

## Bijela knjiga EyeComfort1

U današnje vrijeme kvaliteta svjetla ključni je čimbenik po kojem se osvjetljenja razlikuju. Općenito govoreći, kvaliteta svjetla odnosi se na vizualne aspekte svjetla, njegovu zavisnost o ljudima i okruženju te interakciju s njima. LED tehnologija nudi bezbrojne mogućnosti postizanja različite prostorne, spektralne i temporalne kvalitete svjetla. Ona nas primorava da razmotrimo tradicionalni način procjene kvalitete svjetla. Tvrtna Signify stalno optimizira svoje proizvode zahvaljujući pristupu koji objedinjuje dobro poznavanje potreba korisnika, znanje o primjeni svjetla i znanstvena saznanja. LED žarulje i LED rasvjetna tijela tvrtke Signify, vodeće globalne tvrtke na području rasvjete, na tržištu se mogu naći pod imenom dobro poznate robne marke Philips.

Tvrtna Signify osmislila je robnu marku EyeComfort na temelju sljedećih odabranih kriterija: titranje, stroboskopski efekt, fotobiološka sigurnost, bliještanje, prigušivanje, prilagodljivost, prikaz boje i buka.

Naš portfelj proizvoda koji uključuje LED žarulje i LED rasvjetna tijela ocjenjuje se na temelju tih kriterija. U ovoj bijeloj knjizi objašnjavaju se ti kriteriji te u skladu s tim i važnost optimiziranja rasvjete.

### Znanstvena pozadina

LED rasvjeta EyeComfort robne marke Philips, koju proizvodi tvrtka Signify, izrađena je u skladu s prethodno navedenim kriterijima:

#### 1. *Titranje i stroboskopski efekt*

Titranje i stroboskopski efekt temporalni su artefakti svjetla („TLA“). Temporalni artefakti svjetla definiraju se kao promjena u vizualnoj percepciji koju izaziva svjetlosni podražaj, luminoznost ili spektralna distribucija koja fluktuiru u vremenu za ljudskog promatrača u određenom okruženju. Titranje je percepcija vizualne nepostojanosti koju izaziva svjetlosni podražaj, luminoznost ili spektralna distribucija koja fluktuiru u vremenu za statičnog promatrača u statičnom okruženju. Drugim riječima, to je ometajuća brza fluktuacija svjetla u prostoriji.

Stroboskopski efekt razlikuje se od titranja i definira se kao promjena u percepciji kretanja koju izaziva svjetlosni podražaj, luminoznost ili spektralna distribucija koja fluktuiru u vremenu za statičnog promatrača u nestatičnom okruženju. Drugim riječima, stroboskopski efekt rezultira neprirodnim prekidanjem neprestanog kretanja.

Svojestvo LED rasvjete brzi je odziv na varijacije u ulaznom signalu. Stoga ona vjerno reproducira te fluktuacije u izlazu svjetla, što potencijalno vodi do temporalnih artefakata svjetla za pojedince u osvijetljenom prostoru. Fluktuacije mogu biti iz različitih izvora, što uključuje: smetnje u električnoj mreži, interakciju s kontrolama (npr. prigušivači), smetnje ulaznog signala iz vanjskih izvora (npr. mikrovalovi) i dizajnirane fluktuacije elektroničkog upravljačkog programa. Postoje metode za ublažavanje fluktuacija u izlazu svjetlosti LED žarulja te istodobno smanjenje vidljivosti neželjenih

---

1 Tvrtna Signify može izmijeniti i dopuniti bijelu knjigu EyeComfort ako dobije (dodatne) informacije iz različitih područja, uključujući razvoj proizvoda, istraživanje, standarde i propise.

# PHILIPS

temporalnih artefakata. No te metode zahtijevaju kompromis kad je riječ o cijeni i učinkovitosti te dodani fizički prostor, a istodobno skraćuju vijek trajanja LED proizvoda s bilo kakvom arhitekturom.

Donedavno je za vidljivost titranja i stroboskopski efekt korišteno nekoliko mjera, kao što su indeks titranja (FI) i dubina modulacije. Nijedna od njih ne omogućuje predviđanje stvarne percepcije i doživljaja ljudi. Na vidljivost titranja i stroboskopskog efekta utječe dubina modulacije, učestalost, valni oblik i radni ciklus, a te mjere ne uzimaju u obzir sve te parametre. Stoga su na temelju ljudskog vizualnog sustava razvijeni znanstveni modeli koji se odnose na vizualnu percepciju ljudi, koja je dio živčanog sustava i omogućuje nam da vidimo. Robusnija TLA metoda mjerenja za titranje je  $P_{st}^{LM}$ , a za stroboskopski efekt SVM [1,2]. Te metode mjerenja podržavaju organizacije Lighting Europe [3] i NEMA [4], a koriste se za procjenu LED rasvjete EyeComfort robne marke Philips, koju proizvodi tvrtka Signify. Trenutačno se istražuju načini za poboljšanje TLA mjera.

Uobičajena definicija praga apsolutne vidljivosti točka je u kojoj promatrač može otkriti predmet opažanja 50 % vremena [2]. To znači da osoba nije sigurna vidi li efekt titranja te odabire odgovor „Vidim ga 50 % vremena”. Nije riječ o tome da je promatraču jasno da vidi titranje 50 % vremena, a da ga 50 % vremena ne vidi. Umjesto toga razina od 50 % predstavlja razinu na kojoj je upitna odluka vidi li se taj efekt ili ne.

S obzirom na prethodno navedeno, zahtjev za nepostojanjem vidljivog titranja definira se kao  $P_{st}^{LM} \leq 1,0$  i temelji se na standardu IEC 61000-4-15 **Error! Reference source not found.** i NEMA 77-2017 **Error! Reference source not found.** Mjerenje za  $P_{st}^{LM}$  izvodi se u skladu sa standardom IEC TR 61547-1, izdanje 2 **Error! Reference source not found.**

## *Zašto je važno titranje i stroboskopski efekt?*

Rasvjetna tijela kod kojih postoji titranje ili stroboskopski efekt smatraju se rasvjetom niže kvalitete [5 do 14]. Temporalni artefakti svjetla ne samo da su iritirajući za ljude, već utječu i na ugodu oka, općenitu ugodu i vizualne performanse. Preciznije rečeno, vidljivi temporalni artefakti svjetla mogu smanjiti vizualne performanse zadatka, uzrokovati neugodu oka (umor očiju), povećati pojavu glavobolja, naprezanje očiju i uzrujati korisnika. Ispitivanja pokazuju da vidljivo titranje može uzrokovati epileptičke napade u nekim slučajevima [5 do 14]. S obzirom na to, LED proizvodi EyeComfort robne marke Philips, koje proizvodi tvrtka Signify, osmišljeni su da minimiziraju vidljivo titranje i stroboskopski efekt.

## *2. Fotobiološka sigurnost*

### *Opasnost plavog svjetla*

Opasnost plavog svjetla fotokemijsko je oštećenje rožnice i ovisi o spektralnom sastavu, jačini i vremenu izloženosti oka. Međunarodna elektrotehnička komisija (eng. International Electrotechnical Commission, IEC) razvila je standard za procjenu fotobiološke sigurnosti [16]. Izvori su klasificirani u 4 skupine rizika (0 = nema rizika, 3 = visoki rizik).

Skupina rizika 0: žarulja ne predstavlja fotobiološku opasnost

Skupina rizika 1: nema fotobiološke opasnosti uz uobičajena ograničenja ponašanja

Skupina rizika 2: ne predstavlja opasnost zbog reakcije averzije na jarko svjetlo ili toplinsku nelagodu

Skupina rizika 3: opasno čak i pri trenutnom izlaganju

# PHILIPS

Uobičajena je zabluda u medijima da LED rasvjeta sadrži više plavih valnih duljina te da je stoga vjerojatnija opasnost plavog svjetla. To je detaljno istražilo i izmjerilo društvo Global Lighting Association, pri čemu je spektralni sadržaj različitih tehnologija rasvjete uspoređen s prethodno spomenutim standardom, kao i s rezultatima rada brojnih znanstvenika [15].

Ključna znanstvena otkrića su [15]:

- S obzirom na opasnost plavog svjetla LED žarulje ne razlikuju se od konvencionalnih tehnologija, kao što su svjetla sa žarnom niti i fluorescentna svjetla. Udjel plavog u LED rasvjeti ne razlikuje se od udjela u drugim tehnologijama na istoj temperaturi boje.
- Usporedba zamjenskih LED proizvoda s konvencionalnim proizvodima koje bi trebali zamijeniti otkriva da su razine rizika vrlo slične i daleko do kritičnih vrijednosti.
- Za široku su uporabu namijenjeni LED izvori rasvjete (žarulje ili sustavi) i rasvjetna tijela koja se ubrajaju u skupinu rizika 0 ili 1 u skladu s definicijom organizacije IEC.

## *Ultraljubičasto svjetlo*

LED izvori svjetlosti za široku uporabu ne sadrže bilo kakvu energiju iz UV dijela spektra te stoga nisu štetni za osobe osjetljivije na UV svjetlo.

## *Infracrveno svjetlo*

Za razliku od žarulja sa žarnom niti i halogenih žarulja, LED žarulje gotovo uopće ne emitiraju bilo kakvo infracrveno svjetlo. Kod LED izvora svjetlosti za široku potrošnju ne postoji nikakva opasnost jer infracrveno zračenje nije dovoljno jako.

Optička sigurnost regulirana je međunarodnim standardima i smjericama [16,17]. Svi LED proizvodi EyeComfort robne marke Philips, koje proizvodi tvrtka Signify, klasificirani su u skupinu rizika 0 ili 1 (RG0/RG1), što znači da korištenje tih LED proizvoda ne predstavlja fotobiološku opasnost uz uobičajena ograničenja ponašanja ili da žarulja ne predstavlja nikakvu fotobiološku opasnost.

## *3. Bliještanje*

Bliještanje je jedan od glavnih uzroka nezadovoljstva kad je riječ u ugodnoj rasvjeti. Bliještanje se može podijeliti u bliještanje koje onesposobljuje i ono koje izaziva neugodu. Bliještanje koje onesposobljuje odnosi se na smanjenje vizualnih performansi uzrokovano izvorom bliještanja u vidnom polju. Bliještanje koje uzrokuje neugodu definira se kao osjećaj neugode uzrokovan jarkim izvorima svjetla. Osjet neugode ovisi o brojnim parametrima kao što su luminoznost izvora svjetla, područje izvora, položaj izvora u vidnom polju, uvjeti pozadinskog osvjetljenja, vrsta aktivnosti i trajanje izlaganja jarkom izvoru svjetla. Istraživači godinama pokušavaju kvantificirati količinu vizualne neugode. Procjena bliještanja za radna mjesta u zatvorenom (profesionalno okruženje) obično se izvodi uz pomoć metode mjerenja ukupne razine bliještanja (eng. Unified Glare Rating, UGR). To se mjerenje temelji na prosječnim razinama luminoznosti izračunatim pomoću distribucije jačine udaljenog polja. Na rješenjima za LED rasvjetu često se mogu primijetiti nejednoliki ili pikselizirani izlazni prozori s velikim kontrastima luminoznosti. Ispitivanja su pokazala da pikselizirani izlazni prozori s istom prosječnom luminoznošću kao jednoliki izlazni prozori (te stoga istom UGR vrijednosti) rezultiraju bliještanjem koje izaziva veću neugodu [19 do 35]. To znači da trenutačni UGR nije uvijek prikladan za upotrebu s prozorima s nejednolikim izlazom.

# PHILIPS

Primjenjivost ili poboljšanje trenutnog UGR-a i alternativnih načina predviđanja bliještanja koje izaziva neugodu važna je tema istraživanja. Poboljšanja trenutnog UGR-a uglavnom su usmjerena na korekciju indeksa položaja u UGR formuli kako bi se uzela u obzir zavisnost kuta gledanja, korekciju prosječne luminoznosti, korekciju opažene luminozne površine i općenito korekciju dodavanjem dodatnog predmeta opažanja unutar izvora bliještanja [36 do 44]. Prijedlozi alternativnih načina za opisivanje bliještanja temelje se na modeliranju receptivnih polja mrežnice ljudskog vizualnog sustava i primjeni tog modela na mape luminoznosti prostorije radi rješavanja problema bliještanja koje uzrokuje neugodu [34]. Ova posljednja metoda identična je metodama mjerenja temporalnog artefakta svjetla koje su također utemeljene na modeliranju ljudskog vizualnog sustava.

Za žarulje za široku potrošnju trenutno nije dostupna metoda za mjerenje bliještanja koja bi omogućila kvantificiranje bliještanja. Osim toga, percipirano bliještanje žarulje ovisi i o primjeni. Gola žarulja iznad stola u blizini promatrača i u visini očiju bit će blještavija od iste žarulje zasjenjene sjenilom u kutu sobe. Općenito govoreći, bliještanje uzrokuje kombinacija jake luminoznosti, visokog kontrasta i veličine izvora. Mjere protiv bliještanja trebale bi riješiti barem jedan od ovih uzroka: smanjiti luminoznost, sniziti kontrast ili smanjiti veličinu izvora. U portfelju LED rasvjete tvrtke Signify robne marke Philips razlikuju se žarulje s kontrolom bliještanja i bez takve kontrole. Žarulja s kontrolom bliještanja sadržava materijale koji raspršuju svjetlost i/ili pikseliziranu čipku na vrhu žarulje i percipiraju se kao manje blještave u usporedbi sa žaruljama bez bilo kakve kontrole bliještanja s istim svjetlosnim tokom i istom prilagodbom pozadine. Budući da ne postoji odgovarajuća metoda za mjerenje bliještanja za žarulje, to je tema za buduća istraživanja.

#### *4. Mogućnost prigušivanja*

Značajka prigušivanja LED proizvoda definira se kao mogućnost promjene intenziteta svjetla prema vlastitim željama. Značajka prigušivanja LED proizvoda omogućuje vam stvaranje savršenog ozračja ili radne rasvjete u svakom okruženju. Korisnici žele prigušiti umjetnu rasvjetu zbog nekoliko razloga. Kao prvo, žele mogućnost promjene ozračja okruženja (prigušeno i ugodno, jarko osvjetljeno i energizirajuće). Kao drugo, značajka prigušivanja omogućuje korištenje različitih razina svjetlosnog toka tijekom dana na temelju različitih aktivnosti i ovisno o jačini vanjske svjetlosti. Primjerice, navečer ćete možda poželjeti prigušiti jačinu svjetla da biste smanjili kontrast između mračnog okruženja i LED svjetla, a time i potencijalno bliještanje. I konačno, značajka prigušivanja koristi se u svrhu uštede energije.

Neispravno izvedena značajka prigušivanja može uzrokovati određenu neugodu ili neželjene učinke kao što je vidljivo titranje pri jakom prigušenju, grubi prijelazi, visoke minimalne razine svjetla. Uzrok je tih problema LED upravljački krug, varijacije u amplitudi mrežnog napona, opterećenja priključena u mrežu te interakcija prigušivača. Pametni elektronički dizajn rješava problem s jakim prigušivanjem koji potiskuje repetitivne i/ili nepravilne vidljive varijacije na razini svjetla.

Proizvodi s mogućnošću prigušivanja iz linije LED proizvoda EyeComfort robne marke Philips, koje proizvodi tvrtka Signify, nude postupno prigušivanje prema unaprijed zadanim vrijednostima (SceneSwitch) ili kontinuirano u cijelom rasponu jačine svjetla.

# PHILIPS

## 5. Prilagodljivo

Podesiva LED rasvjeta može se podijeliti u tri kategorije:

1. Toplo prigušivanje: sposobnost oponašanja ponašanja žarulje sa žarnom niti (npr. CCT se prigušivanjem smanjuje s 2700 K na 2200 K)
2. Podesivo bijelo svjetlo: mogućnost promjene bijelog tona svjetla (npr. 2700 K do 6500 K)
3. Podesiva boja: mogućnost promjene boje svjetla (RGB)

Prigušivanje žarulje sa žarnom niti pruža drukčiji doživljaj svjetla nego prigušivanje običnih bijelih LED svjetala. Zbog korištene tehnologije žarna nit postaje manje vruća tijekom prigušivanja te stoga daje crvenkastije bijelo svjetlo (niža temperatura boje). Nasuprot tome, boja LED svjetla ne mijenja se tijekom prigušivanja. Dakle, kod žarulje sa žarnom niti dolazi do promjene jačine i temperature boje, a kod LED svjetla mijenja se samo jačina svjetla, a temperatura boje ostaje ista.

Ljudima se sviđa mogućnost odabira tople postavke pri slabom osvjetljenju radi postizanja ugodnog ozračja [45], ali to se može razlikovati ovisno o regiji. Neki LED proizvodi EyeComfort robne marke Philips, koje proizvodi tvrtka Signify, opremljeni su značajkom WarmGlow. Kombiniranjem dvaju različitih LED žarulja (2200 K i 2700 K) može se oponašati ponašanje žarulje sa žarnom niti pri prigušivanju. Postoje dvije varijante značajke WarmGlow. SceneSwitch s fiksnim postavkama i glatko WarmGlow prigušivanje u cijelom rasponu. (2700 K – 2200 K).

Osim ambijentalnog efekta, značajka prigušivanja u kombinaciji s CCT promjenom ima prednosti i kad je riječ o cirkadijanom ritmu ljudi. Naš biološki sat govori nam kad da se probudimo i kad da zaspimo. Spektar jačine i aktivnosti svjetla jedan je od parametara koji upravlja tim reakcijama [46]. Jako svjetlo sadrži puno plave i čini da se osjećamo budnima i živahnima, a slabo svjetlo s malom količinom plave pokreće otpuštanje hormona spavanja melatonina od kojeg se osjećamo pospano. Istraživanje je pokazalo da se jarko svjetlo sa snažnom plavom komponentom preporučuje koristiti ujutro radi razbuđivanja te da ga treba izbjegavati navečer je sprječava otpuštanje melatonina, pa je teže zaspiti. Prigušena i topla CCT okruženja navečer savršena su za neometani biološki ritam [46].

LED rasvjeta EyeComfort robne marke Philips, koju proizvodi tvrtka Signify, opremljena značajkom prigušivanja WarmGlow omogućuje prilagodbu ozračja i prilagodbu cirkadijanom ritmu korisnika.

## 6. Prikaz boja

Kvaliteta boje odnosi se na preferencije i uzimanje u obzir korisničke percepcije rasvjete za određenu primjenu. Kvaliteta boje izvora bijelog svjetla utječe na izgled prostora, predmeta i ljudi. Loša kvaliteta boje može smanjiti vizualnu diskriminaciju i točan prikaz osvijetljenih prostora, predmeta i ljudi. Primjerice, tonovi ljudske kože, biljke i hrana mogu izgledati potmulo ili nedovoljno zasićeno pod rasvjetom s niskim prikazom boja i/ili niskom zasićenošću boja.

Prikaz boja izvora bijelog svjetla definira se kao učinak izvora svjetla na izgled boja nekog predmeta svjesnom ili nesvjesnom usporedbom s izgledom njegovih boja pod referentnim izvorom svjetla [47]. Opći indeks prikaza boja (CRI-Ra) koristi se za mjerenje i određivanje mogućnosti prikaza boja izvora bijelog svjetla na temelju skupa osam određenih CIE 1974, umjereno zasićenih, testnih uzoraka boja (TCS). CRI od 100 znači da je prikaz boja pod testnim izvorom jednak prikazu boja pod referentnim izvorom (pri čemu je referenca svjetlo žarne niti za CCT < 5000 K).

# PHILIPS

Preferencije korisnika nisu uvijek izravno povezane s CRI vrijednošću. Ne preferira se uvijek izvor s višim CRI-jem. I zasićenost boja (živost), posebno crvena zasićenost, ima važnu ulogu kad je riječ o preferencijama [48,49,50]. Ljudi općenito preferiraju određenu prezasićenost jer predmeti izgledaju živopisnije. Preferencija za izgled tonova kože razlikuje se i između kultura.

Važno je pronaći pravu ravnotežu između vjernog prikaza boja (CRI) i zasićenosti boja za određenu primjenu. LED rasvjeta EyeComfort robne marke Philips, koju proizvodi tvrtka Signify, nastoji poboljšati diferencijaciju boja i unaprijediti estetiku kroz upotrebu LED proizvoda s dobrim svojstvima kvalitete boja.

## 7. Buka

LED proizvodi mogu stvarati čujnu buku, pogotovo pri jakom prigušivanju. Proizvedeni napon i struja mogu stvoriti mehaničku rezonanciju u dijelovima proizvoda. Ta buka može biti vrlo iritantna i neugodna. Zato su u programu Energy Star navedeni uvjeti u vezi s čujnim razinama buke.

Prema uvjetima programa Energy Star za čujnu buku svjetiljke ne smiju emitirati buku jaču od 24 dBA na metar udaljenosti [51]. Taj prag nije dovoljno strog za svjetiljke u potpuno tihoj dnevnoj sobi (oko 20 dBA) ili za svjetiljke koje se nalaze u blizini ljudi (svjetlo za čitanje, svjetiljka na noćnom ormariću). Svi LED proizvodi EyeComfort robne marke Philips, koju proizvodi tvrtka Signify, pridržavaju se objavljenih propisa.

Reference:

- [1] Małgorzata Perz, Dragan Sekulovski, Ingrid Vogels i Ingrid Heynderickx (2017.). Quantifying the Visibility of Periodic Flicker, LEUKOS, DOI: 10.1080/15502724.2016.1269607
- [2] IEC CIE TN 006:2016, Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models, rujan 2016.: [http://files.cie.co.at/883\\_CIE\\_TN\\_006-2016.pdf](http://files.cie.co.at/883_CIE_TN_006-2016.pdf).
- [3] [https://www.lightingeurope.org/images/publications/position-papers/LightingEurope\\_-\\_position\\_paper\\_-\\_flicker\\_and\\_stroboscopic\\_effect\\_-\\_final.pdf](https://www.lightingeurope.org/images/publications/position-papers/LightingEurope_-_position_paper_-_flicker_and_stroboscopic_effect_-_final.pdf)
- [4] [http://www.nema.org/Standards/Pages/Temporal-Light-Artifacts-Flicker-and-Stroboscopic-Effects.aspx?\\_sm\\_aui=i5VMrMH4n4J8p7jb](http://www.nema.org/Standards/Pages/Temporal-Light-Artifacts-Flicker-and-Stroboscopic-Effects.aspx?_sm_aui=i5VMrMH4n4J8p7jb)
- [5] WILKINS, A., VEITCH, J., LEHMAN, B. 2010. LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns: IEEE Standard PAR1789 Update. U 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 171–78.
- [6] Jaen, M., J. Sandoval, E. Colombo i T. Troscianko. Office workers visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting. LEUKOS, sv. 1, str. 27–46, 2005.
- [7] Veitch, J. A. i S. L. McColl. Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort. Lighting Research and Technology, sv. 27, str. 243, 1995.
- [8] Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I.M., Slater, A. and Bedocs, L. (1989) Fluorescent lighting, headaches and eye-strain. Lighting Research and Technology, 21(1), 11-18.
- [9] Arnold Wilkins, Brad Lehman. Biological effects and health hazards from flicker, including flicker that is too rapid to see. 2/15/10, IEEE Standard P1789. <http://grouper.ieee.org/groups/1789>.
- [10] J. D. Bullough, K. S. Hickcox, T. R. Klein i N. Narendran. Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort. Lighting Research and Technology, sv. 43, str. 337–348, 2011.
- [11] Harding, G. F. A., and P. Jeavons, Photosensitive Epilepsy. London: Mac Keith Press, 1994.
- [12] Binnie, C. D., R. A. de Korte, and T. Wisman, "Fluorescent lighting and epilepsy," Epilepsia, sv. 20, str. 725–727, 1979.

- [13] Harding, G. F. A., and P. F. Harding, "Photosensitive epilepsy and image safety," *Applied Ergonomics*, 16. listopada 2008.
- [14] Fisher, R. S., G. F. A. Harding, G. Erba, G. L. Barkley, and A. Wilkins, "Photoc- and pattern-induced seizures: A review for the Epilepsy Foundation of America working group," *Epilepsia*, sv. 46, str. 1426–1441, ruj. 2005.
- [15] Global Lighting Association: Optical and Photobiological Safety of LED, CFLs and Other High Efficiency General Lighting Sources
- [16] IEC 62471:2006. Photobiological safety of lamps and lamp systems
- [17] IEC TR 62778. Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources
- [19] EBERBACH, K. (1974.). Der Einfluss der Leuchtdichtestruktur von Lichtquellen auf die Blendempfindung. *Lichttechnik* 6, str. 283–286.
- [20] WATERS, C.E., MISTRICK, R.G., BERNECKER, C.A. (1995.). Discomfort Glare from Sources of Nonuniform Luminance. U: *Journal of the Illuminating Engineering Society* 24 (2), str. 73–85.
- [21] KASAHARA, T., AIZAWA, D., IRIKURA, T., MORIYAMA, T., TODA, M., IWAMOTO, M. (2006): Discomfort Glare Caused by White LED Light Source. In: *Journal of Light and Visual Environment* 30 (2), str. 49–57.
- [22] TAKAHASHI, H., IRIKURA, T., MORIYAMA, T., TODA, M., IWAMOTO, M. (2007.). Discomfort glare and annoyance caused by white LED lamps. *Proceedings of the 26th Session of the CIE, Peking, Kina*, str. D1-80–D1-83
- [23] LEE, CH.-M., KIM, H., CHOI, D.-S. (2007.). A Study on the Estimation of Discomfort Glare for LED Luminaires. U: *CIE (Hg.): Proceedings of the 26th Session of the CIE, Peking, Kina*, str. D3-33–D3-36
- [24] JUNG, S.-G., CHO, Y.-I., KIM, H. (2009.). A Study of UGR for Non-Uniform Luminance Source. *Proceedings of Lux Europa 2009, Istanbul, Turska*, str. 553–558.
- [25] KIM, W., Kim, J.T. (2010): The scope of the glare light source of the window with non-uniform luminance distribution, *Proceedings of 3rd International Symposium on Sustainable Healthy Buildings, Seul, Koreja*, str. 253–271
- [26] TASHIRO T., KIMURA-MINODA, T., KOHKO, S., ISHIKAWA, T., AYAMA, M. (2011): Discomfort Glare Evaluation to White LEDs with Different Spatial Arrangement. *Proceedings of the 27th Session of the CIE, Sun City, Južnoafrička Republika*, str. 583–588.
- [27] BULLOUGH, J.D. (2011.). Luminance versus luminous intensity as metric for discomfort glare. *SAE International*, DOI: 10.4271/2011-01-0111.
- [28] BULLOUGH, J.D., SWEATER HICKCOX, K. (2012.). Interactions among light source luminance, illuminance and size on discomfort glare. *SAE International*, DOI: 10.4271/201201-0269
- [29] HARA, N., HASEGAWA, S. (2012.). Study on Discomfort Glare Rating on the Luminaire with LED Array. In: *Journal of Illuminating Engineering Institute Japan* 96 (2), str. 81–88.
- [30] ERDEM, L., TRAMPERT, K., NEUMANN, C. (2012.). Evaluation of Discomfort Glare from LED lighting systems. *Proceedings of Balkan Light 2012, Belgrade*, str. 213–220.
- [31] AYAMA, M., TASHIRO, T., KAWANOBE, S., KIMURA-MINODA, T., KOHKO, S., ISHIKAWA, T. (2013): Discomfort glare of white LED sources of different spatial arrangements, *Proceedings of the CIE Centenary Conference, Paris, France*, str. 119–122
- [32] GEERDINCK, L.M., VAN GHELUWE, J.R., VISSENBERG, M.C.J.M. (2014): Discomfort glare perception of non-uniform light sources in an office setting, *Journal of Environmental Psychology*, 39, str. 5–13
- [33] FUNKE, C., SCHIERZ, CH. (2015.): Extension of the Unified Glare Rating Formula for NonUniform LED Luminaires. *Proceedings of 28th session of the CIE, Manchester, UK*, str. 1471–1480
- [34] DONNERS, M.A.H., VISSENBERG, M.C.J.M., GEERDINCK, L.M., VAN DEN BROEK-COOLS, J.H.F., BUDDEMEIJER-LOCK, A. (2015.). A psychophysical model of discomfort glare in both outdoor and indoor applications. *Proceedings of 28th Session of the CIE, Manchester, UK*, str. 1602–1611

- [35] YANG, Y., LUO, M.R., MA, S.N. (2016): Assessing glare. Part 2: Modifying Unified Glare Rating for uniform and non-uniform LED luminaires. *Lighting Research & Technology*, 2016.
- [36] TAKAHASHI, H., KOBAYASHI, Y, ONDA, S., IRIKURA, T. (2007.). Position Index for the Matrix Light Source. In: *Journal of Light and Visual Environment* 31 (3), str. 128–133.
- [37] HARA, N. (2016): Visual characteristics for evaluating the discomfort glare – relationship between the position, size, array of the LED chips, and BCD on the discomfort glare. *Proceedings of CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency”*, Melbourne, Australia, str. 704–707.
- [38] YANG, Y., MA, S.N., LOU, M.R., LIU, X.Y. (2015): Discomfort glare by non-uniform white LED matrices. *Proceedings of the 28th Session of the CIE*, Manchester, UK, str. 393–399.
- [39] CHEN, M.K, CHOU, C.J., CHEN H.S. (2016): Assessment of glare rating from non-uniform light sources. *Proceedings of CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency”*, Melbourne, Australia, str. 697–703.
- [40] TASHIRO T., KIMURA-MINODA, T., KOHKO, S., ISHIKAWA, T., AYAMA, M. (2011): Discomfort Glare Evaluation to White LEDs with Different Spatial Arrangement. *Proceedings of the 27th Session of the CIE*, Sun City, Južnoafrička Republika, str. 583–588.
- [41] SCHEIR, G.H., HANSELAER, P., BRACKE, P., DECONINCK, G., RYCKAERT, W.R. (2015): Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources. *Building and Environment* 84 (2015), str. 60–67.
- [42] ŠKODA, J., SUMEC, S., BAXANT, P., KRBAL, M., PARMA, M. (2015): Measurement of discomfort glare through luminance analyser, *Proceedings of the 28th Session of the CIE*, Manchester, UK, str. 1373–1381.
- [43] KOGA, S., HIGASHI, H., KOTANI, T. (2013): The development of evaluation for discomfort glare in LED lighting of indoor work place. The modification of G-classification using luminance distribution of luminous parts, *Proceedings of the CIE Centenary Conference*, Paris, France, str. 657–662.
- [44] YANG, Y., MA, S.N., LUO, M.R. (2016): Glare model for non-uniform white LED luminaires. *Proceedings of CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency”*, Melbourne, Australia, str. 451–456.
- [45] Seuntjens, P.J.H. & Vogels, Ingrid. (2008). Atmosphere creation: The relation between atmosphere and light characteristics. *Proceedings from the 6th Conference on Design and Emotion 2008*.
- [46] Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag MD. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci*. 2001;21:6405–6412.
- [47] CIE 013.3-1995 - Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources
- [48] Teunissen C, van der Heijden FHFV, Poort SHM, de Beer E. Characterising user preference for white LED light sources with CIE color rendering index combined with a relative gamut area index. *Lighting Research and Technology* 2017; 49: 461–480.
- [49] Royer, MP, Wilkerson, A, Wei, M, Houser, K, Davis, R. Human perceptions of color rendition vary with average fidelity, average gamut, and gamut shape. *Lighting Research and Technology* 2017; 49: 992–1014.
- [50] Tang, X i Teunissen, Kees. The appreciation of LED-based white light sources by Dutch and Chinese people in three application areas. *Lighting Research & Technology* (2018.)
- [51] Energy Star, Energy Star Program Requirements for Lamps (light bulbs). Eligibility criteria version 1.1.
- [52] IEC TR 61547-1:2017. Equipment for general lighting purposes – EMC immunity requirements – Part 1: An objective voltage fluctuation immunity test method, 2. izdanje.
- [53] IEC 61000-4-15. Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-15: Testing and measurement techniques. Flickermeter. Functional and design specifications.
- [54] NEMA 77-2017. Temporal Light Artifacts: Test Methods and Guidance for Acceptance Criteria



**PHILIPS**