



SLOVENSKO DRUŠTVO ZA RAZSVETLJAVO / SDR
LIGHTING ENGINEERING SOCIETY OF SLOVENIA

DVAJSETO MEDNARODNO POSVETOVANJE
TWENTIETH INTERNATIONAL SYMPOSIUM

RAZSVETLJAVA 2011

LIGHTING ENGINEERING 2011

ZBORNİK POSVETOVANJA
PROCEEDINGS

Sodobni svetlobni sistemi
Modern Lighting Systems

6. in 7. oktober, 2011
hotel Perla
NOVA GORICA, SLOVENIJA

Posvetovanje: **RAZSVETLJAVA 2011**, NOVA GORICA, 6. in 7. oktober 2011

Organizacija: Slovensko društvo za razsvetljavo /SDR

Urednik zbornika: mag. Andrej Orgulan

Organizacijski in programski odbor:

predsednik: dr. Matej B. Kobav

člani: dr. Matej B. Kobav, mag. Andrej Orgulan

Tehnična ureditev: Andrej Orgulan

Založnik: Slovensko društvo za razsvetljavo /SDR

Mediji: CD,

<http://www.sdr.si/p11>

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Univerzitetna knjižnica Maribor

628.9(082)

MEDNARODNO posvetovanje Razsvetljava (20 ; 2011 ;
Nova Gorica)

Sodobni svetlobni sistemi [Elektronski vir] :
zbornik posvetovanja = Modern lighting systems :
proceedings / Dvajseto mednarodno posvetovanje
Razsvetljava 2011, 6. in 7. oktober 2011, Nova
Gorica, Slovenija = Twentieth International
Symposium Lighting Engineering 2011 ;
[organizacija Slovensko društvo za razsvetljavo,
Lighting Engineering Society of Slovenia ; urednik
zbornika Andrej Orgulan]. - El. zbornik. - Maribor
: Slovensko društvo za razsvetljavo, 2011

Način dostopa (URL): <http://www.sdr.si/p11>

ISBN 978-961-248-301-2

1. Gl. stv. nasl. 2. Vzp. stv. nasl. 3. Orgulan,
Andrej 4. Slovensko društvo za razsvetljavo
(Maribor)

COBISS.SI-ID 67767041

RAZSVETLJAVA 2011 / LIGHTING ENGINEERING 2011

CILJI IN VSEBINA POSVETOVANJ V PREJŠNJIH LETIH /

Letos skušamo že devetnajsto leto zapored s strokovno obravnavo svetlobne tehnike približati to problematiko javnosti. Osnovne teme na dosedanjih posvetovanjih so bile:

RAZSVETLJAVA '92	–	Več svetlobe ob manjši porabi energije
RAZSVETLJAVA '93	–	Energijsko optimiranje razsvetljave
RAZSVETLJAVA '94	–	Vzdrževanje razsvetljave in ekološki problemi
RAZSVETLJAVA '95	–	Energijska učinkovitost v sistemih za notranjo in zunanjo razsvetljavo
RAZSVETLJAVA '96	–	Meritve v svetlobni tehniki kot funkcija učinkovite rabe energije
RAZSVETLJAVA '97	–	Razsvetljava in energija
RAZSVETLJAVA '98	–	Svetila in svetlobna tehnika
RAZSVETLJAVA '99	–	Razsvetljava prodajnih prostorov
RAZSVETLJAVA 2000	–	Novosti v zunanji razsvetljavi
RAZSVETLJAVA 2001	–	Razsvetljava ambientov
RAZSVETLJAVA 2002	–	Svetloba in okolje
RAZSVETLJAVA 2003	–	Učinkovita kombinacija umetne in dnevne svetlobe
RAZSVETLJAVA 2004	–	Učinkovita kombinacija umetne in dnevne svetlobe
RAZSVETLJAVA 2005	–	Svetloba in okolje
RAZSVETLJAVA 2006	–	Razsvetljava delovnih mest
RAZSVETLJAVA 2007	–	Svetloba in arhitektura, Zunanja razsvetljava
RAZSVETLJAVA 2008	–	Združeno posvetovanje z BALKAN LIGHT
RAZSVETLJAVA 2009	–	Skupno posvetovanje s Hrvatskim društvom za razsvetljavo / HDR
RAZSVETLJAVA 2010	–	LED tehnologije in standardizacija

S posvetovanjem je seznanjen Centralni urad Mednarodne komisije za razsvetljavo – CIE.

OBJECTIVES THROUGH THE YEARS

The basic topics of the symposia in particular have been the following:

LIGHTING ENGINEERING '92	–	More Light with Less Energy Consumption
LIGHTING ENGINEERING '93	–	Energy optimised Lighting
LIGHTING ENGINEERING '94	–	Maintenance and Environmental Problems
LIGHTING ENGINEERING '95	–	Energy Efficiency in Building and Public Lighting Systems
LIGHTING ENGINEERING '96	–	Lighting Engineering and Energy Efficiency
LIGHTING ENGINEERING '97	–	Lighting and Energy
LIGHTING ENGINEERING '98	–	Lights and Lighting
LIGHTING ENGINEERING '99	–	Retail Lighting
LIGHTING ENGINEERING 2000	–	Outdoor Lighting
LIGHTING ENGINEERING 2001	–	Ambience Lighting
LIGHTING ENGINEERING 2002	–	Light and Environment
LIGHTING ENGINEERING 2003	–	Effective Combination of Artificial Lighting with Daylight
LIGHTING ENGINEERING 2004	–	Effective Combination of Artificial Lighting with Daylight
LIGHTING ENGINEERING 2005	–	Light and Environment
LIGHTING ENGINEERING 2006	–	Lighting of Work Places
LIGHTING ENGINEERING 2007	–	Light and Architecture, Outdoor Lighting
LIGHTING ENGINEERING 2008	–	Joint Conference with BALKAN LIGHT
LIGHTING ENGINEERING 2009	–	Joint Conference with Croatian lighting Association
LIGHTING ENGINEERING 2010	–	LED technologies and standardisation

The symposium has been noted by the International Commission on Illumination – CIE.

GENERALNI POKROVITELJ POSVETOVANJA / GENERAL SPONSOR OF THE SYMPOSIUM

GRAH
AUTOMOTIVE

ZLATI POKROVITELJI POSVETOVANJA / GOLDEN SPONSORS OF THE SYMPOSIUM



PHILIPS



THORN

POKROVITELJI POSVETOVANJA / SPONSORS OF THE SYMPOSIUM



siteco
AN OSRAM BUSINESS



MTS International d.o.o.



SPONZORJI / CONTRIBUTORS TO THE SYMPOSIUM

Univerza v Ljubljani, FE, Univerza v Mariboru, FERl

VSEBINA / CONTENTS

R-1	Wout van Bommel: <i>Are we Prepared for Lighting the Two Thousand Twenties?</i>	1
R-2	Axel Stockmar: <i>LED and the European Standard EN 13201 "Road Lighting"</i>	9
R-3	Eino Tetri: <i>Inefficient Lamps will be Phased out from the European Market – What are the Alternatives</i>	21
R-4	Stefan Nowy: <i>Organic Light-Emitting Diodes as Light Sources</i>	29
R-5	Mihaela Krevh: <i>Trajnostni razvoj in nove LED tehnologije</i>	31
R-6	Mihael Garibaldi: <i>Infusion™ LED Modules</i>	37
R-7	Paolo Di Lecce: <i>Real Case Histories and Experiences in Street Lighting Telecontrol, Regulation and Energy Saving</i>	47
R-8	Zdravko Krajačič: <i>LEP – Light Emitted Plasma</i>	59
R-9	Matej Bučinel, Matej Kobav, Grega Bizjak, Nina Kacjan Marsič, Dominik Vodnik: <i>LED razsvetljava za gojenje rastlin</i>	67
R-10	Katja Rebec, Marta K. Gunde, Grega Bizjak, Matej Kobav: <i>Preračun izločanja hormona melatonin pod vplivom različnih svetlobnih virov ter upoštevanje spreminjanja prepustnosti človeške leče s starostjo</i>	77
R-11	Aleš Filipič: <i>Rekonstrukcija osvetlitve Titovega mosta v Mariboru s svetilkami Streetlight 10 midi LED</i>	91
R-12	Marko KOS, Grega Bizjak: <i>Calculation of Electrical Energy Use for Lighting According to EN 15193</i>	117
R-13	Mitja Prelovšek, Grega Bizjak: <i>Projekt »Z varčno razsvetljava do prihrankov in čistega okolja« v okviru instrumenta za predpristopno pomoč (IPA)</i>	125
R-14	Govorov P., Nosanov N., Romanova T., Korol O.: <i>Modeling Lighting Systems on the Basis of Light-Emitting Diode Light Sources</i>	129
R-15	Govorov F., Govorov V., Korol O.: <i>Electromagnetic Compatibility of Light-Emitting Diode Light Sources with a Network</i>	135
R-16	Ana Krašovec Vrhovec, Andrej Orgulan: <i>Novosti v standardih SIST EN 12464</i>	145
R-17	Berry van Egten, PLDA MSLL IES: <i>Forgotten Spaces – Lighting design to Underline the Cultural Identity</i>	151
R-18	Marjeta Zupančič Meglič: <i>Svetlobne inštalacije – navdih za oblikovanje osvetlitve</i>	169
R-19	Tomaž Novljan, Janez Rihtar: <i>Ploski svetlobni vodniki – gradniki svetlobnega ambienta</i>	177
R-20	Simon Rankel: <i>LED svetila v urbanem prostoru – pomen poznavanja tehnologije ter interdisciplinarno načrtovanje urbane osvetlitve za trajnostno implementacijo</i>	185
R-21	Mitja Prelovšek: <i>Interaktivna osvetlitev v arhitekturi in urbanih okoljih</i>	195
R-22	Mitja Košir, Živa Kristl: <i>Active Control System of Office Environment</i>	199

© Slovensko društvo za razsvetljavo / SDR

Kopiranje vsebine ali njenih delov dovoljeno le ob predhodnem soglasju in z ustreznim navajanjem virov.

Deli vsebine so lahko zaščitene blagovne znamke svojih lastnikov.

MOŽNOSTI VARČEVANJA ELEKTRIČNE ENERGIJE PRI CESTNI RAZSVETLJAVI

Pravilna cestna razsvetljava igra odločilno vlogo pri varnosti v cestnem prometu. Obstaja več kriterijev s katerimi lahko opišemo kvalitetno izvedeno javno razsvetljavo. Najpomembnejši kriterij je zagotovo zagotavljanje predpisanih svetlobno tehničnih parametrov glede na kategorizacijo ceste. Drugi najpomembnejši kriterij postaja v zadnjih časih vprašanje potrošnje električne energije za obratovanje javne razsvetljave. Združiti funkcionalno razsvetljavo s parametri varčne razsvetljave je tema, s katero se ukvarja vsak dan več lastnikov in upravljavcev javne razsvetljave.

Kriterije kvalitetne cestne razsvetljave z upoštevanjem veljavne zakonodaje lahko dosežete le na način, da za osvetlitev objektov izberete učinkovite LED svetilke. Z izborom ustrezne LED svetilke in strokovno usposobljenostjo za izračun objektov cestne razsvetljave lahko zadostite zahtevanim predpisom. Pri tem je smiselno predvideti tudi sistem regulacije svetlobnega toka, ki nam še dodatno omogoča zmanjšanje stroškov električne energije v povprečju za 25%. Potrebno je poudariti, da brez ustreznih simulacijskih izračunov z upoštevanjem geometrije in kategorizacije ceste kvalitetne razsvetljave cest ni mogoče zgraditi. V praksi se velikokrat srečamo s projekti, ko se na obstoječi instalaciji zamenjajo samo svetilke. Tudi v takšnih primerih je potrebno preučiti vse možnosti za optimalno razsvetljavo. V skrajnih primerih so potrebni tudi posegi na pritrditvah svetilk ali pa celo premik stojnih mest.

Prikazan je primer dobre prakse iz občine Zreče, kjer so na republiški cesti zamenjali sicer učinkovite natrijeve svetilke moči 250W z našimi LED svetilkami moči 120W. Kljub temu, da so izpolnjene vse zahteve kvalitetne razsvetljave se je poraba električne energije zmanjšala za 55%. Glede na dejstvo, da naslednjih 15 let niso potrebni vzdrževalni posegi (menjava sijalk) je takšna investicija več kot upravičena.



Slika št. 1 – Zreče, republiška cesta osvetljena z LED svetilkami proizvajalca GRAH Automotive

Za dodatne informacije smo vam na voljo.

GRAH Automotive d.o.o.
Mestni trg 5b
3210 Slovenske Konjice
Tel.: 082 801 424
Fax: 082 801 402
Web: <http://www.grahlighting.eu/>
e-mail: info@grah-automotive.si

THORN

- Smo največji svetovni proizvajalec svetil
- Pri nas najdete širok nabor visoko kvalitetnih svetil za zunanjo, notranjo, varnostno, bazensko, letališko in led razsvetljavo
- Glede na vaše potrebe izdelujemo svetlobne izračune, 3D simulacije, renderinge, ...
- Naše aktivnosti so usmerjene tudi v javno – zasebna partnerstva, inženiring, financiranja s prihrankov električne energije, izdelavo projektov monitoringa in ostale tehnične dokumentacije ter izdelavo digitalnega katastra
- Vidnejše reference:
 - Kongresni trg (unikatno izdelani lito železni kandelabri po plečnikovih načrtih)
 - Rehabilitacijski center Soča
 - Poslovno stanovanjski objekt Situla
 - Športna razsvetljava v dvorani in na štadionu v Stožicah
 - Ljubljanska opera
 - Poslovna stavba javnega podjetja Žale
 - Centromerkur v Ljubljani
 - Avtobusna postaja v Velenju
 - Osnovna šola Brezovica (patentiran novi pristop pri reševanju problematike razsvetljave v šolskih centrih)
 - Sistem daljinske regulacije cestnih svetilk v Ljubljani
- Kontakt:
 - Thorn lighting Slovenija
 - Direktor: Rok Remec
 - Mail: rok.remec@thornlighting.com
 - Gsm: +386 31 388 965
 - Fax: +386 1 56 09 865

GE
Lighting



From a Tiny Twist Grows a Full Revolution.

The GE Infusion™ LED Module is more than flexible, it's built for the future. As LED technology advances, you can twist in newer generations of the Infusion module without replacing fixtures. And with a full line of lumen packages up to 3500, multiple color temperatures, and CRI and dimming options, the energy efficient LED module paves the way for a revolution in lighting design.

Explore the GE Infusion LED Module, luminaire options and a variety of applications online at www.gelighting.com/infusion



imagination at work

© 2011 GE



5 letno jamstvo

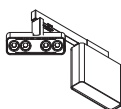
Deux Pièces

visoko učinkovit LED reflektor, edinstven dizajn

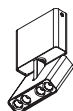
Deux Pièces C



Deux Pièces T



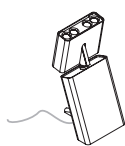
Deux Pièces C



Deux Pièces S



Deux Pièces F



Deux-pieces je energijsko visoko učinkovit, profesionalen LED reflektor. Prepoznaven, izčiščen dizajn je zreduciran na dva enaka volumna. Osvetljuje natančno, brez IR in UV sevanj ter z izjemno kvaliteto reprodukcije barv. Omogoča izbiro med tremi različnimi snopi ter ustrezno temperaturo bele svetlobe. Minimalistični dizajn, dolgo delovanje brez potrebnega vzdrževanja, vrhunski materiali ter visoka kakovost proizvoda bodo nedvomno pritegnili vašo pozornost.



www.intra-lighting.com

 **intra lighting**
all visible

Svetlobna orodja za trajnostno prihodnost



Streetlight 10 LED



DL® 20 LED



office

industry

traffic

retail

public

sports

siteco
AN OSRAM BUSINESS

E
C
O
A
R
T
I
S

Podobe svetlobe

Loči dan od noči.
Vse vidno oriše in
sence nevidnega izbriše.
Biva v prostoru in mu daje barvo.

Izžareva toplino,
nudi varnost in kaže pot.
Svetloba je luč življenja
in energija jutrišnjega dne.

Ecoartis
sodobno oblikovana,
okolju prijazna,
energetsko učinkovita
svetila prihodnosti.



ACCIAIO[®] Beghelli Quattro

Prihranek energije in takojšen ponoven vžig

REŠITEV ZA PRIHRANEK ENERGIJE IN VZDRŽEVANJE SVETLOTEHNIČNIH ZNAČILNOSTI

Svetilka Acciaio Quattro je značilna predstavnica profesionalne linije Acciaio Beghelli. Njene svetlotehnične karakteristike ji omogočajo, da jo lahko namestimo namesto tradicionalnih industrijskih žarometov – HighBay, za izboljšanje učinkovitosti sistema razsvetljave pri varčevanju z energijo in stalnosti izvedbe.

ZASEDA MINIMALNI PROSTOR, KAR OMOGOČA TRANSPORT Z VILČARJI

Nameščena svetilka zaseda malo prostora po višini v primerjavi z industrijskimi žarometi – »lonci«, kar predstavlja prednost za transportne poti in prenos bremen.



MTS International d.o.o.

Perhavčeva ul. 15c
2000 Maribor, Slovenija
tel.: +386 2 661 2701
fax.: +386 2 661 2841
e-mail: mts.international@siol.net
<http://www.mtsi.si>



Optimel
Krotimo energijo.

Ali imate porabo
pod nadzorom?



Optimel - optimiranje rabe električne energije

prihranek porabe
električne energije

kratka povračilna
doba investicije

financiranje iz
ustvarjenih prihrankov

Wout van Bommel

ARE WE PREPARED TO LIGHT THE 2020TIES?

Abstract

The review is structured around four questions, all related to the general question: "Are we, lighting professionals, ready for lighting the 2020ties?"

Question 1: Do we, lighting professionals, have the right focus in product development? From a society point of view, sustainability and in that context energy friendly, long life product and application design is important. The lighting industry has to focus more on total waste free products as defined in cradle to cradle design. Futuristic products like solar road surfaces, translucent concrete and OLED windows, can further increase both the quality and energy efficiency of future lighting installations.

Question 2: Do we, lighting professionals, use the right basic information? Good glare restriction in solid state lighting requires innovative optical designs. Here a totally new glare evaluation system is needed as the present glare restriction systems for indoor lighting, road lighting and sports lighting have been developed for lighting conditions totally different from solid state lighting conditions. In fixed road lighting, especially for motorway lighting we base our concepts on visibility of objects but that concept loses importance because of developments in car systems themselves, even leading to intelligent, thinking cars. For lighting in built-up areas, instead of the luminance concept of road lighting a more three-dimensional concept is needed.

Question 3: Do we, lighting professionals, provide the users with the right information? The changeover to solid state lighting may be slow down because for solid state lighting often wrong data are supplied, thus disappointing new users in their expectations.

Question 4: Do we, lighting professionals, address the right public?

Most recommendations and standards on lighting quality are based on people of around 30 years old. With growing age, eyesight deteriorates. It is therefore essential that in lighting recommendations special sections are going to be incorporated on the special needs of the elderly.

Are we prepared to light the 2020ties?

Smo pripravljeni za razsvetljavo v 2020tih?

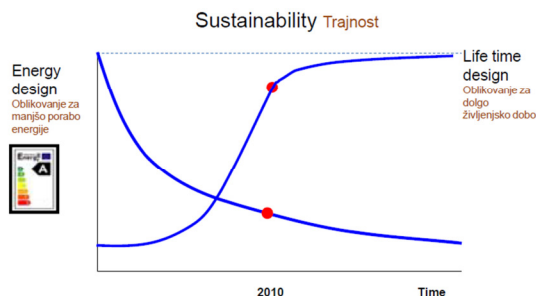
Are we, lighting professionals, ready for it?

Smo mi, strokovnjaki na področju razsvetljave, pripravljeni?

- Do we have the right focus in product development?
Ali razvijamo prave izdelke?
- Do we have the right basic information?
Ali imamo prave osnovne informacije?
- Do we provide the users with the right information?
Ali uporabnikom posredujemo prave informacije?
- Do we address the right public?
Ali se obračamo na pravo publiko?

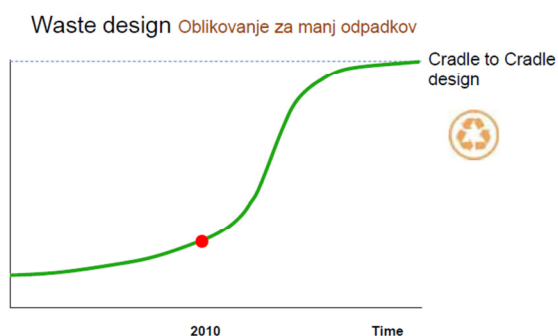
Right focus in product development?

prave izdelke



Right focus in product development?

prave izdelke

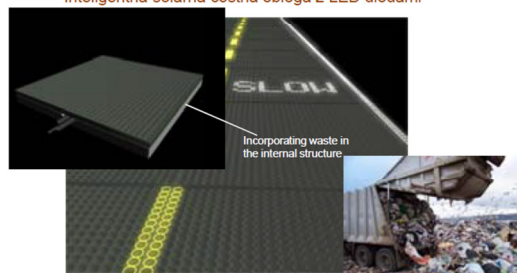


Non traditional products

Ne-tradicionalni izdelek

Intelligent solar road surface with LEDs

Inteligentna solarna cestna obloga z LED diodami



Source: Solar Roadways (USA)

Non traditional products

Ne-tradicionalni izdelek

Translucent concrete Presewni beton

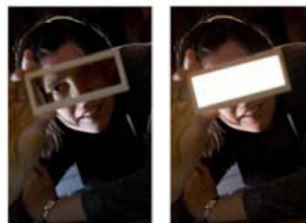


Source: www.litracon.hu
www.luccon.com
www.andreasbittis.de

Non traditional products

Ne-tradicionalni izdelek

Transparent OLED window Prozorno OLED okno



Source: Philips



Source: RIOE

Are we, lighting professionals, ready for it?

Smo mi, strokovnjaki na področju razsvetljave, pripravljeni?

- Do we have the right focus in product development?
 - Do we have the right basic information?
 Ali imamo prave osnovne informacije?
- Do we provide the users with the right information?
 - Do we address the right public?

Do we have right basic information?

prave osnovne informacije?

Glare concept valid for LEDs?

Ali koncept bleščanja velja za LED diode?

- Road lighting:
 TI: based on field tests 1930-1965
 Holladay, Stiles, de Boer, Schreuder, Adrian, Fisher, Sørensen



Do we have right basic information?

prave osnovne informacije?

Glare concept valid for LEDs?

Ali koncept bleščanja velja za LED diode?

- Road lighting:
 TI: based on field tests 1930-1965
 Holladay, Stiles, de Boer, Schreuder, Adrian, Fisher, Sørensen
- Indoor lighting:
 UGR: 1950-1960
 Luckiesh, Hopkinson, Guth, Sollner, Bodmann, Fischer

Do we have right basic information?

prave osnovne informacije?

Glare concept valid for LEDs?

Ali koncept bleščanja velja za LED diode?

- Road lighting:
 TI: based on field tests 1930-1965
 Holladay, Stiles, de Boer, Schreuder, Adrian, Fisher, Sørensen
- Indoor lighting:
 UGR: 1950-1960
 Luckiesh, Hopkinson, Guth, Sollner, Bodmann, Fischer
- Outdoor Sports lighting:
 GR: 1980-ties
 van Bommel, Tekelenburg



Do we have right basic information? prave osnovne informacije?

Glare concept valid for LEDs?

Ali koncept bleščanja velja za LED diode?

- Road lighting:
TI: based on field tests 1930-1965
Holladay, Stiles, de Boer, Schreuder, Adrian, Fisher, Sørensen
- Indoor lighting:
UGR: 1950-1960
Luckiesh, Hopkinson, Guth, Sollner, Bodmann, Fischer
- Outdoor Sports lighting:
GR: 1980-ties
van Bommel, Tekelenburg

No mirror optics
Ne-zrcalna optika
No point sources
Ne-točkovni vir
No point clusters
Ne-točkovno polje

Do we have right basic information? prave osnovne informacije?

Glare concept valid for LEDs?

Ali koncept bleščanja velja za LED diode?

- Road lighting:
TI: based on field tests 1930-1965
Holladay, Stiles, de Boer, Schreuder, Adrian, Fisher, Sørensen
- Indoor lighting:
UGR: 1950-1960
Luckiesh, Hopkinson, Guth, Sollner, Bodmann, Fischer
- Outdoor Sports lighting:
GR: 1980-ties
van Bommel, Tekelenburg

New
glare concept
needed

Do we have right basic information?

prave osnovne informacije?

Luminance concept of road lighting? Koncept svetlosti za cestno razsvetljavo?

visibility of objects Vidljivost ovire



IR night vision assistance

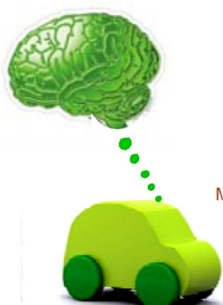
visibility of objects Vidljivost ovire



source: Mercedes, Audi

The thinking car

Razmišljujoč avto



My car predicts

what other cars

are going to do

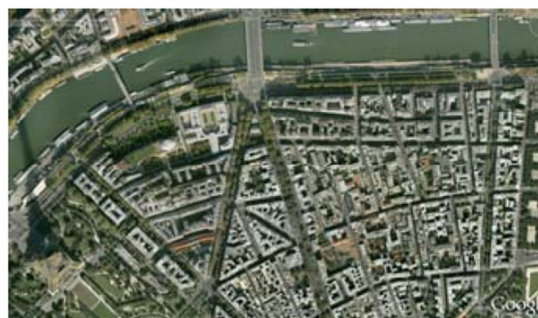
Moj avto predvideva, kaj bodo naredili
drugi avtomobili

Do we have right basic information?

prave osnovne informacije?

Luminance concept in built-up areas?

Koncept svetlosti v pozidanih področjih?



Do we have right basic information? prave osnovne informacije?

Luminance concept in built-up areas?

Koncept svetlosti v pozidanih področjih?



Do we have right basic information? prave osnovne informacije?

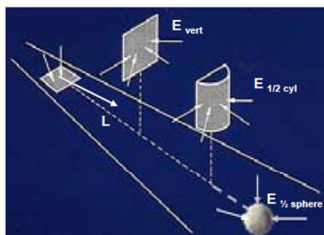
Luminance concept in built-up areas?



Do we have right basic information? prave osnovne informacije?

Luminance concept in built-up areas?

More planes !! več površin !!



New 3-dimensional concept needed

Potreben je nov 3-dimenzionalni koncept

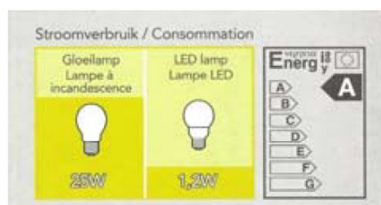
Are we, lighting professionals, ready for it? Smo mi, strokovnjaki na področju razsvetljave, pripravljeni?

- Do we have the right focus in product development?
- Do we have the right basic background information?
- Do we provide the users with the right information?
Ali uporabnikom posredujemo prave informacije?
- Do we address the right public?

Provide right information of products? prave informacije

Label of **LIE lamp** lažni luči

bought 29 August 2009 in DIY



200 lm

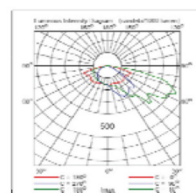
200 lm

165 lm/W ~ factor 3 too high

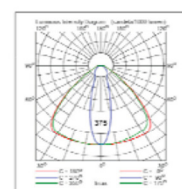
Provide right information of designs? prave informacije

Road 7 m wide ($L_m \geq 1,0 \text{ cd/m}^2$, good uniformity and glare restriction)

HPS



LED



source: Pentti Hautala

Provide right information of designs?

Zagotoviti prave informacije za javnost?



source: Penti Hautala

Provide right press information?

Zagotoviti prave informacije za javnost?

LED lamps and health?



LED light has a negative effect on night rest

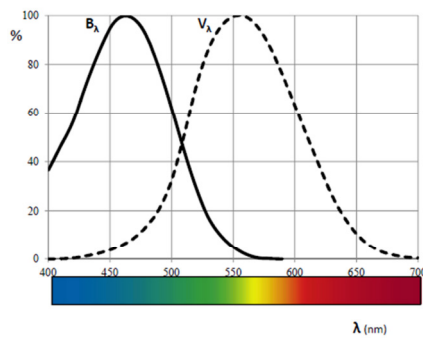
Bluish light disrupts the biological clock

LED razsvetljava ima negativni učinek na nočni počitek

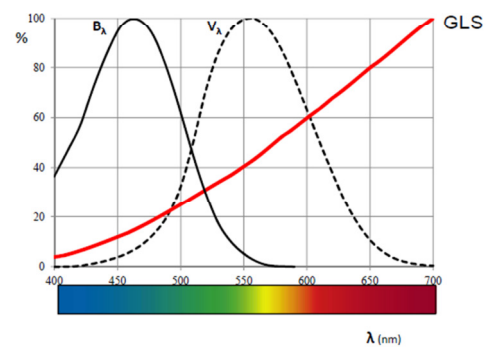
Modra svetloba moti biološko uro

LED lamps and health

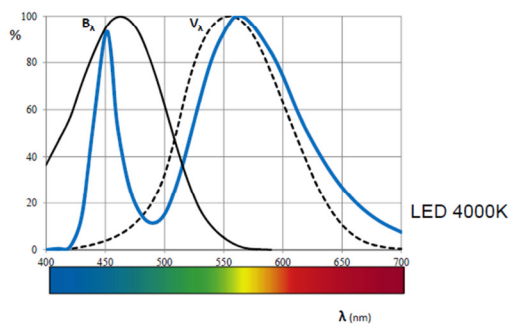
LED žarnice in zdravje



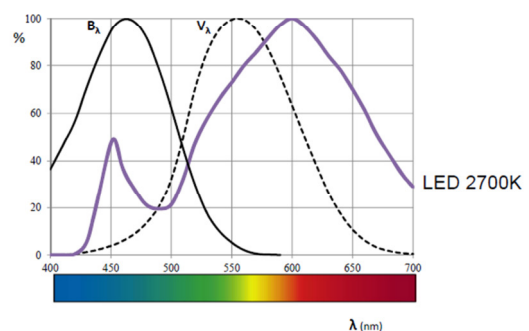
LED lamps and health



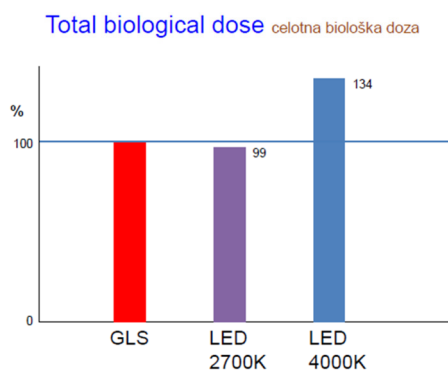
LED lamps and health



LED lamps and health



LED lamps and health



Provide right press information?

Zagotoviti prave informacije za javnost



LED light has a negative effect on night rest

Bluish light disrupts the biological clock

Are we, lighting professionals, ready for it?

Smo mi, strokovnjaki na področju razsvetljave, pripravljeni?

- Do we have the right focus in product development?
- Do we have the right basic background information?
- Do we provide the users with the right information?
- Do we address the right public?
Ali se obračamo na pravo publiko?

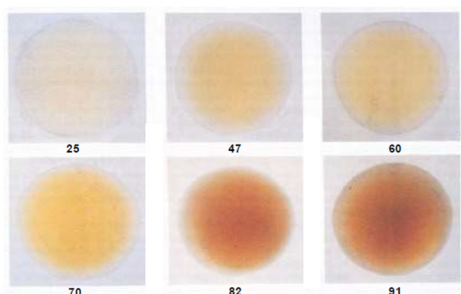
The elderly

Starejši



Eye lens and age

Očesne leče in starost

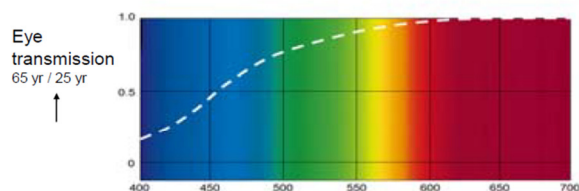


source: Lerman

The elderly

Starejši

Blue vision loss Izguba vida v modrem področju



The elderly

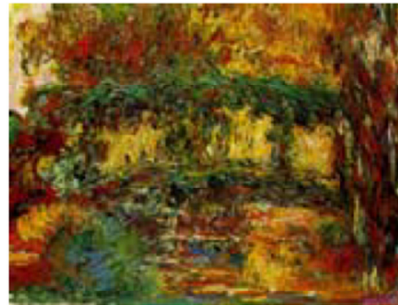
Starejši

Blue vision loss Izguba vida v modrem področju

Mesopic vision in road lighting Mezopski vid in cestna razsvetljava



Claude Monet 1899
Japanese bridge



Claude Monet 1922
Japanese bridge

Are we prepared to light the 2020ties?

Smo pripravljeni za razsvetljavo v 2020tih?

YES

if ...

Da, če

- We are a little more honest
Mi smo nekoliko bolj pošteni
- Do a little more lighting application research
Delajte nekaj več raziskav na področju razsvetljave
- Think a little more about the elderly
Mislite nekoliko bolj na starejše

Author's address

Wout van Bommel

Van Bommel Lighting Consultant, Netherlands
wout@woutvanbommel.eu

Axel Stockmar

LED AND THE EUROPEAN STANDARD EN 13201 "ROAD LIGHTING"

Abstract

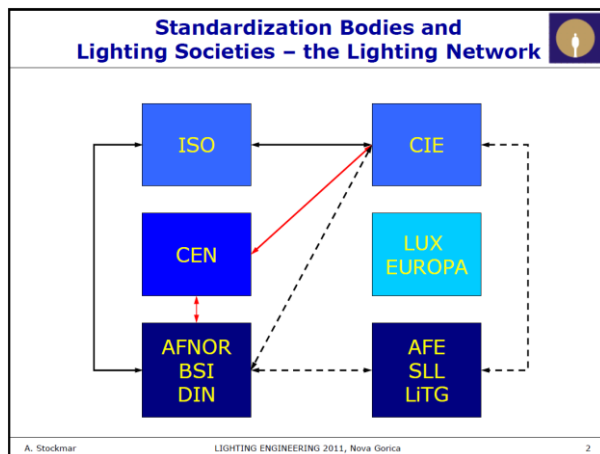
In 2003 the European Standard EN 13201 on road lighting has been published in three parts dealing with the 'performance requirements' (part 2), the 'calculation of performance' (part 3), and the 'methods of measuring lighting performance' (part 4). In addition a Technical Report was published describing the 'selection of lighting classes' (part 1) in 2004. In more recent years the introduction of LED road lighting installations has raised concern about the suitability of the current recommendations regarding some particular properties of this new light source.

The current revision of the European Standard EN 13201 (started in 2009 and expected to be finalized by end of 2012) will take into account the challenges caused by LED road lighting installations.

In part 2 on 'performance requirements' the definition of the surround ratio has to be re-considered and the concept may need to be extended also to other lighting classes than those for motorized traffic. The validity of the threshold increment method for the evaluation of glare has to be checked.

In part 3 on 'calculation of performance' the extension of the current format of the tabular representation of the road surface reflection properties seems necessary to suit e.g. the application of low mounting height LED lighting systems. A denser grid of calculation points could help to identify visually insufficient uniformities caused by inappropriate light intensity distributions.

In part 4 on 'measurements' new recommendations on uncertainties have to be introduced, in particular concerning the spectral responses when comparing conventional with LED lighting systems.



CEN TC 169 Light and Lighting (2011)

- **WG1 Basic Terms and Criteria (EN 12665)**
- WG2 Lighting of Work Places (EN 12464-1/2, EN 13032-2)
- WG3 Emergency Lighting (EN 1838, EN 13032-3)
- WG4 Sports Lighting (EN 12193)
- **WG5 Road Lighting (EN 13201:2003)**
- WG6 Tunnel Lighting (CR 14380, EN 16276)
- **WG7 Photometry (EN 13032-1)**
- WG8 Photobiology (EN 14255)
- WG9 Energy Performance of Buildings – Energy Requirements for Lighting (EN 15193)
- WG10 Performance of Optical Materials for Luminaires
- WG11 Daylight
- **WG12 TC169/226 JWG Road Lighting (EN 13201:2013)**
- WG13 Effect of Light on Human Beings

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 3

The seven CIE Divisions (2011) (International Commission on Illumination)

- Div. I Vision & Colour
- **Div. II Physical Measurement of Light and Radiation**
- Div. III Interior Environment and Lighting Design
- **Div. IV Lighting and Signalling for Transport**
- Div. V Exterior and other Lighting Applications
- Div. VI Photo-biology and Photo-chemistry
- Div. VIII Image Technology

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 4

CEN TR/EN 13201:2003 Road Lighting

- TR 13201-1 Road lighting - Part 1: "Selection of lighting classes", (2004)
- EN 13201-2 Road lighting - Part 2: "Performance requirements", (2003)
- EN 13201-3 Road lighting - Part 3: "Calculation of performance", (2003)
- EN 13201-4 Road lighting - Part 4: "Methods of measuring lighting performance", (2003)

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 5

CEN TR/EN 13201:2013 Road Lighting

- TR 13201-1 Road lighting - Part 1: "Selection of lighting classes", (2013)
- EN 13201-2 Road lighting - Part 2: "Performance requirements", (2013)
- EN 13201-3 Road lighting - Part 3: "Calculation of performance", (2013)
- EN 13201-4 Road lighting - Part 4: "Methods of measuring lighting performance", (2013)
- **EN 13201-5 Road lighting - Part 5: "Energy efficiency requirements", (2013)**

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 6

CEN TR 13201-1:2004 Road lighting - Part 1: „Selection of lighting classes“

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 7

Grouping of Lighting Situations, CEN TR 13201-1:2004	
Influencing factors used to classify a lighting situation (A, B, C, D, E) for an area under consideration (base parameters) - Typical speed of main user: >60 km/h (A), 60 ... 30 km/h (B), 30 ... 5 km/h (C, D), walking speed (E) - Type of main user, other allowed user, and excluded user: Motorised traffic (M), Slow moving vehicles (S), Cyclists (C), Pedestrians (P)	
A. Stockmar	LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

Selection of lighting situation, base parameters CEN TR 13201-1:2004			
Typical speed of main user	Main user	Other allowed user	Situation
> 60 km/h	M		A1
		S	A2
		S, C, P	A3
30 ... 60 km/h	M, S	S, P	B1
	M, S, C	P	B2
5 ... 30 km/h	C	P	C1
5 ... 30 km/h	M, P		D1
		S, C	D2
	M, C	S, P	D3
	M, S, C, P		D4
Walking speed	P		E1
		M, S, P	E2
A. Stockmar	LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica		

Lighting Situations, Examples (I)				
Typical speed of main user	Main user	Other allowed user	Situation	Examples
> 60 km/h	M		A1	Motorways
		S	A2	Rural roads, with or without separate cyclepath and/or footway
		S, C, P	A3	Distribution roads
30 ... 60 km/h	M, S	C, P	B1	Main streets, connecting roads, collector roads
	M, S, C	P	B2	Main streets, connecting roads, collector roads
5 ... 30 km/h	C	P	C1	Cyclepaths, footways
A. Stockmar	LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica			

Lighting Situations, Examples (II)				
Typical speed of main user	Main user	Other allowed user	Situation	Examples
5 ... 30 km/h	M, P		D1	Motorway rest areas
		S, C	D2	Parking areas, bus stations
	M, C	S, P	D3	Residential streets, usually with footway
	M, S, C, P		D4	Residential streets, usually without footway
Walking speed	P		E1	Pedestrian areas, shopping areas, footways
		M, S, C	E2	Pedestrian and shopping areas with restricted access for other users
A. Stockmar	LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica			

Specific Parameters to be Considered (Lighting Situations A, B, C, D, E)			
	Parameter	Options	Selected
Geometry	Separation of carriageways (A)	Yes / No	
	Type of junctions (A)	Interchange / Intersection	
	Interchange spacing, distance between bridges (A)	> 3km / <=3 km	
	Intersection density (A,B)	< 3 Intersections / km >= 3 Intersections / km	
	Conflict area (A,B)	Yes / No	
Traffic use	Geometric measures for traffic calming (B,C,D)	Yes / No	
	Traffic flow of vehicles per day (A,B)	< 7000 / 7000 to 15000 15000 to 25000 / > 25000	
	Traffic flow of cyclists (C,D)	Normal / High	
	Traffic flow of pedestrians (D,E)	Normal / High	
	Difficulty of navigational task (A,B,D)	Normal / Higher than normal	
	Parked vehicles (A,B,D)	Not present / Present	
	Facial recognition (C,D,E)	Unnecessary / Necessary	
Environment and external influences	Crime risk (C,D,E)	Normal / Higher than normal	
	Complexity of visual field (A,B,D)	Normal / Higher than normal	
	Ambient luminance (A,B,C,D,E)	Low / Medium / High	
	Main weather type (A,B) (in many countries always dry)	Dry / Wet	
A. Stockmar	LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica		

CEN TR 13201-1:2013 Road lighting - Part 1: „Selection of lighting classes“	
A. Stockmar	LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

Adaptive Road Lighting

Adaptive road lighting is defined as lighting provided **where and when** it is needed **dependent on different variable conditions**, such as speed, traffic volume and/or composition, ambient luminances, weather etc.

NOTE (CIE 115:2010):

Changes of the average lighting level should not affect the other quality criteria more than prescribed in the system of lighting classes.

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

14

Lighting Classes in CIE 115:2010

There are three different sets of lighting classes in CIE publication 115:2010 from which appropriate **lighting quality criteria / requirements** can be selected:

M Lighting classes for **motorized traffic**

C Lighting classes for **conflict areas**

P Lighting classes for **pedestrian and low speed traffic areas**

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

15

Parameters for the Selection of a Lighting Class **M** for Motorized Traffic (CIE 115:2010)

Parameter	Options	Weighting Value WV	WV selected
Speed	Very high	1	
	High	0.5	
	Moderate	0	
Traffic volume	Very high	1	
	High	0.5	
	Moderate	0	
	Low	-0.5	
	Very Low	-1	
Traffic composition	Mixed, high percentage of non-motorized	2	
	Mixed	1	
	Motorized only	0	
Separation of carriageways	No	1	
	Yes	0	
Intersection density	High	1	
	Moderate	0	
Parked vehicles	Present	0.5	
	Not present	0	
Ambient luminance	High	1	
	Moderate	0	
	Low	-1	
Visual guidance, traffic control	Poor	0.5	
	Moderate or good	0	
		Sum of Weighting Values	SWV

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

16

Parameters for the Selection of a Lighting Class **M** for Motorized Traffic (example)

Parameter	Options	Weighting Value WV	WV selected
Speed	Very high	1	1
	High	0.5	
	Moderate	0	
Traffic volume	Very high	1	1
	High	0.5	
	Moderate	0	
	Low	-0.5	
	Very Low	-1	
Traffic composition	Mixed, high percentage of non-motorized	2	
	Mixed	1	
	Motorized only	0	
Separation of carriageways	No	1	0
	Yes	0	
Intersection density	High	1	0
	Moderate	0	
Parked vehicles	Present	0.5	0
	Not present	0	
Ambient luminance	High	1	0
	Moderate	0	
	Low	-1	
Visual guidance, traffic control	Poor	0.5	0
	Moderate or good	0	
		Sum of Weighting Values	SWV = 2

Number of Lighting Class **M** = 6 - SWV

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

17

Parameters for the Selection of a Lighting Class **M** for Motorized Traffic (modified example)

Parameter	Options	Weighting Value WV	WV selected
Speed	Very high	1	1
	High	0.5	
	Moderate	0	
Traffic volume	Very high	1	
	High	0.5	
	Moderate	0	
	Low	-0.5	
	Very Low	-1	
Traffic composition	Mixed, high percentage of non-motorized	2	
	Mixed	1	
	Motorized only	0	
Separation of carriageways	No	1	0
	Yes	0	
Intersection density	High	1	0
	Moderate	0	
Parked vehicles	Present	0.5	0
	Not present	0	
Ambient luminance	High	1	0
	Moderate	0	
	Low	-1	
Visual guidance, traffic control	Poor	0.5	0
	Moderate or good	0	
		Sum of Weighting Values	SWV = 0

Number of Lighting Class **M** = 6 - SWV

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

18

Conflict Areas (CIE 115:2010)

Conflict areas occur whenever **vehicle streams intersect each other** or run into areas frequented by pedestrians, cyclists, or other road users, or when the existing road is connected to a stretch with **substandard geometry**, such as a reduced number of lanes or a reduced lane or road width.

For conflict areas **luminance is the recommended design criterion**. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of the luminance criteria, **illumination** may be used on a part of the conflict area, or the entire area if the luminance criteria cannot be applied to the whole area.

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

19

Parameters for the Selection of a Lighting Class C for Conflict Areas (CIE 115:2010)			
Parameter	Options	Weighting Value WV	WV selected
Speed	Very high	3	
	High	2	
	Moderate	1	
	Low	0	
Traffic volume	Very high	1	
	High	0.5	
	Moderate	0	
	Low	-0.5	
Traffic composition	Mixed, high percentage of non-motorized	2	
	Mixed	1	
	Motorized only	0	
	Yes	1	
Separation of carriageways	High	1	
	Moderate	0	
	Low	-1	
	Poor	0.5	
Visual guidance / Traffic control	Moderate or good	0	
Sum of Weighting Values			SWV

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

20

Parameters for the Selection of a Lighting Class C for Conflict Areas (example)			
Parameter	Options	Weighting Value WV	WV selected
Speed	Very high	3	1
	High	2	
	Moderate	1	
	Low	0	
Traffic volume	Very high	1	0.5
	High	0.5	
	Moderate	0	
	Low	-0.5	
Traffic composition	Mixed, high percentage of non-motorized	2	1
	Mixed	1	
	Motorized only	0	
	No	1	
Separation of carriageways	High	1	0
	Moderate	0	
	Low	-1	
	Poor	0.5	
Visual guidance / Traffic control	Moderate or good	0	0.5
Sum of Weighting Values			SWV = 4

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

21

M and C Lighting Classes of Comparable Lighting Level (CIE 115:2010)



Lighting class M		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Average luminance L in cd/m ²		2.0	1.5	1.0	0.75	0.50	0.30
Lighting class C		C0	C1	C2	C3	C4	C5
Average illuminance E in lx for q ₀ = 0.05 cd/m ² /lx		50	30	20	15	10	7.5
Lighting class C	C0	C1	C2	C3	C4	C5	
Average illuminance E in lx for q ₀ = 0.07 cd/m ² /lx	50	30	20	15	10	7.5	
Lighting class C	C1	C2	C3	C4	C5		
Average illuminance E in lx for q ₀ = 0.09 cd/m ² /lx	30	20	15	10	7.5		

A. Stockmar
LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica
22

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

22

Parameters for the Selection of a Lighting Class P for Pedestrian Areas (CIE 115:2010)			
Parameter	Options	Weighting Value WV	WV selected
Speed	Low	1	
	Very low (walking speed)	0	
	Very high	1	
	High	0.5	
Traffic volume	Moderate	0	
	Low	-0.5	
	Very Low	-1	
	Pedestrians, cyclists and motorized traffic	2	
Traffic composition	Pedestrians and motorized traffic	1	
	Pedestrians and cyclists only	1	
	Cyclists only	0	
	Pedestrians only	0	
Parked vehicles	Present	0.5	
	Not present	0	
	High	1	
	Moderate	0	
Ambient luminance	Low	-1	
	Necessary		
	Not necessary		
	Additional requirements		
Sum of Weighting Values			SWV

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

23

Parameters for the Selection of a Lighting Class P for Pedestrian Areas (example)			
Parameter	Options	Weighting Value WV	WV selected
Speed	Low	1	0
	Very low (walking speed)	0	
	Very high	1	
	High	0.5	
Traffic volume	Moderate	0	-0.5
	Low	-0.5	
	Very Low	-1	
	Pedestrians, cyclists and motorized traffic	2	
Traffic composition	Pedestrians and motorized traffic	1	2
	Pedestrians and cyclists only	1	
	Cyclists only	0	
	Pedestrians only	0	
Parked vehicles	Present	0.5	0.5
	Not present	0	
	High	1	
	Moderate	0	
Ambient luminance	Low	-1	0
	Necessary		
	Not necessary		
	Additional requirements		
Sum of Weighting Values			SWV = 2

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

24

Parameters for the Selection of a Lighting Class P for Pedestrian Areas (example)			
Parameter	Options	Weighting Value WV	WV selected
Speed	Low	1	
	Very low (walking speed)	0	
	Very high	1	
	High	0.5	
Traffic volume	Moderate	0	
	Low	-0.5	
	Very Low	-1	
	Pedestrians, cyclists and motorized traffic	2	
Traffic composition	Pedestrians and motorized traffic	1	
	Pedestrians and cyclists only	1	
	Cyclists only	0	
	Pedestrians only	0	
Parked vehicles	Present	0.5	
	Not present	0	
	High	1	
	Moderate	0	
Ambient luminance	Low	-1	
	Necessary		
	Not necessary		
	Additional requirements		
Sum of Weighting Values			SWV = 2

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

25

EN 13201-2 Road lighting - Part 2: „Performance requirements“

ME Series of Lighting Classes, EN 13201-2:2003					
Class	L_{av} in cd/m ²	U_o	U_l	TI in %	SR
ME1	2.0	0.4	0.7	10	0.5
ME2	1.5	0.4	0.7	10	0.5
ME3a	1.0	0.4	0.7	15	0.5
ME3b			0.6		0.5
ME3c			0.5		0.5
ME4a	0.75	0.4	0.6	15	0.5
ME4b			0.5		0.5
ME5	0.5	0.35	0.4	15	0.5
ME6	0.3	0.35	0.4	15	---

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

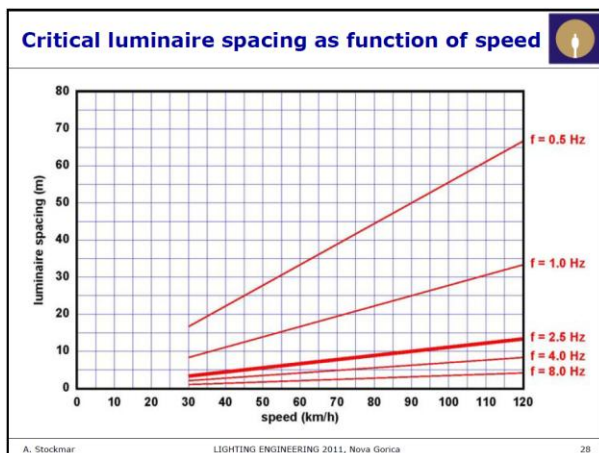
26

M Series of Lighting Classes, EN 13201-2:2013					
Class	L_{av} in cd/m ²	U_o	U_l	TI in %	EIR
M1	2.0	0.40	0.70	10	0.30
M2	1.5	0.40	0.70	10	0.30
ME3a	1.0	0.40	0.60	15	0.30
M3b					0.30
ME3c					0.30
M4a	0.75	0.40	0.60	15	0.30
ME4b					0.30
M5	0.50	0.35	0.40	15	0.30
M6	0.30	0.35	0.40	20	0.30

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

27



A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

28

CE Series of Lighting Classes, EN 13201-2:2003		
Class	E_{av} in lx	$U_o = E_{min} / E_{av}$
CE0	50	0.4
CE1	30	0.4
CE2	20	0.4
CE3	15	0.4
CE4	10	0.4
CE5	7.5	0.4

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

29

C Series of Lighting Classes, EN 13201-2:2013		
Class	E_{av} in lx	$U_o = E_{min} / E_{av}$
C0	50	0.40
C1	30	0.40
C2	20	0.40
C3	15	0.40
C4	10	0.40
C5	7.5	0.40

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

30

C Lighting Classes (CIE 115:2010)				
LIGHTING CLASS	Average illuminance over whole of used surface E in lx	Uniformity of illuminance $U_o (E)$	Threshold increment TI in % *	
			Very high, high and moderate speed	Low and very low speed
C0	50	0.40	10	15
C1	30	0.40	10	15
C2	20	0.40	10	20
C3	15	0.40	10	20
C4	10	0.40	15	25
C5	7.5	0.40	15	25

* Applicable where visual tasks usually considered for the lighting of roads for motorized traffic (M classes) are of importance
Lighting requirements for conflict areas

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

31

S Series of Lighting Classes, EN 13201-2:2003		
Class	E_{av} in lx	E_{min} in lx
S1	15	5
S2	10	3
S3	7.5	1.5
S4	5	1
S5	3	0.6
S6	2	0.6
S7	---	---

To provide for uniformity, the actual value of the maintained average illuminance may not exceed 1.5 times the minimum E_{av} value indicated for the class !

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

32

P Series of Lighting Classes, EN 13201-2:2013		
Class	E_{av} in lx	E_{min} in lx
P1	15	3.0
P2	10	2.0
P3	7.5	1.5
P4	5.0	1.0
P5	3.0	0.60
P6	2.0	0.40
---	---	---

To provide for uniformity, the actual value of the maintained average illuminance may not exceed 1.5 times the minimum E_{av} value indicated for the class !

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

33

Lighting Requirements for P Lighting Classes (Pedestrian/Low Speed Areas, CIE 115:2010)					
LIGHTING CLASS	Average horizontal illuminance E_m in lx	Minimum horizontal illuminance E_{min} in lx	Threshold Increment TI in % *	Additional requirement if facial recognition is necessary	
				Minimum vertical illuminance $E_{v,min}$ in lx	Minimum semi-cylindrical illuminance $E_{sc,min}$ in lx
P1	15	3.0	20	5.0	3.0
P2	10	2.0	25	3.0	2.0
P3	7.5	1.5	25	2.5	1.5
P4	5.0	1.0	30	1.5	1.0
P5	3.0	0.6	30	1.0	0.6
P6	2.0	0.4	35	0.6	0.4

* Applicable where visual tasks usually considered for the lighting of roads for motorized traffic (M classes) and conflict areas (C classes) are of importance
To provide for uniformity the actual value of the maintained average illuminance may not exceed 1.5 times the value indicated for the class.

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

34

Time dependent Selection of Lighting Classes P for Pedestrian Area (example)							
Parameter	Options	Weighting Values WV	WV selected				
			ΔL_1	ΔL_2	ΔL_3	ΔL_4	
Speed	Low	1					
	Very low (walking speed)	0					
	Very high	1					
	High	0.5					
Traffic volume	Moderate	0					
	Low	-0.5					
	Very Low	-1					
Traffic composition	Pedestrians, cyclists and motorized traffic	2					
	Pedestrians and motorized traffic	1					
	Pedestrians and cyclists only	1					
	Cyclists only	0					
Parked vehicles	Pedestrians only	0					
	Present	0.5					
	Not present	0					
Ambient luminance	High	1					
	Moderate	0					
	Low	-1					
Facial recognition	Necessary						
	No additional requirements						
	No additional requirements						
	Not necessary						
Sum of Weighting Values SWV			3	1	2	1	
Class P = 6 - SWV			P3	P5	P4	P5	

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

35

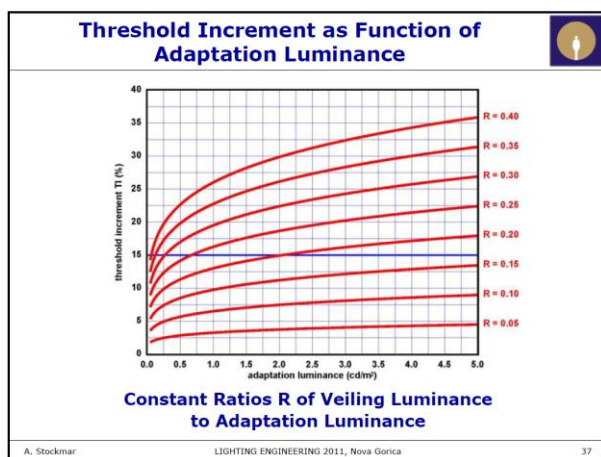
Lighting Requirements for P Lighting Classes (Pedestrians/Low Speed Areas, CIE 115:2010)					
LIGHTING CLASS	Average horizontal illuminance E_m in lx	Minimum horizontal illuminance E_{min} in lx	Threshold Increment TI in % *	Additional requirement if facial recognition is necessary	
				Minimum vertical illuminance $E_{v,min}$ in lx	Minimum semi-cylindrical illuminance $E_{sc,min}$ in lx
P1	15	3.0	20	5.0	3.0
P2	10	2.0	25	3.0	2.0
P3	7.5	1.5	25	2.5	1.5
P4	5.0	1.0	30	1.5	1.0
P5	3.0	0.6	30	1.0	0.6
P6	2.0	0.4	35	0.6	0.4

* Applicable where visual tasks usually considered for the lighting of roads for motorized traffic (M classes) and conflict areas (C classes) are of importance
To provide for uniformity the actual value of the maintained average illuminance may not exceed 1.5 times the value indicated for the class.

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

36



A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

37

Glare Evaluation (I), EN 13201-2, Annex A (informative)

- Table A.1: **Luminous intensity classes**, from which a class can be chosen to meet appropriate requirements **for the restriction of disability glare** and/or the control of obtrusive light
- Table A.2: **Glare index classes**, from which a class can be chosen to meet appropriate requirements **for the restriction of discomfort glare**

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 38

Glare Evaluation (II), EN 13201-2, Annex A (informative)

Class	Maximum luminous intensity in cd/klm			Other requirements
	at 70° and above ^{a)}	at 80° and above ^{a)}	at 90° and above ^{a)}	
G1		200	50	None
G2		150	30	None
G3		100	20	None
G4	500	100	10	Luminous intensities above 95° to be zero
G5	350	100	10	
G6	350	100	<1	Luminous intensities above 90° to be zero

^{a)} Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

No absolute values, critical for LED installations !

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 39

EN 13201-3 Road lighting - Part 3: „Calculation of performance“

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 40

Photometric Quantities to be calculated, EN 13201-3:2003

- Horizontal (E_h), vertical (E_v), hemispherical (E_{hs}) and semi-cylindrical (E_{sc}) illuminances **as maintained values**
- Road surface luminances (L_p) **as maintained values**
- Overall (U_o) and longitudinal (U_l) uniformities
- Threshold increments (TI) **as initial values**
- Surround ratios (SR)

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 41

Photometric Quantities to be calculated, EN 13201-3:2013

- Horizontal (E_h), vertical (E_v), hemispherical (E_{hs}) and semi-cylindrical (E_{sc}) illuminances **as maintained values**
- Road surface luminances (L_p) **as maintained values**
- Overall (U_o) and longitudinal (U_l) uniformities
- Threshold increments (TI) **as initial values**
- Edge Illuminance Ratio (EIR)**

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 42

Mathematical and other Conventions (I), EN 13201-3:2003/2013

- Luminaires are regarded as point sources of light
- Validity of inverse square law
- The road surface is flat and level and has uniform reflection properties over the area considered, (standard r-tables)
- Light reflected from the surrounds and interreflected light is disregarded as well as obstruction to the light from luminaires by trees and other objects
- Atmospheric absorption is zero

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 43

Mathematical and other Conventions (II), EN 13201-3:2003

- Interpolation of luminous intensity distribution: linear if $\Delta C \leq 5^\circ$ and $\Delta \gamma \leq 2.5^\circ$, else quadratic
- Interpolation of r-table quadratic as far as possible (see CIE 140:2000)
- Observer (line of sight 1° below the horizontal) in the centre line of each lane for the calculation of L , U_o , U_l , and TI
- All luminaires within the boundary of the standard r-table to be included in the calculation (12H in front, 5H towards observer and to the sides)

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

44

Mathematical and other Conventions (II), EN 13201-3:2013

- Interpolation of luminous intensity distribution: **always linear for $\Delta C \leq 5^\circ$ and $\Delta \gamma \leq 2.5^\circ$** ,
Note: The angular spacings should be reduced in case of luminous intensity distributions with great variations (LED).
- Interpolation of r-table **always linear**
- Observer (line of sight 1° below the horizontal) in the centre line of each lane for the calculation of L , U_o , U_l , and TI
- All luminaires within the boundary of the (standard) r-table to be included in the calculation

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

45

Mathematical and other Conventions (III), EN 13201-3:2003/2013

- Length of calculation field is equal to luminaire spacing S
- Number of calculation points along calculation field:
 $S \leq 30 \text{ m} \Rightarrow N = 10$, $S > 30 \text{ m} \Rightarrow S / N \leq 3 \text{ m}$
- Width of calculation field W is equal to the width of the carriageway
- For the calculation of road surface luminances 3 calculation points per lane across, otherwise
 $W \leq 4.5 \text{ m} \Rightarrow n = 3$, $W > 4.5 \text{ m} \Rightarrow W / n \leq 1.5 \text{ m}$

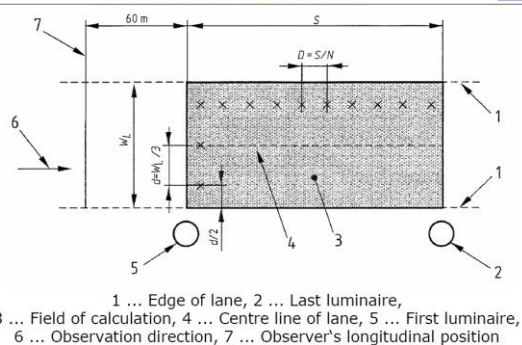
The number of calculation points is not sufficient to show non-uniformities caused by luminous intensity distributions with great variations (LED).

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

46

Position of Calculation Points per Lane, EN 13201-3:2003/2013



A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

47

Calculation of Threshold Increment (I), DIN EN 13201-3:2003/2013

- Observer in the centre line of each lane
- Observer's eye at a height of 1.5 m above road level
- First observer longitudinally at a distance of $2.75 \cdot (H - 1.5)$ meters in front of the calculation field (H ... Mounting height)
- Luminaires above a screening plane, which is inclined at 20° to the horizontal, are excluded from the calculation
- Calculation is repeated with the observer moved forward in increments of S / N

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

48

Calculation of Threshold Increment (II), DIN EN 13201-3:2003

- Summation is performed for the first luminaire in the direction of observation and the luminaires beyond, up to a distance of 500 m in each luminaire row, using Fry's formula with $(1.5^\circ \leq \theta \leq 60^\circ)$
- Summation can be stopped, when a luminaire in that row gives a contribution to the veiling luminance which is less than 2% of the total veiling luminance of the preceding luminaires in that row
- Constant k in TI calculation formula is age dependent, $k = 10$ for a 23 years old observer

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

49

Calculation of Threshold Increment (II), DIN EN 13201-3:2013



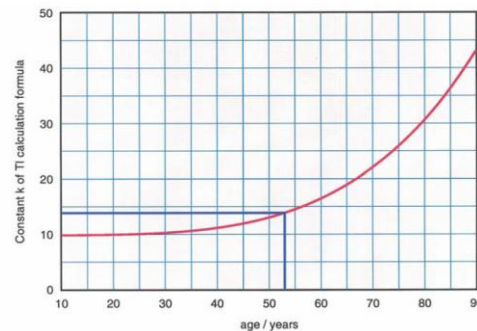
- Summation is performed for the first luminaire in the direction of observation and the luminaires beyond, up to a distance of 500 m in each luminaire row, using Fry's formula with $(1.5^\circ \leq \theta \leq 60^\circ)$
- Constant k in TI calculation formula is age dependent, $k = 10$ for a 23 years old observer

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

50

Calculation of Threshold Increment (III), DIN EN 13201-3:2003/2013



Constant k of TI calculation formula as function of age

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

51

Calculation of Surround Ratio (I), DIN EN 13201-3:2003



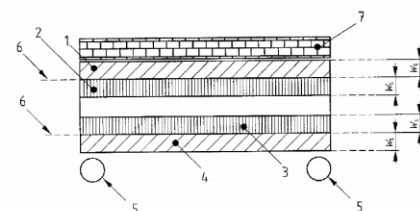
- The **Surround Ratio (SR)** is the ratio of the average horizontal illuminance on two strips of equal width adjacent to the edges of the carriageway, and **lying off the carriageway ($E_1 + E_4$)**, to the average horizontal illuminance on two strips of equal width adjacent to the edges of the carriageway, and **lying on the carriageway ($E_2 + E_3$)**

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

52

Calculation of Surround Ratio (II), EN 13201-3:2003



$$SR = (E_1 + E_4) / (E_2 + E_3)$$

5 ... Luminaire, 6 ... Edge of carriageway,
7 ... Obstruction, W_s ... Width of strip,
[figure 16 b) from EN 13201-3]

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

53

Calculation of Edge Illuminance Ratio (I), DIN EN 13201-3:2013



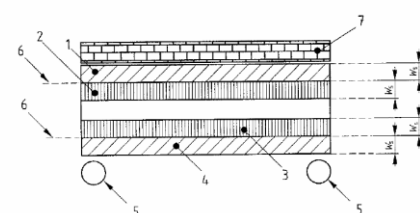
- The **Edge Illuminance Ratio (EIR)** is defined as the average horizontal illuminance on two longitudinal strips of equal width each adjacent to the two edges of the carriageway, and **lying off the carriageway (E_1, E_4)**, divided by the average horizontal illuminance on two longitudinal strips of equal width each adjacent to the edges of the carriageway, but **lying on the carriageway (E_2, E_3)**

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

54

Calculation of Edge Illuminance Ratio (II), EN 13201-3:2013



$$EIR = E_1 / E_2, \quad EIR = E_4 / E_3$$

5 ... Luminaire, 6 ... Edge of carriageway,
7 ... Obstruction, W_s ... Width of strip,
[figure 16 b) from EN 13201-3]

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

55

Calculation and Results, DIN EN 13201-3:2003



- Average luminance, overall uniformity, and threshold increment have to be calculated for each observer position (in the centre line of each lane) considering the total width of the carriageway
- Longitudinal uniformity is calculated for the centre line of each lane
- As result is regarded the lowest average luminance (maintained value), the lowest overall uniformity, and the lowest longitudinal uniformity (calculated for the different observer positions)
- As result is regarded the highest threshold increment (initial value) calculated for the different observer positions

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

56

Calculation and Results, DIN EN 13201-3:2013



- Average luminance, overall uniformity, and threshold increment have to be calculated for each observer position (in the centre line of each lane) considering the total width of the carriageway
- Longitudinal uniformity is calculated for the centre line of each lane
- As result is regarded the lowest average luminance (maintained value), the lowest overall uniformity, and the lowest longitudinal uniformity (calculated for the different observer positions)
- As result is regarded the highest threshold increment (initial value) calculated for the different observer positions, **the method has not been validated yet for LED installations**
- As result is regarded the lowest of the two edge illuminance ratios

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

57

EN 13201-4 Road lighting - Part 4: „Methods of measuring lighting performance“



A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

58

Photometric Quantities to be measured, EN 13201-4:2003



- **Horizontal E_h and vertical E_v illuminances**; requiring photometer head for measurement of planar illuminances
- **Hemispherical E_{hs} and semi-cylindrical E_{sc} illuminances**; requiring special purpose build photometer head
- **Road surface luminances L_p** ; requiring luminance meter with suitable performance

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

59

Photometric Quantities to be measured, EN 13201-4:2013



- **Horizontal E_h and vertical E_v illuminances**; requiring photometer head for measurement of planar illuminances, **also using dynamic measurement systems**
- **Hemispherical E_{hs} and semi-cylindrical E_{sc} illuminances**; requiring special purpose build photometer head
- **Road surface luminances L_p** ; requiring luminance meter with suitable performance, **also using dynamic measurement systems including imaging devices**

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

60

Non-photometric Measurements, EN 13201-4:2003/2013



- **Geometric data**; height of columns, length of outreach, orientation, tilt, and rotation in application of luminaires
- **Electric tension of supply**; preferably using a recording voltmeter
- **Ambient temperature**; at a height of 1.0 m above ground level at 30 minutes intervals

A. Stockmar

LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica

61

**Example of Test Report Format,
EN 13201-4:2003/2013**

- General test information
- Geometric data
- Road surface data
- Lamp and luminaire data
- Electricity supply data
- Environmental conditions
- Condition of installation
- Measuring instruments
- Measurement grid

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 62

**EN 13201-5 Road lighting -
Part 5: „Energy efficiency
requirements“**

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 63

**prEN 13201-5 „Road Lighting –
Energy Efficiency Requirements“**

Class	L_{av} in cd/m^2	U_o	U_l	TI in %	SR	SL in $W/cd/m^4$
ME1	2.0	0.40	0.70	10	0.50	1
ME2	1.5	0.40	0.70	10	0.50	1
ME3a	1.0	0.40	0.70	15	0.50	1
ME3b			0.60		0.50	1
ME3c			0.50		0.50	1
ME4a	0.75	0.40	0.60	15	0.50	1
ME4b			0.50		0.50	1
ME5	0.50	0.35	0.40	15	0.50	1
ME6	0.30	0.35	0.40	15	---	1

EN 13201-2: Table of ME lighting classes with additional column „Street Lighting Energy Efficiency Criterion Luminance based“

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 64

**prEN 13201-5 „Road Lighting –
Energy Efficiency Requirements“**

Class	E_{av} in lx	$U_o = E_{min} / E_{av}$	SL in $W/lx/m^2$
CE0	50	0.40	0.07
CE1	30	0.40	0.07
CE2	20	0.40	0.07
CE3	15	0.40	0.07
CE4	10	0.40	0.07
CE5	7.5	0.40	0.07

EN 13201-2: Table of CE lighting classes with additional column „Street Lighting Energy Efficiency Criterion Illuminance based“

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 65

**prEN 13201-5 „Road Lighting –
Energy Efficiency Requirements“**

Class	E_{av} in lx	E_{min} in lx	SL in $W/lx/m^2$
S1	15	5.0	0.2
S2	10	3.0	0.2
S3	7.5	1.5	0.2
S4	5.0	1.0	0.2
S5	3.0	0.60	0.2
S6	2.0	0.60	0.2
S7	---	---	---

EN 13201-2: Table of S lighting classes with additional column „Street Lighting Energy Efficiency Criterion Illuminance based“

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 66

**Energy Labelling System for
Road Lighting (Dutch Proposal, 2008)**

Energy Label	SL_{Norm} in $W/lx/m^2$	SL_{Norm} in $W/cd/m^2/m^2$
A	0,01 (0,005-0,014)	0,15 (0,075-0,224)
B	0,02 (0,015-0,024)	0,30 (0,225-0,374)
C	0,03 (0,025-0,034)	0,45 (0,375-0,524)
D	0,04 (0,035-0,044)	0,60 (0,525-0,674)
E	0,05 (0,045-0,054)	0,75 (0,675-0,824)
F	0,06 (0,055-0,064)	0,90 (0,825-0,974)
G	0,07 (0,065-0,074)	1,05 (0,975-1,124)

Energy label as function of SL values, in relation to the normative values of the corresponding lighting class

Reference: Energie Labeling Openbare Verlichting, Senter Novem, Amersfoort 2008

A. Stockmar LIGHTING ENGINEERING 2011, Nova Gorica 67

Author's address

Prof. Axel Stockmar,
University of Applied Sciences and Arts Hanover
LCI Light Consult International,
Lindenallee 21A, D-29227 Celle, Germany,
tel.: +49 5141 83069, e-mail: a.stockmar.lci@t-online.de

Eino Tetri

INEFFICIENT LAMPS WILL BE PHASED OUT FROM EUROPEAN MARKET – WHAT ARE THE ALTERNATIVES

Abstract

Currently, there is a global trend to phase out inefficient light sources from the market through legislation and voluntary measures. Two EU regulations for lighting equipment entered into force in April 2009 and they will result in gradual phasing out of e.g. incandescent, mercury and certain inefficient fluorescent and HID lamps from the EU market. This paper discusses the replacement of incandescent lamps and mercury lamps with LED retrofit lamps and LED luminaires.

Povzetek

Priča smo globalnemu trendu ukinjanja neučinkovitih svetlobnih virov s pomočjo zakonodaje in prostovoljnih aktivnosti. Leta 2009 sta stopila v veljavo dva evropska dokumenta, ki urejata področje naprav za razsvetljavo, in ki bosta povzročila postopen umik žarnic, visokotlačnih živosrebrovih sijalk in nekaterih manj učinkovitih fluorescenčnih in visokotlačnih sijalk z evropskega trga. Ta prispevek obravnava zamenjavo žarnic (z žarilno nitko) in visokotlačnih živosrebrovih sijalk z nadomestnimi LED svetlobnimi viri in svetilkami.

1. Introduction

Lighting is a large and rapidly growing source of energy demand and greenhouse gas emissions. At the same time the savings potential of lighting energy is high even with the current technology and there are new energy efficient technologies coming on the market.

Currently, more than 33 billion lamps operate worldwide consuming annually more than 2 650 TWh of energy, which is 19% of the global electricity consumption. The total lighting-related carbon dioxide (CO₂) emissions were estimated to be 1900 million tons in 2005, which was about 7% of the total global CO₂ emissions from consumption and flaring of fossil fuels. The global

electricity consumption for lighting is distributed approximately 28% to the residential sector, 48% to the service sector, 16% to the industrial sector, and 8% to street and other lighting. In the industrialized countries, national electricity consumption for lighting ranges from 5% to 15%, on the other hand, in developing countries the value can be even higher than 80% of the total electricity usage. [1] [2] [3]

It is foreseen that LEDs will revolutionise the lighting practices and market in the near future. The long lifetime, colour mixing possibility, spectrum, design flexibility and small size, easy control and dimming are the benefits of LEDs. For LEDs huge technological development is expected to continue. In the luminaire design key issues are heat dissipation and design of external optics.

2. EU Regulation

Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council of July 6th 2005 established a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products [4]. A recast of the directive was adopted on 21 October 2009 (Ecodesign Directive 2009/125/EC) [5]. The directive promotes environmentally conscious product design (ecodesign) and contributes to sustainable development by increasing energy efficiency and the level of environmental protection. Ecodesign means the integration of environmental aspects in product design with the aim of improving the environmental performance of the product throughout its life cycle. The Ecodesign directive also increases the security of the energy supply at the same time.

The Ecodesign directive is a product directive and has a direct consequence on the CE marking of the new products. Before a product covered by implementing measures is placed on the market, a CE conformity marking shall be affixed. A declaration of the conformity shall be issued whereby the manufacturer or its authorised representative ensures and declares that the product complies with all relevant provisions of the applicable implementing measure.

Lighting products have been selected as one of the priority product groups in the Ecodesign directive. Preparatory studies have been prepared for street, office and residential lighting products. The outcome of these studies is two regulations in force and one under construction. The two implementing measures have been published in form of Commission Regulations and entered into force on the 13th of April 2009 in all Member States. [6] [7]

Regulation 244/2009 sets requirements for non-directional lamps typically used in households: incandescent lamps, halogen lamps, compact fluorescent lamps with integrated ballast and LED-lamps with E27-base. The following lamps are exempted from the Regulation: (a) non-white lamps (chromaticity coordinates limits defined); (b) directional lamps; (c) lamps having a luminous flux below 60 lumens or above 12 000 lumens; (d) UV- lamps (limits are defined); (e) fluorescent lamps without integrated ballast; (f) high-intensity discharge lamps; (g) incandescent lamps with E14/E27/B22/B15 caps, with a voltage equal to or below 60 volts and without integrated transformer in Stages 1-5. Table 1 shows how the regulation will affect the lamp market.

Regulation 245/2009 sets requirements for fluorescent lamps without ballasts, for high intensity discharge lamps and for ballasts and luminaires able to operate such lamps. The main practical effect of the regulation is that it will phase out mercury lamps from the market after April 2015. Regulation gives minimum luminous efficacy values with different power. For instance, 125 W mercury lamps should have an efficacy of 70 lm/W. Typical value for mercury lamp is around 50 lm/W.

Table 1 Regulation 244/2009 on Non-directional household lamps.

Date		Requirement (energy classes)	Practical effect	
Ubtill 31.8.2009		A B C D E F G		
From 1.9.2009		A B C D E F G	Phase out of incandescent and halogen lamps	
Clear lamps				
Stage	Date	Scope	Requirement (energy classes)	Practical effect
1	1.9.2009	$\Phi > 950 \text{ lm}$	A B C D E F G	Phase out of 100 W
		others	A B C D E F G	
2	1.9.2010	$\Phi > 725 \text{ lm}$	A B C D E F G	Phase out of 75 W
		others	A B C D E F G	
3	1.9.2011	$\Phi > 450 \text{ lm}$	A B C D E F G	Phase out of 60 W
		others	A B C D E F G	
4	1.9.2012	$\Phi > 60 \text{ lm}$	A B C D E F G	Phase out of 15 W, 25 W and 40 W
5	1.9.2013	Rasing qualtiy requirements	A B C D E F G	
6	1.9.2016	Special cap halogen	A B C D E F G	Low-volatge (12 V) and zenon- filled halogen lamps
		For the rest	A B C D E F G	

3. Efficiency of a lighting system

The total lighting energy used depends in addition of the used equipments (LED/lamps, current source/ballasts and external optics/luminaires) also on the lighting design and the illuminated space itself. The efficiency of the lamps can be defined as luminous efficacy (lm/W), the ballast losses define the efficiency of the ballast and lumen output ratio the efficiency of the luminaire. In indoor lighting the design has an effect on the position of the luminaires (related to working desk), the illuminance and luminance distribution. Also the room has an effect on the final lighting outcome since part of the light comes to the working desk through reflections. Ultimate example of this is indirect lighting in which all of the light is reflected through ceiling and walls to horizontal surfaces. The shape of the room, height (luminaire distance from horizontal plane) and the colors of the surfaces (reflectances) together with the luminous intensity distribution of the luminaire have an effect on illuminances on the working planes.

Reducing the wattage of installed lighting system represents only one part of the energy saving opportunity; another part is to minimize the use of those loads using right control system. This involves the application of occupancy sensors, (automatic) switching and dimming according to the availability of daylight (constant illuminance control).

4. Outdoor lighting

With conventional lighting systems the efficacy (lm/W) of a lamp and luminaire is dependent on the power. The higher the power, the higher the efficacy. We measured different discharge lamps in luminaires, so the value includes ballast losses and optics (reflector and the protective cover). With high pressure sodium lamps the efficacy was between 46 and 74 lm/W, with power 50 W and 100 W, respectively. With metal halide lamps 49 to 64 lm/W, power 50 W and 100 W.

Induction lamp 45 to 56 lm/W, power 55 W and 85 W. With LED luminaires there is no relationship between luminous efficacy and power. The lowest and highest efficacies were measured with the highest power. The luminous efficacies were between 40 lm/W and 73 lm/W, the nominal power of both luminaires was 150 W and the measured luminous fluxes were 7879 lm and 10 960 lm. With a measured 50 W LED luminaire the efficacy was 70 lm/W.

Mercury lamps do not need an external starter and the used conventional magnetic ballast is very robust. Therefore old installations can be 40 years old or even older than that. Unfortunately the optical materials can be worn-out. We measured an old 125 W mercury lamp luminaire and find out that the luminous efficacy of the luminaire was only 3 lm/W. When the lamp was changed, but no other maintenance was done (like cleaning), the efficacy was raised to 7 lm/W.

5. Alternatives for incandescent lamps

Incandescent lamps can be replaced with E27-base compact fluorescent lamps with internal ballast (CFLi), LED-lamps or halogen lamps. CFLis can be pear shape (look-a-like), tubular or spiral.

LED-lamps with E27-base are just coming on the market, but there are already few alternatives on the market. LED dies are used with direct current and the lamp base includes necessary current source, Fig. 1.



Figure 1. CFLi and LED lamps.

After 1.9.2016 most of the lamps, including halogen lamps with E27 base, have to be in energy class B (Table 1). This may be achievable when the lamp base includes transformer and the light bulb itself is operating with low voltage DC. Characteristics of incandescent lamps are compared with CFLis and LED-lamps in Table 2.

Table 2. Comparison of the characteristics of lamp types usable in households.

	Incandescent	CFL	LED-lamp
Costs			
Lamp price	cheap	moderate	expensive
Energy costs	high	low	low
Luminous efficacy	12 lm/W	60 lm/W	40 lm/W
Lamp life	~ 1000 h	5000 - 15 000 h	? (even 50 000 h)
Size	small	pear shape, tubular, spiral	heat sink weighty
Ballast	not needed	integrated	integrated
Ambient temperature			
Hot	no effect	no big effect	lamp life shortened, light output decreased
Cold	no effect	light output reduced	light output increased
Switching cycle	not much effect	lamp life shortens	no effect
Switch on	immediately	1-2 s	immediately
Warming up	immediately	30 s-2 min (60 %)	immediately
Dimming	easy with voltage	only special lamps dimmable	only special lamps dimmable
Voltage	effect on luminous flux and lamp life	not much effect	not much effect

CFLs contain 2-5 mg mercury and therefore they are hazardous waste after the lamp has been used and the mercury should be recycled. The electricity production can cause some mercury emissions as well. In Finland this was estimated to be 3.9 µg/kWh. Lamp life of CFL is can be 10 000 hours. If 60 W incandescent lamps are burned the same time, the electricity consumption would be 600 kWh and related mercury emissions would be 2.3 mg. LED-lamps do not contain mercury and because of the low energy consumption, the mercury emissions caused by the usage of the lamp are reduced when compared to incandescent lamps.

The European Lamp Companies Federation has published environmental impact assessment of lamps on their webpage. According to that 90% of the energy is consumed during the operation. In other phases, energy is consumed as follows: resource 4%, production 5% and transport 3%, and disposal releases 2% [8]

In Figure 2 are luminous fluxes vs. luminous efficacies of different lamp types. Vertical lines show the luminous fluxes of 15 W, 40 W, 60 W, 75 W and 100 W incandescent lamps. CFLs were more energy efficient with their luminous efficacy ranging between 50 and 70 lm/W. The luminous efficacy of the LED-lamps is near 40 lm/W. However, there is one LED-lamp, whose luminous efficacy was 63 lm/W, lamp power was 2 W and the luminous flux 130 lm, thus corresponding to a luminous flux of a 15 W incandescent lamp.

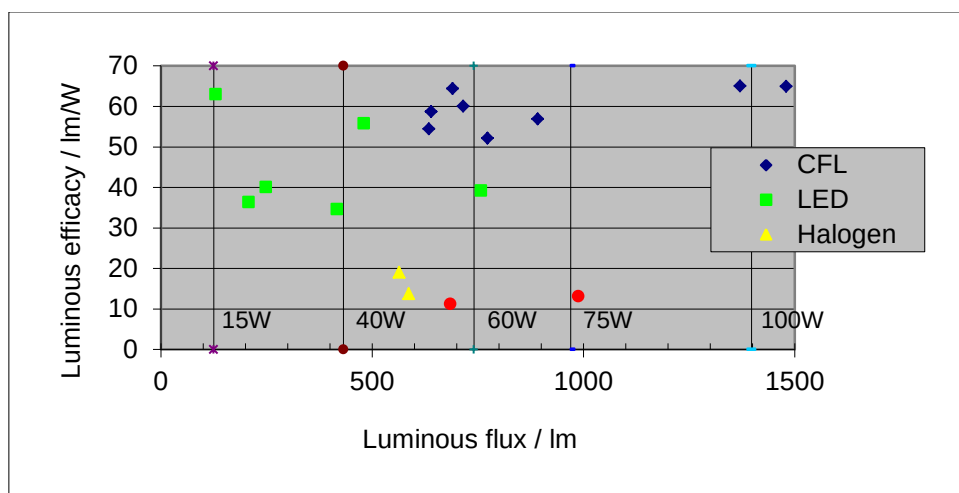


Figure 2 Luminous efficacy of different lamps.

The initial luminous flux was measured after 100 h burning hours and the lumen depreciation was measured after 1000 hours. With look-a-like CFLs the lumen depreciation was ranging between 8 to 14% after 1000 burning hours. With tubular or spiral the depreciation was smaller ranging from 2 to 7%. With LED-lamps the luminous flux was even increased during burning hours with some lamps. With 4 lamp types it was increased 1 to 3% and with one lamp type it was the same and with another lamp type it was decreased 1%

In indoor lighting the recommendation for colour rendering index is more than 80. Colour rendering indexes (Ra) of CFLs were between 80 and 90. With LED-lamps there was more variation, most of the lamps had colour rendering between 75 and 85, but there were two lamps, which had Ra 55 and 65.

Correlated colour temperature of incandescent lamp is 2700 K and light is yellowish, white light is 3000 K and cool white 4000 K, daylight lamps have usually CCT 5000 K or 6500 K. All the measured CFLs had CCT between 2500 and 3000 K. Colour temperature is thus quite similar to incandescent lamps. With LED-lamps CCT was about 2700 K, but one lamp had CCT 3500 K and one 6900 K.

The light distribution curve of different lamps can be quite different, for instance incandescent lamps radiate their light in every direction (solid angle 4π), while some LED-lamps have opening angle of 120° or narrower. The effect of luminaire is on one hand direct the light where it is needed and on the other hand provide shield from glare. In households luminaires there is normally not a reflective material to direct the light and sometimes the lumen output from the luminaire can be modest. Luminous intensity distribution curve was measured with goniometer from lamps and when lamps were mounted in luminaire. Conclusions were that LED-lamps are especially suitable for luminaires that provide task lighting like table lamps. Tubular CFLs give most of the luminous flux to vertical surfaces (when lamp base up). Spiral and look-a-like CFLs have luminous intensity distribution more similar to incandescent lamps.

Islam compared the illumination provided by incandescent lamps to CFLs. According to his results, it was possible to replace a 60 W incandescent lamp with a 15 W CFLi for task lighting. Though the lamp manufactures claim that 11 W CFLs are able to replace the 60 W incandescent lamps, in most cases they fail to yield the same level of illuminance as the 60 W incandescent lamps. One thing should be considered about CFLs while replacing incandescent lamps that the performance of CFLs is position sensitive. The tubular CFLs perform better when they are placed

horizontally than when they are placed vertically. On the other hand, look-alike or spiral type CFLs perform better when they are placed vertically than when they are placed horizontally. [9]

The starting time is defined as the time needed, after the supply voltage is switched on, for the lamp to start fully and remain alight. Lamp warm-up time for CFLs is the time needed for the lamp after start-up to emit 60% of its stabilized luminous flux according to Regulation 244/2009 [6]. The limit with CFLs are 2,0 s for starting and 60 s for warm-up time. If the mercury is in form of amalgam, the slower warming up is allowed. With amalgam lamps the warm-up time limit is 120 s. Amalgam is used in some lamps, because it makes the luminous flux more stable despite of the ambient temperature. Amalgam lamps keep the luminous flux more stable both in cold and warm conditions.

With LED-lamps the starting is immediate and the light is instantly also 100 %. In fact, the luminous flux decreases a little when the lamp warms thus increasing the junction temperature of the LED die. According to measurements the luminous flux of LED lamps dropped 4 – 21% from the maximum value. When lamps were mounted in closed luminaire, the drop was about 20% higher compared to lamps burned in open air.

With CFLs the starting time was 0.88 s on average, the range was 0.02 s-1.8 s. All lamps were within the limits given in the regulation. The average of the warm up time was 38 s, all but one being less than 60 s. The warm-up time of the "slow" lamp was 102 s.

6. Conclusions

Residential lighting is mostly based on incandescent lamps and therefore the energy consumption is high. Incandescent lamps are inefficient light sources, only 5 to 10% of the input electricity is converted to light. The energy savings possibilities when replacing incandescent lamps is high and the phase out of incandescent lamps from EU market will lead to increase of energy-efficiency in residential lighting. Estimated annual energy savings are 37 TWh by 2020. [10]

The luminous efficacy of incandescent lamps is about 12 lm/W, the average luminous efficacy of CFLs was 60 lm/W and of LED-lamps 40 lm/W. In the future the lm/W –value of LED-lamps will be increased significantly. Recently Cree has announced to achieved 231 lm/W in lab condition with single die (CCT 4500 K, 350 mA pulse, room temperature) [11] and Osram has announced that they will bring on the market in the beginning of 2012 14 W retrofit lamp with 1055 lm and lamp life 30 000 hours. The retail price will be about 50 euros [12].

At the moment the price of CFLs and LED-lamps is higher than the price of incandescent lamps, but the total costs including energy costs are lower with CFLs and also with LED-lamps in most cases. Thus the consumer wins when (s)he replaces the more than century old incandescent lamp with a modern CFL or LED-lamp.

7. REFERENCES

- [1] IEA, 2006 International Energy Agency. Light's Labour's Lost. IEA Publications. 360 p.
- [2] MILLS E., 2002. Why we're here: The \$320-billion global lighting energy bill. Right Light 5, Nice, France. pp. 369-385.

- [3] BHUSAL, P. 2009. Energy-efficient electric lighting for buildings in developed and developing countries. Doctoral Thesis. Helsinki University of Technology, Lighting Unit. 128 p.
<http://lib.tkk.fi/Diss/2009/isbn9789512296385>
- [4] DIRECTIVE 2005/32/EC of the European parliament and of the council of 6 July 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products and amending Council Directive 92/42/EEC and Directives 96/57/EC and 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council. 33 p.
- [5] DIRECTIVE 2009/125/EC of the European parliament and of the council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. 26 p.
- [6] Commission Regulation (EC) No 244/2009 of March 18th, 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps.
- [7] Commission Regulation (EC) No 245/2009 of March 18th, 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for fluorescent lamps without integrated ballast, for high intensity discharge lamps, and for ballasts and luminaires able to operate such lamps, and repealing Directive 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council.
- [8] ELC 2009. Did you know...the potential energy savings of an energy efficient lamp? European lamp companies Federation. http://www.elcfed.org/1_health.html, 17 September 2009.
- [9] ISLAM, M. S. 2009. Replacement of incandescent lamps with energy efficient lamps in developed and developing countries. Master's Thesis. Helsinki University of Technology, Lighting Unit. 85 p.
- [10] Anon. 2010. Ecodesign Your Future How Ecodesign can help the environment by making products smarter. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sustainable-business/sustainable-product-policy/ecodesign/index_en.htm.
- [11] Cree Announces New Efficacy Record in Lab: 231 Lumen Per Watt.
http://www.cree.com/press/press_detail.asp?i=1304945651119.
- [12] Osram's Next Dimension in LED Lamps: 30 Years Service Life, Omni-Directional - 340°, Over 1000 lumen. <http://www.led-professional.com/products/led-lamps/osraems-next-dimension-in-led-lamps-30-years-service-life-omni-directional-340deg-over-1000-lumen>

Author's address

Eino TETRI, D.Sc.
Aalto University, Lighting Unit
P.O.Box 13340; 00076 Aalto
Finland
(Visiting address: Otakaari 7, Espoo)
Tel.: +358 50 316 0986
Fax: +358 9 4702 4982
Email: eino.tetri@aalto.fi

Stefan Nowy, Thorsten Gerloff, Armin Sperling

ORGANIC LIGHT-EMITTING DIODES AS LIGHT SOURCES

Abstract

Organic light-emitting diodes (OLEDs) are solid-state light sources using thin films of organic compounds. Being in principle uniform surface light sources, OLEDs allow entirely new, fascinating lighting possibilities, such as luminescent ceilings or windows. OLEDs can be fabricated on different substrates, usually on glass, but also on, e.g., thin metal or plastic foils, which can be flexible. These novel light sources are already commercially available from different manufacturers.

After showing the basic working mechanism of OLEDs, I will focus on PTB's efforts on fully optical characterization of OLEDs. This includes angular dependent chromaticity measurements, luminance distribution, and lifetime measurements. The development of an OLED standard at PTB was a first step for establishing transfer standards for OLED measurements.

Povzetek

Organske svetleče diode (OLED) so polprevodniški svetlobni viri na osnovi tankofilmskih organskih spojin. V osnovi so to uniformirani ploskovni viri in zato dopuščajo popolnoma nove možnosti razsvetljave, kot npr. svetlobna okna ali stropove. OLED svetlobne vire lahko proizvajamo na različnih osnovah, običajno je to steklo, lahko pa je osnova tudi upogljiva z uporabo tanke plasti kovine ali plastične folije. Takšni inovativni svetlobni viri so že komercialno dostopni.

V prispevku bo prikazan osnovni princip delovanja OLED in trud PTB, da bi OLED svetlobnim virom dodal potrebne optične lastnosti. To vključuje meritve kotno odvisne barvnosti, porazdelitve svetlosti oz. svetilnosti in življenjske dobe izdelkov. Razvoj standarda za OLED na PTB je bil prvi korak k vzpostavitvi standardov za meritve OLED svetlobnih virov.

Authors address

Stefan Nowy, Thorsten Gerloff, Armin Sperling
Physikalisch-Technische Bundesanstalt,
Bundesallee 100,
38116 Braunschweig,
Germany

Mihaela Krevh

TRAJNOSTNI RAZVOJ IN NOVE LED TEHNOLOGIJE ravnotežje med okoljem, energijo in kvaliteto svetlobe

Abstract

Sustainable lighting solutions means future orientated solutions by keeping the balance between environmental, economic and social aspect. For the user such a solution means low energy consumption and less CO2 emissions, lower maintenance costs and quality of light in accordance with the needs, which allows healthy, safe work and well-being. CO2 emissions caused by lighting are very high and in the professional lighting area there is extremely high potential for optimal use of natural resources.

Povzetek

Trajnostno orientirane svetlobne rešitve so v prihodnost orientirane rešitve, ki vzdržujejo ravnotežje med okoljskim, ekonomskim in sociološkim vidikom. Za uporabnika pomeni takšna rešitev nizko porabo električne energije in manj emisij CO2, nižje stroške vzdrževanja ter kakovostno svetlobo v skladu s potrebami, ki omogoča uporabniku zdravo in varno opravljanje dela ter dobro počutje. Emisije CO2 zaradi razsvetljave so zelo visoke in v profesionalni razsvetljavi je izredno visok potencial za optimalno rabo naravnih virov.

1. Uvod

K temeljitemu razmisleku o proizvodnji in porabi električne energije nas (na žalost) silijo tragični dogodki v zadnjih letih, povezani z naravnimi katastrofami in spremembami klimatskih razmer.

Posamezniki in podjetja vse bolj težijo k energetsko učinkovitim investicijam,

razsvetljava pa igra pri tem pomembno vlogo, saj je 19% električne energije proizvedene na celem svetu, porabljeno za razsvetljavo.

2. Trajnostni razvoj in arhitektura

Objekt arhitekta Daniela Libeskinda (slika zgoraj), tako imenovana Libeskind Villa, postavlja v smislu trajnostnega razvoja nove standarde v arhitekturi. Libeskind je uporabil za objekt najboljše materiale, kar zadeva trajnostni razvoj. Tudi za najmanjše elemente, vgrajene na primer

v kopalnici ali na vratih, se je preučil ta vidik. To pomeni, da imajo vsi izdelki okoljevarstvene deklaracije z nizkimi vrednostmi onesnaževanja okolja, sama konstrukcija zgradbe pa je tudi izdelana po načelu čim večje energetske učinkovitosti. Uporabniku ponuja bivanje v takšni zgradbi nizke stroške ter visok nivo bivanjske kulture.



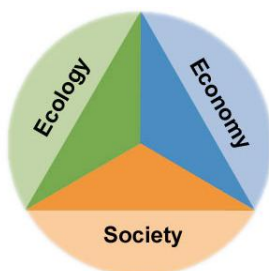
Projekti kot je Libeskind Villa so v zadnjih letih v centru pozornosti saj je trajnost, predvsem zaradi podnebnih sprememb in onesnaževanja okolja, vse bolj integrirana tudi v arhitekturo. Vedno več se gradi stavb, ki so certificirane z gradbenimi okoljevarstvenimi standardi, kot so mednarodni standardi LEED, BREEAM,... nekatere države pa so razvile povsem svoje, posebne standarde. Na tovrstno gradnjo vpliva tudi cilj, ki ga je zadala EU, kjer je do leta 2020 potrebno občutno zmanjšati emisije toplogrednih plinov.

Konstrukcija stavb je en del trajnostne gradnje. Prav tako so pomembni okolju prijazni in energetsko učinkoviti vsi ostali gradbeni elementi, ki so vgrajeni v stavbi. Eden izmed teh so tudi svetilke in z njimi povezane trajnostne svetlobne rešitve.

Trend uporabe energetsko učinkovitih in trajnostnih svetlobnih rešitev pomeni predvsem za načrtovalce zahtevne in zapletene projekte, kar je izziv za vse nas, ki pri takšnih projektih sodelujemo.

3. Ravnotežje med okoljem, ekonomijo in socialnim vidikom

Beseda trajnost je bila omenjena že v začetku 18.stoletja na področju gozdarstva. Trajnost je pomenila, da se lahko poseka zgolj toliko površine gozda, kolikor dreves lahko zraste na novo. Vedno mora biti dovolj dreves, ki zapolnijo prostor dreves ki so bila posekana. Pomeni, da je moral gozd tudi v prihodnosti nuditi okoljske, ekonomske in sociološke funkcije.



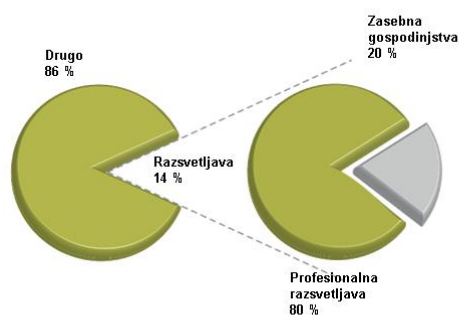
Kaj pa pomeni trajnostno orientirana svetlobna rešitev?

Kadar govorimo o trajnostnem razvoju na področju razsvetljave, je potrebno upoštevati naslednje vidike:

- Okoljski vidik pomeni manjšo porabo energije in manjšo produkcijo CO₂. To lahko dosežemo s preudarno uporabo surovin s podaljšano življenjsko dobo vgrajenih elementov, zavestno izrabo virov ter zmanjševanje odpadkov.
- Ekonomski vidik pomeni nižje stroške energije ter nižje stroške vzdrževanja; na primer pri menjavi sijalk.
- O socialnem področju govorimo, kadar lahko uporabnik zaradi boljše kakovosti razsvetljave svoje delo opravlja varneje in bolj zdravo in se pri tem dobro počuti, npr. zaradi dobre vidljivosti in zaradi svetlobe v skladu s potrebami.

4. Emisije, ki jih povzroča razsvetljava

Energijska poraba v EU: deleži na leto



Vir: Mednarodna agencija za energijo, komisija EU

V profesionalni razsvetljavi je izredno visok potencial za optimalno rabo naravnih virov. Delež svetovno proizvedene električne energije, ki se porabi za razsvetljavo je 19%, v Evropi 14%. V poslovnih zgradbah, odvisno od vgrajene opreme, dosega vrednost do 30%. Za 75% razsvetljave v poslovnih in industrijskih zgradbah v Evropi velja, da je trenutno neučinkovita. 80% možnosti prihrankov električne energije je na profesionalnem področju.

V letu 2005 je bilo na svetovnem nivoju porabljenih 2.650 TWh ali 1.900 milijonov ton CO₂ emisij. Do leta 2030 se pričakuje 4.250 TWh ali 3.000 milijonov ton CO₂, če na področju razsvetljave ne pride do tehnoloških izboljšav.

Koliko emisij CO₂ proizvedejo proizvodi, ki jih dnevno uporabljamo?

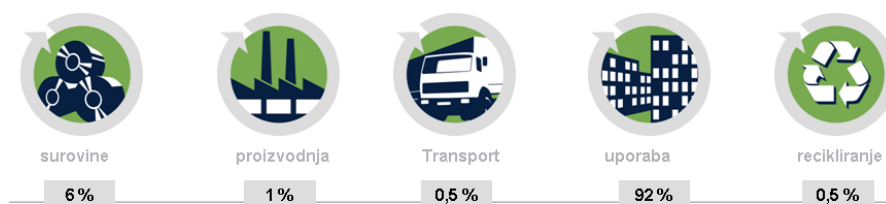
Košarica jagod, uvoženih iz Španije 442g, skodelica kave 59g, zavoje toaletnega papirja 250g*.

GWP (Global Warming potential) ali potencial globalnega segrevanja je relativno merilo, koliko toplote toplogrednih plinov preide v atmosfero. Vsi plini se primerjajo s CO₂. Potencial globalnega segrevanja se računa za določen časovni interval, običajno za 20, 100 ali 500 let. GWP je izražen kot faktor ogljikovega dioksida (GWP standardiziran na 1).

Na primer, 20 let GWP metana je 72, kar pomeni, če bi enako težo metana in ogljikovega dioksida spustili v atmosfero, bo metan spustil v ozračje 72-krat več toplote kot ogljikov dioksid v naslednjih 20 letih.

*Navedene količine se od proizvajalca do proizvajalca spreminjajo, saj je vpliv faktorjev na proizvod precej kompleksen.

Koliko CO2 emisij predstavlja ena svetilka?



Svetilka Aero II Hybrid, proizvajalca Zumtobel, proizvede v celotnem življenjskem ciklusu 2100kg CO₂. Do teh rezultatov pridemo z uporabo računskega modela za celoten življenjski cikel produkta ki upošteva vse stopnje življenjskega ciklusa.

V vseh stopnjah (surovine, proizvodnja, transport, uporaba, reciklaža) predstavlja največji vpliv emisij; kar 92% v delovanju svetilke.

ZUMTOBEL

42177253 AERO2 48W/5 LED 228W EVG WH ASQ1000->



Lighting and Sustainability

Zumtobel is the internationally leading supplier of integral lighting solutions for a wide variety of applications. We want to use light to create better of experience. Make with expert and improve communication and safety while ensuring fully aware of our responsibility for the environment. Based on careful analysis and advanced product development we are improving the environmental performance of our products. The following information details environmental aspects throughout the life cycle of the product.

This declaration is an Environmental Product Declaration (EPD) according to EN ISO 14025 and describes the specific environmental impacts of the mentioned product. The declaration is based on the European Product Category Rules (PCR) for "Luminaires, lamps and components for luminaires" (2006:17) and takes into account the development of CEN prEN 15954. The Life Cycle Assessment (LCA) was performed according to EN ISO 14040. The described product values are declared and the declaration includes a product description, information on material composition, manufacturing, transport, use stage, disposal and recycling, as well as results of the life cycle assessment. It is independently verified according to the PCR of the Environmental Construction Products Organisation (ECOP).

Assessment parameter	Unit	Product stage	Construction process stage	Use stage	End of life stage	Best product option
Primary energy, non-renewable	MJ	2,52E+3	3,81E+1	3,82E+0	3,02E+1	4,87E+2
Primary energy, renewable	MJ	2,51E+3	2,42E+0	3,02E+0	1,76E+0	-1,85E+2
Absorpt. resource depletion (GWP elements)	kg CO ₂ eq	1,19E+2	3,34E+0	1,70E+0	1,89E+0	-1,09E+2
Global warming potential (GWP)	kg CO ₂ eq	1,35E+2	1,35E+0	2,02E+0	3,73E+0	-5,31E+1
Ozone depletion potential (ODP)	kg CFC-11 eq	6,42E-6	2,44E-6	4,85E-6	6,84E-7	-4,21E-6
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq	6,31E-1	1,82E-0	1,25E+1	1,85E-2	-6,55E-1
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ -P eq	1,04E-0	1,37E-0	5,07E-1	1,75E-1	-4,45E-1
Photochem. oxidant creation (POC)	kg C ₂ H ₄ eq	7,65E-2	6,42E-4	7,07E-4	1,16E-3	-3,85E-2

* For a detailed description see section on Use stage in the EPD

Summary of Environmental Product Declaration		
According to EN ISO 14025 and prEN 15954		
Declaration holder:	Zumtobel Lighting GmbH	
Program holder:	Environmental Construction Products Organisation (ECOP)	
Declaration number:	ECO-2014-014-42177253-1-2	
Date of issue:	2014-04-11	
Validity date:	2017-04-11	



Rezultat ocene življenjskega ciklusa je razviden iz okoljske deklaracije produkta (Environmental Product Declaration).

Za izdelavo te deklaracije je potrebno izmeriti količino emisij za celoten življenjski cikel svetilke; od uporabe surovin, proizvodnje, transporta, faze uporabe do reciklaže. Nekako od zibelke do groba.

Postopek je potrjen s strani ISO 14025 standarda. Ta standard zahteva vnaprej določena pravila. Postopek za izdelavo tovrstnih deklaracij za svetilke smo začeli v Zumtoblu, kajti pred tem standard ni zajemal pravil za svetilke, sijalke in komponente. Tako smo skupaj z ECO organizacijo izdelali pravila. Gre za neodvisno ECO organizacijo, rezultate je preverila tudi neodvisna organizacija IBU / Institut Bauen und Umwelt

Vsi proizvajalci svetilk, ki želijo izdelati tovrstne certifikate za svoje svetilke po ISO 14025 standardu, morajo tem pravilom slediti in na ta način so rezultati med seboj primerljivi.

Prednost za kupca je transparentnost, proizvajalec pa lahko izmeri vpliv na okolje na stopnji produkta in na ta način izboljšuje produkt že v fazi razvoja.

5. Od osnovnih surovin do reciklaže

Zumtobel daje prednost materialom, ki se dajo reciklirati, na primer aluminij, ki se lahko reciklira do 90% in jeklo do 80%. Izbira tudi na primer dobavitelje, ki so v bližini proizvodnih obratov. Tudi zmanjšanje kompleksnosti proizvodov ter uporaba kablov brez halogena pripomore k okolju prijaznim rezultatom.

Vsi Zumtoblovi proizvodni obrati imajo pridobljen ISO standard 14.001, ki zadeva varstvo okolja. V skladu z okoljevarstvenim programom se delo v proizvodnji nenehno nadgrajuje, kot na primer potopek barvanja, ki ga je zamenjala metoda prašnega premaza. Prednost tega postopka je v manjši porabi energije in uporabi določenih lakov. Poleg tega se je tudi zaradi delu prijaznejšemu okolju znižala fluktuacija zaposlenih na tem oddelku (manj hrupa, boljša kvaliteta zraka).

V proizvodnem obratu v Nemčiji smo zamenjali razsvetljavo in tako prihranili 50% energije, uporabljamo dnevno svetlobo, tla z dobro refleksijo in fotovoltaike na strehi.

Transport proizvodov je že nekaj let organiziran na način dvojnega natovarjanja, kar pomeni dvakrat več dostavljenih produktov z eno vožnjo. Če je le možno je transport organiziran z železnico.

Through light, we care.

Sustainability Report 2010/11 of the Zumtobel Group



Zumtobel je na nivoju celotne skupine Zumtobel Group letos izdal že drugo Poročilo o trajnostnem razvoju; izdaja poročila je predvidena na dve leti.

6. Holistični pristop k trajnostnemu razvoju

Deklaracije o produktih, ki so okolju prijazni so zgolj en del, en pogled na trajnostni razvoj. Te deklaracije so produktno orientirane in imajo določene omejitve, saj ne upoštevajo učinkovitosti in kvalitete svetilk.

Pri premišljeni integraciji visoko učinkovitih svetlobnih virov (LED) v konstrukcijo svetilke, lahko dosežemo visoko učinkovite produkte (Zumtobel Panos Infinity 77lm/W), z uporabo

kvalitetnih materialov pa je življenjska doba svetilke/ svetlobne rešitve precej daljša v primerjavi s konvencionalnimi rešitvami (LED vs fluroscentni, halogenski svetlobni viri). To pomeni za uporabnika nižje stroške energije ter nižje stroške vzdrževanja. Svetlobna rešitev, ki vključuje še krmiljenje razsvetljave v odnosu na dnevno svetlobo je lahko v nekaterih primerih energetsko najbolj varčna rešitev.

Poraba energije in amortizacijska doba ter s tem vpliv na okolje je izmerljivo. Trajnostno orientirane svetlobne rešitve pa vključujejo tudi sociološki, ergonomski vidik. Potrebno je poudariti, da se mnogokrat pri trajnostnih svetlobnih rešitvah pozablja na kakovost razsvetljave. Če bi primerjali rezultate prej omenjene deklaracije svetilke AeroII Hybrid z rastersko svetilko Mirel, bi bila rezultata emisij primerljiva. Glede na to, da sodijo rasterske svetilke med učinkovite svetilke, bi bila tudi poraba energije v nekaterih primerih primerljiva z drugimi rešitvami. Toda razmisliti je potrebno kakšno rešitev ponuja uporabniku svetlobna rešitev z rasterskimi svetilkami v ergonomskem smislu!? Bleščanje pod določenim kotom, vidni svetlobni vir, ostre sence,...

Uporaba naprednih tehnologij, kot je na primer kombinacija mikroprizmatične optike ali optike z mikro lečami v kombinaciji z LED tehnologijo, poleg visokega izkoristka svetilke in nižje porabe električne energije ponuja uporabniku kakovostno svetlobo, ki ima močan vpliv na počutje in zdravje posameznika (ergonomija). Uporaba LED tehnologij »Stable white« in »Tunable white« ki zajema celoten barvni spekter brez izstopajočih špic posameznih valovnih dolžin ter barvno reprodukcijo 90 ali več pri različnih temperaturah barve (od 2700 do 6500K), povečuje uporabniku udobje in zmanjšuje potrebo po naprežanju oči. Poleg tega lahko s t.i. tunable white tehnologijo s spreminjanjem barvne temperature simuliramo dnevno svetlobo ter sledimo človekovemu bioritmu.

V podjetju Zumtobel se že nekaj let uporablja izračun t.i. ergonomskega faktorja, ki bi naj bil dodatno merilo v svetlobni rešitvi, usmerjeni v trajnostni razvoj. Razprave, po katerih kriterijih izdelati enotne »ergonomske meritve«, jih pretvoriti v številke ali diagrame, pa so zaenkrat v teku pri mednarodnih organizacijah.

7. Predstavitev realiziranih trajnostnih svetlobnih rešitev

Douglas drogerija, Frankenthal (D)

Spar, Dunaj in Murau (A) – pridobljen zlat ÖGNI certifikat

Več na: http://www.zumtobel.com/com/en/press_lightingsolutions_f.htm

Avtorjev naslov:

Mihaela KREVEH, u.d.i.a.
Zumtobel Licht GmbH
1220 Wien, Donau-City Strasse 1
Avstrija

Tel.: +43 (0) 258 26 01-82852

Fax: +43 (0) 258 26 01-982852

Elektronski naslov: mihaela.krevh@zumtobel.com

Andy Davies, Mihael Garibaldi

INFUSION™ LED MODULS

FUTURE-PROOFED MODULAR LIGHTING SYSTEM USING LED LIGHTING TECHNOLOGY IN RETAIL LIGHTING

GE Lighting's latest Infusion™ LED modules allow merchandisers and lighting designers to create dramatic, attention-grabbing retail displays by selecting from a full range of light output and colour temperature options. Ideal for spotlighting, downlighting and track/accent lighting.

The GE Infusion™ LED module is a game-changing platform, designed to open up new possibilities for the use of long-lasting, controllable, low maintenance LED solutions in retail, gallery and other environments where the quality of light is critical to the customer/visitor experience.

LED technology is becoming established in many professional lighting applications. However, designers remain reticent about specifying LED everywhere in their schemes, with one critical reason being the difficulty in servicing and upgrading the luminaires. GE Lighting are addressing this problem with a new module that allows luminaires to be maintained or upgraded – by making the module replaceable with a simple twist fit.

The easy interchangeability has other benefits too. One Infusion™ luminaire will accept a complete range of LED modules. This overcomes the inflexibility of integrated luminaires, giving merchandisers the ability to vary colour temperatures, beam angles and light packages by simply swapping modules.

"Exchanging modules is just a twist fit; this mates the module with the housing and provides all necessary thermal, electrical and mechanical connectivity. Plus, the energy efficiency is superb: When embodied in an efficient luminaire design Infusion LED modules can be even more efficient than many HID solutions. They can also be dimmed as well as instantly lit and restriking"

In 2011 GE introduces a full range of Infusion™ LED modules, with retail displays demonstrating modules with 1100, 1500, 2000 and 3000 lumens, in colour temperatures 2700K, 3000K and 4000K. GE is the first manufacturer to offer this range of lumen packages and colour temperatures in a fully-replaceable module with a common size.

GE also introduces the 'Infusion Ultra' version, where high colour rendering (930 colour) is combined with 2-step colour consistency for premium light quality applications.

LED MODULARNI IZVIRI SVETLOBE PRIHODNOST V RAZSVETLJAVI PRODAJNIH POVRŠIN IN IZLOŽB

Najnovejši GE Lighting Infusion™ LED moduli omogočajo trgovcem in oblikovalcem razsvetljave ustvariti dramatične, pozornost vzbujajoče izlozbe z izbiro svetlobnega učinka in barve svetlobe iz celotnega niza možnosti. So idealna rešitev za akcentno razsvetljavo in downlighting.

GE Infusion™ LED modul spreminja pravila igre, odpira nove možnosti pri uporabi dolgotrajnih, nadzorovanih, preprostih za vzdrževanje LED rešitev v maloprodaji, galerijah in ostalih okoljih, kjer je kakovost svetlobe ključna za izkušnjo obiskovalca.

LED tehnologija se uveljavlja v osvetljevanju, vendar pa ostajajo oblikovalci zadržani pri specifikiranju LED izvirov svetlobe v načrtu razsvetljave zaradi kritičnega argumenta, da nastopajo težave pri servisiranju in nadgradnji svetilke. GE Lighting se je lotil omenjenega problema z novim modulom, ki dovoljuje vzdrževanje in nadgradnjo svetilk - modul je možno zamenjati s preprostim obratom in klikom.

Enostavna zamenljivost ima tudi druge predosti. Posamezna Infusion™ svetilka sprejme kompletan asortiment LED modulov. To prekaša nefleksibilnost integriranih svetilk, saj daje uporabnikom možnost menjavanja barv svetlobe, širine svetlobnih snopov in svetilnosti s preprosto zamenjavo modulov."

Povezava modulov z obratom in klikom ("twist fit") združuje modul z ohišjem in nudi vse potrebne termične, električne in mehanske povezave ob odlični energijski učinkovitosti. Vgrajen v učinkovito svetilko je lahko Infusion LED modul učinkovitejši od številnih rešitev z visokotlačnimi sijalkami. Prav tako pa se jih lahko zatemni in omogočajo tudi takojšnji topli vžig.

V 2011 GE uvaja celoten izbor Infusion™ LED modulov, za akcentno osvetlitev v trgovinah, ki bodo na voljo s svetlobnim tokom 1100, 1500, 2000 in 3000 lumni in barvami svetlobe 2700K, 3000K in 4000K. GE je prvi proizvajalec, ki nudi tako raznoliko paleto svetlobnega toka in barv svetlobe s popolnoma zamenljivimi izviri svetlobe enake velikosti.

GE predstavlja tudi različico 'Infusion Ultra', kjer je visok indeks barvne vidnosti (barva 930) združen z 2-stopenjsko barvno konsistentnostjo za visoko zahtevne svetlobne aplikacije.

GE Lighting

Infusion LED Module System



Displays that stand out from the crowd.....



.....with GE Infusion LED technology

LED modules bring profitability to all

OEM luminaire manufacturer

Ability to offer a truly sustainable, reliable, highly valued luminaire solution with LED technology that is always current

Less inventory, lower development and retooling costs

Distributor

Offer a range of luminaires that can be sold separately from module, with follow-on upgradeability

Less inventory, stock a single type of light engine for use across many luminaire brands

Lighting Designer

Ability to specify a large number of luminaire brands knowing that they can be upgraded in future, adding value to projects

Reliable light engines that can be replaced mean less after-sales support needed

End User

Can replace modules at specified intervals during installation, taking advantage of LED efficiency increases and saving more energy

Reliable light engines that can be replaced mean less disruption in facility



REVENUE – COSTS = PROFITS

Connection with a Simple Twist

Repeatable, Replaceable....RELIABLE



3 critical interfaces connected in a single action



Single module size for 4 Packages

			
<u>M1000 series</u>	<u>M1500 series</u>	<u>M2000 series</u>	<u>M3000 series</u>
850-1100 lm	1400-1750 lm	1700-2200 lm	2800-3500 lm
7 LEDs	11 LEDs	14 LEDs	22 LEDs
15W	23W	30W	46W
700mA	700mA	1.4A	1.4A



Colour, CRI, Life

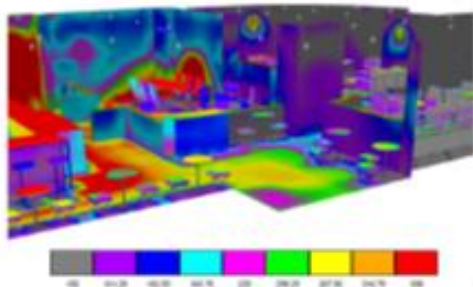
Range	Colour code	CCT (K)	CRI	Colour consistency part-to-part (Macadam Ellipse steps)	Lumen packages	Life (L70)
Infusion	827	2700	Good (>80)	< 4 Step (Equivalent to 35W Ceramic Metal Halide)	900, 1500, 1800, 3000	50,000 hours (all types)
	830	3000			1000, 1600, 2000, 3200	
	840	4000			1100, 1750, 2200, 3500	
Infusion Ultra	930	3000	Excellent (90)	< 2 Step (World's most consistent colour from LED class)	850, 1400, 1700, 2800	

Replicating the light quality of traditional technologies with the benefits of LED



Imagination at work

Case Study: Infusion LED vs HID Global Hospitality Chain



Height of Room: 8.000 m, Maintenance Factor: 0.80

Values in Lux, Scale 1:100

Surface	Area (m²)	Area (ft²)	Area (m²)	Area (ft²)	Area (m²)
Workspaces	7	75	98	1060	0.003
Floor	87	935	10	107	0.007
Ceiling	88	943	84	905	0.005
Walls (2x)	52	558	28	300	0

**30% energy reduction
with increased
average illuminance**

Luminaire / Lamp	Qty	Wattage	Circuit Load
20W CMH-T2 Downlighter - Medium Beam	7	20W	140W
20W CMH-T2 Downlighter - Wide Beam	44	20W	1,080W

GE Proposed LED Design Specification

Luminaire / Lamp	Qty	Wattage	Circuit Load
1000 lm LED Infusion Downlighter 20° - Medium Beam	7	17W	119W
1000 lm LED Infusion Downlighter 60° - Wide Beam	44	17W	748W

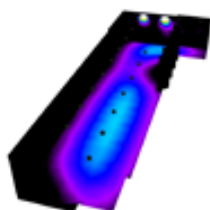
1.224 KW	0.865 KW
29.2% Energy Reduction	



Imagination at work

Case Study: Infusion LED vs CFL

UK Leisure Chain – Downlight Retrofit

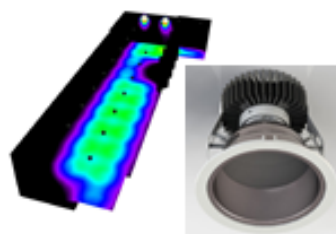


Existing 2 x 26W CFL Solution

Total fitting watts: 72W

Illuminance: 250 lux

Wattage load in store: 1.5kW



Proposed LED Solution

Total fitting watts: 27W

Illuminance: 300 lux

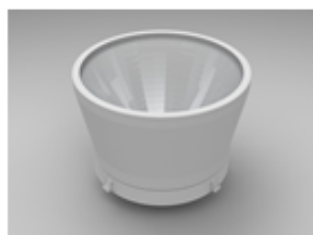
Wattage load in store: 570W

62% Reduction in energy load vs CF



**Lighting design based on maintained illuminance (lumen maintenance factored in)

Infusion Optical Accessories



Series	15°	25°	36°	60°
M1000	+	+	+	+
M1500	+	+	+	+
M2000		+	+	+
M3000		+	+	+
Size (D x H)	100 x 60		75 x 40	
Beam				



Tool-free optic attachment



LED Module and optic are supplied separately



The optic is placed in the groove on the module



The optic connects to the module via a simple clockwise twist



Infusion Complementary Partners

In addition to development of our own modules and accessories, GE has also been working with a set of **COMPLEMENTARY PARTNERS** for Infusion

COMPLEMENTARY PARTNERS are other companies, usually well-known in the lighting industry, who are able to offer their own products to OEMs to complement GE's Infusion modules

At present we have partners identified for **LED drivers** (5 partners), **thermal management solutions** (4 partners), and **custom development of optics** (4 partners)



Infusion Optics Complementary Partners

Equipped with technical data on GE Infusion modules and able to offer custom optic design service to OEMs

Partner	Contact	Email	Website
ACL-Lichttechnik GmbH	Hans-Jorg Schurig	hj.schurig_jr@reflektor.com	www.reflektor.com
Alux-Luxar	Rene Kaiser	kaiser@alux-luxar.de	www.alux-luxar.de
Khatod	Lorenzo Vasta	l.vasta@khatod.com	www.khatod.com
Siekmann	Jorg von Pruski	vPruski@siekmann-reflektoren-gmbh.de	www.siekmann-reflektoren-gmbh.de



Infusion Drivers Complementary Partners

- Modules are constant current rated at 700mA (M1000/M1500) and 1.4A (M2000/M3000)
- GE is working with partner companies, listed below
- Approved list of drivers includes options for DALI, DMX, 0-10V, phase dimming and active cooling auxiliary outputs



Infusion Thermal Management Complementary Partners

 EU contact: Phoebe Wang Phoebe.wang@sunon.fr Heatsinks & Fans	 EU contact: Francois Jaegle fjaegle@nuventix.com Heatsinks & Synthetic Jets
 Global Contact: Jeff Huang jeff.huang@avcon.com.cn Heatsinks & Fans	 Global Contact: Clayton Alexander clay@journeelighting.com VersaCool Heatsinks



Infusion Toolkit

Comprehensive support for users and designers

- Photometric files (IES and LDT)
- 3D CAD files (IGS, STP etc)
- Application guide with support for luminaire designers and users of Infusion
- Sales presentation
- Latest approved driver list
- Generic driver specifications (for OEMs wishing to source/develop own)
- Details of some commercially available cooling solutions
- Ray files for optic designers
- Additional technical guidance for OEMs from GE engineers





www.gelighting.com/eu/led



Authors' addresses

Andy Davies

Senior Product Manager, LED Lamps &
Systems EMEA
GE Lighting

The Houghton Centre
Salhouse Road, Brackmills, Northampton
NN4 7EX
UK
GE Lighting Services Ltd
T: +44 7787 562576
E: andrew.davies2@ge.com
www.gelighting.com/eu/led

Mihael Garibaldi

Sales Manager, Slovenija, Croatia, BIH
GE Lighting

Tacenska 114a
1000 Ljubljana
Slovenija

T: +386 1 5304366
E: mihaelg@lighting.si

Paolo Di Lecce

REAL CASE HISTORIES AND EXPERIENCES IN STREET LIGHTING TELECONTROL, REGULATION AND ENERGY SAVINGS



STREET LIGHTING CONTROL AND DIMMING: TECHNOLOGIES, EXPERIENCES

The Italian Experience



Razsvetljava 2011
October 6th and 7th, 2011
Nova Gorica

Paolo Di Lecce
Electrical Engineer
Managing Director Reverberi Enetec srl
Member of AIDI (Italian Association of Lighting) Board and Executive Committee

30.9.2011



REVERBERI ENETEC OPERATES EXCLUSIVELY IN LIGHTING CONTROL and PHOTOVOLTAICS

- ▶ Elettronica Reverberi founded in 1982
 - Italian, almost 30 year experience in Lighting Controls, 20000 machines produced
- ▶ Intelux founded in 1975
 - Swiss, active since 35 years, high technological competence, 50000 units produced.

2000: Elettronica Reverberi and Intelux bought by Merloni Progetti, part of Merloni Group – Indesit Company

2003: Management Buy Out of Elettronica Reverberi

Average yearly growth rate in the last 6 years: 13%.

6% of turnover in R&D

Some References (only some of those with more than 10000 lamps controlled)

Highway Italian company: 400 tunnels and remote control software

600 machines (approx 100000 lamps) remotely controlled for Israel Road Authority

And many more Brescia, Reggio, Brno, Cannes, Bergamo, Rome, Dubai



Some Slovenia projects

Tunnel Karavanke : Dimming during daytime. N.15 Intelux 3.7 KVA

Gorje Municipality : dimming complete system. Some streets with Power Controllers, others with Point-to-Point, all controlled Maestro.

RAZCEP DRAGUČOVA cross. 2x Intelux SEC NG11 QIR16A



Sassari Municipality: 1999!

- ▶ 45 power controllers were installed and 21 switchboard were remote monitored
- ▶ Plant power: 616 KW
- ▶ Energy yearly cost: about 300.000 EUR/year
- ▶ At the end of 2000 30% of energy saving was achieved, that is about 100.000 EUR/year
- ▶ **GREENLIGHT U.E. program: SASSARI was the published project for Italy. Article on "Le Monde"**

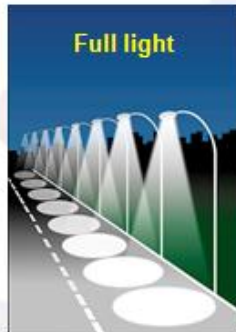


Sassari Experience

- ▶ 2 control centers installed by the Companies who manage the maintenance
- ▶ Radio Modem remote control. Alarms:
 - No voltage incoming
 - Circuit breaker tripping for each outgoing line
 - Door opening check
 - SMS to available personnel indicating type and location of alarm
- ▶ **RESULTS:** average intervention time reduced from 24h to 60 minutes; reduction of maintenance costs by 20%



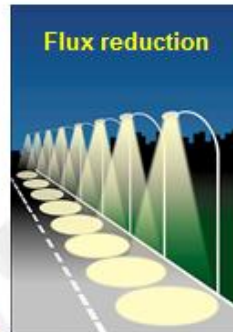
Light when needed



Full light



Alternating
switch off



Flux reduction

- Switch off was used since the '70s, not allowed now



Lighting Standards

UNI11248 – CEN 13201

- When traffic flow is less than 50% of peak value, category can be reduced by 1 → 25% dimming
- When traffic flow less than 25% of peak value, index can be reduced by 2 → 50% dimming
- Uniformity must be maintained

CIE Technical Report 115:2009

- Applies time dependent variables such as traffic flow in the selection of adaptive lighting levels.
- CEN JWG revision of CEN 13201:2003



Light Pollution Regional Laws

LR 38/2004 Italian Regional Law

“Lighting installations must be provided with devices capable of reducing energy consumption by a minimum of 30% after 23.00 in winter and after 24.00 in summer”

- Dimming is the most effective solution to minimise light pollution since most of dispersed light is reflected from road surfaces (assuming that luminaires are directed to the ground!)



Tunnel lighting standards CIE 88



- Entrance area luminance has to be controlled according to Veil or L20 luminance outside.
- The best solution is to dim Entrance luminance
- The system could be made by 2 sensors and a control unit
- We have supplied several hundreds of tunnels controlling both HID lamps and LED
- We supplied the first control systems for LED in entrance area one year ago and the first permanent control for LED 4 years ago: technology is moving forward quickly!



What is possible for Street and Tunnel Lighting?

- Reduction of energy consumption up to 35%
- CO2 emission reduction
- Lighting pollution reduction
- Extension of lamp and accessories life is another benefit: why? →



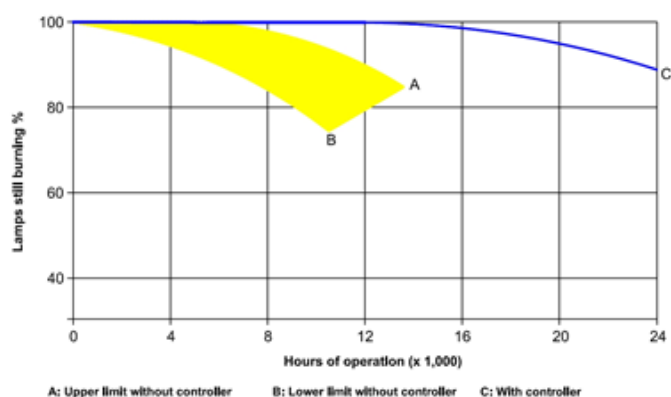
Lamp Mortality Study

*Municipality of Modena – Paper to AIDI
Conference 1990*

- Study of the effects of mains supply variation on lamp mortality
- Large discrepancy found between data quoted by lamp manufacturers and actual data from the field
- Main reason was found to be upward variations in supply voltage
- Major reductions in mortality rates were achieved using voltage stabilisers, but the same concept applies to Electronic Ballasts as well



Extension of Lamp Life



Ballasts



Electronic Dimmable Ballast (EB)

Fully controlled by LPC (Power Line Carrier Communication), or by RF (Zigbee), even though an external antenna and a special luminaire is required

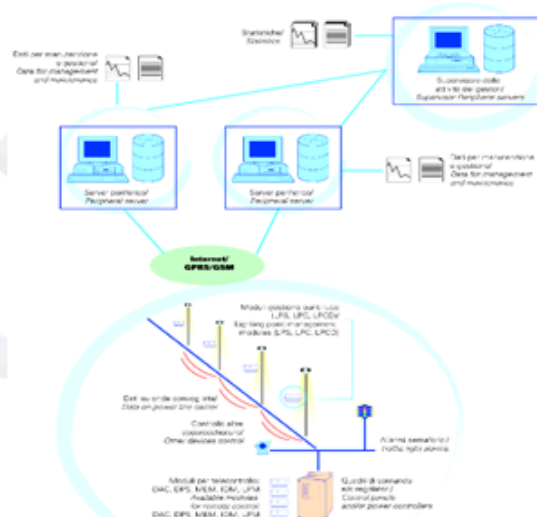


Bi-Power Ballast

Fully controlled by LPC or RF via volt-free contacts
Maximum power reduction is 35% for HPS



Ballasts need control & communication



Lighting Point Control

- Individual lamp control and monitoring
- Power Line Carrier or RF
- Communication speed is slow but sufficient
- No supplementary cables require
- Max direct distance 1km compared to 100m of RF communication



Ballast Monitoring & Control



Lighting Point Sentinel (LPS)

Installed close to the lamp for monitoring voltage, current, active power, working time & lamp on/off

Lighting Point Controller (LPC)

Same functionality as LPS but with on/off control and dimming of electronic ballast
Suitable for scene setting



LPM

The control unit, installed in the Feeder Pillar/Control Panel, that communicates with each LPS/LPC in PLC mode and with GSM/GPRS with Maestro Software



LED Control



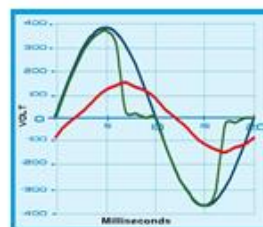
Lighting point controller LPL for LED luminaires

- > LPL can control LED luminaires. It has same functions like LPS module, plus a PWM or 0-10 Vdc output, to control light level
- > IP00 (to be installed inside the luminaire) or IP65
- > Optocoupled output option
- > Can be co-designed with luminaire manufactures



Power Controllers: The Technology

- Voltage stabilizer and dimmer
- Efficiency: 98%
- No maintenance cost
- Voltage stabilization to lamps $\pm 1\%$
- Three phase independent control
- Booster control or AWI





Bergamo Province



Inter Urban Axis Road

- Installation began in 2004
- 1,767 Lighting Points 250W/400W
- 17 Power Control Panels c/w Remote Monitoring
- 60 Power Line Carrier Lighting Point Sentinel Modules
- Later expanded to 50 Power Controllers and 2000 lamps individually monitored



Bergamo Province Operating Costs

PLANT	Consumption Before KWh	Consumption Actual kWh	Saving €	Saving %
A.I. Svincolo da Ex S.S. 470 Curno	76.923	48.5	5.476,57	38.70%
A.I. Svincolo di Curno verso commerciale	70.906	43.883	4.955,22	38.20%
A.I. Svincolo Treviolo / Curno Via Briantea	63.822	40.588	4.583,19	38.90%
A.I. Svincolo Rotatoria Treviolo / Curno	67.564	42.903	4.844,58	38.80%
A.I. Via San Bernardino	43.947	26.645	3.008,72	37.70%
.....				
Calciana - Rotatoria D	13.691	11.242	1.269,40	45.10%
Calciana - Rotatoria B	13.487	9.831	1.110,15	42.20%
Calciana - Rotatoria A	14.643	10.539	1.190,11	41.90%
Ex SS 498 - Rotatoria Covo	14.463	7.088	800,41	32.90%
Ex S.S. 470 dir - Rotatoria Dalmine	13.383	8.759	989,11	39.60%
S.P. 157 / S.P. 168 Mapello	7.401	3.423	386,56	31.60%
Ex S.S. 671 / S.P. 46 Ponte Nossa	7.572	2.976	336,05	28.20%
Totals for 2006	2,364,627	1,271,605	€ 145,589.60	35.00%



Bergamo Province Maintenance Savings

	2003	2004	2005	2006
Lamp 150 / 250W S.H.P.	574	634	94	90
Ballast Replacement	238	182	35	12
Ignitor Replacement	200	108	19	10
Capacitor Replacement	66	25	6	0
Interventions	37	19	4	1

Energy Saving + Maintenance Intervention Reduction

- Major reduction in the number of interventions
- Original target of 30% cost savings exceeded
- Light pollution reduction in accordance with Lombardy Law 17/2000

Reggio Emilia Energy Saving Project

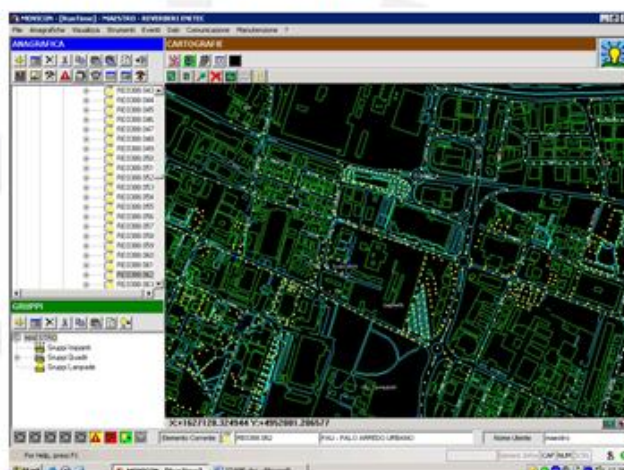


Reggio Emilia: veduta di Piazza San Prospero e Abside del Duomo

Reggio Emilia Energy Saving Project

- €14M Tender for Energy Saving & Maintenance Management of Public Lighting, Traffic Lights and Energy Services 2006 – 2014 awarded to GESTA s.p.a.
- Information:
 - Total number of luminaires - 29,585
 - 750 public lighting supply points
 - Total active load – 6.660 kW
- Action Plan:
 - Use of voltage regulators on loads > 10kW
 - Use of centralised auto-management system for real time failure detection and maintenance management
 - Generation of on-map geo-referenced data for lanterns and distribution equipment
 - Replacement of obsolete mercury lanterns
 - Upgrade of traffic lights to LED type

Reggio Emilia Energy Saving Project





Reggio Emilia Energy Saving Project

The screenshot displays the ANAGRAMA software interface, which is used for managing energy consumption data. The main window shows a table titled 'Consumi Energetici' (Energy Consumption) for the period 2009/10/01 to 2009/10/31. The table is organized into four sections, each representing a different location: Via Piacenza 12A, Corso di Garibaldi 1A, Via Piacenza 12A, and Via Piacenza 12A. Each section contains a table with columns for 'Consumi' (Consumption), 'Costo' (Cost), 'Rendimento' (Efficiency), 'Costo Totale' (Total Cost), 'Rendimento Totale' (Total Efficiency), 'Costo Medio' (Average Cost), 'Rendimento Medio' (Average Efficiency), 'Costo Medio Totale' (Average Total Cost), and 'Rendimento Medio Totale' (Average Total Efficiency). The data is presented in a structured format, allowing for easy comparison and analysis of energy consumption across different locations and time periods.

- Savings range from 15% - 35% depending on conditions. Average savings 28%
- Return on investment : 3 years

The Via Emilia, built for the Roman Army is still in the news for conquests of a different kind for its citizens!

LIGHT DIMMING IN 13 ITALIAN MUNICIPALITIES: RESULTS OF 9 YEARS OF EXPERIENCE AND REMOTE CONTROL BENEFITS



Reverberi Experience

- ▶ From 1999 to 2003 Reverberi Enetec signed 20 Energy Performance Contracts: supply, installation and maintenance of Power Controllers. Payment is done in several years according to actual energy saving
- ▶ 350 Power Controllers have been installed and monitored, from the North to the South of Italy



Some Contracts and Results

Municipality	Contract date	Years	Actual energy saving %
Arzachena	Feb 2003	5	35,0
Berchidda	May 2002	6	30,3
Casarano	Nov 2001	5	27,5
Cascina	Jun 2002	6,5	31,5
Corato	May 2003	8	28,9
Erchie	Apr 2001	7,7	30,2
Francavilla	Oct 2002	7,5	31,0
Latiano	Mar 2003	6,5	29,9
Nuraminis	Oct 2002	7	28,3
Oristano	Dec 2002	6,5	33,3
Sestri Levante	Dec 2002	7	28,6
Stilo	Dec 1999	6	30,2
Tempio Pausania	Dec 2001	6	25,3

Average Savings	30.0 %
-----------------	--------



Contract Management

Municipality	Contract date	Years	Actual energy saving %
Arzachena	Feb 2003	5	35,0
Berchidda	May 2002	6	30,3
Casarano	Nov 2001	5	27,5
Cascina	Jun 2002	6,5	31,5
Corato	May 2003	8	28,9
Erchie	Apr 2001	7,7	30,2
Francavilla	Oct 2002	7,5	31,0
Latiano	Mar 2003	6,5	29,9
Nuraminis	Oct 2002	7	28,3
Oristano	Dec 2002	6,5	33,3
Sestri Levante	Dec 2002	7	28,6
Stilo	Dec 1999	6	30,2
Tempio Pausania	Dec 2001	6	25,3

Average Savings	30.0 %
-----------------	--------



Why the different results?

1. Type of lamp, SHP vs MV
2. Supply voltage
3. Astro clock presence
4. Condition of installation (earth leakage, voltage drop)
5. Constant monitoring and rapidity of reaction, therefore remote control



Control Center: power factor, neutral displ.





Control Center



**REMOTE CONTROL ALLOWS UNDERSTANDING
OF REAL HUMAN BEHAVIOUR !**



Market Overview

- ▶ Many ESCO projects: private companies invest on energy saving to have long term maintenance contracts
- ▶ Benefits for Municipalities: renovation without investment
- ▶ Critical point: definition of the project; banks
- ▶ Obligation to use Dimming equipment in new installations: stable and consolidated market
- ▶ Obligation to use dimming in Tunnels
- ▶ All customers concerned since 10 years: Cities, towns, highways, railways, etc.

Author's address

Paolo Di Lecce

Electrical Engineer

Managing Director Reverberi Enetec srl

Member of AIDI (Italian Association of Lighting) Board and Executive Committee

Zdravko Krajačič

LEP – LIGHT EMITTED PLASMA



History of Solid State Plasma Lighting

1890s Nikola Tesla demonstrates electrode-less coupling of power to lamps



1990s Fusion Lighting and DOE develop a High Intensity sulphur lamp



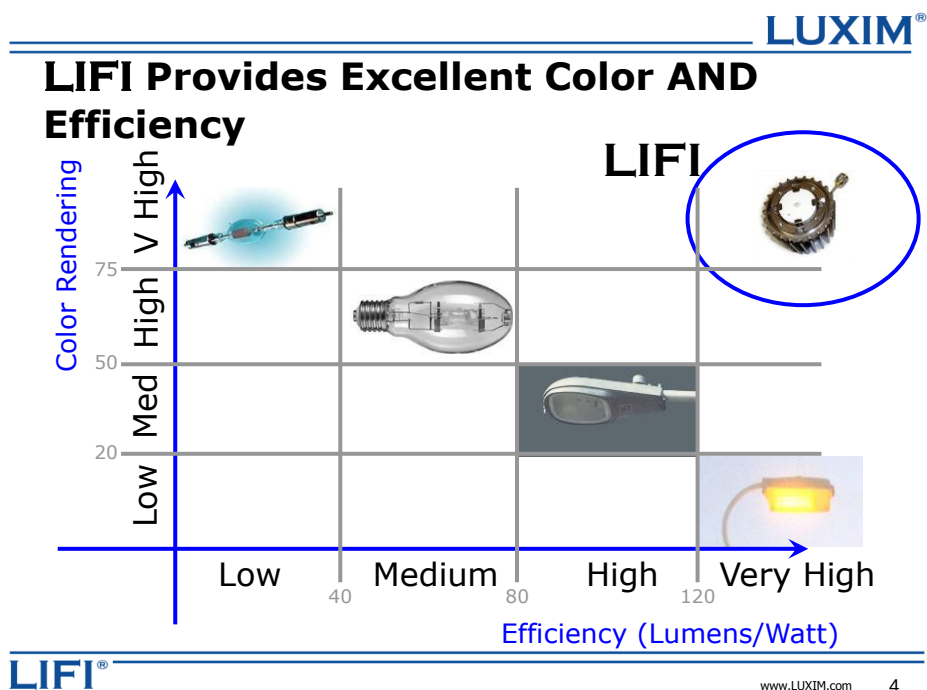
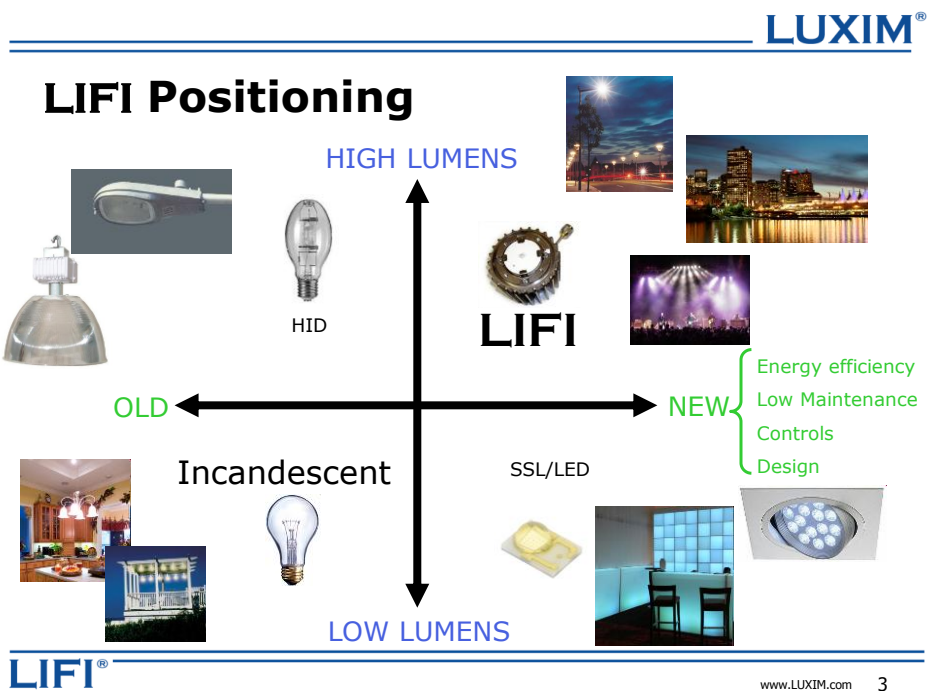
2000s LUXIM Corporation develops a compact Solid State High Intensity light source



2008 Next stage of adoption

LIFI

www.LUXIM.com



LUXIM®

Light Output Comparison

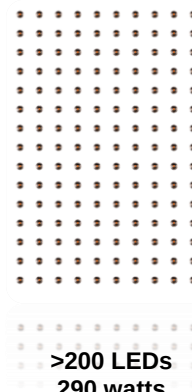
20,000 fixture lumens



1 LEP
275 watts



1 HID
460 watts



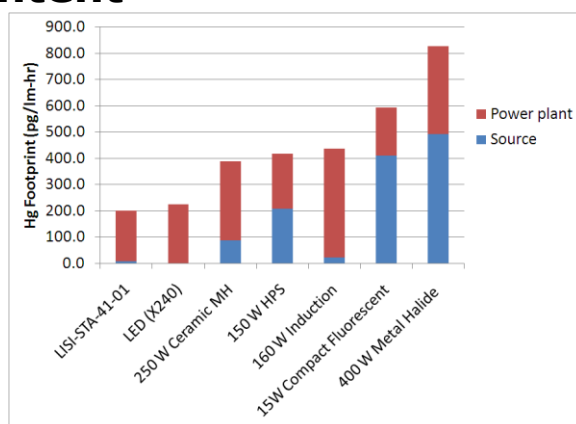
>200 LEDs
290 watts

LIFI®

www.LUXIM.com

LUXIM®

Environmental Footprint: Hg Content



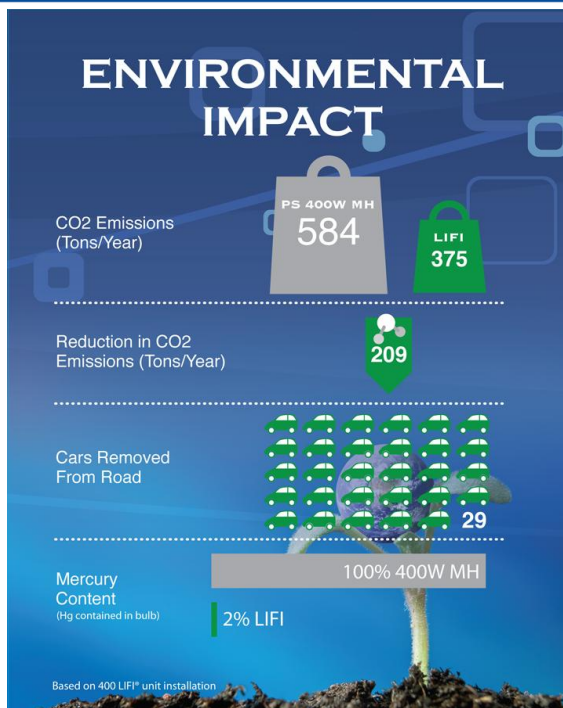
Notes:

1. Power plant footprint calculation uses factor of 0.012mg Hg emitted/kWh, 2. pg denotes picograms

LIFI®

www.LUXIM.com

LUXIM®



LIFI®

www.LUXIM.com

LUXIM®

Legislation

EU implementation provision "Tertiary Lighting" - overview				
	Step 1 from 13.4.2010	Step 2 from 13.4.2012	Step 3 from 13.4.2015	Step 4 from 13.4.2017
Luminaire	Luminaires for fluorescent lamps Energy class (per ballast) From 13.10.2010, Manufacturer's information (Internet, technical publications): - Efficiency of ballast - Information to applicable lamps - Lamp efficiency (with luminaire with lamp) - Maintenance instructions - Disposal specifications	Luminaires for fluorescent lamps Energy class (per ballast) - Luminaires must be compatible with step 3 ballast (exception: PS 400) Luminaires for high pressure discharge lamps - Energy consumption must not exceed that of the ballasts (power consumption, sensors etc. are not considered) Manufacturer's information (Internet, technical publications): - Efficiency of ballast - Information to applicable lamps - Lamp efficiency (with luminaire with lamp) - Maintenance instructions - Disposal specifications - Specification concerning suitability for transparent or coated lamps		Luminaires for fluorescent lamps and high pressure discharge lamps Only ballasts of 3rd step are permissible
Ballast	Ballasts for fluorescent lamps - Designation with energy class (E1) - At least E1-E2 (Dim-E2-E4) - Energy class (E1-E2) - Ballast for newly developed lamps: at least E2-E3	Ballasts for fluorescent lamps - Energy class (E1-E2) Ballasts for high pressure discharge lamps - Energy efficiency (independent upon lamp voltage) - Energy efficiency designation		Ballasts for fluorescent lamps Classification: E25 (Efficiency class) instead of E1. Ballasts for high pressure discharge lamps Classification: A2, A1 and E2 Permissible A2, A1 and E2 (Dim-E2-E4, A1, A2, A3) Ballasts for high pressure discharge lamps Increase of energy efficiency (independent upon lamp voltage)
Lamp	Fluorescent lamps - Banning of T5 T8 with solar radiation Ra < 80 - Banning of standard T5 lamps (phosphor lamp, e.g. light colour 820, 830, 840, 850, 860) - Banning of some 2-pin compact fluorescent lamps for operation with magnetic ballasts Fluorescent lamps and high pressure discharge lamps Technical information available on the Internet as well as other suitable forms: - Lamp rating - Lamp luminous flux - Lamp light output ratio - Lamp maintenance factor - Lamp service life factor at 2300h, 4000h, 6000h, 8000h, 10000h and 20000h - Mercury content - Colour rendering index Ra - Colour temperature of lamp - Optimal ambient temperature for lamp operation	Fluorescent lamps Banning of T5 and T8 lamps (except special lamps) High pressure discharge lamps Banning of inefficient H2 and H4 lamps (S27, S40 and PS212) Banning of all H5 standard lamps Banning of H2 replacement lamp (so-called plug-in or retrofit lamp for H4 lamps, high pressure mercury vapour lamp)	High pressure discharge lamps Banning of all lamps with high pressure mercury vapour lamp	High pressure discharge lamps Banning of all lamps with high pressure mercury vapour lamp

LIFI®

www.LUXIM.com

LUXIM®

Roadway Value Calculation

	HPS 400W	LIFI-STA-41 Full Power
Avg Power - Watts	465	266
Daily Usage - Hours	12	12
Total KW-Hr	2037	1165
Tons of CO ₂ /Year	1.53	0.87
\$/kW-hr	0.13	0.13
Yearly Electricity Cost - \$	265	151
Replacement Cycle - Hrs	18000	50000
Lamp Replacement Cost - \$	150	200
Yearly Replacement Cost - \$	37	18
Total Cost - \$	301	169
Annual \$ Savings	0	132
Annual CO ₂ Savings - Tons	0.00	0.65
Annual CO ₂ Savings - Tons	0.00	0.65
Annual \$ Savings	0	132
Total Cost - \$	301	169

LIFI®

www.LUXIM.com

Payback

Parameter	Unit	Metal Halide	LIFI-STA-41	Savings
Operating Costs				
Avg Power - Watts	Watts	460	275	185
Energy Cost	\$/Yr	261	156	105
Maintenance Cost	\$/Yr	44	15	29
Operating Cost	\$/Yr	305	171	134
Capital Costs and Payback				
Fixture Cost	\$	400	800	
Installation Cost	\$	100	100	
Utility Rebate	\$	0	75	
Incremental Cost/Pole		0	325	-325
Payback	Yrs	-		2.4
Carbon Dioxide Emissions	Tons/Yr	1.57	0.94	0.63
Assumptions				
Replacement Parts	\$	50	100	
Replacement Labor	\$	70	70	
Replacement Cycle	Hrs	12000	50000	
Annual Usage	Hrs	4368	4368	
Energy Rate	\$/kWhr	0.13	0.13	
Utility Rebate	\$/Peak kW	100	100	
Utility Rebate	\$/kWhrs/Yr	0.07	0.07	
Carbon Intensity	lbs/kWhr	1.565	1.565	
Installation Summary				
	Unit	HPS	LIFI-STA-41	Benefit
Number of Poles	#	400	400	0
Capital Cost	\$	0	129,974	-129,974
Operating Cost/Year	\$/Yr	121,955	68,403	53,552
Payback Period	Yrs	-	-	2.4
Carbon Dioxide Emissions	Tons/Yr	629	376	253
Average Luminance	Ft-Cd	2.1	3.3	57%
Color Quality	CRI	25	75	200%

LIFI®

LUXIM®

Project case – replacement with and without dimming

	HPS 400W	HPS 1000W	Total Existing	LIFI-STA-41 Full Power	LIFI-STA-41-01 Hi/Lo	TSHO Full Power	TSHO Hi/Lo
Avg Power - Watts	460	1149		275	193	324	227
Daily Usage - Hours	11	11		11	11	11	11
Total KW-Hr	5060	12639	1053269	787	551	927	649
\$/KW-hr	0.13	0.13		0.13	0.13	0.13	0.13
Yearly Electricity Cost - \$	658	1637		102	72	120	84
Replacement Cycle - Hrs	18000	18000		50000	50000	20000	20000
Lamp Replacement Cost - \$	120	120		170	170	220	220
Yearly Replacement Cost - \$	27	27		14	14	44	44
Operating Cost per Fixture - \$	198	454		116	85	165	128
Number of Fixtures	356	178		445	445	534	534
Total operating Cost - \$	70384	80824	151218	51574	37924	87911	68613
Annual \$ Savings	0	0		99,645	113,294	63,307	82,605
Cost per Fixture - \$	0	0		600	600	440	440
Utility Rebate - \$	0	0		96	96	71	71
Total Installation Cost - \$	0	0	0	224244	224244	197259	197259
Payback - years	-	-		2.25	1.98	3.12	2.39

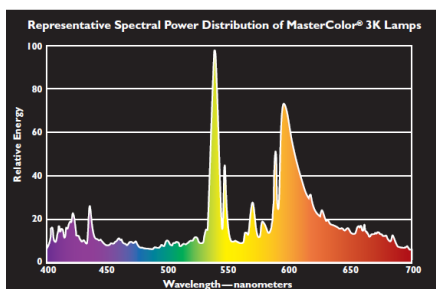
LIFI®

www.LUXIM.com

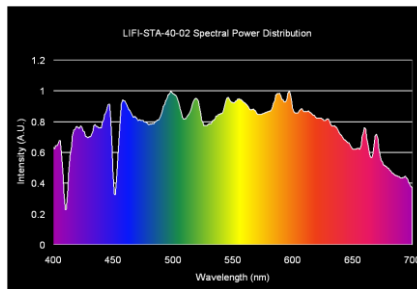
LUXIM®

LIFI Intrinsic Advantage: Spectrum

CMH



LIFI

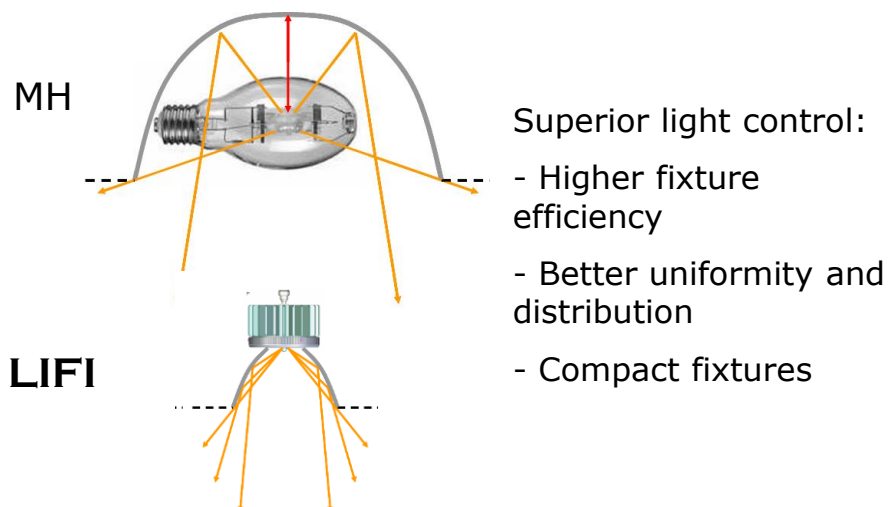


- Application specific full color spectrums tailored:
 - Outdoor Street and Area (5000-6000)
 - Specialty (Instrumentation and Display) (6500-9000K)
 - Indoor and Retail (3200K)

LIFI®

www.LUXIM.com

LIFI Intrinsic Advantage: Directional



LIFI Intrinsic Advantage: Electrode Free



A. Dimming/Reduced Power Operation

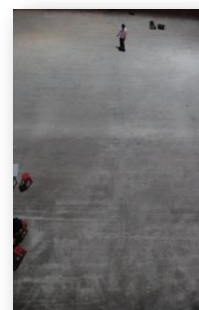
- No arc flicker electrode tips
- No tungsten sputter (wall darkening)
- Dimming extends life of LIFI source & electronics

B. Eliminate Mechanical Failures

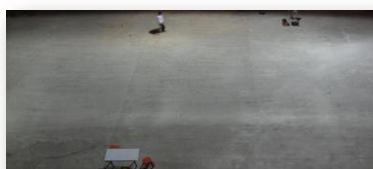
- No glass to metal seal
- No reaction of fill to tungsten electrodes

C. Rapid Start and Re-Strike

Application Images



Across the road

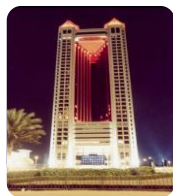




LiFi[®] STA 41: Sample Applications (400-1000W)



Indirect



Architecture



Parking



Tunnel



Signage



Industrial



Aquarium

Author's address

Zdravko Krajacic, MBA

Mobile: +385 91 168 0 583, +32 489 53 85 95

Office: +32 2 80 81 651

email: zkrajacic@lumenworks.com

Avenue Louise 339/341,

1000 Brussel, Belgium

www.lumenworks.com

Matej Bučinel, Matej Kobav, Grega Bizjak, Nina Kacjan Marsić, Dominik Vodnik

LED RAZSVETLJAVA ZA GOJENJE RASTLIN

Abstract

This article shows the development of the prototype luminaire (light) with LEDs intended for growing plants. The development was based on the analysis of the characteristics of the luminaire with 400 W high pressure sodium lamp (HPS). Based on (gathered) made measurements and calculations, we chose three of the most suitable types of LEDs and constructed the luminaire. This luminaire with LEDs could be a good alternative for the luminaries with HPS lamps used for green houses, because they use less electrical energy and the quality of light is better. We got some interesting results which indicate that LEDs will soon prove to be a better alternative as HPS lamps even in the field of plant-growing lights.

Povzetek

Vsebina članka podaja opis razvoja in izdelave LED svetilke za gojenje rastlin. Razvoj svetilke je temeljil na analizi in meritvah karakteristik 400 W visokotlačne natrijeve sijalke, ki je trenutno najbolj uporabljen vir svetlobe za dosvetljevanje v rastlinjakih. Glede na meritve in izračune potrebne svetlobe smo izbrali najbolj ustrezne LED diode ter skonstruirali LED svetilko. Le-ta naj bi bila ustrezna alternativa (primerna zamenjava) visokotlačnim natrijevim sijalkam za gojenje rastlin, vendar naj bi imela kvalitetnejšo svetlobo in manjšo porabo električne energije. Dobili smo zanimive rezultate, ki kažejo na to, da bodo tudi na tem področju razsvetljave LED diode hitro izpodrinile ostale svetlobne vire.

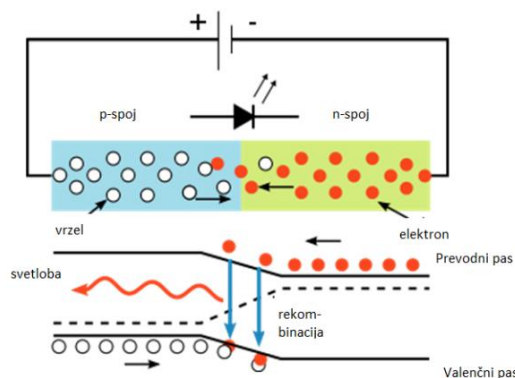
1. Uvod

Zaradi podnebnih sprememb, ki vedno pogosteje povzročajo naravne katastrofe naprimer poplave, suše, nevihte s točo in s tem nastanek velikih škod na kmetijskih površinah, se ljudje vedno pogosteje zatekamo k obdelovanju in pridelovanju hrane pod pokritimi površinami. Ker pa pride v teh zavarovanih prostorih do zmanjšanja (ponekod tudi do popolne odsotnosti) sončne svetlobe in s tem do pomanjkanja svetlobe za normalno rast in razvoj rastlin, je nujno potrebno dosvetljevanje.

Trenutno se za dosvetljevanje največ uporablja visokotlačne natrijeve (v nadaljevanju VT Na) sijalke, vendar se s hitrim napredkom tehnologije vedno bolj uveljavljajo viri na principu visokosvetilnih LED diod. LED tehnologija se je izkazala za zelo primerno, ki z majhno porabo električne energije in veliko učinkovitostjo doseže dobre rezultate.

2. Primerjava tehnologij

LED diode so polprevodniški elementi, ki pri prevajanju toka skozi zaporno plast oddajajo svetlobo. Svetloba nastane, ko elektron preide iz prevodnega pasu v valenčni pas. Pri določenih prevodnikih se pri tem sprosti toplota (Si), pri drugih pa svetloba (GaAs, GaP,..) (Slika 1). LED diode torej delujejo na principu elektroluminescence, ki jo povzroči tok nabitih delcev skozi polprevodnik. Kinetična energija nabitih delcev se porabi za vzbujanje atomov oziroma molekul v snovi v višja energijska stanja, pri prehodu nazaj v prvotno stanje pa ti delci oddajo foton svetlobe. Danes so na tržišču monokromatske LED diode in LED diode z belo svetlobo. Čeprav so za razsvetljavo zanimive predvsem slednje, pa so za razsvetljavo za gojenje rastlin monokromatske LED diode boljše izbira.

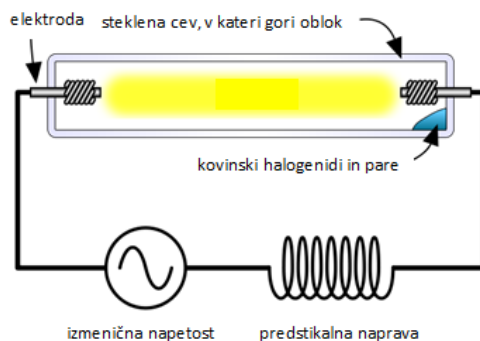


Slika 1. Prikaz delovanja LED diode.

Lastnosti monokromatskih LED diod:

- monokromatska svetloba,
- življenjska doba do 100.000 ur,
- električna moč med 0,12 W in 15 W,
- majhne in varne vzbujalne napetosti 2-4 V.

VT Na sijalke delujejo na principu razelektritve v plinu. Elektroni se pri prehodu skozenj zaletavajo v atome plina in pri tem izbijajo druge elektrone na višje oble. Ko se ti elektroni vrnejo nazaj na svojo orbito, oddajo odvečno energijo v obliki fotona svetlobe (Slika 2).



Slika 2. Diagram VT Na sijalke.

Lastnosti:

- črtni spekter svetlobe,
- izkoristki 95-150 lm/W,
- življenjska doba do 24.000 ur,
- moči do 1000 W,
- indeks barvnega videza (Ra) 20-65 %.

3. Prednosti in slabosti LED diod v primerjavi z VT Na sijalkami

Barva: monokromatske LED diode lahko sevajo skoraj poljubno barvo svetlobe in to brez uporabe barvnih filtrov. Barva svetlobe je določena z energijo vrzeli polprevodnika, ki je odvisna od uporabljenega materiala polprevodnika. Pri VT Na sijalki je barva svetlobe izrazito rumena, spekter pa je odvisen od mešanice plina v gorilniku. Z določenimi dodatki je sicer možno nekoliko povečati modri in rdeči del spektra, vendar še vedno prevladuje rumeni del s karakterističnima natrijevama spektralnima črtama.

Življenjska doba: Življenjska doba monokromatskih LED diod je do nekje 100.000 ur. V tem času izsevana moč pade na 90 % začetne vrednosti. Degradacijo pn spoja v LED diodi in s tem skrajšanje življenjske dobe povzročata predvsem prevelik tok in posledično previsoka temperatura. Največkrat se zaradi degradacije pn spoja postopno niža izsevana moč in s tem izkoristek, redkeje pa pride do nenadne odpovedi. Življenjska doba VT Na sijalke je danes okoli 24.000 ur. V tem času lahko pričakujemo zmanjšanje svetlobnega toka na okoli 70 % nazivne vrednosti ali celo odpoved sijalke.

Priključna električna moč: LED diode imajo majhna priključno električno moč. Delovna napetost LED diod je med 1.7 V in 5.5 V, obratujejo pa pri toku med 1 mA pa vse do nekaj A. Z zaporedno in/ali vzporedno vezavo več LED diod je možno sestaviti svetilko s praktično poljubno električno močjo. Pri VT Na sijalkah pa smo glede priključne električne moči omejeni na standardne moči v ponudbi proizvajalcev.

Varnost: Ker je napetost na LED diodi majhna, je zelo zmanjšana možnost poškodb pri morebitnem napačnem rokovanju. Poleg tega LED diode ne vsebujejo nevarnih snovi, kot je na primer živo srebro, ki ga najdemo v VT Na sijalkah.

Usmerjenost in jakost svetlobe: LED diode imajo običajno majhen zorni kot svetlobe in zato razmeroma veliko svetilnost v vzdolžni osi. Zaradi tega je mogoče svetilko z ustrezno kotno porazdelitvijo svetilnosti skonstruirati z ustreznim usmerjanjem posameznih LED diod. Na drugi strani imajo VT Na sijalke zelo neusmerjeno porazdelitev svetilnosti in je potrebno v svetilki uporabiti ustrezno oblikovan reflektor.

Svetlobni spekter: Razen belih LED z širokim barvnim spektrom imajo LED diode monokromatski spekter. V primeru uporabe za gojenje rastlin je tak svetlobni spekter LED diod prednost, saj za gojenje rastlin ne potrebujemo svetlobe v celotnem vidnem spektru tako kot za delovanje človeškega vida. Spekter VT Na sijalk zajema celotno področje vidne svetlobe in sega tudi v UV in IR področje.

Temperaturna odvisnost: Delovanje LED diod je zelo odvisno od temperature okolice. Pri višanju temperature se viša tok skozi pn spoj, kar povzroči še dodatno segrevanje diode in s tem ponovno naraščanje toka. To pa vodi v temperaturno nestabilnost, zmanjševanje izsevane moči in skrajšanje življenjske dobe. Zato je za ustrezno delovanje visokosvetilnih LED diod nujno potrebno uporabiti hladilno telo, da vzdržuje temperaturo pn spoja čim bližje temperaturi okolice.

Pri VT Na sijalkah posebna hladilna telesa za vzdrževanje delavne temperature v normalnih pogojih niso potrebna.

Tokovno napetostna karakteristika: LED diode morajo biti napajane z napetostjo večjo od kolenske (pragovne) napetosti in s tokom, ki je manjši od maksimalne dovoljene vrednosti. Ker je tok eksponentno odvisen od napetosti že majhna sprememba napetosti lahko povzroči veliko spremembo toka, zato je nujna uporaba tokovno stabiliziranih predstikalnih naprav. Pri VT Na sijalki za omejitev toka lahko uporabimo navadno dušilko.

Polariteta: Da LED diode svetijo je potreben električni tok preko pn spoja, iz p plasti proti n plasti. Če jo napajamo v nasprotni smeri in je priključena napetost majhna (majhni so tudi tokovi), deluje dioda kot omejevalnik napetosti. Če pa priključena napetost naraste preko zaporne napetosti, naraste tudi tok in povzroči uničenje diode. LED diode zato napajamo z enosmernim virom napetosti oziroma toka. Pri VT Na sijalkah smer toka skozi sijalko ni pomembna in lahko uporabimo napetost omrežne frekvence.

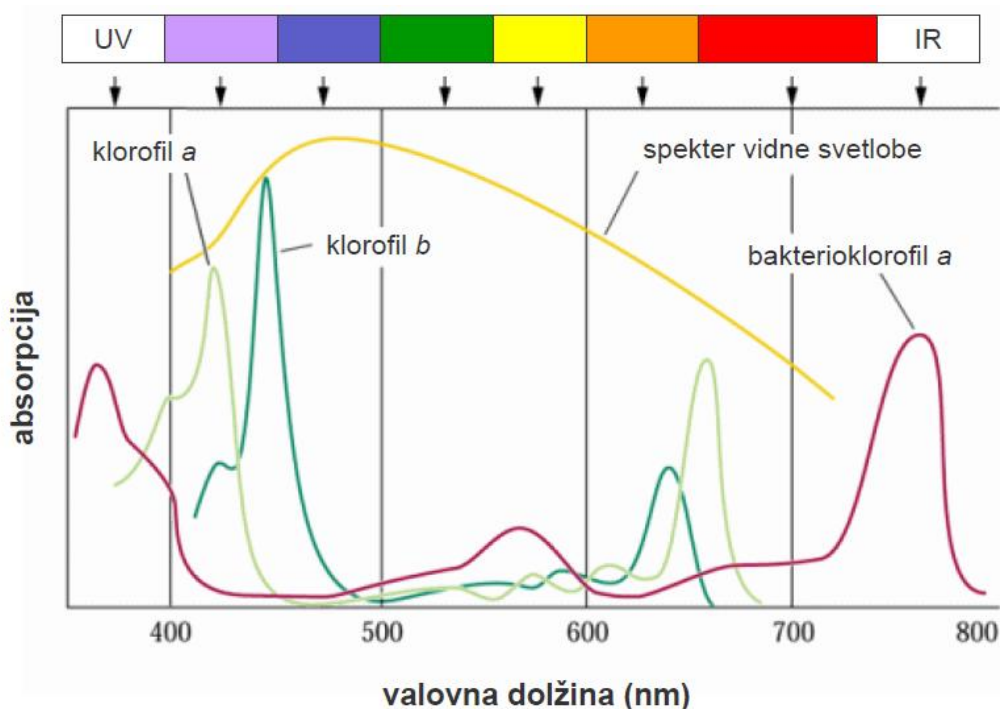
4. Pomen svetlobe za rastline

Svetloba je zelo pomembna za rastline, saj je njihov glavni vir energije. Potrebna je za uravnavanje rasti in razvoja ter v primeru preveč ali premalo svetlobe deluje kot stresni dejavnik. Svetloba vpliva na sintezo klorofila, stimulira razvoj listov, inhibira rast stebela v višino in stimulira razvoj koreninskega sistema. Učinki svetlobe na rastline so odvisni od spektralne sestave ter jakosti in trajanja sevanja.

Fotosintetsko aktivna svetloba PhAR (photosynthetic active radiation) praktično zajema področje celotne vidne svetlobe (od nekje 400 in do 700 nm valovne dolžine), vendar vse valovne dolžine ne vplivajo enako na fotosintezo v rastlinah. Kot lahko vidimo na Sliki 3 sta za fotosintezo predvsem pomembna modri del spektra med 400 nm in 450 nm in rdeči del spektra pri 650 nm valovne dolžine. Absorpcija svetlobe poteka s pomočjo pigmentov, ki se nahajajo v klorofilu (listno barvilo). Poznamo več vrst rastlinskih pigmentov:

- klorofil a je potreben za absorpcijo svetlobe v modrem ter rdečem delu spektra in pretvorbo energije fotonov v energijo elektronov;
- klorofil b pomaga pri absorpciji v modrem in rdečem delu spektra;
- karotenoidi so v pomoč pri absorpciji svetlobe v modrem delu spektra in adaptaciji kloroplasta na svetlobno okolje.

Jakost sevanja v navedenih področjih (modrem in rdečem) vpliva na rast in razvoj rastlin. Zadostna količina svetlobe ustreznih valovnih dolžin pomeni zdrave in neizdolžene rastline z dobro razvitim koreninskim sistemom. Potrebna količina svetlobe je različna od rastline do rastline (heliofiti, skiofiti ali polskiofiti). Kot lahko razberemo iz Slike 3 rastline absorbirajo svetlobo pretežno v modrem in rdečem delu spektra. Iz tega sledi, da je dosvetljevanje z modro in rdečo svetlobo dovolj za uspešen razvoj rastlin. Uporaba monokromatskih virov svetlobe torej lahko zmanjša porabo električne energije v primerjavi z uporabo svetlobnih virov s širokim spektrom svetlobe, saj svetlobe drugih valovnih dolžin (zeleno, rumeno) za uspešno rast rastlin ne potrebujemo.



Slika 3. Fotosintetski absorpcijski spekter pri določeni valovni dolžini.

Poznamo dva načina dosvetljevanja in sicer kontinuirano ter pulzno. V prvem primeru rastline dosvetljujemo neprekinjeno nekaj ur in nato sledi obdobje teme. V drugem primeru pa rastline dosvetljujemo s pulzirajočo svetlobo (hitro vklapljanje in izklapljanje svetlobnega vira), kar je zelo lahko izvesti z LED diodami precej težje a z drugimi svetlobnimi viri. Učinek na rastline je v obeh primerih enak, le da je poraba električne energije v primeru uporabe pulzirajoče svetlobe  e nekoliko nižja.

5. LED svetilka za razsvetljava rastlin

Izračun potrebnega števila LED diod.

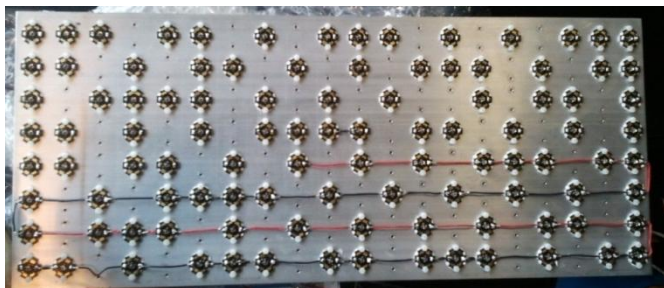
Da bi zman jali priključno moč svetilke z LED diodami, smo se odločili, da bomo uporabili samo LED diode, ki svetijo v področju valovnih dolžin, ki imajo pri rastlinah največji fotosintetski učinek, torej v področju modre in rdeče svetlobe. Zaradi ustrezne primerjave smo pri tem želeli doseči enak fotosintetski učinek, kot ga ima svetilka z 400 W VT Na sijalko, ki smo jo tudi uporabili za primerjavo med testiranjem. Torej je bilo potrebno v svetilko namestiti toliko LED diod, da je bila izsevana mo  v izbranem področju valovnih dolžin enaka izsevani moči svetilke z VT Na sijalko. Izbrane so bile tri različne LED diode s karakterističnimi valovnimi dolžinami pri 455 nm (modra), 625 nm (rdeča 1) in 660 nm (rdeča 2). Ker LED diode sevajo skoraj vso svetlobo v področju 20 nm okoli karakteristične valovne dolžine (peak wavelength $\pm$ 10 nm) smo za izračun potrebne izsevane energije uporabili v Tabeli 1 navedena področja valovnih dolžin. V izračunu je bil upoštevan sevalni izkoristek LED diod pri obratovalni temperaturi 60  C (sevalni izkoristek LED diod namreč z višanjem temperature pada).

Tabela 1. Prikaz izračuna potrebnih LED diod.

Barva LED diode	modra	rdeča (1)	rdeča (2)
Karakteristična valovna dolžina [nm]	455	625	660
Izbrano področje valovnih dolžin za izračun izsevane moči pri 400 W VT Na sijalki [nm]	445-465	615-635	650-670
Izsevana moč v izbranem področju valovnih dolžin pri 400 W VT Na sijalki [W]	1,64	22,4	10,9
Izsevana moč LED diode pri sobni temperaturi 25 °C [W]	0,45; 100 %	0,8; 100 %	0,75; 100 %
Izsevana moč oz. izkoristek LED diode pri temperaturi obratovanja 60 °C [W]	0,414; 92 %	0,56; 85 %	0,64; 85 %
Potrebno število LED diod	4	40	17

Ker so prva testiranja pokazala, da je obratovalna temperatura LED diod večja od predvidenih 60 °C zaradi česar je izkoristek in s tem izsevana moč LED diod manjša, smo v končni verziji uporabili 9 LED diod modre barve, 75 LED diod rdeče barve 1 in 19 LED diod rdeče barve 2.

Izdelava testne svetilke za gojenje rastlin z LED diodami je potekala v Laboratoriju za razsvetljavo in fotometrijo na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Poleg samih LED diod smo za izdelavo svetilke uporabili tudi ustrezno hladilno telo, ki služi za oporo in čim boljše odvajanje toplote od diod v okolico. Ker visokosvetilne LED diode, ki smo jih uporabili za izdelavo svetilke, obratujejo pri tokovih do 1,5 A se brez primerne hlajenja lahko zelo hitro uničijo. Sama konstrukcija testne svetilke je zelo preprosta in je prikazana na Sliki 4.



Slika 4. LED panel pri vezavi kontaktov.



Slika 5. LED panel med obratovanjem.

6. Rezultati gojenja solate

Kot testna rastlina je bila izbrana solata (*Lactuca sativa* var. *Capitata* L.) sorte »Lyra«. Za potrebe primerjave sta bila v rastlinjaku pripravljena dva gojitvena prostora, ki sta bila ločena z, za svetlobo neprepustno, pregrado. Enega smo osvetlili s testno svetilko z LED diodami, drugega pa s klasično svetilko za rastlinjake, ki je bila opremljena z VT Na sijalko moči 400 W. Izvedene so bile tri istočasne primerjalne setve solate. Pri vsaki setvi smo zasejali 160 semen solat na platoju za gojenje sadik. Rastline vsake setve smo ustrezno zalivali in prostor prezračevali, da je bila temperatura ustrezna (povprečna temperatura okoli 17°C). Poskus smo opravljali od 09.03.2011 ko smo solato posejali, po 10 dneh so rastline vzklije in 01.04. smo jih položili pod svetlobo sijalk, kjer so ostale do 22.04. ko smo pričeli z meritvami. Iz vsake setvene plošče smo naključno izbrali 10 sadik in jih stekali in premerili. Rezultati, ki so na kratko predstavljeni v Tabeli 2 so pokazali, da je solata v vseh treh setvenih ploščah bolje uspevala pod svetilko z LED diodami. Kot lahko vidimo iz podatkov v tabeli so bile rastline pod svetilko z LED diodami manj izdolžene, imele so večjo maso, večji koreninski del in večjo površino listov. Iz Slik 6 in 7 se vidi, da je bila razlika med enimi in drugimi sadikami očitna že na pogled, potrdile pa so jo tudi meritve.

Iz podatkov v Tabeli 3 lahko vidimo, da je cena svetilke z LED diodami sicer precej večja od cene svetilke z VT Na sijalko, vendar pa zaradi manjše priključne moči in posledično majše porabe energije v 10 letih s tako svetilko vseeno dosežemo okoli 500 EUR prihranka. Če pri tem upoštevamo tudi boljše rezultate pri gojenju rastlin je »prihranek« še ustrezno večji.

Tabela 2. Rezime rezultatov gojenja solate.

	LED panel	VT Na sijalka
Svetlobni spekter ($\frac{W}{m^2 \cdot nm}$) pri valovni dolžini (nm).	463 nm → 0,077	463 nm → 0,026
	570 nm → 0,023	570 nm → 0,133
	598 nm → 0,034	598 nm → 0,160
	620 nm → 0,119	620 nm → 0,064
	645 nm → 0,429	645 nm → 0,040
	660 nm → 0,189	660 nm → 0,083
Fotosintetska svetloba-povprečje ($\frac{\mu \cdot mol}{s \cdot m^2}$)	100 cm → 73,46	100 cm → 63,59
	170 cm → 41,49	170 cm → 17,45
Temperatura-povprečje (°C)	80 cm → 19,14	80 cm → 19,24
	160 cm → 17,71	160 cm → 17,43
Višina-povprečje (cm)	Nadzemni del → 12,18	Nadzemni del → 13,97
	Podzemni del → 6,98	Podzemni del → 6,73
	Skupaj → 19,16	Skupaj → 20,71
Masa-povprečje (g)	Nadzemni del → 2,56	Nadzemni del → 1,80
	Podzemni del → 0,75	Podzemni del → 0,29
	Skupaj → 3,13	Skupaj → 2,09
Število razvitih listov (n)	5-6	5-6
SPAD meritve-povprečje	17,63	13,67
Površina-povprečje (mm ²)	93509,09	70647,43
Skupni stroški (€/10 let)	1714,93	2229,60

Tabela 3. Izračun porabe električne energije in strošek svetil za obdobje delovanja 10 let.

	LED	VT Na
Nabavna cena svetilk [€]	979,09	130
Moč [W]	75	400
Življenjska doba sijalke [h]	> 100,000	24,000
Čas obratovanja 14/10 [h]	5,110h/leto	5.110h/leto
Število potrebnih sijalk	1 (10 let)	2 (10 let)
Skupna porabljena električna energija [kWh]	3832,5	20,440
Celotni stroški nakupa sijalk [€]	979,09	260
Cena porabljene ele. energije [0,09€/kWh]	421,57	2248,4
Skupaj	1400,66	2508,4
Prihranek	1107,74	0



Slika 6. Prikaz vpliva svetlobe na rast rastlin, LED panel (levo) in VT Na sijalka (desno).



Slika 7. Prikaz nadzemnega in podzemnega dela, LED panel (levo) in VT Na sijalka (desno).

7. Zaključek

S preizkusom smo želeli dokazati, da lahko uporaba svetilk z LED diodami zmanjša porabo električne energije tudi na drugih področjih in ne samo pri notranji in zunanji razsvetljavi. Pri tem smo želeli doseči enake pogoje za rast rastlin kot jih danes zagotavljajo VT Na sijalke, ki se v te namene največ uporabljajo. Vendar, kot lahko vidimo iz Slik 6 in 7, smo uspeli pod svetilko z LED diodami ustvariti celo boljše pogoje, saj je solata zrasla lepša in boljša, medtem ko je solata, ki je rasla pod VT Na sijalko blede barve, izdol ena in s slabim koreninskim sistemom. To, kar je bilo videti  e na pogled so potrdile tudi meritve, katerih rezultati so zbrani v Tabeli 2. Seveda smo pri tem dosegli tudi ustrezen prihranek pri porabi električne energije, svetilka z LED diodami pa se je pokazala tudi kot ekonomsko opravičena. Pri tem smo v izračunu ekonomske upravičenosti pri LED diodah upoštevali padec svetlobnega toka za 30 % v življenjski dobi 50.000 ur, čeprav nam proizvajalec zatrjuje več kot 100.000 ur delovanja s padcem svetlobnega toka samo 10 % pri temperaturi delovanja 110  C.

8. Viri in literatura

- [1] Matej Bu inel, *Razsvetljava za gojenje rastlin, Diplomsko delo, Fakulteta za elektrotehniko, 2011*
- [2] *LED diode [Light emitting diodes (LEDs)]*, citat preverjen dne (11.09.2011). http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode
- [3] Dr. John W. Curran, *Unraveling the mysteries of solid-state lighting*, citat preverjen dne (11.09.2011). <http://www.ledtransformations.com/NeoCon.pdf>
- [4] *Visokotlačna natrijeva sijalka [Sodium-vapor lamp(HPS)]*, citat preverjen dne (11.09.2011). http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_vapor_lamp
- [5] *Farnell*, spletna stran za nakup elektronskih izdelkov, citat preverjen dne (11.09.2011). <http://si.farnell.com/>
- [6] R. J. Bula, D. J. Tennessen, R. C. Morrow, and T. W. Tibbitts, *Light emitting diodes as a plant lighting source*, International lighting in controlled environments workshop, citat preverjen dne (11.09.2011). <http://biology.mcgill.ca/Phytotron/LightWkshp1994/5.11%20Bula/Bula%20text.htm>
- [7] G. Tamulaitis, P. Duchovskis, Z. Blinikas, K. Breive, R. Ulinskaite, A. Braaityte, A. Novi kovas and A.  ukauskas, *High-power light emitting diode based facility for plant cultivation [stran 3182-3187]*, Vilnius University, citat preverjen dne (11.09.2011). http://www.led-grow-master.com/files/High-Powered_LED_Cultivation_Study.pdf
- [8] Daniel A. Steigerwald, Jerome C. Bhat, Dave Collins, Robert M. Fletcher, Mari Ochiai Holcomb, *Illumination with solid state lighting technology [stran 310-320]*, IEEE journal on selected topics in quantum electronics, vol. 8, no. 2, march/april 2002 . citat preverjen dne (11.09.2011). http://www.lightingassociates.org/i/u/2127806/f/tech_sheets/Illumination_With_Solid_State_Lighting_Technology.pdf

Naslovi avtorjev

Matej Bučinel
Krasno 26
5212 Dobrovo v Brdih
Slovenija
Tel. 040/756-720
Elektronski naslov: matej.bucinel@gmail.com

Matej B. Kobav, Grega Bizjak

Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani
Tržaška 25
1000 Ljubljana

Nina Kacjan Maršič, Dominik Vodnik

Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani
Jamnikarjeva 101
1000 Ljubljana

Katja Malovrh Rebec, Marta Klanjšek Gunde, Matej B. Kobav, Grega Bizjak

VPLIV SVETLEČIH DIOD NA TVORJENJE MELATONINA IN POŠKODBE MREŽNICE

Povzetek

Poleg optičnih učinkov, zaradi katerih se z vidom lahko orientiramo v prostoru, ima svetloba tudi različne fotobiološke učinke. Analizirali smo tiste, ki nastanejo na mrežnici očesa zaradi svetlobe belih LED svetil brez sekundarne optike. Možnost fotokemijskih poškodb mrežnice smo vrednotili z B-faktorjem, učinek na tvorbo melatonina, t.i. neslikovno zaznavo, pa z M-faktorjem. Pri tem smo upoštevali znana aktivacijska spektra za oba pojavi in podatke o prepustnosti očesa v odvisnosti od starosti človeka. Rezultati kažejo, da s starostjo oba faktorja hitro padata, zaradi prekrivanja obeh aktivacijskih spektrov pa sta med seboj povezana. Svetloba z višjo korelirano barvno temperaturo CCT ima praviloma višje vrednosti obeh faktorjev. Vendar ta relacija ni enolična, saj obstajajo svetila z enako CCT in različnimi vrednostmi faktorjev, kar je še posebej izrazito pri M-faktorju. Z uporabo B- in M-faktorjev je mogoče vrednotiti fotobiološke učinke LED svetil v očeh.

Abstract

Lighting and optical effects enable us to orientate ourselves in space; moreover it has the potential to evoke different photo-biological effects. We analyzed those that occur in the retina and are provoked by white LED without secondary optics. The possibility of photochemical retinal damage was evaluated by B-factor and (the non-visual) effect on the production of hormone melatonin was evaluated with M-factor. We took into consideration both known action spectra as well as transmission of human eye depended on the aging factor. The results show that both factors decrease rapidly with human aging and that both factors are interrelated due to the overlapping spectra of activation curves. Lighting with higher correlated color temperature CCT has generally higher values for both factors. However, this relationship is not reliable for there are samples with the same CCT and different B and M factor values. B-and M-factors provide practical evaluation of some photo-biological effects of LED lighting in human eyes.

1. Uvod

Svetlobe ne potrebujemo le za gledanje, ampak je pomembna tudi za normalno delovanje telesa. Tukaj se omejimo le na tiste efekte, kjer svetloba vstopa preko odprtih oči in se detektira na mrežnici. Na očesni mrežnici se poleg čutnic za slikovno zaznavo (palčke in čepki) nahajajo tudi čutnice za zaznavanje optičnih sevanj, ki ne prispevajo k tvorjenju slike o naši okolici v

možganih. [Berson, 2003] Zaznava svetlobe, ki poteka preko teh celic - svetlobno občutljivih ganglijskih celic - uravnava izločanje hormona melatonin, s tem pa posredno vpliva na pomembne procese v človeškem telesu, kot je vzdrževanje dnevno-nočnega ritma, sposobnost koncentracije in pomnjenja, tvorjenje drugih hormonov (predvsem spolnih) itd [Španinger *et al.*, 2009], [Pauley, 2004]. Hormonsko neravnovesje lahko vodi v večjo obolevnost za različnimi vrstami raka. [Kvaskoff and Weinstein, 2010] Za zaznavo svetlobe preko ganglijskih celic na mrežnici se uporablja izraz neslikovna zaznava. Tako kot čepki in paličice, imajo tudi svetlobno občutljive ganglijske celice spektralno odvisno občutljivost. Vrhova čepkov in paličic sta v območju zelene svetlobe (505 in 555 nm), svetlobno občutljive ganglijske celice pa imajo vrh občutljivosti v modrem delu spektra (460-480 nm) [Brainard *et al.*, 2001] [Thapan *et al.*, 2001]. To pomeni, da so za neslikovno zaznavo potrebni fotoni z večjo energijo kot za slikovno zaznavo.

Poleg omenjenih neslikovnih vplivov, ki uravnavaajo tvorbo nekaterih hormonov v telesu, je pomemben aspekt tudi varnost svetil. Poškodbe vidnih organov so, zaradi kompleksne sestave očesa, predmet intenzivnih raziskav in novih odkritij. Dolgo je veljalo, da je nevarna le premočna obsevanost očesa, ki povzroča termične poškodbe; kasneje pa se je pokazalo, da tudi svetloba z manjšo svetlostjo, vendar v specifičnih delih spektra, lahko močno in trajno poškoduje človeško oko. Vzrok za to so fotokemijske spremembe, ki jih svetloba povzroči na mrežnici. [Ham *et al.*, 1976] Na tak način je nevarna zlasti modra svetloba. Potencialna nevarnost je največja pri valovnih dolžinah med 400 in 500 nm. [Delori *et al.*, 2005] [Norren and Gorgels, 2011] Nekaj sprememb tkiva se po določenem času regenerira, večina pa je nepovratnih. Med najbolj poznanimi je fotokemijskimi poškodbami je fotoreinititis. Ta prevladuje nad termično vzbujenim mehanizmom podobne poškodbe, kadar je čas osvetlitve daljši od 10 s. Ta spoznanja so vodila do priporočil za fotobiološko varnost nekoherentnih virov svetlobe [CIE, 2002], najvišje dopustne vrednosti izpostavljenosti pa so uvedene tudi v zakonodajo [2006/25/EC, 2006] [Uredba, 2010]. Ti dokumenti urejajo zlasti varnost delavcev pri uporabi svetil z visoko svetlostjo, vezani pa so na delovno okolje in urejajo dopustne meje obsevanosti tekom enega delovnega dne (8 urni delavnik). Vendar ne vemo, kakšni so efekti svetlobe z manjšo intenziteto, saj se škodljivi učinki z leti najverjetneje v znatni meri akumulirajo. [Figueiro *et al.*, 2008] Predvideva se namreč, da tudi majhne količine lahko pripeljejo do trajnih, resnih poškodb. [Roberts, 2011] [Margrain *et al.*, 2004] Primer takšnih obolenj oči je na primer (delna) slepota zaradi starostne degeneracije makule (AMD - *age related macular degeneration*). [Margrain *et al.*, 2004]

Za opis spektralne sestave svetlobe se navadno uporabljata enoštevila parametra, korelirana barvna temperatura (Corelated color temperature - CCT) in indeks barvnega videza (Color rendering index - CRI). Problem obeh parametrov je to, da sta enoštevila in ne moreta popisati spektralnih posebnosti svetlobe. CCT pove, katero črno telo seva najbolj podobno svetlobo; vendar je svetloba sodobnih svetil zelo različna od sevanja črnega telesa. CRI upošteva le slikovno zaznavo - torej delovanje čepkov in paličic za razmeroma majhen nabor barvnih vzorcev: Določen ja na osnovi povprečnih sprememb barv teh vzorcev zaradi osvetlitve s testirano svetlobo; zato upošteva le velikosti barvnih razlik ne pa tudi smeri teh sprememb v barvnem prostoru [Gunde *et al.*, 2009]. Za opredelitev neslikovnih učinkov svetlobe in možnosti za fotokemijske poškodbe mrežnice še ni opredeljen noben parameter.

Pri raziskovanju vplivov svetlečih diod kot svetlobnih virov prihodnosti [Lister, 2004] [Khan and Abas, 2011], je bistveno poznavanje izvora spektralne porazdelitve optičnega sevanja, ki ga oddajajo. Večina svetlečih diod, ki jih srečamo za namene splošne razsvetljave, so zasnovane kot modra LED (torej substrat GaN ali InGaN), prevlečena z luminiscenčno snovjo (Ce^{3+} : YAG), ki ima vrh v rumenem delu spektra. V spektru takega svetila sta dva izrazita vrhova, med njima pa minimum. Takšno svetlobo čutnice fotopskega videnja, čepki, zaznajo kot belo. S spremembo LED substrata in kombinacijo luminiscenčnih snovi lahko do določene mere spreminjamo tudi položaj obeh vrhov. Z manipuliranjem višine in širine vrhov vplivamo na spektralno porazdelitev in s tem na CCT in CRI svetlobe. [Shur and Žukauskas, 2005] [Dawson, 2010]

Upoštevati pa moramo še en pomemben parameter. Svetloba na mrežnico pade skozi človeško oko, ki je sestavljeno iz posameznih delov z različno prepustnostjo. Skozi roženico svetloba pade na lečo, nadaljuje v notranjost očesa, kjer je steklovina in konča na mrežnici, ki je zadnji del očesa. [Sloney, 2002] Čutnice na mrežnici pretvorijo fotone v električne impulze, ki potujejo v možgane, kjer dejansko tvorimo sliko (oziroma se predajo informacije - na primer signali za začetek ali zaustavitev tvorbe hormonov). Zaznava svetlobe se torej odvija na mrežnici, kjer pa ni mogoče neposredno meriti osvetljenosti in dogodkov, ki jih to povzroča. Vse meritve so bile opravljene na sprednji strani očesa - roženici - podatki pa so bili računsko pretvorjeni na pogoje, ki naj bi vladali na mrežnici. Ker se s starostjo prepustnost očesa zmanjšuje, je za enak efekt na mrežnici pri različno starih opazovalcih potrebna različna količina svetlobe.

Vprašanja učinkov modre svetlobe so postala zanimiva tudi zato, ker svetila po svoji spektralni sestavi z razvojem postajajo vedno bolj in bolj modra. Od žarnic na žarilno nitko, preko fluo sijalk in do današnjih svetlečih diod za splošno razsvetljavo se je večala tudi količina modre svetlobe. Vzporedno z večanjem svetlobnega izkoristka svetil (lm/W), se je razvilo tudi poglobljeno znanje o drugih učinkih svetlobe. Združeno znanje lahko v bodoče prinese rešitve, kjer bodo svetlobni viri energetsko učinkoviti, hkrati pa bodo njihovi učinki tudi v fotobiološkem smislu predvideni in zaželeni. Ker je delež modre svetlobe pri belih LED svetilih večji kot pri drugih svetlobnih virih, je potrebno ta svetila obravnavati tudi s stališča neslikovne zaznave in fotokemijskih poškodb mrežnice. Zato je vedno večja pozornost raziskovalcev usmerjena v učinke teh svetil. [Behar-Cohen *et al.*, 2011] Veliko se tudi razpravlja o dinamični oziroma »pametni« razsvetljavi, ki bi imela spektralno porazdelitev odvisno od časa tekom dneva in potreb ljudi. [Shur and Žukauskas, 2005] Pri uresničitvi takega cilja pa je LED razsvetljava nedvomno nepogrešljiva, saj lahko uresniči take želje. [Schubert and Kim, 2005]

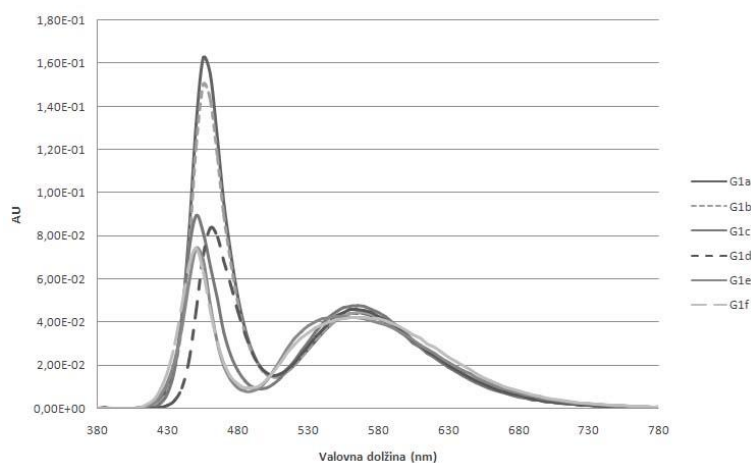
Naša raziskava se osredotoča na velikost fotobioloških učinkov svetlobe belih LED svetil (fotokemijske poškodbe in neslikovna zaznava) in na odvisnost teh vplivov od starosti opazovalca.

2. Eksperimentalni del

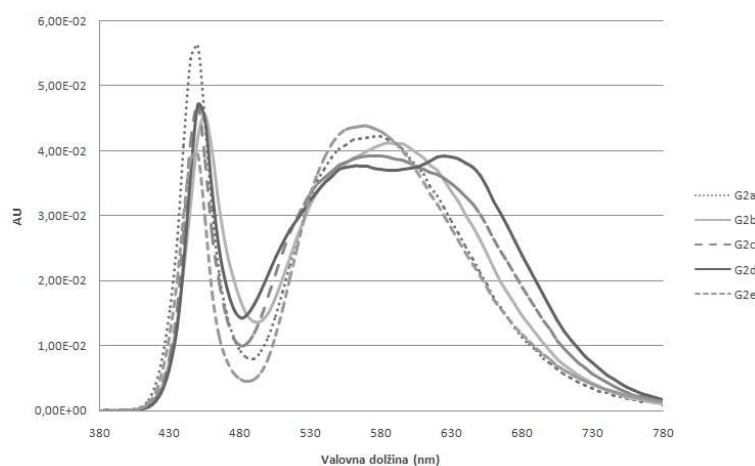
2.1. Meritve

Izmerili smo spektralno porazdelitev 17 vzorcev belih LED svetil brez sekundarne optike. Meritve smo opravili v temni sobi pri sobni temperaturi na fotometrični klopi s pomočjo spektrometra Jeti Specbos 1200. Merilno območje je bilo med 380 in 780 nm. Svetila smo napajali z enosmernim tokom 350 mA v zveznem načinu (brez impulzov). Vzorci so bili z dvema vijakoma pritrjeni na šestkotni hladilni podstavek iz aluminija. S prevodno pasto je bil zagotovljen dober termični stik s hladilnim podstavkom. Razdaljo med vzorcem in merilnikom smo spreminjali tako, da smo dobili enako osvetljenost detektorja na spektrometru.

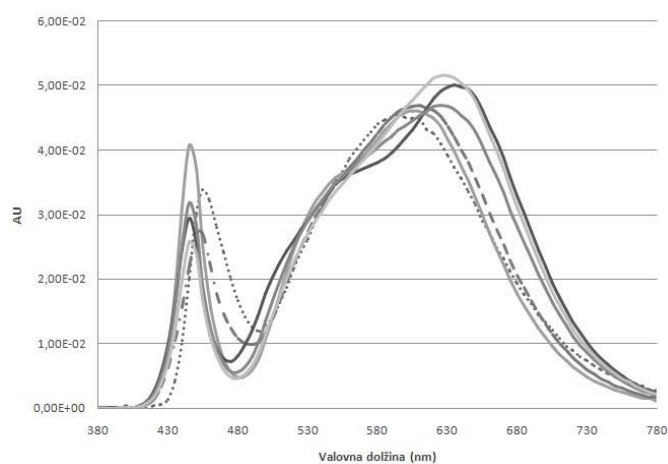
Na podlagi meritev smo oblikovali 3 skupine LED vzorcev - 3 tipe bele svetlobe: tople LED, nevtralne LED in hladne LED. Skupine smo oblikovali skladno s kriteriji iz literature. [Behar-Cohen *et al.*, 2011] Spektri merjenih vzorcev kažejo, da vsa svetila delujejo na principu modra dioda prevlečena z luminiscenčno snovjo (*blue LED – yellow phosphor*). Tako svetlobo človeško oko vidi kot belo, točen odtenek pa je odvisen od modrega diodnega vrha in od količine in tipa dodanih luminiscenčnih snovi. Merjene spektre smo normalizirali na 500 lx. Prikazani so na slikah 1-3.



Slika 1: Spektri LED svetil, normirani na 500 lx, skupina hladno bele (CCT $\geq$ 4.500 K).



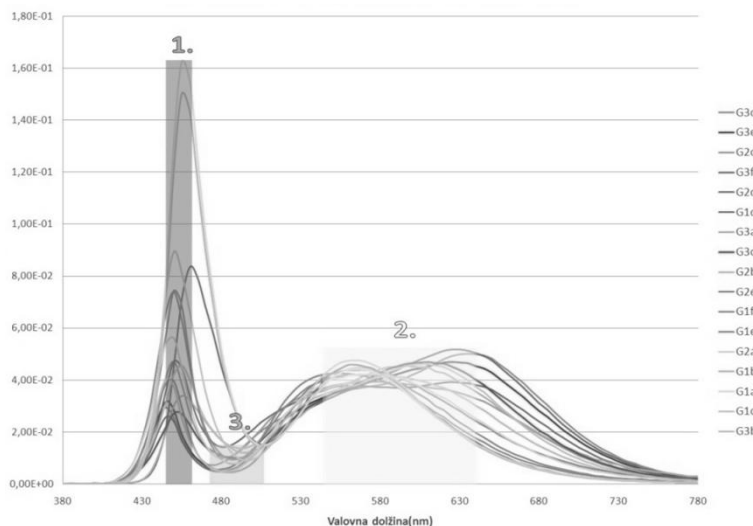
Slika 2: Spektri LED svetil, normirani na 500 lx, nevtravno bele (3500 K < CCT < 4500 K).



Slika 3: Spektri LED svetil, normirani na 500 lx, skupina toplo bele (CCT $\leq$ 3500 K).

V skupini hladnih LED (CCT $\geq$ 4.500 K) imajo vsi vzorci modri vrh izrazito višji od luminiscenčnega, v skupini tople LED (CCT $\leq$ 3.500 K) pa ravno obratno. Za nadaljnje izračune

nas je zanimala predvsem vsebnost modre svetlobe v spektrih (*high energy visible light* - *HEV light*), zato smo določili območja, kje se pojavi levi (LED) vrh, desni (luminiscenčni) vrh in minimum med njima (slika 4).



Slika 4: Spektri analiziranih LED svetil, normirani na 500 lx, (1) LED vrh, (2) vrh zaradi luminiscenčnih snovi, (3) srednji minimum

LED vrh izmerjenih vzorcev je med 445 in 461 nm, torej se pomika na območju 16 nm. Desni, luminiscenčni vrh je med 551 in 636 nm, to je v razponu 85 nm. Minimum med obema vrhovoma je med 474 in 506 nm, to je na območju 32 nm. Mesto in višina vrhov vplivajo na CCT in na CRI. Barvna temperatura vzorcev je od 2.694 K pa vse do preko 6.000 K, kjer sta se pojavila 2 vzorca, eden s 28.437 K in drugi s 17.456 K. Ti dve vrednosti v okviru metodologije preračuna CCT nista regularni. [Mahr *et al.*, 1969]

2.2. Izračun fotobioloških učinkov

Iz izmerjenih spektralnih porazdelitev LED vzorcev in znanih aktivacijskih krivulj smo preračunali dva faktorja, ki vrednotita fotobiološko varnost svetil: faktor nevarnosti modre svetlobe ter faktor tvorbe melatonina.

Nevarnost modre svetlobe se ocenjuje v skladu z dokumentom Fotobiološka varnost svetil in svetlobnih sistemov [CIE, 2002]. Aktivacijska krivulja nevarnosti modre svetlobe $B(\lambda)$ ima vrh pri 440 nm v globoko modrem delu spektra in se nanaša na fotokemijske poškodbe mrežnice. Tako poškodovana mrežnica močno poslabša vid in/ali pripelje celo do slepote. Za ocenjevanje stopnje nevarnosti modre svetlobe se uveljavljala B faktor. [Behar-Cohen *et al.*, 2011], ki ga izračunamo z enačbo:

$$B = \frac{\sum_{\lambda} S(\lambda) B(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda} S(\lambda) \Delta\lambda} \quad (1)$$

Kjer je $B(\lambda)$ spekter nevarnosti modre svetlobe (slika 5), $S(\lambda)$ pa spektralna porazdelitev osvetljenosti mrežnice. B -faktor pove delež svetlobe, ki povzroča fotokemijske poškodbe mrežnice, v celotnem spektru analizirane svetlobe.

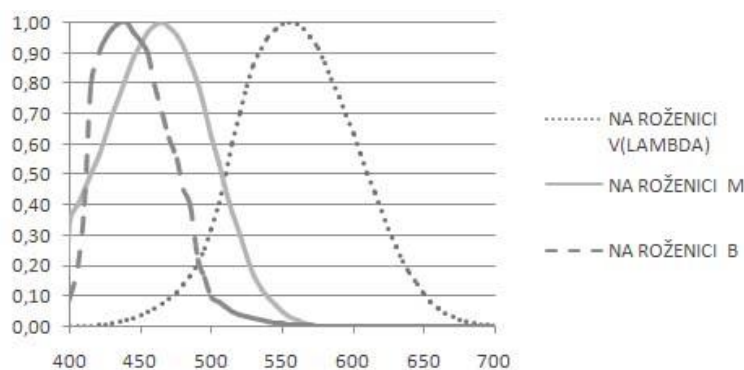
Odziv ganglijskih celic na mrežnici, ki so občutljive na svetlobo in uravnavajo izločanje hormona melatonin, opišemo s aktivacijskim spektrom melanopsina, $M(\lambda)$ (slika 5). Po analogiji z

B -faktorjem smo izračunali tudi M -faktor. Z njim opišemo delež svetlobe, ki vpliva na tvorbo hormona melatonin:

$$M = \frac{\sum_{\lambda} S(\lambda) M(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda} S(\lambda) \Delta\lambda} \quad (2)$$

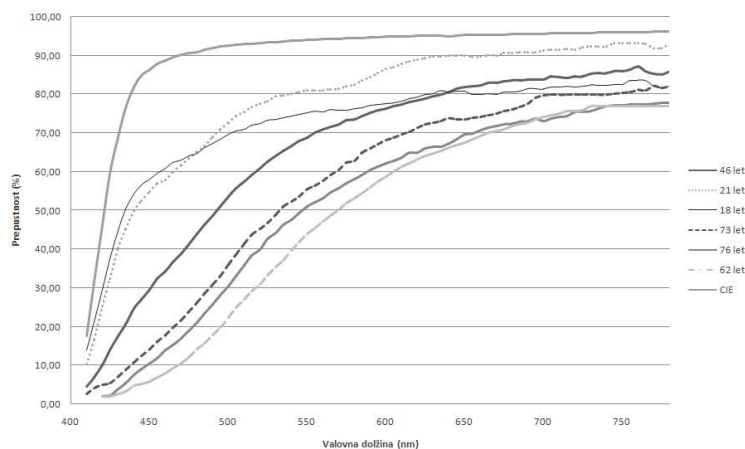
Kjer je $M(\lambda)$ aktivacijski spekter zaviranja tvorbe melatonina (slika 5).

Slika 5 prikazuje aktivacijski spekter za fotokemijske poškodbe mrežnice (nevarnost modre svetlobe) $B(\lambda)$ in aktivacijski spekter melanopsina $M(\lambda)$, ki sta osnova za nadaljnje izračune. Za primerjavo je dodan tudi spekter fotopskega videnja $V(\lambda)$, ki je osnova za preračun fizioloških (lx) v radiološke količine (W/m^2). Kot je razvidno iz slike, se vrhovi teh funkcij precej razlikujejo, oblike pa imajo podobne.



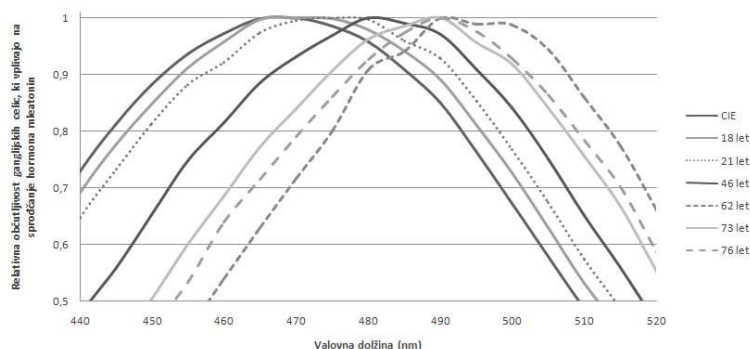
Slika 5: Primerjava funkcij fotopskega videnja (povprečna občutljivost čepkov) – $V(\lambda)$, občutljivost vezana na nevarnost modre svetlobe (poškodbe mrežnice) – $B(\lambda)$, ter občutljivost ganglijskih celic v mrežnici, ki uravnavajo izločanje hormona melatonin – $M(\lambda)$.

Pri izračunu spektralne osvetljenosti mrežnice upoštevamo tudi spreminjanje vidnega organa zaradi starosti. Bistveno se spremeni predvsem spektralna prepustnost leče, ki z leti rumeni. Zaradi tega se njena prepustnost najmočnejše zmanjšuje za modro svetlobo [Kessel *et al.*, 2010]. Prepustnost leče človeškega očesa za vidno svetlobo v odvisnosti od starosti kaže slika 6. Donatorji leč v tej raziskavi so imeli tudi specifične lastnosti (62 letnik je imel na primer diabetes, kar je najverjetnejši razlog za precej slabšo prepustnost leče). Na spreminjanje prepustnosti leče lahko vplivajo tudi številni drugi faktorji, na primer siva mrena, zamenjava za umetno lečo. Ti učinki še niso ovrednoteni.



Slika 6: Spreminjanje prepustnosti leče človeškega očesa (zaradi spreminjanja leče) z leti [Kessel *et al.*, 2010] [CIE, 2009]

Aktivacijski spektri za tvorbo melatonina $M(\lambda)$ so bili izmerjeni in patentirani na roženici [Brainard *et al.*, 2001], [Thapan *et al.*, 2001]). Da bi lahko pravilno uporabili enačbo 2, je treba ta spekter prestaviti na mrežnico. Premik smo izvedli s pomočjo prepustnosti očesa, kar obravnava standard CIE v pripravi [CIE, 2009] ter s pomočjo podatkov o odvisnosti prepustnostih leč od starosti (slika 6). Po istem principu smo premaknili tudi krivuljo $B(\lambda)$ (nevarnost modre svetlobe) za uporabo v enačbi 1. V izračunu B - in M -faktorjev v odvisnosti od starosti smo $B(\lambda)$ in $M(\lambda)$ v enačbah (1) in (2) pomnožili s prepustnostjo očesa za različne starosti opazovalca (slika 6). Pri spreminjanju prepustnosti očesa smo upoštevali spreminjanje prepustnosti leče s staranjem, ker ima slednja največja vlogo. Na ta način smo dobili učinkovite aktivacijske krivulje, ki se spreminjajo s prepustnostjo očesa, torej s starostjo opazovalca. Pri tem predpostavimo, da se občutljivost čutnic na mrežnici z leti ne spreminja oziroma da lahko efekte staranja opišemo le s spremembami leče, vse ostale pa zanemarimo. Ker v literaturi ni podatkov o vplivu starosti na občutljivost čutnic na mrežnici, je taka predpostavka nujna. Primer učinkovitih krivulj za občutljivost ganglijskih celic pri različnih starostih opazovalca prikazuje slika 7. Poleg prepustnosti leč, ki so prikazane na sliki 6, je prikazana tudi učinkovita občutljivost za spektralno prepustnost leče, kot jo navaja CIE dokument (v pripravi) [CIE, 2009].



Slika 7: Spreminjanje učinkovite občutljivosti ganglijskih celic s starostjo opazovalca.

Mejni časi dopustne dnevne obsevanosti (8 ur), ki jih določa zakonodaja z vidika varnosti pred fotokemijskimi poškodbami, so določeni z največjo dopustno učinkovito sevnostjo L_B :

$$L_B = \int_{380}^{780} \frac{S(\lambda)}{\Omega} \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (3)$$

kjer je Ω prostorski kot merjenja spektralne obsevanosti. Za osvetlitve pri zornem kotu nad 11 mrad, ki so daljše od 10000 s (2,78 h) je največja dopustna učinkovita sevnost $100 \text{ W/m}^2\text{sr}$. [2006/25/EC, 2006] [Uredba, 2010] Izračuni kažejo, da je vrednost L_B za svetilke, ki se uporabljajo za simulacijo sončne svetlobe, na razdalji 6 cm od vira le nekaj procentov največje dopustne vrednosti. [Gunde *et al.*, 2010] Podobne rezultate dajejo tudi izračuni za LED svetila. To pomeni, da LED svetila nikakor ne zapadejo uredbi o zaščiti delavcev pred škodljivimi učinki nekoherentnih sevanj. Vendar se moramo zavedati, da se ta nanaša na poškodbe mrežnice, ki se ne akumulirajo in da je predpostavljeno, da se vse druge poškodbe regenerirajo do naslednjega delovnega dne.

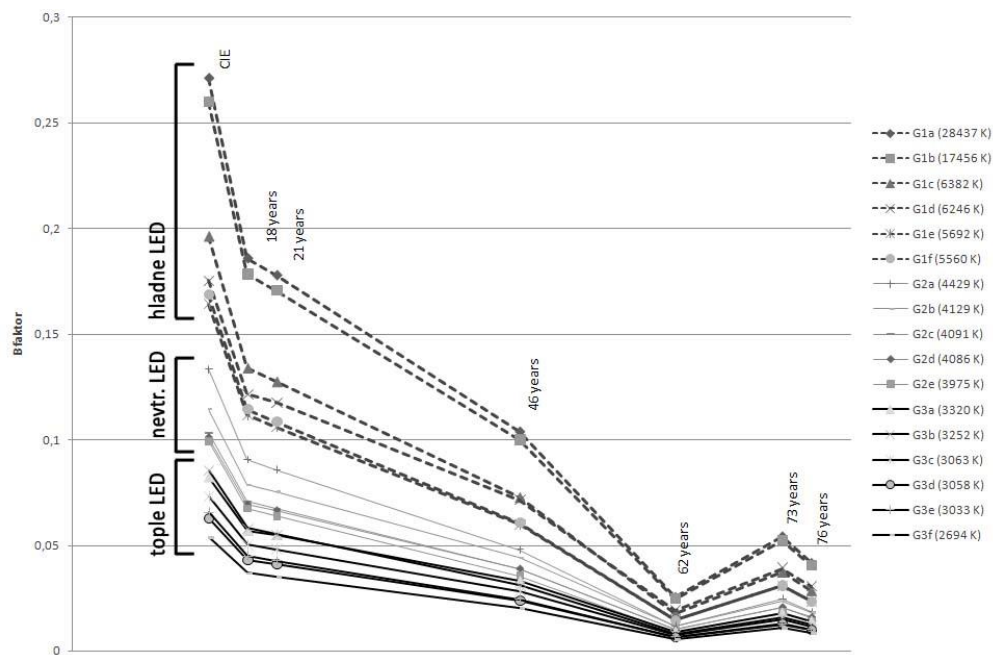
Pri izračunu časa osvetljevanja, ki je potreben za zaustavitev tvorbe melatonina (t_{max}) pri posameznem vzorcu svetlobnega vira s spektralno porazdelitvijo $S(\lambda)$ smo uporabili mejno izpostavljenost (dozo) 112 J/cm^2 [Schulmeister *et al.*, 2003]. Tako smo t_{max} izračunali z enačbo:

$$t_{max} = \frac{112 \text{ J/cm}^2}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \cdot M(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (4)$$

Premik aktivacijske krivulje za sproščanje melatonina smo iz roženice na mrežnico izvedli s pomočjo CIE priporočila v pripravi. [CIE, 2009]

3. Rezultati

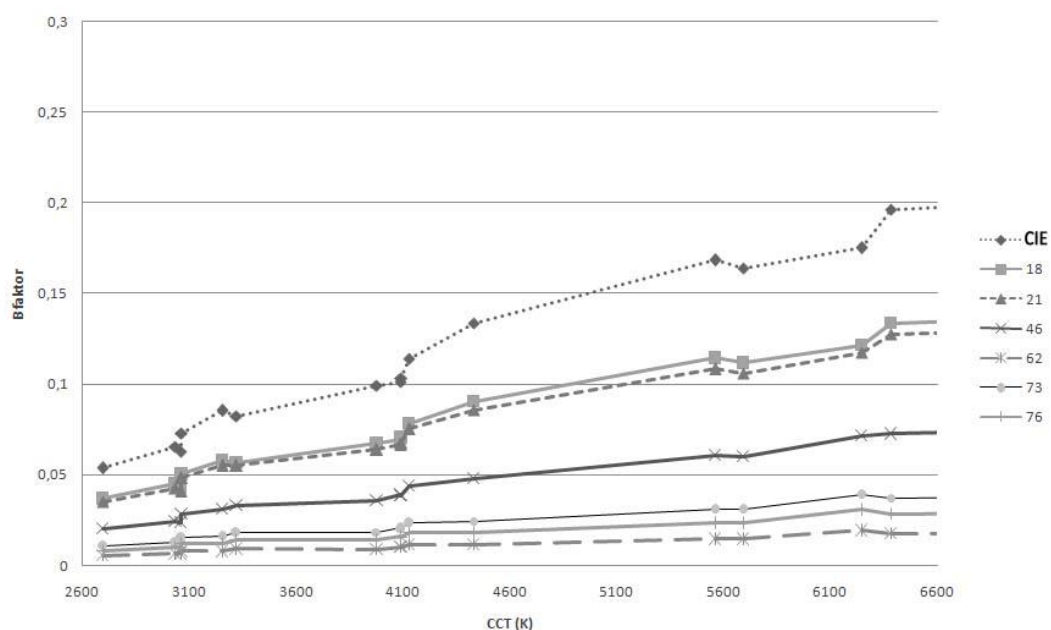
Za vse spektre LED svetil smo izračunali *B*- in *M*-faktorje. Rezultati so predstavljeni na slikah 8-11.



Slika 8: *B*-faktor v odvisnosti od starosti opazovalca za hladna, nevtralna in topla LED svetila.

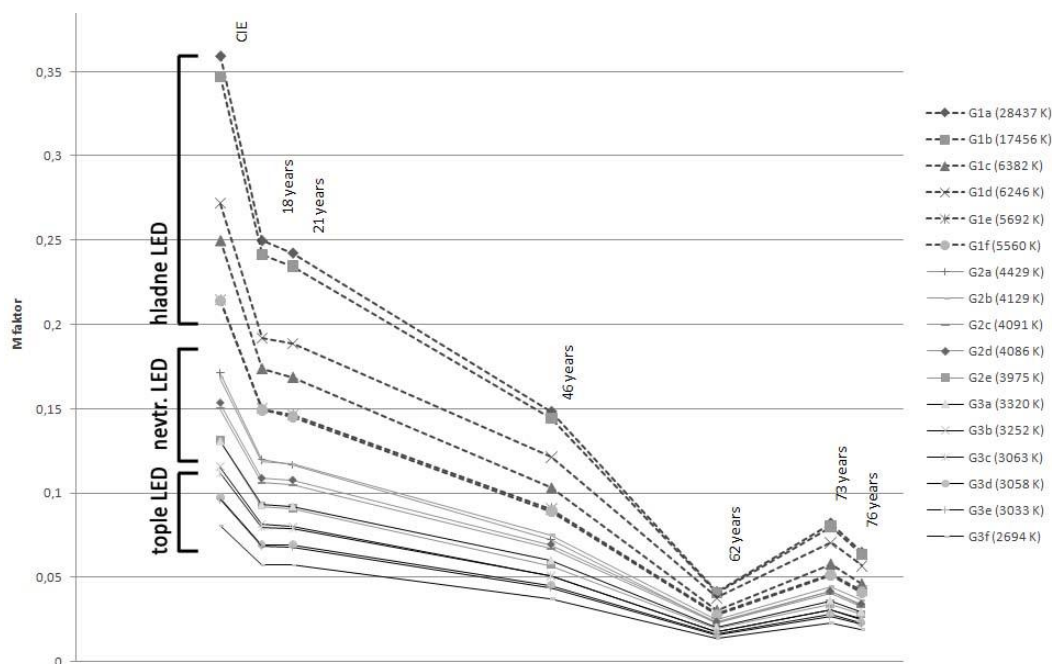
Iz slike 8 je razvidno, da se *B*-faktor z leti eksponentno zmanjšuje. Znotraj istega vzorca LED je ta efekt lahko tudi več kot 2 kraten. Razlike med posameznimi LED vzorci v vrednosti *B*-faktorja so pri isti starosti opazovalca lahko tudi za več kot 3 kratne, v okviru iste skupine LED svetil pa do 2 kratne.

Pokaže se, da CCT ni preveč natančen faktor za napovedovanje nevarnosti modre svetlobe. Na grafu 8 so vzorci razporejeni po vrsti od visokih CCT (na vrhu) proti nizkim. Krivulje temu redu ne sledijo. Rezultate s slike 8 lahko pogledamo tudi v odvisnosti od CCT; to prikazuje slika 9, kjer smo zaradi večje preglednosti izpustili 2 vzorca z ekstremno visokim CCT, 28.437 K in 17.456 K. *B*-faktor sicer približno linearno narašča s CCT, vendar obstajajo LED vzorci z enako CCT in različnim *B*-faktorjem (npr. okoli 3100 K). To pomeni, da med CCT in *B*-faktorjem ni enolične zveze.



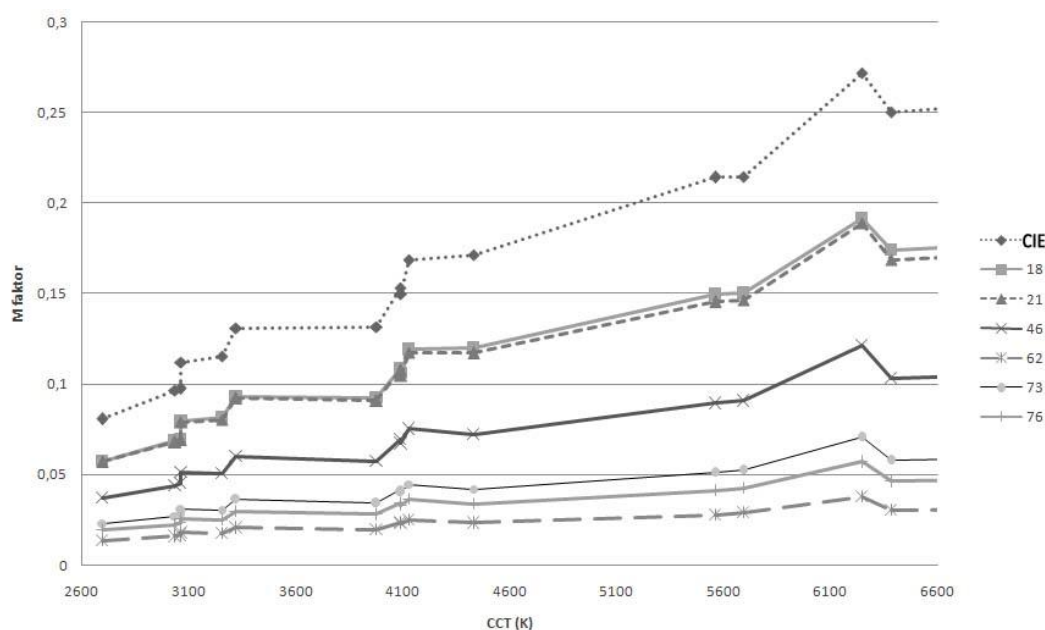
Slika 9: Spreminjanje *B*-faktorja v odvisnosti od korelirane barvne temperature (CCT) za opazovalce različnih starosti (glej legendo).

Slika 10 prikazuje *M*-faktor v odvisnosti od starosti za vse vzorce LED svetil. Podobne zaključke kot za nevarnost modre svetlobe (*B*-faktor) lahko potegnemo tudi za tvorbo melatonina. Z leti se vpliv na tvorbo melatonina eksponentno zmanjšuje, ker na mrežnico (zaradi filtracije z lečo) pade manj modre svetlobe.



Slika 10: Spreminjanje *M*-faktorja za svetlobo hladnih, nevtralnih in toplih LED svetil v odvisnosti od starosti opazovalca.

Tudi pri spremljanju M -faktorja zasledimo, da LED svetila z enakim CCT nimajo nujno enakih M -faktorjev; efekt je precej večji kot pri B -faktorju (slika 11). Tudi na sliki 11 smo izvzeli dve najhladnejši LED zaradi boljše preglednosti rezultatov. Svetila z zelo različnimi CCT imajo lahko tudi enake M -faktorje (npr. G3a s CCT = 3320 K in G2e s CCT = 3975 K). Večji CCT ne pomeni nujno tudi večjega M -faktorja (npr. G1c s CCT = 6382 K ima manjši M -faktor od »toplejše« G1d s CCT = 6246 K). To pomeni, da CCT ne more dovolj dobro opredeliti vpliva svetlobe na tvorbo melatonina. Kot je razvidno iz slike 11, pri istem CCT vzorca naletimo na vrednost M -faktorja, ki je lahko več kot 2-kratna, pomembno je torej tudi upoštevanje starosti uporabnikov.



Slika 11: Spreminjanje M -faktorja v odvisnosti od korelirane barvne temperature (CCT) hladnih, nevtrálnih in toplih LED svetil za različne starosti opazovalca.

Za praktično rabo so zelo zanimivi časi, ki so potrebni za zaustavitev tvorbe hormona melatonin. Za analizirane vzorce LED svetil smo jih izračunali s pomočjo enačbe (4). Praktičen primer uporabnosti teh rezultatov si lahko predstavljamo, če na primer ponoči vstanemo in gremo na stranišče ob prižgani luči. V tabeli 1 so časi, ki so potrebni za zaustavitev tvorbe melatonina za vzorce LED svetil pri 500, 100 in 20 lx. Ti časi se z večanjem osvetljenosti zelo hitro krajšajo. Pri 500 lx so 1-3 min, pri 100 lx med 3-13 min, pri 20 lx pa 13-65 min. Povezanost časov in CCT načeloma obstaja. Vzorci iz skupine tople LED imajo daljše čase, kot vzorci iz skupine hladne LED. Natančnejši vpogled v čase pa (podobno kot pri preračunu B in M faktorja) kaže, da CCT ne napove nujno odziva (v tabeli bi morali časi rasti od vrha navzdol, vendar se na določenih mestih red poruši). Te izračune smo primerjali s podatki, ki jih je za različne luči pred leti določila druga raziskovalna skupina [Schulmeister *et al.*, 2003] (Tabela 2). Ti rezultati kažejo, da so časi osvetlitve, ki so potrebni za zaustavitev tvorbe melatonina, najkrajši za LED svetila. Naši rezultati so primerljivi z njihovimi (glej *High-output LED in white LED*).

Tabela 1: Časi (v min), potrebni za zaustavitev tvorbe melatonina pri različnih osvetljenostih roženice za obravnavane vzorce LED svetil.

Vzorec	CCT [K]	500 lx	100 lx	20 lx
G1a	28437	1 min	3 min	13 min
G1b	17456	1 min	3 min	14 min
G1c	6382	1 min	5 min	24 min
G1d	6246	1 min	4 min	22 min
G1e	5692	1 min	6 min	29 min
G1f	5560	1 min	6 min	28 min
G2a	4429	1 min	7 min	35 min
G2b	4129	1 min	7 min	34 min
G2c	4091	2 min	8 min	38 min
G2d	4086	1 min	7 min	34 min
G2e	3975	2 min	10 min	49 min
G3a	3320	2 min	9 min	43 min
G3b	3252	2 min	10 min	50 min
G3c	3063	2 min	10 min	51 min
G3d	3058	2 min	10 min	52 min
G3e	3033	2 min	11 min	55 min
G3f	2694	3 min	13 min	65 min

Tabela 2: Časi, potrebni za zaustavitev tvorbe melatonina, pri različnih osvetljenostih roženice za različne tipe svetlobnih virov [Schulmeister *et al.*, 2003]

	500 lux	100 lux	20 lux
Philips TLD 36W/red	80h 37 min	403h 05 min	2015h 27 min
	47h 27 min	237h 17 min	1186h 28 min
Philips dark-roomlamp red	3h 42 min	18h 30 min	92h 33 min
	2h 50 min	14h 12 min	71h 04 min
Philips TLD 36W/yellow	33 min	2h 45 min	13h 45 min
	21 min	1h 47 min	8h 55 min
Candle	13 min	66 min	5h 30 min
	10 min	52 min	4h 24 min
Philips Ecotone 58W (827)	8 min	43 min	3h 38 min
	6 min	31 min	2h 35 min
Philips TLD-S 58W (29)	8 min	41 min	3h 28 min
	5 min	27 min	2h 17 min
Osram Incandescent Light bulb 60W	7 min	39 min	3h 18 min
	5 min	29 min	2h 28 min
Osram Halost. 20W (Qu.Tungsten Halo)	7 min	35 min	2h 59 min
	5 min	27 min	2h 19 min
Philips TLD 36W/green	6 min	30 min	2h 31 min
	4 min	24 min	2h 04 min
Philips TLD-Standard 58W (25)	4 min	24 min	2h 03 min
	3 min	16 min	1h 24 min
Philips TLD-Standard 58W (33)	4 min	23 min	1h 56 min
	3 min	17 min	1h 25 min
Philips TLD-Deluxe 90 58W (940)	4 min	22 min	1h 50 min
	3 min	16 min	81 min
Philips TLD-Deluxe 90 58W (950)	3 min	15 min	75 min
	2 min	11 min	55 min
High-Output LED white	2 min	13 min	64 min
	1 min	9 min	49 min

4. Zaključki

Pokazali smo primer izračuna dveh faktorjev, s katerima lahko vrednotimo fotobiološke učinke svetil. Prvi opredeljuje nevarnost modre svetlobe za fotokemijske poškodbe mrežnice (*B*-faktor), drugi pa vpliv svetlobe na receptorje v svetlobno občutljivih ganglijskih celicah, ki uravnavajo tvorbo hormona melatonin – *M*-faktor. Natančneje povedano, ta dva faktorja povesta količino svetlobe z izbranim fotobiološkim učinkom v celotnem spektru svetila. S pomočjo znanih aktivacijskih spektrov smo analizirali svetlobe 17 vzorcev belih LED svetil brez sekundarne optike. Rezultati kažejo, da imajo hladna LED svetila večje *B*- in *M*-faktorje od nevtralnih, te pa večinoma večje od toplih. Vendar pa faktorja nista enolično povezana z vrednostjo korelirane barvne temperature CCT, saj obstajajo LED svetila z enako barvno temperaturo in znatno različnimi vrednostmi obeh faktorjev, zlasti *M*-faktorja. Obstajajo tudi svetila z zelo različnimi

vrednostmi CCT a enakimi M -faktorji. To potrjuje neustreznost CCT pri vrednotenju velikosti fotobioloških učinkov LED svetil.

Medtem ko za B -faktor želimo, da je vedno čim manjši, je v določenih primerih potreben majhen M -faktor (na primer za svetila v prostorih, kjer ne želimo prekinjene tvorbe hormona melatonin), za nekatere uporabe pa je zaželeno, da je čim večji. Svetila z višjim M -faktorjem omogočajo večjo budnost ponoči, večjo zbranost pri intenzivnem delu v pisarni, učinkovitejšo foto-terapijo. Ta se uporablja za zdravljenje depresije, pri potovanju čez več časovnih pasov, za stimulacijo v državah, kjer so noči zelo dolge itd. S svetili z višjim M -faktorjem lahko dosežemo večje učinke foto-terapije z manj energije. Če govorimo o cestni razsvetljavi in želimo, da so ponoči vozniki budni (se jim melatonin čim manj sprošča), mora biti M -faktor svetila čim višji.

Efekta, ki jih opisujeta B - in M -faktor, sta med seboj povezana, ker se aktivacijski krivulji $B(\lambda)$ in $M(\lambda)$ med seboj močno prekrivata. Zato imajo svetila z velikim M -faktorjem tudi velik B -faktor. To pomeni, da intenzivne fototerapije povečujejo možnosti fotokemijskih poškodb mrežnice. To velja v primeru, da so efekti fotokemijskih reakcij kumulativni, njihova regeneracija pa je premajhna. Vendar te dileme še niso razčiščene in so predmet sodobnih raziskav na področju fotobioloških in fotokemijskih znanosti.

S starostjo ima svetloba vedno manjšo možnost za fotokemijske poškodbe mrežnice, ker se veliko modre svetlobe absorbira na vedno bolj rumeni leči. Vsi polimeri (leča v očesu je biopolimer) na svetlobi rumenijo zaradi strukturnih sprememb snovi, ki jih povzročajo fotoni z dovolj veliko energijo. Pri teh procesih je modra svetloba bolj učinkovita od rdeče. Rumenenje očesne leče je torej naraven pojav. Rezultati kažejo, da z večjo starostjo leče odfiltrirajo vedno večji delež modre svetlobe, zato B - in M -faktorja hitro padata. To pomeni, da je vpliv svetlobe na poškodbe mrežnice in na tvorbo melatonina pri starejših opazovalcih manjši kot pri mlajših, pa čeprav je osvetljenost roženice enaka. Nekatere bolezni (npr. sladkorna in drugi vzroki za dodatno rumenenje leče) to razliko še povečajo, ker je taka leča še bolj rumena. Kot kaže, pa bo CIE standardizirala prepustnost očesa, ki je po starosti bistveno mlajši od današnjega povprečnega prebivalca. Če držijo že objavljeni literaturi podatki o odvisnosti prepustnosti leče od starosti, ima predlagani CIE opazovalec lečo, ki ustreza starosti bistveno pod 18 let. [Kessel *et al.*, 2010] Vsi preračuni s CIE-priporočeno prepustnostjo leče bodo torej dobro veljali le za mladino.

Če svetlobo uporabljamo za uravnavanje tvorbe melatonina na primer pri fototerapiji, svetimo direktno v oči, učinkovitost terapije pa lahko še povečamo z uporabo snovi za maksimalno odprtost zenic. Tako sta bila določena tudi aktivacijska spektra $B(\lambda)$ in $M(\lambda)$. V vsakodnevni praksi praviloma ne gledamo direktno v svetilo, ampak v oči prihaja svetloba, ki se odbija od površin v okolici. Odbita svetloba ima v splošnem drugačno spektralno porazdelitev kot svetloba, ki jo oddajajo luči. Velika večina površin določen del modre svetlobe absorbira, zato pričakujemo, da efekt odbite svetlobe na B - in M -faktor ni zanemarljiv. Treba je upoštevati tudi oženje zenic in faktor zaprtih vek oz. mežikanje. Veliko ljudi nosi kontaktne leče ali očala, kar prav tako lahko spremeni spektralno porazdelitev svetlobe, ki pade na mrežnico. Potrebno je tudi poudariti, da so bile naše meritve izvedene na LED svetilih brez sekundarne optike. Vplive vseh teh dejavnikov nameravamo raziskati v bodoče.

Za nadaljnji razvoj LED svetil in njihovo uporabo v razsvetljavi bi utegnili biti zanimivo, kje je optimalno mesto LED vrha in pa vrha, ki ga povzroči luminiscenčna snov ter kolikšno je najugodnejše razmerje njunih intenzitet. Za zdaj proizvajalci iščejo odgovor na to vprašanje v čim višji vrednosti CRI in manjših CCT vrednostih; tako so izdelali LED svetila z izrazito visokim CRI. Dejstvo pa je, da drugih učinkov še ne obravnavajo. Naša raziskava kaže, da bi lahko razmeroma enostavno ovrednotili tudi fotobiološke učinke svetil. Skupni podatki: CRI, CCT, B -faktor in M -faktor, dajejo celovitejšo informacijo o lastnostih svetlobe.

5. LITERATURA

1. 2006/25/EC, D. (2006). Directive 2006/25/EC of the European Parliament and of the Council.
2. Behar-Cohen, F., *et al.*, (2011): *Light-Emitting Diodes (Led) for Domestic Lighting: Any Risks for the Eye?* V: Progress in Retinal and Eye Research, **30**, 239-257.
3. Berson, D. M., (2003): *Strange Vision: Ganglion Cells as Circadian Photoreceptors*. V: TRENDS in Neurosciences, **26**, 6,
4. Brainard, G. C., *et al.*, (2001): *Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor*. V: The Journal of Neuroscience, **21**, 16, 6405–6412.
5. CIE (2002). Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems, CIE Standard.
6. CIE (2009). A Computerized Approach to Reflection, Transmission, and 5 Absorption Characteristics of the Human Eye, Draft.
7. Dawson, T. L., (2010): *Development of Efficient and Durable Sources of White Light*. V: Coloration Technology, **126**, 1, 1-10.
8. Delori, F., *et al.* (2005). Compact Presentation of the Mpe for Ocular Safety (Ansi 2000) with Emphasis on Ophthalmic Devices.
9. Figueiro, M. G., *et al.*, (2008): *Retinal Mechanisms Determine the Subadditive Response to Polychromatic Light by the Human Circadian System*. V: Neuroscience Letters, **438**, 242-245.
10. Gunde, M. K., *et al.* (2010). Fotobiološka Varnost Nekaterih Virov Nekoherentnih Umetnih Optičnih Sevanj.
11. Gunde, M. K. e., *et al.*, (2009): *Color Rendering Properties of Light Continuously Modulated by an Electrochromic Switchable Device*. V: Color research and application, **34**, 4, 321-329.
12. Ham, W., *et al.*, (1976): *Retinal Sensitivity to Damage from Short Wavelength Light*. V: Nature, **260**, 153-155.
13. Kessel, L., *et al.*, (2010): *Age-Related Changes in the Transmission Properties of the Human Lens and Their Relevance to Circadian Entrainment*. V: J Cataract Refract Surg., **2010**, 36, 308-312.
14. Khan, N. and N. Abas, (2011): *Comparative Study of Energy Saving Light Sources*. V: Renewable and sustainable energy review, **15**, 296-309.
15. Kvaskoff, M. and P. Weinstein, (2010): *Are Some Melanomas Caused by Artificial Light*. V: Medical Hypotheses, **75**, 3, 305-311.
16. Lister, G., (2004): *The Drive for Energy Efficient Lighting*. V: Optic and Photonics News,
17. Mahr, K., *et al.*, Eds. (1969). Ein Auf Den Planckschen Strahler Bezogenes Koordinatensystem Fuer Die Farbart. Techn.-Wiss. Abh. Osram, Springer.
18. Margrain, T. H., *et al.*, (2004): *Do Blue Light Filters Confer Protection against Age-Related Macular Degeneration*. V: Progress in Retinal and Eye Research, **23**, 523-531.
19. Norren, D. v. and T. G. M. F. Gorgels (2011). The Action.
20. Pauley, S. M. (2004). Lighting for the Human Circadian Clock. Idaho.
21. Roberts, D. (2011). "Artificial Lighting and the Blue Light Hazard." Retrieved 02.02.2010, 2010.
22. Schubert, E. F. and J. K. Kim, (2005): *Solid-State Light Sources Getting Smart*. V: Science, **308**, 27 may 2005, 1274-1278.
23. Schulmeister, K., *et al.* (2003). Application of Melatonin Suppression Action Spectra on Practical Lighting Issues. Proceedings. Orlando, Florida—EPRI Lighting Research Office: 167-178.

24. Shur, M. S. and A. Žukauskas, (2005): *Solid-State Lighting: Toward Superior Illumination*. PROCEEDINGS OF THE IEEE,
25. Sliney, D. H., (2002): *How Light Reaches the Eye and Its Components*. V: International Journal of Toxicology, **21**, 501-209.
26. Španinger, K., et al., (2009): *Cirkadiani Ritem Pri Ljudeh*. V: Zdravniški Vestnik **78**, 651–657.
27. Thapan, K., et al., (2001): *An Action Spectrum for Melatonin Suppression: Evidence for a Novel Non-Rod, Non-Cone Photoreceptor System in Humans*. V: Journal of Physiology, **535**, 261–267
28. Uredba (2010). Uredba O Varovanju Delavcev Pred Tveganji Zaradi Izpostavljenosti Umetnim Optičnim Sevanjem.

Naslovi avtorjev:

Katja Malovrh Rebec, univ. dipl. arh.
Tron Elektronika d.o.o., Jurčkova cesta 233, Ljubljana
Elektronski naslov: katja.rebec@gmail.com

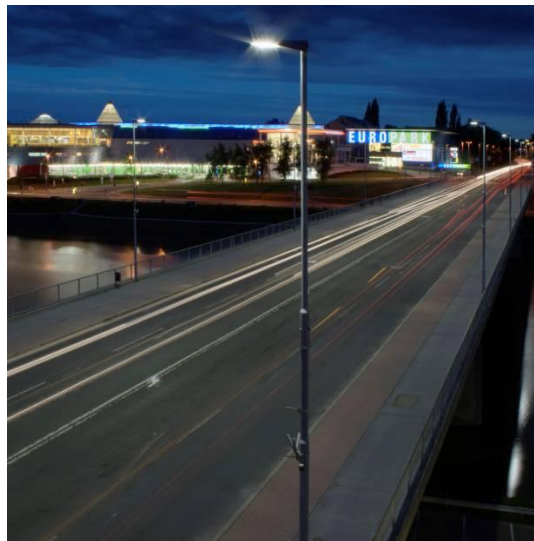
Doc. dr. Marta Klanjšek Gunde, univ. dipl. fiz.
Kemijski inštitut Ljubljana, Hajdrihova 19
Tel.: 01 4760291, Fax: 01 4760300
Elektronski naslov: marta.k.gunde@ki.si

dr. Matej Bernard Kobav univ. dipl. inž. el.
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo
Fakulteta za elektrotehniko
Univerza v Ljubljani
Tržaška 25, 1000 Ljubljana
(+386 1) 4768 759, (+386 1) 4768 289
matej.kobav@fe.uni-lj.si

prof. dr. Grega Bizjak univ. dipl. inž. el.
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo
Fakulteta za elektrotehniko
Univerza v Ljubljani
Tržaška 25, 1000 Ljubljana
(+386 1) 4768 446, (+386 1) 4768 289
grega.bizjak@fe.uni-lj.si

Aleš Filipič

TRAJNOSTNA REKONSTRUKCIJA OSVETLITVE VOZIŠČA NA OBJEKTU TITOV MOST V MARIBORU



Povzetek

Na glavnem vhodu v mestno občino Maribor, na Titovem mostu, smo zastarelo neučinkovito razsvetljavo zamenjali z novo na osnovi vrhunske tehnologije LED.

Nova rešitev upošteva smernice trajnostne energetike in je maksimalno fleksibilna in prilagodljiva za vse izzive prihodnosti ter okolju in ljudem prijazna v vseh pogledih.

Ob povišanju nivojev osvetlitve, zagotavljanju vrhunske enakomernosti svetlosti preko 0,7 in s tem zagotovljenega povišanja prometne varnosti je priključna moč glede na stanje pred rekonstrukcijo znižana na samo 35%.

Abstract

On the main entrance to the Municipality of Maribor, on the Bridge Titov most, we changed old inefficient Luminaries with new ones based on state of the art LED technology.

New solution fulfills guidelines for Sustainable Energetics, is maximal flexible for all challenges in the future and is environment and people friendly in any aspect.

With higher illumination levels and provided excellent uniformity of over 0,7 the road safety is maximized with only 35% energy consumption, compared to value before reconstruction.

Rekonstrukcija Titovega mosta v Mariboru

V sodelovanju s podjetjem Nigrad d.d. smo poleti 2011 izvedli rekonstrukcijo osvetlitve cestišča Titovega mosta v Mariboru



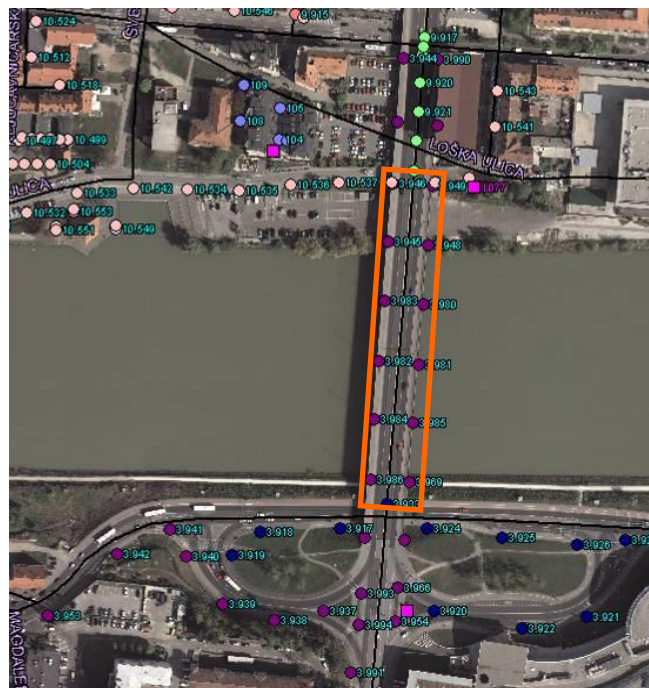
Cilj:

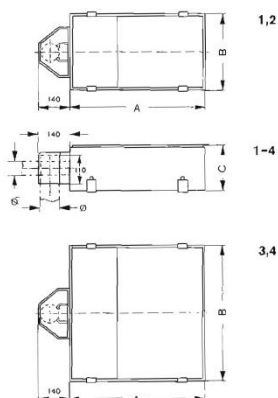
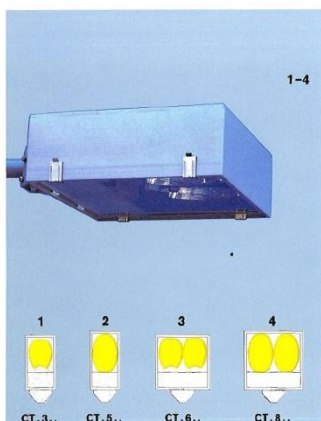
Zastarelo neučinkovito razsvetljavo
zamenjati z novo.

Nova razsvetljava naj zagotovi

boljše svetlobnotehnične rezultate in bo
maksimalno **energetsko učinkovita** ter
okolju in ljudem prijazna v vseh
pogledih.

Rešitev naj upošteva smernice **trajnostne enrgetike** in naj bo maksimalno **fleksibilna in prilagodljiva** v prihodnosti.





Osvetlitev pred rekonstrukcijo:
Svetilke Elektrokovina CT 6866-2150N,
2 x HSE 150W, z ravnim steklom
starost => 25 let

Priključna moč svetilk pri polni moči:
2 x 176 W = 352 W
V reduciranem režimu deluje 1 sijalka:
176 W

Montažna višina: cca. 11 m
Razmak: cca. med 32 in 36 m

Type of Luminaire	No. of Lamps	Light Sources					Dimensions (mm)					Circuits
		HP Mercury Lamp	HP Sodium Lamp		HP Metal Halide Lamp		A	B	C	Ø	Ø ₁	
			Ovoid	Tubular	Ovoid	Tubular						
CT 6856-2250 NT		-	-	250	-	-						K
CT 6856-2250 MT		-	-	-	-	250						K
CT 6856-2400 NT		-	-	400	-	-						K
CT 6856-2400 MT		-	-	-	-	400						K
CT 6866-2150 N		-	150	-	-	-						K
4 CT 6866-2250	2	250	-	-	-	-	670	670	215	89	60	I, K
CT 6866-2250 N		-	250	-	-	-						K
CT 6866-2250 M		-	-	-	250	-						K
CT 6866-2400		400	-	-	-	-						I, K
CT 6866-2400 N		-	400	-	-	-						K
CT 6866-2400 M		-	-	-	400	-						K

Uporabili smo svetilke Streetlight 10 midi LED s paketom upravljanja Plus s številnimi naprednimi funkcijami:

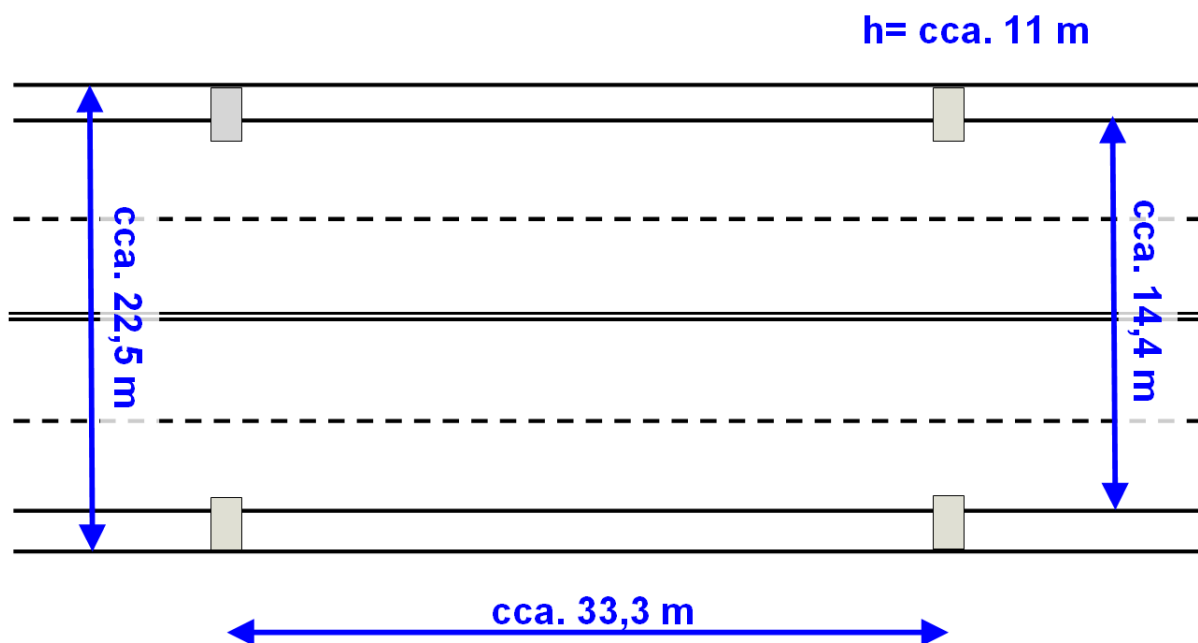
- vrhunsko svetlobno tehniko,
- učinkovitim termičnim managementom,
- modularnim "eko" konceptom konstrukcije,
- maksimalno učinkovitostjo,
- inteligentnim upravljanjem.



Posodobljen Titov most je tudi podnevi sodoben in prijazen pozdrav vsem obiskovalcem mestne občine Maribor



1. Geometrija objekta

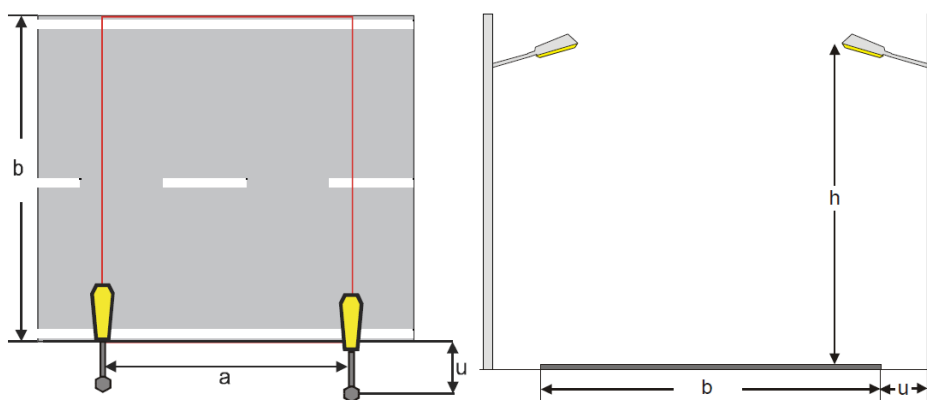


Cesta

Povzetek, Cesta

Pregled rezultatov, Cesta

Izračun projekta



Podatki o svetilki

Proizvajalec :
 Tipska oznaka : Streetlight 10 midi na kandelabru
 Ime svetilke : Streetlight 10 midi na kandelabru
 Sijalke : 2 x 32 LED nw / 5000 lm

Profil ceste : z dvosmernim prometom
 Širina vozišča (b): 14.40 m
 Število vozniških pasov : 4
 Cestna obloga : R3
 q0 : 0.08
 Promet po desni

Vnos svetilk : obojestransko
 Višina svetlobnega vira (h): 11.00 m
 Razdalja med kandelabri (a): 33.00 m
 Razmak do ceste (u): 3.80 m
 Nagib svetilke (δ): 0.00°
 Faktor vzdrževanja : 0.94

Izračun projekta

Svetlost

Pozicija opazovalca 1 : x=-60.00m, y=1.80m, z=1.50m
 Srednja : 1.54 cd/m² (ME2 min. 1.5)
 U0 (Min/Srednja) : 0.75 (ME2 min. 0.4)

Pozicija opazovalca 2 : x=-60.00m, y=5.40m, z=1.50m
 Srednja : 1.54 cd/m² (ME2 min. 1.5)
 U0 (Min/Srednja) : 0.75 (ME2 min. 0.4)

Pozicija opazovalca 3 : x=93.00m, y=9.00m, z=1.50m
 Srednja : 1.54 cd/m² (ME2 min. 1.5)
 U0 (Min/Srednja) : 0.75 (ME2 min. 0.4)

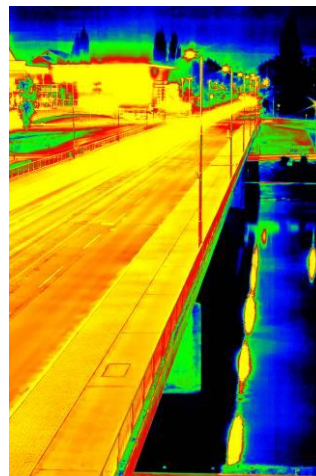
Pozicija opazovalca 4 : x=93.00m, y=12.60m, z=1.50m
 Srednja : 1.54 cd/m² (ME2 min. 1.5)
 U0 (Min/Srednja) : 0.75 (ME2 min. 0.4)

Vzdolžna enakomernost

UI (B1: x = -60.00, y = 1.80, z = 1.50)	: 0.77	(ME2 min. 0.7)
UI (B2: x = -60.00, y = 5.40, z = 1.50)	: 0.78	(ME2 min. 0.7)
UI (B3: x = 93.00, y = 9.00, z = 1.50)	: 0.78	(ME2 min. 0.7)
UI (B4: x = 93.00, y = 12.60, z = 1.50)	: 0.77	(ME2 min. 0.7)

Bleščanje / sijavost okolja

TI (B2: y=5.40m)	: 6 %	(ME2 maks. 10)
SR	: 0.67	(ME2 min. 0.5)



Meritve osvetljenosti

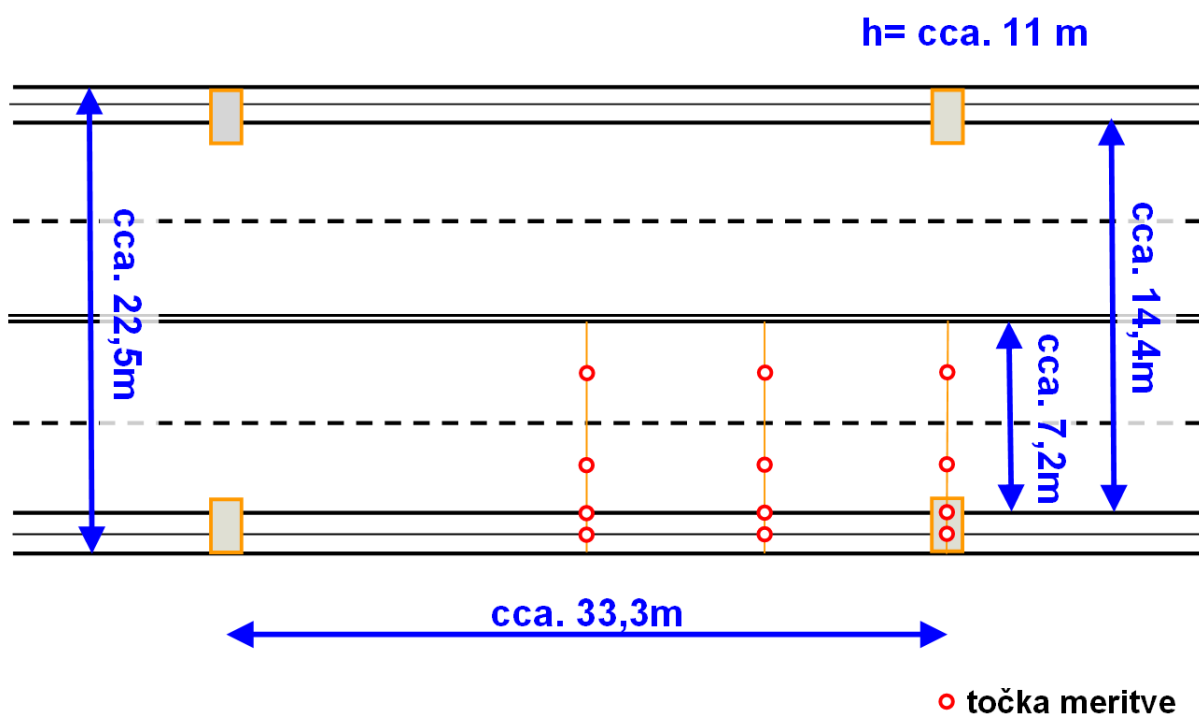
Na izbranem odseku smo s podjetjem Nigrad izvedli meritve osvetlitve pred in po rekonstrukciji.

Meritve pred rekonstrukcijo:

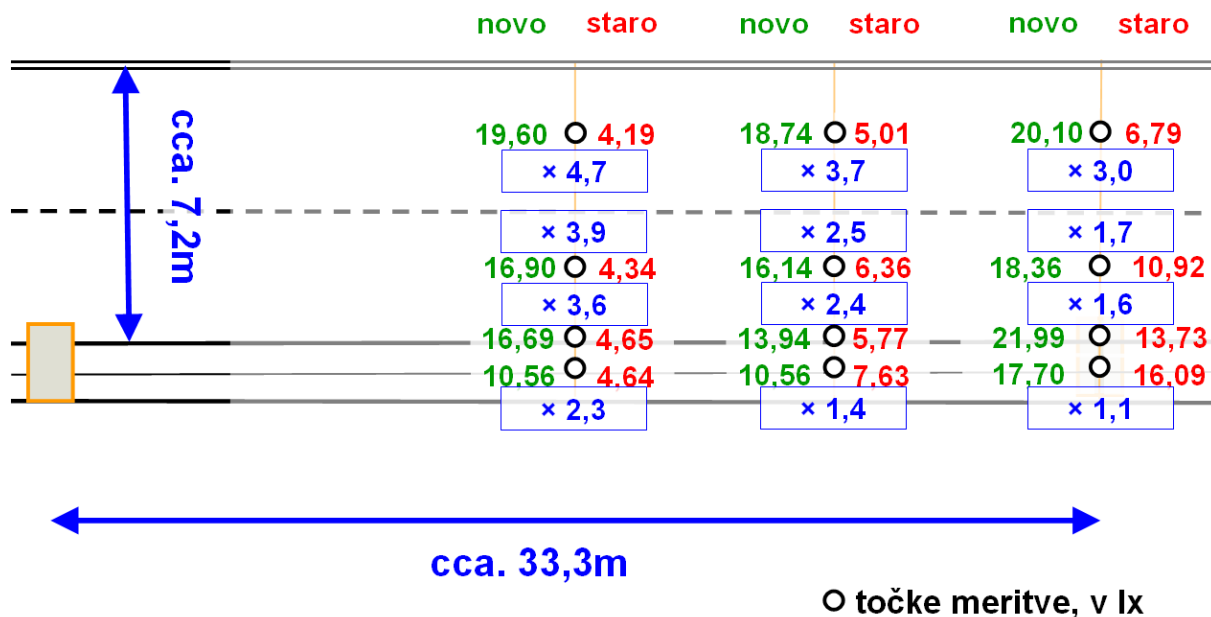
23.5.2011 ob cca. 22:00, $T_a = 16^{\circ}\text{C}$

Meritve po rekonstrukciji:

10.8.2011 ob cca. 21:30, $T_a = 15^{\circ}\text{C}$



Meritve osvetljenosti

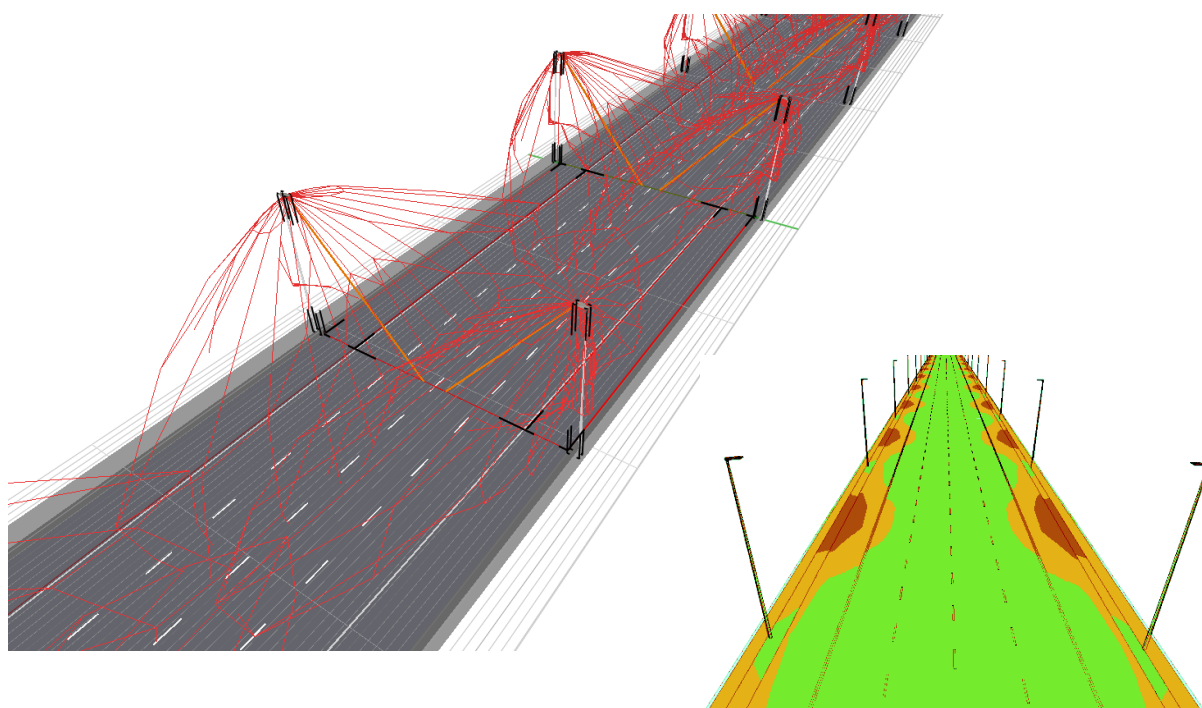


Dosegli smo bistveno višje nivoje in enakomernosti osvetlitve. Najboljše rezultate smo dosegli na najbolj kritičnih točkah – na najbolj oddaljenih točkah od pozicije svetilk (4,7x višji nivo).

Svetlobo smo kljub popolnoma horizontalnemu položaju svetilk poslali "široko in naprej" na cesto v smereh, kjer svetlobo najbolj potrebujemo.

Najmanj svetlobe potrebujemo pod svetilko!

Z nižjimi kandelabri (cca. 9 m v konkretnem primeru) bi bili rezultati še boljši. Trend sodobnih inštalacij z učinkovito svetlobno tehniko je nižanje montažnih višin svetilk in s tem tudi nižanje stroškov, povezanih s kandelabri in vzdrževanjem.



Izračun prihranka energije

Streetlight 10 LED plus **NOVO STANJE**

povprečne letne ure delovanja dnevno

nivo	35%	50%	100%
5,0			
1,0			
4,5			

10,5	skupaj

1 svetilka				Število svetilk: 12	
povprečna priključna moč (w)	kWh na dan	ure/leto	kWh na leto	kWh na dan	kWh na leto
48	0,24	1.825,0	88	2,88	1.051
68	0,07	365,0	25	0,82	298
141	0,63	1.642,5	232	7,61	2.779
Povr. 50k ur	0,94	3.832,5	344		4.128

35%

CT 2x150W **STARO STANJE**

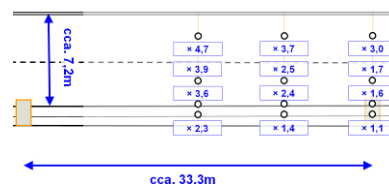
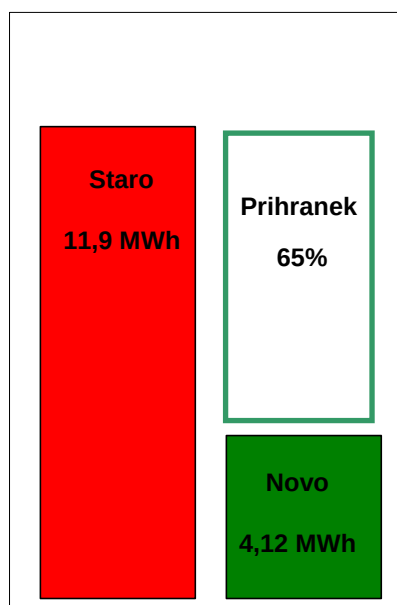
povprečne letne ure delovanja dnevno

nivo	100%	50% (izklop 1 sijalke)
5,0		
5,5		

10,5	skupaj

1 svetilka				Število svetilk: 12	
priključna moč (w)	kWh na dan	ure/leto	kWh na leto	kWh na dan	kWh na leto
352	1,76	1.825,0	642	21,12	7.709
176	0,97	2.007,5	353	11,62	4.240
	2,73	3.832,5	996		11.949

100%



Razlika staro/novo:

Ob **povišanju nivojev** osvetlitve, **zagotavljanju vrhunske enakomernosti** svetlosti in s tem **povišanja varnosti** je priključna moč glede na stanje pred rekonstrukcijo **znižana za kar 65%**.

Na samo 12 svetilkah smo uspeli znižati porabo energije za kar 7,8 MWh v enem letu.

Uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaženja okolja, 5. člen
(ciljne vrednosti za razsvetljavo cest in javnih površin)

(1) Letna poraba elektrike vseh svetilk, ki so na območju posamezne občine vgrajene v razsvetljavo občinskih cest in razsvetljavo javnih površin, ki jih občina upravlja, izračunana na prebivalca s stalnim ali začasnim prebivališčem v tej občini, ne sme presegati ciljne vrednosti 44,5 kWh.

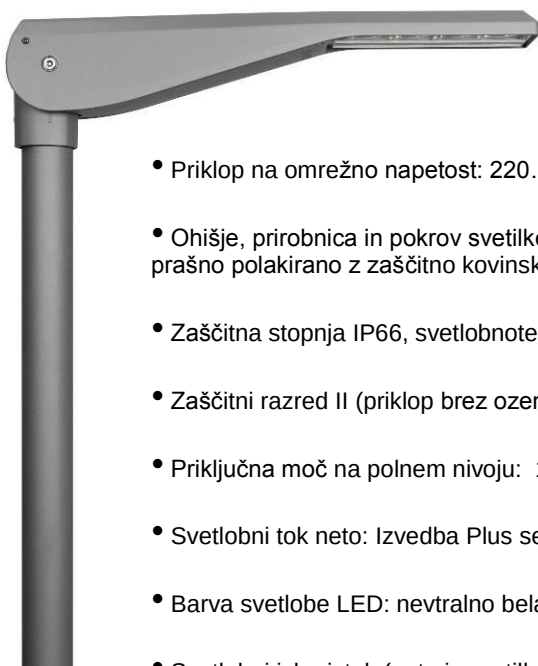
Opis uporabljenih tehnologij in rezultati

Uporabljene tehnologije:

- vrhunska svetlobna tehnika,
- učinkovit termični management,
- modularnim "eko" koncept konstrukcije,
- maksimalna učinkovitost in inteligentno upravljanje.



Streetlight 10 midi plus, **tehnični podatki**



- Priklop na omrežno napetost: 220...240V AC 50/60Hz (po SIST IEC 60038:2010)
- Ohišje, prirobnica in pokrov svetilke v celoti iz tlačno ulitega aluminija (ALSi12(CU)), vse prašno polakirano z zaščitno kovinsko sivo barvo DB702S,
- Zaščitna stopnja IP66, svetlobnotehnični modul IP 66 (možnost zamenjave)
- Zaščitni razred II (priklop brez ozemljitve in s tem povezanega obveznega preskušanja)
- Priključna moč na polnem nivoju: 111 – 159 W (celotno območje: 14 -159 W)
- Svetlobni tok neto: Izvedba Plus serijsko: 8800 lm; (na objektu Titov most 10000 lm)
- Barva svetlobe LED: nevtralnno bela svetloba
- Svetlobni izkoristek (neto iz svetilke): 77.9 lm/W pri 100% pri Ta 10° C
- Nagib svetilke: -15° , -10° , -5° , 0° , 5° , 10° , 15°
- Montaža: direktni natik (60/76mm), s strani (42,60mm)
- Masa: 11,4 kg
- Priporočena višina montaže: 7-10m (na objektu Titov most cca. 11 m)

Svetlobna tehnika

Vrhunske svetlobnotehnične lastnosti zagotavlja patentiran "V" optični sistem LED

„3-conska fasetirana optika LED“

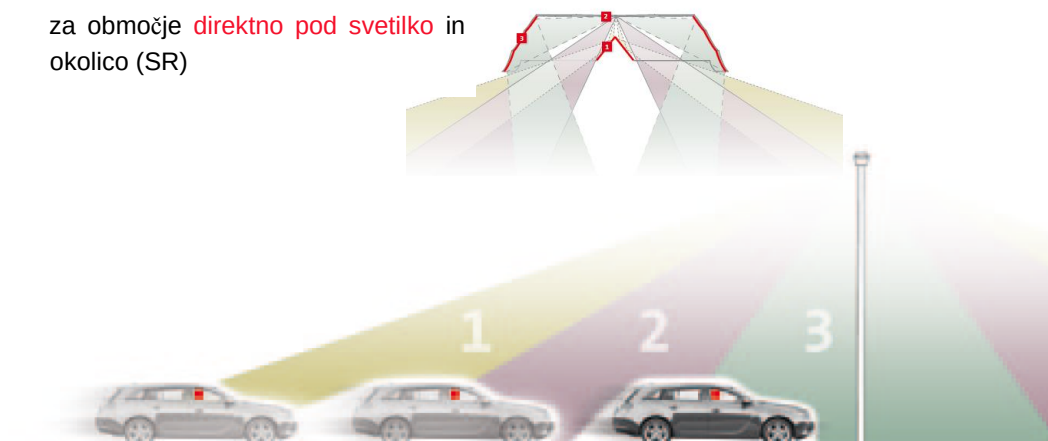


Reflektor z visoko definicijo

High Definiton Reflector (HD-R)

Usmerja svetlobo asimetrično na cesto. Ob pravokotnem pogledu v modul svetleče diode LED niso direktno vidne.

- Cona 1: za izjemno **širino sevanja** in s tem velike razmake med svetilkami ter z minimalnim bleščanjem v smeri pogleda voznika
- Cona 2: za enakomerno in homogeno osvetlitev v **osrednjih conah** ter z minimalnim bleščanjem v smeri pogleda voznika
- Cona 3: za območje **direktno pod svetilko** in okolico (SR)



1. Svetlobna tehnika

Bleščanje iz svetilk LED z odprtimi diodami ali LED z lečami

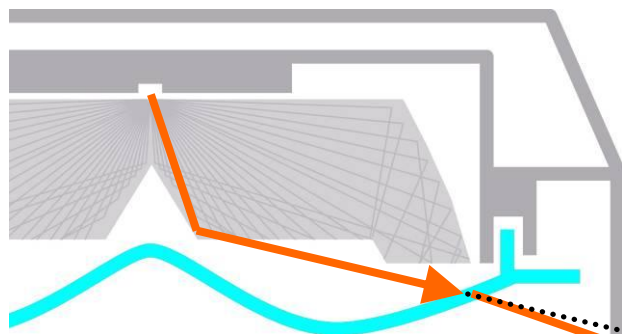
LED svetilke z optimi diodami ali z diodami z lečami so za cestno razsvetljavo lahko nevarne. Individualne svetle točke proizvajajo ekstremno visoke svetlosti in ob direktnem pogledu v svetilko povzročajo prekomerno bleščanje. Ta nevarnost se bo z razvojem močnejših diod v prihodnosti še stopnjevala.



Brez bleščanja zaradi reflektorja HD-R v Streetlight 10

Fasete reflektorja z visoko definicijo razstavijo svetlobo LED v množino manjših svetlobnih točk brez bleščanja. Visoke svetlosti posameznih LED ustvarijo veliko svetlo površino, ki svetlobo usmerja na cesto pod najvišjimi možnimi koti.

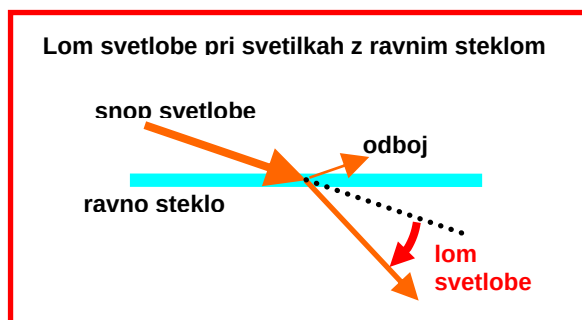
Rezultat: izjemno ugodne vrednosti TI (relativni porast praga zaznavanja)



Valovito ukrivljen stelobnotehnični pokrov High Definiton Cover (HD-C)

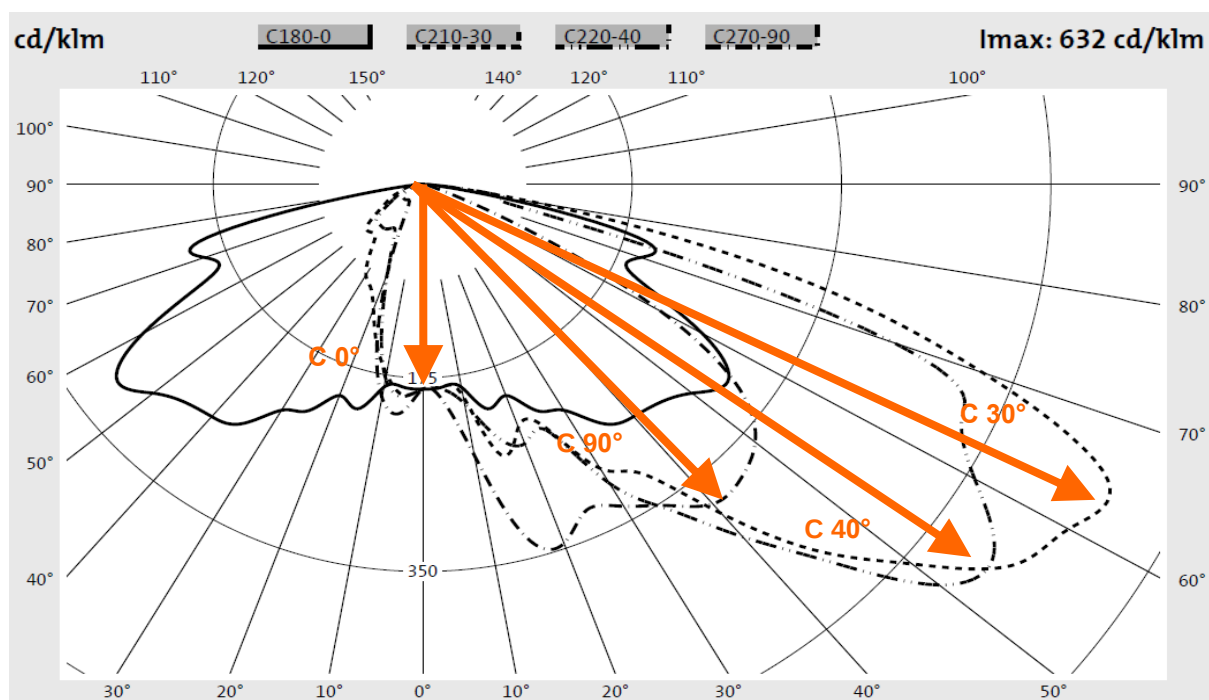
Zagotavlja maksimalno širino sevanje svetlobe svetilke in s tem omogoča velike razmake med svetilkami.

Ukrivljenost pokrova odpravlja negativen efekt loma svetlobe pri svetilkah z ravnim steklom, ki ob prehodu svetlobe pod kotom smer žarka usmeri navzdol.



pri ukrivljenem svetlobnotehničnem pokrovu je lom svetlobe minimalen





Polarni diagram jasno prikazuje, da je najmanj svetlobe usmerjene pod svetilko. Največ svetlobe gre v zelenih smereh na cesto, kjer potrebujemo največ svetlobe.

Svetilke so na voljo tudi v asimetričnih izvedbah za **osvetljevanje prehodov za pešce**, za enakomerno, asimetrično porazdelitvijo v desno ali v levo, ter v manjši izvedbi mini: s specialnim optičnim sistemom za **osvetljevanje kolesarskih stez** in ožjih poti in v izvedbi za direkten priklop **na nizkovoltno napetost** (primerno za sisteme na solarno ali vetrno energijo)



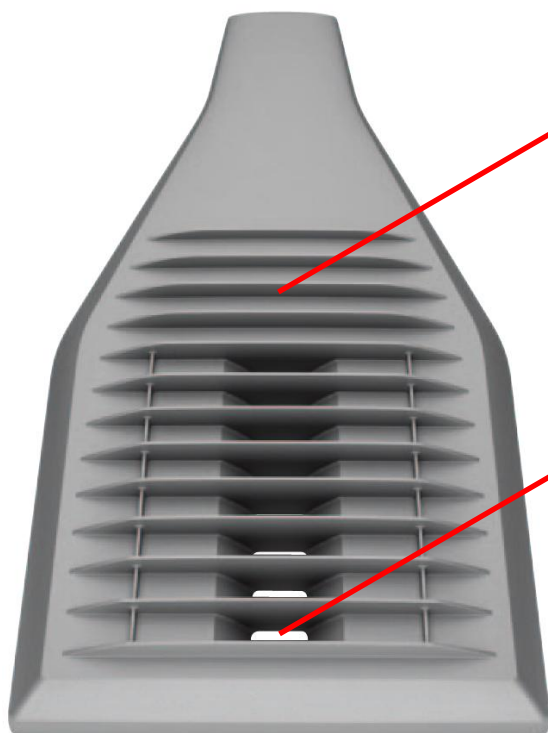
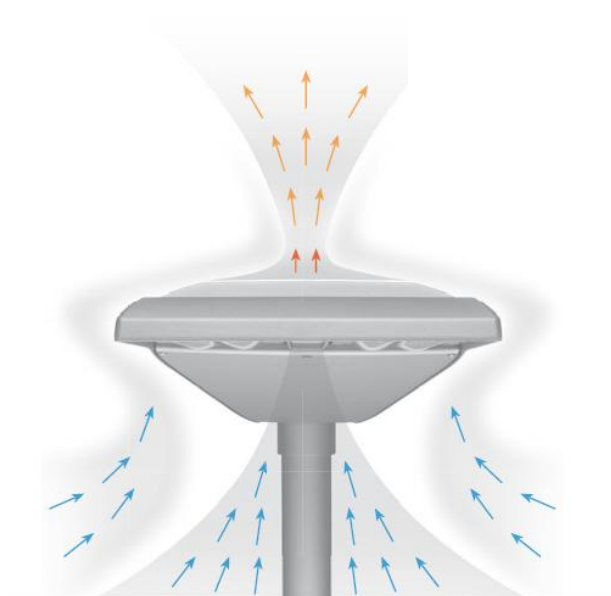
2. Termični management

Princip konvekcije

Zaradi upoštevanja fizikalnega principa konvekcije je povišana temperatura, ki jo proizvedejo LED, optimalno oddana v prostor.

Zaradi razlike v zračnem pritisku pride do premikanja zraka: pri tem hladnejši zrak s spodnje strani doteka na ohišje. Del zračnega toka se pomika stransko ob ohišju, preostali del pa skozi osrednje nameščene odprtine v ohišju.

Dvigajoči zračni tok prevzema in odvaja toploto navzgor in dovaja hladen zrak s spodnje strani.



Hladilna rebra

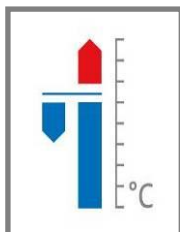
Hladilna rebra na ohišju povečujejo površino in izboljšujejo izmenjavo toplote. Oblikovana so tako, da se listje ne more zatakni med njih. Ploščato ohišje iz aluminijeve litine omogoča samočistilno funkcijo – dež bo odplaknil vse prašne delce.

Hladilne odprtine

Edinstven hladilni sistem svetilk Streetlight 10 midi: vertikalne zračne odprtine zagotavljajo konstanten pretok in hkrati preprečuje kopičenje toplote.

Individualni moduli LED so pritrjeni v ohišju, zaščiteni pred vremenskimi vplivi.

Temperaturna zaščita



Je sistem, ki neprestano nadzoruje temperaturo vsakega modula LED in pogonske elektronike. Ob pojavu povišane temperature se svetlobni nivo in moč samodejno znižata na nivo, ki svetilki omogoča ohlajevanje.

Po dosegu varnega temperaturnega območja se moč in svetlobni tok povrneta na izhodiščni nivo.

Ta funkcija ima izključno zaščitni namen za zagotavljanje dolge navedene obratovalne dobe kljub nepredvidenemu obratovanju (na primer pri nenamernemu vklopu čez dan pri zelo visokih temperaturah ali direktnemu sevanju sonca na delujočo svetilko).

Med obratovanjem v pričakovanih pogojih delovanja se temperatura v svetilki nahaja globoko v varnem temperaturnem območju delovanja.

Vse svetilke za tehnično cestno razsvetljavo LED Siteco so opremljene z opisano temperaturno zaščito..



Ohišje svetilke in svetlobnotehnični moduli LED so opremljeni z GORE-TEX® membranskimi sistemi za izenačevanje zračnega pritiska.

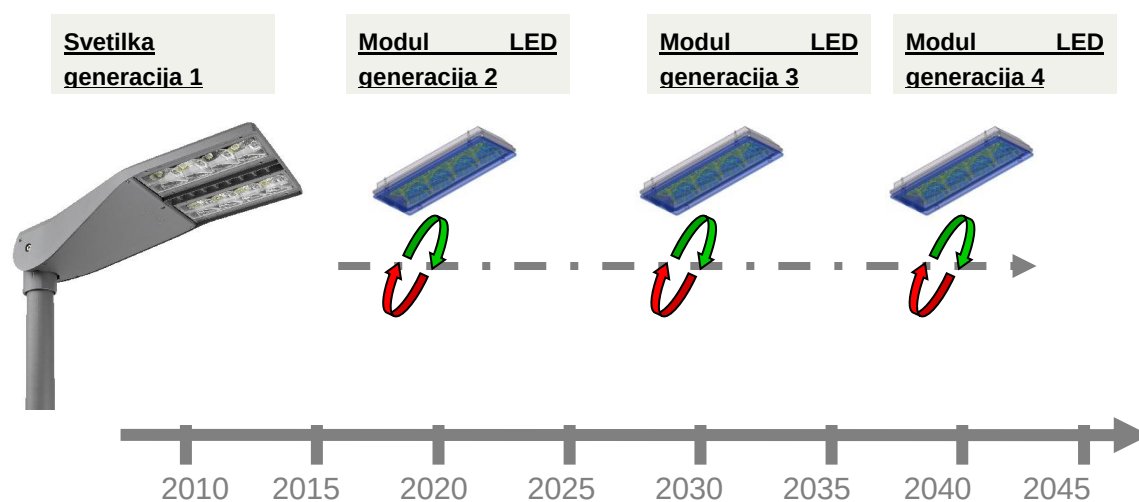
Zagotavljajo "dihanje" in ventilacijo notranjosti ter s tem odpravljajo negativne posledice dodatnih pritiskov na elemente v notranjosti.

Zaščitna stopnja celotne svetilke IP66 je ohranjena.



Pogled na modul LED z zgornje strani, kjer je vidna membrana za izenačevanje zračnega pritiska v modulu.

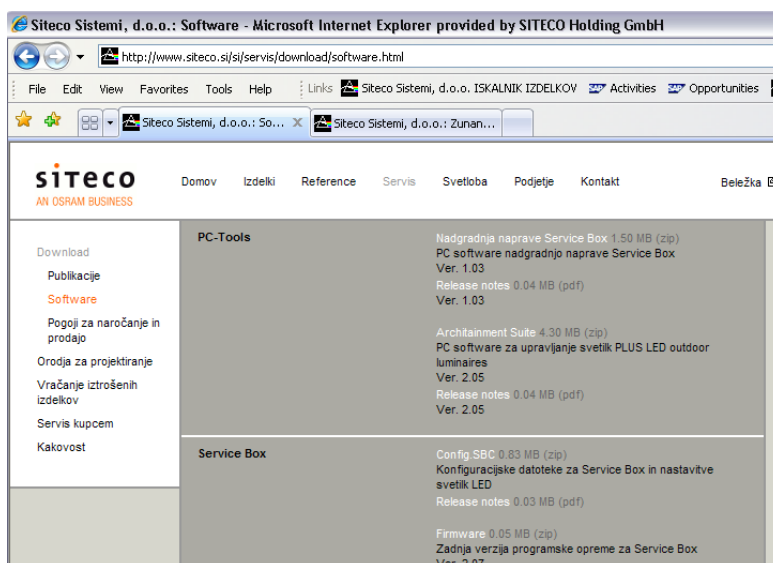
3. Modularna "eco" konstrukcija svetilke



Zagotovljeno je posodabljanje svetilke v prihodnosti z vedno najučinkovitejšo tehnologijo brez potrebe po zamenjavi celotne svetilke.

Na spletni strani www.siteco.si so na voljo programi za upravljanje razsvetljave z napravo Service Box in posodobitve programske opreme svetilk LED (firmware).

S tem bo možno aktualizirati svetilke tudi z dodatnimi funkcijami v prihodnosti.



Edinstven ekološki design za trajnostni razvoj

Varovanje materialov:

Ob zamenjavi modula LED kar 90% svetilke ostane na kandelabru v obliki ohišja in nosilca električnih komponent. Noben drug ponudnik na trgu ne ponuja tako ekološke rešitve. Ohranitev materialov pomeni tudi izvrstno ohranjanje vrednosti za upravljavce razsvetljave.

90%



10%

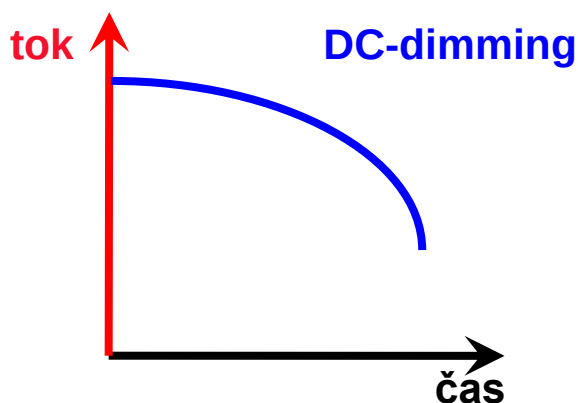
Fleksibilne komponente:

Ob zamenjavi modula Streetlight 10 LED zamenjamo le 10% svetilke. Zamenjavo vitkega in zelo lahkega modula izvedemo v nekaj hitrih korakih.

4. Učinkovitost in inteligentno upravljanje

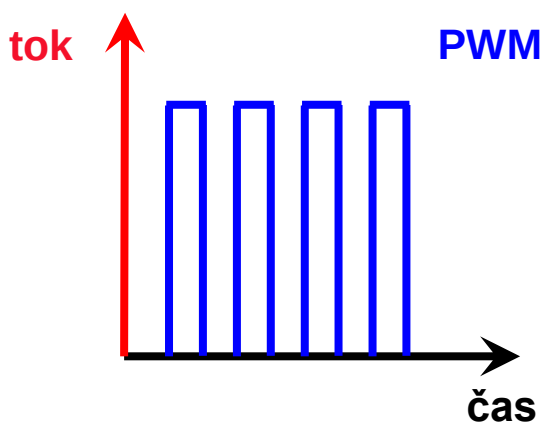
Najučinkovitejša metoda za zatemnjevanje cestnih svetilk LED je zatemnjevanje z zniževanjem električnega toka skozi LED (**DC-dimming**), ki niža termično obremenitev diod LED, kar ugodno vpliva na delovanje in viša učinkovitost celotnega sistema svetilke.

Vse svetilke za tehnično cestno razsvetljavo LED Siteco za zatemnjevanje uporabljajo metodo DC-dimming.



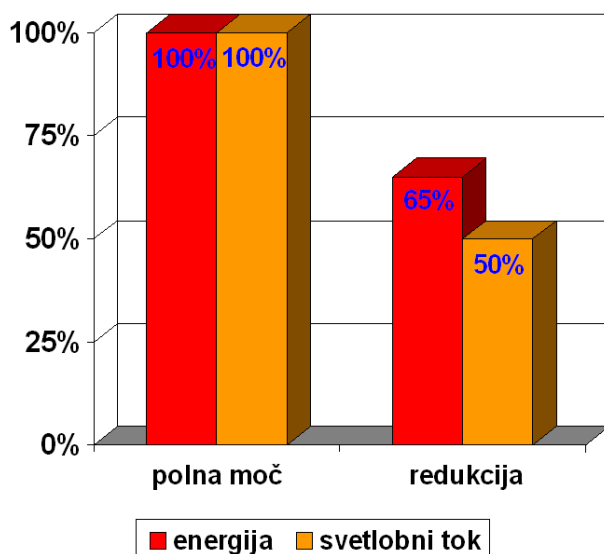
Manj učinkovita metoda za zatemnjevanje cestne razsvetljave LED je pulzno-širinska modulacija (**PWM/ Pulse Width Modulation**), s katero ob nespremenjeni napetosti in toku, svetlečo diodo zelo hitro vklapljam in izklapljam (osciliranje). Svetlost zaznavamo kot povprečno vrednost med vključenim in izključenim stanjem svetleče diode. Metoda PWM je primerna za RGB aplikacije (reklamne table, barvni poudarki).

Ob tem, da je manj učinkovita od zatemnjevanja toka, lahko metoda PWM povzroči stroboskopske efekte in težave ob snemanju npr. varnostnih kamer ali kamer v vozilih, ki bodo v prihodnosti vedno bolj prisotne.

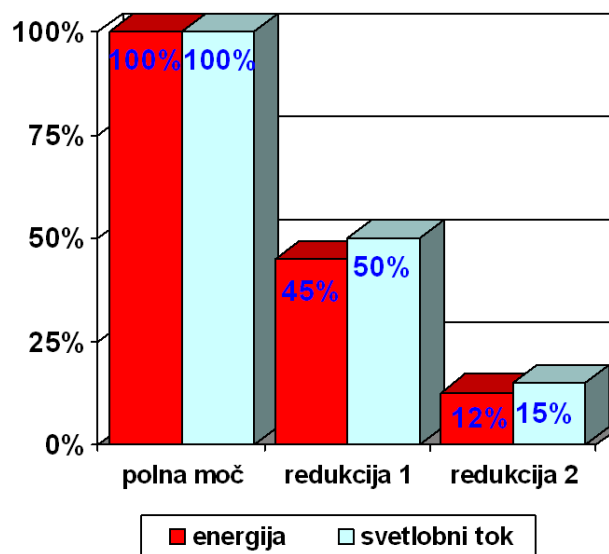


Primerjava porabe energije v reduciranem režimu

Visokotlačne "klasične" sijalke
(HST) - redukcija s preklopnikom



Streetlight 10 LED midi, plus
metoda zniževanja toka LED Siteco (DC-dimming)



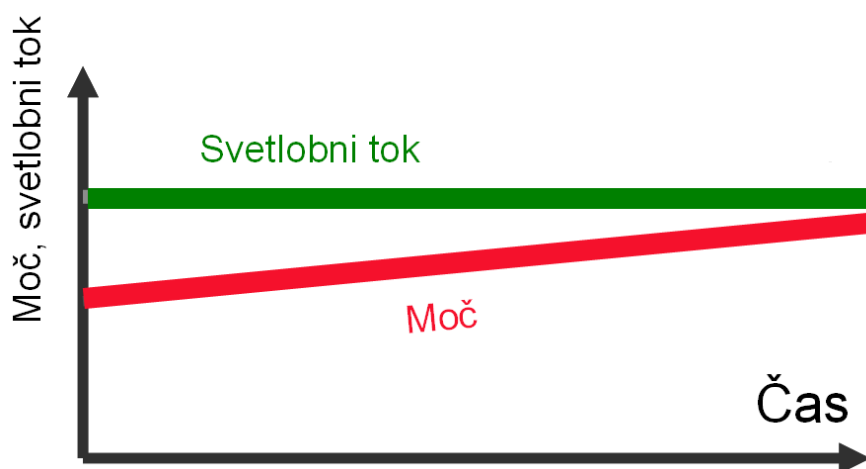
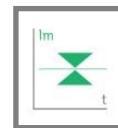
Na prikazanih grafih vidimo, da so z metodo zatemnjevanja z zniževanjem toka skozi LED (DC-dimming) prihranki energiji večji od nivoja oddajanja svetlobe. Tako znaša pri svetlobnem toku 50% poraba energije le približno 45%.

Sposobnost zatemnjenega delovanja LED razsvetljave brez izgub - celo z dodatnimi prihranki, je razlog, da je uporaba LED razsvetljave brez uporabe zatemnjevanja izjemno neracionalna in okolju neprijazna odločitev in je v nasprotju s smernicami za trajnostni razvoj.

Časovno-odvisno upravljanje svetlobnega toka/constant luminous flux control

Je mikroprocesorsko krmiljen elektronski sistem, ki svetlobni tok ves čas obratovalne (živiljenjske) dobe zadržuje na konstantnem nivoju, s tem ko pojav padanja svetlobnega toka zaradi staranja (degradacije) permanentno prilagaja z ustrezno regulacijo. S tem zagotavlja optimalno porabo energije, nižja stroške porabe energije in podaljšuje obratovalno dobo LED zaradi nižje temperaturne obremenitve.

Izhodni neto svetlobni tok iz svetilke –"neto" svetloba iz svetilke - pa ostaja konstantna ves čas koristne obratovalne dobe 50.000 ur. Seveda bo tudi po tem času svetilka še delovala – začel pa se bo proces padanja svetlobnega toka.



MF* =
Maintenance Factor /
faktor vzdrževanja

LMF
Lamp Lumen Maintenance
Factor / faktor pojemanja
svetlobnega toka sijalk

x

LSF

Lamp Survival Factor /
preživetveni faktor sijalk

x

LMF

Luminaire
Maintenance Factor /
faktor vzdrževanja
svetilke

S funkcijo

Zagotavljanje konstantnega svetlobnega toka

$$MF = 1.0 \times 0.98 \times 0.96 = 0.94$$

Interval čiščenja: 4 leta / zaščitna stopnja: IP66 / stopnja umazanije: nizka

Brez funkcije

Zagotavljanje konstantnega svetlobnega toka

$$MF = 0.88 \times 0.98 \times 0.96 = 0.83 (+11\%)$$

Interval čiščenja: 4 leta / zaščitna stopnja: IP66 / stopnja umazanije: nizka

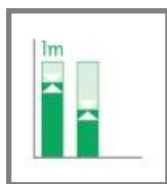
Pri izvedbah svetilk brez funkcije zagotavljanja konstantnega svetlobnega toka mora projektant razsvetljave padanje osvetljenosti upoštevati in tako uporabiti ustrezno višji faktor vzdrževanja. Prisiljen je uporabiti danes povsem neprimerno, zastarelo in energijsko potratno metodo "preprojektiranja" razsvetljave, saj mora zagotoviti določen nivo osvetlitve ves čas obratovalne dobe inštalacije.

Funkcije zagotavljanja konstantnega svetlobnega toka svetilk zagotavlja velike prihranke energije!

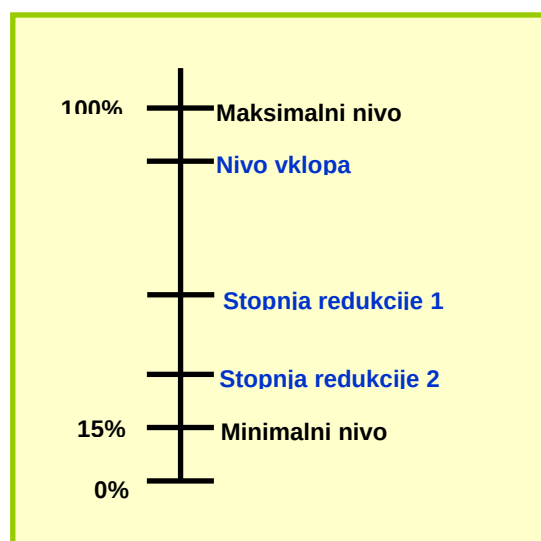
Fleksibilna nastavitve parametrov svetlobnega toka

S fiksno povezavo izvedbe svetilke na določeno fiksno moč konvencionalnih sijalk (npr. 70W, 100W, 150W) le redko dosežemo optimalno izračunane vrednosti projekta. V takem primeru je treba uporabiti naslednjo višjo moč svetilke, projekt mora zato biti »preosvetljen«, energija je s tem potratno zapravljena.

Z možnostjo **natančnega fleksibilnega doziranja** svetlobne toka **vsake posamezne svetilke** lahko nivoje osvetlitve **natančno prilagodimo** izračunanim rezultatom posameznega projekta. Možno je nastaviti svetlobni tok vklopne nivoja delovanja in dveh nivojev stopenj polnočne redukcije razsvetljave.



Poljubna nastavitve nivoja vklopa
in dveh stopenj redukcije



Delovanje svetilk na poljubno prilagojen nivo reduciranega režima delovanja lahko prožimo tudi z običajnim dodatnim krmilnim vodom 230V, kot je to ustaljena metoda pri obstoječih sistemih cestne razsvetljave s klasičnimi svetlobnimi viri.

Vsaka svetilka za tehnično cestno razsvetljavo Siteco LED ima dodan kontakt za priključitev morebitnega krmilnega voda za proženje redukcije. Pri osnovnih izvedbah svetilk »basic« je ta nivo fiksno nastavljen na 50% svetlobnega toka.

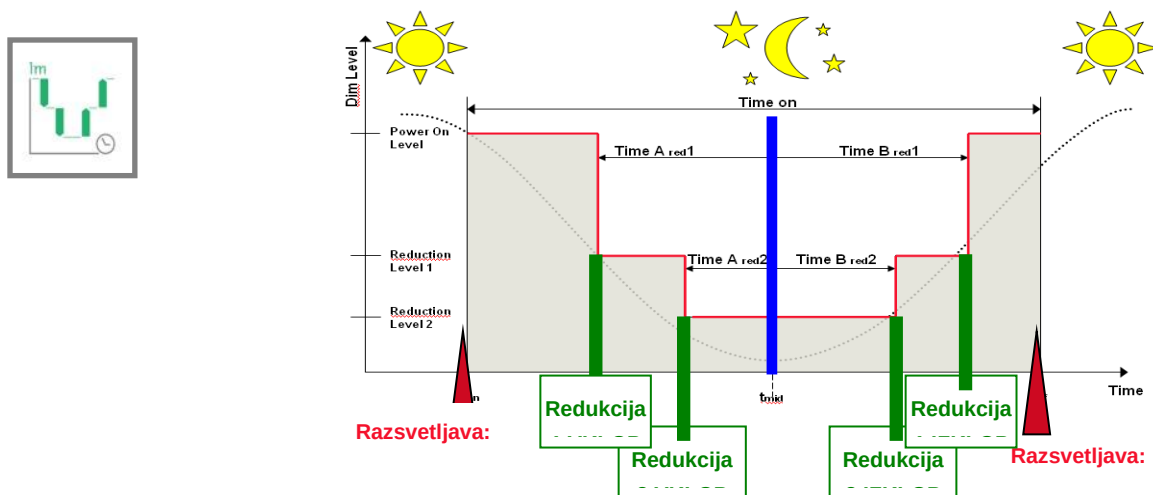
Svetilke za tehnično cestno razsvetljavo Siteco LED brez možnosti zatemnjevanja sploh ni v ponudbi svetilk Siteco. Razlog temu je zavezanost podjetja Siteco k varovanju okolja in proizvodnji izdelkov izključno za trajnostni razvoj.

Časovno-odvisno samodejno upravljanje svetlobnega toka

Svetilke za cestno razsvetljavo Siteco s paketom upravljanja »Plus« ponujajo možnost **samodejnega zatemnjevanja svetlobe** in s tem izdatnega prihranka energije v poznih nočnih urah **tudi brez zunanjih sistemov daljinskega upravljanja** in nadzora.

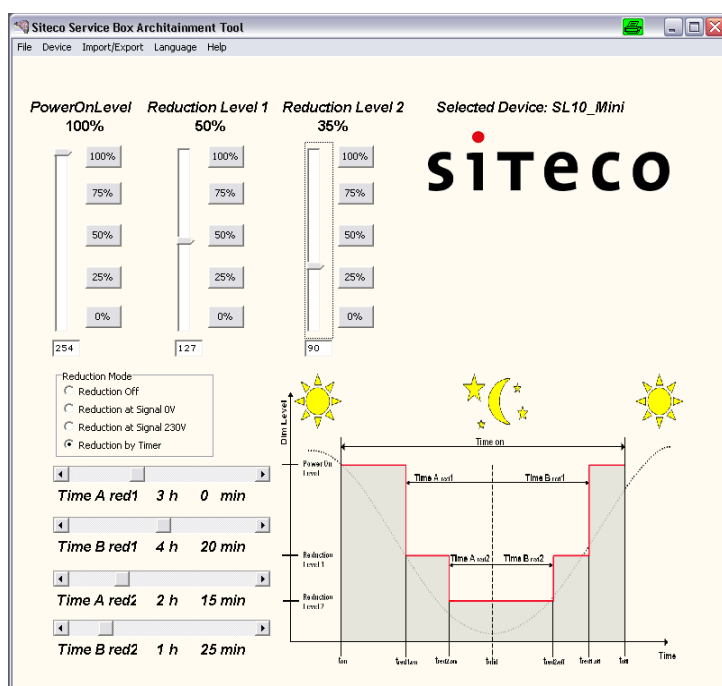
Glede na povprečne vklopne čase preteklih 5 noči svetilke izračunajo umetni (navidezni) polnočni čas. Uporabnik lahko definira čase aktiviranja (pred in po navideznem polnočnem času) enega ali dveh nivojev reducirane režima na poljuben in prilagodljiv nivo reducirane delovanja.

Zaradi neprestane aktualizacije nočnih ur delovanja **se svetilke samodejno prilagajajo na letne čase** in z njimi povezane spreminjajoče se čase delovanja razsvetljave.



S programskim paketom Siteco Service Box Architainment Tool enostavno upravljamo z vsemi nastavitvami svetilk tudi preko računalnika in te nastavitve prenašamo ali kopiramo med svetilkami.

Z napravo za konfiguriranje Siteco® Service Box vse parametre prenašamo na svetilke.



Programiran režim samodejnega zatemnjevanja na objektu

Preklop na 50% ob cca. 22:45

(2 h pred navideznim srednjim nočnim časom 0:45)

Preklop na 35% ob cca. 23:15

(1,5 h pred navideznim srednjim nočnim časom 0:45)



Preklop na 50% ob cca. 4:15

(3,5 h po navideznem srednjem nočnem času 0:45)

Preklop na 100% ob cca. 4:45

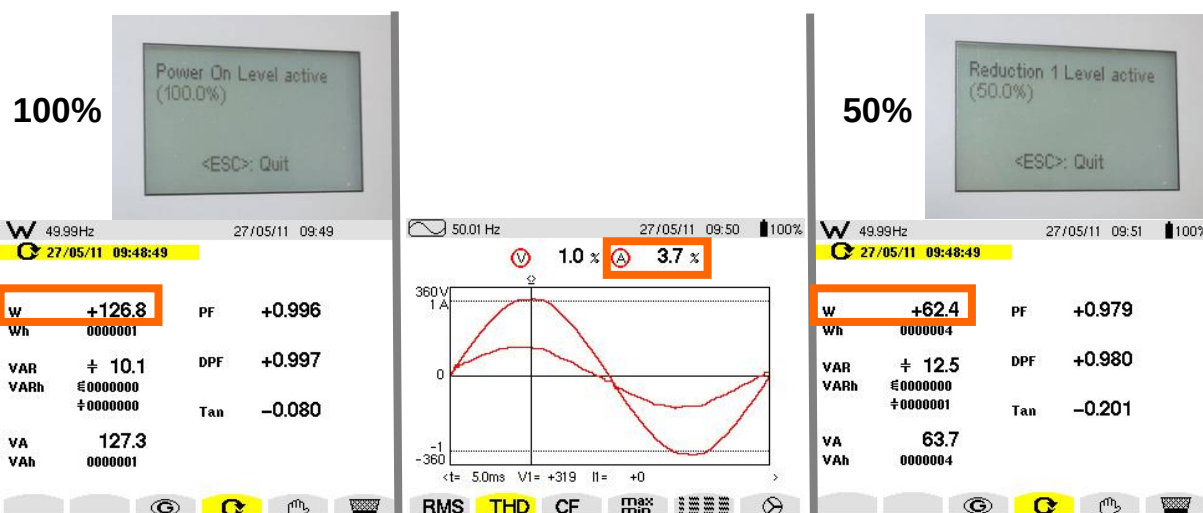
(4 h po navideznem srednjem nočnem času 0:45)



Priključna moč svetilke na objektu:

nivo: začetek delovanja: ocena po 50.000 urah: povprečno ves čas obratovalne dobe:

100%	126 W	157 W	141 W
50%	63 W	73 W	68 W
35%	45 W	52 W	48 W



Digitalni komunikacijski vmesnik SDI

Svetilke s paketom upravljanja PLUS je možno priključiti na različne standardizirane sisteme upravljanja preko vmesnika SDI (Siteco Digital Interface).

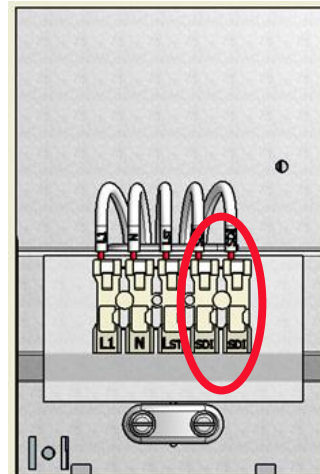
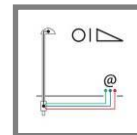
Preko tega vmesnika je mogoče upravljanje s svetilkami tudi iz centralnega nadzornega sistema (preklapljanje in zatemnjevanje glede na trenutne potrebe). Preko vmesnika SDI izvajamo tudi konfiguriranje svetilk z napravo **Siteco® Service Box**.

Z ustrezno konfiguracijo je mogoča integracija sodobnega standardiziranega digitalnega vmesnika **DALI** preko katerega je mogoče svetilke priključiti na praktično vse sodobne sisteme upravljanja cestne razsvetljave (žične, brezžične), senzorike ali za integracijo v sisteme upravljanja zgradb (BMS).

Zastarel analogni vmesnik s krmiljenjem brez možnosti prenosa povratne informacije o stanju naprave 1-10V ni predviden.

DALI – Digital Adressable Lighting Interface

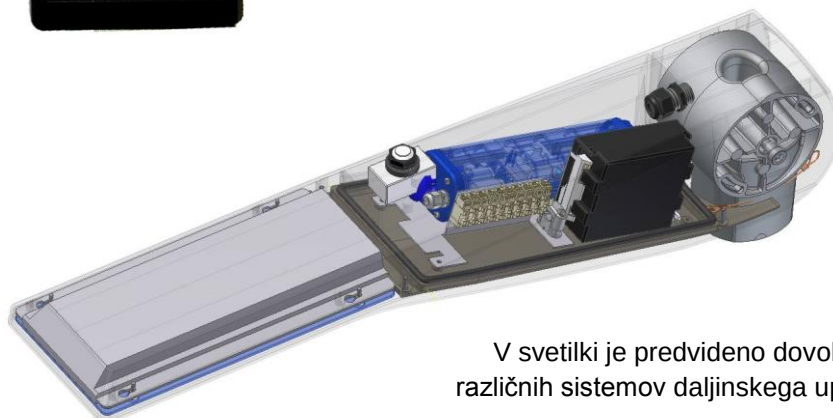
je standardni digitalni protokol upravljanja razsvetljave, definiran v standardu IEC 60929.



Siteco ® Service Box



Z napravo **Siteco® Service Box** aktiviramo, nastavljamo, kopiramo, shranjujemo, prenašamo, ... vse želene parametre svetilk LED paketa PLUS



V svetilki je predvideno dovolj prostora za vgradnjo različnih sistemov daljinskega upravljanja in senzorjev

Kazalnik učinkovitosti Sleec**Street Lighting Energy Efficiency Calculation (SLEEC- Draft EN13201-5)**

CT 2x150W

STARO STANJE - , pred rekonstrukcijo

Svetlobnotehnični razred ME4 ($L_{sr} = 0.5 \text{ cd/m}^2$). širina ceste 14.4m. nivo 100%

Svetilka s klasično predstikalno napravo

$$SL = \frac{Ps}{L \cdot S \cdot Wr} = \frac{352 \text{ W}}{0,5 \text{ cd/m}^2 \cdot 33,3 \cdot 14,4} = 1,448 \text{ W/cd/m}^2/\text{m}^2$$

PS= priključna moč sistema (sijalke in predstikalne naprave)

**presega dovoljeni faktor SLEEC
za 44,8%**

Streetlight 10 midiLED plus NOVO STANJE – po rekonstrukciji

Svetlobnotehnični razred ME2 ($L_{sr} = 1.5 \text{ cd/m}^2$). širina ceste 14.4m. nivo 100%

Svetilka Streetlight 10 LED midi plus

$$\text{Začetek (0 ur)} = \frac{126 \text{ W}}{1,5 \text{ cd/m}^2 \cdot 33,3 \cdot 14,4} = 0,175 \text{ W/cd/m}^2/\text{m}^2$$

$$\text{Konec (50.000 ur)} = \frac{157 \text{ W}}{1,5 \text{ cd/m}^2 \cdot 33,3 \cdot 14,4} = 0,218 \text{ W/cd/m}^2/\text{m}^2$$

**faktor SLEEC je izrazito pod 1,0**

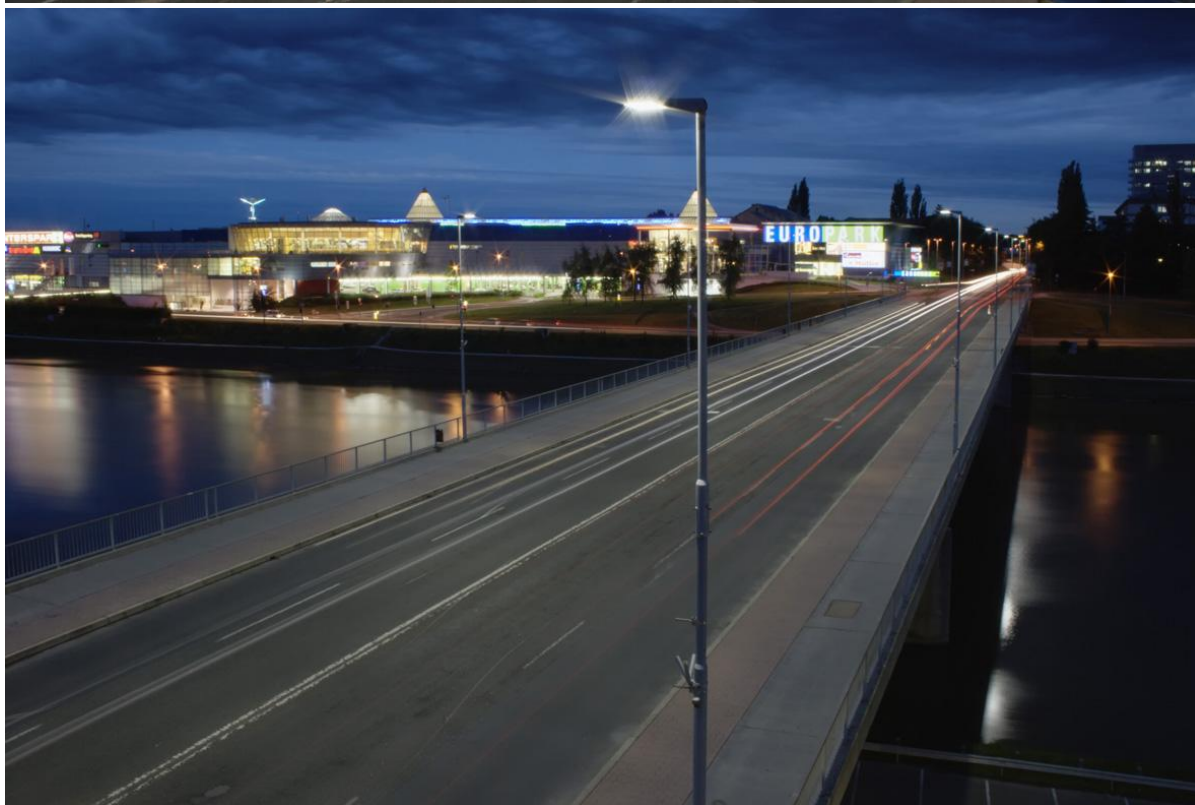
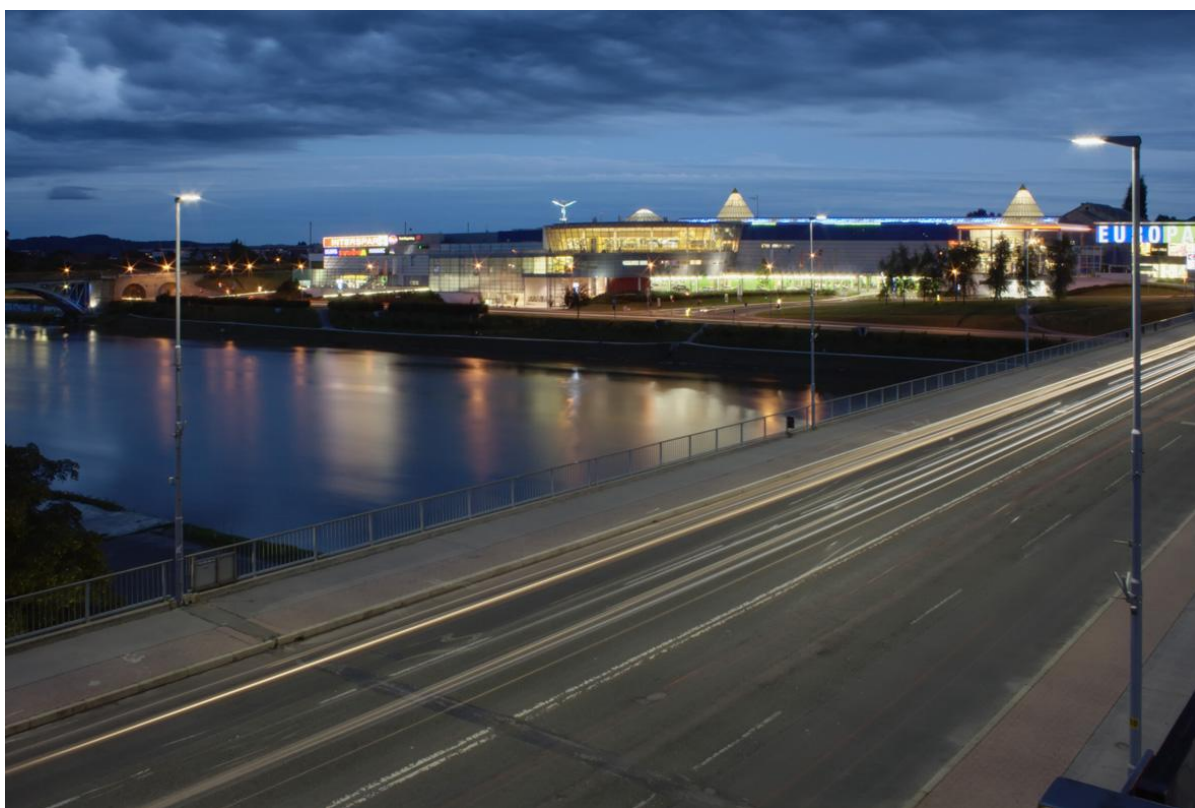
Faktor SLEEC izračunan pri polni moči svetilk.

Z zatemnjevanjem LED bo faktor SLEEC še ugodnejši!

Priporočila potencialnim investitorjem v cestno razsvetljavo z LED

Prepričajte se da:

- svetilke uporabljajo ustrezen optični sistem usmerjanja svetlobe,
- svetilke ne uporabljajo »odprtih« LED ali leč (da niso vidne individualne »točke« LED)
- da svetilke na blešččijo udeležencem v prometu (zagotavljajo ugodne vrednosti TI),
- so svetilke modularno grajene in omogočajo posodabljanje notranjih komponent (hardware/software),
- je skupna učinkovitost svetilke ustrezna (npr. podatek o učinkovitosti samih LED v svetilki ne zadošča),
- da svetilke uporabljajo sistem za zagotavljanje konstantnega svetlobnega toka ves čas obratovanja,
- ugodno rešen termični management svetilk,
- imajo svetilke samočistilno funkcijo in sisteme za izenačevanje zračnega pritiska,
- da svetilke uporabljajo sistem zatemnjevanja (svetilke LED brez zatemnjevanja niso primerne),
- da je možno samodejno zatemnjevanje svetilk tudi brez kompleksnega nadzornega sistema,
- da je sistem zatemnjevanja maksimalno učinkovit in uporablja metodo DC dimming,
- da sistem zatemnjevanja ne uporablja metode PWM, ki lahko povzroča stroboskopske efekte,
- da je možno doziranje potrebnih nivojev osvetljevanja,
- svetilke razumejo sodobne dvosmerne digitalne protokole sistemov daljinskega upravljanja razsvetljave,
- svetilke delujejo na standardizirano napetost 230V (kar veleva tudi SIST IEC 60038:2010),
- so svetilke izdelane v ZR II (priklop brez ozemljitve in s tem povezanega obveznega preskušanja),
- so svetilke izdelane na način in iz materialov, ki omogočajo recikliranje (da niso "zalite" za 1-x uporabo),
- so svetilke izdelek uveljavljenega proizvajalca z bogatimi izkušnjami na vseh povezanih področjih.



Fotografije objekta po rekonstrukciji.

Author's address

Aleš Filipič, Siteco Sistemi, d.o.o., AN OSRAM BUSINESS

Marko Kos, Grega Bizjak

IZRAČUN PORABE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA RAZSVETLJAVA V SKLADU S STANDARDOM SIST EN 15193

Povzetek

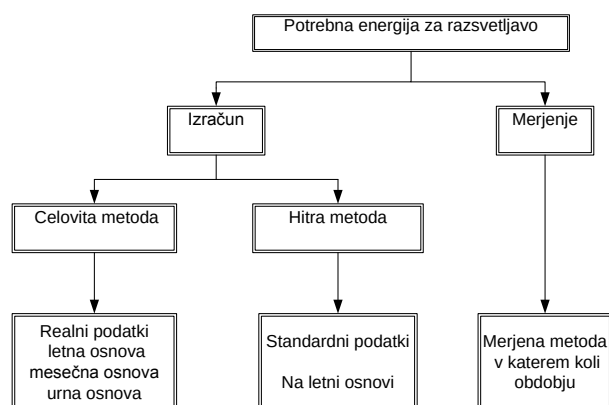
Razsvetljava je ena glavnih porabnikov energije v javnih stavbah. Približno 50% električne energije ali 30% vse energije v javnih stavbah se porabi za razsvetljavo. Potrebno energijo za razsvetljavo je potrebno tudi navesti v energetskih izkaznicah. Te informacije lahko pomagajo upravljavcu ali lastniku objekta, da razumejo pomen energetske učinkovite razsvetljave in jih spodbudi k načrtno pravilni namestitvi razsvetljave v novih stavbah in za obnovo razsvetljave v starih stavbah s čimer se zmanjša poraba energije v stavbah. Energija potrebna za razsvetljavo se izračuna v skladu z Evropskim standardom za razsvetljavo SIST EN 15193. Primer izračuna električne energije za razsvetljavo smo izvedli za laboratorij tlorisne površine 25,2 m², ki se nahaja na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani.

1. Introduction

Evropska unija je 16. decembra 2002 sprejela Direktivo o energetske učinkovitosti stavb (2002/91/EC) (angl.: Directive on Energy Performance of Buildings, s kratico EPBD) [2]. Namen direktive EPBD je pospešiti izboljšanje energetske učinkovitosti stavb ob upoštevanju klimatskih raznolikosti v EU, zahtev po bivalnem ugodju in stroškovne učinkovitosti.

Obvezno Energetsko certificiranje stavb je pri nas na podlagi direktive EPBD predpisala novela Energetskega zakona (EZ) [6].

Del skupne porabljene energije, ki se porabi v stavbah je tudi energija, ki se porabi za razsvetljavo. Z namenom lažjega izračuna tega dela energije je bil izdelan standard SIST EN 15193:2007 [1]. Ta standard je bil zasnovan za vzpostavitev postopka za oceno potrebne energije za razsvetljavo v zgradbah in poda metodologijo za numerični indikator energijske učinkovitosti v zgradbah. Ob pravilni standardni razsvetljavi v stavbah je bistvenega pomena postopek, ki je načrtovan in nameščen v skladu z shemo in z dobro prakso razsvetljave. Standard daje nasvete o tehnikah za ločeno merjenje porabe energije za razsvetljavo, ki da redne povratne informacije (kontrolno) o učinkovitosti razsvetljave. Slika 1 prikazuje postopek ugotavljanja porabe električne energije za razsvetljavo v stavbah. Standard določa metodologijo izračuna za oceno količine energije, ki se uporablja za notranjo osvetlitev stavbe in numerični indikator energije za razsvetljavo, ki se uporablja za namen certificiranja. Metodologijo izračuna lahko uporabimo za obstoječe stavbe, nove stavbe in stavbe, ki so namenjene za obnovo.



Slika 1: Postopek ugotavljanja porabe energije za razsvetljavo

V standardu so stavbe razvrščene v naslednje kategorije: pisarne, stavbe namenjene izobraževanju, bolnišnice, hoteli, restavracije, športne površine, trgovine na drobno, storitvene dejavnosti ter tovarne. Iz slike 1 je razvidno, da lahko porabo električne energije izmerimo ali jo izračunamo.

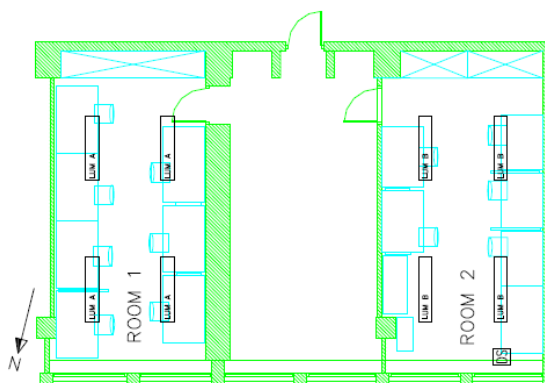
Pri projektiranju in inštalaciji razsvetljave za posamezen prostor v Sloveniji moramo upoštevati Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2010 [3] ter tehnično smernico (TSG-1-004). Tehnična smernica TSG-1-004 [4] nam narekuje, da mora biti gostota moči svetilk za stavbe namenjene izobraževanju in za znanstveno raziskovalno delo 13 W/m^2 . V našem primeru je gostota moči svetilk $11,43 \text{ W/m}^2$.

Eden glavnih in pomembnih kazalnikov porabe električne energije v stavbah je kazalec LENI, ki podaja porabo električne energije v $\text{kWh/m}^2\text{leto}$. Standard opisuje hitro in celovito metodo izračuna porabe električne energije v zgradbah. Izračun po hitri metodi nam da najvišje vrednosti v primerjavi z drugimi metodami, med tem ko dobimo po celoviti metodi nekoliko manjše vrednosti. Porabo električne energije lahko izračunamo še z drugimi metodami. Ena od metod je izračun pri kateri določimo potrebne faktorje glede na izkušnje ter z metodo pri kateri upoštevamo vpliv dnevne svetlobe na notranjo osvetljenost. Z zadnjo metodo smo dobili najmanjše vrednosti, saj je vpliv dnevne svetlobe na notranjo osvetljenost zelo močan.

Porabo električne energije sem izračunal za primer laboratorija, ki se nahaja na fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Na omenjeni lokaciji se nahajata dva identična laboratorija. Laboratorij 2 ima izvedeno avtomatsko regulacijo razsvetljave, medtem ko laboratorij 1 nima izvedene avtomatske regulacije razsvetljave. Laboratorij 2 ima vgrajeno regulacijo, ki glede na zunanjo dnevno svetlobo ustrezno korigira delovanje notranje razsvetljave. Dobljene vrednosti, ki jih dobimo pri izračunu bomo lahko primerjali z že izmerjenimi vrednostmi.

2. Opis prostora

Na fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani lahko najdemo različne prostore, ki so namenjeni različnim dejavnostim (prostori za raziskovanje, predavanja, prostori za zaposlene). Delavni čas je za večina raziskovalcev fleksibilen. Večina jih prihaja na fakulteto ob 7:00 zjutraj in odhaja ob 15:00. Prvi, ki pride na delavno mesto ponavadi prižge celotno razsvetljavo. Na žalost zaposleni nimajo dovolj zavesti, da imajo razsvetljavo prižgano tudi v času, ko je zunaj na voljo dovolj dnevne svetlobe. Da bi se preprečila nadaljnja poraba električne energije za razsvetljavo se je v laboratoriju 1 in 2 izvajal monitoring porabe električne energije za razsvetljavo. Laboratorij meri v dolžino 7 m, v višino 4 m in širino 3,6 m (oba laboratorija sta identična). Delavne mize so postavljene po dolžini ob stene. Okno predstavlja celotno zadnjo steno z 1 m parapeda.



Slika 2: Tloris laboratorija

V prostoru so nameščene 4 svetilke 2x36 W T8 fluorescentne sijalke z klasično predstikalno napravo. (laboratorij 1 ima elektronsko predstikalno napravo). Razsvetljava v prostoru je razdeljena v dve skupini. V prvi skupini sta združeni svetilki, ki sta nameščeni blizu okna in v drugi skupini sta svetilki, ki sta nameščeni bližje notranji steni. Zaposleni lahko prižgejo prvo in drugo skupino razsvetljave ločeno.

3. Izračun po standardu SIST EN 15193:2007

Najprej smo izračunali porabo električne energije za omenjeni prostor po standardu. Standard EN 15193:2007 [1] predvidi izračun energijskega svetlobnega numeričnega indikatorja (Lighting Energy Numeric Indicator) LENI, ki se uporabi za namen certificiranja in je zelo uporaben za oblikovanje razsvetljavnega kontrolnega sistema:

$$(1) \quad \text{LENI} = W/A \quad [\text{kWh/m}^2\text{leto}]$$

kjer je,

A je skupna uporabna tlorisna površina prostora [m^2],

W je skupna letna porabljena energija za razsvetljavo, ki je

$$(2) \quad W = W_L + W_P \quad [\text{kWh/leto}]$$

enaka vsoti W_L predvideni letni energiji za razsvetljavo in W_P parazitski energiji (zasilna razsvetljava in stanje pripravljenosti zasilne razsvetljave).

Hitra metoda:

Ko uporabimo hitro metodo za oceno energije za razsvetljavo za tipične vrste stavb se uporablja enačba 2. Člen W_L je odvisen od inštalirane moči razsvetljave P_n in od faktorjev F_D , F_C in F_O .

Ocena energije za razsvetljavo W_L , ki je potrebna za izpolnitev funkcije osvetlitve in namena stavbe se določi po naslednji enačbi:

$$(3) \quad W_L = \sum \frac{P_n F_C (t_D F_O F_D + t_N F_O)}{1000} \quad [\text{kWh/leto}]$$

kjer je,

P_n je celotna inštalirana moč za razsvetljavo v obravnavanem prostoru A [W],

F_C je faktor konstantne osvetljenosti,

t_D dnevni čas uporabe, obratovalne ure skozi dan [h],

F_O je faktor odvisen od zasedenosti,

F_D je faktor uporabe razsvetljave,

t_N je čas uporabe brez dnevne svetlobe, obratovalne ure brez dnevne svetlobe [h].

Z določitvijo porabe električne energije z hitro metodo dobimo višje LENI vrednosti, kot z natančnejšo celovito metodo.

Porabo parazitske energije W_P lahko združimo z dodajanjem 1 kWh/m²/leto za zasilno razsvetljavo in 2-5 kWh/m²/leto za avtomatsko kontrolo razsvetljave.

Za hitro metodo se kazalec LENI določi po enačbi 4 [kWh/m²leto]

$$(4) \quad LENI = \frac{F_C P_N (t_D F_O F_D + t_N F_O)}{1000} + 1 + \frac{5[t_y - (t_D + t_N)]}{t_y}$$

kjer je,

P_N je nameščena inštalirana moč razsvetljave v stavbi (W/m²),

t_y je standardni letni čas (8760 h).

Tabela 1: Izračun porabe z hitro metodo

Hitra metoda: potrebni faktorji za izračun		
Površina prostora (laboratorija)	[m ²]	25,2
Število svetilk		4
Moč vsake svetilke	[W]	72*
Inštalirana moč svetilk v prostoru P_n	[W]	345,6
Faktor konstantne osvetljenosti F_C		1
Poletni čas uporabe t_D	[h]	1800
Zasedenost F_O		1
Faktor uporabe razsvetljave F_D		1
Čas uporabe brez dnevne svetlobe t_N	[h]	200
Hitra metoda		
Potrebna električna energija W	[kWh/leto]	691,2
LENI	[kWh/m ² leto]	27,42

*nazivna moč svetilke se pomnoži z 1,2

Potrebne vrednosti v tabeli 1 sem dobil v prilogi F standarda [1]. Nazivna moč svetilke se pomnoži z 1,2 zaradi predstikalne naprave.

Celovita metoda:

Celovita metoda omogoča natančnejšo določitev ocene potrebne energije za razsvetljavo v različnih obdobjih. Primer lahko vzamemo za letno ali mesečno obdobje. Pri uporabi celovitega načina izračuna potrebne energije za razsvetljavo se uporabi enačba 5 za zahtevano obdobje t .

$$(5) \quad W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \quad [kWh]$$

To metodo se lahko uporablja za katerokoli obdobje in za katerokoli lokacijo pod pogojem, da je možno celotno oceno dnevne zasedenosti in dnevne svetlobe napovedati. Člen $W_{L,t}$ se izračuna po enačbi 6, člen $W_{P,t}$ se izračuna po enačbi 7:

$$(6) \quad W_{L,t} = \sum \frac{P_n F_C (t_D F_O F_D + t_N F_O)}{1000} \quad [kWh]$$

$$(7) \quad W_{p,t} = \sum \frac{P_{pc} [t_y - (t_D + t_N)] + (P_{em} t_e)}{1000} \quad [kWh]$$

kjer je,

P_{pc} je inštalirana moč za naprave za kontrolo v sobi ali v prostoru,

P_{em} je inštalirana moč za polnjenje akumulatorjev za zasilno razsvetljavo v prostoru,

t_e je čas polnjenja zasilne razsvetljave.

Vsota členov $W_{L,t}$ (enačba 6) in $W_{p,t}$ (enačba 7) nam da potrebno električno energijo za razsvetljavo (W_t) v določenem obdobju.

Tabela 2: Izračun porabe z celovito metodo

Celovita metoda: potrebni faktorji za izračun		
Površina prostora (laboratorija)	[m ²]	25,2
Število svetilk		4
Moč vsake svetilke	[W]	72*
Inštalirana moč svetilk v prostoru	P_n [W]	345,6
Faktor konstantne osvetljenosti	F_C	0,95
Poletni čas uporabe	t_D [h]	1800
Zasedenost	F_O	1
Faktor uporabe razsvetljave	F_D	0,3064
Čas uporabe brez dnevne svetlobe	t_N [h]	200
Celovita metoda		
Potrebna električna energija W_t	[kWh/leto]	246,74
LENI	[kWh/m ² leto]	9,7912

*nazivna moč svetilke se pomnoži z 1,2

Pri celoviti metodi dobimo nekoliko manjše vrednosti zaradi močnega vpliva dnevne svetlobe. Zaradi tega je faktor uporabe razsvetljave F_D majhen ($F_D = 0,3064$). Če ni prisotnosti dnevne svetlobe je $F_D = 1$. Potrebne vrednosti se izračuna s pomočjo standarda priloga C [1].

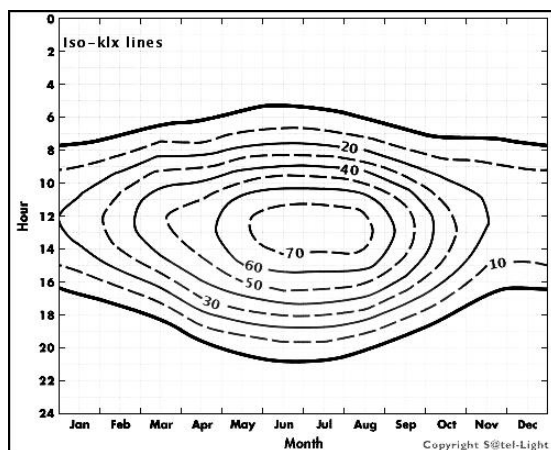
4. Druge možnosti izračuna porabe električne energije

Kot tretji primer smo izračunali porabo električne energije z metodo, kjer nismo upoštevali karakteristike standarda. Porabo električne energije smo izračunali na podlagi izkušenj ter dejanskih podatkov. Pri tem izračunu je zelo pomemben približen čas delovanja razsvetljave na dan ter zasedenost prostora. Na podlagi tega lahko izračunamo približno porabo električne energije za izbran laboratorij. Na podlagi predvidevanj lahko sklepamo, da ima ta laboratorij prižgano razsvetljavo vsaj 8 ur na dan. Laboratorij ima inštalirane štiri svetilke, ki vsebujejo po 2x36 W T8 fluoresc. sijalke. Potrebne vrednosti, ki jih potrebujem za izračun prikazuje tabela 3.

Tabela 3: Izračun porabe z lastno metodo

Delovanje razsvetljave	[h/dan]	8	10
Potrebna električna energija W	[kWh/leto]	622,08	777,6
LENI	[kWh/m ² leto]	24,686	30,86

Porabo električne energije za omenjeni laboratorij smo izračunali še s četrto metodo in sicer z upoštevanjem vpliva dnevne svetlobe na notranjo osvetljenost. Pri tej metodi sem natančno upošteval vpliv dnevne svetlobe. Upošteval sem vrednosti dnevne svetlobe, ki so podane za mesto Ljubljana. Časovno gledano je svetlobe največ, ko je sonce najvišje na nebu. Zaradi tega je poleti razpoložljive dnevne svetlobe več kot pozimi. Količina svetlobe se seveda spreminja tudi z uro dneva in doseže približno opoldne svoj maksimum. Kot lahko vidimo iz slike 3, v Sloveniji (točneje v Ljubljani) doseže maksimalna vrednost osvetljenosti na prostem nekaj čez 76000 lx, in sicer v mesecu juliju. Pozimi so te vrednosti precej manjše in na primer januarja ne presegajo 25000 lx.



Slika 3: Osvetljenost Ljubljane

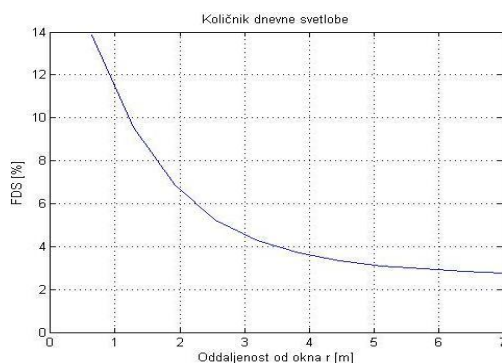
Uspešnost pri načrtovanju kakovostnega vizualnega okolja se da dokaj dobro ugotavljati že v fazi oblikovanja na modelih pod umetnim nebom ali z računalniškimi simulacijami. Predvsem gre za določanje osvetljenosti, ki morajo zadostiti minimalnim zahtevam. Zahteve po osvetljenosti oziroma količniku dnevne svetlobe so določene glede na dejavnost, ki se v prostoru odvija. Zaradi dinamike dnevne svetlobe se osvetljenost na izbranem mestu, torej absolutna vrednost v lux-ih nenehno spreminja, zato se kot pokazatelj osvetljenosti na posameznem mestu uporablja količnik dneven svetlobe (FDS), ki je podan z enačbo 8:

$$(8) \quad FDS = \frac{E_n}{E_z} \times 100\%$$

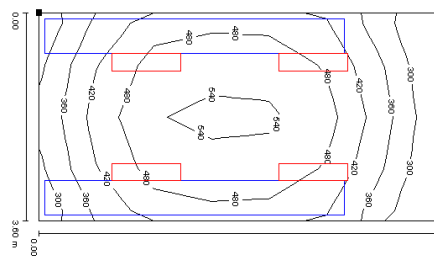
kjer je,

- FDS količnik dnevne svetlobe,
- E_n osvetljenost v prostoru,
- E_z osvetljenost na prostem.

Količnik dnevne svetlobe podaja razmerje med osvetljenostjo v prostoru (E_n) in horizontalno osvetljenostjo na prostem (E_z), ki bi jo izmerili na istem mestu in ob istem času, če laboratorija ne bi bilo. Količnik dneven svetlobe je možno določiti računsko na podlagi geometrije prostora in okolice ter lastnosti sten in oken, lahko pa ga določimo tudi s pomočjo meritev. Običajno se podaja oziroma izračunava za več različnih točk znotraj prostora, pri tem pa je potrebno upoštevati tudi izgube svetlobe na zasteklitvi. S pomočjo relativno podanega količnika dnevne svetlobe je potem iz znane ali predpostavljene osvetljenosti na prostem mogoče določiti osvetljenost in enakomernost osvetljenosti v prostoru laboratorija. Za izračun osvetljenosti v laboratoriju (E_n) je potrebno najprej določiti iz slike 3 horizontalno osvetljenost na prostem (E_z) in jo pomnožiti s količnikom dnevne svetlobe (FDS).



Slika 4: Odvisnost FDS od oddaljenosti od okna



Slika 5: Prikaz povprečnih osvetlitvenosti na delavni površini

V izbranih točkah se izračuna količnik dnevnne svetlobe. Vrednost faktorja dnevnne svetlobe pada z večanjem oddaljenosti od okna. Slika 4 prikazuje padanje količnika dnevnne svetlobe z oddaljenostjo od okna.

Za izračun vpliva dnevnne svetlobe na notranjo osvetlitev potrebujemo povprečno osvetlitev pod prvo in drugo linijo svetilk. To povprečno vrednost smo dobili s pomočjo simulacije v programu Dialux. Povprečna vrednost osvetlitve na delavni površini pod prvo in drugo linijo svetilk znaša 480 lux, kar prikazuje slika 5.

V prostoru laboratorija je potrebno vzdrževati konstantno osvetlitev 500 lx [5]. Na podlagi izračunanih količnikov dnevnne svetlobe ter zunanje osvetlitvenosti lahko izračunamo osvetljenost z dnevno svetlobo v točki 1 in v točki 2. V kolikor je osvetljenost večja od 500 lx, uporaba umetne razsvetljave ni potrebna. Če pa je osvetljenost v točki manjša od 500 lx, je potrebno osvetljenost dvigniti s pomočjo umetne razsvetljave. Glede na vrednost osvetljenosti lahko izračunamo, s kolikšno močjo mora delati posamezen niz umetne razsvetljave. Iz tega podatka pa lahko izračunamo porabo električne energije, ki bi jo porabili z klasično rešitvijo umetne razsvetljave. Na podlagi izračunanih urnih prihrankov se lahko izračuna dnevni in posledično tudi mesečni prihranek električne energije. Porabo električne energije smo izračunali za vsak 21. dan v mesecu in dobljeno vrednost pomnožili z številom delavnih dni v mesecu. Končno porabo dobimo z vsoto izračunanih mesečnih vrednosti porabe električne energije.

Tabela 4: Izračun porabe z upoštevanje vpliva dnevnne svetlobe

Delovanje razsvetljave	[h/dan]	8	10
Potrebna električna energija W	[kWh/leto]	120	57,4
LENI	[kWh/m ² leto]	1,8	2,28

Izračunana vredno porabe električne energije je majhna, saj imamo zelo močan vpliv dnevnne svetlobe. Zaradi močnega vpliva dnevnne svetlobe je razsvetljava večino časa izklopljena.

5. Primerjava rezultatov

Kot se vidi iz napisanega smo porabo električne energije na izbranem modelu laboratorija izračunal s štirimi metodami. Dobljene vrednosti smo primerjali z izmerjenimi vrednostmi, tako, da smo dobili jasno sliko katera metoda se najbolj približa dejanskim izmerjenim vrednostim. Zasedenost teh dveh laboratorijev je različna zaradi različnega delavnika. Glede na meritve vidimo, da ima prvi laboratorij razsvetljavo prižgano 8 ur na dan med tem ko ima drugi laboratorij prižgano razsvetljavo 10 ur na dan. Izmerjena vrednost prvega laboratorija znaša 460 kWh in izmerjena vrednost drugega

laboratorija znaša 223 kWh. Poraba drugega laboratorija je manjša zaradi avtomatske regulacije razsvetljave. Čeprav je v drugem laboratoriju razsvetljava prižgana 10 ur je poraba še vedno manjša. Če primerjam izračunane vrednosti z izmerjenimi vrednostmi vidimo, da je najbližja izračunana vrednost, ki sem jo dobil z celovito metodo izračuna porabe električne energije 246,74 kWh/leto. Hitra metoda izračuna nam da najvišje vrednosti in sicer 622,08 kWh/leto. Najmanjše vrednosti dobimo z metodo vpliva dnevne svetlobe na notranjo osvetljenost. Zaradi velikih steklenih površin tudi pri tej metodi dnevna svetloba zelo močno vpliva na notranjo osvetljenost. Zaradi močne prisotnosti dnevne svetlobe znaša izračunana vrednost po tej metodi 120 kWh/leto. Dobljene izračunane in izmerjene vrednosti so prikazane v tabeli 5.

Tabela 5: Primerjava izračunanih vrednosti z izmerjenimi

Metoda izračuna	Poraba 8h/dan [kWh/leto]	Poraba 10h/dan [kWh/leto]
Hitra metoda	691,2	898,5
Celovita metoda	246,74	307,01
Lastna metoda	622,08	777,6
Metoda upoštevanja dnevne svetlobe	120	57,4
Izmerjena vrednost brez regulacije	460	/
Izmerjena vrednost z regulacijo	/	223

6. Zaključek

Glede na dobljene izračunane vrednosti lahko zaključimo, da dobim najbližje izračunane vrednosti z celovito metodo, ki jo predpisuje standard. V izračunu smo predpostavili, da ni prisotnega senčenja na okenske površine. V izračunu vpliva dnevne svetlobe na notranjo osvetlitev nismo upoštevali spreminjanje vremena (oblačno vreme, delno oblačno). Predpostavili smo, da so vsi delavni dnevi sončni.

Iz primerjave rezultatov vidimo, da izračunane vrednosti delno odstopajo od izmerjenih vrednosti. Iz tega lahko sklepamo, da izračun po celoviti metodi da dokaj točne vrednosti. Izmerjene vrednosti v našem primeru se nanašajo na celoten delavnik od 8 do 10 ur uporabe razsvetljave na dan.

7. Reference

- [1] Standard SIST EN 15193:2007. Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting – part 1: Lighting energy estimation, December 2007.s
- [2] European Council, Directive 2002/91/EC of the European parliament and of the council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings, Official Journal of the European Communities, 2002.
- [3] PURES 2010 (pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah). <http://www.uradni-list.si/1/content?id=98727>
- [4] Tehnična smernica TSG-1-004.
- [5] Slovenski standard SIST EN 12464-1, Svetloba in razsvetljava – razsvetljava na delavnem mestu – 1. del: Notranji delavni prostori, odobritev standard CEN 16. oktober 2001
- [6] Energetski zakon. (Ur.l. RS št. 118, 17.11.2006).

Naslov avtorjev

Marko Kos Esplanada d.o.o. Slovenska vas 5, 8232 Šentrupert, Slovenija Telefon: +386 8 2050645, fax: +386 8 2050588 marko.kos@esplanada.si	Grega Bizjak Univerza v Ljubljani, FE Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija Telefon: +386 1 4768446, fax: +386 1 4768289 grega.bizjak@fe.uni-lj.si
--	---

Mitja Prelovšek

PROJEKT 'Z VARČNO RAZSVETLJAVO DO PRIHRANKOV IN ČISTEGA OKOLJA' V OKVIRU INSTRUMENTA ZA PREDPRISTOPNO POMOČ (IPA)

Povzetek

V okviru Instrumenta za predpristopno pomoč poteka projekt 'Z varčno razsvetljavo do prihrankov in čistega okolja' pri katerem sodelujejo Občine Krško (vodilni partner), Jastrebarsko in Zaprešiči ter Univerza v Ljubljani, Lokalna energetska agencija Ptuj, Lokalna energetska agencija Dolenjska – Posavje – Bela krajina ter REGEA. Cilji projekta so preučiti stanje javne razsvetljave v Sloveniji in Hrvaški ter pripraviti ustrezno dokumentacijo, ki bo omogočila celostni pristop k urejanju problematike javne razsvetljave in svetlobnega onesnaževanja v čezmejnih območjih Republike Slovenije in Republike Hrvaške.

Abstract

Project 'Sustainable public lighting as a way to savings in energy costs and clean environment' is part of Instrument of Pre-Accession Assistance programme. The partners collaborating on the project are Municipalities of Krško (leading partner), Jastrebarsko and Zaprešiči, University of Ljubljana, Local energy agency Ptuj, Local energy agency Dolenjska – Posavje – Bela krajina and REGEA. The goals of the project are a comprehensive analysis of the state of public lighting in Slovenia and Croatia, preparation of documentation that will present a basis for the renovation of public lighting both as part of this project as well as in the future.

1. Uvod

Projekt 'Z varčno razsvetljavo do prihrankov in čistega okolja' (akronim: Varčuj/Štedi) je projekt v okviru Instrumenta za predpristopno pomoč ali IPA (Instrument for pre-accession assistance). Instrument predpristopne pomoči je nov pravni in finančni instrument Evropske unije, ki je nadomestil vrsto programov in finančnih instrumentov Skupnosti, namenjenih predpristopni pomoči državam kandidatkam ali potencialnim kandidatkam. IPA zajema pet področij:

1. pomoč pri prehodu in krepitvi institucij;
2. čezmejno sodelovanje (z državami članicami EU in drugimi državami, ki izpolnjujejo pogoje IPA);
3. regionalni razvoj (promet, okolje in gospodarski razvoj);
4. človeški viri (krepitev človeškega kapitala in boj proti izključenosti);
5. razvoj podeželja.

Projekt Varčuj/Štedi se osredotoča na razvoj trajnostne javne razsvetljave in zmanjšanje svetlobnega onesnaževanja v Spodnjeposavski, Podravski regiji v Sloveniji ter Zagrebški županiji

na Hrvaškem in poskuša s pomočjo temeljite analize stanja javne razsvetljave ter zakonodajnih omejitev v Sloveniji in Hrvaški ter pilotskih projektov prenove javne razsvetljave raziskati optimalen pristop k prenovi javne razsvetljave v bolj trajnostno smer.

2. Opis projekta

Projekt Varčuj/Štedi poteka od aprila 2011 do aprila 2013, pri njem pa sodeluje sedem partnerjev, od tega štirje slovenski in trije hrvaški: Občina Krško, ki je vodilni partner projekta, Lokalna energetska agencija Ptuj (LEAP), Lokalna energetska agencija Dolenjska-Posavje-Bela krajina (LEAD in Univerza v Ljubljani na slovenski strani, ter REGEA in občine Zaprešić ter Jastrebarsko na hrvaški strani. Znotraj Univerze v Ljubljani smo pri pri tem projektu udeleženi prof. dr. Grega Bizjak univ. dipl. inž. el., as.dr. Matej Kobav univ. dipl. inž. el. ter as. Mitja Prelovšek univ. dipl. inž. el. iz Fakultete za elektrotehniko.

V okviru projekta se bo pripravilo podrobne analize stanja tehnike javne razsvetljave na tržišču, stanja javne razsvetljave ter zakonodajnih ter drugih zahtev, ki vplivajo na javno razsvetlavo v Sloveniji in Hrvaški. Hkrati bo v okviru tega projekta potekala prenova odsekov javne razsvetljave v občinah partnericah, ki bo služila kot pilotski projekt za nadaljno posodobitev javne razsvetljave v obeh državah.

3. Cilji projekta

Splošni čezmejni cilji, h katerim projekt stremi so:

- V skladu z Goetenburško in Lizbonsko agendo ter ostalimi evropskimi in nacionalnimi politikami prispevati k varstvu okolja, h konkurenčnosti in trajnosti čezmejnih območij Spodnjega Posavja, Spodnjega Podravja in Zagrebske županije z zagotavljanjem prihrankov energije pri javni razsvetljavi.
- Zmanjšati končno rabo električne energije v javnem sektorju in posledično svetlobno onesnaževanje in stroškov za energijo ter tako povečati sonaravni energetski razvoj.
- Razviti skupne ukrepe za izboljšanje energetske učinkovitosti javne razsvetljave.
- Skupaj nadgraditi obstoječe tehnologije na področju javne razsvetljave.
- Uporabiti inovativne pristope pri zmanjšanju rabe električne energije.
- Izmenjati izkušnje, znanja, dobre prakse med strokovnjaki obmejnega območja
- Vzpostaviti dolgoročno sodelovanje med slovenskimi in hrvaškimi javnimi službami, energetskimi agencijami, raziskovalnimi ustanovami in podjetji.
- Vzpostaviti meddržavno sodelovanje pri predlogu hrvaške Uredbe o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja.
- Vzpostaviti meddržavni model energetskih rekonstrukcij javne razsvetljave v spomeniško zaščiteneih mestnih središčih.
- Povečati turistično privlačnost obeh mejnih področjih s trajnostno in skladno z zahtevami varstva kulturne dediščine rekonstrukcijo sistemov javne razsvetljave.
- Znižati izpuste toplogrednih plinov in prispevati k izpolnjevanju Kjotskih zahtev.
- Znižati negativni vpliv javne razsvetljave na zdravje ljudi in živali.
- Dvigniti okoljsko ozaveščenost ciljnih skupin na čezmejnem območju.
- Ustvariti nova delovna mesta.

Specifični čezmejni cilji projekta, ki se bodo izvedli v roku trajanja projekta:

- Preučiti stanje tehnike na področju svetilk in sijalk javne razsvetljave in razsvetljave kulturnih spomenikov s poudarkom na barvi svetlobe, izkoristku (porabi energije na enoto osvetljenosti) in vplivih na okolje v svetu in čezmejnih regijah.

- Analiza zakonodajnih in drugih zahtev ter zahtev za kulturno zaščitena mestna središča.
- Izdelati osnutek hrvaške uredbe o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja, ki bi bil ustrezen za postopke sprejemanj v Hrvaškem Saboru in predlog sprememb slovenske Uredbe.
- Izvesti energetski pregled sistema javne razsvetljave v Krškem, v občini Kidričevo, v Jastrebarskem in Zaprešiču.
- Izdelati projekt za postavitve demonstracijskih prog javne razsvetljave v občini Krško, v mestu Zaprešič in mestu Jastrebarsko.
- Postaviti demonstracijsko progo JR na ravni ene ulice na področju občine Krško, v mestu Zaprešič in mestu Jastrebarsko.
- Izvesti potrebne meritve osvetljenosti pred, med in po izvedbi demonstracijskega projekta razsvetljave.
- Preučiti regulacijsko nadzorne sisteme in njihovo uporabnost v praksi (PCL, brezžične, kombinirane) in jih nadgraditi in izboljšati.
- Izdelati in natisniti Tehnični priročnik svetilk, sijalk in regulacije JR v skladu z zahtevami evropskega standarda v hrvaškem in slovenskem jeziku.
- Izdelati model prenosa znanja in izkušenj na področju trajnostne obnove sistemov javne razsvetljave iz Slovenije na Hrvaško.
- Izvesti vsaj šest delavnic o energetsko učinkoviti javni razsvetljavi v Sloveniji in Hrvaški.
- Izvesti ogled sistemov javne razsvetljave.
- Izdelati spletno stran v povezavi s programom regulacije JR
- Izdelati in distribuirati dvojezične brošure z napotki o trajnostni rekonstrukciji in obratovanju javne razsvetljave.
- Spodbuditi sodelovanje v evropskem GREENLIGHT programu ter spodbuditi izmenjavo znanja in izkušenj občin in mest v obmejnem področju,
- Ustvariti 2 nova delovna mesta za visoko strokoven kader.

4. Aktivnosti ter rezultati projekta

Aktivnosti, ki se bodo dogajale v okviru projekta lahko razdelimo v osem sklopov in sicer:

4.1. Vodenje in koordinacija projektnih aktivnosti

Vzpostavljeno dolgoročno sodelovanje med čezmejnimi partnerji in možnost sodelovanja tudi po zaključenem projektu. Tesnejša navezava stikov med čezmejnimi občinami, lokalnimi energetskimi agencijami, raziskovalno organizacijo in nevladno organizacijo. Celovito čezmejno koordiniranje, uspešno zaključen projekt, mednarodno usklajeno delovanje in razumevanje med partnerji.

4.2. Analiza dejanskega stanja na področju javne razsvetljave

Sodelovanje partnerjev pri skupni pripravi Poročila o sistemih javne razsvetljave in veljavni zakonodaji ter skupno sodelovanje pri pripravi osnutka uredbe o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja za Hrvaško in predlog sprememb za slovensko uredbo. Pridobljeno poročilo bo služilo slovenskim in hrvaškim partnerjem kot odlično izhodišče za primerjavo stanja med državami, za nadzor sistemov in za izboljšave na trenutnih sistemih javne razsvetljave.

4.3. Izdelava demonstracijskih prog javne razsvetljave

Demonstracijske proge bodo služile kot primer dobre prakse, v učne namene in kot prenos znanja na ciljne skupine čezmejnega območja. Meritve in testiranja bodo izvedena v sodelovanju partnerjev, skupaj bo narejena tudi primerjava in analiza rezultatov, kar bo pripomoglo k izmenjavi izkušenj in znanja na omenjenem področju ter do povezovanja med upravljavci sistemov javne razsvetljave. Prispevale bodo k spodbujanju in dvigovanju okoljske zavesti in uporabi novih tehnologij na področju javne razsvetljave. Predstavljale bodo izhodišče za bodoče

čezmejno sodelovanje in projekte, ki bodo tega nadgradili. Demonstracijske proge bodo izvedene v vseh treh sodelujočih občinah.

4.4. Nadgradnja in izboljšava programskega orodja za krmiljenje in nadzor javne razsvetljave

Čezmejno sodelovanje pri nadgradnji inovativnega programskega orodja – skupen razvoj in izmenjava znanja med sodelujočimi partnerji in skupna uporaba programa za nadzor svetilk na obeh straneh meje. Skupno programsko orodje bo zagotavljalo podporo pri uresničevanju ciljev projekta. Prispevalo bo k avtomatizaciji prižigališč in daljinsko upravljanje in nadzor hrvaških in slovenskih sistemov javne razsvetljave, s čimer bomo dosegli dodaten prihranek električne energije na čezmejnem območju.

4.5. Izdelava tehničnega priročnika/ kataloga

Čezmejna izmenjava podatkov in znanja ter skupna izdelava priročnika. Služil bo partnerjem na obeh straneh meje kot ciljnim skupinam, tako bomo dvigovali usposobljenost in okoljsko zavest ciljnih skupin na čezmejnem območju.

4.6. Vključevanje v Greenlight program

Cilj GreenLight programa je informiranje in usposabljanje javnosti in strokovnjakov, z namenom spodbujevanja sodelovanja na projektih energetske učinkovite in okoljsko sprejemljive razsvetljave.

4.7. Usposabljanje ciljnih skupin

V sodelovanju bodo izvedene tudi delavnice in strokovna ekskurzija, kar bo omogočilo navezavo stikov in izmenjavo izkušenj med ciljnim skupinami (občinami, upavaljci javne razsvetljave, strokovnjaki s področja javne razsvetljave, študenti, partnerji) iz čezmejnih območij. Z udeležbo na sejmih in seminarjih, bodo partnerji pridobili dodatna strokovna znanja.

4.8. Informiranje in obveščanje javnosti

Skupno delovanje vseh partnerjev na tem delovnem sklopu bo potekalo skozi ves čas trajanja projekta, potekala bo skupna promocija projekta, vsi partnerji bodo dodajali vsebine na internet, skupna bo tudi priprava brošure. Čezmejno delovanje omenjenega sklopa se bo odražalo predvsem v izmenjavi izkušenj, idej, povezovanju, mreženju in navezovanju stikov med vsemi partnerji in ciljnim skupinami na projektu.

5. Zaključek

Projekt ponuja možnost poglobljenega razmisleka in raziskave o trajnostnih tehnologijah in pristopih k načrtovanju in izvedbi sistemov javne razsvetljave. Poleg tega bo vzpostavljen model prenosa znanja in izkušenj na področju trajnostne javne razsvetljave med čezmejnimi regijami Spodnjėsavsko in Podravsko ter Zagrebško županijo. Preko aktivnosti informiranja javnosti kot naprimer organizacija delavnic za interesne skupine ter izdelava spletne strani, se bodo znanja pridobljena v okviru projekta razširila tudi v druge občine in regije Slovenije in Hrvaške.

Avtorjev naslov:

Mitja PRELOVŠEK, univ.dipl.inž.el., MSc Lighting Design
Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani
1000 Ljubljana, Tržaška 25, Slovenija
Tel.: 01/4768-901
Elektronski naslov: mitja.prelovsek@uni.fe-lj.si

Govorov P., Nosanov N., Romanova T., Korol O.

MODELING LIGHTING SYSTEMS ON THE BASIS OF LIGHT-EMITTING DIODE LIGHT SOURCES

Abstract

In article psychophysiological aspects of influence of illumination and its chromaticity on health of the person are considered. Ways of the account of the psychosomatic factor are offered at designing and operation of lighting installations, and also means of correction of colour and light of influence of illumination on the person.

Povzetek

V prispevku obravnavamo psihofizične vplive razsvetljave in njene barvnosti na zdravje udeležencev. Predlagani so načini za upoštevanje psihosomatskih faktorjev pri načrtovanju in načinu delovanja razsvetljave, kakor tudi načini za korekcije vpliva razsvetljave na ljudi s pomočjo spremembe barve in nivoja svetlobe.

1. Introduction

Now in connection with wide application of artificial illumination in all spheres of human life the increasing urgency is got by questions of light influence of illumination on a psychosomatic condition of the person. It demands more weighed approach to a choice of parametres and an estimation of modes of systems of illumination.

It is known [1,4] that light influences work not only the visual analyzer, but also an organism as a whole. Light supervises циркадные rhythms, mood, and accordingly, and behaviour of the person. Therefore in lighting installations utilitarian and, especially, architecturally-art illumination these factors not only "play" on perception of the person, complicate perception of objects, exteriors or compositions as a whole, and on occasion and definitely influence health of the person.

The strongest effect on a condition of the person is rendered by colour of a composition and its dynamics. Especially brightly it has found the reflexion in installations with light-emitting diode light sources in connection with possibility of creation special, focused on concrete conditions and problems цветосветовых dynamic systems of illumination. Therefore in modern conditions the light source should be considered not only as a source of certain length of a wave of radiation, from the point of view of distinction and an estimation by an eye цветосветовых characteristics of shined object, but also from the point of view of difficult reaction of an organism on цветосветовые irritants, and also dynamics of their change. In this connection

lighting installations cannot be considered in the form of simple set of electric networks any more, lighting electroreceivers and защитнокоммутиционной equipments.

It demands, representation of lighting installations in the form of difficult biotechnical systems corresponding perfection, methods and illumination means.

To the more full examined conditions there correspond the dynamic systems of artificial illumination adapted for conditions and modes of the natural.

2. The publication analysis. A question condition

It is known [1,07] that one of factors of ability to live of the person is illumination. It is proved that in December-January when it is not enough solar illumination, depression and grief is more often shown. Presence testifies to importance of value of colour in ability to live processes, the illnesses, caused by surplus of dark blue colour (tumour) - ультрагрин, the illnesses caused by surplus of red colour (inflammation) - инфрагрин [5] and another.

The elementary example материализации light influence on a human body is realisation of system a dream-wakefulness with participation of a material component – the melatonin, showing a product эпифиза, on the one hand, and result of change of information property of a light stream, with another. So, the electromagnetic signal causing a certain picture on the screen of the TV and the computer, can cause essential changes of psychological characteristics of the person who is looking through either the television program, or subjecting to electromagnetic radiation from the computer screen. The civilised person cannot leave a zone of electromagnetic influence. We are not capable to refuse computers, radio telephones, TVs, refrigerators, electric plates and the other technical blessings.

Precisely also light devices intertwine with "lines" in genetic "texts". By means of technical systems it is possible and to start important protective mechanisms of our genetic device and to enter new wave programs which will repeatedly strengthen our reserve possibilities.

The theme of psychophysiological influence цветосветового spaces on the person always interested scientists and there was central on all светоформах including at a forum «an European lighting congress – Lux Europe» [2] and incorporated conference of lighting societies of Germany, Austria, Switzerland and the Netherlands [3]. The analysis of the proceedings given at conferences, specifies in the big data file, concerning quality standard of the specified influence. At the same time questions of a quantitative estimation of influence цветосветовой environments on a human body of methods and means of its correction, at the specified conferences were not considered. In work [6] emotional reaction of the person to colour stimulus for the first time is considered and physiological reaction of an organism to colour according to kozhno-galvanic resistance is considered. In work [7] authors have addressed to registration of change of electric activity of a brain under the influence of the colour, however the given researches have been directed on revealing of interrelation of the form электроэнцефалограммы (ЭЭГ) and colour preference. Besides it, an extensive number of the works directed on studying of form ЭЭГ as a result of colour агнозии and of some diseases of a brain is known. Along with the specified researches in scientific sources many works are devoted phototherapy and its technical realisation, also based on ЭЭГ [8], in a number of works change of electric activity of a brain under the influence of flashing light [9] and improvement of a psychoemotional condition is shown. **In works [10,11] questions complex светосветового illumination influences on the person are investigated and the model of a quantitative estimation of this influence is developed.**

As experts almost healthy aged people from 20 till 60 years of man's and female floors were involved. According to [8] higher mental functions of a brain at men and women are not identical, and perception of colour light signals, according to [5], the big role is played by the age factor.

Therefore division of examinees of people to sexual and age signs influences of the given factors providing quantitative definition on psychophysiological influence цветосветового spaces is carried out. According to it examinees have been divided into age groups with step to 10 years, only 8 groups, number of 23-26 persons everyone. Identical samples on a floor and age were carried out by groups in 20-30 years, 31-40 years, 41-50 years, 51-60 years. Besides, two groups (man's have been allocated and female) is elderly over 60 years.

The algorithm of experimental researches, provides estimation research: pulse rates; changes pressure; indicators depending on colour characteristics of light space (characteristics of a total vector of mixed colours, chromaticity co-ordinates ($aR+bG+cB$), brightness of a colour field). Simultaneously with it estimations were investigated also: time of colour influence for the person, age of the person, a sex of person.

Colour and light environments on the person [10] are developed by authors for a quantitative estimation of influence mathematical models of influence of the factors set forth above on the parameters characterising a condition of the person. For the decision of a problem they used the composite orthogonal plan, as optimisation parameters are accepted:

Y_1 – pulse rate change; Y_2 – size change pressure accordingly; $Y_3 \div Y_{11}$ – values of indicators. Varied parameters were: X_1 – chromaticity coordinate a; X_2 – chromaticity coordinate b; X_3 chromaticity coordinate –c; X_4 – brightness of colour; X_5 – time of colour influence for the person; X_6 – age of the person; X_7 – sex of person.

Considering that the sex of person can accept two values, separate mathematical models are developed for an estimation of colour influence of men and women. Colour influence was investigated in conditions равномерного colour space ($X_4 = \text{const}$) equal time of influence by each colour spectrum ($X_5 = \text{const}$) for achievement of as much as possible adequate dependence of change of physiological indicators of colour loading of a field of vision.

The age of the person is not the factor for a task in view – estimations of degree of influence of each chosen factor on a condition of the person – as for each person it is defined by concrete value. Therefore separate mathematical models are developed for each age group.

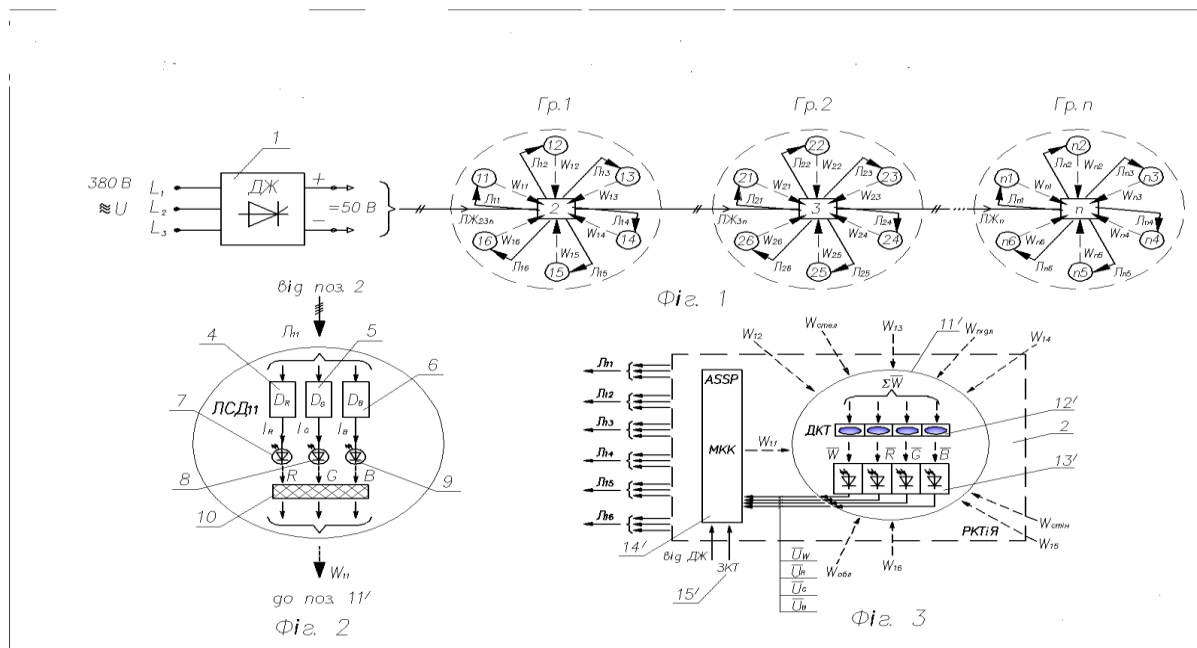
The description of a surface of the response in investigated area is received as a result of realisation composite orthogonal the plan, and in a general view model colour and light influences for each age group of man's and female floors is received in a kind:

$$Y(x_1, x_2, x_3) = a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{01}x_1 + a_{02}x_2 + a_{03}x_3 + a_{00}.$$

The developed models colour and light influences on a human body allow to define optimum area of factorial space in which the person is in the most comfortable conditions, and also to identify a condition of the person in the given point of factorial space. Their use opens possibility for optimum control colour and light space on the basis of application of operated systems of dynamic illumination.

3. System of dynamic light-emitting diode illumination.

The developed dynamic system of illumination can work with various light sources (IC) including with light-emitting diode lamps (ЛСД) [2] which have optical feedback of regulation of light temperature and brightness. It consists of power transformer T, phases L_1 , L_2 , L_3 and neutral wire N. A transformer neutral, and ЛСД are attached on phase a voltage of 220 V under the scheme «a star with zero» (fig. 1).



Feature of the considered system of illumination is possibility of regulation of colour temperature and brightness, and also creation on their basis цветосветовых dynamic effects. The system considers physiological influence of illumination on the person, and also degradation of light-emitting diodes and allows to optimise colour and light parameters for all term of operation.

The problem put in work is solved because the illumination system includes the power supply (ИП), on the basis of three-phase a regulator of capacity with target pressure 50B, DC [6], n^{ro} quantities of groups with light-emitting diode lamps with RGB-light-emitting diodes, group regulators of colour temperature and brightness (РКТ1Я) which consist of gauges colour temperature, colour microcontrollers, with RGB-drivers LSD.

On (fig. 1) the block diagramme of the combined dynamic system of electric illumination with light-emitting diode light sources with dynamic regulation of colour temperature and brightness and loading balancing is represented.

On (fig. 2) device LSD₁₁ scheme (ноз.11), on fig. 3 – the scheme of a regulator of colour temperature and brightness (ноз.2) is shown.

Offered contains following blocks (figs. 1-3): 1 three-phase power supply – symmetric a regulator of capacity (pressure) for single-phase electroreceivers with pressure on input AC/380B, 50 Hz, on an exit – DC/50B; 2, 3, n - group the light-emitting diode lamps corresponding to groups – 2-gr.1, 3 rp.2, n - rp.n accepted ADJD-j823 with the microcontroller of colour ASSP and the four-channel gauge of colour temperature and brightness ADJD-S371-QR999 [3,4]; 11-16, 21-26, $n_1 - n_6$ - light-emitting diode lamps, for example, ЛСД₁₆ (the first figure to an index means group number – rp.1, the second – number of a position of a lamp – ноз.6).

On fig. 2 it is shown, how an example, the device of light-emitting diode lamp ЛСД₁₁, others are executed similarly; 4, 5, 6 – drivers D_R , D_G , D_B ; LED_R, LED_G, LED_B accordingly; 10 - rasseivatel; ЛП_{23n}, ЛП_{3n}, ЛП_n – lines of food; Л₁₁-Л₁₆, Л₂₁-Л₂₆, Л_{n1}-Л_{n6} – communication lines respective ЛСД with group; W_{11} - W_{16} , W_{21} - W_{26} , W_{n1} - W_{n6} – light streams of white colour from respective ЛСД to gauges of colour temperature respective group;

ΣW – total light stream of all ЛСД and reflected from a ceiling, a floor, walls, the equipment, etc.; $11'$ – the integrated four-channel gauge of colour temperature (Red, Green, Blue, White); $12'$ – RGBW-optical filters four-channel; $13'$ – the converted four-channel RGBW, light-pressure (or the gauge of colour temperature of RGB-colour); $14'$ – the colour microcontroller ASSP; $15'$ – the gauge of colour temperature RGB (fig.3).

Developed works as follows. All elements of the scheme (fig. 1-3) receive a food from the power supply 1, pressure 50B, DC. The power supply represents three-phase symmetric a regulator of capacity for single-phase electroreceivers, which are included under Larionov's scheme and eat from existing system 380/220B, the EXPERT, or from three-phase system 380B, the EXPERT with the isolated neutral. Thus, the requirement for use of fourth wire N vanishes in the first case. Because groups of electric illumination are executed similarly, in work as an example, the group №1 and ЛСД_{11} is considered.

In scheme feedback, that is a regulator of colour temperature 2, ADJD-j823 [3] into which structure enter the integrated four-channel colour gauge $11'$ with RGBW-colour optical filters $12'$ and the gauge of colour temperature $13'$, the microcontroller of colour ASSP $14'$ and gauge colour temperature (3ЦТ) $15'$ (fig. 1,3) is applied three-colour optical.

By means of 3ЦТ $15'$ the corresponding colour temperature and the law of its change for each colour RGB is set by following pressure $U_{R \text{ зад}}$, $U_{G \text{ зад}}$, $U_{B \text{ зад}}$, $U_{W \text{ зад}}$. In light source ЛСД_{11} 11 (fig. 2) different colours of light from LED_R , LED_G , LED_B accordingly 7,8, 9 mixes up and there is white colour W_{11} with the corresponding colour temperature and brightness. White colour W_{11} – W_{16} from all ЛСД_{11} – ЛСД_{16} and reflected from a ceiling, a floor, walls, the equipment and another, mixes up, averaged in space of a premise and an average total light stream $\Sigma W (\Sigma W = W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{15} + W_{16} + W_{\text{пот}} + W_{\text{ст}} + W_{\text{п}} + W_{\text{об}} + W_{\text{др}})$ приходит на $11'$. ΣW , passing through RGBW – optical filters, are filtered on certain average colour light streams ΣR , ΣG , ΣB , ΣW , which arrive to corresponding RGBW gauges of colour temperature $13'$ where there is a transformation of RGBW-colour to electric signals of pressure accordingly U_R , U_G , U_B , U_W which arrive to the converter of colour of system ASSP $14'$.

The photogauge of white colour ΣW , and accordingly, an optical filter, are intended for brightness regulation.

At designing of system of illumination the gauge of colour temperature $11'$ takes place together with the colour microcontroller $14'$ or separately, it becomes in such a manner that on it would get as more than light streams from all ИС the given group of light exposure taking into account reflected light. Can be executed any volume design, for example, in the form of a circle, a cube, a parallelepiped and others but so that placing of photogauges has been executed on all surface with such calculation, what as on to capture total average light streams of object that is projected much more. Therefore to placing give particular attention.

Filters of low frequencies do "averaging" of a signal of the gauge that leaves in such a manner that constant level of pressure is transferred to the block of comparison of the controller $14'$ measured $U_{\text{изм}}$.

Mismatch signal $\Delta U = U_{\text{изм}} - U_{\text{зад}}$ moves on the block of algorithm of processing of colour $14'$, where are processed and arrive on ШИМ-generator block $14'$, with regulates storing factor ШИМ-signal of management and drivers 4, 5, 6 ЛСД_{11} corresponding channels RGB fig.2,3). After drivers the current of management I_R , I_G , I_B arrives on light-emitting diode light sources LED_R , LED_G , LED_B accordingly 7, 8, 9.

The system of feedback ASSP [3] will regulate the target data until there will come dependence $\Delta U \approx 0$. In this case $U_{\text{зад}} \approx U_{\text{изм}}$, that is on an exit from a light source constant value of the set colour temperature and brightness depending on degradation of crystals of light-emitting

diodes will be supported. Thus the current of RGB-light-emitting diodes will grow both service life JICД and systems as a whole will be continued.

It is important to remember that in process of ageing of light-emitting diodes intensity of their luminescence decreases. Then, brightness of light-emitting diode RGB-system, will go down in due course. In the majority of the data from literary sources gradual decrease in brightness is admissible, not change of colour of a luminescence RGB - light-emitting diodes is admissible. Microcircuit ASSP supervises decrease in brightness of light-emitting diode RGB-system in such a manner that chromaticity remains to a constant (within the admission) even at reduction of as much as possible admissible brightness.

Thus, introduction of dynamical optical system with feedback for RGB-system will allow to improve quality of illumination in connection with possibility to establish any values of colour temperatures and to change them under any set law.

Can easily cope дистанционно under the set program which considers dynamics light change in a current of days and any annual changes, and also to adjust on increase of efficiency of work in the end of change when fatigue of workers is felt, the colour temperature and brightness thus raises.

It is possible to apply first of all there where there is a necessity of regulation of colour temperature and brightness for continuous dynamic regulation of the basic lighting parametres of system.

4. REFERENCE

- [1] the reference book for designing of electric illumination. Under the editorship of G.N. Knorring. L.: Energia, 1976. – 384 p.
- [2] Grosh Kauchan Present And Future Applications Of Phasse Shifters In A Large Power Transmission Network / Kauchan Grosh // Prop Anoer Power Gons.: 55th Anan. Amer. Power Conf., Chicago 3, 1993, Vol. 55, Pt.1 – Cchicago (3) 1993, p. 727-731.
- [3] RGB digital gauges of light. The firm cataloguc Avago Technologies, 2007
- [4] Kurnetsov V.G. Electromagnetic compatibility. Non-symmetry and voltage non-harmonicity / V.G. Kuznetsov, E.G. Kurenny, A.P.Lyuty // Donetsk: Nord-Press, 2005. – 250 p.
- [5] Mikhailov V.V. Modes of housing and communal power consumption / V.V. Mikhailov, M.V. Tarnizhevsky, V.F. Timchenko // M.: Energoatomizdat, 1993. – 288 p.
- [6] Markushevich N.S. Voltage quality in municipal electric networks / N.S. Markushevich, L.A. Soldatkina // M.: Energoatomizdat, 1975. – 256 p.
- [7] Michalic R. Phase-shifting Transformer With Fixed Phase Between Termime Voltage And Voltage Boost: Tool For Transiont. Stabiling Marginenhancement / R. Michalic, P. Zunko // IEE. PProc. Generat., Transmiss. And Dctrib. – 1995. – 142, №3 –p. 257-262.
- [8] Grosh Kauchan Present And Future Applications Of Phasse Shifters In A Large Power Transmission Network / Kauchan Grosh // Prop Anoer Power Gons.: 55th Anan. Amer. Power Conf., Chicago 3, 1993, Vol. 55, Pt.1 – Cchicago (3) 1993, p. 727-731.
- [9] Govorov P.P. City lighting: look at the conception/ P.P.Govorov // Information bulletin of the AS VOU. – 2008. - #4(60). – p. 54-60.
- [10] State standard of Ukraine (IEC 61000-3-2:2004, edito 2.2, IDT) Standards of harmonic flow emission.
- [11] Veksler G.S. Suppression of electromagnetic interference in electrical feed circuits / G.S. Veksler, S.V. Nedochetov, V.V. Pilipsky // K.: Tehnika, 199. – 167 p.

Author's addresses

Kharkov National Academy of Municipal Services
of chair Svetotekhnika light sources
Revolushion 12, Kharkov, Ukraine

Govorov F., Govorov V., Korol O.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF LIGHT-EMITTING DIODE LIGHT SOURCES WITH A NETWORK

Abstract

Electromagnetic compatibility of light-emitting diode light sources with a network. In article questions of electromagnetic compatibility of light-emitting diode light sources with a power line are considered. Relationships of cause and effect of occurrence and character of course of the higher harmonics in lighting electric networks are investigated, the estimation of level is given and consequences of the distortions brought by light-emitting diode light sources in a power line are defined.

Povzetek

Prispevek obravnava elektromagnetno kompatibilnost LED svetlobnih virov z električnim omrežjem. Predstavljene so povezave med vzročnostjo in posledicami ter značilnostmi smeri širjenja višjih harmonskih komponent v električnih omrežjih, ki vključujejo razsvetljavo. Podana je ocena nivoja popačenja ter posledice, ki jih LED svetlobni viri vnašajo v električno omrežje.

1. Introduction

Characteristic feature of modern power is annual growth of current consumption for needs of illumination. Thus important feature of lighting consumers is presence in their structure of a great number of electrical receivers with nonlinear characteristics. Moreover, the annual increase in number and expansion of the nomenclature of lighting electrical receivers applied in a life is invariably accompanied by occurrence of the new light sources which are an additional source of hindrances and distortions, brought by them in a power line. In connection with an insufficient level of scrutiny of the specified question there was a question on electromagnetic compatibility of light-emitting diode light sources with a network, not the decision of this question within the limits of the European Union give to the specified problem a special sharpness.

In systems of a household power consumption the great number of scientists was engaged in questions of electromagnetic compatibility. Among them the important place is occupied with works of the Ukrainian experts – acad. Kuznetsova V. G and Shidlovskogo A.K., prof. Zhezhenko I.V. and Kurenno E.G., etc. [1-4], and also experts from near [5, 6], and also the far abroad [7, 8]. They give an estimation and in networks of the general using scientific and technical and methodical bases of improvement of quality of energy are developed for the most general, classical structure of consumers. During too time expansion of the nomenclature of electrical receivers and occurrence of their new types and nonlinearity of their characteristics has

demanded carrying out of the additional researches, having the purpose an estimation of modes and level of electromagnetic compatibility of consumers with such electrical receivers.

To number such new and not investigated, from the point of view of electromagnetic compatibility of electrical receivers the lighting electrical receivers executed on the basis of light-emitting diode light sources concern.

2. Problem general characteristic

Now light-emitting diode light sources, owing to their high power characteristics, the improved colour and dynamic properties, receive more and more wide application in systems of illumination of cities. It has allowed to change today already external shape of cities, to make the environment of stay in it more comfortable and attractive [9]. However use of light-emitting diode light sources is interfaced to a number of the features connected with nonlinearity of their characteristics and application as the power supply of light-emitting diodes of electronic converters. The major feature of such devices is occurrence in a network of distortions of a current and pressure. On a level with some deterioration of power indicators of a network, it in much bigger degree is accompanied also by generation of hindrances transferred, both on a network, and through atmosphere. Their presence, on the same level with decrease in service life of the equipment and the lines eating from general tyres TP, increase in losses of capacity and pressure in networks, as a whole reduces overall performance of networks and connected to them consumers, complicates work electronic, a body - radio capacious and transferring equipment, communication facilities and communications. It is connected with distribution of the higher harmonics of pressure and a current on all network from which receive a food light sources, up to transformers TP, and under certain conditions – and further, in a network of the higher pressure (fig. 1).

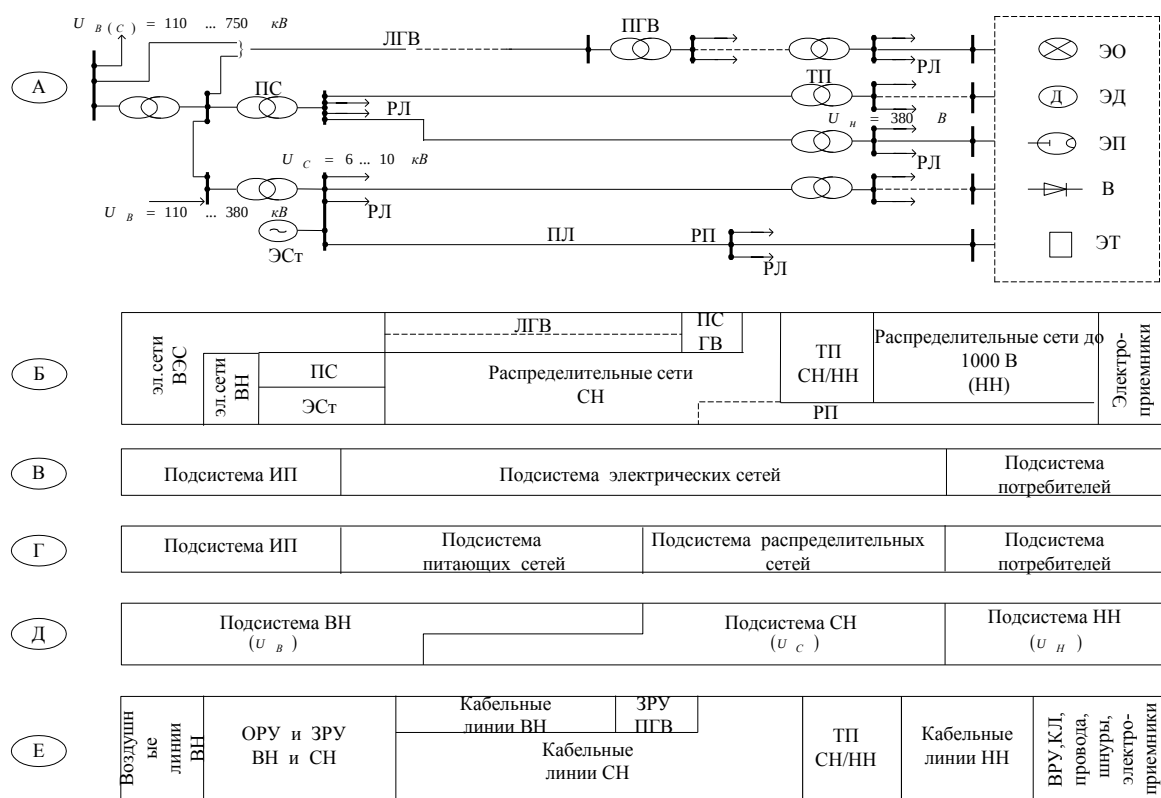


Fig. 1 Block diagramme of systems of an electrical supply and illumination of cities

ПГБ – substation of deep input; ЛГБ – a line of deep input; ПС – regional substation 110 (220)/10 (6) κB ; ТП – transformer substation 10 (6)/0.4 κB ; РЛ – a distributive line 10 (6) κB or 0.38 κB ; ЭСт – power station; ВЭС – electric networks of an external electrical supply; РП – distributive substation 10 (6) κB ; ПЛ – a feeding line 10 (6) κB ; ИСАУ – introduction distribute тельное the device; ИП – the power supply; ИШОУТ, ЗПУ – the switching centre opened and closed, accordingly; ЭО, ЭД, ЭП, In, ЭТ – lighting, impellent, converting, and electrical technological electrical receivers; ВН, СН, НН – high (110 κB and more), an average (6, 10 κB) and low (0.38 κB) pressure, accordingly

Undoubtedly that degree of influence of light-emitting diode light sources on processes in networks of the general using will be defined by their individual share in the general loading of a network. Today, there where their share is not great, this influence is insignificant. However, in case of a great number of such electrical receivers their influence can be essential. Therefore, as in the future substantial growth of a share of the electric power spent for light-emitting diode illumination is expected, the estimation of their electromagnetic compatibility with a network is timely and actual.

3. Sources of distortions

According to the State Standard of Ukraine 61000-3-2:2005 (IEC 61000-3-2:2004, edito 2.2, IDT: Standards of harmonic flow emission [10]), electromagnetic compatibility is a property of the equipment or systems to satisfactorily operate in the electromagnetic environment and not to generate objectionable electromagnetic interference to anything in this environment.

As it is told earlier, a source of electromagnetic hindrances (EH) in networks are elements with nonlinear characteristics. In structure of electromagnetic hindrances of lighting electric networks it is possible to allocate two basic groups of such sources: EH power supplies and EH consumers.

The reason of occurrence EH of power supplies is defined by set of circuit and regime factors. Presence EH of consumers is caused by features of power transformation in electrical receivers.

It is necessary to notice that features of occurrence and character of course EH of power supplies have much in common and are well enough studied [11]. At the same time features of occurrence and character of influence EH of consumers at their various types substantially differ. For the majority of them especially traditional, deep enough and multilateral researches are conducted. However for set of new consumers of such researches it was not spent that does ineffective their work, and also negative impact on adjacent consumers makes. To number such new and малоисследованных, from the point of view of EH, electrical receivers the lighting electrical receivers executed on the basis of light-emitting diode light sources concern. Presence in them of the electronic converter in a combination to nonlinearity of characteristics of light-emitting diodes causes distortion of curves of pressure and a current consumed of a network and, as consequence, course on elements of a network of the higher harmonics of a current. As light-emitting diode light sources are carried out, as a rule, as a single whole with the power supply, within the limits of a considered problem division of hindrances into hindrances from the power supply and consumers is not represented expedient, and the account of the scheme of the power supply is possible in a complex, with reference to various types of light-emitting diode light sources.

4. Standardization of harmonics

Value of the distortions generated by electrical receivers of housing and communal services in a network, now, establishes a number of documents. Among them State standard of Ukraine IEC 61000-3-2:2005 (IEC 610003-3-2: 2004, editio 2.2, IDT) Standards of harmonic flow emission [10], State standard of Ukraine 4210:2003 (UT 55103-1:1996) Electromagnetic compatibility. Professional audio-, video- and audio-visual facilities and apparatus for controlling lighting facilities [12], State standard of Ukraine IEC 61000-6-2:2007 (IEC 61000-6-3: 2006, IDT) Electromagnetic compatibility. General Standards. Interference emission in housing and trade environment and in production areas with low energy consumption [13] etc. Every standard is adapted to specific operating conditions and specifies a permissible level of distortions caused by a definite type of electrical receivers.

Maximum allowed value of current harmonics for lighting units of more than 25 Watt according to State Standard of Ukraine 61000-3-2:2005

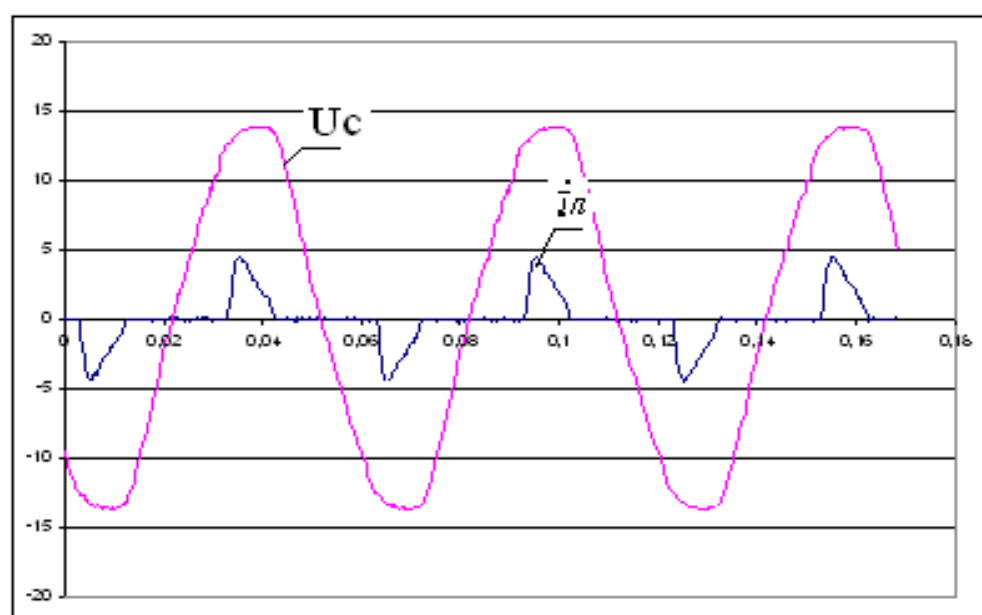
Harmonic number, n	Maximum allowed value of current harmonics in % of the basis harmonic
1	2
3	$30 \cdot \lambda_{\text{en}}$
5	10
7	7
9	5
11	3
$13 < n < 39$	3

*For lighting units of the power less than 25 Watt there are standardized only the values of 3rd and 5th harmonics which should not be higher than 86% and 61%, respectively, of the main harmonic current

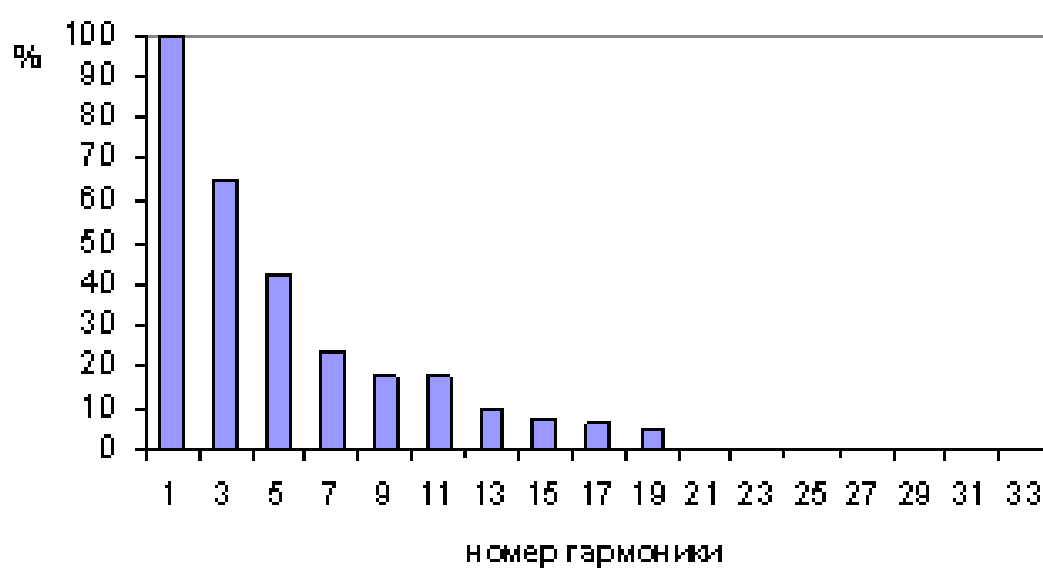
5. Experimental researches of harmonious structure of a curve of a current of light-emitting diode light sources

To evaluate a level of distortions caused by light-emitting diode light sources in a network and a necessity of their record in the construction of lighting units on the base of light-emitting diode light sources the authors performed the experimental research of curves of current consumed by light-emitting diode light sources out of a network. Root-mean-square voltage U_1 and current I_1 were measured with the help of the instrument of an electromagnetic system, and the form and a harmonic composition of a network current curve $i_c = i_L$ were investigated with the help of the instrument 'Power monitor 3.3'.

As a light-emitting diode light source light-emitting diode light sources of type SDR 27 and SDR 27 with PDM and without it were used. Forms of curves of a current of lamps $i_L = i_c$ are resulted on fig. 2a-5a accordingly, and their harmonious structure – on fig. 2b-5b.



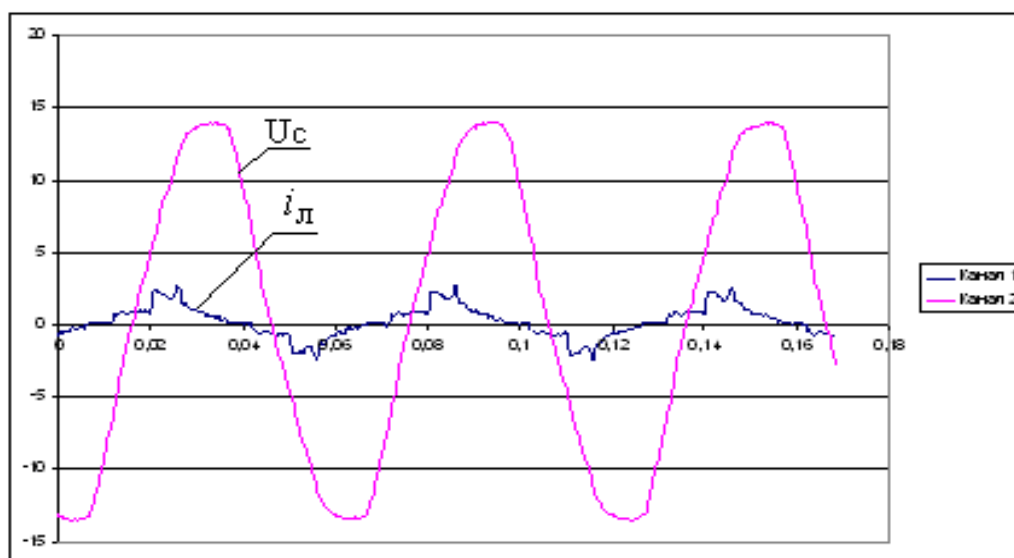
a)



b) Harmonic number

Fig. 2. Harmonic composition of the current curve of the lighting units like SDR-27-PDM with PDM ($K_{HC}=85,87\%$)

a curve forve; b) levels of harmonics



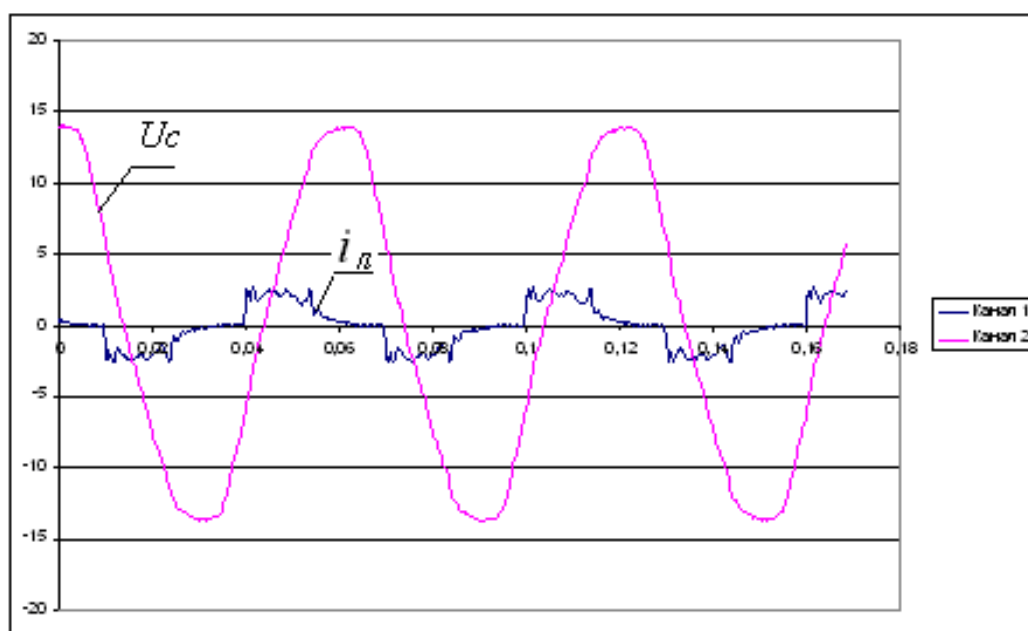
a)



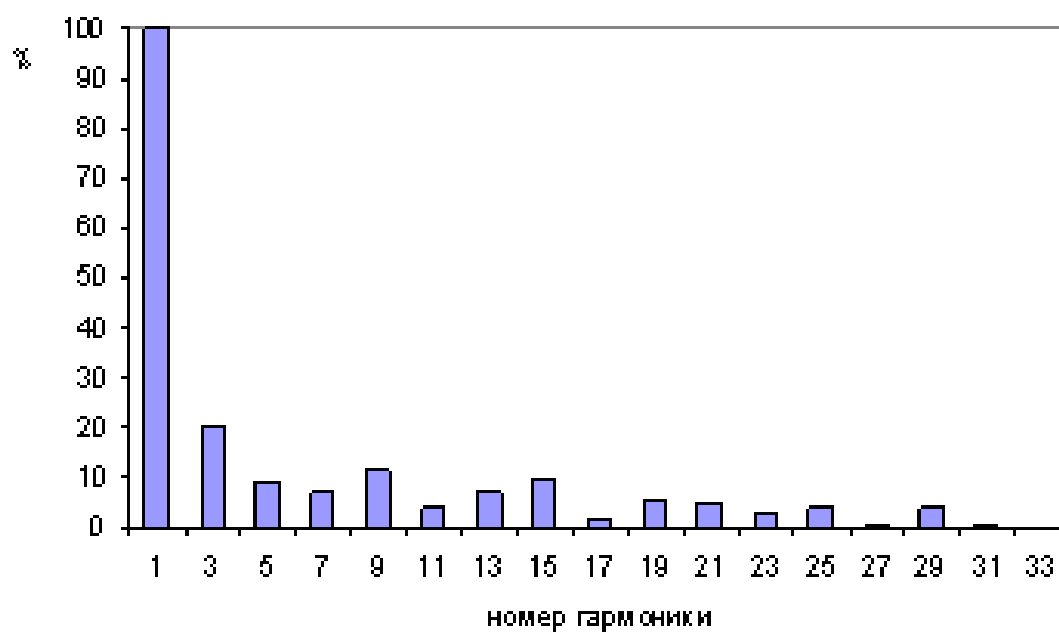
b) Harmonic number

Fig.3. Harmonic composition of the current curve of the lighting units like SDR-27 without PDM($K_{HC}=91,9\%$)

a) curve forve; b) levers of harmonics

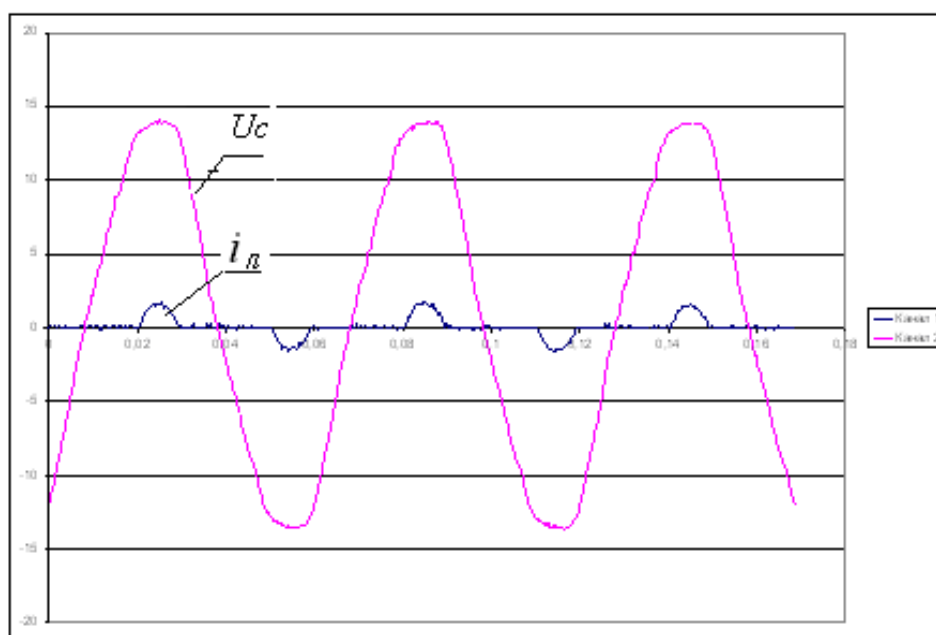


a)

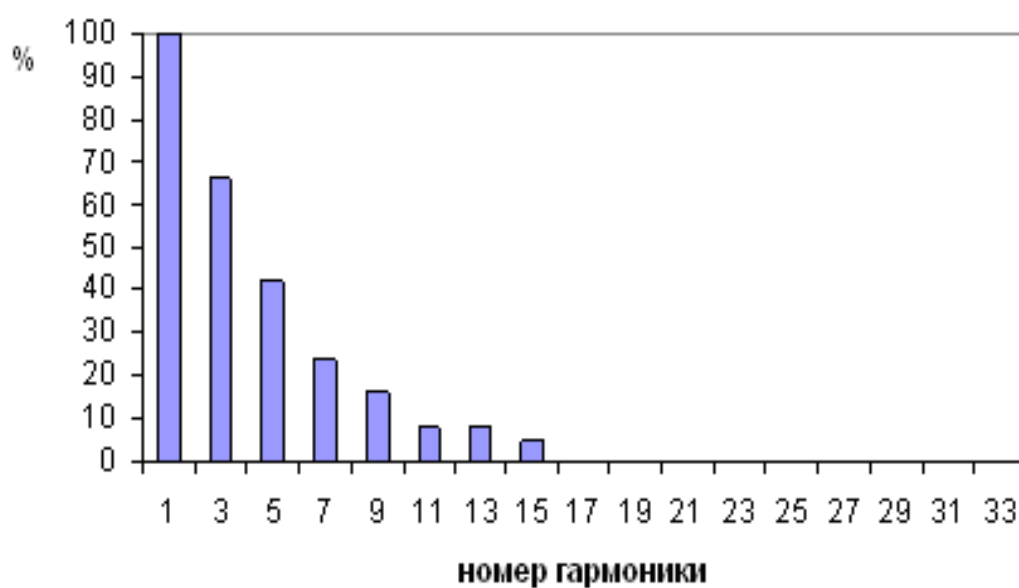


b) Harmonic number

Fig. 4. Harmonic composition of the current curve of the lighting units like SDK-27 without PDM ($K_{HC}=31,09\%$) a) curve forve; b) levers of harmonics



a)



b) Harmonic number

Fig.5. Harmonic composition of the current curve of the lighting units like SDK-27 –PDM with PDM ($K_{HC}=31,09\%$)

a) curve forve; b) levers of harmonics

The analysis of results of experimental researches testifies that level of the higher harmonics of a curve of a current of the light device consumed from a network on the basis of a light-emitting diode light source is on the verge of established State Standard of Ukraine limits. It concerns, first of all, individual light devices of type SDP-27, and SDP 27(PDM) provided that their capacity does not exceed 25 Watt. In case total capacity of light devices exceeds 25 Watt requirements State Standard of Ukraine are more rigid also them do not maintain, practically, almost all light devices, behind an exception unless that SDR-27 and at which they are on a limit. The stated demands application of special measures on decrease in level of the higher harmonics in networks with light-emitting diode light sources, in particular, if their cumulative capacity exceeds 25 Watt.

6. CONCLUSION

1. The made analysis has allowed to establish relationships of cause and effect of occurrence and character of course of the higher harmonics in lighting electric networks with light-emitting diode light sources.
2. the spent experimental researches have allowed to establish that values of the higher harmonics in networks with light-emitting diode light sources is at a marginal level and working out of special actions for their reduction demand, in some cases.

7. REFERENCE

- [1] Shidlovsky A.K., Kuznetsov V.G. Improvement of energy quality in electrical networks.- Kiev: Naukova dumka, 1985.-286 p.
- [2] Kuznetsov V.G. Optimization of electrical network modes / V.G. Kuznetsov, Yu.I.Tugai, V.A. Bazhenov // K.:Naukova dumka, 1992. – 216 p.
- [3] Zhezhelenko I.V. Higher harmonics in the power-supply systems of industrial enterprises / I.V. Zhezhelenko // M.: Energoatomizdat, 2000. – 331 p.
- [4] Kurnetsov V.G. Electromagnetic compatibility. Non-symmetry and voltage non-harmonicity / V.G. Kuznetsov, E.G. Kurenny, A.P.Lyuty // Donetsk: Nord-Press, 2005. – 250 p.
- [5] Mikhailov V.V. Modes of housing and communal power consumption / V.V. Mikhailov, M.V. Tarnizhevsky, V.F. Timchenko // M.: Energoatomizdat, 1993. – 288 p.
- [6] Markushevich N.S. Voltage quality in municipal electric networks / N.S. Markushevich, L.A. Soldatkina // M.: Energoatomizdat, 1975. – 256 p.
- [7] Michalic R. Phase-shifting Transformer With Fixed Phase Between Termime Voltage And Voltage Boost: Tool For Transient. Stabiling Marginenhancement / R. Michalic, P. Zunko // IEE. PProc. Generat., Transmiss. And Dctrib. – 1995. – 142, №3 –p. 257-262.
- [8] Grosh Kauchan Present And Future Applications Of Phasse Shifters In A Large Power Transmission Network / Kauchan Grosh // Prop Anoer Power Gons.: 55th Anan. Amer. Power Conf., Chicago 3, 1993, Vol. 55, Pt.1 – Cchicago (3) 1993, p. 727-731.
- [9] Govorov P.P. City lighting: look at the conception/ P.P.Govorov // Information bulletin of the AS VOU. – 2008. - #4(60). – p. 54-60.

- [10] State standard of Ukraine (IEC 61000-3-2:2004, edito 2.2, IDT) Standards of harmonic flow emission.
- [11] Veksler G.S. Suppression of electromagnetic interference in electrical feed circuits / G.S. Veksler, S.V. Nedochetov, V.V. Pilipsky // K.: Tehnika, 199. – 167 p.
- [12] State standard of Ukraine (UT 55103-1:1996) Electromagnetic compatibility. Professional audio-, video- and audio-visual facilities and apparatus for controlling lighting facilities.
- [13] State standard of Ukraine IEC 61000-6-2:2007 (IEC 61000-6-3:2006, IDT) Electromagnetic compatibility. General Standards. Interference emission in housing and trade environment and in production areas with low energy consumption.

Author's addresses

Kharkov National Academy of Municipal Services
of chair Svetotekhnika light sources
Revolushion 12, Kharkov, Ukraine

Andrej Orgulan, Ana Krašovec Vrhovec

NOVOSTI V STANDARDIH SIST EN 12464

Povzetek

Slovenija je ena izmed redkih držav, v katerih je uporaba standardov za razsvetljavo delovnih mest SIST EN 124641-1 in -2 obvezna. To je glavni razlog, da smo se lotili prevoda teh standardov, saj je njihova uporaba množična, razen tega pa skupaj s skupino standardov za cestno in zasilno razsvetljavo tvorijo osnovno skupino standardov za načrtovanje razsvetljave. Odločitev za začetek dela na prevodih je padel v nekoliko neroden termin, saj je bila prenovljena verzija standarda za notranja delovna mesta že v zaključni fazi sprejemanja in s tem življenjska doba prevoda zelo kratka. Vendar smo na tak način dobili izhodišče, ki nam omogoča hitrejše prevajanje posodobljenih izdaj.

V prispevku bomo predstavili osnovne značilnosti slovenskega standarda in spremembe, ki bodo začele veljati že v naslednjih mesecih s sprejemom prenovljenega evropskega standarda.

Abstract

Slovenia is one of the few countries, where the use of standards EN 12464-1 and -2 is obligatory. This is the main reason for translation of these standards in Slovenian language. The translation was, because of some circumstances, delayed and finished just a year before renewed version of standard EN 12464-1 was confirmed.

Basic characteristics of Slovenian standard and changes in renewed version will be presented in this paper.

1. Uvod

Slovenija je ena izmed redkih držav, v katerih je uporaba standardov za razsvetljavo delovnih mest SIST EN 124641-1 in -2 [1] zaradi navedbe v pravilniku o varstvu pri delu obvezna. Kljub temu, da je standard v veljavi že od leta 2004, še pred tem pa so bila na voljo Priporočila SDR za notranjo razsvetljavo [2], ki so v veliki meri skladna s standardom, ima veliko projektantov še danes težave z razumevanjem koncepta razsvetljave delovnih mest.

To je glavni razlog, da smo se lotili prevoda teh standardov, saj je njihova uporaba množična, razen tega pa skupaj s skupino standardov za cestno in zasilno razsvetljavo tvorijo osnovno skupino standardov za načrtovanje razsvetljave.

2. Značilnosti standarda SIST EN 12464-1

Namen tega prispevka ni detajlna razlaga standarda, saj je ta v uporabi dovolj dolgo, da bi ga večina morala znati tudi uporabljati, navedli bomo le nekaj značilnosti, ki so lahko v procesu načrtovanja razsvetljave pomembne, vendar so mnogokrat spregledane.

Osnovna značilnost standarda je, da so zahteve za razsvetljavo podane glede zahtevnosti **vidne naloge**. Tudi kadar so zahteve podane za prostor v zgradbi, so podane glede na vrsto dogajanja ali nalog, ki v tem prostoru lahko nastopajo.

Zahteve za kakovostno razsvetljavo so lahko:

- merljive,
- določljive z matematičnimi postopki,
- nekatere pa še danes ne moremo zanesljivo količinsko opredeliti ali pa
- je njihova določitev prezahtevna in/ali odvisna od posameznikovih sposobnosti.

Zahteve, ki jih lahko uvrstimo v zadnji dve alineji, postajajo vse pogostejše, tudi zaradi hitrega znanstvenega napredka na področju svetlobne tehnike. Nekatere izmed teh zahtev so vključene v prenovljeni standard EN 12464-1:2011 [3], vendar bolj kot smernice, za nekatere pa bodo delovne skupine v CIE in CEN šele morale najti način, kako jih količinsko ali kakovostno opredeliti [4]:

- osebne posebnosti povezane z vidnimi sposobnostmi posameznikov,
- vpliv spektra in količine svetlobe na Cirkadijske ritme,
- vplivi svetlobe na dobro počutje ob daljšem bivanju v zaprtih prostorih,
- natančnejše vrednotenje dnevne svetlobe
- vpliv svetlobnih virov z velikimi svetlostmi na psihološko bleščanje,

Ob očitnih izzivih za bodoče verzije standarda ne smemo spregledati, da že obstoječ standard iz leta 2002 predstavlja marsikomu težave, saj zahteva ob dobrem poznavanju tehnične opreme za razsvetljavo vsaj še:

- spoznavanje delovnih procesov,
- oblike prostorov in
- razporeditve opreme v njem.

Brez teh postopkov lahko pride do paradoksa, ko z modernimi tehničnimi rešitvami iz enainvajsetega stoletja srečujemo rešitve razsvetljave, ki spominjajo na tiste izpred več desetletij ali so še slabše. Do tega lahko prihaja zaradi nepoznavanja zahtev svetlobne tehnike, premalo vloženega časa in truda, ali uporabe idejnih projektov prodajalcev opreme, brez da bi si kdo sploh ogledal prostor, ki ga razsvetljuje.

2.1. Primer napačne uporabe standarda

Za primer vsaj vprašljivega razumevanja standarda lahko navedemo primer razsvetljave industrijske hale dokaj velikih dimenzij. Ob podanih podatkih dimenzij prostora in vrste dejavnosti, ki se v hali odvija ponudnik povzame podatke iz tabele v standardu. Za naš primer so podatki prikazani v tabeli 1.

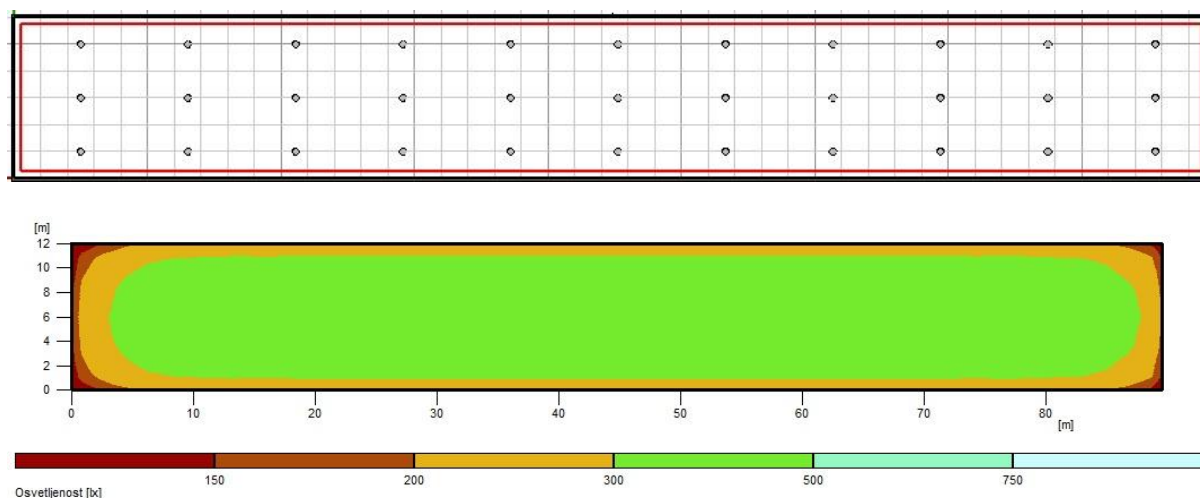
Tabela 1: Primer zahtev razsvetljave za vrsto aktivnosti.

Vrsta prostora, naloga ali delo	E_{vz} [lx]	UGR	Ra
prvi opis dela ali naloge	300	25	80
drugi opis dela ali naloge	500	25	80

Razen teh zahtev moramo upoštevati še zahtevane vrednosti enakomernosti osvetljenosti:

- vsaj 0,7 za področje vidne naloge,
- 0,5 za neposredno okolico
- in seveda izbrati svetilko in svetlobni vir, ki zadoščata razmeram v hali.

Predlagana rešitev, ki jo pošlje ponudnik je prikazana na sliki 1. Razsvetljava skoraj v celotnem prostoru zadošča višjim zahtevam, le ob skrajnih robovih (3 do 4 m) je izračunana osvetljenost nekoliko nižja in s tem pokvari zahtevano enakomernost [5].

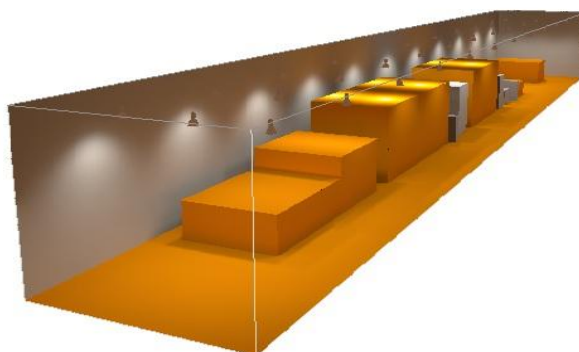


Slika 1: Rešitev razsvetljave industrijske hale predlagana s strani prodajalca svetilk [5]

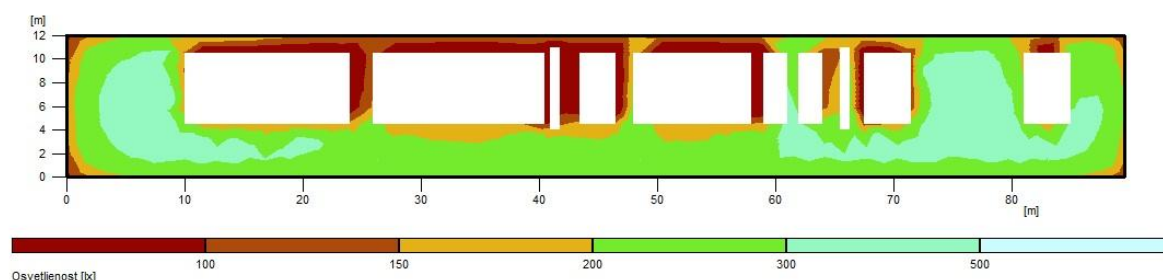
Ob pregledu rezultatov izračuna, ki jo posreduje ponudnik opazimo naslednje:

- vzdrževana vrednost osvetljenosti zadošča, vendar je nekoliko večja,
- enakomernosti osvetljenosti so blizu zahtevanim,
- specifična priključna moč zadošča zahtevam,
- **izbrana je avtomatsko generirana razporeditev svetilk, ki jo program naredi le informativno, ob ponujenih parametrih za faktor vzdrževanja in lastnosti površin v prostoru.**

Proizvodni proces, ki se odvija v omenjenem prostoru bi zahteval vsaj popravek faktorja vzdrževanja razsvetljave, primernost razporeditve pa lahko ocenimo šele, če preverimo vrsto opreme v proizvodni hali. Na sliki 2 je prikazana osnovna shema proizvodnega stroja, ki bo nameščen v prostoru, na sliki 3 pa rezultati simulacije osvetljenosti na ustrezni površini ob upoštevanju lege proizvodnega stroja.



Slika 2: Simulacija razsvetljave prostora z nameščeno proizvodno enoto



Slika 3: Rezultati izračuna horizontalne osvetljenosti z upoštevanjem proizvodne opreme [5]

Ob analizi rezultatov izračuna z upoštevanjem opreme vidimo, da je razsvetljava popolnoma neprimerna. Prikazan primer je mogoče ekstremen, vendar je odraz dogajanja v Sloveniji leta 2011 in kaže na zlorabo možnosti, ki nam jo ponuja sodobna programska oprema za izračune razsvetljave ter pomanjkanje strokovnih pristopov k načrtovanju razsvetljave. Primeri napačne rabe standarda seveda niso pravilo in strokovnjaki, ki spremljajo trende na področju tehnologije, bodo veseli osvežene različice standarda.

3. Novosti v standardu EN 12464-1:2011

Že obstoječa verzija standarda vzpodbuja uporabo naprednih tehnoloških rešitev, in nikjer ne omejuje rešitev s podanimi predlogi, kar je sicer mnogokrat spregledana postavka. Do konca letošnjega leta bo stopila v veljavo prenovljena verzija standarda, ki prinaša nekaj novosti, nekaj dodatnih možnosti in smernic:

- vzpodbuja uporabo naprav za krmiljenje in regulacijo razsvetljave;
- standard sicer predpisuje rabo električne razsvetljave, vendar vsebuje tudi nekaj osnovnih smernic za rabo **dnevne razsvetljave** in poudarja njeno pomebnost;

- nova zahteva v standardu je za **osvetljenost sten in stropov**, ki prispevajo k povečani svetlosti v prostoru in omejujejo možnosti razsvetljave izključno z »downlighterji«;
- definirano je **področje ozadja**, ki ga je potrebno osvetliti – pas širok 3 m naj bo osvetljen vsaj s tretjino osvetljenosti neposredne okolice;
- zahtevana **enakomernost osvetljenosti** je odvisna od delovne in vidne naloge in je med 0,4 in 0,7, spremembe so tudi pri enakomernosti neposredne okolice. Prejšnje zahteve so pogosto bile razumljene narobe – le redkokdaj je potrebna enakomernost 0,7 po celotnem prostoru. Vpeljana je tudi minimalna enakomernost osvetljenosti 0,1, ki velja za osvetljenost ozadja;
- standard vpeljuje natančneje definirano **mrežo točk** za izračun;
- novo priporočilo v standardu je glede **cilindrične osvetljenosti**, ki vzpodbuja rabo dnevne razsvetljave in dodatno omejuje rabo reflektorjev z ozkim snopom sevanja;
- po več kot desetletju odsotnosti je ponovno vpeljana **vrednotenje modeliranja** v prostoru (razmerje med cilindrično in horizontalno osvetljenostjo), ki je nekdanje prisotno kot razmerje med skalarjem in vektorjem osvetljenosti;
- posodobljene so omejitve za mejne vrednosti svetlosti svetilk pri razsvetljavi **delovnih mest s slikovnimi zasloni**;
- vpeljana je zahteva glede energetske učinkovitosti, kot je navedena v EN 15193;

Naštete spremembe niso edine, kar nekaj je popravkov, ki vplivajo na jasnejše definicije in sodobnejšo rabo podatkov.

4. Zaključki

Nekateri primeri slabe prakse načrtovanja razsvetljave, ki sicer niso pravilo, vendar tudi niso popolnoma osamljeni kažejo, da je prevod serije standardov EN 12464 nujno potreben. Mogoče bo vzpodbudil ponudnike razsvetljavnih sistemov, da bodo pri načrtovanju upoštevali celoten standard in ne le tabeliranih zahtev.

Pri prevodu je sodelovala skupina, ki skrbi tudi za prevode naslovov sprejetih evropskih standardov, saj je tempo sprejemanja novih standardov skladen s tehnološkim razvojem, ki je vedno hitrejši. Izrazoslovje je večinoma povzeto po slovarju Slovenskega društva za razsvetljavo, le ponekod smo se odločili za določene posodobitve, ki kažejo, da je tudi omenjeni slovar potreben dopolnitev, saj nove tehnologije prihajajo s področij, ki niso vezana na tradicionalno industrijo razsvetljave in imajo zato določeni izrazi na različnih področjih uporabe različne pomen.

Odločitev za prevajanje je nerodno sovpadla s skorajšnjo prenovo standarda za razsvetljavo notranjih delovnih mest, ki prinaša kar nekaj novosti, vendar je s prevodi postavljena osnova in prevod prenovljenega standarda lahko pričakujemo že v nekaj mesecih.

5. Viri

- [1] SIST EN 12464-1:2004 Svetloba in razsvetljava, razsvetljava delovni mest, 1. del Notranja delovna mesta
- [2] Priporočila SDR: Notranja razsvetljava in vzdrževanje sistemov notranje razsvetljave, 2. izdaja, Slovensko društvo za razsvetljavo, 2004
- [3] prEN 12464-1:2011 Light and Lighting, Lighting of Work places, Part 1 Indoor Work Places
- [4] IEA, Annex 45. *Guidebook on Energy Efficient Electric Lighting for Buildings*. Espoo: Aalto University School of Science and Technology, (2010).
- [5] Damjan Trebežnik, Industrijska razsvetljava, Diplomsko delo, UM FERi, 2011
- [6] ZVEI Guide to DIN EN 12464-1 Lighting of Work Places Part 1, ZVEI, Frankfurt am Main, Germany, 2005

Naslova avtorjev:

mag. Andrej Orgulan, univ. dipl. inž.
Univerza v Mariboru, FERi
Smetanova 17, 2000 Maribor

++386 2 220 7054

andrej.orgulan@uni-mb.si

mag. Ana Krašovec Vrhovec, koordinator projektov
SLOVENSKI INŠTITUT ZA STANDARDIZACIJO
Šmartinska 152, 1000 Ljubljana

tel: 01 478 3011, faks: 01 478 3088

ana.krasovec-vrhovec@sist.si

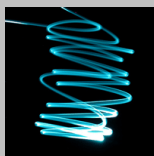
www.sist.si

Berry van Egten

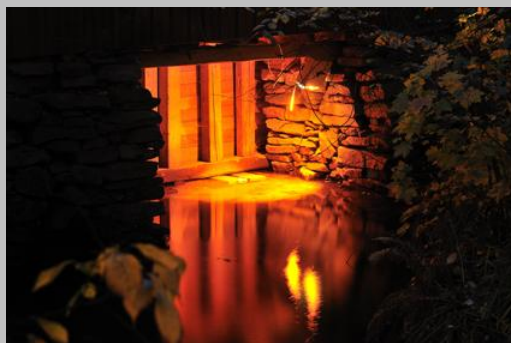
FORGOTTEN SPACES – LIGHTING DESIGN TO UNDERLINE THE CULTURAL IDENTITY

FORGOTTEN SPACES

LIGHTING DESIGN TO UNDERLINE THE CULTURAL IDENTITY



Berry van Egten PLDA



INTRO

BERLUX lichtarchitectuur

- Lighting design

Lighting Design Academy

- Lighting courses

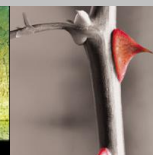
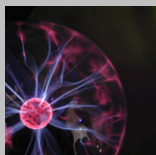
Interior

Exterior

Daylight

Product

Consultancy



TOPICS

- *Light in the urban environment*
- *How preserve our cultural identity with light*
- *The economical factor of tourists*
- *Using color to navigate in the city*
- *Lighting design as an integral element in urban design*
- *Budget, installation and maintenance*
- *Using the 4th dimension and time for a dynamic city*



CONNECTING THE DOTS CULEMBORG

NEW LIGHTING MASTERPLAN FOR THE HISTORICAL CITY



Berry van Egten PLDA



CULEMBORG

SCOPE OF THE PROJECT

Goal

Timeframe

Vision



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

LOCATIONS AND OBJECTS

Markets
Streets
Castel
Tower
Churches
Mill
Monuments



CULEMBORG

CONSIDERATIONS

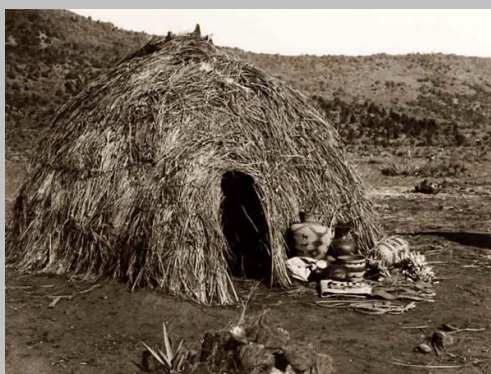
Atmosphere
Cultural and historical settings
Tourist factor
Stakeholders
Social security
Wayfinding and orientation
Light pollution
Timeframe
Sustainability
Exploitation



CULEMBORG

CONSIDERATIONS

Atmosphere
Cultural and historical settings
Tourist factor
Stakeholders
Social security
Wayfinding and orientation
Light pollution
Timeframe
Sustainability
Exploitation



CULEMBORG

CONSIDERATIONS

Atmosphere
Cultural and historical settings
Tourist factor
Stakeholders
Social security
Wayfinding and orientation
Light pollution
Timeframe
Sustainability
Exploitation



CULEMBORG

CONSIDERATIONS

Atmosphere
Cultural and historical settings
Tourist factor
Stakeholders
Social security
Wayfinding and orientation
Light pollution
Timeframe
Sustainability
Exploitation



CULEMBORG

CONSIDERATIONS

Atmosphere
Cultural and historical settings
Tourist factor
Stakeholders
Social security
Wayfinding and orientation
Light pollution
Timeframe
Sustainability
Exploitation



CULEMBORG

CONSIDERATIONS

Atmosphere
Cultural and historical settings
Tourist factor
Stakeholders
Social security
Wayfinding and orientation
Light pollution
Timeframe
Sustainability
Exploitation



CULEMBORG

CONSIDERATIONS

Atmosphere
Cultural and historical settings
Tourist factor
Stakeholders
Social security
Wayfinding and orientation
Light pollution
Timeframe
Sustainability
Exploitation



CULEMBORG

CONSIDERATIONS

Atmosphere
Cultural and historical settings
Tourist factor
Stakeholders
Social security
Wayfinding and orientation
Light pollution
Timeframe
Sustainability
Exploitation



CULEMBORG

CONCEPT

Beacons



CULEMBORG

CONCEPT

Beacons



CULEMBORG

CONCEPT

Beacons

Objects



CULEMBORG

CONCEPT

Beacons

Objects



CULEMBORG

CONCEPT

Beacons
Objects
Areas



CULEMBORG

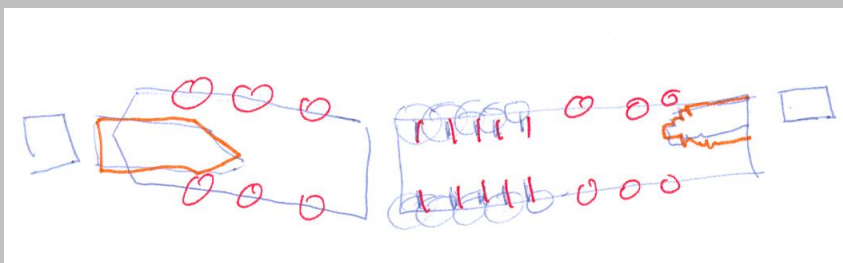
CONCEPT

Beacons
Objects
Areas



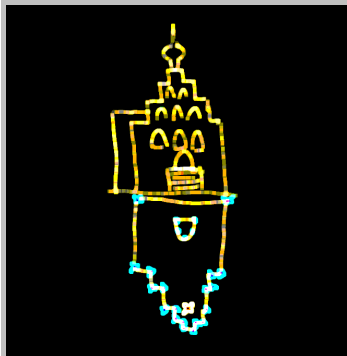
CULEMBORG

CONCEPT FOR THE CENTRAL MARKETSQUARE



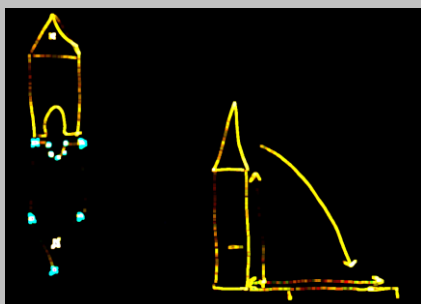
CULEMBORG

CONCEPT FOR THE CENTRAL MARKETSQUARE



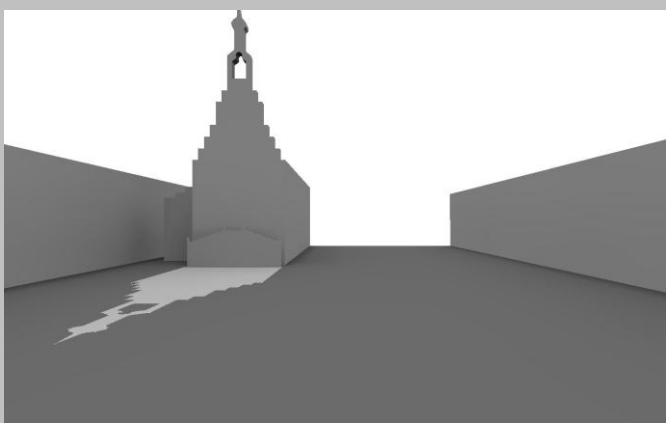
CULEMBORG

CONCEPT FOR THE CENTRAL MARKETSQUARE



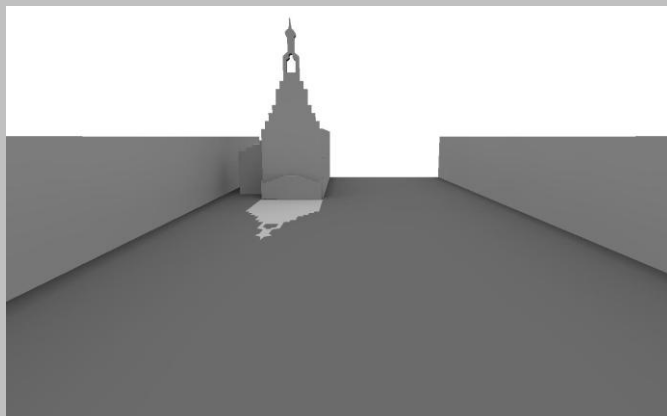
CULEMBORG

CONCEPT FOR THE CENTRAL MARKETSQUARE



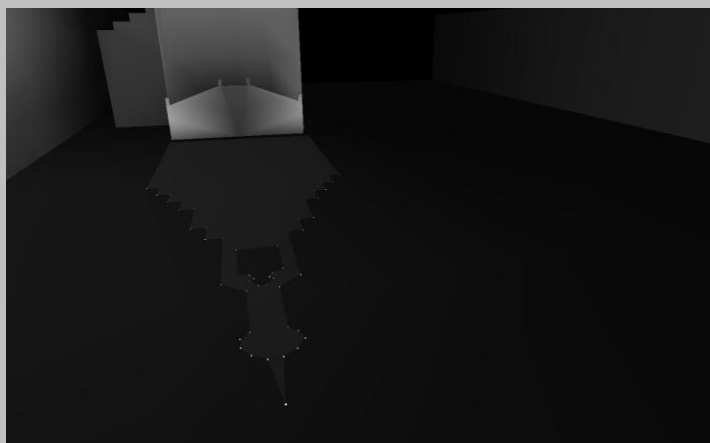
CULEMBORG

CONCEPT FOR THE CENTRAL MARKETSQUARE



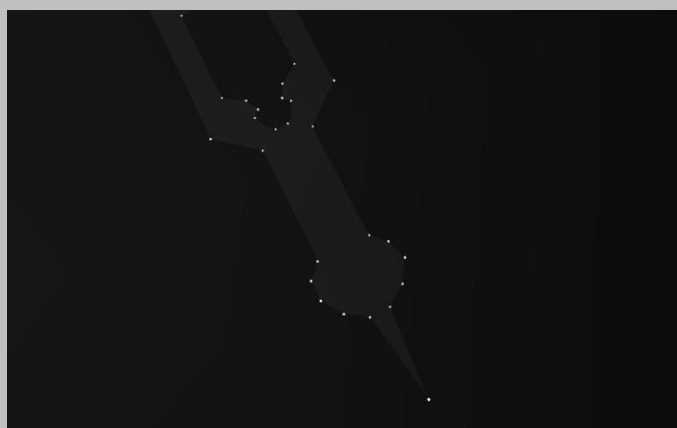
CULEMBORG

CONCEPT FOR THE CENTRAL MARKETSQUARE



CULEMBORG

CONCEPT FOR THE CENTRAL MARKETSQUARE



CULEMBORG

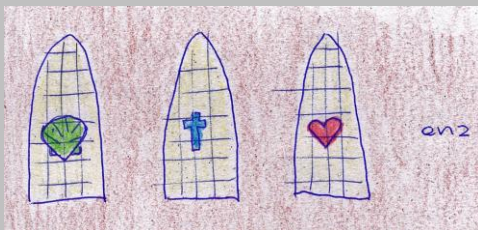
CONCEPT FOR THE OLD CITYHALL

Light scènes

Events

Flexibility

Outlining



CULEMBORG

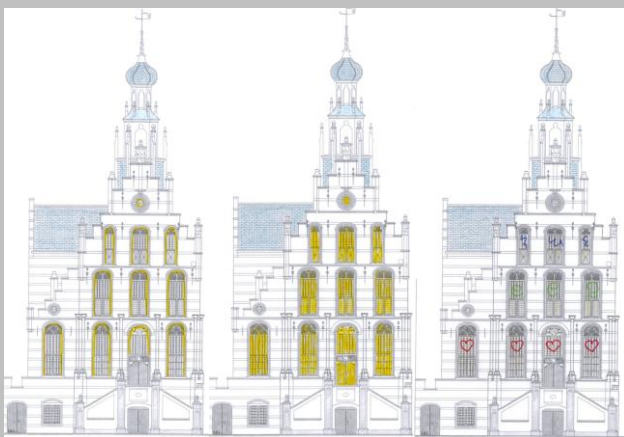
CONCEPT FOR THE OLD CITYHALL

Light scènes

Events

Flexibility

Outlining



CULEMBORG

BERRY VAN EG TEN PLDA

Questions?



EDUCATION

PLDA Workshop Alingsas (S) 2008



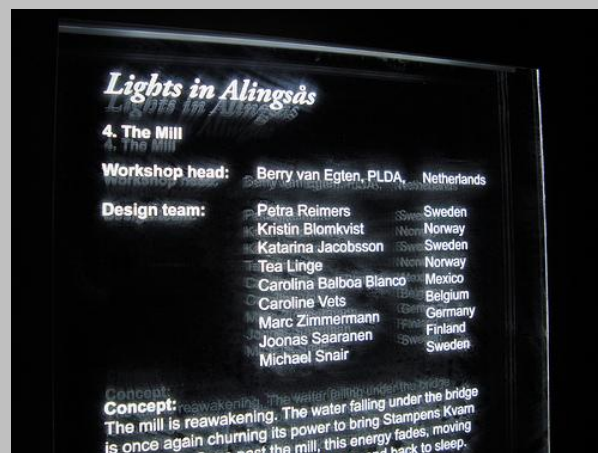
EDUCATION

PLDA Workshop Alingsas (S) 2008



EDUCATION

PLDA Workshop Alingsas (S) 2008



EDUCATION

PLDA Workshop Alingsas (S) 2008



EDUCATION

PLDA Workshop Alingsas (S) 2008



Author's address

Berry van Egten PLDA
architectural lighting designer



www.berluxlichtarchitectuur.nl

Marjeta Zupančič Meglič

SVETLOBNE INŠTALACIJE – NAVDIH ZA OBLIKOVANJE OSVETLITVE

Ustvarjanje svetlobnih inštalacij ima kar nekaj skupnega z oblikovanjem osvetlitve, navsezadnje imamo pri obeh opraviti s svetlobo. Sicer pa gre pri svetlobnih inštalacijah začasne strukture, ki morajo v trenutku prevzeti in navdušiti opazovalca, medtem ko je naloga dobrega oblikovanja osvetlitve uporabnost skozi daljši čas – svetloba samo omogoča uporabo prostorov, sama po sebi pa je le spremljevalni dejavnik.

Pri mojem delu je občasno postavljanje svetlobnih inštalacij odlična možnost testiranja, eksperimentiranja in preizkušanja idej, preko opazovanja svetlobnih efektov, ki jih lahko popolnoma izpostavim, pa se lahko tudi veliko naučimo o svetlobi in njenih osnovnih lastnostih. Pridobljene izkušnje in znanja potem postanejo osnova in inspiracija za nadaljnje delo, pri projektih oblikovanja osvetlitve.

Gotovo je ena izmed najzanimivejših lastnosti svetlobe barva in zato tudi ni presenetljivo, da smo se prav s to lastnostjo poigrali pri prvi svetlobni inštalaciji, s katero sem imela opravka. V času študija na Hochschule Wismar smo v bližnjem Rostocku postavili nekaj enotedenskih inštalacij. Moja skupina je bila posebno zadovoljna z majhnim trgom, na katerem smo s pomočjo treh metalhalogenidnih reflektorjev in barvnih filtrov prikazali mešanje treh osnovnih barv svetlobe (rdeča, modra in zelena) v belo. Zadeva sicer ni tako preprosta, kot se sliši, za doseganje primerno saturiranih barv je potrebno izbrati prave filtre, reflektorji morajo imeti različne moči, saj moder filter požre mnogo več svetlobe kot rdeč, potem je potrebno ujeti pravi kot in še in še. Seveda n koncu sam efekt mešanja barv v belo ni bil najbolj impresiven, vso pozornost so odnesle barvne sence v cyan, magenta in rumeni barvi, ki jih je metal vsak objekt (ali oseba), ki je stopila pod žaromete.

Ne glede na to, koliko se o teoriji mešanja barv lahko naučiš, se to ne more primerjati z izkušnjo, ko v mešalnico barv stopiš sam.



Rostocker Lichtwoche, 2005

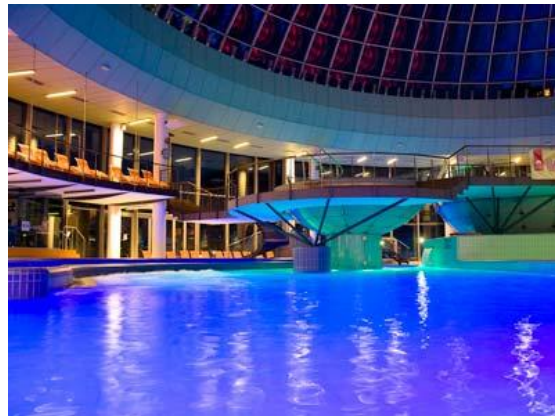
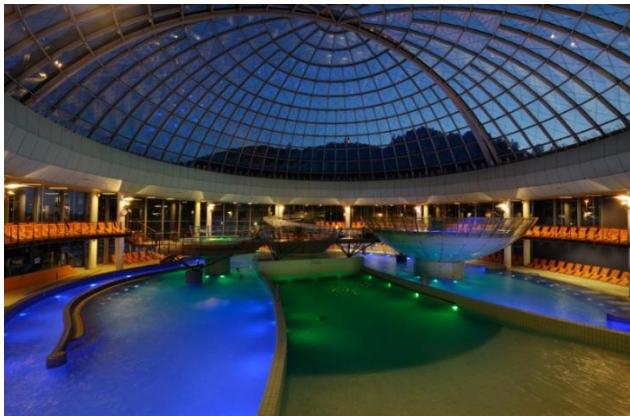
Podoben princip sem uporabila nekaj let pozneje pri inštalaciji Drevo želja v sklopu festivala Prostorož. S tremi reflektorji in barvnimi filtri sem pod drevesom ob Ljubljani ustvarila območje, kjer je vsako telo metalo več raznobarnih senc – poseben čarobni svet, kjer se izpolni vsaka želja...



Prostorož, 2006 –Drevo želja

Uporaba barv pri oblikovanju osvetlitve je težavnejša naloga. Sicer je z razvojem LEDic to tehnično postalo otročje lahko in nekateri bi barvne efekte uporabljali vedno in povsod, vendar menim, da večina ambientov za takšne močne efekte ni primerni.

Prostor, kjer barva dobro funkcioniра pa je recimo bazenski kompleks, kot naprimer Wellnespark Laško, kjer so barvne LEDice nameščene v vodi. Poudarjeni modri in zeleni toni asociirajo na kristalno čiste morske globine, barvni kontrast z toplo belo osvetlitvijo okolice pa daje vtis sončnega poletja.



Wellnespark Laško, pokrit bazen, 2007

Podoben projekt, ki vključuje barvno osvetlitev je bazen Kempinski Palace hotela v Portorožu. Tu igra glavno vlogo bleščeč strop nad vodno gladino, ki je indirektno osvetljen s štirimi barvnimi fluo sijalkami - rdeča, modra, zelena in bela.

Območje bazena je s treh strani obdano s steklom, in po obodu prostora imamo veliko dnevne svetlobe, ki pa v globino ne seže. Podnevi je tako belo osvetljen strop tisti, ki optično potegne dnevno svetlobo v notranjost prostora, ga poveča in dvigne. Bariera med interierjem in eksterierjem je neznatna. Čeprav bi le z rdečo, modro in zeleno dosegli neke vrste belo, smo raje dodali tudi belo sijalko – zaradi barvne razpoznavnosti in sploh boljše bele barve.

Ponoči pride do izraza barvna osvetlitev, še posebej kadar so organizirane bazenske zabave.



Kempinski Palace Portorož, 2009

Svetloba napravi stvari vidne, lahko pa tudi sama prenaša sporočilo. Že s preprostimi orodji, kot so gobo filtri, lahko snop svetlobe oblikujemo v preprosto podobo, sestavljeno iz svetlobe in sence, z bolj sofisticiranimi orodji pa lahko projiciram tudi barvne podobe.

V inštalaciji, tudi del festivala Prostorož, sem projicirala podobo plavalke na obrežje Ljubljanske. Pred 100 leti so ljudje plavali v rekah, v njih lovili ribe in rake, sedaj pa zaradi onesnaženja to ni mogoče. S projekcijo sem želela opozoriti na vse dejavnosti, ki bi spet lahko bile, če bi storili kaj več za čistejše okolje.



Prostorož 2006 – Navidezna resničnost

Svetleče podobe se vedno znova pojavijo tudi pri oblikovanju osvetlitve. V wellnesparku Laško so na primer presvetljene slike hkrati splošna, ambientalna in dekorativna osvetlitev intimnih kopalnih sob z jacuzziji.



Wellnespark Laško, wellnes, 2008

Presvetljene potiskane panele z videzom gozda smo uporabili tudi v območju ob bazenu – želeli smo ustvariti vtis naravnega okolja. Svetloba, ki prihaja iz panelov je seveda difuzna, zato smo dodali tudi nekaj manjših spotov – tudi v gozdu imamo mešanico difuzne svetlobe, ki jo filtrirajo listi in direktnih sončnih žarkov, ki najdejo pot do tal.



Wellnespark Laško, bazen 2007

Ena najpomembnejših lastnosti svetlobe je, da se odbija od različnih površin – od nekaterih bolj, od drugih manj, najbolj pa od ogledal. Ta efekt mi je bil vedno pri srcu, že ko sem kot otrok brata zafrkavala s svetlobnimi zajčki. Seveda ni presenetljivo, da sem naredila inštalacijo, ki se povsem posveča temu efektu.

V obzidanem vrtičku ob križankah (Stavba v kateri domuje Festival Ljubljana) sem postavila pet disko krogel, vsaka osvetljena s svojim reflektorjem, vsak z drugim barvnim filtrom v toplih odtenkih. Vsaka krogla je bila osvetljena z rahlo drugačnega kota, s tem sem dobila različne oblike in velikosti odsevov. Okoliške stene so bile osvetljene modro, kar je celo območje optično razširilo - morda celo izbrisalo mejo – kot da se razteza v neskončnost – odsevi pa kot da lebdiijo v zraku.

Vrt je obzidan iz vseh strani, lahko se ga vidi skozi okna in vrata, vanj pa vstopijo samo zaposleni (in poslovni partnerji) – kar omogoča postavljanje občutljivih struktur, ki bi sicer podlegle vandalizmu in kraji.

Inštalacija je bila še posebej uspešna, ker je delovala tudi podnevi. Sončni žarki so se ravnotako odbijali od steklenih krogel in risali bele zajčke po stenah. Na željo Festivala Ljubljana smo tako inštalacijo, ki je bila predvidena za dva tedna, obdržali čez celo poletje. To je sprožilo nekaj težav, ki se pri inštalacijah sicer ne pojavljajo – nekajkrat je bilo potrebno menjati barvne filtre, posebno modre, ki so manj obstojni, pojavila se je umazanija, sicer pa je inštalacija preživela.



Svetlobna gverila, 2008 - Skrivnostni vrt

V lobiju Wellesa v Laškem sicer nimamo odsevov in bleščanja, je pa očitno, da je nekaj inspiracije prišlo tudi iz te inštalacije.



Wellnespark Laško, wellnes, 2008

Odsevi so sicer v oblikovanju osvetlitve zelo pogosti, uporabljeni so naprimer v vsakem lestencu. Podobna situacija je tudi v Kempinski Palace hotelu v Portorožu, kjer imamo v lobiju zaveso iz kristalnih kamnov. Prozorni kamni so diskretno osvetljeni s hladno belo svetlobo, ki jih naredi vidne in lesketajoče. Kontrast med hladno belo osvetljenimi kamni in toplo belo osvetljenim foyerjem daje kristalni zavesi še večji efekt. Ker je nad zaveso steklena streha imamo ponoči učinek podvojen – v steklu se zavesa zrcali in daje vtis, da sega prav do neba.



Kempinski Palace Portorož, 2009

Svetlobne inštalacije so odlična priložnost za eksperimentiranje, igro, učenje in preizkušanje lastne domišljije. Svetlobe se sicer ne moremo dotakniti, vsekakor pa jo lahko občutimo, saj nas lahko razveseli, navduši in očara.

Naslov avtorja:

Marjeta Zupančič Meglič, MALD
samostojna oblikovalka osvetlitve

Tomaž Novljan, Janez Rihtar

PLOSKI SVETLOBNI VODNIKI – GRADNIKI SVETLOBNEGA AMBIENTA

Povzetek

Prvi primeri prenosa svetlobnih impulzov na velike razdalje z namenom opozarjanja ali izmenjave podatkov so znani že iz zgodnjih obdobj človeške zgodovine. Danes svetlobni impulzi potujejo po svetlobnih vodnikih, neodvisno od vremenskih razmer in drugih okoliških motenj. Vloga take svetlobe je lahko posredna - za prenos podatkov ali neposredna - za osvetlitev prostora. Svetloba, ki izstopa na koncu svetlobnega vodnika je bodisi v obliki točke, linije ali ploskve. Svetlobo je mogoče na njeni poti po svetlobnem vodniku tudi preprečiti. S posebnimi nanosi na prozornem vodniku majhne debeline, najpogosteje so vodniki obdelani s postopkom tiska ali laserskega graviranja, je mogoče ustvariti povsem enakomerne ali pa različno svetle ploskve, ki tako postanejo gradniki arhitekturnega prostora in svetlobnega ambienta. Svetijo razpršeno, v poljubni barvi, lahko tudi s teksturo ali grafičnimi simboli. Brez motečega bleščanja.

Abstract

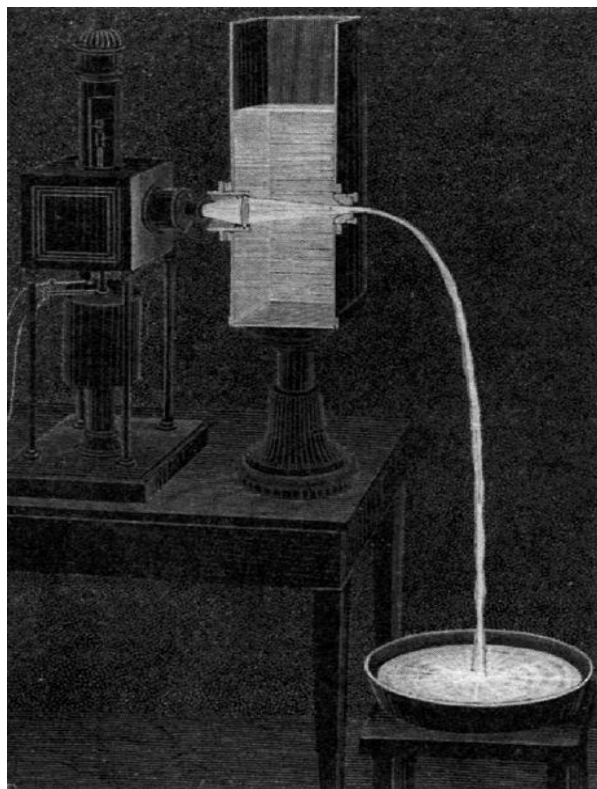
Usage of light impulses as a mean of warning and communication is known from early times in human history. Nowadays light impulses travel on the principle of total reflection between materials of differently density, inside light guides, independently of the weather conditions and other disturbances of the surroundings. The task of such light can be indirect – a transmission of the data – or direct – a transmission of light with the purpose of illumination of remote spaces or objects. A light which exits at the end of a light guide is usually formed as a point or a line or, in our case, as a bright surface. Light can also be intercepted on its way through a flat light guide, using special coating. The surface of a light guide is treated using print techniques or laser engraving. Such textures on the surface of relatively thin sheets of glass or some other transparent material create panels of uniform or various brightness. Such panels can take the role of the basic elements of an architectural luminous ambience. Without disturbing glare.

1. Uvod

Zgodovina oblikovanja in uporabe svetilk je stara skoraj toliko, kot zgodovina »umetne« osvetlitve. Tehnološki napredek človeške družbe se je odražal tudi v izdelovanju svetilk. Te so sprva nudile le šibko in nezanesljivo nadomestilo za naravno svetlobo. Živalska maščoba, rastlinski stenj in školjčna lupina so bili osnovni elementi, iz katerih so bile sestavljene prve svetilke. Z razvojem novih materialov in oblik za ohišje ter novih goriv se je sčasoma

izboljševala tudi količina svetlobe, ki jo je svetilka proizvajala. Kljub neprestanemu razvoju je bil osnova za razsvetljavo še vedno točkoven svetlobni vir, plamen in žarilna nitka, ki se je po potrebi združeval v obliki bodisi dekorativnih lestencev ali reflektorskih sestavov pri tehničnih svetilih. Šele izum neona (1898) in fluorescentne svetlobne cevi (1937) je prvič omogočil linijsko, neprekinjeno osvetlitev. Potreba po čim bolj enakomerni osvetlitvi, predvsem v delovnih prostorih, je povzročila razvoj ploskovnih svetil, ki pa so v osnovi še vedno sestavljena iz določenega števila linijskih svetil, fluorescentnih sijalk. Za čim bolj enakomerno razporeditev svetlobnega toka skrbijo posebno oblikovana zrcala, ki so lahko nameščena za in/ali pred svetlobnim virom ter razpršilci svetlobe (difuzorji), ki so kot neke vrste filtri nameščeni pred svetlobnim virom in optično združijo trakove svetlobe fluorescentnih cevi v bolj ali manj homogene svetle ploskve. Izjema so ploski elektroluminiscentni zaslони, ki pa se uporabljajo večinoma za oglaševanje ali označevanje.

Svetloba je fizikalen fenomen. Na svoji poti po prostoru je nevidna, dokler ne »trči« v neko oviro in se od nje odbije. Šele takrat postane očem zaznavna. Svetlobo je danes mogoče tudi kontrolirano transportirati na manjše ali večje razdalje. Leta 1841 Švicar Jean Daniel Colladon v Ženevi demonstrira prenos svetlobe po vodnem curku. Leta 1842 Francoz Jaques Babinet poroča o tem, kako je mogoče voditi svetlobo skozi vodni curek in skozi ukrivljeno stekleno cev. Leta 1880 William Wheeler patentira svetlobno cev, ki na principu popolnega odboja prenaša svetlobo od svetlobnega izvora na začetku cevi na drugi konec cevi. Po istem principu (odboju svetlobe na prehodu med materiali z različnimi gostotami) danes deluje optično vlakno, ki je zgolj pomanjšana, različica svetlobne cevi. Svetloba se pod majhnimi vpadnimi koti odbija od notranjih sten vlakna in na ta način s praktično nezmanjšano močjo potuje do konca vlakna ali do mesta, kjer jo namenoma prestrežemo in zato izstopi v prostor. Za prestrežanje svetlobe je dovolj minimalen poseg na površini optičnega vlakna, ki tako deluje kot zrcalce, ki svetlobo preusmeri v prostor. Svetlobni vodniki so lahko okroglega prereza (za točkovne svetlobne vire) ali ploščatega pravokotnega prereza (za linearne svetlobne vire). Seveda nudi površina ploskve, na kateri lahko izstopi svetloba, več možnosti za uporabo pri oblikovanju različni svetlobnih učinkov v prostoru.



Slika 1: Prenos svetlobe po vodnem curku.

2. Osnovni pojmi pri osvetlitvi arhitekturnega prostora

1. Svetloba. Je osnovna količina, »gradbeni material«, ki se ga lahko po želji oblikuje. Sama po sebi je nevidna. Je elektromagnetno valovanje pa tudi tok delcev – fotonov.
2. Osvetlitev. Je postopek, proces, orodje, s katerim proizvajamo in oblikujemo svetlobo. Za to imamo na voljo vsaj tri načine, ki se med seboj lahko dopolnjujejo:
 - 2.1. Samo svetilo oziroma svetilka(velja za naravno ali električno osvetlitev) je prvi dejavnik, od katerega je odvisno, kakšna svetloba nastane in nato potuje skozi prostor (barvna temperatura, moč in frekvenca utripanja - pri svetilkah, ki delujejo na principu razelektritve v plinih). Glede na vrsto svetila lahko po prostoru lahko potuje v vse smeri ali v snopu.
 - 2.2. Ovire, na katere naleti svetloba na svoji poti skozi prostor delujejo kot drugo najpomembnejše orodje pri oblikovanju svetlobe. Ovire svetlobo zadržijo, hkrati pa se le-ta od njih odbije v različne smeri. Svetlobni ambient, ki tako nastane je najbolj odvisen od treh lastnosti površin od katerih se svetloba odbije: gladkost, barva in velikost (oblika).
 - 2.3. Naravna posledica ovir na poti svetlobe skozi prostor so sence. Sence sooblikujejo svetlobni ambient in s tem celoten arhitekturni prostor. Sence pomagajo pri tridimenzionalni percepciji oziroma pri orientaciji v prostoru.
3. Osvetljenost. Je končni rezultat osvetlitve na neki ploskvi, ki jo želimo napraviti svetlo. Osvetljenost je svetlobno tehnična količina, ki očem sama po sebi ni vidna, izmeriti jo je mogoče z instrumenti. Očem vidna je svetlost osvetljene ploskve, to je količina od osvetljene površine odbite svetlobe.

3. Osnovni tipi svetil glede na način oddajanja svetlobe v arhitekturni prostor

1. Točkovno svetilo je svetilo pri katerem je izvor svetlobe teoretično točka svetlobe, ohišje in usmerjevalna optika pa prirejena tako, da je svetlobni snop v obliki krožnega ali elipsoidnega stožca. Osvetljena površina je v obliki kroga ali elipse. Nobena dimenzija svetila ni pretirano poudarjena. Med točkovna svetila se lahko uvrstijo navadne in halogenske žarnice, visokotlačne natrijeve, živosrebrne, metal halogene, kompaktne fluorescentne sijalke, LED.
2. Linijsko svetilo je svetilo, pri katerem ena dimenzija poudarjeno izstopa: fluorescentne sijalke, steklene cevi, ki so polnjene z žlahtnimi plini, elektroluminiscentni trakovi, LED razporejene v nizu (z dodanim razpršilcem svetlobe).
3. Ploskovno svetilo je svetilo, pri katerem je izvor svetlobe v obliki enakomerno svetle ploskve različnih oblik: ploski elektroluminiscentni zasloni, OLED ter oblike, kjer s kombinacijo smiselno razporejenih točkastih in linijskih svetlobnih virov za ploskim razpršilcem svetlobe (npr. plošča peskanega stekla ali podobnega prosojnega materiala) dosežemo učinek enakomerno svetle ploskve.

Zgornja razporeditev tipov svetil oziroma njihovo zaznavanje se lahko glede na merilo prostora oziroma oddaljenost svetila medsebojno izmenjuje. Svetilo, ki je pri razdalji npr. 5m še zaznavno kot ploskovno, je na razdalji npr. 50m zaznavno kot točkovno. Velja tudi obratno: mreža LED točkovnih svetil se na veliki oddaljenosti optično zlije v svetlo ploskev.

4. Značilnosti ploskovnih svetil z arhitekturnega vidika

Arhitekturni prostor je tridimenzionalen prostor. Sestavljajo ga medsebojno povezane ploskve različnih oblik, velikosti in usmerjenosti. Glede na uporabljene materiale in njegovo površinsko obdelavo so različnih barv in različnih svetlosti. Tudi pri zaznavanju ploskev ima pomembno vlogo merilo ploskve oziroma oddaljenost s katere to ploskev opazujemo. Praviloma delujejo večje ploskve pod enakimi svetlobnimi pogoji optično bolj svetle kot majhne ploskve.



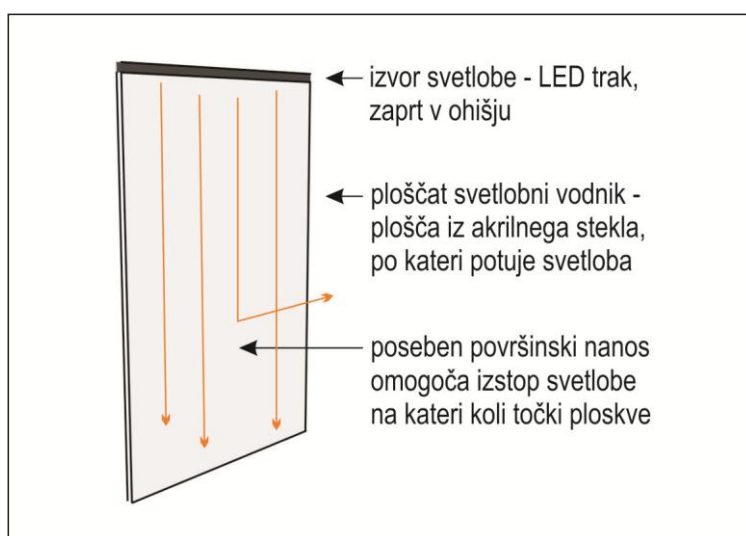
Slika 2: Svetlobni vodniki prenašajo naravno svetlobo s površja v podzemni prostor. postaja podzemne železnice, Potsdamer Platz, Berlin, 2006.

5. Svetlobni vodniki

Svetlobo je mogoče na podlagi totalnega odboja znotraj svetlobnega vodnika tudi transportirati. Ob minimalnih izgubah jakosti svetlobnega toka. Pri tem morata material in oblika svetlobnega vodnika izpolnjevati točno določene fizikalno optične zahteve. Svetloba na začetni točki vstopi v svetlobni vodnik. Kjer se svetlobni vodnik konča, svetloba izstopi v prostor. Način izstopa svetlobe je lahko neposreden ali prilagojen, v odvisnosti od ambientalnih zahtev. S pomočjo optičnih priprav – leč in filtrov je mogoče izstopni snop svetlobe poljubno spreminjati. Danes se na različnih področjih uporabljajo svetlobni vodniki različnih velikosti. Največji pošiljajo naravno svetlobo v podzemlje, najmanjši se uporabljajo za poudarjanje detajlov na modnih kreacijah.

6. Svetilna plošča – princip delovanja

Svetilna plošča je, gledano z arhitekturnega vidika, pravokotna plošča, ki po vsej površini oddaja enakomeren svetlobni tok, oziroma ima po vsej površini enakomerno svetlost. Izvor svetlobe je linijski in se nahaja na enem od robov plošče. Plošča je izdelana iz stekla, akrilnega stekla ipd. določene debeline in deluje kot ploski svetlobni vodnik, na znanem principu totalnega odboja svetlobe na meji med dvema snovmi z različno gostoto. Na površino svetilne plošče je s posebnim postopkom nanešen material, ki svetlobo prestreže in jo, razpršeno, preusmeri iz svetlobnega vodnika v prostor. Rezultat je svetleča površina, ki je sestavljena iz množice izstopnih točk svetlobe. Točke so lahko na površino svetilne plošče nanešene v obliki pravilnih ali nepravilnih rastrov z različno gostoto, ki lahko tvorijo poljubne grafične vzorce (teksture) in motive.



Slika 3: Princip delovanja svetilne plošče.

7. Možne arhitekturne aplikacije svetilnih plošč

7.1. Svetilna plošča: del talne, stropne ali stenske površine

Upošteva je prostorski križ in relativen položaj opazovalca, vsak prostor sestavljajo dvojice ploskev SPREDAJ/ZADAJ, ZGORAJ/SPODAJ in LEVO/DESNO. iz tega izhajajoče so tudi osnovne komponente vsakega (notranjega) prostora: TLA, STENE, STROP. Glede na arhitekturne zahteve so te površine različno osvetljene, saj njihova zaznava psihološko vpliva na uporabnika tega prostora. Svetel strop praviloma prostor optično poviša, svetle stene prostor optično razširijo, preveč svetla tla lahko delujejo negotovo. Posebno pozornost je potrebno nameniti tudi sencam, saj te uporabniku pomagajo prostor razumeti, se v njemu orientirati in se po njemu premikati. Popolna odsotnost nasebnih ali odsebnih senc povzroči prostorsko dezorientacijo. Likovno in funkcionalno kvaliteten svetlobni ambient mora biti zato sestavljen iz različno svetlih ploskev. Prostor mora imeti svetle in temne poudarke, ki očesu nudijo osnovne vizualne oporne točke, ki tvorijo zaznavno »mrežo« arhitekturnega prostora.

7.2. Svetilna plošča : integralni del pohištva (omara, polica, miza, stol...)

Pohištvo je sestavni del notranje opreme prostorov. Če tvorijo stene, tla in strop neke vrste negativen prostor oziroma definirajo vidne meje tega prostora, tvori pohištvo in razni dodatki elemente, ki zapolnjujejo ta prostor. Shranjevalno pohištvo (omare) je običajno zaprto z vrati različnih dimenzij, glede na notranji ustroj polic in predalov. Najbolj vsakdanja shranjevalna omara – garderobna omara globine 60 cm - je lahko postavljena v različno svetlih prostorih. V garderobi, v spalnici, na hodniku, v kletnih prostorih, na podstrešju. Glede na različne funkcije teh prostorov je različna tudi njihova osvetlitev, ki pa vselej ni zadosten pogoj za ustrezno osvetljenost notranjosti omare. Svetila plošča lahko v takem primeru nadomesti polico ali predal ali pregradno steno v omari in prevzame tudi vlogo svetlobnega telesa. Ker združuje različne funkcije, odlaganje in osvetlitev, postane hibriden prostorski element.

Polica je predvsem odlagalna, včasih pa tudi razstavna površina. Zato se pojavlja predvsem v delovnih prostorih (delavnice, pisarne, recepcije, točilni pulti v gostinskih lokalih,...). Poleg svoje primarne funkcije dobi polica, izdelana kot svetilna plošča tudi funkcijo svetlobnega telesa, ki osvetljuje površine v neposredni okolici.

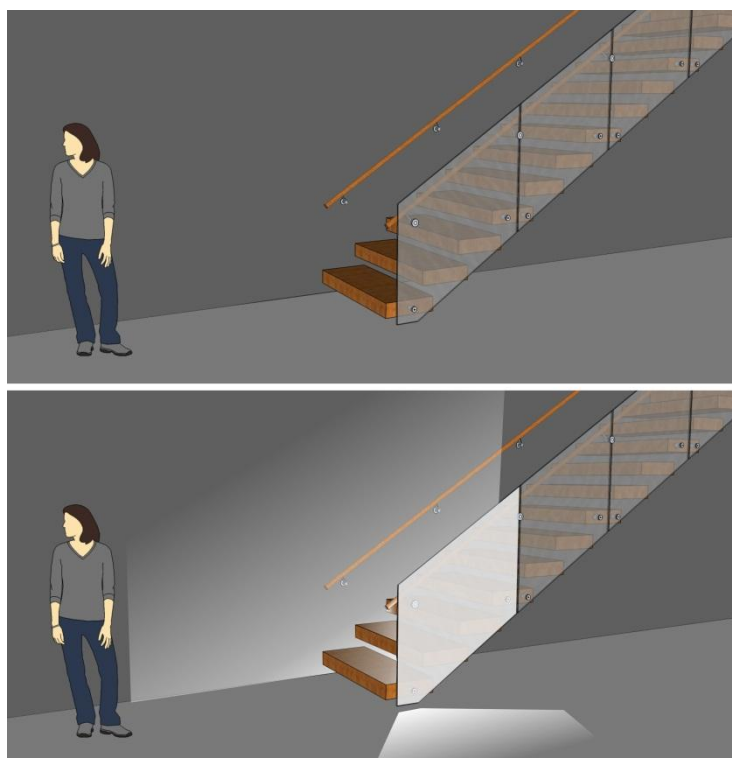
Vitrina (steklo lat. = *vitrum*) je omara, katere vsebina je namenjena razkazovanju oziroma razstavljanju različnih predmetov. Nekateri predmeti glede na material, iz katerega so narejeni, obliko, velikost, barvo, različne detajle, zahtevajo posebej prirejeno razpršeno in enakomerno osvetlitev. V takih primerih je svetilna plošča v vitrini lahko nameščena od zgoraj, od spodaj, ali s strani. Svetlobo lahko oddaja enostransko ali dvostransko, odvisno od nanosa na stekleni površini oziroma od predmeta, ki naj ga osvetljuje.

7.3. Svetilna plošča: zasteklitev kletnih oken in svetlobnih jaškov

Svetlobni jaški, svetlobniki, svetlobne kupole so namenjeni dovajanju naravne, zenitalne svetlobe v interier. Svetilna plošča je zaradi svoje skoraj popolne prosojnosti in prozornosti podnevi, ko je izključena, nemoteča in dopušča prehajanje zunanje svetlobe v notranji prostor, ponoči pa, vključena, nadomesti naravno svetlobo.

7.4. Svetilna plošča: element stopniščne ograje

Pravilna osvetlitev stopnic je lahko zaradi različnih dejavnikov, ki se v takem prostoru pojavijo kompleksen problem. Najboljša je osvetlitev stopnic s strani. Tako ne pride do kontrastnih senc na nastopnih ploskvah, ki so za prostorsko zaznavo uporabnika stopnic lahko moteče, celo nevarne. Svetilne plošče, ki so, kot polnilo, integrirane v stopniščno ograjo, osvetljujejo stopnice in hkrati tudi stopnišče. Z ustreznim elektronskim krmiljenjem je mogoče doseči tudi različno moč svetlobe ter smiselno vklapljanje in izklapljanje - v odvisnosti od prisotnosti oziroma gibanja uporabnika stopnic ter ostalih arhitekturnih značilnostih stopnišča.



Slika 4: Svetilna plošča postane hibridni element: ograja, ki varuje in sveti.

7.5. Svetilna plošča: predelna stena

Predelne stene ne služijo le za fizično, temveč tudi vizualno ločevanje prostorov. Predelna stena tako prevzame dvojno vlogo svetlobne bariere. Pri oceansko organiziranih pisarniških delovnih mestih, ki so med seboj ločena z nizkimi paravani lahko vključena oz. izključena svetilna plošča označuje trenutno zasedenost ali nezasedenost delovnega mesta. Prevzame torej vlogo znaka v prostoru.

7.6. Svetilna plošča: dekorativna/označevalna svetleča površina

V nekaterih ambientih, ki imajo bolj reprezentančen ali javen značaj se pojavljajo bodisi stenske, stopne ali talne površine različnih velikosti, oblik, materialov in barv - kot likovni elementi, ki dajo prostoru poseben poudarek in ustvarja hierarhijo prostora. Običajno so take površine tudi dodatno osvetljene, svetlobno telo pa se nahaja nekje drugje. Svetilna plošča v tej funkciji se s svetlobo napaja od znotraj, zunanji svetlobni vir ni potreben.

7.7. Svetilna plošča (enostranska): nadstrešek pri vhodu v hišo

Pri osvetljevanju vhoda v hišo mora veljati načelo enakopravnosti tako za obiskovalca, ki stoji pred vrati kot za stanovalca, ki za vrati preverja kdo je pozvonil. Močna svetloba od zgoraj ustvari na obrazu ostre in neprimerne sence, horizontalno usmerjena svetloba je za obiskovalce lahko moteča. Svetilna plošča, ki je lahko integralni dela nadstreška, oddaja razpršeno svetlobo, ki enakomerno osvetli prostor in osebe pred vhodom.

7.8. Svetilna plošča: fasadna plošča

Fasade sodobnih poslovnih in ostalih javnih arhitekturnih objektov so pogosto obložene s steklenimi ploščami. Bodisi kot zasteklitve okenskih odprtín, bodisi kot zgolj fasadna obloga, ki

zrcali okolico objekta, z namenom njegove vizualne dematerializacije. V nočnem času, omogoča nezastrito steklo vpogled v dogajanje v osvetljeno notranjost, kar pa ni vedno zaželeno. Hkrati se pojavi potreba po varnostni ali pa dekorativni osvetlitvi neposredne okolice stavbe. Svetilna plošča v funkciji fasadne plošče ima dvojno vlogo: zastira pogled v notranjost in hkrati osvetljuje. Ker je plošča kot taka integralni del fasadne lupine, zanjo ne veljajo omejitve Uredbe o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja.

7.9. Svetilna plošča: svetilka

Ne glede na to, da svetilne plošče nadomeščajo uporabo samostojnih svetlobnih teles, tudi same lahko postanejo svetlobno telo. Ploskim svetlobnim vodnikom različnih oblik in velikosti je mogoče na poljubnem mestu dodati površinski nanos v različnih oblikah, velikostih in številu. Nanos tako preusmeri svetlobo iz notranjosti vodnika v prostor. Za različne dekorativne in funkcionalne učinke so lahko dodani senčniki, odsevniki, leče ipd.

8. Zaključek

Svetlobni ambient, je poseben arhitekturni prostorski nivo, ki ga definirajo različni izvori svetlobe ter površine, z vsemi materialnimi in likovnimi lastnostmi, od katerih se ta svetloba odbija. Svetlobni ambient je pomemben gradnik arhitekturnega prostora. Omogoča zaznavanje istega prostora na različne načine: enakomeren – nezanimiv, kontrasten, neuravnotežen, hierarhičen itd. Svetila najrazličnejših oblik in materialov so bila v zgodovini arhitekture sprva opredeljena kot poseben, samostojen element notranje opreme zgradb ali kot samostojen element opreme zunanjega, javnega prostora. Z razvojem tehnologije arhitekturnega osvetljevanja ter s križanjem, hibridizacijo, sestavnih elementov arhitekturnega prostora so nastali tudi novi izvori svetlobe, ki niso več nujno samostojni kompozicijski elementi, ampak so postali integralen del drugih arhitekturnih elementov notranjega in zunanjega grajenega prostora. Ploski svetlobni vodniki, ki za prehajanje svetlobe iz notranjosti vodnika v prostor izkoriščajo dve dimenziji, sedaj lahko nadomestijo posamezne dele pohištva, notranje opreme ter stenskih, talnih in stropnih površin. Z različnimi površinski nanosi na ploske svetlobne vodnike je mogoče ustvariti povsem enakomerno svetle površine ali, po potrebi, tudi manj enakomerno svetle površine. Svetlobo lahko sevajo enostransko ali dvostransko. Uporabne so predvsem tam, kjer je potrebna razpršena svetloba. Prednost svetilnih plošč pred svetilkami s fluorescentnimi sijalkami, pred katere so nameščeni t.i. difuzorji je predvsem v tem, da so od prvih bistveno tanjše in da jih je mogoče izdelati v nestandardnih dimenzijah ter jih vgraditi v različne elemente pohištva in ostale notranje opreme prostorov. Svetilne plošče na osnovi ploskih svetlobnih vodnikov omogočajo vsestransko uporabo ter zasedajo mesto med »klasično« fluorescentno tehnologijo in tehnologijo OLED, od katere jih razlikuje predvsem robustnost, možnost izdelave v relativno velikih dimenzijah, neobčutljivost na vremenske vplive, velika prilagodljivost zahtevam arhitekturnega oblikovanja, relativno nizka cena izdelave in obratovanja ter dolga življenjska doba.

Naslova avtorjev

doc. dr. Tomaž Novljan, univ. dipl. inž. arh.
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo
Zoisova 12
1000 Ljubljana
Slovenija
tel. 01 2000 717
e-naslov: tomaz.novljan@fa.uni-lj.si

Janez Rihtar, univ. dipl. fiz.
O² (SVETLJEVALNA) OPTIKA,
Janez Rihtar s.p.
Plese 9a, 9000 Murska Sobota
Slovenija
tel: 051 66 77 25
e-naslov: janez.rihtar@ggsistemi.si

Simon Rankel

LED SVETILA V URBANEM PROSTORU – POMEN POZNAVANJA TEHNOLOGIJE TER INTERDISCIPLINARNO NAČRTOVANJE URBANE OSVETLITVE ZA TRAJNOSTNO IMPLEMENTACIJO

Povzetek

LED svetila kot trenutno najbolj razvit del t.i. polprevodniških svetil (Solid State Lighting) začenjajo svoj množični prodor v splošno razsvetljavo in nadomeščati starejše tehnologije svetlobnih virov tudi v zunanji urbani osvetlitvi. Ponujajo nam veliko možnosti za inovativno uporabo in umeščanje v prostor ter hkrati obljublajo precejšnje zmanjšanje porabe energije za osvetlitev. Vendar smo trenutno priča predvsem enostavni zamenjavi starejših svetil z novimi in vse bolj jasno postaja, da premalo premišljena in prehitra menjava brez upoštevanja raznovrstnih na novo nastalih parametrov ter brez ustreznih svetlobnih konceptov ne pomeni avtomatično tudi boljše, prijetnejšo, niti bolj varčno, trajnostno oz. okolju sprejemljivejšo osvetlitev. V pričujočem članku izpostavim vprašanje interdisciplinarnosti novih konceptov urbanega svetlobnega načrtovanja ter pomen temeljitega poznavanja LED tehnologije in inovativnih pristopov pri njeni uporabi, za namen povečanja pozitivnih in zmanjšanja negativnih učinkov v urbanem prostoru. Upoštevanje omenjenega je lahko dobra osnova za kvalitetno osvetlitev na osnovi polprevodniških svetil, za boljše življenje v mestih prihodnosti.

Abstract

LED lighting, the most developed branch of Solid State Lighting, is expanding into the general lighting field and substituting the established light source technologies. It is also taking over in the outdoor urban lighting field. LED lighting offers numerous possibilities for innovative implementation in urban space and at the same time promises considerable reduction of energy consumption for lighting. The change we are witness to is however based mostly on the plain exchange of the lighting fixtures. It's becoming clear that hastily and insufficiently considered changes on this field, regardless many of the new evolved parameters and new possible lighting concepts, don't bring automatically better, more economical neither more sustainable and ecologically undisputable lighting. In the present article the question of interdisciplinarity of the new concepts of urban lighting design is exposed and the meaning of thorough understanding of LED lighting and innovative approaches in its employment, to maximize the positive and minimize the adverse effects of technology on cities, is discussed. Considering that, can be a good basis for qualitative SSL lighting for better lives in the cities of the future.

1. Uvod

Mesta naj bi bila v današnjem času osvetljena z večjo subtilnostjo kot kadarkoli, upoštevajoč velikokrat konfliktno potrebo prebivalcev, voznikov, pešcev in tudi kolesarjev. Razsvetljava v tem primeru ni več samo funkcionalna, ampak mora biti prilagojena potrebam ljudi, tako da ne zadošča le potrebam varnosti in vidnosti, temveč tudi ambientu in orientaciji. Cilj je ustvariti funkcionalno, udobno, prijetno in zanimivo osvetljeno urbano okolje, pri čemer naj bo njegova osvetlitev hkrati energetske varčna in učinkovita in kar se da mogoče okoljsko sprejemljiva. Svetloba ne vpliva le na našo vidno zmogljivost, temveč tudi na naše biološke funkcije in čustvene odzive.

Z arhitekturnega in urbanističnega vidika leži konceptualna osnova urbanih svetlobnih projektov v arhitekturi ideji "drugačnega" nočnega mesta¹. V tem primeru umetna osvetlitev predstavlja dejansko nekakšno orodje za "ustvarjanje" in ne služi le razstavljanju oz. dekoraciji tistega, kar je že bilo zgrajeno.

Vendar pa se sodobni "urbani lighting design" srečuje s številnimi izzivi². Oblikovalci urbane osvetlitve se od "lepšanja stavb" vse bolj pomikajo k ustvarjanju urbanih shem za dobrobit ljudi. Tudi sam pristop k projektom oblikovanja zunanje urbane osvetlitve se spreminja. Svetlobni efekt postaja manj pomemben, toliko bolj pa postaja pomembno vprašanje trajnosti, inovativnih rešitev in nižanja porabe energije.

Kako ob vsem tem ustvariti zanimivo, inovativno, kraju specifično, tudi v kulturnem kontekstu primerno osvetljeno urbano okolje, ki bo povrh vsega še ekonomsko upravičeno in bo mestu ustvarilo tudi dodatno nočno razpoznavnost, je umetnost in še zdaleč ne enostavna naloga.

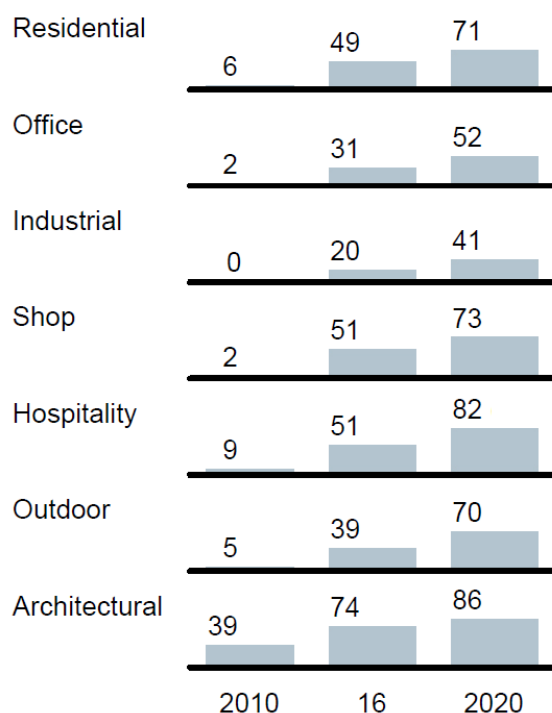
Velikanski potencial in ogromne možnosti se kažejo v polprevodniški tehnologiji svetil. LED in bližajoča se OLED tehnologija svetil za splošno razsvetljavo obljubljata in ponujata številne prednosti na širokem območju značilnosti v primerjavi z uveljavljenimi svetlobnimi tehnologijami ter sočasno prinašata tudi t.i. idejo o novi "digitalni svetlobni paradigmi". Vendar pa se pri tem srečujemo z velikim številom novih parametrov in s tem tudi z na novo nastalimi problemi, katere ne smemo enostavno spregledati.

Menim da z ustreznim interdisciplinarnim pristopom k urbanemu osvetljevanju ter temeljitim poznavanjem tako dobrih kot slabih strani, ki jih omenjena sprememba prinaša, lahko bistveno pripomoremo k smiselnemu, inovativnemu, ekološko čim manj spornemu ter bolj humanistično usmerjenemu umeščanju LED svetil v urbani prostor.

2. Današnja upravičenost in prihodnost LED razsvetljave v urbanem okolju

Današnji urbani kontekst s svojo mešano arhitekturo starih in novih zgradb, ter funkcionalnosti kot so ceste, kolesarske steze in območja za pešce, kliče k visoki stopnji fleksibilnosti v razsvetljavi. Svetila, v katerih kot vir svetlobe služijo polprevodniške sveteče diode, s svojimi obljubljenimi lastnostmi: dolgo življenjsko dobo, visokimi izkoristki, nizkimi vzdrževalnimi stroški, odlično možnostjo kontrole svetlobe in inovativnimi možnostmi izvedbe, so torej kot nalašč za tovrstno uporabo.

Napovedi za tržni delež LED svetil v zunanji razsvetljavi kažejo, da naj bi na področju Evrope, Azije in Severne Amerike le-ta iz približno 5% v letu 2010 narasel na skorajšnjih 40% v letu 2016 in dosegel približno 70% do leta 2020³ (slika 1).



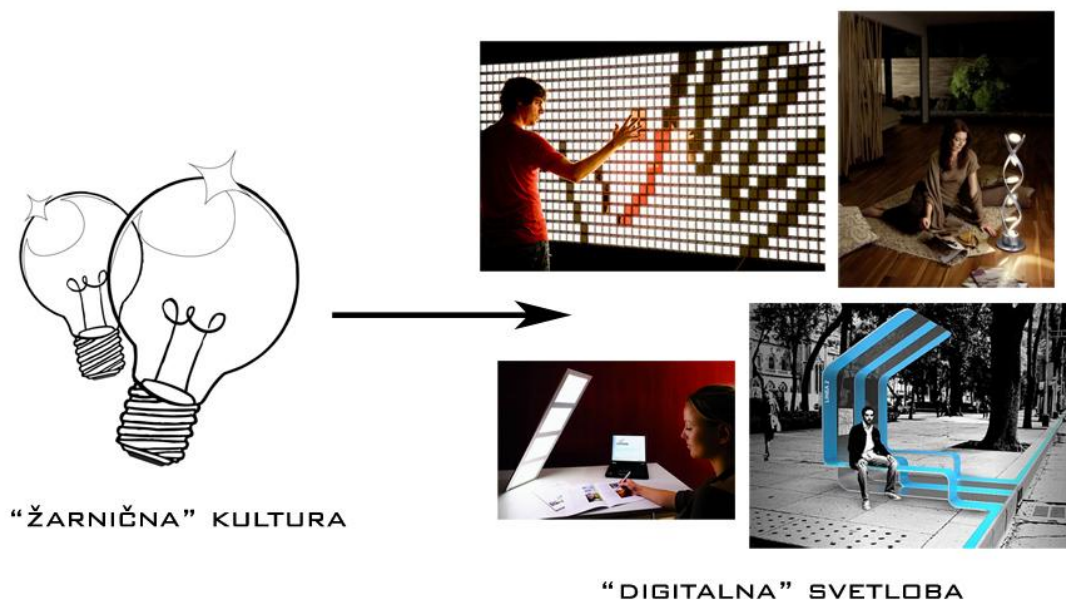
Slika 1: Procentualni tržni delež LED svetil glede na tip uporabe na splošnem trgu svetil v letih 2010, 2016 in 2020 skupno za področje Evrope, Severne Amerike in Azije; Vir: McKinsey Global Lighting Market Model

Glavne pri odločanju o uporabi LED inštalacij v zunanjo razsvetljavi so prav državne iniciative. Trenutni pritisk na države glede zmanjšanja ogljičnih emisij je prav zagotovo eden izmed pglavitnih razlogov za višanje tržnega deleža LED svetil tudi v segmentu zunanje razsvetljave.

Neizpodbitno dejstvo je, da bodo LED svetila tudi v mestnem okolju iz dneva v dan bolj prisotna. Odgovornost vseh akterjev v tej zgodbi pa je, da mora biti uporaba novih proizvodov upravičena ne samo ekonomsko, temveč tudi iz vidikov mnogoštevilnih interdisciplinarnih področij, katera so nujni sestavni del sodobnega urbanega osvetljevanja.

V vsej poplavi marketinškega promoviranja LED svetil se namreč skriva veliko pasti. Politiki in ekonomisti pa zelo radi uporabljajo znanstvene ugotovitve na način, ki ustreza njihovem že izoblikovanemu prepričanju in izbirajo raziskave ali podatke, ki potrdijo njihove trditve, zanemarijo pa tiste, ki jim nasprotujejo⁴. Podobno se dogaja tudi pri tehničnih in ostalih značilnostih proizvodov, ki se na trgu šele postopoma uveljavljajo.

Že nekaj časa se govori o tem, da naj bi bila prava vrednostna naloga LED in kasneje OLED svetil skrita v sami spremembi od kulture žarnic k digitalni svetlobi. Medtem ko so nekateri zaposleni predvsem z zamenjavo običajnih žarnic z LED nadomestki, se drugi ukvarjajo s prepoznavo novih paradigem, ki nastajajo⁵. Polprevodniška tehnologija svetlobe po njihovo tako ni več del t.i. "žarnične" kulture osvetljevanja, temveč ponuja novi model svetlobe, t.i. "digitalno svetlobo", z izborom značilnosti, ki popolnoma spremenijo razmerje med svetlobo in informacijo, ter izkustvo kako uporabnik doživlja svetlobo, kako jo nadzoruje in uporablja v vsakodnevem življenju (slika 2). Kultura žarnice, dosedanja svetlobna paradigma, je bila namreč zgrajena ob ideji o razsvetljavi kot objektih, svetilkah in napravah: običajno krhkih, težkih in nepremičnih.



Slika 2: Sprememba "svetlobne paradigme" od žarnične k digitalni svetlobi

Že stoletja razsvetljava oblikuje kategorijo, ki je bistveno drugačna od npr. pohištva, infrastrukture ali arhitekturnih elementov, kot so stene, fasade ali stropovi. Kakorkoli, miniaturizacija, katero lahko dosežemo z LED svetili dovoljuje, da so lahko svetila vgrajena tudi v materiale in arhitekturne površine. To je precej drugačno od kategorij, katere so ustvarile oblikovalske stroke in ponuja nov način razmišljanja o predstavi, ki jo imamo o materialih. Ne samo da lahko integriramo svetlobo v materiale, temveč lahko brez težav organiziramo veliko število svetlobnih točk v interaktivnem načinu z računalniškim nadzorom. To pa nas potem že vodi k informacijskim ekranom in križanju med razsvetljavo in informacijami. V primerjavi s kulturo tehnologije žarnic, LED svetila tako omogočajo nov niz uporab in izkustev: možnost izkustva svetlobe v velikostnem redu teles in stavb; vnos regulacije in spreminjanje svetlobe; ter tako omogočajo interaktivnost med uporabnikom in svetlobnim virom.

Pri nastajanju nove paradigme pa nikakor ne moremo mimo nekaterih tehničnih pomislekov. V dandanašnji informacijski dobi je križanje razsvetljave in informacij postalo nekaj samoumevnega, vendar pa se znova in znova poraja vprašanje, kaj vse omenjeno sploh pomeni za kvalitetno urbano osvetljevanje? Stalno dinamično osvetljene (npr. informacijske) fasade v središču mesta lahko dobro služijo orientaciji v mestu in reklamam, še zdaleč pa niso primerne za vsako mesto, vsak mestni del, niti za vsak mestni koncept osvetlitve. Svetlobni kič in informacijska distrakcija po mojem mnenju nimata nič skupnega s trajnostnim razvojem in prijetno osvetljenimi ubranimi okolji tudi v kulturnem kontekstu. V mestih, kjer celostni svetlobni koncepti ne obstajajo, že tako in tako neredko prevzame glavno vlogo komercialna in nekoordinirana, za preprosto polepšanje mesta zlorabljen osvetlitev⁶. Neprimerno uporabljena LED svetila s svojimi vsestranskimi možnostmi implementacije lahko v tem primeru stvari le še poslabšajo. Po drugi strani pa njihova inovativna in smiselna umestitev lahko resnično pripomore k urbani svetlobni izkušnji. Poleg izkoriščanja neštetih možnosti nove tehnologije so torej bistveni premišljeni celostni svetlobni koncepti in ustrezno svetlobno načrtovanje.

LED svetila v fizikalni osnovi s svojo majhnostjo in hkrati robustnostjo resda omogočajo veliko svobode pri oblikovanju samem in celi vrsti novih aplikacij. Z njimi lahko tako osvetljujemo tudi detajle, ki jih prej s tako natančnostjo niti nismo mogli. Veliko lažje jih lahko integriramo v že obstoječe urbane elemente, ne da pri tem bistveno spremenili njihov dnevni

videz. Podnevi skriti, ponoči ali podnevi po potrebi pa se potem pokažejo v povsem drugačni podobi. V urbanem okolju so LED pionirji na tem področju predvsem svetila za signalizacijo, bodisi v obliki malih svetil za opozarjanje na prehode za pešce, bodisi za poudarjanje robnikov cest in mejnikov ali samih semaforjev in informacijskih znakov. Takoj ko prehajamo v splošno razsvetljavo, kjer LED nadomestki temeljijo na visoko zmogljivih svetečih diodah, pa postajajo stvari bolj kompleksne in potrebujejo pred implementacijo tudi preudarnejše premisleke.

Dandanes se prepogosto srečujemo s pretiranim marketinškim promoviranjem novih tehnologij, katero lahko velikokrat pripelje tudi do nesmislov. Majhnost je lahko zelo pripravna lastnost, ima pa tudi svoje pasti. Svetlobni izkoristek LED svetil se je v zadnjih letih zelo povečal in tako dejansko iz tako rekoč zelo majhnih "pik" dobimo že velikanske svetilnosti, ki so bistvene za možnost uporabe v splošni razsvetljavi. Vendar pa velike neustrezno kontrolirane jakosti svetlobnega toka iz dimenzijsko majhnih svetlobnih virov lahko pomenijo ne samo nelagodje za vid in težave pri percepciji okolice (bleščanje), temveč lahko v obliki direktne osvetlitve predstavljajo tudi nevarnost za človeško oko samo (slika 3). Za zmanjševanje motečega bleščanja se predvsem pri večjih "površinskih virih" potem poslužujemo dodatnih polprepustnih materialov, ki pa zmanjšajo učinkovitost in podražijo investicijo. Velikokrat pozabljamo, da je nelagodje v obliki bleščanja lahko zelo moteče tudi v obliki indirektno svetlobe, če je le te glede na okoliški ambient preveč. Percepcija in celoten mehanizem vida namreč temeljita na principu kontrasta.

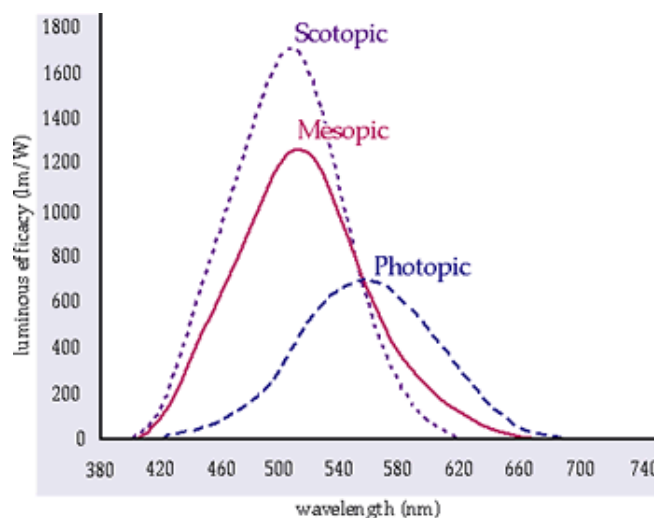


Slika 3: Problematika bleščanja LED svetlobnih virov in vprašanje očesne varnosti v zunanji razsvetljavi

Svetloba je pravzaprav čisto človeški občutek, na podoben način kot so zvok, okus, vonj ali toplota. Nekaj je potrebno, da stimulira te čute, v tem primeru je to elektromagnetno sevanje, ki pade na retino očesa. Svetlobo lahko torej dojemamo kot kombinacijo sevanja in našega odziva nanj. Prav zato pri svetlobnem načrtovanju ne smemo temeljiti le na fizikalnih značilnostih svetlobe temveč moramo poznati značilnosti delovanja človeškega vida. To bi morala biti osnova in začetna točka razmišljanja tudi pri uporabi novih tehnologij svetil. Zunanja razsvetljava predstavlja še poseben izziv, kjer imamo opravka s t.i. mezopičnimi vidnimi pogoji.

Že dolgo je znano, da običajna fotopična funkcija občutljivosti očesa $V(\lambda)$ ni veljavna za nizke stopnje osvetljenosti in dejansko velja le za centralno območje vidnega polja⁷. Zadnje raziskave pa kažejo da so spremembe v vidni zmogljivosti pod različnimi spektralnimi porazdelitvami svetlobnih virov bistveno večje, kot si jih lahko razložimo s tradicionalno teorijo. Ko se stopnja osvetlitve zmanjšuje iz fotopičnih k skotopičnim vrednostim, pride do dobro poznane Purkinjevega premika in vrh spektralne občutljivosti očesa se premakne iz rumenega območja k modro-zelenemu (Slika 4). Fotopično odzivno krivuljo običajno vzamemo kot reprezentativno za

čepke - receptorje, ki so najbolj aktivni pri visokih vrednostih svetlobnega toka, skotopična krivulja pa prikazuje odziv paličnih receptorjev pri nizkih vrednostih osvetljenosti. Problem se potem pojavi, ker ni ostro določene meje, kje stopnje osvetljenosti ustrezajo fotopični in kje skotopični krivulji. Še več, v vmesnem območju dejansko govorimo o mezopičnem območju, ki pa je lahko precej obsežno, in kjer težko definiramo dejansko občutljivostno funkcijo povprečnega človeškega očesa. Spektralna porazdelitev svetlobnega vira torej v tem območju bistveno vpliva na naš vid. Mezopičnemu območju pa dejansko ustreza situacija, s katero se srečujemo pri večini nočnega urbanega okolja.



Slika 4: Purkinjev premik - pri nižjih stopnjah osvetljenosti se vrh spektralne občutljivosti očesa premakne k nižjim valovnim dolžinam svetlobe, Vir: Lighting Research Center

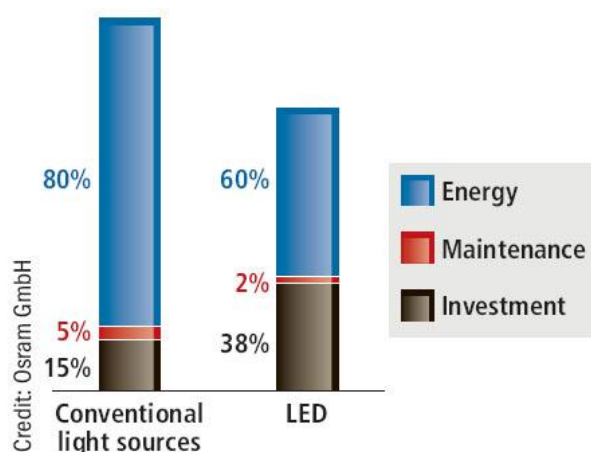
Ob tem se pojavi problem pri umeščanju LED svetil v urbani prostor, ki imajo lahko tudi sama bistveno drugačne spektralne porazdelitve svetlobe, kot trenutno uporabljena svetila. Konkretno povedano, svetloba iz dveh svetil s precej drugačnima spektralnima porazdelitvama svetlobe, v težko določljivem mezopičnem območju, ima lahko bistveno drugačen vpliv na človeške očne receptorje, kjer primerjava na podlagi fotopično podanih svetlobnih izkoristkov v lm/W popolnoma odpove. Za reševanje omenjenega problema je na voljo precej različnih metod, med katerimi je že kar nekaj časa znana tudi metoda določanja lumenskih multiplikatorjev⁷. Tudi ta sicer ni popolna, vendar pa omogoča že bolj premišljen in konkreten pristop k umeščanju raznovrstnih svetil v urbani prostor, ter je tudi konkreten opomnik, da ne moremo metati vseh proizvodov v isti koš, in temeljiti le na najbolj opevanih parametrih.

Tu bi rad omenil še to, da spektralna občutljivost očesa ni edini dejavnik, na katerega bi morali biti pozorni pri načrtovanju urbane osvetlitve v tem kontekstu. Pomembni so še številni drugi, tudi s človeškega biološkega stališča in nenazadnje tudi čustvenih vplivov, ki jih ima lahko nočna svetloba na ljudi. Zavedati se moramo, da o omenjenih področjih kljub številnim raziskavam še vedno precej malo natančno vemo. Prav zaradi tega bi moralo biti za vse, ki so direktno udeleženi pri implementaciji novih tehnologij svetil nujno tudi spremljanje raziskav in pridobivanje znanje iz tega področja. Zunanje urbano okolje, katerega uporabniki smo potem na koncu prav vsi, je tu še posebej na udaru.

Polprevodniška tehnologija svetil se še vedno zelo hitro razvija. Kljub temu, da se same vrednosti višanja svetlobnih izkoristkov samih čipov in LED modulov trenutno ne dvigajo več tako drastično kot pred nekaj leti, pa je veliko potenciala še vedno v skupnem izkoristku LED

svetil, ki pa je odvisen od kakovosti posameznih elementov LED sistema in optimizacije njihove medsebojne kompatibilnosti. Prav tako je opazen bistven napredek v kvaliteti svetlobe. Kdaj je torej tisti pravi trenutek, ko je investicija v novo tehnologijo smiselna, tako da jo ne bo čez nekaj let povzila še precej učinkovitejša in bistveno cenejša različica. Če se je to nesmiselno spraševati recimo v računalniški industriji pa je pri investicijah v urbano osvetlitev, kjer naj bi svetila zdržala tudi do 10 ali 15 let, to bistveno vprašanje. Danes je "cenovni luksuz", ki je vezan na nameščanje LED svetil v zunanji razsvetljavi, pokrit predvsem s subvencijami. Vendar te subvencije ne bodo trajale večno, občine pa potrebujejo možnost in informacije, da lahko predvidijo realistične povračilne dobe začetnih investicij, temelječe na dejanskih cenah produktov, da lahko upravičijo LED inštalacije.

Poleg naložbene upravičenosti začetnih investicij in računanja povračilnih dob pa je zelo pomembno tudi vprašanje vzdrževanja. Kot rečeno vsak neustrezno delujoč element LED sistema lahko povzroči nepravilno delovanje celotnega LED svetila. Da lahko LED svetila upravičijo svoj sloves kot dolgoživa in upravičena naložba tudi s stališča vzdrževanja (Slika 5), mora industrija poiskati vse možne načine za proizvodnjo optimalno dolgoživih, konsistentnih in zamenljivih proizvodov. Poleg tega pa mora biti možnost zamenjave posameznih elementov enostavna, učinkovita in pregledna. Tudi v tem primeru dandanes še vedno težko računamo dejanske vzdrževalne zneske. Tu so izrednega pomena tudi najrazličnejše, še zdaleč ne v celoti izkoriščene, možnosti inteligentne regulacije LED svetil.



Slika 5: Primerjava v odstotkovnem deležu porabe, vzdrževanja in začetne investicije med konvencionalnimi svetlobnimi viri in svetlečimi diodami, Vir: LEDs Magazine⁸

Oblikovalci svetlobe nosijo torej odgovornost tudi za zagotavljanje dobre kakovosti izbrane osvetlitve, ki bo zadoščala vsem oblikovalskim kriterijem učinkovitosti, trajnosti, varnosti, zmogljivosti, proračuna in estetike. Prave informacije pa so ključnega pomena tudi za izobraževanje uporabnikov oz. investitorjev.

Kljub vsem možnim prednostim novih osvetlitvenih konceptov, pa se poraja še vprašanje smiselnosti novih aplikacij. Navadili smo se, da LED svetila dandanes že pogovorno predstavljajo varčnost pri porabi, energetske prihranke in kljub večjim začetnim investicijam zaradi dolge predvidene življenjske dobe tudi upravičene in po določenem času tako tudi dobičkonosne naložbene investicije. Če si lahko to zadnje še razlagamo z ekonomskega stališča, pa večanje števila LED aplikacij, katerih prej nismo poznali, bodisi zaradi varnosti, vidnosti ali novih

interaktivnih rešitev, za lepšanje urbanega sveta; bodisi za ustvarjanje lažjega življenja, hkrati tudi zmanjšuje prihranek, kateri je bil prvotno tretiran kot marketinški element zamenjave svetlobnih tehnologij⁹.

Z večanjem števila novih aplikacij, katere prej niso bile mogoče, torej zmanjšujemo ali pa celo povsem izničimo zmanjšanje porabe, ki bi nastala ob le zamenjavi potratnejših tehnologij z varnejšimi novimi. Veliko nasprotnih argumentov potem trdi, da se bo v prihodnosti število aplikacij v vsakem primeru povečevalo in da je še dobro, da lahko v tem primeru vsaj z novimi tehnologijami ohranimo porabo na isti ravni. Sam menim, da je to zelo slab izgovor, ker sama poraba še zdaleč ni edini relevanten kriterij, v kateri niso upoštevani niti recimo povečani dodatni stroški vzdrževanja in količina odpadnih smeti zaradi elementov, ki jih nove aplikacije potrebujejo, niti npr. morebitno povečano svetlobno onesnaženje. Tudi pri ustvarjanju prijaznejših, prijetnejših in varnejših urbanih okolij je potrebno temeljito pretehtati kako, katere in koliko novih tehnoloških rešitev osvetlitve je v danem času smiselno implementirati v urbani prostor, da bo končni rezultat prijetno, kvalitetno, funkcionalno, vabljivo, zanimivo, v lokalno kulturnem kontekstu primerno, nemoteče in ravno prav osvetljeno urbano okolje, z manjšo skupno porabo el. energije, manjšimi vplivi na okolje in nižjimi stroški vzdrževanja.

3. Smernice

Veliko je govora o tem, da trajnostni pristop k načrtovanju osvetlitve lahko bistveno zmanjša kreativnost pri načrtovanju. S tem se osebno ne strinjam in menim da prav z inovativno uporabo nove tehnologije svetil na polprevodniški osnovi lahko ustvarimo funkcionalna, vabljivo zanimiva in za življenje prijetna urbana okolja, pri čemer bomo hkrati zmanjšali svetlobno onesnaženje in povečali energetske učinkovitost celotne osvetlitve. Res pa je da so za potrebne tudi morebitne bistvene spremembe v splošnem razmišljanju in vsestransko pristopanje k vsakemu primeru posebej.

Menim da sta za razumevanje celotnega problema umeščanja novih tehnologij osvetlitve v urbane prostore pomembna dva temeljna vidika oz. pogleda na celotno stvar. Eden je tehnološki, ki pa ne objema le poznavanja tehnologije same in njene zmogljivosti, temveč tudi ustrezno tehnično kompatibilnost delovanja posameznih elementov celotnega LED sistema; drugi pa je konceptualno svetlobni oblikovalski urbanistični pristop, ki obravnava omenjeno tematiko s stališča najrazličnejših interdisciplinarnih tematik. Dobro razumevanje omenjenih dveh vidikov pa potem služi kot osnova za kvalitetno in premišljeno uporabo le te v urbanem prostoru; torej kot osnovni "input" za kvaliteten "urban lighting design".

To splošno znanje mora biti potem seveda ustrezno uporabljeno v celostnem urbanistično osvetlitvenem pristopu na konkretnem primeru, z uporabo klasičnih ali novih dobro utemeljenih oblikovalskih pristopov, s poznavanjem ustreznih lastnih zgodovinsko kulturnih in socioloških značilnosti posameznih mest, ter z upoštevanjem ostalih vidikov kot so ekologija, svetlobno onesnaževanje in ekonomsko tržnih teženj, še najbolj v obliki Master Urban Lighting načrta ali pa v smislu celostnega svetlobnega načrtovanja manjših urbanih območij. Nujno je sodelovanje oblikovalcev svetlobe, tehnične stroke in urbanistov, pri čemer absolutno ne smemo pozabiti na same prebivalce urbanih območij ter tudi na njihov odziv in mnenje.

Poudaril pa bi rad še nekaj. Vsak znanstvenik ki nima v sebi tudi pristopa skromnosti začetnika, v tem svetu o katerem vemo in katerega razumemo le v zanemarljivo majhnem delu celote, postane le administrator še vedno zelo pomanjkljivega znanja. Kajti, vedeti več, pomeni tudi dvomiti več. Prav tako tudi mi, akterji v obravnavani tematiki ne glede na naš status, nikakor ne smemo pristopati vzvišeno in vsevedno.

4. Povzetek

V članku sem z jasnim namenom in na prvi pogled precej na hitro prehajal iz enega področja k drugemu, vendar je rdeča nit povsod primerna uporaba LED tehnologije svetil v zunanjem urbanem okolju. Na ta način sem hotel poudariti kompleksnost obravnavane tematike, pri kateri je interdisciplinarnost, prepletanje in medsebojna sinteza obravnavanega bistvenega pomena. Mnogo preostalih problematik, ki niso nič manj pomembne, se nisem niti dotaknil, ostaja torej še mnogo prostora za prihodnje.

Za zaključek, bi rad izpostavil ugotovitev, da nove svetlobne tehnologije same po sebi ne morejo biti trajnostne, če niso ustrezno načrtovane, ustrezno izbrane in premišljeno nameščene. Pri vsem tem igrajo veliko vlogo tehtno premišljeni z različnih področij utemeljeni svetlobni oblikovalski koncepti s premišljeno in inovativno uporabo novih in obstoječih svetlobnih tehnologij in bolj humanističnim pristopom k medsebojnemu razmerju med svetlobo, ljudmi in prostorom.

5. Literatura

1. **Light for cities**, Ulrike Brandi, 2007
2. **PLDA Conference on Lighting Design**, Report, May 2010
3. **Lighting the way, Perspectives on the global Lighting Market**, July 2011, McKinsey & Company
4. **George Monbiot – intervju**, Sobotna priloga, str. 10, 18.sept 2010, Delo
5. **Escaping the bulb culture: the future of LEDs in architectural illumination**, LEDs Magazine, April 2005
6. **Stadlicht, Lichtkozepte für die Stadtgestaltung**, Schmidt & Töllner, Fraunhofer IRB Verlag, 2006
7. **Lumen Effectiveness Multipliers for Outdoor Lighting Design**, Ian Lewin, Lighting Sciences Inc
8. **Controlling consumers' expectations of LED lighting**, LEDs Magazine April 2009
9. **Solid State lighting isn't just about decreasing energy consumption**, LEDs Magazine, Sep/Oct 2010

Viri fotografij pri ostalih slikah:

Slika 2:

<http://news1.kilu.org/key/thomas%20edison%20light%20bulb>

<http://www.ecofriend.com/entry/agent-studio-comes-up-with-oled-lighting-applications/>

<http://inhabitat.com/reader-tip-philips-special-edition-lumiblade-now-available/>

<http://home-designing.us/decorative-oled-lighting-system.html/>

<http://www.digitaltrends.com/green-technology/new-oled-light-mimics-natural-phases-of-the-sun-claims-researchers/>

Slika 3:

<http://www.aveoengineering.com/blogs/Aviation/?p=701>

http://www.darksky.org/index.php?option=com_content&view=article&id=531

Avtorjev naslov:

Simon Rankel, univ. dipl. ing. fizike

4000 Kranj, Seljakovo Naselje 51

Slovenija

Tel.: 040 811 081

Elektronski naslov: simon.rankel@siol.net

Mitja Prelovšek

INTERAKTIVNA OSVETLITEV V ARHITEKTURI IN URBANIH OKOLJIH

Povzetek

Interaktivna osvetlitev je osvetlitev, ki se avtomatsko odziva na spremembe v svojem okolju, kot na primer lokacijo in geste uporabnikov ter tudi druge spremenljivke v okolju. Če je pravilno zasnovana lahko v nočni prostor vnese nove dinamične pripovedi, ki za razliko od ostalih dinamičnih osvetlitev, temeljo na zgodbah, ki jim nočno okolje predstavlja naravni 'habitat' in v okolje niso vnešene zgolj na podlagi tržnih in oglaševalskih vzgibov.

Abstract

Interactive lighting stands for lighting that automatically responds to changes in its environment such as movements and gestures of the people and other environmental variables. If designed correctly it can bring new kind of content into night-time environment – one that perhaps has more legitimacy to inhabit night-time spaces than typical dynamic lighting that is usually based on the principles of advertising.

1. What is interactive lighting

Interactive lighting stands for lighting that dynamically responds to the changes in its environment. The changes can mean natural light levels or motion of people, as is quite common today, but it can also mean the location of people or their gestures, the temperature in the environment or the wind speed or basically anything that modern technology can detect.

The reason for using the term 'interactive' is to stress that this technology can not only allow for a much more efficient and sustainable lighting systems, such that can already be observed in daylight-controlled lighting, but it can also enhance the beauty of lighting. This is crucial in all the applications where lighting plays a decorative role.

Interactive lighting has sprung from the ever developing platform of sensor technology combined with the established lighting control standards such as DMX512 and DALI, that allow for digital control of a large number of fittings.

2. Main application areas

In order to understand the 'applicability' of interactive lighting we must perhaps ask ourselves, why is lighting control based on natural light levels and motion detection, still present in a very limited scope of applications. These include for example office spaces, hallways, industrial buildings and similar. I believe it is because in many other applications lighting plays a decorative role as well, besides just the utilitarian function of providing sufficient lighting to the space. The lighting control systems that currently exist in the market are focused mainly on the sustainability issues and not so much on the attractiveness of the lighting itself. They perform best when applied to a large building

and they are used mainly to create a number of lighting scenes which are mostly static – once you press the button the lighting changes and until you press it again, it stays the same.

There is a whole range of applications where these dynamics do not suit the purpose. What they have in common is that the actual users of the lighting do not have access nor the desire to control the lighting itself. For example all of the lighting used in advertising, such as shop windows or light boxes for advertising, falls under this category. As the users of the lighting, i.e. the viewers of the merchandise or the message, do not control the lighting itself, the lighting is on even when there is no one present. In these applications the use of traditional motion detection with on/off controls would not work as it would not convey the right message to the viewers.

Other application areas include applications in architecture where lighting plays a decorative role. The reason being is that traditional intelligent lighting controls, such as motion or daylight based controls, rarely add aesthetical value to the lighting installation which makes them hard to adopt in decorative lighting applications. I believe the only way to promote lighting control, which will in effect increase the sustainability of the installation, is to elevate it with lighting control which has aesthetical value.

3. Project examples

Advertising: Interactive showcase

At the moment we are developing an interactive lighting application in advertising. As our office is on the ground floor we decided to showcase a couple of our projects as well as a bit of information about our company. The reason for designing an interactive showcase is that the street our office is on is not too busy and there is probably a significant amount of time when there is no one present. Also, as there are a couple of companies that already have light boxes that advertise their company, we thought that we want to do something different.

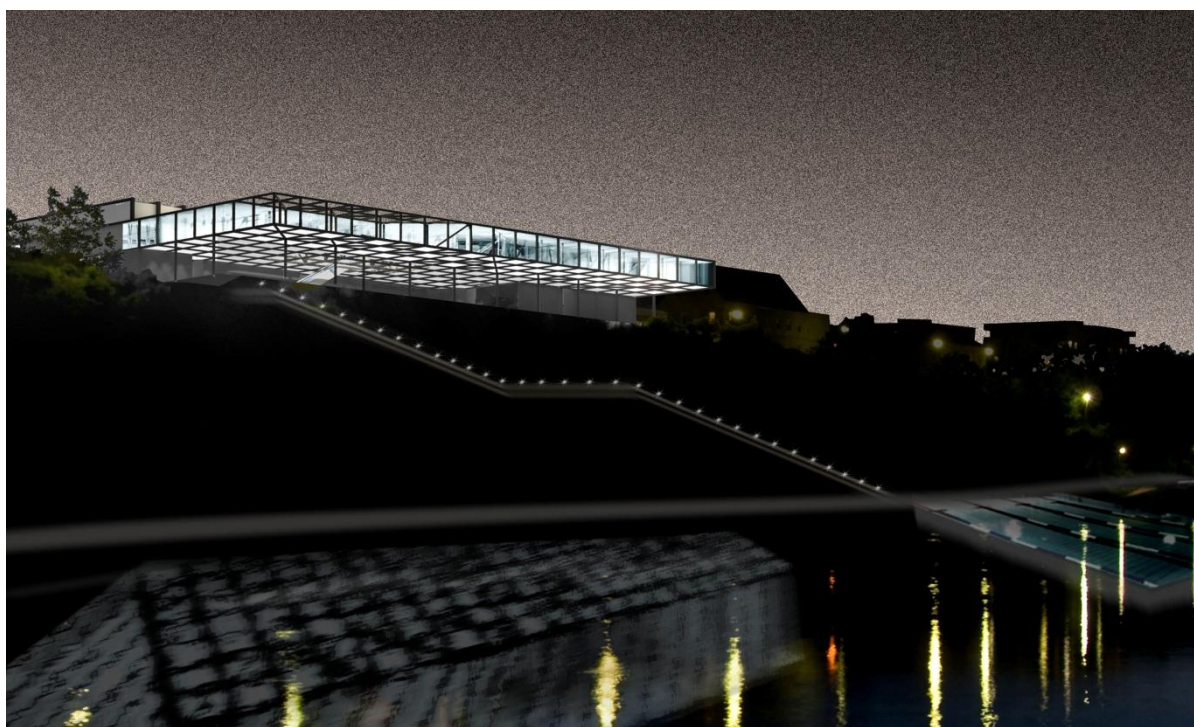
The solution that we created is a much more pleasant and 'catching', besides being more energy efficient. It is a set of 6 light boxes installed next to each other. When there is no one directly in front of them the light slowly moves from one to another in random direction, however when someone walks in front of them, the light starts to follow them. Basically only the light box directly in front of you is switched on, while the others slowly fade to darkness. We estimate that the showcase consumes around 80% less energy compared to the standard one where the showcase would be always switched on.

Urban lighting: Market in Grosuplje



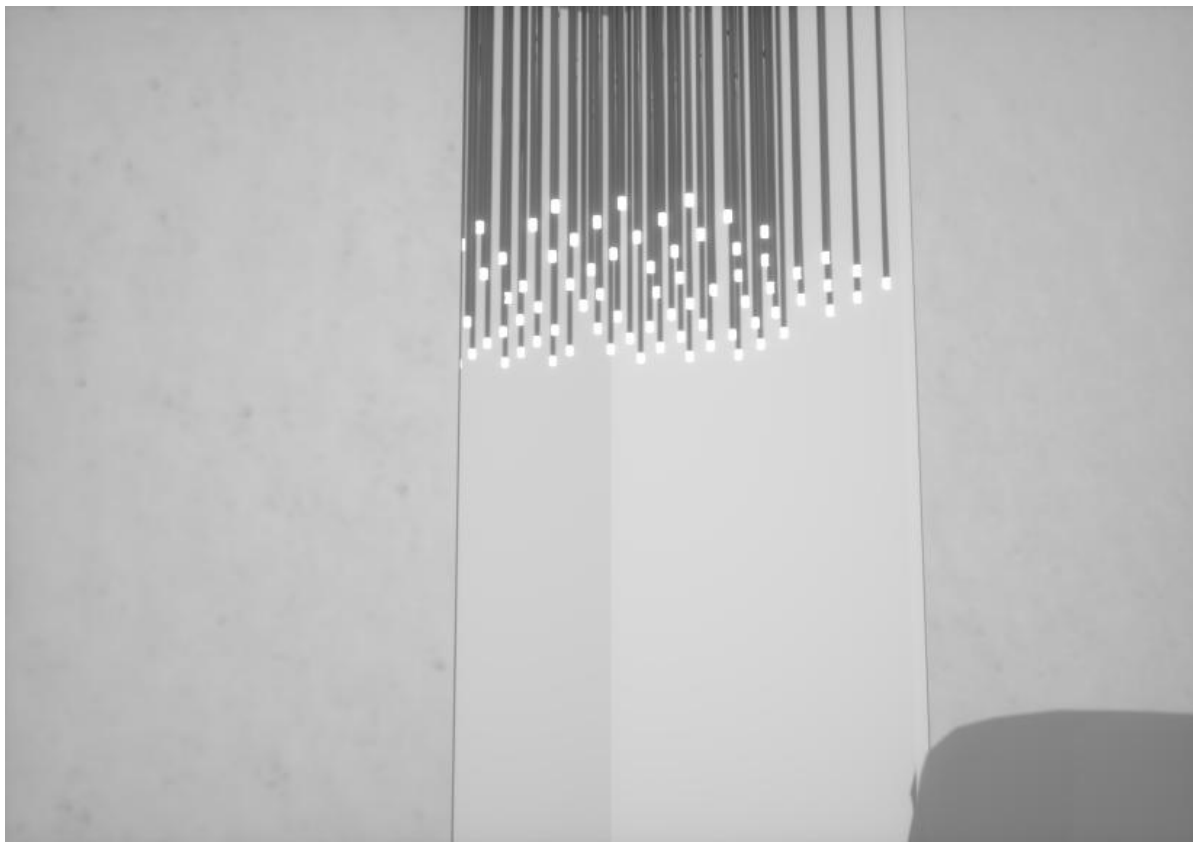
We were invited by architectural practice Delavnica to design lighting for Market in Grosuplje, which is about to be renovated. The architectural team wanted the lighting to enhance the night-time feel of the three circular benches they positioned around the square. We proposed that lighting is installed under the benches and fades in to 100% when someone approaches and fades to around 30% after 2 minutes of absence of people. The proposal is based on the fact that an urban area like this market is mostly empty in night-time except for the couple of hours in the evening. Therefore, the lighting is more sustainable, it adds an element of playfulness to the square and also avoids the eerie feeling of brightly lit yet still empty urban spaces.

Facade lighting: MAKS Terminal 12 in Maribor



We were approached by Sadar+Vuga architects to design an innovative lighting scheme that would enhance the night-time image of the Centre of Performing Arts in Maribor/Slovenia. We proposed an interactive lighting design that would enhance the 'performing' quality of the buildings whilst promoting sustainability and overall image of the building. The lighting in the ceiling panels lit up only when there is someone below, thus creating a dynamic play of light that correlates to the happening in the building.

We designed an interactive star-like luminaire. The little light points flicker with a very low output when there is no one around, but when someone approaches they slowly increase until the flicker ranges around 90% of full output.

Products and small scale applications: Stardust**4. The challenges of the present**

The main challenge for implementation of interactive lighting systems is the lack of specialized lighting control systems that would allow for a cost effective and streamlined implementation. The reason being is that lighting control systems of today can mostly be classified into two categories: one is the group that focuses on show lighting, such as e:cue for example. These systems mostly use DMX512 communication protocol and often implement RGB LED fittings as well as other technology such as motors (for rotation of the projectors), smoke machines etc. They mostly lack the inputs for sensors, are often too expensive and have too many redundant functions to use them for small scale or architectural lighting applications.

The other group of lighting control systems is the ones that focus on the use in residential and office lighting, which mainly use DALI or 0-10V communication protocol. These systems often use motion and natural light levels detection, however they lack the tools to design a constantly evolving dynamic installation and/or use of different types of sensors or a larger number of them.

We believe that as the technology development focuses on the implementation of advanced sensor technology into lighting control systems, we will see a rapid expansion of the number of interactive lighting applications both in advertising as in architecture.

Author's address

Mitja PRELOVŠEK, univ.dipl.inž.el., MSc Lighting Design
Enlighter d.o.o., 1000 Ljubljana, Slomškova 23, Slovenija
Tel.: 030 362 454, Elektronski naslov: mitja@enlighter.com

Mitja Košir, Živa Kristl

ACTIVE CONTROL SYSTEM OF OFFICE ENVIRONMENT

Abstract

In the paper a holistic system for control of thermal, olfactory and illuminance conditions in an occupied office is presented with special emphasis given to the presentation of the illuminance control. The presented system is installed in an office in the Faculty of Civil and Geodetic Engineering in Ljubljana. Illuminance conditions are achieved with the use of daylighting (shading) and artificial illumination (lights) and coordinated with the given external conditions in real time. Primary emphasis of the system is on the providing of good user comfort and consequentially better performance. Functioning of the system is illustrated through presented experiments.

Povzetek

V članku je predstavljen holistični regulacijski sistem za uravnavanje toplotnih, vizualnih in vohalnih aspektov notranjega okolja. Glaven poudarek je na detajlni predstavitvi strukture in delovanja regulacije notranje osvetljenosti. Sistem je vgrajen v pisarni stavbe Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Osvetljenost je regulirana s pomočjo uravnavanja dnevne svetlobe (senčenje) in umetne razsvetljave (luči) v odvisnosti od zunanjih vremenskih danostih. Osnovni cilj predstavljenega sistema je zagotavljanje dobrih delovnih in bivalnih pogojev ter s tem posledično tudi višje storilnosti uporabnikov. Delovanje sistema je opisano s pomočjo predstavljenih eksperimentov.

1. Introduction

The quality of indoor environment in buildings is directly connected to the productivity and health of occupants as well as to the energy efficiency of the building. In such a context the providing of satisfactory internal conditions is an issue that has implications on a socio-economic scale [1, 2] reaching beyond the scope of construction related professions. Nonetheless, the problems concerning design and regulation of the indoor environment can be addressed directly and efficiently on the level of the building design and management. Buildings as artificially created objects can be split into two distinct but codependent entities – building envelope and indoor environment. In contrast to the external environment, indoor environment for people represents a place of control on the physiological as well as psychological level. Because these two environments are not discrete but in constant exchange of energy, matter and information [3],

the function of the building envelope is to enable the desired indoor conditions with regard to the external climatic conditions. Quality indoor environment provided with the forming of an appropriate building envelope is at the base of bioclimatic design and passive solar architecture (PSA). Building performance can additionally be improved by correct use of installed devices (e.g. heating and cooling systems) and especially by providing automated regulation to the functioning of the whole building [4]. Automated control systems represent a solution to a complex problem of balancing the user demands with external climatic conditions with respect to the comfort and energy use criteria. The end result of such applications is in the first design of healthy and comfortable internal environment and then low energy consumption with emphasis on this order of achieving the goals [5].

The Integral Control system of Internal Environment (ICsIE) [4] presented in the paper represents a holistic regulation system based on the presumptions of bioclimatic design with the use of PSA measures. The system regulates thermal, visual and olfactory parameters of an occupied office at the Faculty of Civil and Geodetic Engineering, University of Ljubljana in Ljubljana, Slovenia. The regulation is achieved through the use of internal and external sensors, which monitor the corresponding environmental conditions. The system then directs the appropriate actuators according to user demands and current external conditions. ICsIE is designed around a fuzzy logic and conventional PI (i.e. proportional-integral) controllers linked into a cascade system. The priority of the ICsIE is the use of PSA measures prior to mechanical interventions synchronised with user demands, therefore integrating user satisfaction as well as energy efficiency into the core of the system. The paper will describe in detail the structure and functioning of the illuminance control of the ICsIE.

2. Integral Control system of Internal Environment

Artificial living and working environments are systems that enable people to function more efficiently and comfortably. Regardless of how advanced these environments are, they are never separated from the natural environment, but are rather a vital part. Because indoor environment is inseparably linked to the external climatic conditions and internal user demands, it represents a complex system of energy, mater and information exchange. With adequate level of control and energy input a meta-stable state of indoor conditions can be maintained and with it also the functioning of the human society. The indoor environment can be described as a cross-section of thermal [6], visual [6], olfactory [7], acoustic [6] and ergonomic [8] factors, which jointly form the perception of indoor environment. The control over qualitative and quantitative aspects of each factor is crucial in the forming of good and healthy indoor environments. Due to the interconnection of different aspects (e.g. thermal and visual impact of solar radiation) a holistic approach is necessary. Nonetheless, the number of factors influencing the regulation of indoor environment can be reduced, if they are classified according to the level of their dynamics. For instance, acoustic and ergonomic aspects can be described as relatively static and can be successfully controlled by passive measures on the level of building envelope (e.g. sound insulation) or space geometry (e.g. appropriate furnishing). On the other hand, visual and thermal comfort and air quality are constantly changing with regard to the external conditions and user behaviour. In accordance to these presumptions the ICsIE [9] is focused on the control of work plane illuminance (daylighting and artificial illumination), thermal conditions for the heating and cooling seasons and natural ventilation.

Because of the dynamics of the external weather conditions and the current state of building technology we can rightly say that the majority of interactions between external and indoor environments will pass through the transparent parts (i.e. windows) of the building envelope. At the same time internal demands with regard to illumination, internal temperatures and air quality influence the building envelope from the inside and are sometimes in stark contradiction with the external conditions. These contradictions demand a highly flexible and responsive control system which can be attained with correctly designed and regulated building envelope and supplemented with installed mechanical and electrical devices. In the case of buildings the control is in the majority of cases manual or of an ON-OFF type. Both types have proven to be inadequate in attaining a sufficiently responsive regulation [3]. On the other hand, if an advanced control system is applied, it is often only on the level of a single sub-system (e.g. heating control, daylight responsive illumination) and not controlling the whole building, thus neglecting the interactions between different parts of indoor environmental control. Traditionally, automated regulation is achieved with the use of conventional PID (i.e. proportional-integral-derivative) or PI controllers which are very common in the control of industrial processes. Although such control systems are very efficient, it can be extremely complicated to design and tune them correctly in the case of highly complex systems, such as the regulation of indoor environment. A possible solution to this problem is, as in the case of ICsIE, the application of hybrid regulation systems where conventional PI controllers are used in a cascade system with fuzzy logic controllers [9, 10]. The use of fuzzy logic controllers enables designers to apply expert knowledge about the process in the form of IF-THEN statements that relate input variables directly to the output value of the regulator and by doing so make the whole decision process more transparent and intuitive to the designers. Figure 1 presents the input fuzzy sets of the illuminance control of the ICsIE with the corresponding decision matrix.

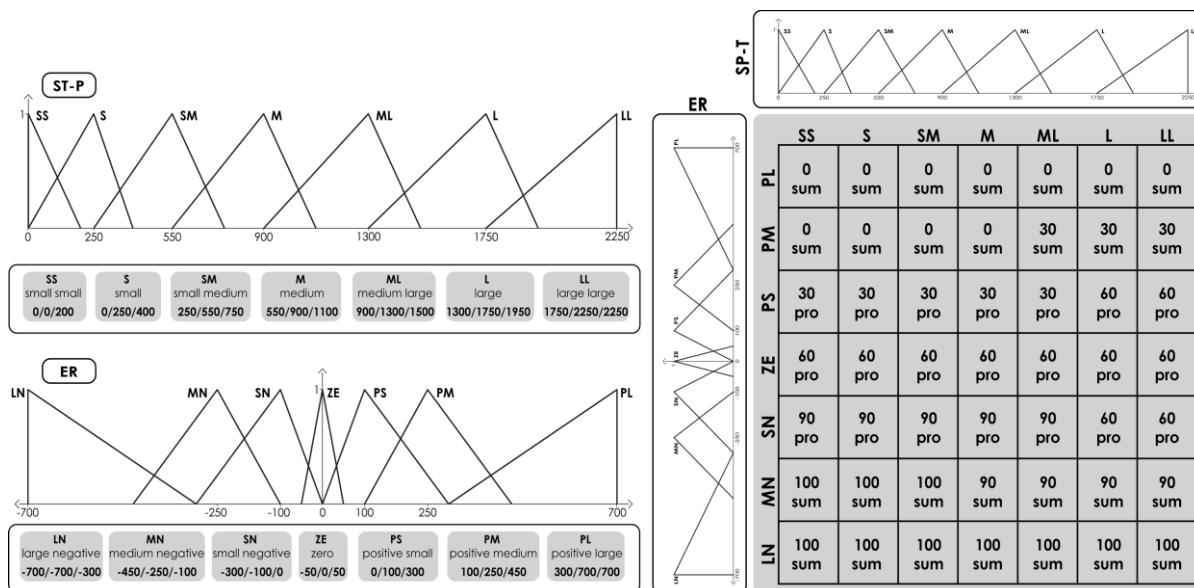


Figure 1: ICsIE illuminance control input fuzzy sets (ST-P, ERR) and the corresponding decision matrix. The ST-P (i.e. set-point value) set is defined on the range from 0 to 2250 lx while the ERR (i.e. deviation from the

The ICsIE system was designed for the control of three key aspects that constitute the basis of a comfortable and energy efficient internal environment. The system regulates internal work plane illuminance, thermal conditions for heating and cooling seasons and natural ventilation. In the presented paper only the illuminance part of the ICsIE will be presented in detail. Regulation is

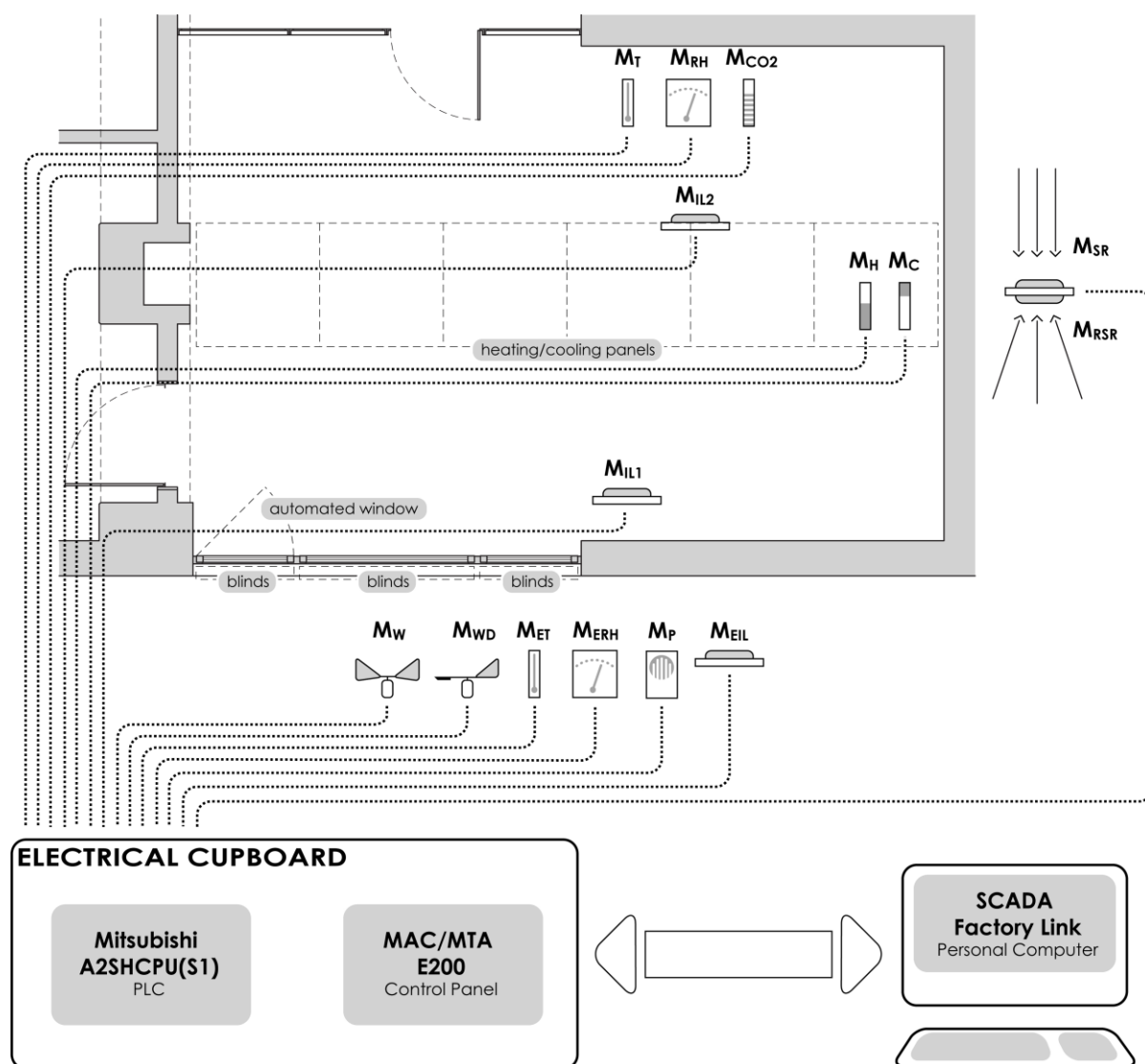


Figure 2: Sensor array of the ICsIE with the basic system architecture and its actuators.

achieved with the use of an elaborate array of internal and external sensors, which monitor the environmental conditions (Figure 2). In the external environment the following parameters are measured: air temperature (M_{ET}), relative humidity (M_{ERH}), illuminance (M_{EIL}), direct solar radiation (M_{SR}), reflected solar radiation (M_{RSR}), wind speed (M_W), wind direction (M_{WD}) and presence of precipitation (M_P). In the indoor environment the measured parameters are: air temperature (M_T), relative humidity (M_{RH}), work plane illuminance in two work places (M_{IL1} and M_{IL2}), CO_2 concentration (M_{CO2}), heating energy consumption (M_H) and cooling energy consumption (M_C). The ICsIE directs the available actuators according to the set-point values of internal parameters in relation to the current external conditions. The system prioritizes according to the energy effectiveness of an action (e.g. shading has a priority over mechanical cooling in the case of thermal regulation). The priority of the system is the use of passive solar architecture measures (PSA) prior to mechanical interventions synchronized with user demands. For the regulation of internal illumination the system can use six external venetian blinds to control daylighting and conventional ceiling suspended office fluorescent lights as artificial illumination. In the case of thermal regulation (heating and cooling) the ICsIE can use venetian blinds for the regulation of solar gains, ceiling mounted low temperature radiant panels for the supply of heating or cooling energy and automated window for night time cooling; the same window is also used for

ventilation purposes. The process level of the system is built around a programmable logic controller (Mitsubishi A2SHCPU(S1)) that performs all of the appropriate actions in correlation to the defined regulation rules. Supervision of functioning and communication with the programmable logic controller is enabled through a special interface application installed on a standard PC.

The ICsIE was designed between 2007 and 2008 and installed in the office of the main building of the Faculty of Civil and Geodetic Engineering in late 2008. The test office equipped with the ICsIE is a typical cellular office with the floor space of 38.80 m^2 and a volume of 163.40 m^3 , with a western oriented window of a total glazing of 11.40 m^2 . Considering its size the office has a relatively large window area but a small level of occupancy (0.05 persons/m^2), as there are only two work places in it. The window of the office is segmented into six individual units, each unit equipped with the above mentioned motorized external venetian blinds. The upper right (as seen from the inside of the office) window is automated and is used for ventilation and passive cooling of the office (Figure 2). Heating and cooling panels mounted to the ceiling of the office are connected to the central heating and central cooling plant of the Faculty of Civil and Geodetic Engineering building. The basic geometry of the office can be seen in Figure 2. During the operation of the system in the winter of 2008/2009 preliminary experiments were executed to eliminate defects in the design and glitches in the programming and functioning. After some initial problems with the functioning of the actuators, the system was put into continuous operation in spring of 2009.

3. Illuminance control

In the living and working environments of continuously occupied buildings visual comfort has a direct impact on user comfort. In buildings, light can be provided by daylighting or by artificial light sources. For the living and for the majority of the working environments the quality and quantity of daylight is a primary concern, as daylight influences users on the physiological as well as psychological level. The exposure to natural light regulates circadian rhythm [11] by triggering the melatonin suppression and the ability to concentrate [12]. Positive influence of daylight on performance in the working environments as well as in schools was described in the studies by the Heschong Mahoney Group [13, 14]. Similarly, the studies executed by Dogrusoy and Tureyen [15] and Mills et al. [16] indicated many positive effects of daylighting on people. Additionally, adequate daylighting reduces the energy consumption used by the artificial illumination [17]. Of course, artificial illumination is necessary when daylight is not available (e.g. at night) or when the external illumination is too low (e.g. cloudy conditions). According to the above-described starting points, the ICsIE treats the use of daylight as a primary action with artificial illumination as an auxiliary action when the natural illumination is inadequate. When the space is occupied, daylighting has priority over other actions unless the system is instructed by the operator to function differently (e.g. the system is set to thermal priority). The illumination control of the ICsIE can be split into natural and artificial illumination parts of the control loop (Figures 3 and 4). Because daylighting has the priority status, the artificial illumination activates only when all the possibilities for natural illumination are exhausted. Manual activation, which overrides the automatic system, is also available. With the use of the available actuators the system regulates the indoor work plane illuminance by keeping the measured illuminance (M_{IL}) as close as possible to the set-point illuminance (ST_{IL}).

For the regulation of daylight penetration externally mounted retractable venetian blinds are installed, ensuring maximum flexibility. Each of the six blinds can be either fully retracted (e.g. window is unobstructed) or completely extended (e.g. window is completely shaded). The control

of the inclination of individual blades is possible only when the blind is completely extended. The system enables the position of blades at four angles in steps of 30° from horizontal position (i.e. 0°) to vertical position (i.e. 90°) that corresponds to a completely closed blind. Each individual blind or group of blinds can retract separately, but the blades of all the extended blinds are regulated

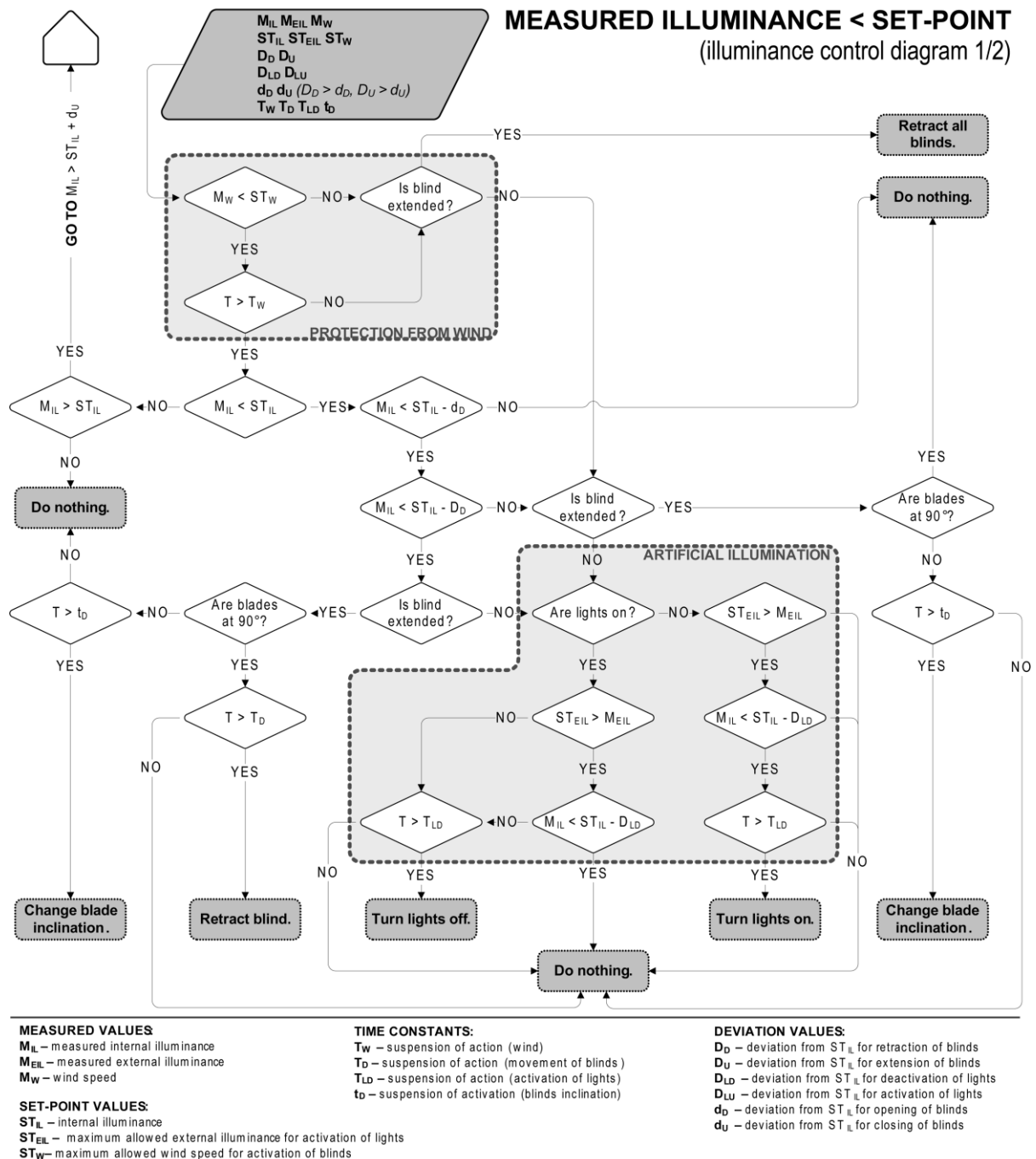


Figure 3: Flow chart illustrating the functioning the illuminance control of the ICsIE when M_{IL} is smaller than ST_{IL} .

simultaneously. If the set-point indoor illuminance is not achieved with the retraction of the blinds, the system activates artificial illumination, for which conventional suspended office lights are used. The positioning of the blades at desired inclination is run by the main motor, which regulates blind movements as well as the inclination of the blades. Because there is no feedback

about the position of the blades, the system periodically resets the blades to the neutral position. This reinitialization of blinds is executed three times a day (i.e. every 480 minutes). To avoid damaging of the externally mounted mechanical shading devices in times of strong winds, the ICsIE incorporates additional safeguard protocols that prevent damaging of the blinds due to external conditions. When the measured wind speed (M_W) exceeds the maximum allowed wind speed (ST_W), the system retracts the blinds and suspends all actions until the wind intensity reduces to the acceptable level.

The illumination control of the ICsIE is based on the experience with the KAMRA system [18] that was implemented on a test cell. During extensive experimentation it became obvious that movements of the shading device have to be limited to the acceptable level. Repeated movements of the shading devices can become disturbing to the occupants as noise and movement linked with the functioning of the system can reduce the concentration and annoy the users. In extreme cases, disturbing movements of parts of the automated system can result in the rejection of the whole regulation system. In the early stages of experiments with the ICsIE we noticed that the values for the input parameters have to be chosen carefully or they can produce disturbingly frequent movements of the blinds. A compromise regarding system accuracy and user acceptability was necessary; therefore, we used time delay constants and deviation limits. In general it could be held that deviation limits affect the accuracy of the system to follow the ST_{IL} while time delays affect the number of movements of blinds, although this is in some way an oversimplification as the combination of both parameters influence the actual behaviour of the blinds. The ICsIE applies a

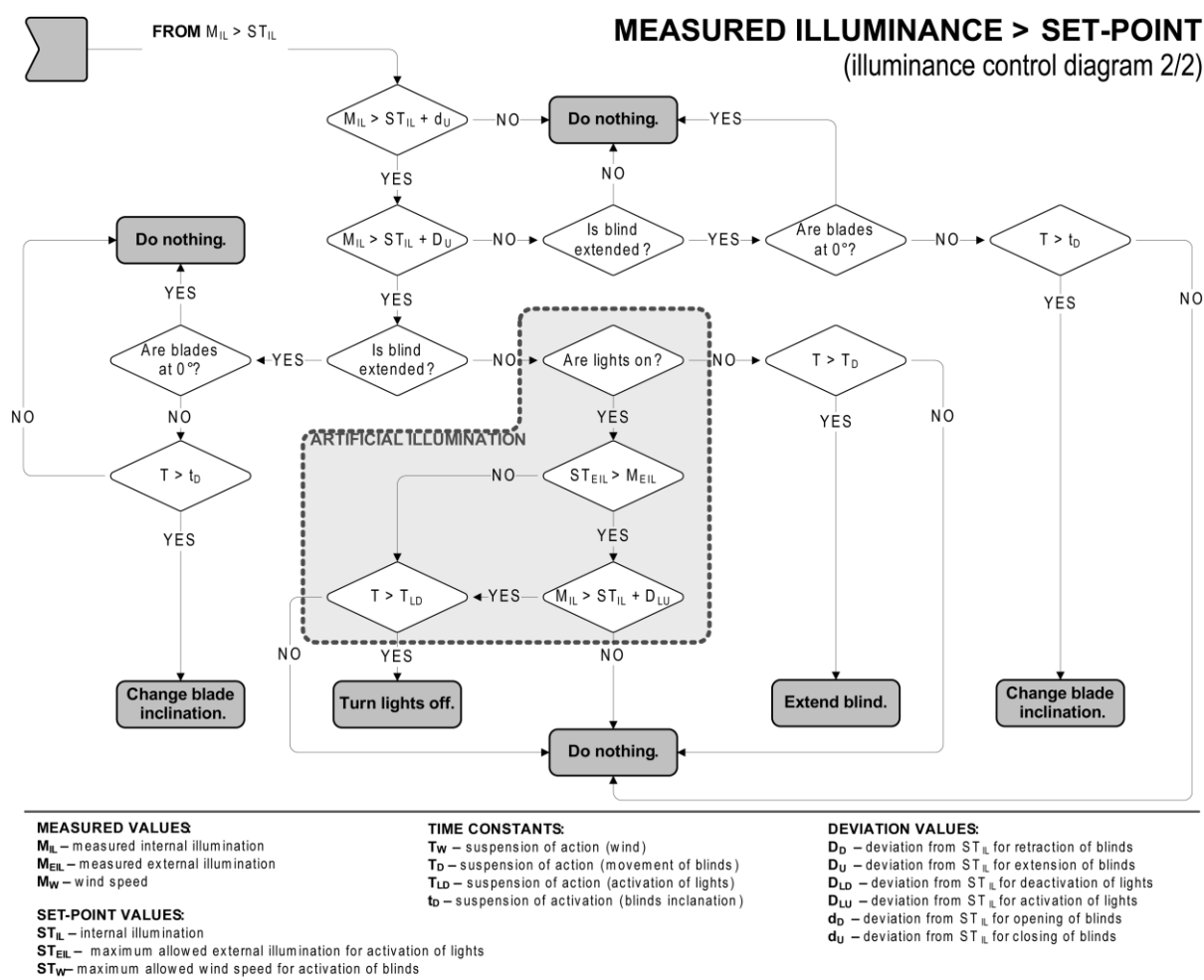


Figure 4: Flow chart illustrating the functioning the illuminance control of the ICsIE when MIL is larger than STIL.

series of values that define acceptable deviations from the ST_{IL} . If the M_{IL} is in the defined zone, the system does not react. These zones or deviations are defined separately for the upper and lower threshold levels, as lower work plane illumination is more problematic for the visual efficiency than the higher one. In the case of the ICsIE three pairs of deviation values are used for each individual actuator reaction. For the retraction of the blind, a value of the parameter D_D defines the lower limit of the acceptable deviations (e.g. set-point -80 lx). Similarly, for the extension of the blind the parameter D_U (e.g. set-point +300 lx) defines the upper limit of the zone of acceptable values of the indoor illumination.

Separate values are also defined for the blade movements (d_D – lower limit, d_U – upper limit) and for the activation of artificial illumination (D_{LD} – lower limit, D_{LU} – upper limit). Deviation values can be arbitrarily set by the system operator with one restriction, i.e. that D_D must be larger than d_D and similarly D_U has to be larger than d_U . This restriction is of a practical nature as the inclination of the blades can not be regulated if the blind is retracted, but that is exactly what the system would try to do if the d_U or d_D were larger than D_U or D_D . For the activation of artificial illumination an additional restriction is also set by defining the maximum external illumination (ST_{EIL}) at which lights still can be used. If the measured external illumination (M_{EIL}) is larger than the defined value of ST_{EIL} , the artificial illumination is deactivated. In addition to the described deviation zones the movements of the blinds and the switching of the lights are also restricted by the time delays. For each of the actions a time interval is defined in which only one movement can be performed. This is of great importance, because the external and consequentially the indoor daylight levels can fluctuate very rapidly and with large amplitudes. The responsiveness of the ICsIE is greatly dependent on the values of the described deviation parameters and time intervals. In general, the smaller time intervals and deviation values, the more responsive (and accurate) the system will be, but at the same time the blinds will move more frequently. The flow charts in Figures 3 and 4 present the whole process of illumination control of the ICsIE. The starting set-point value of 500 lx for the internal illumination was used according to the recommendations defined for office work in the ISO/CIE 8995-1 [19]. The input parameters of the system that have produced satisfactory results regarding user comfort as well as accuracy of the system are the following: $D_D = -100$ lx, $D_U = +100$ lx, $d_D = -50$ lx, $d_U = +50$ lx, $D_{LU} = -50$ lx, $D_{LD} = +100$ lx, $T_D = 300$ s, $t_D = 120$ s, $T_{LD} = 300$ s.

4. Experiments

Typical operation of the ICsIE is that during week days the system is in illuminance priority between 7:00 and 18:00. After that the system switches to a reduced regime (i.e. no illuminance control, reduced internal temperatures control). During weekend days the system is typically in thermal priority mode or dormant (regulation of blinds is deactivated). Figure 5 represents a typical early spring experiment where the system was in illuminance priority mode with deactivated artificial illumination, which means that internal illuminance was regulated strictly by the venetian blinds. ST_{IL} was set to 500 lx with acceptable deviation values of parameters D_U set to +100 lx and D_D set to -50 lx. Deviation parameters for the rotation of the blind blades were set symmetrical ($d_D = d_U$) to ± 50 lx, while time restriction constants were set to $T_D = 300$ s and $t_D = 120$ s. Weather conditions on the presented day (7th of March) were extremely sunny and stable, which can be observed from the solar radiation (M_{SR}) curve depicted in Figure 5. Due to the western orientation of the office the direct solar radiation influences the internal illuminance of the office only after the sun passes to the western part of the hemisphere. Internal illuminance was too low during the morning hours when additional artificial illumination would be necessary to reach the desired value of 500 lx. After 13:00 the office was adequately daylighted until 17:00, when the intensity of the sun dropped due to the setting of the sun. During this time the ICsIE

successfully regulated the internal illuminance with the positioning of the blinds (POS_{BL}) and rotation of its blades (POS_{BLA}). The POS_{BL} line depicted in Figure 5 represents the movement of six individual venetian blind units, where the value of 1000 represents all of the blinds being retracted, while each additional step corresponds to one blind unit being extended. All of the blinds were extended around 15:15. At this time the position of the blades (POS_{BLA}) was horizontal (0°). Each additional step was then executed in 30° increments. The POS_{BLA} line depicts this rotational movement of blades where the value of $POS_{BLA} = 0$ corresponds to 0° and $POS_{BLA} = 900$ corresponds to 90° . Temporary drops in the level of internal illuminance during the movements of blinds are caused by blind movement which can be executed only with blades at 90° position.

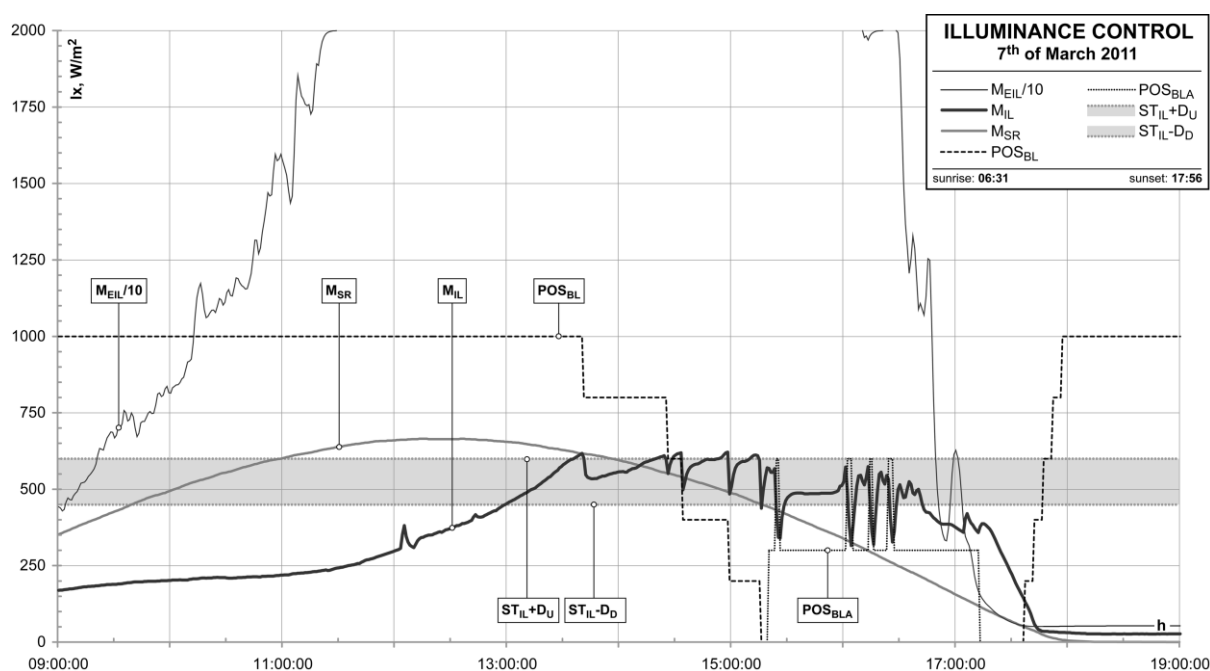


Figure 5: Illumination control on the 7th of March 2011; the ICsIE illuminance control was active between 07:00 and 18:00, artificial illumination was turned off. The diagram depicts the following values: internal set-point illuminance with defined deviations (ST_{IL+D_U} , ST_{IL-D_D}), internal illuminance (M_{IL}), external illuminance divided by factor 10 ($M_{EIL}/10$), direct solar radiation (M_{SR}), position of individual blinds (POS_{BL}) and inclination of blades (POS_{BLA}).

A similar experiment conducted on the 2nd of February is presented in Figure 6. Weather conditions were sunny with thick morning fog that cleared around 11:00 (see M_{SR} line in Figure 6). The automatic control system was active from 7:00 till 18:00. All the venetian blinds were automatically controlled except for the one nearest to the work place which was closed manually by users to prevent glare. The electric lighting was active and controlled by the ICsIE. Lights were switched on at 7:00 and were active until the external illuminance (M_{EIL}) reached the defined maximum allowed external illumination (ST_{EIL}) for the activation of lights. The ST_{EIL} was set to 5000 lx which was too low as the internal illuminance did not reach the desired set-point values. In later experiments the value of ST_{EIL} was raised. Internal illuminance reached the desired values at roughly 11:30 while the automatic control system started extending the venetian blinds at 12:50. The automatic control system extended the blinds relatively quickly, one after another, when the internal horizontal illuminance exceeded 600 lx and it managed to keep the illuminance at 500 lx.

In Figure 5 the movement of the blinds is depicted by the POS_{BL} line. Between 13:20 and 16:00 three automatically controlled and one manually controlled blinds were extended, during this time the M_{IL} was almost constant and equal to ST_{IL} (500 lx). Both presented experiments illustrate the efficiency of the ICsIE's illuminance control, as it was successful at following the ST_{IL} value accurately and with less than 4 movements of blinds in one hour when the available daylight was high enough.

5. Conclusion

The ICsIE was designed and executed as a full scale, real time automated control system that would be able to effectively control the living and working indoor environments of buildings. The system is installed in an occupied office at the Faculty for Civil and Geodetic Engineering in Ljubljana, Slovenia. The system is focused on providing greater user comfort and consequentially in working and school environments also greater efficiency at working and learning. In the context of user satisfaction lower energy consumption of a building is a secondary concern and must not interfere with providing good and healthy internal environmental conditions [5]. Nevertheless, this does not mean that a building equipped with the ICsIE can be energy inefficient, but that striving for reduction of energy consumption must be coordinated with the goal of better indoor environmental conditions [9]. In the case of ICsIE this is achieved through the application of bioclimatic principles and use of PSA measures to achieve simultaneous positive effects in the field of user comfort as well as energy efficiency. ICsIE is a system that controls the most dynamically changing aspects of indoor environment (illuminance, thermal conditions and air quality), while acoustics and ergonomics were not controlled due to their relatively static nature. Regulation is achieved through the use of internal and external sensor arrays that monitor the indoor environmental and the external climatic conditions. According to the reference values of indoor controlled values (user demands) and the external possibilities, the system guides the appropriate actuators to a proper state. The system is executed as a cascade fuzzy logic/PI control system for the regulation of heating, cooling and illuminance and as a conventional PI controller for the regulation of natural ventilation.

The illuminance control part of the ICsIE that was described in detail in the presented paper has been successful in following the defined set-point values of the indoor work plane illuminance. Through experimentation the appropriate values for the deviation limits around the set-point value and time delays have been defined. With these values properly defined, the ICsIE is able to regulate the level of indoor illuminance with relatively few movements of the blinds (i.e. typically approximately 5 movements in 1 hour). Low number of blind alterations is crucial as to prevent annoyance to the users. Due to the properly selected deviation limits (D_D , D_U , d_D , d_U , D_{LU} , D_{LD}) and time constants (T_D , t_D , T_{LD}) the system was able to properly respond even in times of extreme changes in external conditions (e.g. sudden drop in level of external illuminance due to a change in weather – summer storms). In such situations the system gradually raised the venetian blinds and at the end if necessary also activated the artificial illumination and therefore eliminating the possibility of user annoyance due to the sudden change in actuator states. According to the occupants' feedback the ICsIE could be deemed a success, as manual interventions into the functioning of the system were rare. The same conclusion can also be drawn from the experimental data where good results were achieved even with daylighting, which is the hardest to control due to its unpredictable and highly dynamic nature.

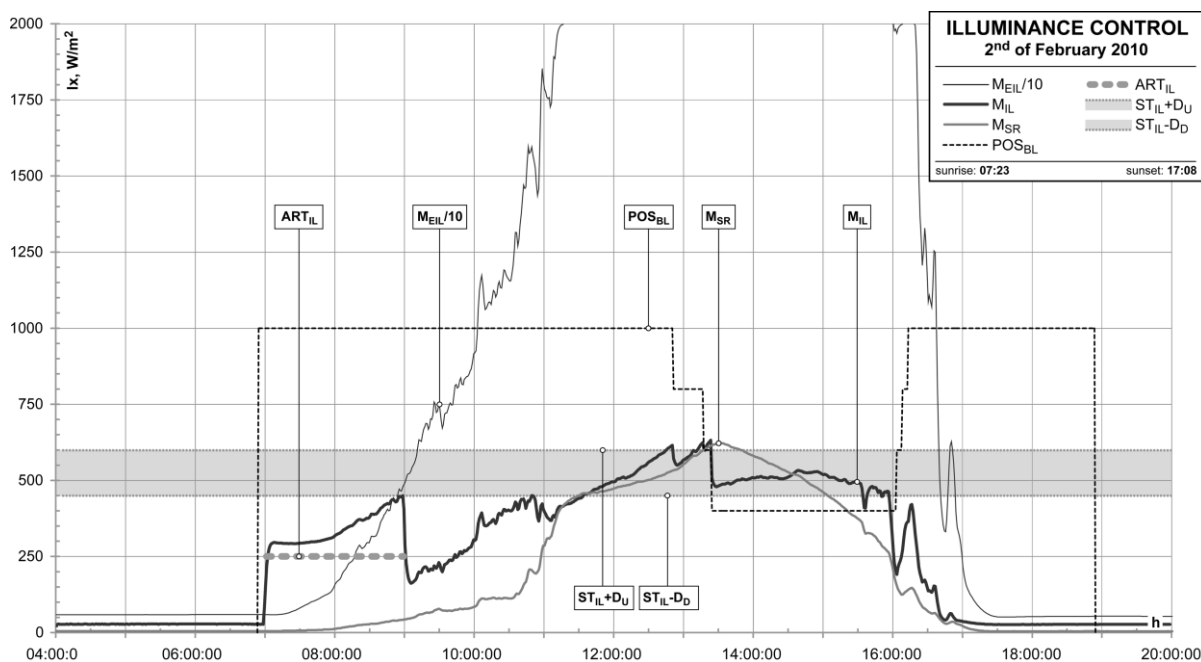


Figure 6: Illumination control on the 2nd of February 2010; the ICsIE illuminance control was active between 07:00 and 18:00, artificial illumination was turned on, the ST_{EIL} was set to 5000 lx. The diagram depicts the following values: internal set-point illuminance with defined deviations ($ST_{IL}+D_U$, $ST_{IL}-D_D$), internal illuminance (M_{IL}), external illuminance divided by factor 10 ($M_{EIL}/10$), direct solar radiation (M_{SR}), time when artificial illumination was active (ART_{IL}) and position of individual blinds (POS_{BL}).

REFERENCES

- [1] Fisk, W. J., 2000. Health and productivity gains from better indoor environments and their implications for the U.S. Department of Energy. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- [2] Sobocki, P., Jönsson, B., Angst, J., Rehnberg, C., 2006. Cost of depression in Europe. Journal of Mental Health Policy and Economics. 9, 87-98.
- [3] Krainer, A., 1993. Building Science and Environment-Conscious, Design Module 1: Design Principles, 7 Toward Smart Buildings. European Commission TEMPUS Joint European Project JEP-1802.
- [4] Košir, M., Kristl, Ž., Krainer, A., 2006. Parametrical study of fuzzy control approaches for regulating thermal and optical flows. EuroSun 2006: Conference Proceedings, International Solar Energy Society, 1-9.
- [5] Krainer, A., 2008. Passivhaus contra bioclimatic design – Dedicated to em. Univ.-Prof. Dr. Ing. habil. Dr.h.c. mult. Karl Gertis on the occasion of his 70th birthday. Bauphysik. 30, 393-404.
- [6] Szokolay, S. V., 2008. Introduction to architectural science: The basis of sustainable design. – 2nd ed., Architectural Press, Oxford.
- [7] CR 1752, 1998. Ventilation for buildings – Design criteria for the indoor environment, European Committee for Standardization, Brussels.
- [8] Pheasant, S., Haslegrave, C. M., 2006. Bodyspace: anthropometry, ergonomics, and the design of work – 3rd ed., Taylor & Francis, Boca Raton.

- [9] Košir, M., 2008. Integral regulating system of internal environment on the basis of fuzzy logic, PhD thesis, University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana.
- [10] Kristl, Ž., Košir, M., Trobec-Lah, M., Krainer, A., 2007. Fuzzy control system for thermal and visual comfort in building. *Renewable energy*. 33, 1-12.
- [11] Hubalek, S., Brink, M., Schierz, C., 2010. Office workers' daily exposure to light and its influence on sleep quality and mood. *Light Research & Technology*. 42, 33-50.
- [12] Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., Rollag, M. D., 2001. Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*. 21, 6405-6412.
- [13] Heschong, L., 2003. Windows and Classrooms: A Study of Student Performance and the Indoor Environment. Heschong Mahone Group, California Energy Commission, Fair Oaks.
- [14] Heschong, L., 2003. Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment. Heschong Mahone Group, California Energy Commission, Fair Oaks.
- [15] Dogrusoy, I. T., Tureyen, M., 2007. A field study on determination of preferences for windows in office environments. *Building and Environment*. 42, 3660-3668.
- [16] Mills, P. R., Tomkins, S. C., Schlangen, J. M., 2007. The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *Journal of Circadian Rhythms*. 5.
- [17] Heschong, L., 2003. Daylight and Retail Sales. Heschong Mahone Group, California Energy Commission, Fair Oaks.
- [18] Trobec-Lah, M., Zupančič, B., Krainer, A., 2005. Fuzzy control of illumination and temperature comfort in a test chamber. *Building and Environment*. 40, 1626-1637.
- [19] ISO/CIE 8995-1, 2002. Lighting of indoor work places, International Organization for Standardization, Brussels.

Author's addresses

Mitja KOŠIR, Dr Sc
Faculty of Civil and Geodetic Engineering,
University of Ljubljana
1000 Ljubljana, Jamova cesta 2
Slovenia
Tel.: +386 (0)1 4768 609
Fax: +386 (0)1 4250 688
Email: mitja.kosir@fgg.uni-lj.si

Živa KRISTL, Dr Sc
Faculty of Civil and Geodetic Engineering,
University of Ljubljana
1000 Ljubljana, Jamova cesta 2
Slovenia
Tel.: +386 (0)1 4768 609
Fax: +386 (0)1 4250 688
Email: ziva.kristl@fgg.uni-lj.si

GENERALNI POKROVITELJ POSVETOVANJA / GENERAL SPONSOR OF THE SYMPOSIUM

GRAH
AUTOMOTIVE

ZLATI POKROVITELJI POSVETOVANJA / GOLDEN SPONSORS OF THE SYMPOSIUM



PHILIPS



THORN

POKROVITELJI POSVETOVANJA / SPONSORS OF THE SYMPOSIUM



siteco
AN OSRAM BUSINESS



MTS International d.o.o.



SPONZORJI / CONTRIBUTORS TO THE SYMPOSIUM

Univerza v Ljubljani, FE, Univerza v Mariboru, FERl

ISBN 978-961-248-301-2



9 789612 483012