

## EyeComfort-raportti1

Nykyään valon laatu on merkittävä tekijä valaistuksessa. Yleisesti ottaen valon laatu viittaa valon visuaaliseen osaan ja sen riippuvuuteen ihmisistä ja ympäristöstä sekä vuorovaikutukseen niiden kanssa. LEDistämällä voimme muuntaa valon laatua tilan, spektrin ja lämmön suhteen. Se pakottaa meidät muuttamaan perinteistä tapaa arvioida valon laatua. Signify optimoi tuotteitaan jatkuvasti yhdistämällä käyttäjän tarpeiden tarkan tuntemuksen, valaistuskohdeiden tietämyksen ja tieteelliset tiedot. Valaistuksen maailmanjohtaja, Signify, tuo LED-lamppunsa ja LED-valaisimensa markkinoille tunnetulla Philips-tuotemerkillä.

Signify on luonut EyeComfort-tavaramerkin seuraavien valittujen ehtojen perusteella: välkkyminen, stroboskooppinen ilmiö, fotobiologinen turvallisuus, häikäisy, himmennys, säädettävä, värintoisto ja kuultava melu.

LED-lamppu- ja LED-valaisintuotevalikoima on arvioitu näillä ehdoilla. Tämä raportti selittää nämä ehdot ja optimoiden valaistuksen tärkeyden.

### Tieteellinen tausta

Signifyn Philips-tuotemerkillä varustettu EyeComfort LED on edellä mainittujen ehtojen ilmentymä:

#### *1. Välkkyminen ja stroboskooppinen ilmiö*

Välkkyminen ja stroboskooppinen ilmiö ovat ajallisia valon artefakteja ("TLA"). TLA:t on määritelty tietyssä ympäristössä ihmistarkkailijan nähden ajan myötä muuttuvina valoärsyksen, valaistuksen tai spektrijakauman aiheuttamina muutoksina visuaalisessa havainnossa. Välkkyminen on staattisessa ympäristössä staattisen tarkkailijan nähden valoärsyksen, valaistuksen tai spektrijakauman ajan myötä muuttuvaa epävakautta visuaalisessa havainnossa. Toisin sanoen se on häiritsevää nopeaa valaistuksen vaihtelua huoneessa.

Stroboskooppinen ilmiö eroaa välkkymisestä ja se on määritetty ei-staattisessa ympäristössä staattisen tarkkailijan näkemäksi muutokseksi liikkeen havainnoinnissa, joka aiheutuu valoärsykkeestä, valaistuksesta tai spektrijakaumasta ja muuttuu ajan myötä. Toisin sanoen stroboskooppinen ilmiö johtaa epäluonnolliseen jatkuvan liikkeen katkeamiseen.

LEDien ominaisuus on nopea vaste tulosignaalin muuttumiseen. Ne siis toistavat valolähteen vaihtelut tarkasti, mikä voi johtaa TLA:ihin valaistussa tilassa oleville henkilöille. Vaihtelut voivat olla peräisin erilaisista lähteistä, kuten verkkovirran häiriöistä, säädinten (esimerkiksi himmentimien) käsittelemisestä, tulosignaalin ulkoisten lähteiden (esimerkiksi mikroaaltouunin) häiriöstä ja suunnitellut vaihtelut elektronisesta ohjaimesta. Menetelmät, joilla voidaan vähentää LEDien valon vaihtelua ja samalla pienentää ei-toivottujen TLA:iden näkyvyyttä, tunnetaan. Nämä menetelmät kuitenkin edellyttävät kustannusten ja tehokkuuden välisen kompromissin ja vaativat enemmän tilaa ja samalla lyhentävät LED-tuotteiden elinikää millä tahansa arkkitehtuurilla.

---

1 Signify voi täydentää EyeComfort-raporttia, kun (lisää) tietoja tulee saataville, tuotekehitys, tutkimus, standardit ja säädökset mukaan lukien.

# PHILIPS

Viime aikoihin asti käytettiin useita mittareita, kuten välkkymisindeksiä ja modulaatiosyvyyttä, käytettiin arvioimaan välkkymisen ja stroboskooppisen ilmiön näkyvyyttä. Mikään näistä mittareista ei sovi ennakoimaan, mitä ihmiset itse asiassa näkevät tai kokevat. Välkkymisen ja stroboskooppisen ilmiön näkyvyyteen vaikuttavat modulaatiosyvyys, taajuus, aallon muoto ja käyttötapa, eivätkä nämä mittarit ota huomioon kaikkia näitä parametreja. Tästä syystä on kehitetty tieteellisiä malleja, jotka perustuvat ihmisen näköjärjestelmään eli ihmisten näköhavaintoihin, joka on hermojärjestelmän osa, jolla näemme. Välkkymisen parempi TLA-mittari on  $P_{st}^{LM}$  ja stroboskooppisen ilmiön SVM [1,2]. Lighting Europe [3] ja NEMA [4] tukevat näitä mittareita, ja niitä käytetään Signifyn Philips-tuotemerkillä varustettua EyeComfort LED -valaistusta. TLA-mittareiden parannuksia tutkitaan tällä hetkellä.

Tavallinen absoluuttisen näkyvyyden kynnyksen määritelmä on piste, jossa havainnoija voi tunnistaa havainnon 50 % ajasta [2]. Tämä tarkoittaa sitä, että henkilö ei ole varma, näkeekö hän välkkymistä ja vastaa ”Näen 50 % ajasta”. Se ei tarkoita sitä, että tarkkailijalla on selvä ajatus siitä, että hän näkee välkkymistä 50 % ajasta, ja selvä ajatus siitä, ettei välkkymistä näy 50 % ajasta. Sen sijaan 50 %:n taso on taso, jossa sen näkeminen on sattumanvaraista.

Kun edellä mainittu otetaan huomioon, vaatimus siitä, ettei välkkymistä näy, on määritetty arvolla  $P_{st}^{LM} \leq 1,0$  ja perustuu standardeihin IEC 61000-4-15 **Error! Reference source not found.** ja NEMA 77-2017 **Error! Reference source not found.**. Arvon  $P_{st}^{LM}$  mittaus suoritetaan standardin IEC TR 61547-1, edition 2 **Error! Reference source not found.** mukaan.

## *Miksi meidän tulisi välittää välkkymisestä ja stroboskooppisesta ilmiöstä?*

Valaistustuotteita, joissa on välkkymistä tai stroboskooppinen ilmiö, pidetään heikompilaatusena valaistuksena [5-14]. Sen lisäksi, että TLA:t ärsyttävät ihmisiä, ne vaikuttavat silmän mukavuuteen, yleiseen mukavuuteen ja näkökykyyn. Näkyvät TLA:t voivat heikentää visuaalista suorituskkyä, aiheuttaa silmän epämukavuutta (väsyneet silmät), kasvattaa päänsärkyjen esiintymistiheyttä, rasittaa silmiä ja aiheuttaa ärtymystä. Tutkimusten mukaan näkyvä välkkyminen voi laukaista epileptisiä kohtauksia tietyissä tapauksissa [5-14]. Tätä silmällä pitäen Signifyn Philips-tuotemerkillä varustetut EyeComfort LED -tuotteet on suunniteltu vähentämään näkyvää välkkymistä ja stroboskooppista ilmiötä.

## *2. Fotobiologinen turvallisuus*

### *Sinisen valon vaara*

Sinisen valon vaara on verkkokalvon valokemiallinen vaurio ja riippuu spektrikoostumuksesta, voimakkuudesta ja silmän altistumisajasta. IEC (International Electrotechnical Commission) on kehittänyt standardin, jolla mitataan Fotobiologista turvallisuutta [16]. Lähteet luokitellaan neljään riskiryhmään (0 = ei riskiä, 3 = suuri riski).

Riskiryhmä 0: Lamppu ei aiheuta lainkaan fotobiologista vaaraa.

Riskiryhmä 1: Ei fotobiologista vaaraa tavallisissa käytösrajoissa.

Riskiryhmä 2: Ei aiheuta vaaraa kirkkaaseen valoon tai lämmön epämukavuuteen johtuvan katseen kääntämisen vuoksi.

Riskiryhmä 3: Vaarallinen jopa väliaikaisena altistumisena.

Median yleinen harhaluulo on, että LED-valaistuksessa on suurempi sinisten aallonpituuksien osuus ja sitä myöten todennäköisemmin aiheuttaa sinisen valon vaaran. Global Lighting Association on tutkinut

# PHILIPS

ja mitannut tätä huolellisesti ja verrannut eri valaistustekniikoiden spektrisisältöä ja edellä mainittua standardia yhdessä monen tiedemiehen antaman tiedon kanssa [15].

Tieteellisen päähavainnot ovat seuraavat [15]:

- Sinisen valon vaaran osalta LED-lamput eivät eroa perinteisistä tekniikoista kuten hehkulamputa ja loisteputkista. Sinisen osuus LED-valaistuksessa ei eroa muiden tekniikoiden osuudesta samalla värin lämmöllä.
- LED-jälkiasennustuotteiden vertailu perinteisiin tuotteisiin, jotka niiden on tarkoitus korvata, paljastaa, että riskitasot ovat hyvin samanlaiset ja selvästi ei-kriittisellä alueella.
- LED-lähteitä (lamput tai järjestelmät) ja -valaisimia, jotka kuuluvat IEC:n määrittelemään riskiryhmään 0 tai 1, voivat olla kuluttajien käytössä.

## *Ultravioletti*

Kuluttajien käyttämät LED-pohjaiset valolähteet eivät sisällä lainkaan spektrin UV-osassa olevaa energiaa, joten ne eivät ole vahingollisia ihmisille, joilla on UV-valon yliherkkyys.

## *Infrapuna*

Toisin kuin hehkulamput ja halogeeni LED-valot eivät lähetä juuri lainkaan infrapunaa. Kuluttajien LED-valolähteissä riskiä ei ole, koska infrapunasaäteily ei ole tarpeeksi vahvaa.

Optinen turvallisuus on määritetty kansainvälisillä standardeilla ja ohjeilla [16,17]. Signifyn Philips-tuotemerkillä varustetut EyeComfort LED -tuotteet on luokiteltu riskiryhmään 0 tai 1 (RG0 / RG1), mikä tarkoittaa sitä, ettei näiden LED-tuotteiden käyttö ole fotobiologinen vaara normaaleissa käytösrajoitteissa eli lamppu ei aiheuta fotobiologista vaaraa.

## *3. Häikäisy*

Häikäisy on yksi merkittävimmistä epätyytytystekijöistä miellyttävään valaistukseen liittyen. Häikäisy voidaan jakaa häiritsevään häikäisyyn ja epämiellyttävään häikäisyyn. Häiritsevä häikäisy viittaa siihen, että näkökentässä olevan häikäisylähde heikentää visuaalista suorituskkyä. Epämiellyttävä häikäisy on määritelty kirkkaiden valolähteiden aiheuttamaksi epämukavuudentunteeksi. Epämukavuudentunne riippuu useasta parametrista, kuten lähteen luminanssista, lähdealueesta, lähteen asemasta näkökentässä, taustavalo-olosuhteista, toiminnan tyypistä ja kirkkaalle valolähteelle altistumisen kestosta. Tutkijat ovat vuosien ajan yrittäneet mitata visuaalisen epämukavuuden määrää. Häikäisyn arviointi sisätilojen työpisteissä (ammattiympäristössä) tavallisesti suoritetaan UGR-mittauksella (Unified Glare Rating, yhdistetty häikäisyluokitus). Tämä mittaus perustuu keskimääräisiin valotasoihin, jotka on laskettu etäkentän intensiteetin jakaumana. LED-valaistusratkaisuissa on usein epäyhdenmukaisia tai pikselöityjä lähtöikkunoita, joissa on suuria luminanssikontrasteja. Tutkimusten mukaan pikselöidyt lähtöikkunat, joilla on sama keskiluminanssi kuin yhdenmukaisilla lähtöikkunoilla (ja näin ollen sama UGR-arvo), johtavat suurempaan epämukavuushäikäisyyn [19-35]. Tämä tarkoittaa sitä, että nykyinen UGR ei aina sovi käytettäväksi epäyhdenmukaisilla lähtöikkunoilla.

Nykyisen UGR:n sovellettavuuden ja parannuksen tutkiminen ja vaihtoehtoisten tapojen etsiminen epämukavan häikäisyn ennustamiseksi on merkittävä tutkimusaihe. Nykyisen UGR:n parannukset on pääosin suunnattu korjaamaan UGR-kaavan sijainti-indeksiä ottamaan huomioon katselukulman riippuvuus, keskiluminanssin korjaus, havaitun valaistun pinnan korjaus ja yleinen korjaus lisäämällä

# PHILIPS

lisämuuttuja, joko ilmaisee luminanssikontrastin häikäisylähteessä [36-44]. Ehdotukset vaihtoehtoisiksi tavoiksi kuvata häikäisyä perustuvat ihmisen näköjärjestelmän verkkokalvon vastaanottokenttien mallintaminen ja tämän mallin käyttäminen huoneen luminanssikartoissa epämukavuushäikäisyn osalta [34]. Tämä viimeisin lähestymistapa on sama kuin TLA-toimet, jotka myös perustuvat ihmisen näköjärjestelmän mallintamiseen.

Kuluttajien lamppujen osalta häikäisyä mittaamaan ei tällä hetkellä ole olemassa häikäisymittausta. Lampun havaittu häikäisy riippuu myös käyttökohteesta. Paljas lamppu pöydän yläpuolella havainnoijan lähellä ja silmien korkeudella häikäisee enemmän kuin sama lamppu varjostimessa huoneen kulmassa. Yleisesti ottaen häikäisy aiheutuu suuren valotehon, suuren kontrastin ja valolähteen koon yhdistelmästä. Häikäisyn torjuntatoimien tulisi vastata ainakin yhteen näistä aiheuttajista: pienentää luminanssia, pienentää kontrastia tai pienentää valolähteen kokoa. Signifyn Philips-tuotemerkillä varustetussa valaisintuotevalikoimassa on eroteltu lamput, joissa on häikäisyn hallinta ja joissa ei ole. Lamppu, jossa on häikäisyn hallinta, sisältää vaimentavia materiaaleja ja/tai pikselöidyn pinnoitteen lampun pinnalla ja se nähdään vähemmän häikäisevänä kuin lamput, joissa ei ole häikäisyn hallintaa ja joilla on sama valovirta ja taustan käyttökohde. Hyvää lamppujen häikäisyn mittaria ei tällä hetkellä ole saatavilla, ja se on tulevaisuuden tutkimuksen aiheena.

## 4. Himmennys

LED-tuotteiden himmennysominaisuus määritetään mahdollisuudeksi muuttaa valon intensiteettiä käyttäjän oman mieltymyksen mukaan. LED-tuotteiden himmennysominaisuuden avulla voit luoda jokaiseen ympäristöön täydellisen taustavalaistuksen tai työpistevalaistuksen. Ihmiset haluavat himmentää keinovaloa useasta eri syystä. He ensinnäkin haluavat kyvyn muuttaa ympäristön tunnelmaa (himmeä ja mukava, kirkas ja energisoiva). Toiseksi himmennysominaisuus voi antaa eri valaistustasoja päivän mittaan eri toimintojen tai ulkovalon tason mukaan. Voit esimerkiksi illalla haluta himmentää valaistusta pienentämään kontrastia pimeään ympäristön ja LED-valon välillä, mikä vähentää mahdollista häikäisyä. Himmennystä käytetään myös energiansäästöön.

Himmennysominaisuuden huono toteutus voi aiheuttaa epämukavuutta tai ei-toivottuja ilmiöitä, kuten näkyvää välkkymistä voimakkaassa himmennystasossa, epätasaisia siirtymisiä ja suuria vähimmäisvalotasoja. Nämä ongelmat ovat peräisin LED-liitäntälaitteen piiristä, verkkovirran jänniteaallonpituuden vaihtelusta, verkkovirtaan liitetyistä kuormituksista ja himmentimen toiminnasta. Älykäs elektroniikkasuunnittelu ratkaisee voimakkaan himmennuksen ongelma, joka vaimentaa toistuvat ja/tai epäsäännölliset valotason muutokset.

Signifyn Philips-tuotemerkillä varustettujen LED-tuotteiden himmennettävät tuotteet tarjoavat asteittaisen himmennuksen esiasetuksissa (SceneSwitch) tai jatkuvasti koko intensiteettialueella.

## 5. Säädettyä

Säädettyä LED-valaistus voidaan määrittää kolmeen luokkaan:

1. Lämmin himmennys: kyky matkia hehkulampun toimintaa (esimerkiksi värin lämpötila pienenee 2 700 kelvinistä 2 200 kelviiniin himmennettäessä).
2. Säädettyä valkoinen: kyky vaihtaa valon valkoista sävyä (esimerkiksi 2 700 K–6 500 K).

### 3. Säädettävä väri: kyky muuttaa valaistuksen väriä (RGB).

Hehkulampun himmeneminen antaa erilaisen valokokemuksen kuin tavallisten valkoisten LED-valojen himmentäminen. Käytetyn tekniikan vuoksi hehkulampun hehkulanka viilenee himmennuksen aikana ja säteilee siksi punertavampaa valkoista valoa (pienempi valon lämpötila). LED-kuution väri puolestaan ei muutu himmennettäessä. Joten hehkulamppu antaa sekä intensiteetin että värin lämpötilan muutoksen, kun taas LED antaa vain intensiteetin muutoksen ja värin lämpötila pysyy ennallaan.

Ihmiset pitävät pienten valotasojen lämmintä tunnelmaa, joka luo mukavan ympäristön [45], mutta tämä voi vaihdella alueittain. Jotkin Signifyn Philips-tuotemerkillä varustetut EyeComfort LEDit tarjoavat WarmGlow-himmennysominaisuuden. Yhdistämällä kaksi eri LEDiä (2 200 K ja 2 700 K) voidaan matkia hehkulampun himmennystoimintaa. WarmGlow-ominaisuudessa on kaksi variaatiota. SceneSwitch, jossa on kiinteät asetukset, ja pehmeä WarmGlow-himmennys koko himmennysalueella. (2 700 K–2 200 K).

Tunnelmatehosteen lisäksi himmennysominaisuus ja värin lämpötilan muutos yhdessä antavat etuja ihmisten vuorokausirytmiiin liittyen. Biologinen kellomme kertoo meille, milloin herätä ja milloin nukahtaa. Valon spektrin intensiteetti ja toiminta on yksi näitä vasteita hallitseva parametri [46]. Suuren intensiteetin valo, jossa on paljon sinistä, saa meidät tuntemaan hereillä oleviksi ja valppaiksi, kun taas pienen intensiteetin valo, jossa on vähän sinistä, vapauttaa unihormonia melatoniinia, joka saa meidät uneliaiksi. Tutkimusten mukaan kirkas valo, jossa on voimakkaasti sinistä, on suositeltavaa aamuisin auttamaan heräämisessä, ja sitä tulisi välttää iltaisin, koska se estää melatoniin tuotantoa ja vaikeuttaa nukahtamista. Himmennetyt ja lämpimän värilämpötilan ympäristöt iltaisin sopivat hyvin häiriintymättömään biologiseen rytmiin [46].

Signifyn Philips-tuotemerkillä varustetut EyeComfort LEDit, joissa on WarmGlow-himmennystoiminto, tukevat sekä tunnelmatoimintoa että ihmisten vuorokausirytmiiä.

## 6. Värintoisto

Värin laatu liittyy käyttäjien valaistuksen havainnoinnin arvostamiseen tietyssä käyttökohteessa. Valkoisten valolähteiden värin laatu vaikuttaa tilan, esineiden ja ihmisten ulkoasuun. Heikko värin laatu voi pienentää visuaalista erotuskykyä ja valaistujen tilojen, esineiden tai ihmisten oikeaa värintoistoa. Esimerkiksi ihmisen ihon sävyt, kasvit ja elintarvikkeet voivat näyttää tylsiltä tai niiden värikylläisyys voi oilla heikkoa valaistuksessa, jossa on heikko värintoisto ja/tai heikko värikylläisyys.

Valkoisen valolähteen värintoisto määritetään esineiden värivaikutelman vaikutuksena joko tietoisessa tai alitajuisessa vertailussa niiden värivaikutelmaan viitevalaistuksessa [47]. Yleistä värintoistoindeksiä (CRI-Ra) käytetään mittaamaan ja määrittämään valkoisen valolähteen värintoistokykyä, joka perustuu kahdeksaan kohtuullisesti kyllästettyyn tiettyyn CIE 1974 -testivärimalliin (TCS). CRI-arvo 100 tarkoittaa sitä, että testilähteessä oleva värien toisto on sama kuin viitelähteessä oleva värien toisto (viitevalo on hehkulamppu värilämpötiloissa < 5 000 K).

Käyttäjien mieltymys ei aina vastaa CRI-arvoa. Suurempi CRI-lähde ei aina ole halutumpi. Värikylläisyys (eloisuus), erityisesti punainen värikylläisyys, on myös merkittävässä asemassa suosiossa [48,49,50]. Ihmiset pitävät yleensä lievästi ylikylläisyydestä, koska esineet näyttävät värikkäämmiltä. Ihon värisävyn mieltymys myös vaihtelee – myös kulttuureiden välillä.

# PHILIPS

On tärkeää löytää oikea tasapaino värin toiston (CRI) ja värikylläisyyden välillä tietyssä käyttökohteessa. Signifyn Philips-tuotemerkillä varustettu EyeComfort LED pyrkii myös parantamaan värien erottuvuutta ja parantamaan estetiikkaa käyttämällä LEDejä, joilla on hyvät värin laatuominaisuudet.

## 7. Melu

LEDeissä voi olla kuuluvaa melua, erityisesti voimakkaissa himmennystasoissa. Tuotetut jännitteet ja virta voivat aiheuttaa mekaanista resonanssia komponenteissa. Tämä melu voidaan kokea hyvin ärsyttäväksi ja epämiellyttäväksi. Tästä syystä Energy Star on asettanut vaatimuksia kuultavissa oleville melutasoille.

Kuultavan melun Energy Star -vaatimusten mukaan lamput eivät saa tuottaa ääntä, joka ylittää arvon 24 dBA 1 metrin etäisyydellä [51]. Tämä raja-arvo ei ole tarpeeksi tiukka lampuille täysin hiljaisessa olohuoneessa (noin 20 dBA) tai lampuille, jotka ovat lähellä ihmisiä (lukuvalo, lukulamppu). Kaikissa Signifyn Philips-tuotemerkeillä varistetuissa EyeComfort LED -tuotteissa otetaan huomioon julkaistut säädökset.

Viitteet:

- [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](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\\_au\\_=i5VMrMH4n4J8p7jb](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 ja 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. ja 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 ja 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 ja T. Wisman, "Fluorescent lighting and epilepsy", Epilepsia, vol. 20, s. 725–727, 1979.
- [13] Harding, G. F. A. ja 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 ja 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. In: *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. In: *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. In: 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. In: *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. In: *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, p. 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, p. 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, 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, p. 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 FHF, 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. 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