

Bela knjiga EyeComfort1

Dandanes kakovost svetlobe poskrbi za ključno razliko pri osvetlitvi. Na splošno se kakovost svetlobe nanaša na vizualne vidike svetlobe in njeno odvisnost od ljudi in okolja ter interakcijo z njimi. Tehnologija LED nam ponuja neskončne možnosti razlikovanja kakovosti prostorske, spektralne in časovno omejene svetlobe. Prisili nas, da spremenimo tradicionalni način ocenjevanja kakovosti svetlobe. Signify nenehno izboljšuje svoje izdelke z združevanjem poglobljenega razumevanja uporabnikovih potreb, poznavanja uporabe svetlobe in znanstvenih spoznanj. Signify zavzema vodilno mesto v svetu na področju razsvetljave in na trgu ponuja sijalke in svetila LED pod dobro znano blagovno znamko Philips.

Družba Signify je ustvarila blagovno znamko EyeComfort na osnovi teh izbranih meril: migetanje, stroboskopski učinek, fotobiološka varnost, bleščanje, zatemnitev, nastavljiva svetloba, prikaz barv in slišni šum.

Naš portfelj sijalk in svetilk LED je ocenjen s temi merili. V tej beli knjigi so pojasnjena ta merila in temu ustrezno tudi pomembnost optimizacije osvetlitve.

Znanstveno ozadje

Tehnologija LED EyeComfort družbe Signify z blagovno znamko Philips vključuje zgoraj omenjena merila:

1. Migetanje in stroboskopski učinek

Migetanje in stroboskopski učinek sta spremembi svetlobe v času (ang. Temporal Light Artifacts – TLA). TLA je opredeljen kot sprememba pri vidnem zaznavanju zaradi svetlobnega dražljaja, svetilnosti ali spektralne porazdelitve, ki niha s časom za človeškega opazovalca v določenem okolju. Migetanje je zaznavanje vidne nestabilnosti zaradi svetlobnega dražljaja, svetilnosti ali spektralne porazdelitve, ki niha s časom, za statičnega opazovalca v statičnem okolju. Z drugimi besedami, gre za moteče hitro nihanje svetlobe v prostoru.

Stroboskopski učinek se razlikuje od migetanja in je opredeljen kot sprememba v zaznavanju gibanja zaradi svetlobnega dražljaja, svetilnosti ali spektralne porazdelitve, ki niha s časom za statičnega opazovalca v nestatičnem okolju. Z drugimi besedami, stroboskopski učinek povzroči nenaravno prekinitev neprekinjenega gibanja.

Lastnost sijalk LED je hiter odziv na razlike v vhodnem signalu. Zato dosledno poustvarijo ta nihanja v izhodni svetlobi, kar lahko povzroči spremembe svetlobe v času za posameznike v osvetljenem prostoru. Viri nihanja so lahko različni, med drugim motnje v napajanju, interakcija z upravljalniki (npr. zatemnitvenimi stikali), motnja v vhodnem signalu iz zunanjih virov (npr. mikrovalovne pečice) ter zasnovana nihanja iz elektronskega gonilnika. Obstajajo načini za zmanjšanje nihanja v izhodni svetlobi sijalk LED in hkrati za zmanjšanje neželenih sprememb svetlobe v času. Vendar pa ti načini zahtevajo kompromis pri stroških in učinkovitosti ter več fizičnega prostora, hkrati pa se skrajša življenjska doba izdelkov LED s katerokoli zgradbo.

1 Družba Signify lahko spremeni belo knjigo EyeComfort, če so na voljo (dodatne) informacije na različnih področjih, vključno z razvojem izdelka, raziskavami, standardi in uredbami.

PHILIPS

Za ocenjevanje vidnosti migetanja in stroboskopskega učinka se je do nedavnega uporabljalo več meritev, na primer indeks migetanja (ang. Flicker Index – FI) in stopnja modulacije. Vendar pa z nobeno od teh meritev ne moremo ustrezno predvideti, kaj ljudje dejansko zaznajo ali doživijo. Na vidnost migetanja in stroboskopskega učinka vplivajo stopnja modulacije, frekvenca, oblika valov in obratovalni cikel, te meritve pa ne upoštevajo vseh teh parametrov. Zato so bili razviti znanstveni modeli na osnovi človeškega vizualnega sistema (ang. Human Visual System – HVS), tj. vidno zaznavanje, ki je del živčnega sistema, ki nam omogoča, da vidimo. Zanesljivejša meritev sprememb svetlobe v času je P_{st}^{LM} , za stroboskopski učinek pa SVM [1,2]. Ti meritvi podpirata Lighting Europe [3] in NEMA [4] in se uporabljata pri ocenjevanju sijalk LED EyeComfort družbe Signify z blagovno znamko Philips. Trenutno se preiskujejo nadaljnje izboljšave meritev TLA.

Običajna definicija absolutnega praga vidljivosti je točka, na kateri lahko opazovalec zazna predmet opazovanja v polovici primerov [2]. To pomeni, da oseba ni prepričana, ali vidi učinek migetanja, in odgovori z »Vidim ga v polovici primerov«. To ne pomeni, da opazovalec jasno vidi migetanje v polovici primerov, v drugi polovici pa ne. 50 % je raven, pri kateri je odločitev, ali se učinek vidi ali ne, vprašljiva. Glede na zgoraj navedeno je pogoj za nevidno migetanje določen kot $P_{st}^{LM} \leq 1,0$ ter temelji na standardih IEC 61000-4-15 **Error! Reference source not found.** in NEMA 77-2017 **Error! Reference source not found.**. Merjenje P_{st}^{LM} se izvaja v skladu s standardom IEC TR 61547-1, 2. izdaja **Error! Reference source not found.**.

Zakaj nam ne sme biti vseeno za migetanje in stroboskopski učinek?

Izdelki za osvetlitev, pri katerih se zazna migetanje ali stroboskopski učinek, so opredeljeni kot osvetlitev slabše kakovosti [5-14]. Spremembe svetlobe v času niso zgolj nadležne za ljudi, temveč tudi vplivajo na udobje oči, splošno udobje in vizualno zmogljivost. Natančneje, vidni TLA lahko zmanjša vizualno zmogljivost opravljanja nalog, povzroči neudobje oči (utrujene oči), poveča pojav glavobolov, prenaprezanje oči ter povzroči razdraženost. Raziskave kažejo, da lahko vidno migetanje v določenih primerih sproži epileptične napade [5-14]. Ob upoštevanju tega so bili izdelki LED EyeComfort družbe Signify z blagovno znamko Philips izdelani tako, da zmanjšajo vidno migetanje in stroboskopski učinek.

2. Fotobiološka varnost

Nevarnost modre svetlobe

Nevarnost modre svetlobe je fotokemijska poškodba očesne mrežnice in je odvisna od spektralne sestave, intenzivnosti in časa izpostavljenosti očesu. Mednarodna komisija za elektrotehniko (IEC) je razvila standard za vrednotenje fotobiološke varnosti [16]. Viri so razvrščeni v štiri skupine tveganja (0 = ni tveganja, 3 = visoko tveganje).

Skupina tveganja 0: svetilka ne predstavlja fotobiološke nevarnosti

Skupina tveganja 1: znotraj običajnih vedenjskih omejitev ni fotobiološke nevarnosti

Skupina tveganja 2: ne predstavlja nevarnosti zaradi odklonilnega odziva na močno svetlobo ali toplotno nelagodje

Skupina tveganja 3: nevarno tudi pri kratkotrajni izpostavljenosti

V medijih se pogosto napačno razlaga, da ima osvetlitev LED več valovnih dolžin modre svetlobe in je zato bolj verjetno, da bo povzročila nevarnost modre svetlobe. Zveza Global Lighting Association je

PHILIPS

raziskala in natančno izmerila vrednosti, pri čemer so primerjali spektralno vsebino različnih tehnologij osvetlitve in zgoraj omenjeni standard ter upoštevali izsledke številnih znanstvenikov [15].

Glavne znanstvene ugotovitve so [15]:

- Z vidika nevarnosti modre svetlobe se sijalke LED ne razlikujejo od klasičnih tehnologij, kot so sijalke z žarilno nitko in fluorescentne sijalke. Količina modre svetlobe pri osvetlitvi LED se ne razlikuje od količine v drugih tehnologijah pri isti barvni temperaturi.
- Primerjava izdelkov LED za naknadno vgradnjo s klasičnimi izdelki, ki jih bodo nadomestili, razkriva, da so ravni tveganja zelo podobne in znotraj obsega, ki ni kritičen.
- Vire svetlobe LED (svetilke ali sisteme) in svetila, ki po oceni IEC spadajo v skupino tveganja 0 ali 1, potrošniki lahko uporabljajo.

Ultravijolična svetloba

Viri svetlobe na osnovi tehnologije LED za potrošniško uporabo ne vsebujejo energije v UV-delu spektra in zato ne škodujejo ljudem s povečano občutljivostjo na UV-svetlobo.

Infrardeča svetloba

V nasprotju s sijalkami z žarilno nitko in halogenskimi sijalkami sijalke LED skoraj ne oddajajo infrardeče svetlobe (IR). Pri virih svetlobe LED za potrošnike ni tveganja, ker infrardeče sevanje ni dovolj močno.

Optična varnost je obravnavana v skladu z mednarodnimi standardi in smernicami [16,17]. Vsi izdelki LED EyeComfort družbe Signify z blagovno znamko Philips so razvrščeni v skupino tveganja 0 ali 1 (RG0/RG1), kar pomeni, da uporaba teh izdelkov LED ne predstavlja fotobiološke nevarnosti znotraj običajnih vedenjskih omejitev oz. da svetilka ne predstavlja nobene fotobiološke nevarnosti.

3. Bleščanje

Bleščanje povzroča največ nezadovoljstva, ko govorimo o prijetni osvetlitvi. Bleščanje delimo na moteče in neprijetno bleščanje. Moteče bleščanje se nanaša na zmanjšano vizualno zmogljivost, ki jo povzroča vir bleščanja v vidnem polju. Neprijetno bleščanje opredeljujemo kot občutek nelagodja, ki ga povzročajo viri močne svetlobe. Občutek nelagodja je odvisen od več parametrov, kot so svetilnost vira, območje vira, položaj vira v vidnem polju, svetlobni pogoji v ozadju, vrsta dejavnosti in trajanje izpostavljenosti močni svetlobi. Raziskovalci so se leta trudili količinsko opredeliti vizualno nelagodje. Ocenjevanje bleščanja za notranje delovne prostore (profesionalno okolje) se običajno izvede z enotno oceno bleščanja (ang. Unified Glare Rating – UGR). Ta meritev temelji na povprečnih ravneh svetilnosti, ki se izračunajo iz porazdelitve svetilnosti oddaljenega polja. Pri rešitvah za osvetlitev LED so pogosta vidna neenotna ali kvadrirana izhodna okna z visokim kontrastom osvetljenosti. Raziskave so pokazale, da kvadrirana izhodna okna, ki imajo enako povprečno svetilnost kot enotna izhodna okna (in torej enako vrednost UGR), povzročijo bolj neprijetno bleščanje [19-35]. To pomeni, da trenutna vrednost UGR ni vedno primerna za uporabo z neenotnimi izhodnimi okni.

Določanje uporabnosti ali izboljšava trenutne vrednosti UGR in odkrivanje drugačnih načinov za predvidevanje neprijetnega bleščanja je pomembna tema raziskav. Izboljšave trenutne vrednosti UGR se večinoma usmerjane k popravku indeksa položaja v formuli UGR, da bi se upoštevala odvisnost zornega kota, popravku povprečne svetilnosti, popravku opažene svetleče površine in splošnemu popravku, kjer bi se dodal dodaten odsek za izražanje kontrasta osvetljenosti znotraj vira bleščanja [36-44]. Predlogi za

PHILIPS

alternativne načine opisovanja bleščanja temeljijo na modeliranju receptivnih polj očesne mrežnice v človeškem vizualnem sistemu (HVS) in uporabi tega modela v načrtih osvetlitve prostora za ocenjevanje neprijetnega bleščanja [34]. Zadnji pristop je identičen meritvam TLA, ki prav tako temeljijo na modeliranju človeškega vizualnega sistema.

Za količinsko opredelitev bleščanja pri svetilkah za potrošnike meritve bleščanja trenutno niso na voljo. Poleg tega je zaznano bleščanje sijalke odvisno tudi od uporabe. Gola sijalka nad mizo blizu opazovalca in v višini oči se bolj blešči kot enaka sijalka v senčniku svetilke v kotu sobe. Na splošno bleščanje povzroča kombinacija visoke svetilnosti, velikega kontrasta in velikosti vira svetlobe. Ukrepi proti bleščanju se morajo lotiti vsaj enega od teh vzrokov: zmanjšati svetilnost, kontrast ali velikost vira svetlobe. V naboru izdelkov LED družbe Signify z blagovno znamko Philips razlikujemo med svetilkami z nadzorom bleščanja in brez njega. Svetilka z nadzorom bleščanja vsebuje materiale, ki razpršujejo svetlobo, in/ali kvadrirano čipko na vrhu sijalke in jo zaznavamo kot manj bleščečo v primerjavi s svetilkami brez nadzora bleščanja z isto svetilnostjo in istim ozadjem. Dobra meritev bleščanja za sijalke trenutno ni na voljo in je tema za prihodnje raziskave.

4. Možnost zatemnitve

Funkcija zatemnitve v izdelkih LED je opredeljena kot možnost spreminjanja intenzivnosti svetlobe glede na želje posameznika. Funkcija zatemnitve v izdelkih LED vam omogoča ustvarjanje popolne ambientalne ali usmerjene osvetlitve v vsakem okolju. Ljudje želijo zatemniti umetno osvetlitev iz več razlogov. Želijo na primer spremeniti vzdušje v okolju (zatemnjeno in prijetno, svetlo in poživljajoče). Funkcija zatemnitve lahko tudi zagotovi različne ravni svetilnosti skozi dan glede na različne dejavnosti in odvisno od zunanjih svetlobnih pogojev. Zvečer želite morda zatemniti osvetlitev in zmanjšati kontrast med temnim okoljem in svetlobo LED, da zmanjšajte morebitno bleščanje. Poleg vsega pa se funkcija zatemnitve uporablja tudi za prihranek energije.

Slaba uvedba funkcije zatemnitve lahko povzroči nelagodje ali neželene učinke, na primer vidno migetanje pri globoki zatemnitvi, neenakomerne prehode in visoko najmanjšo raven osvetlitve. Te težave izhajajo iz vezja gonilnika LED, razlik v amplitudi omrežne napetosti, obremenitev v povezavi z napajanjem in interakcije z zatemnilnim stikalom. Pametna elektronska zasnova odpravi težavo z globoko zatemnitvijo in odpravlja ponavljajoče se in/ali nepravilne vidne spremembe na ravni osvetlitve.

Izdelki za zatemnitev LED EyeComfort družbe Signify z blagovno znamko Philips omogočajo stopenjsko zatemnitev (SceneSwitch) v prednastavitvah ali neprekinjeno skozi celoten obseg intenzivnosti.

5. Nastavljivo

Nastavljivo osvetlitev LED lahko razvrstimo v tri kategorije:

1. Topla zatemnjena svetloba: možnost posnemanja klasične sijalke z žarilno nitko (korelirana temperatura barve (ang. Correlated Color Temperature – CCT) se med zatemnitvijo npr. spusti z 2700K na 2200K)
2. Nastavljiva bela svetloba: možnost spreminjanja belega odtenka svetlobe (npr. 2700K–6500K)
3. Nastavljiva barvna svetloba: možnost spreminjanja barve osvetlitve (RGB)

PHILIPS

Zatemnitev klasične sijalke z žarilno nitko ustvari drugačno osvetlitev kot zatemnitev navadne bele sijalke LED. Zaradi uporabljene tehnologije spiralna sijalka z žarilno nitko ne postane tako vroča med zatemnitvijo in zato oddaja več rdečkaste bele svetlobe (nižja temperatura barve). Nasprotno se barva sijalke LED med zatemnitvijo ne spremeni. Sijalka z žarilno nitko tako omogoča spremembe v intenzivnosti in temperaturi barve, sijalka LED pa le spremembo intenzivnosti, medtem ko temperatura barve ostane enaka.

Ljudem je všeč topla nastavitvev pri nizki ravni osvetlitve za ustvarjanje prijetnega vzdušja [45], vendar se to lahko razlikuje po regijah. Nekateri sijalke LED EyeComfort družbe Signify z blagovno znamko Philips ponujajo funkcijo zatemnitve WarmGlow. Z združitvijo dveh različnih sijalk LED (2200K in 2700K) se posnema zatemnitev klasične sijalke z žarilno nitko. Funkcija WarmGlow je na voljo v dveh različicah. SceneSwitch z nespremenljivimi nastavitvami in neprekinjena zatemnitev WarmGlow skozi celoten obseg intenzivnosti. (2700K-2200K).

Poleg spremembe vzdušja ima funkcija zatemnitve skupaj s spremembo CCT tudi prednosti v povezavi s cirkadianim ritmom ljudi. Naša biološka ura nam pove, kdaj se bomo zbudili in kdaj zaspali. Spekter intenzivnosti in učinkovitosti svetlobe je eden od parametrov, ki uravnavajo te odzive [46]. Zaradi visokointenzivne svetlobe, ki vsebuje veliko modre, smo zbudjeni in pozorni, nizkointenzivna svetloba z malo modre pa sproži sproščanje spalnega hormona melatonina, zaradi katerega postanemo zaspani. Raziskave so pokazale, da je močna svetloba z močno modro komponento priporočena zjutraj, saj spodbuja zburjanje, zvečer pa bi se ji morali izogibati, saj preprečuje tvorbo melatonina, zaradi česar težje zaspimo. Okolja z zatemnjeno in toplo svetlobo ob večerih so popolna za nemoten biološki ritem [46].

Sijalke LED EyeComfort družbe Signify z blagovno znamko Philips s funkcijo zatemnitve WarmGlow podpirajo ambientalno funkcijo in cirkadiani ritem pri ljudeh.

6. Prikaz barv

Kakovost barve je povezana z uporabnikovim zaznavanjem osvetlitve pri določeni uporabi. Kakovost barve virov bele svetlobe vpliva na videz prostora, predmetov in ljudi. Slaba kakovost barve lahko zmanjša vizualno diskriminacijo in pravi prikaz osvetljenih prostorov, predmetov ali ljudi. Človekova polt, rastline in hrana so lahko videti dolgočasni ali premalo nasičeni pod svetlobo z nizkim indeksom barvne reprodukcije in/ali nizko barvno nasičenostjo.

Barvna reprodukcija vira bele svetlobe je opredeljena kot učinek svetila na videz barv predmetov z zavestno ali podzavestno primerjavo z njihovim barvnim videzom pod referenčnim svetilom [47]. Splošni indeks barvne reprodukcije (CRI-Ra) se uporablja za merjenje in določanje zmogljivosti barvne reprodukcije vira bele svetlobe na osnovi osmih zmerno nasičenih vzorcev za preskus barve (TCS) CIE 1974. CRI 100 pomeni, da je reprodukcija barv pri preskusnem viru svetlobe enaka v primerjavi z reprodukcijo barv pri referenčnem viru svetlobe (referenčni vir svetlobe je sijalka z žarilno nitko s CCT <5000K)

Želje uporabnikov niso vedno vezane neposredno na vrednost CRI. Vir svetlobe z višjo vrednostjo CRI ni vedno bolj zaželen. Barvna nasičenost (živahnost), predvsem nasičenost rdeče barve, prav tako igra pomembno vlogo pri izbiri [48,49,50]. Ljudje imajo na splošno raje nekoliko prenasičenosti, ker so predmeti videti bolj barviti. Med kulturami se razlikuje tudi prednostna izbira polti.

PHILIPS

Pomembno je najti pravo ravnovesje med barvno pristnostjo (CRI) in barvno nasičenostjo pri določeni uporabi. Tehnologija LED EyeComfort družbe Signify z blagovno znamko Philips je namenjena izboljšanju barvnega razlikovanja in estetske podobe z uporabo sijalk LED z dobro kakovostjo barv.

7. Šum

Pri sijalkah LED lahko pride do slišnega šuma, predvsem kadar se uporablja globoka zatemnitev. Napetosti in tok, ki se proizvedejo, lahko ustvarijo mehansko resonanco v komponentah. Šum je lahko zelo nadležen in neprijeten. Zato so bile v okviru programa Energy Star sprejete zahteve za ravni slišnega šuma.

Glede na zahteve programa Energy Star za slišni šum, svetilke ne smejo oddajati šuma nad 24 dBA na razdalji 1 metra [51]. Ta prag ni dovolj strog za svetilke v povsem tihi dnevni sobi (približno 20 dBA) ali za svetilke, ki so postavljene blizu ljudi (bralna svetloba, svetilka ob postelji). Vsi izdelki LED EyeComfort družbe Signify z blagovno znamko Philips upoštevajo objavljene uredbe.

Viri:

- [1] Małgorzata Perz, Dragan Sekulovski, Ingrid Vogels in 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, September 2016: 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
- [4] http://www.nema.org/Standards/Pages/Temporal-Light-Artifacts-Flicker-and-Stroboscopic-Effects.aspx?_sm_au_=i5VMrMH4n4J8p7jb
- [5] WILKINS, A., VEITCH, J., LEHMAN, B. 2010. LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns: IEEE Standard PAR1789 Update. V 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 171–78.
- [6] Jaen, M., J. Sandoval, E. Colombo in T. Troscianko, »Office workers visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting«, LEUKOS, št. 1, str. 27–46, 2005.
- [7] Veitch, J. A. in S. L. McColl, »Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort«, Lighting Research and Technology, št. 27, str. 243, 1995.
- [8] Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I.M., Slater, A. in 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 in N. Narendran, »Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort«, Lighting Research and Technology, št. 43, str. 337–348, 2011
- [11] Harding, G. F. A. in P. Jeavons, Photosensitive Epilepsy. London: Mac Keith Press, 1994.
- [12] Binnie, C. D., R. A. de Korte in T. Wisman, »Fluorescent lighting and epilepsy«, Epilepsia, št. 20, str. 725–727, 1979.
- [13] Harding, G. F. A. in P. F. Harding, »Photosensitive epilepsy and image safety«, Applied Ergonomics, 16. oktober 2008.
- [14] Fisher, R. S., G. F. A. Harding, G. Erba, G. L. Barkley in A. Wilkins, »Photic- and pattern-induced seizures: A review for the Epilepsy Foundation of America working group«, Epilepsia, št. 46, str. 1426–1441, september 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. *V 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. *V 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, Kitajska, 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. *V CIE (Hg.): Proceedings of the 26th Session of the CIE, Peking, Kitajska, 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, Turčija, 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, Južna Afrika, 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. *V 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, Beograd, 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, Pariz, Francija, 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, Združeno kraljestvo, 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, Združeno kraljestvo, 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. *V Journal of Light and Visual Environment* 31 (3), str. 128–133.

PHILIPS

- [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, Avstralija, 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, Združeno kraljestvo, 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, Avstralija, 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, South Africa, p. 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, Združeno kraljestvo, 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, Pariz, Francija, 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, Avstralija, str. 451–456.
- [45] Seuntjens, P.J.H. in 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 in 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. izdaja.
- [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