so mi študij omogočili in me ves čas podpirali.

Vsebina

1	Uvod	3
2	Teoretične osnove svetlobe	4
2.1	Teorija svetlobe in sevanja	4
2.1.1	Teorija sevanja	4
2.1.2	Kvantna teorija svetlobe	5
2.1.3	Valovna teorija svetlobe	5
2.2	Optično sevanje	6
2.3	Področje vidnega sevanja	7
2.4	Svetloba in barve	8
2.4.1	Kolorimetrijski sistem CIE	8
2.4.2	Barvna temperatura	9
2.4.3	Barvna reprodukcija	11
3	Fotometrične veličine in enote	12
3.1	Svetlobni tok	12
3.2	Svetilnost	13
3.3	Osvetljenost	14
3.4	Svetlost	14
3.5	Svetlobni izkoristek vira	15
3.6	Izkoristek razsvetljave	15
4	Svetloba in človek	16
4.1	Oko in človeški vid	16
4.1.1	Skotopski vid	17
4.1.2	Fotopski vid	17
4.1.3	Mezopski vid	18
4.2	Elementarne funkcije vida	18
4.2.1	Adaptacija	18
4.2.2	Akomodacija	18
4.2.3	Kontrast	18

4.2.4	Ostrina vida	19
4.2.5	Hitrost zaznavanja	19
4.2.6	Globinski vid	19
4.3	Vpliv svetlobe na človeka.....	19
4.3.1	Potrebna količina svetlobe.....	19
4.3.2	Udobno počutje in svetloba	20
4.3.3	Produktivnost in svetloba	20
5	Projektiranje notranje razsvetljave	21
5.1	Svetlobnotehnične smernice	21
5.1.1	Nivo osvetljenosti.....	22
5.1.2	Enakomernost osvetljenosti.....	22
5.1.3	Omejitev bleščanja	23
5.1.4	Usmerjenost svetlobe.....	23
5.1.5	Barvna klima	23
6	Biološki vplivi svetlobe na ljudi	25
6.1	Človeška bitja in učinkovitost svetlobe	25
6.2	Ritmi narave.....	25
6.3	Notranja ura človeka.....	25
6.4	Biološki ritmi	27
6.5	Ritmi in starost.....	28
6.6	Biološko aktivna notranja razsvetljava	29
7	Razsvetljava šol in izobraževalnih ustanov	32
7.1	Osnovne vidne naloge.....	32
7.2	Kriteriji kakovostne razsvetljave	32
7.2.1	Osvetljenost	32
7.2.2	Bleščanje.....	33
7.2.3	Usmerjenost razsvetljave	34
7.2.4	Krmiljenje umetne razsvetljave	35
8	Biološko aktivna razsvetljava šolske učilnice	37
8.1	Priporočila pri projektiranju šolske učilnice	37

8.1.1	Nivo osvetljenost	37
8.1.2	Enakomernost osvetljenosti	38
8.1.3	Bleščanje	38
8.1.4	Barvna reprodukcija	38
8.2	Postavitev svetilk in krmiljenje razsvetljave	38
8.2.1	Postavitev svetil	38
8.2.2	Krmiljenje razsvetljave glede na prisotnost naravne svetlobe ter prisotnost	39
8.2.3	Krmiljenje razsvetljave glede na barvo naravne svetlobe	40
8.3	Izračun osvetljenosti	40
8.4	Tehnične lastnosti uporabljenih svetil	44
8.4.1	Svetilke splošne razsvetljave učilnice:	44
8.4.2	Asimetrične svetilke za osvetlitev table	45
9	Zaključek	46
10	Viri in literatura	47

Kazalo slik

Slika 1: Pregled spektra elektromagnetnega sevanja [2]	4
Slika 2: Graf kontinuiranega sevanja [5]	7
Slika 3: Graf nekontinuiranega sevanja [5]	7
Slika 4: Barvni diagram [6]	9
Slika 5: Barvni diagram s Planckovo črto	10
Slika 6: Izgled živil pri različnem faktorju barvne reprodukcije [8]	11
Slika 7: Ponazoritev svetlobnega toka	13
Slika 8: Polarni diagram svetilke	13
Slika 9: Osvetljenost	14
Slika 10: Zgradba človeškega očesa	17
Slika 11: Čepnice, paličnice in ganglijeve celice [19]	26
Slika 12: Potek koncentracije kortizola in melatonina [19]	27
Slika 13: Razvoj in sinhronizacija spalnih vzorcev [19]	29
Slika 14: Človeške sposobnosti glede na barvno temperaturo svetlobe [1]	30
Slika 15: Vzbujanje fotoreceptorjev v spodnjem delu mrežnice [19]	30
Slika 16: Primer indirektna osvetlitve učilnice [13]	31
Slika 17: Primer direktnega bleščanja	33
Slika 18: Primer refleksnega bleščanja	34
Slika 19: Primer osvetlitve običajne učilnice	34
Slika 20: Krmiljenje umetne svetlobe na osnovi dnevne [1]	36
Slika 21: Tloris učilnice	37
Slika 22: Postavitev svetilk	39
Slika 23: Izračun osvetljenosti delovne površine	41
Slika 24: Izračun osvetljenosti table	42
Slika 25: Vizualizacija učilnice 1	43
Slika 26: Vizualizacija učilnice 2	43
Slika 27: Izgled in dimenzije svetilke Gyon SDI MPR	44
Slika 28: Polarni diagram svetilke Gyon SDI MPR	44
Slika 29: Izgled in dimenzije svetilke Gyon SA MPR	45
Slika 30: Polarni diagram Gyon SA MPR	45

Seznam uporabljenih simbolov

<i>EM</i>	elektromagnetno
<i>UV</i>	ultravijolično
<i>IR</i>	infrardeče
<i>CIE</i>	Commission internationale de l'éclairage (Mednarodna komisija za razsvetljavo)
<i>SDR</i>	Slovensko društvo za razsvetljavo
<i>LED</i>	light-emitting diode (svetleča dioda)
Φ	svetlobni tok
<i>I</i>	svetilnost
<i>L</i>	svetlost
U_0	enakomernost osvetljenosti
<i>UGR</i>	indeks bleščanja
R_a	barvni indeks

Povzetek

Diplomsko delo predstavlja idejno zasnovo biološko aktivne razsvetljave šolske učilnice. Idejna zasnova je namenjena projektiranju biološko aktivne razsvetljave v izobraževalnih ustanovah.

V uvodnem delu so predstavljene teoretične osnove svetlobe ter fotometrične veličine, nadaljujemo pa z osnovnimi funkcijami očesa in človeškega vida ter vplivi svetlobe na človeka.

V drugem delu diplomskega dela pa so predstavljene osnove projektiranja notranje razsvetljave, biološke vplive svetlobe na ljudi ter razsvetljavo izobraževalnih ustanov. Predstavil sem idejni projekt biološko aktivne razsvetljave šolske učilnice, ki zajema krmiljenje nivoja osvetljenosti ter barve umetne razsvetljave.

Ključne besede: biološko aktivna razsvetljava, razsvetljava izobraževalnih ustanov

Abstract

The purpose of my thesis is to present the conceptual design of biologically active lighting of a classroom. Conceptual design is intended to be used at biologically active lighting planning in educational establishments.

The introductory part focuses on theoretical fundamentals of light and photometric quantities. Next, we present the basic functions of the eye and human vision and the effect of light on human being.

The second part of the thesis presents the basis of indoor lighting planning, biological effects of light on people and lighting of educational establishments. We proposed the preliminary design of biologically active lighting of a classroom, which covers the illumination level control and colours of artificial light.

Keywords: biologically active lighting, lighting of educational establishments

1 Uvod

Ljudje zaznavamo in dojemamo zunanji svet v največji meri vizualno. Ob tem je svetloba, medij, ki nikakor ne more biti zgolj aplikacija inženirskih principov. Je nekakšna kombinacija med tehniko in psihološko dimenzijo, saj vključuje prostor, volumen, obliko, barvo, vtise in ljudi. Svetloba mora biti ustvarjena za ljudi, ki bodo prostor uporabljali. Ali se zavedamo, da dobra osvetlitev vpliva na dobro počutje, storilnost, aktivnost, delovni elan in podobno? Svetlobna tehnika si prizadeva, da bi s pomočjo svetlobe omogočila čim boljše in ugodnejše vidne pogoje, predvsem pa je njen namen ustvariti tako okolje, ki bo zagotavljalo fizično in psihično ugodje v prostoru, v katerem človek živi in dela. Biološko aktivna razsvetljava zajema usklajeno spreminjanje jakosti osvetljenosti ter barvo svetlobe, glede na počutje in potrebe človeka.

Razsvetljava v izobraževalnih ustanovah ima zelo pomembno vlogo, saj omogoča absorpcijo informacij. Ustreznejša kot je osvetlitev, večja je zmožnost prejetja informacij.

Mnogim se verjetno projektiranje razsvetljave v izobraževalnih ustanovah ne zdi nič posebnega, še posebej ne tistim, ki mislijo, da v učilnici potrebujemo nekaj na strop nameščenih simetričnih svetilk za splošno osvetlitev ter asimetrično svetilko za osvetlitev table. Vendar pa je za pravilen pristop in kvaliteten projekt biološko aktivne razsvetljave potrebno veliko več. Potrebno je znanje, katerega del sem skušal povzeti v diplomskem delu.

Namen pisanja diplomske naloge je bil ugotoviti zahteve za biološko aktivno razsvetljavo ter zadostitev le-teh na primeru šolske učilnice.

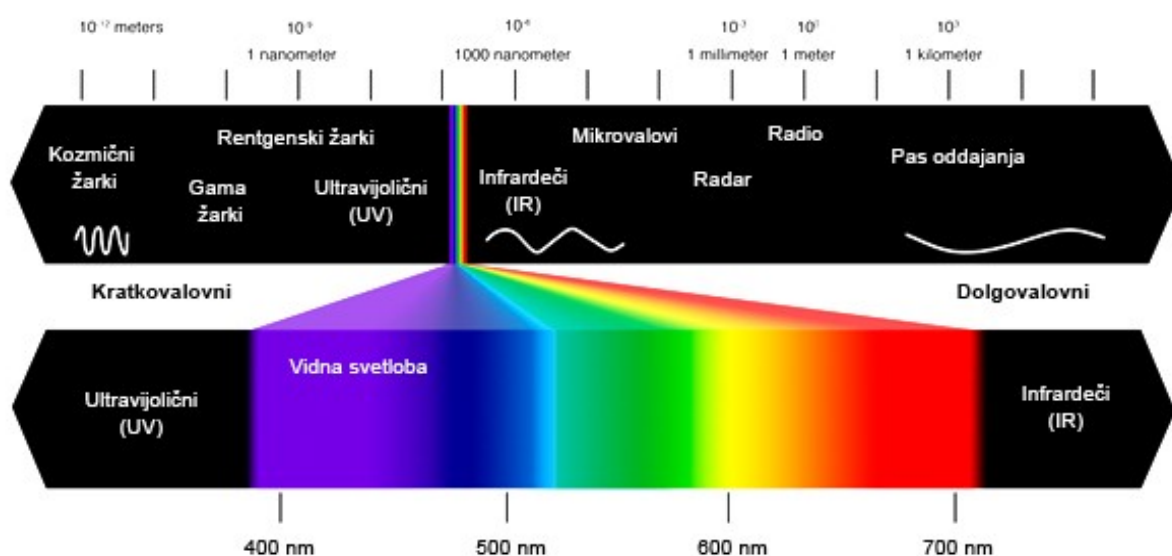
2 Teoretične osnove svetlobe

Svetloba je v osnovi izsevana energija, ki prispe v človeško oko in se v vidnem organu (oko, vidni živec in del možganov) pretvori v čutno zaznavanje in dojemanje okolice.

2.1 Teorija svetlobe in sevanja

Sevanje je v fizikalnem smislu definirano kot prenos energije v obliki elektromagnetnih nihanj ali delcev. Spekter elektromagnetnega sevanja je zelo širok in sega od kozmičnih sevanj pa do tehničnih izmeničnih tokov.

Sevanja se torej ločijo med seboj po frekvencah ter različnih valovnih dolžinah. V razsvetljavi izkoriščamo samo zelo ozko področje spektra elektromagnetnih sevanj, ki ga označujemo kot optično sevanje in obsega območje med 10^{-7} in 10^{-6} m. Človeško oko pa zaznava še ožje področje spektra, in sicer med 380 nm in 780 nm, ki ga označujemo kot vidno sevanje. [3], [4].



Slika 1: Pregled spektra elektromagnetnega sevanja [2]

2.1.1 Teorija sevanja

Sodobna fizika pripisuje vsakemu sevanju dvojno naravo. Pri sodelovanju z materijo sevanje deluje kot delci (fotoni), pri širjenju po prostoru pa kot valovanje (nihanje), zaradi česar svetlobno sevanje obravnavamo iz vidika dveh teorij:

- kvantne teorije,
- valovne teorije.

[3]

2.1.2 Kvantna teorija svetlobe

Kvantna teorija temelji na predpostavki, da je vsako sevanje sestavljeno iz osnovnih energijskih delcev, ki jih imenujemo kvanti. Po tej teoriji si torej sevanje razlagamo kot vpijanje, oddajanje in prenos energije v obliki kvantov.

Kvantna teorija nam je v pomoč pri razlagi svetlobnega sevanja, ki je sestavljeno iz svetlobnih kvantov, ki jih imenujemo fotoni. Fotoni se širijo po brezračnem prostoru s svetlobno hitrostjo, njihova energija pa je premo sorazmerna frekvenci sevanja oziroma obratno sorazmerna valovni dolžini sevanja. Količina energije fotona je definirana z enačbo (2.1).

$$W = h \cdot f \quad J \quad (2.1)$$

h – Planckova konstanta $h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

f – frekvenca sevanja

Fotoni so elementarni energijski delci, ki nimajo materialne osnove niti mirovne mase, zato obstajajo samo tako dolgo, dokler se gibljejo s hitrostjo širjenja valovanja, in izginejo, kadar se ustavijo. Če atom vpije svetlobni kvant, le-ta ne tiči v atomu kot foton, ampak popolnoma izgine, ob tem pa preide vsa energija iz fotona na atom.

Na osnovi kvantne teorije si lahko fizikalno razložimo učinke raznih sevanj, posebej pa je kvantna teorija pomembna za fizikalno razlago svetlobnega sevanja segretyh teles. [3]

2.1.3 Valovna teorija svetlobe

Valovna teorija svetlobe svetlobo razlaga kot elektromagnetno valovanje, ki se v prostoru širi premočrtno v obliki transverzalnega gibanja. Hitrost širjenja sevanja je konstantna in je definirana z enačbo (2.2).

$$c = f \cdot \lambda \quad (m/s) \quad (2.2)$$

c – hitrost širjenja sevanja

f – frekvenca sevanja

λ – valovna dolžina sevanja

V brezzračnem prostoru je hitrost širjenja elektromagnetnega sevanja konstanta, ki jo imenujemo svetlobna hitrost (2.3), katere vrednost znaša:

$$c_0 = 2,99792458 \cdot 10^8 \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (2.3)$$

Ker svetloba potuje skozi medije različnih gostot, se hitrost svetlobe spremeni, ob tem frekvenca sevanja ostaja nespremenjena, hitrost širjenja sevanja ter valovna dolžina, pa se spremenita premo sorazmerno.

Na osnovi valovne teorije si lahko razlagamo večino fizikalnih pojavov, kot so presevnost, lom, uklon, polarizacija in podobno. [3]

2.2 Optično sevanje

Optično sevanje označuje tisto področje spektra elektromagnetnega sevanja, ki ga izkoriščamo v razsvetljavi. V širokem spektru elektromagnetnega sevanja predstavlja optično sevanje ozko področje valovnih dolžin, in sicer od 10^2 do 10^6 nm. Območje optičnega sevanja je razdeljeno na tri področja:

- ultravijolično sevanje (obsega valovne dolžine med 100 nm in 400 nm)
- vidno sevanje (obsega valovne dolžine med 380 nm in 780 nm),
- infra rdeče sevanje (obsega valovne dolžine med 780 nm in 1 nm).

Človeško oko zaznava samo vidno sevanje, ultravijoličnega in infrardečega pa ne. Vsa tri področja imajo podobne lastnosti. Možno jih je umetno proizvajati s pomočjo seval, možno jih je usmerjati in voditi, prav tako pa jih je mogoče presteči in meriti. [3]

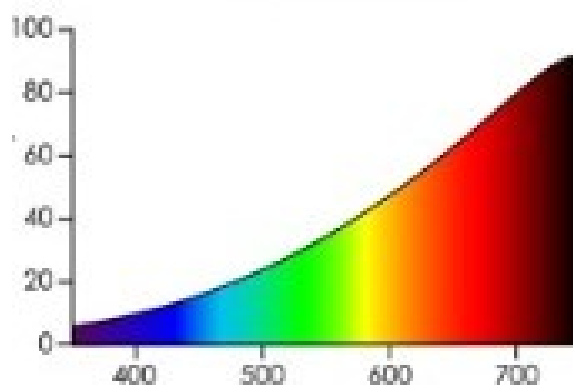
2.3 Področje vidnega sevanja

Elektromagnetna sevanja se med seboj razlikujejo po valovnih dolžinah oziroma po frekvencah, iz katerih so sestavljena. Poznamo sevanja, ki so sestavljena iz ene same valovne dolžine in pa sevanja, sestavljena iz večjega števila valovnih dolžin. Glede na to ločimo:

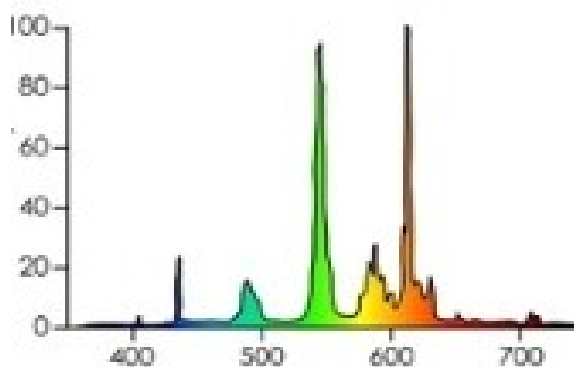
- monokromatska sevanja in
- sestavljena (kompleksna) sevanja.

Monokromatska sevanja označuje samo ena valovna dolžina. To je sevanje zelo ozkega področja, npr. le 10 nm, ki ga označujemo le z eno, srednjo valovno dolžino. Sestavljena sevanja vsebujejo deleže različnih valovnih dolžin. Pri tej vrsti sevanj ločimo kontinuirana in nekontinuirana sevanja.

Kontinuirana so sestavljena sevanja večjega področja, v katerem se jakost sevanja ne spreminja skokoma. V kolikor pa skoki obstajajo, imenujemo tako vrsto sevanja nekontinuirano sevanje.



Slika 2: Graf kontinuiranega sevanja [5]



Slika 3: Graf nekontinuiranega sevanja [5]

Spekter je pojem, ki ga uporabljamo, kadar želimo ponazoriti deleže valovnih dolžin, iz katerih je določeno sevanje sestavljeno. Spekter vidnega sevanja svetlobe si najlažje predstavljamo z lomom svetlobnih žarkov na nekem mediju (prizma, leča, vodna kapljica itd.), pri tem se kratkovalovno sevanje lomi bolj kot dolgovalovno sevanje. Najbolj znan primer optične ponazoritve vidnega spektra je mavrica. [3], [4], [7]

2.4 Svetloba in barve

Vidnega sevanja človeško oko ne zaznava le po svetlosti, ampak tudi po barvah različnih valovnih dolžin. Vsako fizikalno definirano vidno sevanje vzbudi v vidnem organu fiziološko dožemanje barve, ki ga označujemo kot barvni dražljaj. Ob tem je vseeno, ali gre za sevanje svetlobnega vira ali za sevanje osvetljenega objekta. Če nek barvni predmet osvetljujemo, bo le-ta del svetlobe preseval ali odseval, kar pa bo v vidnem organu povzročilo barvni dražljaj. To pomeni, da barva objekta nastane samo pri svetlobi in je v osnovi odvisna od spektralne sestave svetlobe, ki predmet osvetluje. Tako je lahko nek objekt, kadar ga osvetljujemo z različnimi barvami svetlobe, različnih barv.

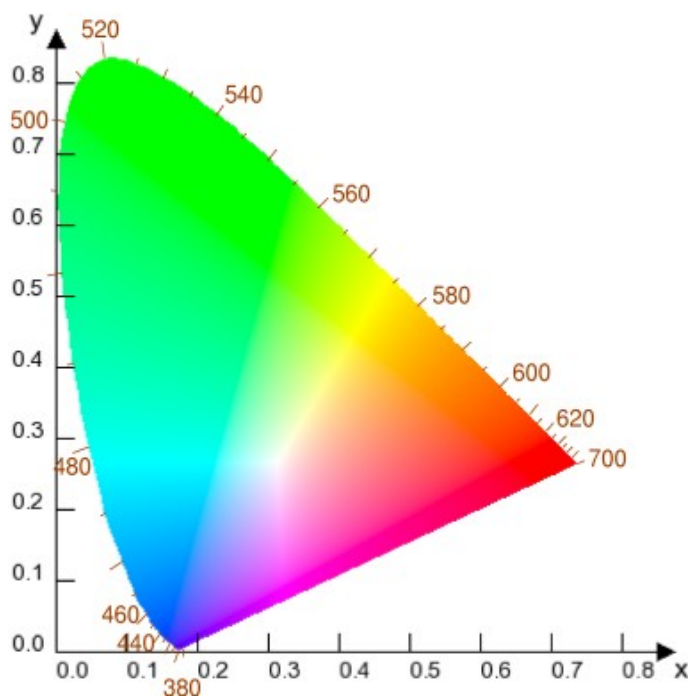
Barvo lahko v fizikalno-matematičnem smislu opišemo z naslednjimi pojmi:

- kolorimetrijski sistem CIE,
- barvna temperatura,
- faktor reprodukcije barve.

[3], [4], [7]

2.4.1 Kolorimetrijski sistem CIE

S kvantitativnim vrednotenjem barv se ukvarja veda, ki jo imenujemo kolorimetrija. Kolorimetrija uporablja za označevanje barv poseben trikromatski sistem, ki omogoča, da lahko dosežemo vsako barvo z aditivnim mešanjem treh primerno izbranih barvnih dražljajev (primarnih barvnih valenc). Trikromatski sistem, ki je mednarodno sprejet, imenujemo standardni kolorimetrijski sistem CIE.



Slika 4: Barvni diagram [6]

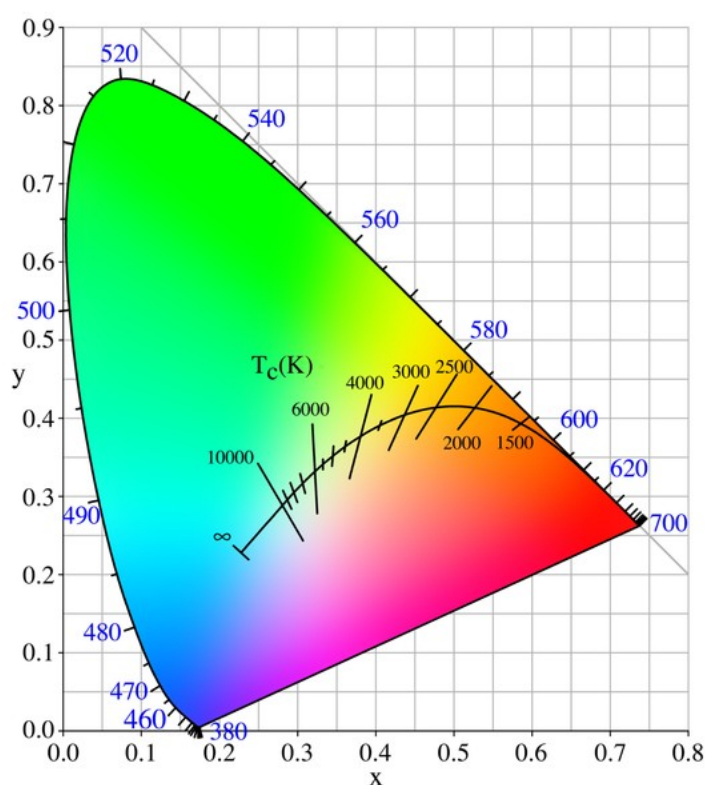
Po sistemu CIE iz leta 1931 (CIE Publication No.5(17)) določamo barvnost svetlobe z navedbo koordinat x in y v barvnem diagramu, kot prikazuje slika 4. Te barvnostne koordinate računamo iz spektralne porazdelitve sevalne moči svetlobnega vira. Reprezentativne točke za vse barve ležijo znotraj ploskve, omejene s krivuljo spektralnih mest (S), ki je zveznica barvnih točk spektralnih barv, in z linijo (P), ki povezuje konca krivulje spektralnih mest. Točka (W) označuje točko bele barve (koordinati $x = 0,33$ in $y = 0,33$) in predstavlja točko barvnosti ekvi-energijskega spektra. Točka D označuje barvo standardnega svetlobnega sevala D_{65} po CIE in predstavlja povprečje dnevne svetloba. Mesto barvnosti črnega telesa v diagramu x, y je znano kot Planckov lok (L). [3], [4], [7]

2.4.2 Barvna temperatura

Za označevanje barve svetlobe vira uporabljamo poleg kolorimetrijskega sistema CIE tudi določanje na osnovi barvne temperature. Ta sistem uporabljamo takrat, ko barvo svetlobe nekega vira opišemo tako, da jo primerjamo z barvo črnega sevala.

Barvna temperatura je definirana kot temperatura črnega sevala v stopinjah kelvina (K), pri kateri je sevanje črnega sevala enako barvi sevanja preskušane svetlobnega vira.

Če trikromatske koordinate črnega sevala, ki jih le-to ima pri različnih temperaturah (K), vnesemo v barvni diagram, ki ga prikazuje slika 5, nastane v njem črta, ki jo imenujemo »Planckova črta«. Ta črta označuje položaje barvnih temperatur črnega sevala. Ker so spektralne lastnosti termičnih tehničnih seval zelo podobne lastnostim črnega sevala, lahko Planckovo črto smatramo tudi kot črto, ki ponazarja barvne temperature žarnic. Spektralne lastnosti virov na razelektrenje se dokaj razlikujejo od lastnosti črnega sevala, zaradi tega položaji barvnih temperatur teh virov ne ležijo na Planckovi črti, ampak v njeni bližini. Zaradi tega barvne vire opisujemo s tako imenovano »podobno barvno temperaturo«. Le-ta je definirana kot tista temperatura črnega sevala, pri kateri je barva črnega sevala najbolj podobna barvi svetlobe vira. Položaj podobnih barvni temperatur označujejo v barvnem diagramu poševne premice (Judd-ove premice), ki sekajo Planckovo črto, kot je to razvidno iz slike 5. Na tej sliki so prikazani tudi položaji barvnih točk svetlobnih virov na razelektrenje, ki jih uporabljamo v tehniki razsvetljave. [3], [4], [7]



Slika 5: Barvni diagram s Planckovo črto

2.4.3 Barvna reprodukcija

Barvni videz osvetljenega predmeta je v osnovi odvisen od spektralne porazdelitve sevanja svetlobnega vira, ki predmet osvetljuje. Torej je spektralna porazdelitev sevanja osnovni vzrok za različni barvni videz osvetljenih predmetov (objektov). Za označevanja učinka neke vrste svetlobe na barvni videz predmetov, ki jih ta svetloba osvetljuje, uporabljamo splošni izraz, ki ga imenujemo faktor barvne reprodukcije (R_a). Pri svetlobnih virih je faktor barvne reprodukcije definiran kot učinek sevanja (nekega svetlobnega vira) na barvni videz predmetov, ki jih vir osvetljuje, v primerjavi z barvnim videzom istih predmetov, osvetljenih s primerjalno vrsto svetlobe. Če posplošimo, torej faktor barvne reprodukcije označuje zvezo med reproducirano barvo in barvo pri naravni dnevni svetlobi. [3], [4], [7]



Slika 6: Izgled živil pri različnem faktorju barvne reprodukcije [8]

3 Fotometrične veličine in enote

Za merjenje svetlobe in učinke posameznih svetil se uporabljajo fizikalne in svetlobnotehnične veličine.

Fizikalne veličine so vse tiste, ki vrednotijo svetlobo z energijskimi enotami. Svetlobnotehnične (fotometrične) veličine pa vrednotijo svetlobo na osnovi človeškega očesa.

Osnovne svetlobnotehnične (fotometrične) veličine, ki jih uporabljamo, so naslednje:

- svetlobni tok,
- svetilnost,
- osvetljenost,
- svetlost.

[3], [9]

3.1 Svetlobni tok

Svetlobni tok je merilo za količino izsevane svetlobne energije, ki jo nek svetlobni vir seva v prostor v časovni enoti in jo človeško oko zazna kot svetlobo. Zaradi različnih spektralnih občutljivosti očesa na svetlobo različnih valovnih dolžin, se svetlobni tok, ki ga zaznajo naše oči, razlikuje od energijskega toka svetlobe, ki ga seva svetlobni vir. Svetlobni tok merimo v luminih (lm) in je definiran z enačbo (3.1).

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} \frac{d\Phi_e}{d\Omega} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (lm) \quad (3.1)$$

Φ – svetlobni tok

Φ_e – sevalni fluks

K_m – maksimalni fotometrični ekvivalent sevanja, njegova vrednost znaša 683 lm/W in se nanaša na monokromatsko sevanje valovne dolžine $\lambda = 555 \text{ nm}$

$V(\lambda)$ – relativna svetlobna učinkovitost monokromatskega sevanja valovne dolžine λ (nm).

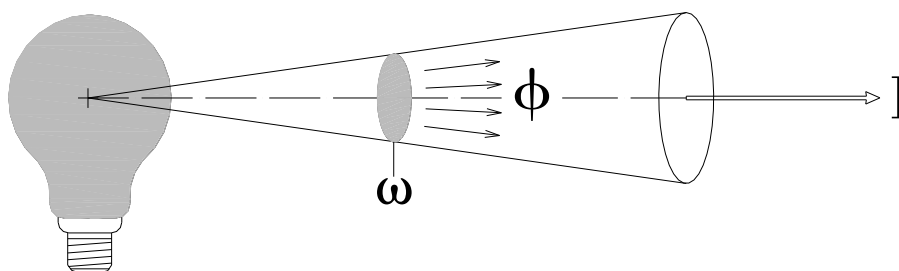
[3], [9]

3.2 Svetilnost

Svetilnost predstavlja merilo za velikost svetlobnega toka, ki seva v določeni smeri. Svetilnost svetlobnega vira je po CIE definirana z razmerjem med svetlobnim tokom, ki ga vir v dani smeri seva v enoto prostorskega kota (Ω), kot opisuje enačba (3.2), enota za svetilnost je candela (cd).

$$I = I_v \frac{d\Phi_v}{d\Omega} \text{ (cd)} \quad (3.2)$$

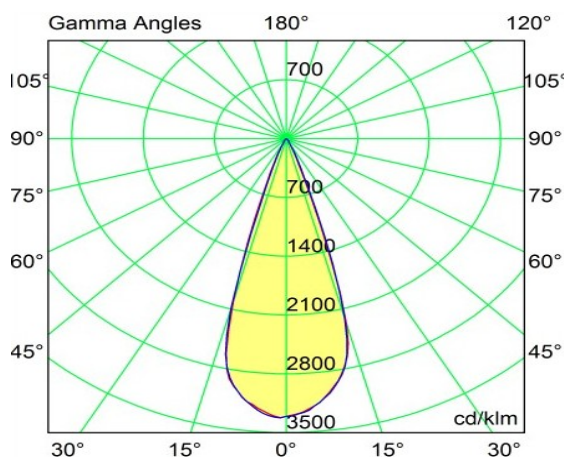
Če svetilo seva tok v vseh smereh enakomerno ali če opazujemo celoten svetlobni tok, ki ga svetlobni vir seva v določeni prostorski kot, kot prikazuje slika 6, lahko enačbo (3.2) poenostavimo v enačbo (3.3). [3], [9]



Slika 7: Ponazoritev svetlobnega toka

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \text{ (cd)} \quad (3.3)$$

Karakteristika prostorske porazdelitve svetilnosti za posamezno svetilko je podana s polarnim diagramom, ki ga poda proizvajalec.



Slika 8: Polarni diagram svetilke

3.3 Osvetljenost

Osvetljenost predstavlja merilo za jakost svetlobnega toka, ki pada na enoto površine. Osvetljenost je definirana z razmerjem med celotnim svetlobnim tokom, ki pada na določeno površino, in velikostjo le-te, kot opisuje enačba (3.4). [3], [9]

$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{I}{r^2} \cos \alpha (lx) \quad (3.4)$$

E – osvetljenost v določeni točki na neki ravnini

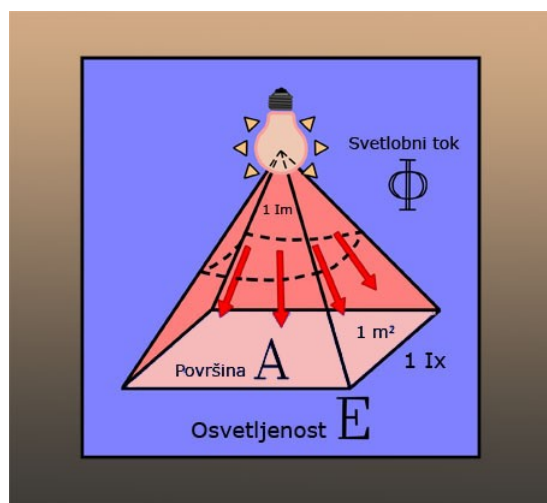
Φ – svetlobni tok

A – površina

I – svetilnost svetlobnega vira

r – razdalja med svetlobnim virom in opazovano točko

α – kot pod katerim pada svetloba na ravnino



Slika 9: Osvetljenost

3.4 Svetlost

Svetlost je edina svetlobnotehnična veličina, ki jo človeško oko zaznava direktno. Predstavlja količino svetlobe, ki jo naše oko zazna iz določenega zornega kota. Definirana je kot količnik med svetlobnim tokom, ki zapušča opazovalno točko, prihaja na element ali ga prehaja in je

znotraj prostorskega kota, in zmnožkom elementa prostorskega kota in ortogonalne projekcije na ravnino, ki je pravokotna na smer sevanje, kot opisuje enačba (3.5). [3], [9]

$$L = L_v = \frac{d^2\Phi_v}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\gamma} \frac{cd}{m^2} \quad (3.5)$$

3.5 Svetlobni izkoristek vira

Svetlobni izkoristek vira je razmerje med oddanim svetlobnim tokom in prejeto električno močjo, kot opisuje spodnja enačba (3.6). [3], [9]

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad lm/W \quad (3.6)$$

Φ – oddani svetlobni tok

P – prejeta električna moč

3.6 Izkoristek razsvetljave

Izkoristek razsvetljave je razmerje med koristnim svetlobnim tokom, ki pade na delovno površino, in celotnim svetlobnim tokom svetila ter je definirana s spodnjo enačbo (3.7). [3], [9]

$$\eta = \frac{\Phi_k}{\Phi_c} \quad (3.7)$$

Φ_k – koristni svetlobni tok

Φ_c – celotni oddani svetlobni tok

4 Svetloba in človek

Vsako plinasto, trdno ali tekoče telo, ki je podvrženo spremembi energijskega nivoja zaradi gibanja atomov in molekul, iz katerega je sestavljeno, povzroča sevanje. Nastane elektromagnetna energija, ki v obliki elektromagnetnega valovanja različnih valovnih dolžin seva v prostor. Človeško oko zaznava to elektromagnetno valovanje v določenih mejah. [1]

4.1 Oko in človeški vid

Človeški vidni organ je najpomembnejši organ za pridobivanje informacij o naši okolici ter za orientacijo. Senzor, s katerim človek zaznava svetlobo, je oko, povezano z živčnim sistemom. Naloga očesa je pretvarjanje svetlobnih dražljajev v kompleksna vzbujanja živcev, ki nam omogoča vidno dožemanje.

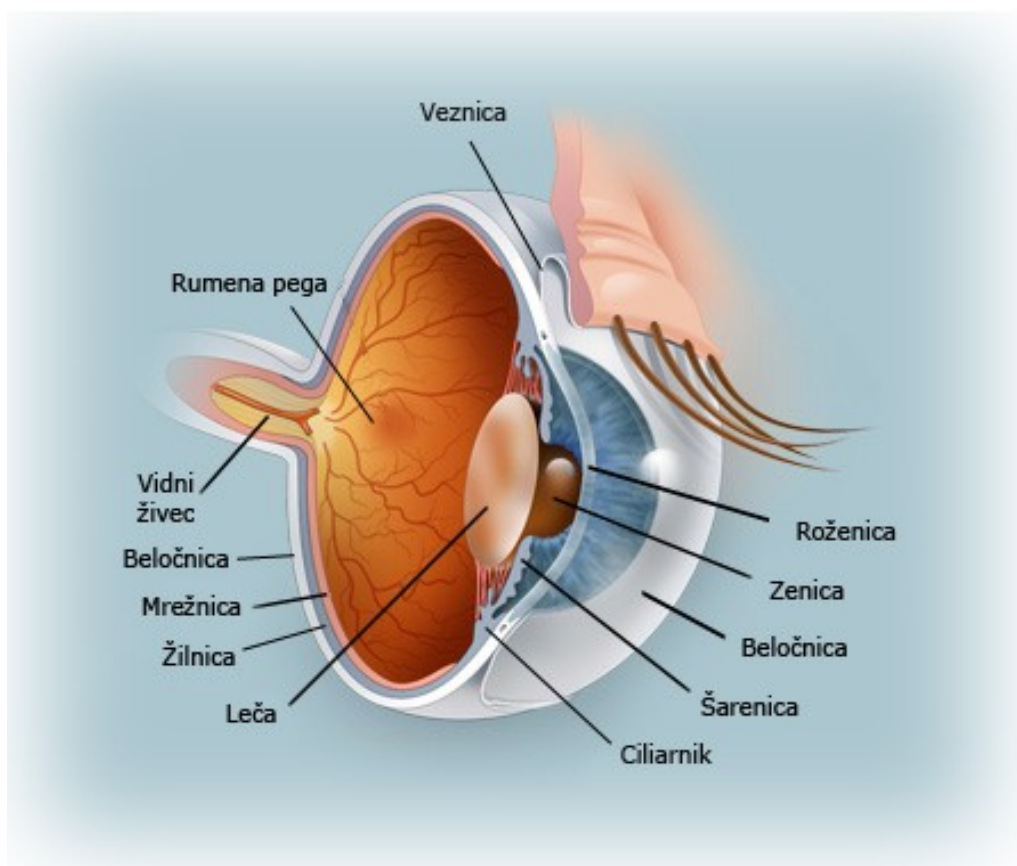
Oko je del vidnega organa, ki vpadlo svetlobno energijo pretvori v šibke električne impulze, ki se nato v možganih sestavijo v sliko okolice. Slika, ki nastane v naših možganih, je v bistvu naše vidno zaznavanje zunanjega sveta.

Vhodna svetloba, ki se od predmeta odbije, se lomi na roženici ter gre nato skozi zenico na lečo in s prilagajanjem leče pade na mrežnico očesa. Tu se nahajajo drobne, na svetlobo občutljive celice, ki jih imenujemo fotoreceptorji. Ti spreminjajo fotone svetlobe v impulze, ki se nato preko živčnega sistema prenesejo v center za vid, ki se nahaja v zatilnem delu možganov.

V človeškem očesu se nahajata dve vrsti fotoreceptorjev, ki jih imenujemo paličnice in čepnice. V enem očesu je približno 130 milijonov fotoreceptorjev, od tega je 7 milijonov čepnic, ki so klinaste oblike ter na svetlobo manj občutljive, so pa sposobne ločiti barve. Z njimi zaznavamo okolico takrat, ko je dovolj svetlobe. Osemnajstkrat več pa je tankih in podolgovatih paličnic, ki so na svetlobo vsaj desetkrat bolj občutljive, vendar niso sposobne ločiti barv. Z njimi zaznavamo okolico takrat, ko je svetlobe manj.

Čepnice in paličnice niso enakomerno porazdeljene po mrežnici. Središčni del mrežnice je tanjši in poglobljen ter vsebuje le čepnice in ga imenujemo rumena pega, ki ima premer okoli 0,5 mm. Delež čepnic se nato proti robu mrežnice manjša, na samem robu so tako samo še paličnice.

Čepnice središčnega dela mrežnice skrbijo za ostro sliko predmetov, zato je v tem območju sposobnost razločevanja očesa najboljša. [10], [11]



Slika 10: Zgradba človeškega očesa

Glede na aktivnost čepnic in paličnic ločimo 3 osnovne vrste vida.

4.1.1 Skotopski vid

Skotopski vid ali kot mu pravimo nočni vid je vid, pri katerem se človeško oko prilagodi na svetlost pod $0,05 \text{ cd/m}^2$. Za ta vid poskrbijo paličnice, ki se večinoma nahajajo izven središča mrežnice in so za svetlobo bolj občutljive od čepnic, vendar niso sposobne razlikovati barv predmetov, zato so vsi predmeti videti sivi.

4.1.2 Fotopski vid

Fotopski vid ali kot mu pravimo dnevni vid je vid, pri katerem se človeško oko prilagodi na svetlost višjo od 3 cd/m^2 . Za to vrsto vida poskrbijo čepnice, ki se nahajajo v središču mrežnice in nam omogočajo zaznavanje barv, zato vidimo predmete ostreje in v barvah.

4.1.3 Mezopski vid

Mezopski vid ali vid v mraku je vid, pri katerem se človeško oko prilagodi na svetlost, ki je na vmesnem območju med skotopskim in fotopskim. Sposobnost razpoznavanja barv upada z zmanjševanjem osvetljenosti. [10], [11]

4.2 Elementarne funkcije vida

V tem podpoglavju so okvirno opisane elementarne funkcije vida, ki so pomembne za razumevanje delovanja človeškega očesa in njegovega odzivanja na različne pogoje gledanja.

4.2.1 Adaptacija

Adaptacija je zmožnost očesa, da se prilagodi svetlobni in barvni situaciji. Prilagajanje se ustvarja s spreminjanjem odprtine šarenice (zenice), ki tako v oko spusti več ali manj svetlobe iz okolice. Poznamo dva primera skrajne adaptacije, to je popolna adaptacija na temno okolje ter popolna adaptacija na svetlo okolje. Popolna adaptacija na temno okolje traja od 30 do 60 minut, kjer vidimo samo še črno belo, v nasprotnem primeru adaptacija na svetlo traja od 30 do 120 sekund.

4.2.2 Akomodacija

Akomodacija je prilagajanje očesa pri opazovanju predmeta z določene razdalje. V času akomodacije ciliarne mišice prilagodijo ukrivljenost leče in s tem tudi njeno žariščno razdaljo. S staranjem sposobnost ukrivljanja leče upada, ker se jedro leče z leti strjuje, tako lahko goriščno razdaljo korigiramo z uporabo korekcijskih očal.

4.2.3 Kontrast

Pri razpoznavanju predmetov je odločilna razlika svetlosti ali barv med opazovanim predmetom in njegovo okolico. V subjektivnem smislu je kontrast ocena razlike zaznave dveh sosednjih področij vidnega polja, ki jih zaznavamo istočasno ali pa zaporedno.

4.2.4 Ostrina vida

Ostrina vida je najpomembnejša vidna funkcija in predstavlja sposobnost ločenega zaznavanja predmetov, ki ležijo zelo blizu. Merilo za ostrino vida je vrednost tistega vidnega kota, pri katerem oko še lahko ločeno dojema dva predmeta, ki sta si zelo blizu.

4.2.5 Hitrost zaznavanja

Hitrost zaznavanja je časovna vrednost intervala od trenutka, ko se predmet pojavi, do trenutka, ko prepoznamo njegovo obliko. Hitrost zaznavanja je odvisna od nivoja osvetljenosti predmeta.

4.2.6 Globinski vid

Globinski vid je sposobnost, ki je izrazita predvsem pri gledanju z obema očesoma in omogoča razlikovanje zamika med dvema predmetoma, ki se nahajata na različni oddaljenosti. [10], [11], [12]

4.3 Vpliv svetlobe na človeka

Večina človeških občutkov je vizualne narave, zato je svetloba potrebna kot nosilec informacij. To kaže na izreden pomen svetlobe za človeka. Svetloba z očesom kot posredovalcem ne pošilja le informacij o zunanjem okolju v vidne centre, ampak vpliva tudi na regulacijske organe vegetativnega živčnega sistema, ki upravljajo presnovo in druge funkcije človeškega organizma.

Iz navedenega torej izhaja, da ustrezna svetloba ne olajša le gledanja in dobrega razpoznavanja, temveč predvsem dviguje delovni zagon, ustvarja ugodno počutje v prostoru, zvišuje sposobnost koncentracije in odpravlja predčasno utrujenost.

4.3.1 Potrebna količina svetlobe

Večina elementarnih vidnih funkcij, kot na primer ostrina vida, adaptacija, akomodacija, kontrastna občutljivost, hitrost zaznavanja in globinski vid so po določeni zakonitosti odvisne od nivoja osvetljenosti. Omenjene vidne funkcije pri človeku dosežejo največjo vrednost šele pri osvetljenosti okoli 10.000 luxov.

S staranjem očesna leča rumeni, kar pomeni, da leča postaja vse manj prozorna, ostrina vida pa se posledično zmanjšuje. Prav tako pa z leti postaja leča vedno bolj trda in toga, zaradi česar se sposobnost ostrenja slike na blizu zmanjšuje. Starejše osebe tako potrebujejo več svetlobe kot mlajše za izvršitev enake vidne naloge v enakem času in pri enaki kvaliteti.

4.3.2 Udobno počutje in svetloba

Občutek udobja je občutek, ko telo prejema ravno pravšnje število zunanjih dražljajev, tako da lahko rečemo, da se počutimo udobno. Na udobno počutje pa veliko vpliva tudi svetloba, ki človeka obdaja, saj velik delež dražljajev pridobimo ravno s pomočjo te svetlobe.

V splošnem deluje razsvetljava udobno, če učinkuje kot dnevna svetloba, to je takrat, ko prihaja svetloba pretežno od zgoraj in delno s strani ter je sestavljena iz difuzne in usmerjene komponente.

Na izgled in počutje ljudi v prostoru v veliki meri vpliva tudi barva svetlobe. Zaradi tega mora biti barva svetlobe usklajena z barvami prostora, opreme in posameznih pomembnih predmetov.

4.3.3 Produktivnost in svetloba

Ustrezna svetloba nedvomno zviša delovni učinek, saj izboljša vidne pogoje, poveča ugodno počutje in aktivnost ter istočasno zmanjša število napak in število nesreč pri delu in gibanju. Ustrezno izvedeno razsvetljavo delovnih prostorov lahko smatramo kot enega izmed zelo učinkovitih faktorjev racionalizacije.

Če želimo ugotoviti vpliv izboljšanja razsvetljave na dvig produktivnosti, je potrebno oceniti stopnjo obratovalnega dobička, ki jo povišana produktivnost prinese zaradi izboljšanja razsvetljave. Materialna korist, ki jo prinese izboljšana razsvetljava, je znanstveno dokazana in jo je potrebno kot faktor racionalizacije upoštevati. [10], [11], [12]

5 Projektiranje notranje razsvetljave

Osnovni namen projektiranja notranje razsvetljave je doseči optimalne tehnične in ekonomske rešitve na osnovi temeljitih in vsestranskih analiz nalog, ki jih mora razsvetljava izpolniti. Umetni viri svetlobe morajo najprej ustrezati svetlobnotehničnim zahtevam, ker pa je sestavni del gradbene celote, mora biti zato tudi tesno povezana z drugimi dejavniki, ki sodelujejo pri zasnovi in izvajanju objekta. Med te dejavnike spadajo:

- arhitektura in oblikovanje prostora,
- tehnika gradbenih konstrukcij,
- tehnika električnih instalacij,
- tehnika ogrevanja in prezračevanja,
- tehnika akustike,
- drugi dejavnosti, ki sodelujejo pri opremljanju prostora.

Naloga projektanta razsvetljave je, da v fazi izdelave projektne dokumentacije sodeluje z arhitektom in projektanti drugih instalacij, ker je le s skupinskim delom možno zadovoljiti vsem pogojem, ki jih projekt vsebuje. Pri samem načrtovanju razsvetljave pa mora projektant izhajati iz svetlobnotehničnih, fizioloških, psiholoških in ekonomskih zahtev, pri čemer pa ne sme v nobenem primeru zanemariti zahtev arhitekture in drugih, prej omenjenih, dejavnosti.

5.1 Svetlobnotehnične smernice

Svetlobnotehnične smernice predstavljajo izhodišče pri načrtovanju razsvetljave. Določajo namreč kvalitetni in kvantitetni nivo razsvetljave ter vplivajo na izbiro svetlobnih virov in svetilk ter na postavitev le-teh.

Zahteve za kakovostno razsvetljavo:

- nivo osvetljenosti,
- enakomernost osvetljenosti,
- porazdelitev svetlosti,
- omejitev bleščanja,
- usmerjenost svetlobe,
- barvna klima.

5.1.1 Nivo osvetljenosti

Osvetljenost, ki je potrebna za opravljanje neke vizualne naloge, je določena z nivojem osvetljenosti, ki se spreminja glede na stopnjo težavnosti vidne naloge, ki jo pri neki dejavnosti narekujeta značaj dela in prostora.

Podrobne vrednosti nivojev osvetljenosti so opisane v treh standardih, ki so v veljavi, in se nanašajo na projektiranje notranje razsvetljave, in sicer:

- SIST EN 12464 Lighting applications – Lighting of working places (razsvetljava na delovni mestih),
- SIST EN 12193 Light and Lighting – Sports lighting (razsvetljava športnih objektov),
- SIST EN 1838 Lighting applications – Emergency lighting (zasilna razsvetljava).

Vrednost nivoja osvetljenosti, ki ustreza določenemu prostoru oziroma določeni vrsti del, je v naštetih standardih definirana v tabelah, vrednosti pa so določene na višini, kjer se opravlja vidna naloga. Običajno je to na višini 85 cm nad tlemi.

5.1.2 Enakomernost osvetljenosti

Enakomernost osvetljenosti je odvisna od razmerja med najslabše osvetljenim mestom v prostoru in srednjo osvetljenostjo prostora ter v odločilni meri vpliva na izbiro in postavitev svetilk v prostoru. Enakomernost osvetljenosti je definirana z enačbo (5.1).

$$U_0 = \frac{E_m}{E_{sr}} \quad (5.1)$$

U_0 – enakomernost osvetljenosti

E_m – najmanjša izmerjena ali izračunana vrednost osvetljenosti

E_{sr} – povprečna vrednost osvetljenosti

Vrednosti enakomerne osvetljenosti so opisane v standardu, ki je v veljavi, in se nanaša na projektiranje notranje razsvetljave, in sicer:

- SIST EN 12464 Lighting applications – Lighting of working places (razsvetljava na delovni mestih)

5.1.3 Omejitev bleščanja

Bleščanje zmanjšuje človeško sposobnost opazovanja okolice (fiziološko bleščanje), zadrževanje v takih prostorih pa deluje na ljudi neugodno in utrujajoče (psihološko bleščanje). Pomembno je, da bleščanje omejimo, saj s tem preprečimo napake in utrujenost, zaradi katerih lahko pride do nesreč. Bleščanje je odvisno od:

- zahtevane osvetljenosti,
- razporeditve svetilk,
- razporeda delovnih mest,
- svetlosti površin v posredni in neposredni okolici svetilk
- vrste uporabljenih svetilk

Vrednosti direktnega bleščanja so opisane v standardu, ki so v veljavi, in se nanaša na projektiranje notranje razsvetljave, in sicer:

- SIST EN 12464 Lighting applications – Lighting of working places (razsvetljava na delovni mestih)

5.1.4 Usmerjenost svetlobe

Posledica usmerjene svetlobe so sence, ki pomembno vplivajo na prepoznavanje oblik in izgled površin objektov v prostoru. Usmerjena svetloba je predvsem pomembna pri tistih vidnih nalogah, pri katerih je potrebno poudariti strukturo in plastičnost predmeta, ki pa ju lahko dosežemo le z dodatno osvetlitvijo.

Pri mnogih vidnih nalogah (npr. branju, pisanju, risanju) pa sence niso zaželene oz. včasih celo motijo ter jih moramo zato zmanjšati.

5.1.5 Barvna klima

Barvna klima je tisti faktor, ki dela prostor prijeten in harmoničen ter tako omogoča barvno razpoznavanje predmetov. Pri ustvarjanju ugodne barvne klime v prostoru je najpomembnejši izbor svetlobnih virov. Najpomembnejša faktorja za doseganje ugodne barvne klime sta:

- barva svetlobe in
- barvna reprodukcije.

Oba faktorja sta med seboj tesno povezana in ju moramo zato vedno obravnavati skupaj.

Barva svetlobe je lastnost vidne svetlobe, ki jo seva svetlobni vir in ima pomembno vlogo pri razpoloženju. Hladne barve svetlobe so primerne za prostore, kjer se zahteva večja zbranost in koncentracija, kot so npr. pisarne, učilnice, industrijski objekti, itd., tople barve svetlobe pa uporabljamo v prostorih, ki so namenjeni sprostitvi, kot so npr. hotelske sobe, restavracije, stanovanjski objekti itd.

O ustrezni barvni reprodukciji lahko govorimo takrat, ko predmet, osvetljen z nekim svetlobnim virom, izgleda ravno takih barv, kot kadar je osvetljen z referenčno svetlobo. Referenčna svetloba pa je običajno dnevna svetloba. Barvno primerljivost podajamo z odstotkom podobnosti z referenčnim virom, pri čemer barvna primerljivost 100 pomeni, da ima opazovalni predmet pri preizkušeni svetlobi na pogled popolnoma enako barvo kot pri dnevnih svetlobi. [12]

6 Biološki vplivi svetlobe na ljudi

6.1 Človeška bitja in učinkovitost svetlobe

Svetloba je življenje. Prvo življenje na Zemlji se je pričelo pred tremi milijardami let s pomočjo sonca. Za homo sapiensa in prednike, ki so na zemlji že približno 200.000 let, je bil ogenj edini vir umetne svetlobe, saj je električna umetna svetloba v uporabi nekaj več kot 100 let.

Odkritje tretjega fotoreceptorja v očesni mrežnici v začetku 21. stoletja, ki se ne uporablja za vid, je potrdilo, kar so znanstveniki že dolgo predvidevali, in sicer, da nam svetloba ne samo omogoča, da vidimo, ampak igra tudi vidno vlogo pri sinhronizaciji naše notranje ure. Svetloba ima pomembno vlogo pri tem, ali smo spočiti, pozorni, dinamični ali smo spali dobro ter se počutimo zdrave.

6.2 Ritmi narave

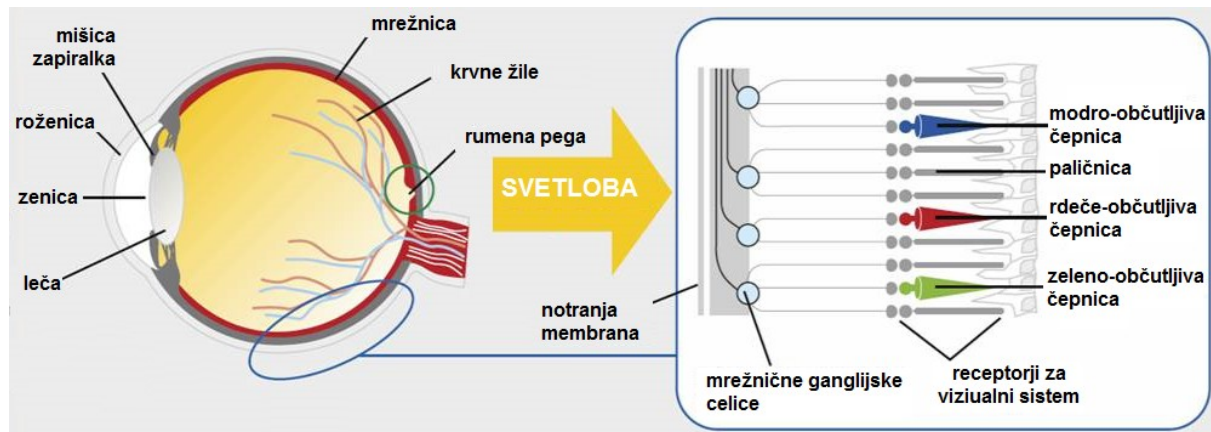
Vse življenje na Zemlji je prostorsko in časovno organizirano. Mnogo procesov v naravi je ritmičnih. Zemlja se zavrti okoli svoje osi vsakih 24 ur ter obkroži Sonce vsakih 365 dni, zato pride do zaporedja dneva in noči ter letnih časov. Luna po drugi strani kroži okoli Zemlje in v povezavi s Soncem ustvarja plimo ter vzpostavlja mesečni ritem. Ti naravni cikli so imeli velik vpliv na življenjsko okolje rastlin in živali. V teku evolucije človeka se je tako spreminjalo in razvijalo gensko zavedanje poteka časa, znano kot naša notranja ura.

Svetloba, motivacija in učinkovitost so bolj povezane, kot si to morda mislimo, saj svetloba sinhronizira našo notranjo uro. Če je naša notranja ura neusklajena, postanemo utrujeni in smo brez volje, lahko pride do težav z nespečnostjo, v nekaterih primerih tudi do depresije v temnejših zimskih mesecih.

6.3 Notranja ura človeka

Dolgo časa ni bilo jasno, kako zaznavamo svetlobne dražljaje, toda v letu 2002 so znanstveniki ugotovili tretji fotoreceptor, ki se nahaja v mrežnici poleg čepnic (za barvni vid) in paličic (za nočno gledanje). Te posebne ganglijeve celice so fotoobčutljive, vendar se ne

uporabljajo za vid. Njihov edini namen je, da zaznavajo svetlobo in tako uravnavajo biološke procese v telesu.

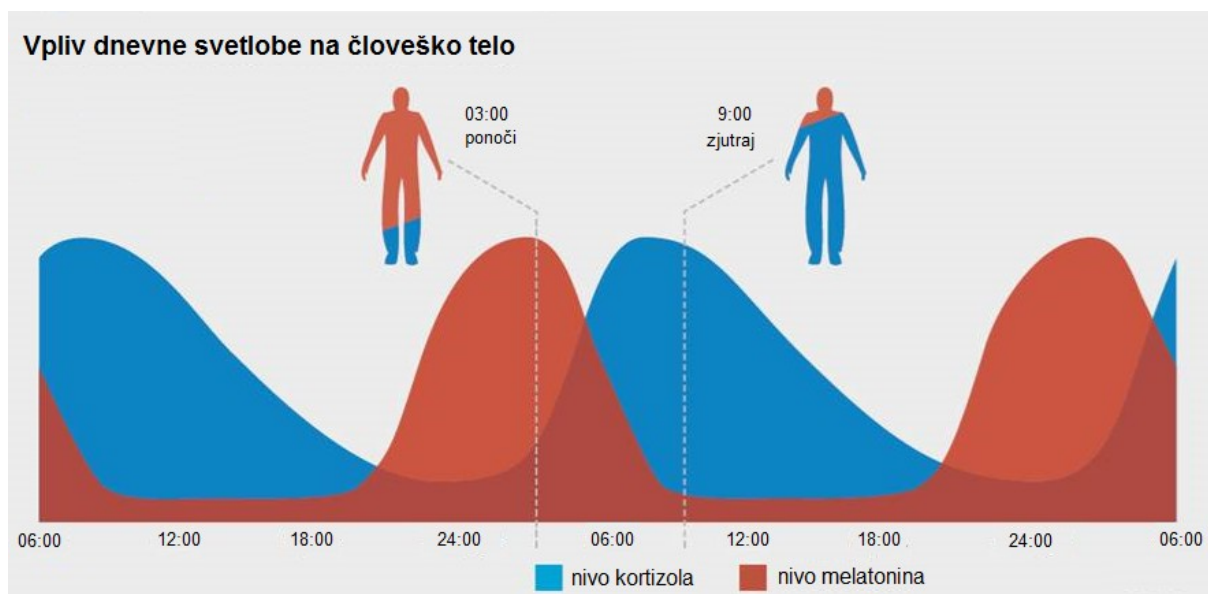


Slika 11: Čepnice, paličnice in ganglijske celice [19]

Mrežnične ganglijske celice se nahajajo v globoki plasti mrežnice in imajo neposredno povezavo z možgani ali natančneje s suprakiazmatičnim jedrom, ki je posrednik med svetlobo in odzivom telesa na njo. Je osrednja kontrolna točka, ki natančno sinhronizira številne ure v telesu. Suprakiazmatično jedro je sestavljeno iz dveh jeder velikosti riževega zrna. Vsako jedro je sestavljeno iz tisočih živčnih celic, katerih ritmi se sinhronizirajo vsak dan pri dnevni svetlobi.

Človeške funkcionalne sposobnosti so neposredno povezane z vsebnostjo dveh hormonov, ki ju izloča žleza epifiza in se imenujeta melatonin in kortizol. Ob povečani koncentraciji melatonina postanemo utrujeni in koncentracija kortizola upade, na drugi strani pa visoka raven kortizola pomaga pri prebujanju in tako povečuje našo aktivnost ter produktivnost. Koncentracija obeh hormonov se spreminja s količino svetlobe, ki pade na očesno mrežnico. Pri višji osvetljenosti, še posebej s hladno belo svetlobo, povzroči naraščanje kortizola in zavira tvorbo melatonina.

Nivo kortizola in melatonina se tekom celotnega dneva spreminja. Kortizol se začne sproščati v jutranjih urah, maksimalno vrednost doseže okoli devete ure zjutraj in tekom dneva upada. Medtem ko se proizvodnja melatonina prične ob večernih urah in doseže najvišjo točko okoli tretje ure zjutraj.



Slika 12: Potek koncentracije kortizola in melatonina [19]

6.4 Biološki ritmi

Pod nadzorom možganov se isti program izvaja v človeškem telesu dan za dnem. Naša notranja ura ne nadzoruje samo faze spanca in budnosti, ampak tudi naš srčni utrip, krvni tlak, presnovo in razpoloženje. Vsaka celica in vsak organ ima lastni ritem, ki ga je potrebno redno sinhronizirati z zunanjim svetom, kar zagotavlja svetlost podnevi in tema ponoči.

Številne telesne funkcije so ciklične, tako pri ljudeh kot pri drugih živih bitjih. Kronobiologi tako razlikujejo tri glavne skupine glede na dolžino cikla:

- ultradiani cikel: traja le nekaj ur ali manj,
- cirkadiani cikel: traja približno 24 ur,
- infradiani cikel: traja dlje kot 24 ur.

Človeška bitja imajo cirkadiani notranji ritem dneva in noči. Sposobnost, da se prilagodimo na čas dneva je zasidran v naši genetiki. Poskusi na testnih osebah v izolacijskih komorah so pokazali, da se faze spanca in budnosti ohranijo, brez vpliva dnevne svetlobe. Genetsko programirani ritem pri ljudeh je običajno nekoliko drugačen kot 24 ur, za nekatere ljudi je cikel krajši od 24 ur, za druge pa je znatno daljši. Na podlagi teh razlik se ljudje delijo na različne kronotipe.

Kronotipi so opredeljeni predvsem z njihovimi spalnimi navadami. Mnogi ljudje so zgodnje vrste in so budni ob zori, te poimenujemo »škrjanci«. Obstajajo pa tudi »sove«, ki potrebujejo

več časa, da se soočijo z novim dnem. Njihova notranja ura teče počasneje kot pri drugih ljudeh.

V primerjavi s povprečjem imata obe skupini premaknjen ritem spanja in budnosti. »Škrjanci« se budijo s svojo notranjo uro, »sove« pa z budilko, zaradi česar trpijo za pomanjkanjem spanca, ki ga morajo nadoknaditi bodisi s počitkom čez dan ali ob koncu tedna. Tudi ljudje, ki vstajajo zgodaj, imajo težave z notranjo uro, še posebej ob koncu tedna, kadar gredo spat pozno, saj se potem zbudijo zgodaj zjutraj kot običajno.

Na naše kronobiološke ritme vplivata tudi poletje in zima. V temnih mesecih v letu se po navadi manj gibamo ter imamo težave s koncentracijo, prav tako se naša telesna teža poveča in raven sladkorja v krvi narašča.

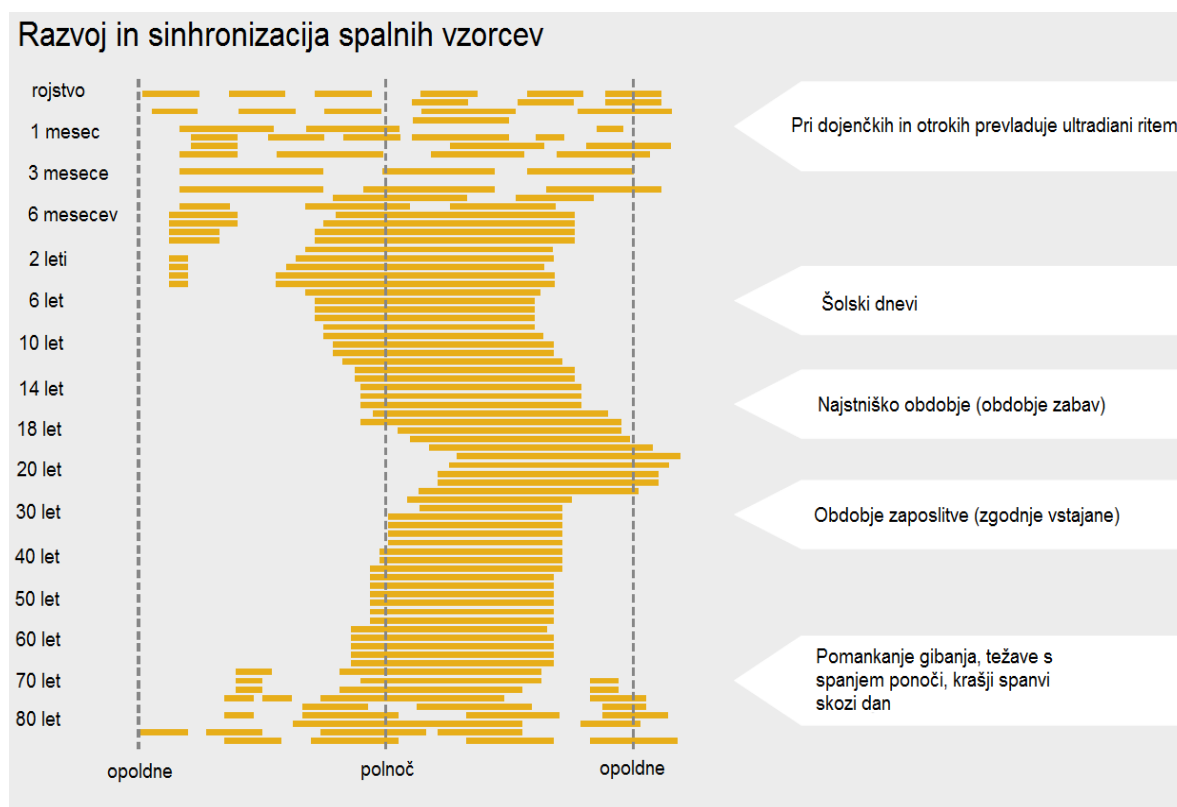
Letni časi imajo tudi psihološki vpliv. V krajih z različnimi letnimi časi so ljudje pozimi manj razpoloženi, pri čemer jim lahko pomaga že 30-minutni sprehod.

Ekstremni kronotipi pogosto trpijo zaradi stalnega nasprotja z njihovo notranjo uro in so bolj nagnjeni k boleznim.

6.5 Ritmi in starost

Mladi starši so pogosto utrujeni zaradi notranje ure svojega otroka. Dojenčkom in malčkom še vedno poveljuje ultradiani ritem, ki traja tri ali štiri ure.

Ko mladi dosežejo obdobje najstnika, se njihov vzorec spanja ponovno spremeni, saj z nastopom pubertete notranja ura teče počasneje. Najstnik bo šel v posteljo kasneje in bi spal pogosto več kot osem ur, zato je zjutraj, ko se začne pouk, še vedno utrujen. Okoli starosti 20 let se potreba po spanju zmanjša na sedem ali osem ur. Od starosti 30 let dalje kakovost spanja vztrajno pada, spimo slabše in manj, čeprav smo šli v posteljo prej. Pri starosti 70 let, postanejo ti simptomi vedno bolj izraziti. Starejši smo, manj naše telo razlikuje med dnevom in nočjo, potreba po spanju ostaja enaka, vendar je ritem spanja in budnosti vedno bolj nesinhroniziran z zunanjim zaporedjem dneva in noči. Spanje postane neredno, krajši spanci čez dan pa so pogost pojav. S pravilno razsvetljavo lahko stabiliziramo cirkadiani ritem, ki omogoča starejšim ljudem boljši spanec ponoči ter večjo aktivnost čez dan.



Slika 13: Razvoj in sinhronizacija spalnih vzorcev [19]

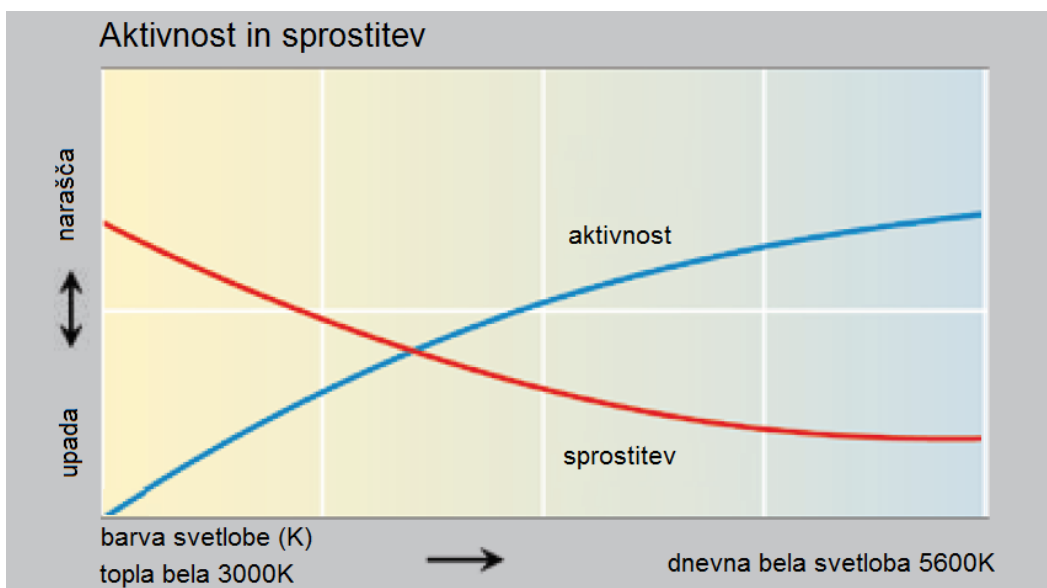
6.6 Biološko aktivna notranja razsvetljava

Ker ima naravna svetloba toliko pozitivnih učinkov na človeško telo, jo poizkušamo izkoriščati v notranjih prostorih, kolikor se le da. Ker pa vseh notranjih prostorov ne moremo osvetliti z naravno svetlobo, si pomagamo z umetno svetlobo.

Skozi dan se svetlost, barvna temperatura in smer dnevne svetlobe spreminjajo. Umetni viri svetlobe, ki nadomeščajo omenjene dnevne spremembe, pozitivno vplivajo na počutje in motivacijo. Z dobro regulacijo svetlobnih virov v prostorih lahko precej izboljšamo sposobnosti koncentracije, spomina, splošnega počutja in komunikacije.

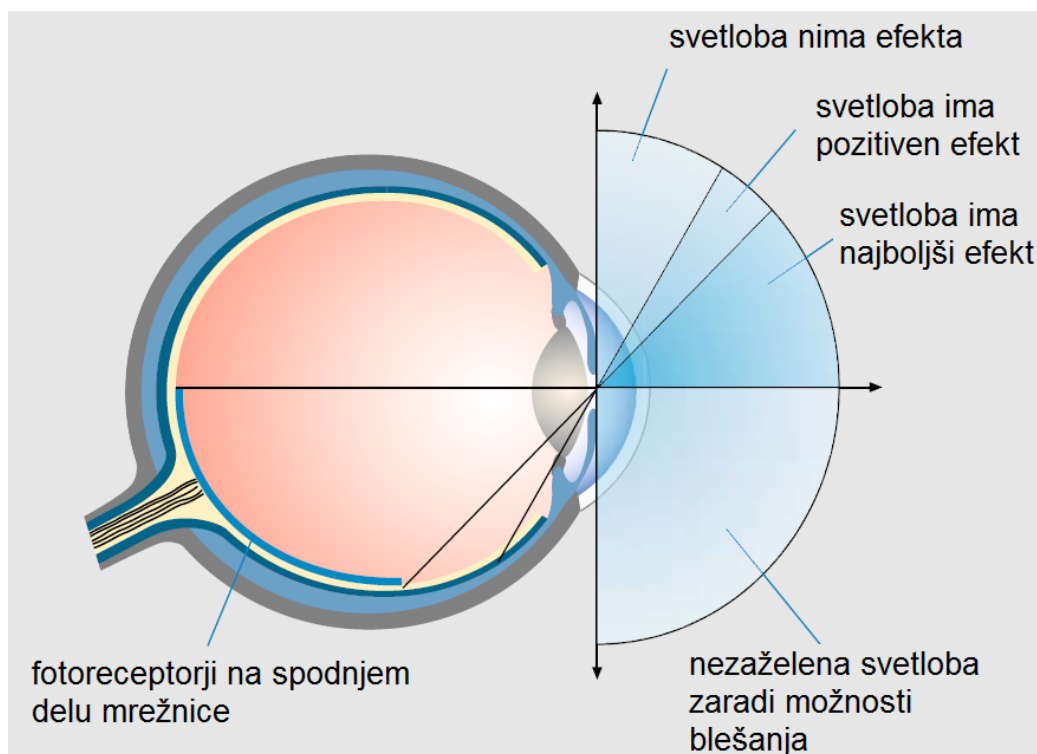
O biološko učinkoviti razsvetljavi govorimo takrat, ko usklajeno spreminjamo barvo svetlobe in nivo osvetljenosti glede na počutje in potrebe človeka. Barvo svetlobe izražamo s temperaturo v kelvinih (K), ki je v območju od tople bele (<3300 K) pa do hladno bele svetlobe (>5300 K). Hladno bela svetloba, s temperaturo nad 5300 K, pozitivno vpliva na koncentracijo, spomin in splošno počutje, zato se v izobraževalnih ustanovah uporabljajo

svetlobne vire, ki oddajajo svetlobo z visoko vsebnostjo modre svetlobe. Ko se človek v večernih urah pripravlja na počitek, so priporočeni nižji nivoji osvetljenosti, s temperaturami, ki so nižje od 3300 K.



Slika 14: Človeške sposobnosti glede na barvno temperaturo svetlobe [1]

Najbolj učinkoviti so tipi svetil, ki osvetljujejo strop in stene ter tako omogočajo svetlobi, da vstopa v oko od spredaj in zgoraj ter tako pade na občutljive fotoreceptorje v spodnjem delu očesne mrežnice.



Slika 15: Vzbujanje fotoreceptorjev v spodnjem delu mrežnice [19]

Da zadostimo omenjenim pogojem uporabljamo svetilke za osvetljevanje stropov in viseče svetilke z indirektnim sevanjem ter svetilke za osvetljevanje sten.



Slika 16: Primer indirektne osvetlitve učilnice [13]

Parametri za biološko aktivno razsvetljavo so:

- visoka osvetljenost,
- osvetljevanje večjih površin z velikimi sevalnimi površinami (strop, stene),
- vstop svetlobe v oko z zgornje in sprednje strani,
- barvna temperatura,
- ustrezna osvetljenost,
- barvna temperatura skozi dan in letne čase.

[19]

7 Razsvetljava šol in izobraževalnih ustanov

Razsvetljava v izobraževalnih ustanovah ima zelo pomembno vlogo, saj omogoča absorpcijo informacij, ki jih predavatelj predaja slušateljem. Boljša kot je razsvetljava, večja je zmožnost prejemanja, obdelovanja in učenja informacij.

Slabo razsvetljavo začutimo kot motečo, zniža nam koncentracijo ter se ob njej počutimo neprijetno.

7.1 Osnovne vidne naloge

Glavna dejavnost, ki poteka v učilnicah in predavalnicah, je sestavljena iz podajanja in prejemanja vidnih in slušnih informacij. Raziskave so pokazale izboljšanje koncentracije in logičnega razmišljanja ob višji kvaliteti razsvetljave. [1]

Vidne naloge slušateljev v predavalnicah so sestavljene iz branja besedil na šolski tabli in stenskih zemljevidov, pisanja v zvezke, branja iz učbenikov, gledanja predstavitvenih filmov ter daljšega opazovanja predavatelja. Glede na vse vidne naloge, ki se v predavalnici dogajajo, je za njih značilno, da se ponavljajo v nekem zaporedju, kar povzroča konstantno prilagoditev vida med branjem na dolgi razdalji in pisanju zapiskov pri kratki razdalji. Najpomembnejša vidna naloga predavatelja je opazovanje slušateljev, branje zapiskov in gledanje pri izvajanju različnih demonstracij.

7.2 Kriteriji kakovostne razsvetljave

Pri načrtovanju razsvetljave v izobraževalnih ustanovah je potrebno upoštevati naslednje kriterije: osvetljenost delovnih površin, direktno bleščanje, vertikalno in horizontalno osvetljenost, regulacijo svetlobnih virov ter uporabo različnih scen.

7.2.1 Osvetljenost

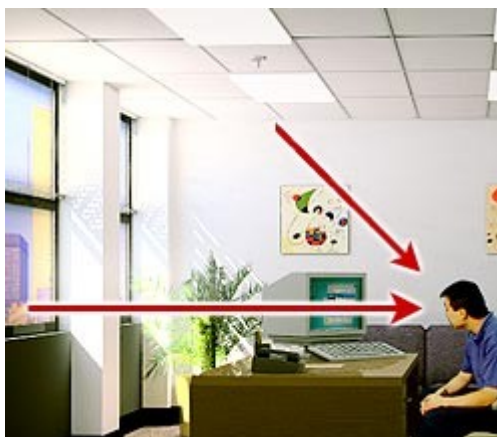
Ker v predavalnicah in učilnicah izvajamo različne vizualne naloge, referenčna ravnina, na kateri mora biti dosežena primerna osvetljenost, ne zajema le ravnine miz, temveč vključuje tudi vertikalne ravnine, kot so tabla in stene, na katerih so plakati, zemljevidi in ostali pripomočki.

Da povečamo koncentracijo slušateljev, je priporočljivo, da je horizontalna osvetljenost na delovnih površinah enaka vertikalni osvetljenosti sten in table.

Minimalne nivoje osvetljenosti prostorov za izobraževanje predpisuje standard SIST EN 12464-1.

7.2.2 Bleščanje

Pri načrtovanju razsvetljave se srečujemo z direktnim in refleksnim bleščanjem, ki negativno vplivata na učni proces, saj zmanjšujeta vidne sposobnosti, povzročata utrujenost in zmanjšujeta koncentracijo, zato ju je potrebno omejiti.



Slika 17: Primer direktnega bleščanja

Direktno bleščanje, ki je posledica prevelike svetlosti svetlobnega vira, lahko omejimo s:

- svetilkami z nizkimi svetlostmi v območju nad 45° glede na pravokotnico na svetlečo površino svetilke;
- povečanjem kota med virom bleščanja in linijo pogleda;
- povečanjem svetlosti površin v okolici vira bleščanja.

Refleksno bleščanje, ki je posledica svetlobe, ki se pod minimalnim kotom odbije od vidne naloge v oči, je najbolj očitno na sijočih listih učbenikov in ga lahko omejimo z:

- ustrezno pozicijo svetilk glede na delovno mesto; svetloba naj vpada iz smeri gledanja (od zadaj) ali prečno na smer gledanja;
- uporabo svetilk z nižjimi svetlostmi v območju kotov sevanja med 0° in 30° (glede na vertikalo);
- uporabo svetilk z velikimi svetlečimi površinami;
- uporabo svetilk z direktno-indirektno osvetlitvijo.



Slika 18: Primer refleksnega bleščanja

7.2.3 Usmerjenost razsvetljave

V običajnih učilnicah s fiksnim razporedom miz ter fiksno orientacijo naj bodo svetilke s simetrično široko razporeditvijo svetilnosti v prečni smeri razporejene na prehodih med mizami. S tako postavitvijo preprečujemo direktno bleščanje v smeri gledanja.

Za osvetlitev table pa uporabimo svetilke z asimetrično porazdelitvijo svetilnosti, ki so montirane pravokotno na linijo gledanja.



Slika 19: Primer osvetlitve običajne učilnice

- 1 – svetilke splošne razsvetljave za dnevno-nočni čas
- 2 – svetilke za osvetlitev table
- 3 – svetilke splošne razsvetljave za nočni čas

Sence, ki jih povzročajo svetilke, je mogoče odpraviti z razporeditvijo svetilk v neprekinjene vrste, ob tem pa moramo zagotoviti, da svetloba na nobeno mesto ne pada samo iz ene vrste svetilk.

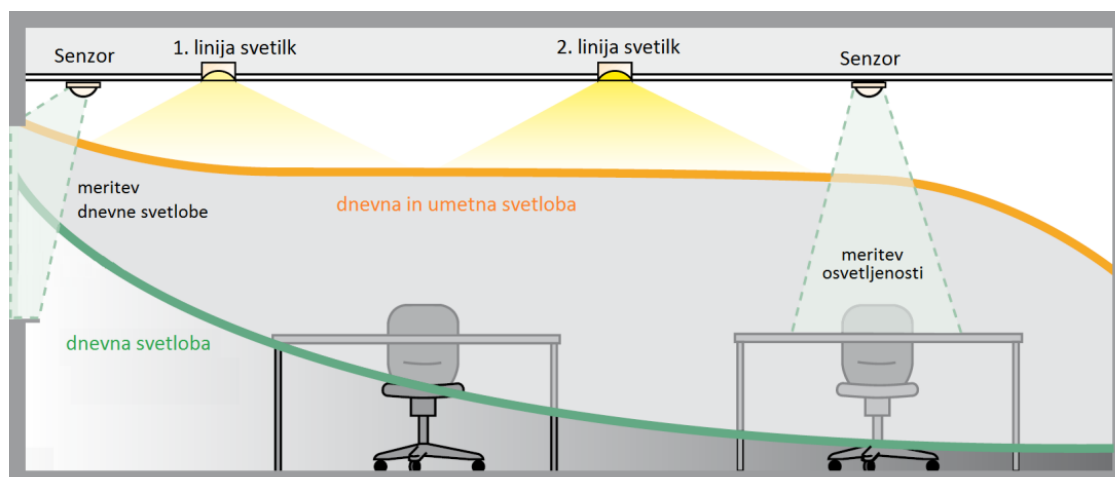
Ker je večina ljudi desničarjev, so okna praviloma na levi strani, linija pogleda pa je izbrana po navadi vzporedno z okni, zato je desna roka študentov, ki sedijo blizu okna, v relativni temi in jih učitelj ne more zadovoljivo prepoznati. Rešitev omenjenega problema predstavlja vzporedno z okni montirana vrsta svetilk, ki istočasno odpravi moteče sence rok za tiste, ki pišejo z levo roko.

7.2.4 Krmiljenje umetne razsvetljave

Učilnice so prostori s stransko nameščenimi okni, kjer dnevna svetloba upada z oddaljenostjo od oken, zaradi tega je potrebno delovne površine, ki so od oken bolj oddaljene, dodatno osvetljevati z umetno razsvetljavo. Sistem krmiljenja nam pri tem omogoča enak nivo osvetljenosti na delovnih površinah ob oknih in na tistih delovnih površinah, ki so od oken najbolj oddaljena, s tem pa zmanjšujemo porabo energije.

Krmiljenje deluje s pomočjo fotosenzorjev, ki merijo osvetljenost na delovni površini. Če je nivo osvetljenosti na delovni površini previsok, krmilni sistem ustrezno zmanjša svetilnost umetne razsvetljave, če pa je osvetljenost na delovni površini prenizka, krmilni sistem ustrezno poveča svetilnost umetne razsvetljave.

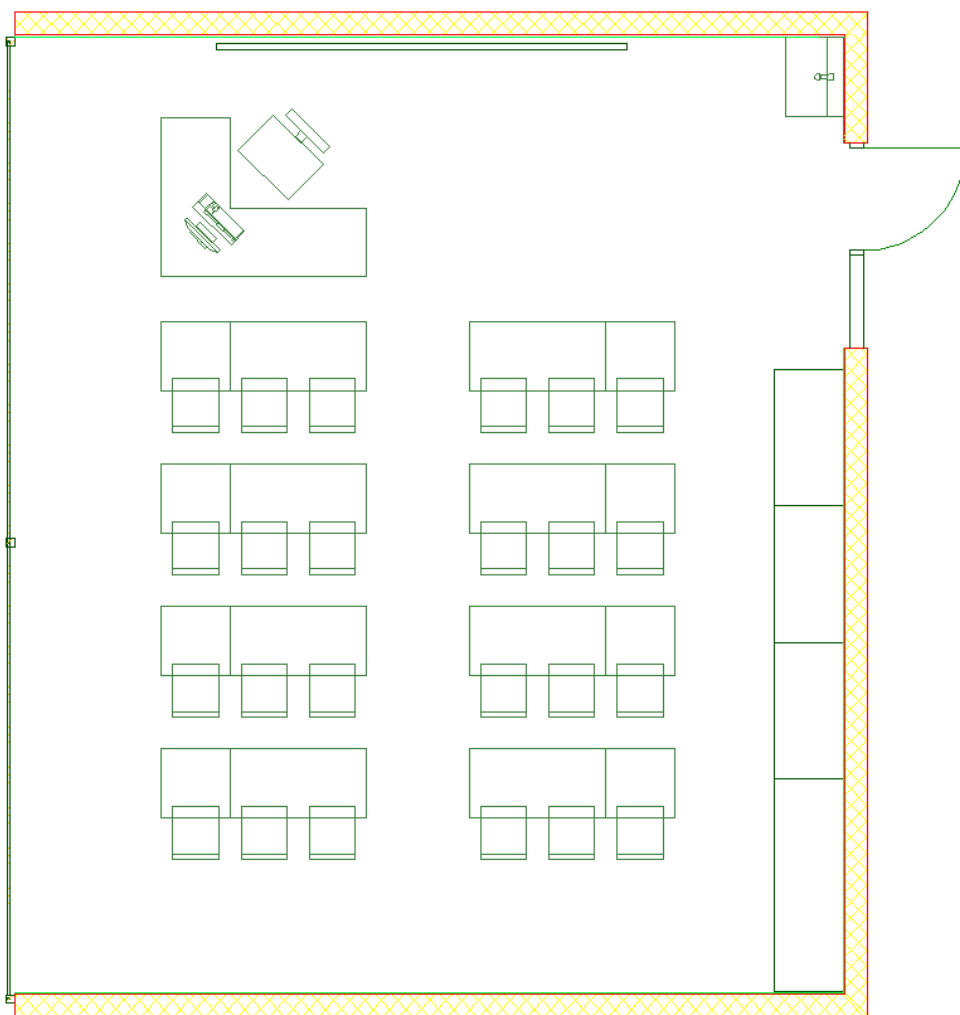
Prihranki ob krmiljenju umetne razsvetljave na osnovi dnevne svetlobe se gibljejo okoli 20 %, če pa dodamo še krmiljenje na osnovi prisotnosti, pa se prihranki povečajo na okoli 45 %.



Slika 20: Krmiljenje umetne svetlobe na osnovi dnevne [1]

8 Biološko aktivna razsvetljava šolske učilnice

V tem poglavju je predstavljena idejna zasnova razsvetljave biološko aktivne učilnice. Učilnica je dimenzij 7,7 m x 7,3 m ter višine 3,2 m in ima na levi strani okna, skozi katera prihaja naravna svetloba.



Slika 21: Tloris učilnice

8.1 Priporočila pri projektiranju šolske učilnice

8.1.1 Nivo osvetljenost

Za razsvetljavo šolske učilnice, kjer se izvaja izobraževanje odraslih, predpisuje standard SIST EN 12464-1 osvetljenost 500 lx, šolska tabla pa mora biti v skladu s standardom vertikalno osvetljena s 500 lx.

8.1.2 Enakomernost osvetljenosti

Enakomernost osvetljenosti mora po standardu SIST EN 12464-1 znašati 0,6, medtem ko mora biti enakomernost šolske table 0,7.

8.1.3 Bleščanje

Poleg ustrezne razporeditve svetilk je pomembna izbira svetilke z ustrezno prostorsko razporeditvijo svetilnosti.

Posebno pozornost moramo posvetiti tudi svetilkam za osvetljevanje šolskih tabel, le-te morajo biti nameščene minimalno 60° stopinj nad horizontalnim pogledom predavatelja.

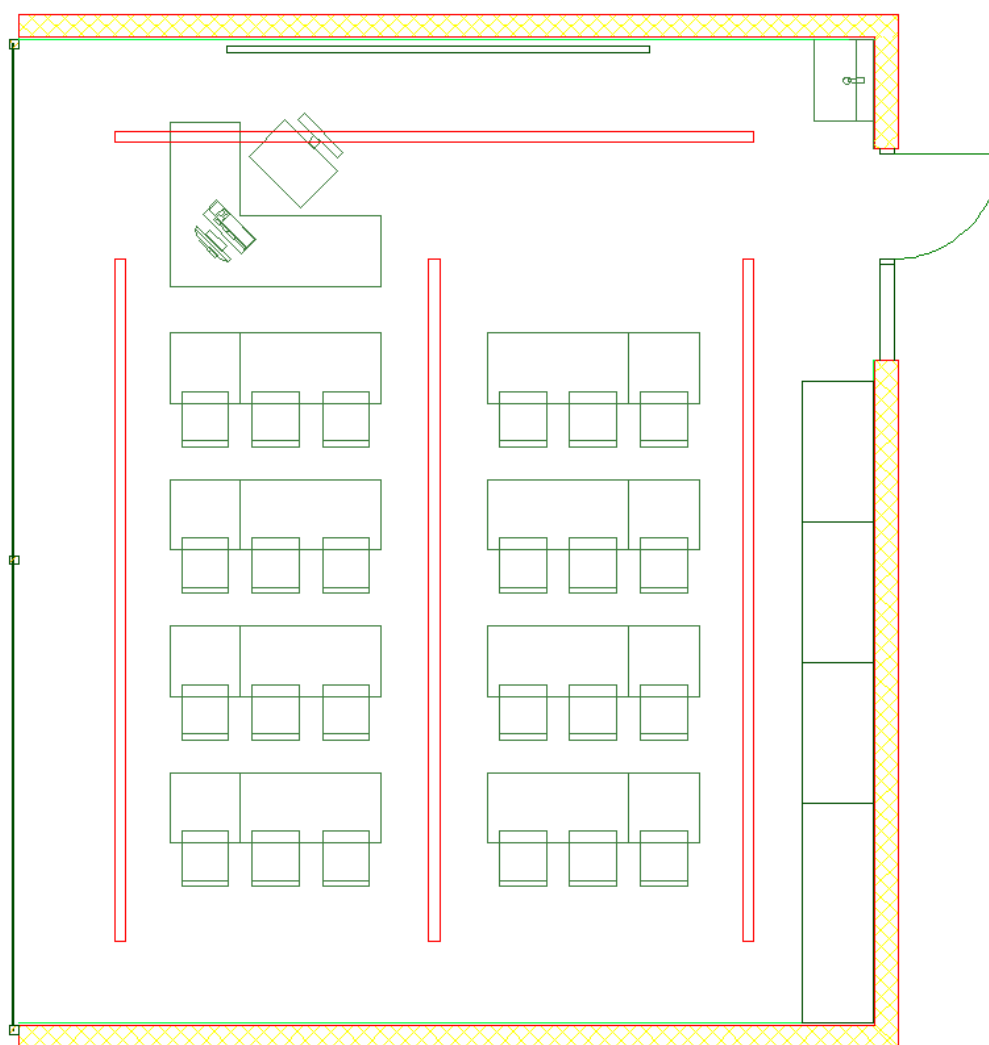
8.1.4 Barvna reprodukcija

SIST EN 12464-1 predpisuje vrednost barvnega indeksa v izobraževalnih prostorih minimalno 80.

8.2 Postavitev svetilk in krmiljenje razsvetljave

8.2.1 Postavitev svetil

Glede na arhitekturno zasnovo učilnice je najbolj primerna postavitev svetilk splošne razsvetljave v treh vrstah, ki potekajo vzporedno z okni učilnice. Taka razporeditev zagotavlja enakomerno porazdelitev osvetljenosti ter preprečuje bleščanje. Svetilke splošne razsvetljave, ki sem jih uporabil, so visečega tipa z direktno-indirektnim sevanjem ter simetrično razporeditvijo. Za osvetlitev šolske table pa sem uporabil svetilke visečega tipa z direktnim sevanjem ter asimetrično porazdelitvijo.



Slika 22: Postavitev svetilk

V našem primeru bosta uporabljena dva sistema krmiljenja, in sicer krmiljenje razsvetljave glede na prisotnost naravne svetlobe in prisotnost ter krmiljenje razsvetljave glede na barvo naravne svetlobe.

8.2.2 Krmiljenje razsvetljave glede na prisotnost naravne svetlobe ter prisotnost

Takšno krmiljenje temelji na uporabi dveh senzorjev, in sicer senzorja za merjenje osvetljenosti na delovni površini ter senzorja prisotnosti. Senzor prisotnosti zaznava osebe v prostoru ter na ta način vklaplja sistem razsvetljave. Senzor osvetljenosti pa deluje tako, da meri trenutno osvetljenost v prostoru ter na ta način preko krmilnika, na katerem smo nastavili želeni nivo osvetljenosti, krmili svetilke v prostoru. V kolikor je naravne svetlobe v prostoru dovolj, krmilni sistem izklopi svetilke oz. jim ustrezno zmanjša svetilnost. Če pa je naravne

svetlobe manj, kot smo nastavili, pa krmilni sistem vklopi svetilke oz. jim ustrezno poveča svetilnost.

8.2.3 Krmiljenje razsvetljave glede na barvo naravne svetlobe

Do nedavnega je bilo krmiljenje temperature barve svetlobe možno samo ročno, preko stikalnih tablojev, s katerimi je predavatelj izbral temperaturo barve svetlobe, glede na počutje učencev. Če je želel predavatelj učence zjutraj zbuditi in jih pripraviti na delo, je nastavil temperaturo barve na hladno belo, okoli 12.000 K, ter osvetljenost na 650 lx. Ko so pisali test, je nastavil temperaturo barve na 6.000 K ter nivo osvetljenosti na 1000 lx in s tem učencem povišal koncentracijo. Ko pa so učenci postali nemirni, jih je predavatelj umiril s temperaturo okoli 2.700 K ter osvetljenostjo 300 lx.

Z razvojem krmilne tehnike pa so razvili senzor, ki zaznava barvo naravne svetlobe in nato preko krmilnika temperaturo razsvetljave v prostoru prilagodi naravni svetlobi. V primerjavi s FLUO svetili, kjer je bilo krmiljenje možno, vendar zelo okorno, je pri uporabi LED svetil samo krmiljenje temperature barve zelo enostavno.

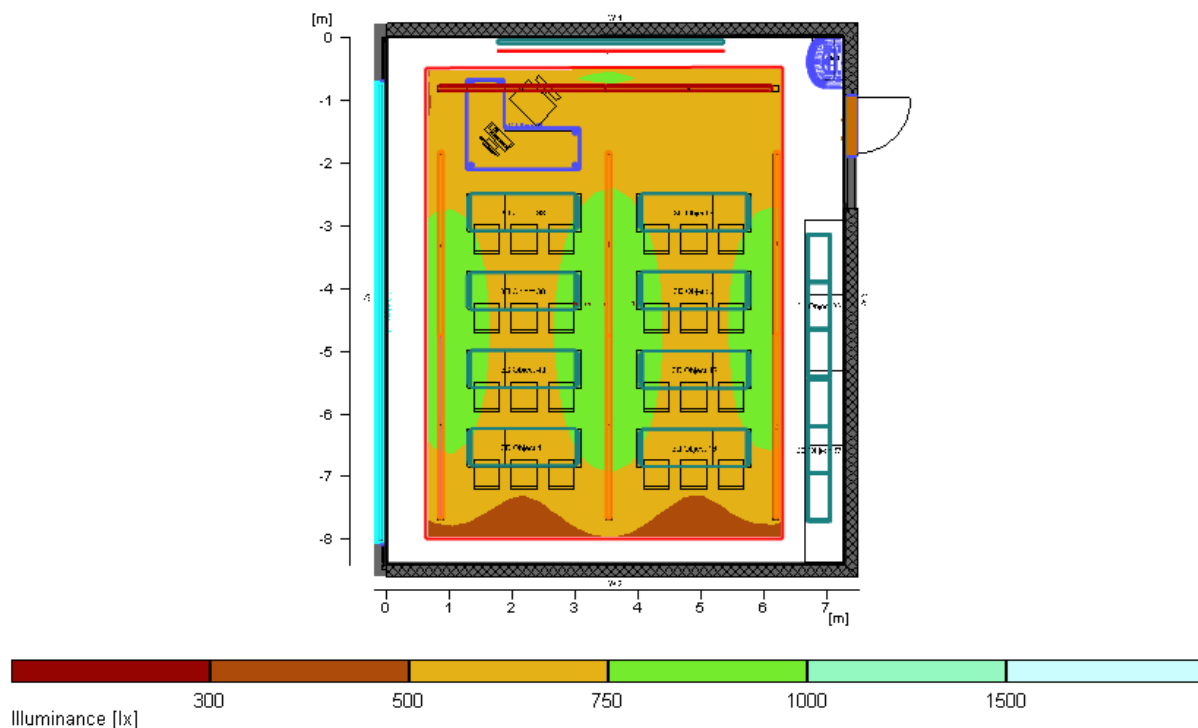
8.3 Izračun osvetljenosti

Izračun osvetljenosti sem pripravil s programskim paketom ReluxPro. Čeprav standard predpisuje osvetljenost 500 lx, sam priporočam višji nivo osvetljenosti okoli 650–1000 lx, ki ga je možno krmiliti s prej opisanim sistemom in je eden od pomembnih parametrov za biološko aktivnost.

Iz izračuna je razvidno, da je srednja osvetljenost učilnice 688 lx pri enakomerni osvetljenosti delovne površine 0,61, kar zadošča zahtevam standarda.

Iz izračuna je razvidno, da je srednja osvetljenost šolske table 700 lx pri enakomernosti 0,68, kar zadošča zahtevam standarda.

Priključna električna moč uporabljenih svetilk znaša 1062W, na enoto površine pa znaša $17,31\text{W/m}^2$, kar nekoliko presega predpisano vrednost, ki jo določa pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, vendar se omenjeni pravilnik nanaša na celotno stavbo, tako glede na celotni objekt ne bi smeli preseči dovoljene vrednosti, ki znaša 13W/m^2 . [14]



General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	100300 lm
Total power	1062 W
Total power per area (61.36 m²)	17.31 W/m² (2.51 W/m²/100lx)

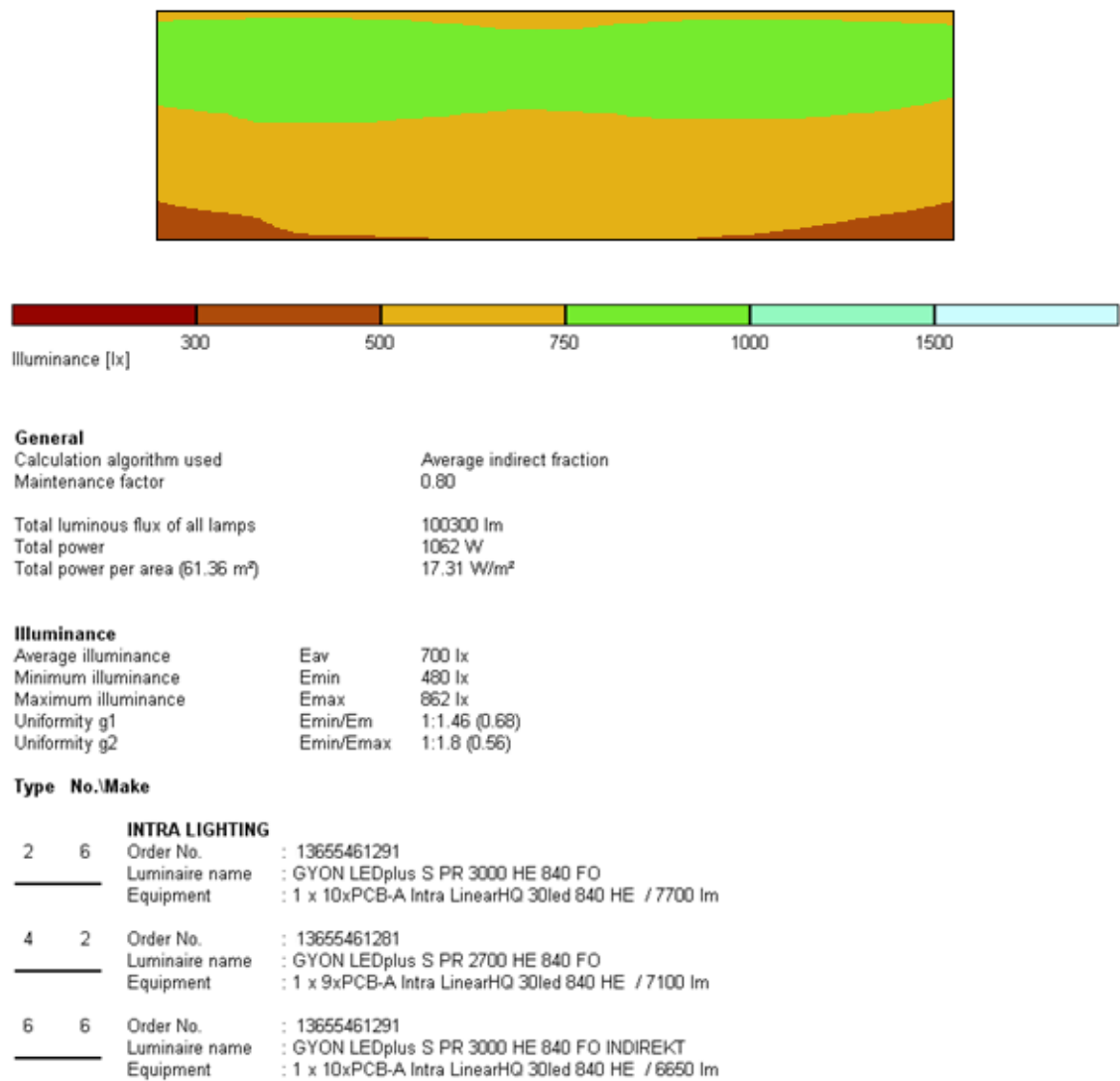
Illuminance

Average illuminance	Eav	688 lx
Minimum illuminance	Emin	422 lx
Maximum illuminance	Emax	926 lx
Uniformity g1	Emin/Em	1:1.63 (0.61)
Uniformity g2	Emin/Emax	1:2.2 (0.46)

Type No.\Make

INTRA LIGHTING			
2	6	Order No.	: 13655461291
		Luminaire name	: GYON LEDplus S PR 3000 HE 840 FO
		Equipment	: 1 x 10xPCB-A Intra LinearHQ 30led 840 HE / 7700 lm
4	2	Order No.	: 13655461281
		Luminaire name	: GYON LEDplus S PR 2700 HE 840 FO
		Equipment	: 1 x 9xPCB-A Intra LinearHQ 30led 840 HE / 7100 lm
6	6	Order No.	: 13655461291
		Luminaire name	: GYON LEDplus S PR 3000 HE 840 FO INDIREKT
		Equipment	: 1 x 10xPCB-A Intra LinearHQ 30led 840 HE / 6650 lm

Slika 23: Izračun osvetljenosti delovne površine



Slika 24: Izračun osvetljenosti table



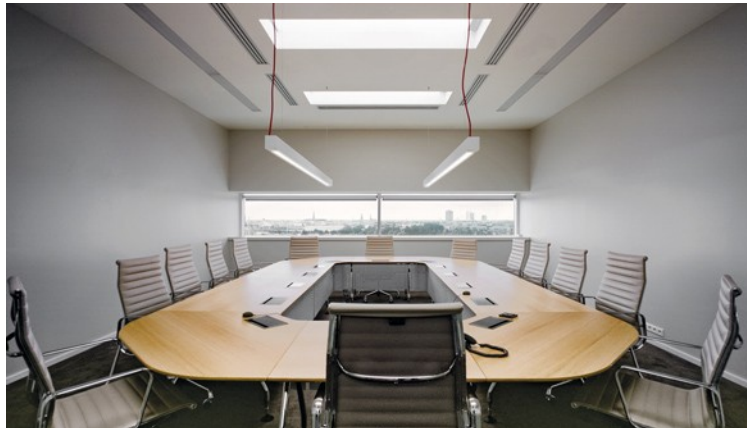
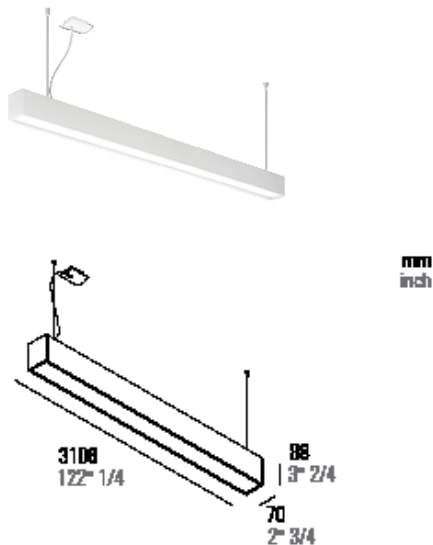
Slika 25: Vizualizacija učilnice 1



Slika 26: Vizualizacija učilnice 2

8.4 Tehnične lastnosti uporabljenih svetil

8.4.1 Svetilke splošne razsvetljave učilnice:



Slika 27: Izgled in dimenzije svetilke Gyron SDI MPR

Tip: Gyron SDI MPR LED

Proizvajalec: Intra Light

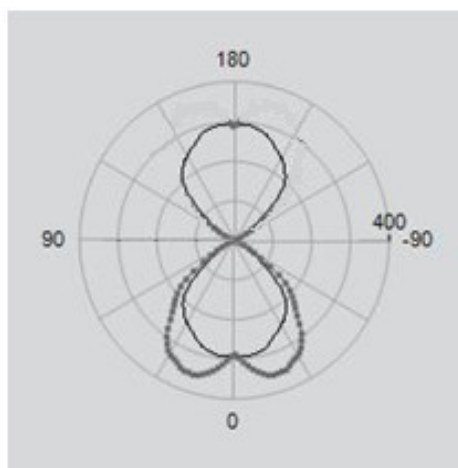
Barva reprodukcija: >80

UGR: <19

Barva svetlobe: Tunable white (2700K – 6500K)

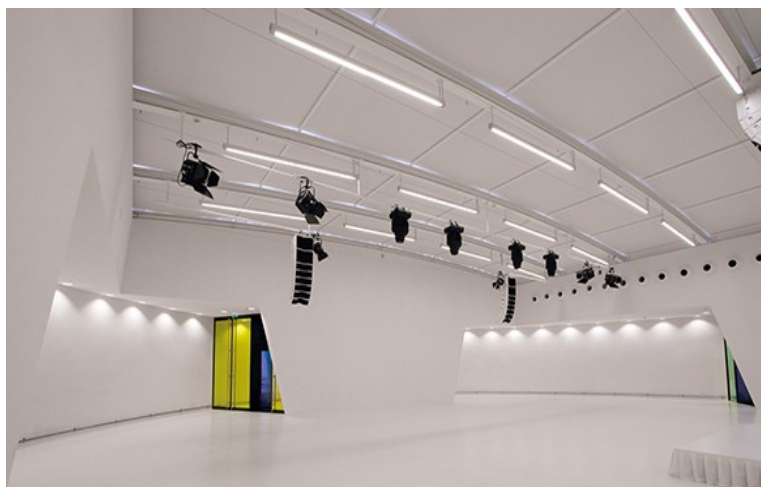
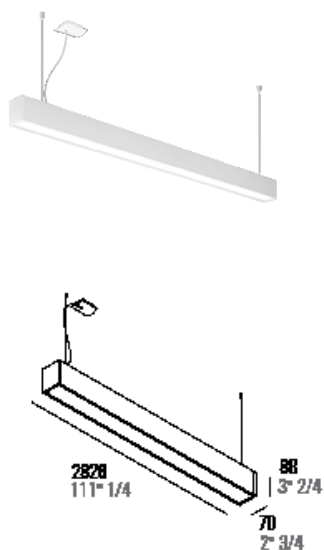
Moč: 81W LED direkt (7700 lm) + 71W LED indirekt (6650 lm)

Zaščita: IP40



Slika 28: Polarni diagram svetilke Gyron SDI MPR

8.4.2 Asimetrične svetilke za osvetlitev table



Slika 29: Izgled in dimenzije svetilke Gyon SA MPR

Tip: Gyon SA MPR LED

Proizvajalec: Intra Light

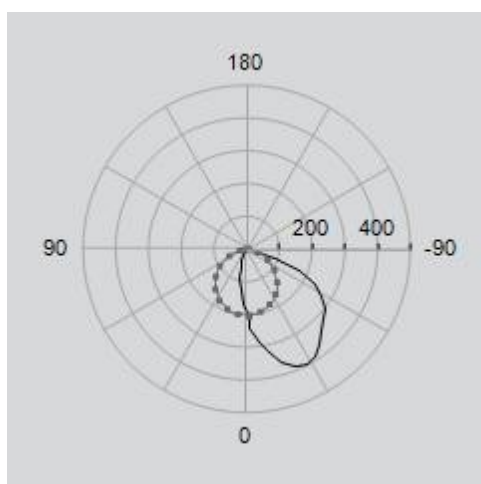
Barva reprodukcija: >80

UGR: <19

Barva svetlobe: Tunable white (4000K)

Moč: 75W LED direkt (7100 lm)

Zaščita: IP40



Slika 30: Polarni diagram Gyon SA MPR

9 Zaključek

V zadnjih letih je bilo opravljenih veliko raziskav o vplivih svetlobe na ljudi, tako nam je teorija popolnoma jasna, tehnologija pa je tudi naredila korak naprej in na trgu so že na voljo sistemi, ki omogočajo biološko aktivno razsvetljavo. Tako moramo teorijo in tehnologijo samo še združiti in uspeh bo tu.

Bioritem dneva in noči je ključni dejavnik za ohranjanje zdravja ljudi, saj so raziskave pokazale, da lahko zaradi neustrezne razsvetljave pride do motnje ritma pri izločanju pomembnih hormonov, kot sta melatonin in kortizol.

Umetna svetloba ob pravem času in s pravo temperaturo barve lahko nadomesti nezadostno izpostavljenost naravni svetlobi, od jutranjega dviga razpoloženja s hladno barvo svetlobe do prijetne tople barve za umirjanje pred spanjem.

Biološko aktivni sistemi razsvetljave bodo imeli v prihodnosti pomembno vlogo pri ohranjanju zdravja ljudi. Z uporabo LED tehnologije v sistemih umetne razsvetljave imamo pozitivne učinke, ki se kažejo v zmanjšanju porabe energije. V zadnjih letih je bilo največ poudarka na varčevanju z električno energijo, ob tem pa so se zapostavljali vsi pozitivni učinki biološko aktivne razsvetljave na človeka.

Cilj diplomske naloge je predstaviti biološko aktivne razsvetljave v izobraževalnih ustanovah ter njene pozitivne učinke na ljudi in na ta način spodbuditi strokovno javnost, kot so arhitekti, elektro projektanti in oblikovalci razsvetljave, k projektiranju biološko aktivne razsvetljave.

10 Viri in literatura

- [1] licht-wissen 02 "Good lighting for a better learning environment"
Dosegljivo: http://en.licht.de/fileadmin/shop-downloads/Lichtwissen02_Better-Learning-Environment.pdf
[Dostopano: 28.4.2016].

- [2] Immunolight Tehnology
Dosegljivo: <http://www.immunolight.com/technology/>
[Dostopano: 5.5.2016].

- [3] P. Podlipnik, Svetlobnotehnični priročnik, Elektrovina, Maribor 1987.

- [4] prof. dr. Grega Bizjak, Svetlobna tehnika: Svetloba in barve
Dosegljivo: http://lrf.fe.uni-lj.si/e_sv_tehnika/st03i.pdf
Dostopano: 15.5.2016.

- [5] Endmyopia
Dosegljivo: <http://endmyopia.org/how-fluorescent-lights-kills-your-vision/>
Dostopano: 12.5.2016.

- [6] International commission on illumination
Dosegljivo: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Commission_on_Illumination
Dostopano: 5.5.2016.

- [7] licht-wissen 01 "Light with artificial light"
Dosegljivo: http://en.licht.de/fileadmin/shopdownloads/lichtwissen01_artificial_light.Pdf
Dostopano: 5.5.2016.

- [8] Color rendering index (CRI)
Dosegljivo: <https://www.linkedin.com/pulse/e27-led-bulb-light-larry-xiao>
Dostopano: 20.5.2016.

- [9] prof. dr. Grega Bizjak, Svetlobna tehnika: Fotometrija
Dosegljivo: http://lrf.fe.uni-lj.si/e_sv_tehnika/st05i.pdf
Dostopano: 13.5.2016.

- [10] licht-wissen 19 "Impact of light on human beings"
Dosegljivo: http://en.licht.de/fileadmin/shop-downloads/1409_LW19_E_Impact-of-Light-on-Human-Beings_web.pdf
Dostopano: 13.5.2016.

- [11] prof. dr. Grega Bizjak, Vpliv svetlobe na ljudi
Dosegljivo: http://lrf.fe.uni-lj.si/e_sv_tehnika/st02i.pdf
Dostopano: 18.5.2016.

- [12] prof. dr. Grega Bizjak, Razsvetljava z umetno svetlobo
Dosegljivo: http://lrf.fe.uni-lj.si/e_sv_tehnika/st08i.pdf
Dostopano: 18.5.2016.

- [13] Indirect light in classroom
Dosegljivo: <http://www.fagerhult.com/Application-areas/Education/Solutions-for-the-classroom/>
Dostopano: 30.5.2016.

- [14] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah
Dosegljivo: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201052&stevilka=2856>
Dostopano: 30.5.2016.