

Hvidbog om EyeComfort¹

Lyskvaliteten er nu blevet en afgørende faktor ved differentiering mellem forskellige belysningskilder. Generelt drejer lyskvalitet sig om to visuelle aspekter ved lys og lysets afhængighed af og interaktion med mennesker og miljø. LEDificering giver os endeløse muligheder for at se forskellene i lyskvaliteten med hensyn til rum, spektrum og tid. Vi bliver tvunget til at revidere vores traditionelle måde at vurdere lyskvalitet på. Signify optimerer hele tiden sine produkter ved at kombinere en dyb forståelse af brugernes behov med viden om belysningens anvendelse og forskningsresultater. Signify er førende inden for belysning på globalt plan og markedsfører sine LED-lamper og LED-lysarmaturer under det velkendte Philips-brand.

Signify har skabt varemærket EyeComfort på grundlag af følgende, udvalgte kriterier: flimren, stroboskopiske effekter, fotobiologisk sikkerhed, blænding, dæmpning, farvegengivelse og hørbar støj.

Vores produktserier med LED-lamper og LED-lysarmaturer bliver evalueret ud fra disse kriterier. Denne hvidbog forklarer kriterierne og dermed også betydningen af at optimere belysningen.

Videnskabelig baggrund

Philips-produkter med EyeComfort LED fra Signify er skabt ud fra de ovennævnte kriterier:

1. *Flimren og stroboskopiske effekter*

Flimren og stroboskopiske effekter er "periodiske lysartefakter" (Temporal Light Artifacts – TLA). TLA defineres som ændringer i den visuelle opfattelse foranlediget af en lysstimulus, luminansen eller den spektrale fordeling, som fluktuerer over tid for det menneskelige øje i et nærmere defineret miljø. Flimren er opfattelsen af visuel instabilitet foranlediget af en lysstimulus, luminansen eller den spektrale fordeling, som fluktuerer over tid under et menneskes statiske observation i et statisk miljø. Det er med andre ord forstyrrende, hurtige udsving i belysningen i et rum.

De stroboskopiske effekter er noget andet end flimren og defineres som en ændring i bevægelsesopfattelsen foranlediget af en lysstimulus, luminansen eller den spektrale fordeling, som fluktuerer over tid under et menneskes statiske observation i et ikke-statisk miljø. De stroboskopiske effekter medfører med andre ord en unaturlig afbrydelse af en vedvarende bevægelse.

En af egenskaberne ved LED-pærer er den hurtige respons på variationer i indgangssignalet. Derfor reproducerer de troligt disse udsving i lysudbyttet, hvilket kan føre til TLA-effekter for personer, der befinder sig i et oplyst rum. Udsvingene kan komme fra forskellige kilder, blandt andet: Forstyrrelser i elforsyningen, betjening af lysstyringssystemer (f.eks. lysdæmpere) forstyrrelser i indgangssignalet fra eksterne kilder (f.eks. mikrobølger) og indbyggede udsving fra den elektroniske driver. Metoderne til at undertrykke udsving i lysudbyttet fra LED og samtidigt nedsætte synligheden af uønskede LTA-effekter er opfundet. Men disse metoder kræver indgåelse af kompromiser med hensyn til pris og effektivitet, og

¹ Hvidbog om EyeComfort kan blive ændret af Signify efterhånden som (yderligere) oplysninger bliver tilgængelige for os på forskellige områder, herunder produktudvikling, forskning, standarder, love og regler.

PHILIPS

de kræver mere fysisk plads, samtidigt med at de nedsætter levetiden for LED-produkterne for alle lampedesign.

Indtil for nylig blev der anvendt adskillige målinger, som flimreindeks (FI) og modulationsdybde for at vurdere synligheden af flimren og stroboskopiske effekter. Ingen af disse målinger er egnet til at forudsige, hvad det enkelte menneske faktisk opfanger eller oplever. Synligheden af flimren og stroboskopiske effekter påvirkes af modulationsdybden, frekvensen, bølgeformen og anvendelsescyklussen, og disse målinger tager ikke højde for alle disse parametre. Derfor er der blevet udviklet videnskabelige modeller, der er baseret på menneskets synsopfattelse, Human Visual System, som er den del af nervesystemet, der giver os mulighed for at se. En mere robust måling af TLA, for så vidt angår flimren, er P_{st}^{LM} , og SVM [1,2] for stroboskopiske effekter. Disse målinger er dokumenteret af Lighting Europe [3] og NEMA [4] og bruges til vurdering af Philips-produkter med EyeComfort LED fra Signify. Der foregår i øjeblikket undersøgelser af, hvordan TLA-målinger fortsat kan forbedres.

Den absolutte synlighedsgrænse defineres sædvanligvis som det punkt, hvor et menneske kan finde perceptionsgenstanden 50 % af tiden [2]. Dette betyder, at personen ikke er sikker på, om han/hun ser flimreeffekten og vælger at svare "Jeg ser den 50 % af tiden". Det er ikke, om personen er sikker på at se flimren 50 % af tiden og sikker på ikke at se flimren i den resterende del (50 %) af tiden. 50 %-niveauet kan derimod betegnes som det niveau, hvor en stillingtagen til, hvorvidt den ses eller ikke ses, er tilfældig.

På baggrund af ovenstående defineres kravet til, at der ikke er synlig flimren, som $P_{st}^{LM} \leq 1,0$, og det baseres på IEC 61000-4-15 **Error! Reference source not found.** og NEMA 77-2017 **Error! Reference source not found.**. Målingen af P_{st}^{LM} sker i henhold til IEC TR 61547-1, edition 2 **Error! Reference source not found.**.

Hvorfor er flimren og stroboskopiske effekter vigtige?

Belysning, der flimrer eller afgiver stroboskopiske effekter, anses for at være belysning i en lavere kvalitet [5-14]. TLA er ikke kun irriterende for mennesker, men påvirker også øjenkomforten, den generelle komfort og synsevnen. Mere specifikt kan synlig TLA nedsætte effektiviteten, når synet bruges til at udføre opgaver, forårsage øjenubehag (trætte øjne), hovedpine, overbelastning af øjnene og mental irritation. Undersøgelser viser, at synlig flimren i nogle tilfælde kan udløse epileptiske anfald [5-14]. Dette er baggrunden for, at Philips-produkter med EyeComfort LED fra Signify er designet, så de minimerer synlig flimren og stroboskopiske effekter.

2. Fotobiologisk sikkerhed

Risiko for blå lys

Risikoen for blå lys indebærer, at der kan opstå en fotokemisk skade på nethinden. Dette afhænger af lysspektrets sammensætning, intensiteten og i hvor lang tid, øjet udsættes for det. Den internationale elektrotekniske kommission, International Electrotechnical Commission (IEC), har udviklet en standard for evaluering af fotobiologisk sikkerhed [16]. Kilderne er klassificeret efter 4 risikogrupper (0 = ingen risiko, 3 = høj risiko).

Risikogruppe 0: Lampen udgør ikke en fotobiologisk risiko

Risikogruppe 1: Ingen fotobiologisk risiko under normale adfærdsbegrænsninger

PHILIPS

Risikogruppe 2: Udgør ikke en risiko på grund af afværgereaktioner over for skarpt lys eller termisk ubehag

Risikogruppe 3: Udgør en risiko selv ved momentær eksponering

Det er en almindelig misforståelse i medierne, at LED-belysning indeholder højere andele af blå bølgelængder og derfor har større sandsynlighed for at forårsage en risiko for blå lys. Der er blevet forsket i dette, og der er foretaget grundige målinger af den globale belysningsorganisation Global Lighting Association, hvor lysspektrets indhold af forskellige belysningsteknologier blev sammenlignet med ovennævnte standard samt bidrag fra mange forskere [15].

De vigtigste videnskabelige resultater er [15]:

- Med hensyn til risikoen for blå lys er LED-lamper ikke anderledes end konventionelle teknologier som glødepærer og fluorescerende lys. Andelen af blå i LED-belysning er ikke anderledes end i andre teknologier med samme farvetemperatur.
- En sammenligning mellem produkter, der er eftermonteret med LED, og de konventionelle produkter, som de skal erstatte, viser, at risikoen er på samme niveau og langt fra det kritiske område.
- De LED-kilder (lamper eller systemer) og lysarmaturer, der falder ind under risikogruppe 0 eller 1 som defineret af IEC, kan bruges af forbrugere.

Ultraviolet

LED-baserede lyskilder til forbrugere indeholder ikke energi i UV-delen af spektret og er derfor ikke skadelige for mennesker med en højere følsomhed over for UV-lys.

Infrarødt lys

I modsætning til glødepærer og halogenlys, udsender LED-pærer næsten intet infrarødt lys (IR). For LED-lyskilder til forbrugere er der ingen risiko, fordi IR-bestrålingen ikke er så kraftig.

Optisk sikkerhed er beskrevet i de internationale standarder og retningslinjer [16,17]. Philips-produkter med EyeComfort LED fra Signify er alle klassificeret i risikogruppe 0 eller 1 (RG0 / RG1), hvilket betyder, at anvendelse af disse LED-produkter ikke udgør en fotobiologisk risiko under normale adfærdsbegrænsninger, eller at lampen ikke udgør en fotobiologisk risiko.

3. Blænding

Blænding er en af de væsentligste årsager til utilfredshed i forbindelse med komfortbelysning. Blænding kan opdeles i synsnedsættende blænding og ubehagsblænding. Synsnedsættende blænding er nedsættelse af evnen til at se på grund af en blændingskilde i synsfeltet. Ubegagsblænding defineres som følelsen af ubehag på grund af skarpe lyskilder. Følelsen af ubehag afhænger af mange parametre som luminanskilden, kildeområdet, kildens position i synsfeltet, betingelserne for baggrundsbelysningen, aktivitetstypen og varigheden af eksponeringen for en skarp lyskilde. Forskerne har i mange år prøvet at fastslå omfanget af visuelt ubehag. På indendørs arbejdspladser (professionelt miljø) vurderes blænding som regel ud fra en måling af graden af blænding (UGR – Unified Glare Rating). Denne måling er baseret på de gennemsnitlige luminansniveauer beregnet ud fra distributionen af intensiteten i fjernfeltet. I LED-belysningsløsninger ses ofte uensartede eller pixelerede udgangsvinduer med høj luminanskontrast. Undersøgelser har vist, at pixelerede udgangsvinduer, der har samme

PHILIPS

luminans som ensartede udgangsvinduer (og dermed samme UGR-værdi), fører til højere ubehagsblænding [19-35]. Det betyder, at den aktuelle UGR ikke altid er egnet til brug ved uensartede udgangsvinduer.

Undersøgelse af anvendeligheden af eller forbedringen i den aktuelle UGR og udforskning af alternative metoder til at forudsige ubehagsblænding er et vigtigt forskningsområde. Forbedringer i den aktuelle UGR tager især sigte på at korrigere positionsindekset i UGR-formlen for at tage højde for afhængigheden af synsvinklen, at korrigere den gennemsnitlige luminans og den observerede luminansoverflade samt en generel korrektion gennem tilføjelse af yderligere opfangningspunkter for at udtrykke luminanskontrasten inde i blændingskilden [36-44]. Forslag til alternative metoder til beskrivelse af blænding er baseret på modellering af receptionsfeltene på nethinden i det humane visuelle system (HVS) og anvendelse af denne model på luminanskort af rummet for at vurdere ubehagsblændingen [34]. Den sidstnævnte fremgangsmåde er identisk med TLA-målingerne, som også er baseret på modellering af det humane visuelle system.

Der er i øjeblikket ingen tilgængelig måling af blænding fra lamper til forbrugere, som kan måle omfanget af blændingen. Desuden afhænger opfattelsen af blænding fra en lyspære også af, hvordan den anvendes. En nøgen pære over et bord tæt på personen, endda i øjenhøjde, vil blænde mere end den samme pære inde i lampeskærm i et hjørne af stuen. Generelt forårsages blænding af en kombination af høj luminans, høj kontrast og kildens størrelse. Tiltag til reduktion af blænding skal være rettet mod i hvert fald en af disse årsager, dvs. nedsættelse af luminansen, kontrasten eller kildens størrelse. I Philips-produkter med LED-belysningsserien Signify skelnes der mellem lamper med og uden blændingskontrol. En lampe med blændingskontrol indeholder lysspredende materialer og/eller en pixeleret kant øverst på pæren og opfattes som mindre blændende sammenlignet med lamper uden blændingskontrol ved samme lysstrøm og samme baggrundstilpasning. En god måde at måle blænding fra pærer på findes endnu ikke og er et af fremtidens forskningsområder.

4. Dæmpning

Dæmpningsfunktionen i LED-produkter defineres som muligheden for at ændre lysets intensitet efter personlige præferencer. Med LED-produkternes dæmpningsfunktion kan du skabe en omgivende belysning eller et arbejdslys, der er perfekt i ethvert miljø. De fleste ønsker at dæmpe kunstig belysning af mange forskellige grunde. For det første vil de gerne have mulighed for at ændre den omgivende belysning (dæmpet og hyggelig eller klar og energifyldt). For det andet kan dæmpningsfunktionen give forskellige lysstrømsniveauer i løbet af dagen baseret på forskellige aktiviteter eller afhængigt af belysningsniveauet udendørs. For eksempel vil du måske gerne dæmpe lysniveauet om aftenen for at reducere kontrasten mellem de mørke omgivelser og LED-lyset, så en eventuel blænding reduceres. Endelig bruges dæmpningsfunktionen til at spare energi.

Uhensigtsmæssig anvendelse af dæmpningsfunktionen kan i nogen grad føre til ubehag eller uønskede effekter som synlig flimren ved meget dæmpet belysning, ustabile overgange og høje niveauer for minimumsbelysningen. Disse problemer stammer fra LED-driverens kredsløb, variationer i spændingsamplitude fra elnettet, belastningen af elnettet og anvendelse af lysdæmper. Intelligent design af elektronik løser problemet med dæmpning ved at undertrykke gentagne og/eller uregelmæssige synlige variationer i lysniveauet.

PHILIPS

De dæmpbare produkter i Philips-produkter med serien EyeComfort LED fra Signify har trinvis dæmpning, der kan forudindstilles (SceneSwitch) eller trinløs indstilling i hele intensitetsintervallet.

5. Justerbar

Justerbar LED-belysning kan opdeles i tre kategorier:

1. Varm dæmpning: evnen til at efterligne lyset fra glødepærer (f.eks. falder CCT fra 2700 K - 2200 K under dæmpningen)
2. Justerbar hvid: evnen til at ændre den hvide farvetone i lyset (f.eks. 2700 K - 6500 K)
3. Justerbar farve: evnen til at ændre farven i lyset (RGB)

Dæmpning af en glødepære giver en anden lysoplevelse end dæmpning af almindelige hvide LED-lys. Den anvendte teknologi resulterer i, at spiralen i glødepæren bliver mindre varm under dæmpning og vil derfor udsende et mere rødtonet hvidt lys (lavere farvetemperatur). Farven på LED-indstøbningen skifter derimod ikke under dæmpning. Så glødepæren giver dig en variation i både intensitet og farvetemperatur, mens LED-pæren kun giver en variation i intensiteten, farvetemperaturen forbliver den samme.

De fleste sætter pris på det varme skær fra de lave lysniveauer, når de skal skabe rare og hyggelige omgivelser [45], men dette kan variere efter geografisk region. Nogle Philips-produkter med EyeComfort LED fra Signify har denne WarmGlow-dæmpningsfunktion. Dæmpningen i en glødepære kan efterlignes ved at kombinere to forskellige LED-pærer (2200 K og 2700 K). WarmGlow-funktionen findes i to varianter. SceneSwitch med faste indstillinger og jævn dæmpning med WarmGlow-funktion i hele intervallet. (2700 K - 2200 K).

Udover at fungere som omgivende belysning har en dæmpningsfunktion kombineret med et CCT-skift har også fordele for menneskers døgnrytme. Vores biologiske ur fortæller os, hvornår vi skal vågne, og hvornår vi skal falde i søvn. Intensiteten af og påvirkningen fra lysspektret er et af de parametre, der styrer disse reaktioner [46]. Lys med høj intensitet, der indeholder masser af blå, gør at vi føler os vågne og opmærksomme, mens lys med lav intensitet og en lav mængde af blå udløser søvnhormonet melatonin, som gør os søvnige. Forskning har vist, at skarpt lys med en stærk blå komponent er bedst om morgenen for at få os til at vågne op og bør undgås om aftenen, fordi det undertrykker melatoninproduktionen og gør det sværere at falde i søvn. Om aftenen er dæmpede omgivelser med en varm CCT ideelle til at opnå en uforstyrret biologisk rytme [46].

Philips-produkter med EyeComfort LED fra Signify, der har WarmGlow-dæmpningsfunktion, er både en hjælp til bedre omgivende belysning og til menneskers døgnrytme.

6. Farvegengivelse

Farve kvalitet er forbundet med brugernes opfattelse af præferencer for og påskønnelse af belysningen i en given anvendelse. Farve kvaliteten i hvide lyskilder påvirker oplevelsen af rum, genstande og personer. Dårlig farve kvalitet kan nedsætte evnen til at skelne visuelt og den nøjagtige gengivelse af oplyste rum, genstande eller personer. For eksempel kan menneskers hudtone, planter og fødevarer se

PHILIPS

ud til at være i et afdæmpet eller undermættet lys, når belysningen har lav farvegengivelse og/eller lav farvemætning.

En hvid lyskildes farvegengivelse defineres som effekten af en belysningskilde på en genstands farveudseende ved bevidst eller ubevidst sammenligning med dens farveudseende under en referencebelysningskilde [47]. Det generelle farvegengivelsesindeks (CRI-Ra) bruges til at måle og specificere en hvid lyskildes evne til at gengive farver ud fra et sæt med otte specifikke, moderat mættede testfarveprøver (TCS) i henhold til CIE 1974. Et CRI på 100 betyder, at gengivelsen af farverne under testkilden svarer til gengivelsen af farver under referencekilden (referencen er en glødepære til CCT <5000 K)

Brugernes præferencer er ikke altid direkte koblet til CRI-værdien. En kilde med højere CRI foretrækkes ikke altid. Farvemætningen (de levende farver), især dem med rød farvemætning, spiller også en stor rolle for præferencerne [48,49,50]. Generelt foretrækker de fleste en vis overmætning, fordi tingene ser mere farverige ud. Præferencerne for hudtonens udseende er forskellig, også i forskellige kulturer.

Det er vigtigt at finde den rigtige balance mellem farvebalance (CRI) og farvemætning til et specifikt formål. Philips-produkter med EyeComfort LED fra Signify sigter mod at forbedre farveforskellene og det æstetiske indtryk gennem brug af LED-pærer med en god farvegengivelse.

7. Støj

LED-pærer kan afgive en hørbar støj, især når de bruges med meget neddæmpet lys. Spændingen i volt og den strøm, der frembringes, kan skabe mekanisk resonans i komponenterne. Denne støj kan give ubehag og opfattes som en irritationskilde. Dette er grunden til, at Energy Star har fastlagt krav for niveauet af hørbar støj.

I henhold til Energy Star-kravene til hørbar støj må lamper ikke udsende støj over 24 dBA på 1 meters afstand [51]. Dette grænseniveau er ikke lavt nok til lamper i et fuldstændigt stille opholdsrum (omkring 20 dBA) eller lamper, der er placeret tæt på mennesker (læselamper og sengelamper). Alle Philips-produkter med EyeComfort LED fra Signify tager højde for de publicerede regler.

Kildehenvisninger:

- [1] Małgorzata Perz, Dragan Sekulovski, Ingrid Vogels & 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. In 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 171–78.
- [6] Jaen, M., J. Sandoval, E. Colombo og T. Troscianko, "Office workers visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting," LEUKOS, vol. 1, s. 27–46, 2005.
- [7] Veitch, J. A. og S. L. McColl, "Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort," Lighting Research and Technology, vol. 27, p. 243,1995.

- [8] Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I.M., Slater, A. og 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 og N. Narendran, "Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort," *Lighting Research and Technology*, vol. 43, s. 337–348, 2011.
- [11] Harding, G. F. A. og P. Jeavons, *Photosensitive Epilepsy*. London: Mac Keith Press, 1994.
- [12] Binnie, C. D., R. A. de Korte og T. Wisman, "Fluorescent lighting and epilepsy," *Epilepsia*, vol. 20, s. 725–727, 1979.
- [13] Harding, G. F. A. og P. F. Harding, "Photosensitive epilepsy and image safety," *Applied Ergonomics*, 16 okt. 2008.
- [14] Fisher, R. S., G. F. A. Harding, G. Erba, G. L. Barkley, og A. Wilkins, "Photic- and pattern-induced seizures: A review for the Epilepsy Foundation of America working group," *Epilepsia*, vol. 46, s. 1426–1441, sep. 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, s. 283–286.
- [20] WATERS, C.E., MISTRICK, R.G., BERNECKER, C.A. (1995): Discomfort Glare from Sources of Nonuniform Luminance. I: *Journal of the Illuminating Engineering Society* 24 (2), s. 73–85.
- [21] KASAHARA, T., AIZAWA, D., IRIKURA, T., MORIYAMA, T., TODA, M., IWAMOTO, M. (2006): Discomfort Glare Caused by White LED Light Source. I: *Journal of Light and Visual Environment* 30 (2), s. 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, Beijing, Kina*, s. 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. I: *CIE (Hg.): Proceedings of the 26th Session of the CIE, Beijing, Kina*, s. 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, Tyrkiet*, s. 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, Seoul, Korea*, s. 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, Sydafrika*, s. 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. I: *Journal of Illuminating Engineering Institute Japan* 96 (2), s. 81–88.
- [30] ERDEM, L., TRAMPERT, K., NEUMANN, C. (2012): Evaluation of Discomfort Glare from LED lighting systems. *Proceedings of Balkan Light 2012, Beograd*, s. 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, Frankrig, s. 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, s. 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, s. 1471– 1480
- [34] DONNERS, M.A.H., VISSENBERG, M.C.J.M., GEERDINCK, L.M., VAN DEN BROEK-COOLS, J.H.F., BUDEMEIJER-LOCK, A. (2015): A psychophysical model of discomfort glare in both outdoor and indoor applications. Proceedings of 28th Session of the CIE, Manchester, UK, s. 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. I: *Journal of Light and Visual Environment* 31 (3), s. 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, Australien, s. 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, s. 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, Australien, s. 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, Sydafrika, s. 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), s. 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, s. 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, Frankrig, s. 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, Australien, s. 451–456.
- [45] Seuntiens, 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.

PHILIPS

[50] Tang, X & 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, edition 2.

[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