

EyeComfort white paper¹

I dag er lyskvalitet en viktig differensiator innen belysning. Generelt handler lyskvalitet til de visuelle aspektene av lys og dets avhengigheter og samspill med mennesker og miljø. LEDifisering gir oss uendelige muligheter til å skille mellom romlig, spektral og tidsmessig lyskvalitet. Det tvinger oss til å revidere vår tradisjonelle måte å vurdere lyskvalitet. Signify optimaliserer kontinuerlig sine produkter ved å samle inngående forståelse av brukerbehov, belysningsteknikk og vitenskapelig innsikt. Signify, verdens ledende innen belysning, bringer LED-lamper og LED-lysarmaturer til markedet under det velkjente Philips-merket.

Signify har laget EyeComfort varemerket basert på følgende utvalgte kriterier: Flimmer, stoboskopisk effekt, fotobiologisk sikkerhet, blinding, dimming, justerbarhet, fargegjengivelse og hørbar støy.

Våre porteføljer av LED-lamper og LED-lysarmaturer er evaluert ved hjelp av disse kriteriene. Dette white paper forklarer disse kriteriene, og dermed betydningen av optimalisering av belysning.

Vitenskapelig bakgrunn

Philips varemerkede EyeComfort LED fra Signify omfatter de ovennevnte kriteriene:

1. *Flimmer og stoboskopisk effekt*

Flimmer og stoboskopisk effekt er tidsavgrensede lysartefakter («TLA»). TLA-er er definert som forandring i visuell oppfatning, fremkalt av en lysstimulus, luminansen eller spektralfordelingen, som varierer med tid for en menneskelig observatør i et spesifisert miljø. Flimmer er oppfatningen av visuell ustøhet fremkalt av en lysstimulus, luminansen eller spektralfordelingen, som varierer med tiden, for en statisk observatør i et statisk miljø. Det er med andre ord en forstyrrende, rask svingning av lyset i rommet.

Den stroboskopiske effekten er forskjellig fra flimmer og er definert som endring i oppfattelse av bevegelse, induert av en lysstimulus, luminansen eller spektralfordelingen, som varierer med tiden, for en statisk observatør i et ikke-statisk miljø. Med andre ord resulterer den stroboskopiske effekten i en unaturlig oppbrytning av en kontinuerlig bevegelse.

En egenskap av LED-er er den raske responsen på variasjoner i inngangssignalet. Derfor reproducerer de trofast disse fluktusjonene i lyseffekten, noe som potensielt fører til TLA-er for enkeltpersoner i det opplyste rommet. Svingningene kan komme fra forskjellige kilder, inklusiv: forstyrrelser på strømmettet, interaksjon med kontroller (for eksempel dimmere), forstyrrelser på inngangssignalet fra eksterne kilder (for eksempel mikrobølgeovn) og utformede svingninger fra den elektroniske driveren. Metoder for å undertrykke svingninger i lyseffekten fra LED-er og samtidig redusere synligheten til uønskede TLA-er er kjent. Disse metodene krever imidlertid kompromiss på kostnad og effektivitet og krever mer fysisk plass, samtidig som LED-produktets levetid reduseres med enhver arkitektur.

¹ EyeComfort white paper kan endres av Signify etter hvert som (ytterligere) informasjon blir tilgjengelig for oss på ulike områder, inkludert produktutvikling, forskning, standarder og forskrifter.

PHILIPS

Inntil nylig ble det brukt flere tiltak som Flicker Index (FI) og modulasjonsdybde for å vurdere synligheten av flimner og den stroboskopiske effekten. Ingen av disse tiltakene er egnet til å forutsi hva folk faktisk oppfatter eller opplever. Synlighet av flimner og stroboskopisk effekt påvirkes av modulasjonsdybde, frekvens, bølgeform og driftssyklus, og disse tiltakene tar ikke hensyn til alle disse parametrene. Derfor har vitenskapelige modeller blitt utviklet basert på det menneskelige visuelle system, med henvisning til den visuelle oppfatningen hos mennesker, som er den delen av nervesystemet som gjør at vi kan se. Et mer robust TLA-mål for flimner er P_{st}^{LM} , og for den stroboskopiske effekten SVM [1,2]. Disse tiltakene støttes av Lighting Europe [3] og NEMA [4] og brukes i vurderingen av Philips-merkede EyeComfort LED-belysning av Signify. Kontinuerlige forbedringer av TLA-tiltakene undersøkes for tiden.

Den vanlige definisjonen av absolutt synlighetsterskel er punktet der observatøren kan oppdage persepsjonsinnholdet 50 % av tiden [2]. Dette betyr at en person ikke er sikker på om han/hun ser flimmereffekten og velger å svare med «Jeg ser det 50 % av tiden». Det er ikke at observatøren har en klar oppfatning av å se flimner 50 % av tiden og en klar oppfatning av ikke å se de andre 50 %. I stedet, er 50 % nivået det nivået hvor avgjørelsen om å ikke se er tilfeldig.

Gitt ovenstående er kravet om ikke synlig flimner definert som $P_{st}^{LM} \leq 1,0$ og er basert på IEC 61000-4-15 **Error! Reference source not found.** og NEMA 77-2017 **Error! Reference source not found.**. Måling av P_{st}^{LM} skjer i henhold til IEC TR 61547-1, versjon 2 **Error! Reference source not found.**.

Hvorfor skal vi bry oss om flimner og stroboskopisk effekt?

Belysningsprodukter som avgir flimner eller stroboskopisk effekt regnes som belysning med lavere kvalitet [5-14]. TLA-er er ikke bare irriterende for mennesker men har også påvirkninger for øyekomfort, generell komfort and visuell ytelse. Mer spesifikt kan synlige TLA-er redusere visuell oppgaveprestasjon, forårsake ubehag i øynene (trette øyne), øke forekomster av hodepine, overanstrengelse av øynene og forårsake irritasjon. Studier viser at synlig flimner kan utløse epileptiske anfall i visse tilfeller [5-14]. Med dette i bakhodet, er Philips merkede EyeComfort LED-produkter fra Signify designet for å minimere synlig flimner og stroboskopisk effekt.

2. Fotobiologisk sikkerhet

Fare ved blått lys

Den blå lysfare er en fotokjemisk skade på netthinnen og avhenger av spektral sammensetning, intensitet og tidspunkt for eksponering for øyet. Den internasjonale elektrotekniske kommisjonen (IEC) har utviklet en standard for vurdering av fotobiologisk sikkerhet [16]. Kildene er klassifisert i 4 risikogrupper (0 = ingen risiko, 3 = høy risiko).

Risikogruppe 0: Lampen utgjør ingen fotobiologisk fare

Risikogruppe 1: Ingen fotobiologisk fare under normale atferdsbegrensninger

Risikogruppe 2: Utgjør ingen fare på grunn av aversjonsrespons på sterkt lys eller termisk ubehag

Risikogruppe 3: Farlig selv for kortvarig eksponering

En vanlig misforståelse i media er ideen om at LED-belysning inneholder høyere mengder av blå bølgelengder, og er derfor mer sannsynlig å forårsake blå lysfare. Dette har blitt undersøkt og målt grundig av Global Lighting Association, som sammenligner spektralinnholdet i ulike belysningsteknologier og ovennevnte standard, sammen med mange scientists innspill [15].

PHILIPS

De viktigste vitenskapelige funnene er [15]:

- Med hensyn til den blå lysfare er LED-lamper ikke forskjellig fra konvensjonelle teknologier, som glødelamper og lysrør. Delen av blått i LED-belysning er ikke forskjellig fra delen i andre teknologier med samme fargetemperatur.
- En sammenligning av LED ettermonteringsprodukter med de konvensjonelle produktene de skal erstatte, viser at risikonivåene er svært like og godt innenfor det ukritiske området.
- LED-kilder (lamper eller systemer) og lysarmaturer som faller inn i risikogruppe 0 eller 1 som definert av IEC kan brukes av forbrukerne.

Ultrafiolett

LED-baserte lyskilder til forbrukerbruk inneholder ingen energi i UV-delen av spekteret og er derfor ikke skadelige for personer med høyere følsomhet for UV-lys.

Infrarød

I motsetning til glødelamper og halogen, avgir lysdioder nesten ikke infrarødt (IR) lys. For LED-lyskilder til forbrukere er det ingen risiko, fordi IR-strålingen ikke er kraftig nok.

Optisk sikkerhet er adressert av internasjonale standarder og retningslinjer [16,17]. Philips merkede EyeComfort LED-produkter fra Signify er klassifisert i Risikogruppe 0 eller 1 (RG0/RG1), noe som betyr at bruk av disse LED-produktene ikke er en fotobiologisk fare under normale atferdsbegrensninger, eller at lampen ikke utgjør noen fotobiologisk fare.

3. Blending

Blending er en av de viktigste faktorer for misnøye i forhold til komfortabel belysning. Blending kan deles inn i funksjonshemmende blending og ubehagelig blending. Hemmende blending refererer til reduksjon av synsytelse forårsaket av en blendingskilde i synsfeltet. Ubekvemsfull blending defineres som en følelse av ubehag forårsaket av sterke lyskilder. Følelsen av ubehag avhenger av mange parametere som kilde luminans, kildeområde, kildeposisjon i synsfeltet, bakgrunnslysforhold, type aktivitet og varighet av eksponering til en lyskilde. I årevis har forskere forsøkt å kvantifisere mengden av visuelt ubehag. Vurdering av blending for innendørs arbeidsplasser (faglig miljø) gjøres vanligvis ved hjelp av UGR-mål («Unified Glare»-klassifisering). Denne målingen er basert på gjennomsnittlige luminansnivåer beregnet fra en langfelt-intensitetsfordeling. I LED-lysløsninger ser vi ofte ujevne eller pikselerte utgangsvinduer med høy luminanskontrast. Undersøkelser har vist at pikselerte utgangsvinduer med samme gjennomsnittlige luminans som ensartede utgangsvinduer (og dermed den samme UGR-verdien) resulterer i høyere grad av ubehag for blending [19-35]. Dette betyr at gjeldende UGR ikke alltid er egnet for bruk med ujevne utgangsvinduer.

Undersøkelse av anvendelighet eller forbedring av dagens UGR og utforskning av alternative måter å forutsi ubehagelig blending er et betydelig tema for forskning. Forbedringer av nåværende UGR er hovedsakelig rettet mot korreksjon av posisjonsindeksen i UGR-formelen for å ta hensyn til synsvinkelavhengigheten, korreksjon av den gjennomsnittlige luminans, en korreksjon av den observerte lysoverflate og generell korreksjon ved å legge til en ytterligere hindring for å uttrykke luminanskontrasten i blendingskilden [36-44]. Forslag til alternative metoder for å beskrive blending er basert på modellering av de retinale mottakelige feltene i den menneskelige synssans («Human Visual

PHILIPS

System» – HVS) og anvendelse av denne modellen på luminanskart over rommet for å vurdere ubehaget ved blending [34]. Den siste tilnærmingen er identisk med TLA-målene, som også er basert på modellering av det menneskelige visuelle systemet.

For forbrukerlamper finnes det ikke noen mål for å kvantifisere graden av blending. Dessuten vil den oppfattede grad av blending fra lyspæren også avhenge av bruksområdet. En naken lyspære over bordet nær observatøren, og i øyehøyde, vil være mer blendende enn den samme lyspæren i en lampeskjerm i hjørnet av rommet. Generelt forårsakes blending av en kombinasjon av høy luminans, høy kontrast og størrelsen på lyskilden. Antiblendingstiltak må minst adressere én av årsakene: reduser luminansen, reduser kontrasten eller reduser størrelsen på lyskilden. I Philips-merket LED-belysningsportefølje fra Signify er lamper med og uten blendingskontroll høyt ansett. En lampe med blendingskontroll inneholder diffuserende materialer og/eller et pikselert belegg på toppen av lyspæren og oppfattes som mindre lyssterk sammenlignet med lamper uten blendingskontroll ved samme lysutstråling og samme bakgrunnsadaptasjon. Et godt blendingsmål for lyspærer er foreløpig ikke tilgjengelig og er et tema for fremtidig forskning.

4. Dimming

Dimmefunksjonen til LED-produkter er definert som muligheten til å endre lysets intensitet i henhold til dine egne preferanser. Dimmefunksjonen til LED-produkter gjør at du kan lage den perfekte atmosfæren eller arbeidsbelysningen i alle miljøer. Folk ønsker å dimme kunstig belysning av flere grunner. Først vil de ha muligheten til å forandre stemningen i miljøet (dempet og koselig, lys og energisk). For det andre kan dimmefunksjonen gi forskjellige lysnivåer gjennom dagen, basert på ulike aktiviteter eller avhengig av utendørs lysnivå. For eksempel, om kvelden kan du kanskje dimme lysnivåene for å redusere kontrasten mellom det mørke miljøet og LED-lyset, for å redusere potensiell blending. Til slutt brukes dimmefunksjonen for strømsparing.

Dårlig implementering av dimmefunksjonen kan introdusere ubehag eller uønskede effekter som synlig flimrer på lave dimmenivåer, ustabile overganger, høye minimum lysnivåer. Disse problemene stammer fra LED-driverkretsen, variasjoner i nettspenningsamplitude, strømforsyningsbelastning og dimmerinteraksjon. Smart elektronikkdesign løser det lave dimmingsproblemet som undertrykker repeterende og/eller uregelmessige synlige variasjoner i lysnivå.

De dimbare produktene i Philips-merkede EyeComfort LED-serien Signify gir trinnvis dimming i forhåndsinnstillinger (SceneSwitch) eller kontinuerlig over hele intensitetsområdet.

5. Justerbar

Justerbar LED-belysning kan defineres i tre kategorier:

1. Varm dimming: evne til å etterligne glødende belysning (for eksempel CCT faller fra 2700K-2200K mens dimming pågår)
2. Justerbar hvit: evne til å endre den hvite tonen i et lys (for eksempel 2700K–6500K)
3. Justerbar farge: mulighet for å endre fargen i belysningen (RGB)

PHILIPS

Dimming av en glødelampe gir en annen lysopplevelse enn dimming av vanlige hvite LED-pærer. På grunn av teknologien som brukes, blir en glødende spiral mindre varm under dimming og slipper derfor ut mer rødlig hvitt lys (lavere fargetemperatur). I motsetning endrer ikke LED-dioden farge under dimming. Så, glødepæren gir både en intensitet og en fargetemperaturvariasjon, mens LED bare gir en intensitetsvariasjon mens fargetemperaturen forblir den samme.

Folk setter pris på den varme innstillingen ved lave lysnivåer for å skape hyggelige og koselige stemninger [45], men dette kan variere per region. Noen Philips merkede EyeComfort LED fra Signify har WarmGlow-dimmefunksjonen. Ved å kombinere to forskjellige LED (2200K og 2700K) kan funksjonen til glødelamper etterlignes. WarmGlow-funksjonen kommer i to variasjoner. SceneSwitch med faste innstillinger og myk WarmGlow dimming over hele spekteret. (2700–2200K).

I tillegg til stemningseffekt har dimming-funksjon kombinert med en CCT-forandring også fordeler i forhold til folks døgnrytme. Vår biologiske klokke forteller oss når vi skal våkne og når vi skal sovne. Intensiteten og virkningsspekter av lys er en av parameterne som styrer disse svarene [46]. Høyintensitetslys som inneholder mye blått gjør at vi føler oss våken og beredt, mens lavintensitetslys med lav mengde blått frigjør søvnhormonet melatonin, noe som gjør oss trøtt. Forskning har vist at lys belysning med en sterk blå komponent er anbefalt om morgenen for å støtte å våkne opp og bør unngås om kvelden, fordi den undertrykker melatoninproduksjonen og gjør det vanskeligere å sovne. Dimmede og varme CCT-miljøer om kvelden er ideelle for en uforstyrret biologisk rytme [46].

Philips-merkede EyeComfort-lysdioder av Signify med WarmGlow dimmefunksjon støtter både stemningsfunksjonen og døgnrytmen til mennesker.

6. Fargegjengivelse

Fargekvalitet er relatert til preferanse og forståelse av brukerens oppfatning av belysning i en gitt applikasjon. Fargekvaliteten i hvite lyskilder påvirker rom, gjenstander og menneskelig utseende. Dårlig fargekvalitet kan redusere visuell diskriminering og nøyaktig gjengivelse av opplyste rom, objekter eller personer. Menneskelige hudtoner, planter og mat kan for eksempel forekomme dempet og matte eller med for lite farger under belysning med lav fargegjengivelse og/eller lav fargemetning.

Fargegjengivelse av en hvit lyskilde defineres som effekten av et belysningsmiddel på fargeutseendet til objekter, ved bevisst eller ubevisst sammenligning med deres fargeutseende under en referansebelysning [47] Det generelle fargegjengivelsesindekset (CRI-Ra) brukes for å måle og spesifisere fargegjengivelsesevnen til en hvit lyskilde, basert på et sett med åtte spesifikke CIE 1974, moderat mettede, testfargeprøver (TCS). En CRI på 100 betyr at gjengivelsen av farger under testkilden er lik i forhold til gjengivelsen av farger under referansekilden (referansen er glødelampe for CCT-er <5000 K)

Brukernes preferanse er ikke alltid koblet direkte til CRI-verdien. En høyere CRI-kilde er ikke alltid mer foretrukket. Fargemetning (livlighet), spesielt rødmetning, spiller også en viktig rolle i preferanse [48,49,50]. Litt overmetning av farge er generelt foretrukket av folk, fordi gjenstander ser mer fargerike ut. Preferansen for hudfargeutseende er forskjellig, også mellom kulturer.

Det er viktig å finne den rette balansen mellom fargefidelitet (CRI) og fargemetning for en bestemt type bruk. Philips merkede EyeComfort LED fra Signify har til hensikt å forbedre fargedifferensiering og forbedre estetikken ved bruk av LED-er med gode fargekvalitetsegenskaper.

7. Støy

LED-er kan medføre hørbar støy, spesielt når de brukes på lave dimmenivåer. Spenningene og strømmen som produseres, kan skape mekanisk resonans i komponentene. Denne støyen kan oppfattes som svært irriterende og ubehagelig. Dette er grunnen til at Energy Star har satt krav for hørbar støy.

I henhold til Energy Star-kravene til hørbar støy skal lyspærene ikke avgi støy over 24 dBA @ 1 meter avstand [51]. Denne terskelen er ikke strengt nok i forhold til lyspærer i en helt stille stue (rundt 20 dBA), eller lyspærer som er i nærheten av folk (leselys, nattbordslampe). Alle Philips-merkede EyeComfort LED-produkter fra Signify tar hensyn til det publiserte regelverket.

Referanser:

- [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, and T. Troscianko, «Office workers visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting,» LEUKOS, vol. 1, s. 27–46, 2005.
- [7] Veitch, J. A., and 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, s. 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. Biologiske effekter og helserisiko fra flimner, inkludert flimner som er for rask til å se. 2/15/10, IEEE Standard P1789. <http://grouper.ieee.org/groups/1789>.
- [10] J. D. Bullough, K. S. Hickcox, T. R. Klein and 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., 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, vol. 20, s. 725–727, 1979.
- [13] Harding, G. F. A., and P. F. Harding, «Photosensitive epilepsy and image safety,» Applied Ergonomics, 16 Oct. 2008.
- [14] Fisher, R. S., G. F. A. Harding, G. Erba, G. L. Barkley, and 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.

PHILIPS

- [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, China, 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, China, 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, Turkey, 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, South Africa, 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, Belgrade, 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, France, 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., 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, 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, Australia, 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, Australia, s. 697–703.

PHILIPS

- [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, 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, France, 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, Australia, s. 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, Greenson 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 & Teunissen, Kees. Verdsettelsen av LED-baserte hvite lyskilder av nederlandsk og kinesisk i tre bruksområder. 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. Flimmermåler. Funksjons- og designspesifikasjoner.
- [54] NEMA 77-2017, Temporal Light Artifacts: Test Methods and Guidance for Acceptance Criteria