Artigo técnico do EyeComfort1

Hoje em dia, a qualidade da luz é um diferencial importante na iluminação. Em geral, a qualidade da luz se refere aos aspectos visuais da luz, suas dependências e interação com as pessoas e o ambiente. A LEDificação nos oferece possibilidades ilimitadas para diferenciar em qualidade de luz espacial, espectral e temporal. Isso nos leva a analisar a nossa forma tradicional de avaliar a qualidade da luz. A Signify otimiza continuamente seus produtos ao unir a profunda compreensão das necessidades do usuário, o conhecimento de aplicação da iluminação e visões científicas. Signify, a líder mundial em iluminação, traz suas lâmpadas e luminárias de LED ao mercado sob a reconhecida marca Philips.

A Signify criou a marca comercial EyeComfort com base nos seguintes critérios selecionados: tremulação, efeito estroboscópico, segurança fotobiológica, reflexo, dimerização, ajuste, reprodução de cores e ruído audível.

Nosso portfólio de produtos de lâmpadas e luminárias de LED é avaliado usando esses critérios. Este artigo técnico explica esses critérios e, assim, a importância da otimização da iluminação.

Contexto científico

O LED EyeComfort da Signify, marca da Philips, incorpora os critérios mencionados acima:

1. Tremulação e efeito estroboscópico

Tremulação e efeito estroboscópico são artefatos de luz temporais ("TLAs"). Os TLAs são definidos como alterações na percepção visual, induzidas por um estímulo de luz, luminância ou distribuição espectral, que flutua com o tempo para um observador humano em um determinado ambiente. Tremulação é a percepção da instabilidade visual induzida por um estímulo de luz, luminância ou distribuição espectral, que flutua com o tempo para um observador estático em um ambiente estático. Em outras palavras, é uma flutuação rápida e incômoda da luz no ambiente.

O efeito estroboscópico é diferente da tremulação e é definido como a alteração na percepção do movimento, induzida por um estímulo de luz, luminância ou distribuição espectral, que flutua com o tempo para um observador estático em um ambiente não estático. Em outras palavras, o efeito estroboscópico resulta em uma quebra artificial de um movimento contínuo.

Uma propriedade dos LEDs é a rápida resposta a variações no sinal de entrada. Portanto, eles reproduzem fielmente essas flutuações na saída de luz, possivelmente gerando TLAs para os indivíduos no espaço iluminado. As flutuações podem vir de várias fontes, incluindo: distúrbios na rede, interações com controles (por exemplo, dimmers), distúrbio no sinal de entrada a partir de fontes externas (por exemplo, micro-ondas) e flutuações de projeto internas a partir do driver eletrônico. Os métodos para reprimir as flutuações na saída de luz dos LEDs e, a qualquer momento, reduzir a visibilidade de TLAs indesejados são conhecidos. Esses métodos, no entanto, requerem mais espaço físico e exigem

1 O artigo técnico do EyeComfort pode ser alterado **pela Signify à medida que** informações (adicionais) se tornarem disponíveis para nós em diversas áreas, incluindo desenvolvimento de produtos, pesquisa, padrões e regulamentações.

PHILIPS

comprometimento com custo e eficiência, além de reduzirem a vida útil dos produtos de LED em qualquer arquitetura.

Até recentemente, diversas medidas, como o índice de tremulação (FI) e a profundidade de modulação, eram usados para avaliar a visibilidade da tremulação e do efeito estroboscópico. Nenhuma dessas medidas é adequada para prever o que as pessoas realmente percebem ou sentem. A visibilidade da tremulação e do efeito estroboscópico é afetada pela profundidade de modulação, frequência, forma de onda e ciclo de trabalho, e essas medidas não consideram todos esses parâmetros. Portanto, modelos científicos foram desenvolvidos com base no sistema visual humano, em relação à percepção visual dos humanos, que é a parte do sistema nervoso que nos permite enxergar. Uma medida de TLA mais robusta para a tremulação é P_{st}^{LM} e para o efeito estroboscópico SVM [1,2]. Essas medidas são compatíveis com Lighting Europe [3] e NEMA [4], e são usadas na avaliação da iluminação de LED EyeComfort da Signify, marca da Philips. Melhorias contínuas sobre as medidas de TLA são investigadas atualmente.

A definição comum para o limite de visibilidade absoluto é o ponto em que o observador pode detectar a percepção 50% do tempo [2]. Isso significa que uma pessoa não tem certeza se enxerga ou não o efeito de tremulação e decide responder "Eu enxergo 50% do tempo". Isso não significa que o observador tenha uma ideia clara sobre enxergar a tremulação 50% do tempo e uma ideia clara sobre não enxergar nos outros 50%. Em vez disso, o nível de 50% é o nível em que a decisão sobre enxergar ou não está ao acaso.

Com base nisso, o requisito para nenhuma tremulação visível é definido como $P_{st}^{LM} \leq 1,0$ e se baseia na IEC 61000-4-15 **Error! Reference source not found.** e na NEMA 77-2017 **Error! Reference source not found.**. A medição de P_{st}^{LM} é feita de acordo com a IEC TR 61547-1, edição 2 **Error! Reference source not found.**

Por que devemos nos importar com a tremulação e o efeito estroboscópico?

Os produtos de iluminação que apresentam tremulação ou efeito estroboscópico são considerados como iluminação de menor qualidade [5–14]. Os TLAs não são apenas incômodos às pessoas, mas também afetam o conforto dos olhos, o conforto geral e o desempenho visual. Mais especificamente, os TLAs visíveis podem reduzir o desempenho de tarefas visuais, causar desconforto aos olhos (vista cansada), aumentar a ocorrência de dor de cabeça e fadiga visual, e gerar incômodo. Estudos mostram que a tremulação visível pode acionar convulsões epiléticas em certos casos [5–14]. Tendo isso em mente, os produtos de LED EyeComfort da Signify, marca da Philips, foram projetados para minimizar a tremulação visível e o efeito estroboscópico.

2. Segurança fotobiológica

Perigo da luz azul

O perigo da luz azul é um dano fotoquímico da retina e depende da composição espectral, da intensidade e do tempo de exposição aos olhos. A Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) desenvolveu um padrão para avaliar a segurança fotobiológica [16]. As fontes são classificadas em quatro grupos de risco (0 = nenhum risco, 3 = alto risco).

Grupo de risco 0: a lâmpada não representa nenhum risco fotobiológico

Grupo de risco 1: nenhum risco fotobiológico sob limitações comportamentais normais

PHILIPS

Grupo de risco 2: não representa risco em virtude da resposta de aversão à luz clara ou desconforto térmico

Grupo de risco 3: perigosa mesmo em caso de exposição momentânea

Um equívoco comum na mídia é a ideia de que a iluminação de LED contém maiores porções de comprimentos de onda azuis e tende, portanto, a estar envolvida com o perigo da luz azul. Isso foi pesquisado e mensurado rigorosamente pela Global Lighting Association, comparando o conteúdo espectral de diferentes tecnologias de iluminação e o padrão mencionado acima, junto com a opinião de diversos cientistas [15].

As principais descobertas científicas são [15]:

- Com relação ao perigo da luz azul, as lâmpadas de LED são equivalentes às tecnologias convencionais, como luzes fluorescentes e incandescentes. A porção de azul na iluminação de LED não é diferente da porção em outras tecnologias à mesma temperatura de cor.
- Uma comparação dos modernos produtos de LED com os produtos convencionais que se destinam a substituir revela que os níveis de risco são muito semelhantes e estão totalmente dentro do intervalo não crítico.
- Fontes de LED (lâmpadas ou sistemas) e luminárias que se enquadram nos grupos de risco 0 e 1, conforme definido pela IEC, podem ser usadas pelos consumidores.

Ultravioleta

As fontes de luz baseadas em LED para uso do consumidor não contêm energia na parte UV do espectro e, portanto, não são prejudiciais às pessoas com maior sensibilidade à luz UV.

Infravermelho

Em contraste com as luzes incandescentes e halógenas, os LEDs dificilmente emitem infravermelho (IV). O consumo de fontes de luz de LED não envolve risco, pois a radiação IV não é suficientemente forte.

A segurança óptica é abordada por padrões e diretrizes internacionais [16,17]. Todos os produtos de LED EyeComfort da Signify, marca da Philips, são classificados nos grupos de risco 0 ou 1 (RG0/RG1), o que significa que o uso desses produtos de LED não representa um risco fotobiológico sob aspectos de comportamento normais ou que a lâmpada não representa um risco fotobiológico.

3. Reflexo

O reflexo é um dos incômodos mais significativos em relação à iluminação confortável. O reflexo pode ser dividido em reflexo de deficiência e reflexo de desconforto. O reflexo de deficiência se refere à redução do desempenho visual em decorrência de uma fonte de reflexo no campo visual. O reflexo de desconforto é definido como a sensação de desconforto causada por fontes de luz clara. A sensação de desconforto depende de muitos parâmetros, como a luminância da fonte, a área da fonte, a posição da fonte no campo visual, as condições de luz de fundo, o tipo de atividade e a duração da exposição a uma fonte clara. Há anos, os pesquisadores tentam quantificar o desconforto visual. A avaliação de reflexo para locais de trabalho internos (ambiente profissional) costuma ser feita usando a medida UGR (Unified Glare Rating, Classificação de reflexo unificada). Essa medida se baseia nos níveis médios de luminância calculados a partir de uma distribuição de intensidade de campo distante. Nas soluções de iluminação de LED, é comum enxergar janelas de saída não uniformes ou pixeladas com contrastes de alta

PHILIPS

luminância. Estudos mostraram que janelas de saída pixeladas com a mesma luminância média que janelas de saída uniformes (e, portanto, o mesmo valor UGR) resultam em maior reflexo de desconforto [19–35]. Isso significa que a UGR atual nem sempre é adequada para uso em janelas de saída não uniformes.

Investigar a aplicabilidade ou a melhoria da UGR atual e explorar formas alternativas para prever o reflexo de desconforto são importantes tópicos de pesquisa. Melhorias à UGR atual têm como objetivos principais a correção do índice de posição na fórmula da UGR para considerar a dependência com o ângulo de visão, a correção da luminância média, uma correção da superfície luminosa observada e correção geral ao adicionar uma interceptação adicional para expressar o contraste de luminância dentro da fonte de reflexo [36–44]. As sugestões de métodos alternativos para descrever o reflexo se baseiam na modelagem dos campos receptivos da retina no sistema visual humano (HVS) e aplicação desse modelo em mapas de luminância do ambiente para avaliar o reflexo de desconforto [34]. A última abordagem é idêntica às medidas de TLA que também se baseiam na modelagem do sistema visual humano.

Para lâmpadas de consumo, não há atualmente uma medida disponível para quantificar o reflexo. Além disso, o reflexo percebido de uma lâmpada também dependerá da aplicação. Uma lâmpada descoberta sobre a mesa, próxima ao observador e no nível dos olhos, ocasionará mais reflexo que a mesma lâmpada em um abajur no canto do ambiente. No geral, o reflexo é causado por uma combinação de alta luminância, alto contraste e tamanho da fonte. As ações contra o reflexo devem abordar pelo menos uma destas causas: reduzir a luminância, reduzir o contraste ou reduzir o tamanho da fonte. No portfólio de iluminação de LED da Signify, marca da Philips, as lâmpadas com e sem controle de reflexo são diferenciadas. Uma lâmpada com controle de reflexo contém materiais difusores e/ou uma renda pixelada na parte superior da lâmpada, e é percebida com menos reflexo em comparação com as lâmpadas que não possuem qualquer controle de reflexo com o mesmo fluxo e a mesma adaptação de plano de fundo. Uma boa medida do reflexo para lâmpadas não está disponível atualmente e é um tópico de pesquisa para o futuro.

4. Dimerização

O recurso de dimerização dos produtos de LED é definido como a possibilidade de alterar a intensidade da luz de acordo com a sua própria preferência. O recurso de dimerização dos produtos de LED permite criar o ambiente perfeito ou luz de trabalho em qualquer ambiente. As pessoas desejam regular a iluminação artificial por diversos motivos. Primeiro, elas desejam a capacidade de alterar o ambiente (sombreado e aconchegante, claro e energético). Segundo, o recurso de dimerização pode oferecer diversos níveis de fluxo ao longo do dia, com base em atividades diferentes ou dependendo dos níveis de luz externa. Por exemplo, à noite, talvez você deseje regular os níveis de luz para reduzir o contraste entre o ambiente escuro e a luz de LED, a fim de reduzir possíveis reflexos. Finalmente, o recurso de dimerização é usado para economizar energia.

Uma má implementação do recurso de dimerização pode causar desconforto ou efeitos indesejados, como tremulação visível em níveis de dimerização profunda, transições instáveis e altos níveis de luz mínima. Esses problemas se originam do circuito do driver para LED, de variações na amplitude da tensão da rede, de cargas conectadas à rede e da interação do dimmer. Projetos eletrônicos inteligentes

PHILIPS

solucionam o problema da dimerização profunda que inibe variações visíveis repetitivas e/ou irregulares no nível de luz.

Os produtos reguláveis da linha de LED EyeComfort da Signify, marca da Philips, oferecem dimerização gradual em predefinições (SceneSwitch) ou continuamente ao longo de todo o intervalo de intensidade.

5. Ajuste

A iluminação de LED ajustável pode ser definida em três categorias:

1. Dimerização quente: capacidade de simular o comportamento incandescente (por exemplo, quedas de CCT de 2.700 a 2.200 K durante a dimerização)
2. Branco ajustável: capacidade de alterar o tom branco de uma luz (por exemplo, 2.700 a 6.500 K)
3. Cor ajustável: capacidade de alterar a cor da iluminação (RGB)

A dimerização de uma lâmpada incandescente oferece uma experiência de luz diferente da dimerização de luzes de LED brancas normais. Em razão da tecnologia usada, uma espiral incandescente se torna menos quente durante a dimerização e, portanto, emite mais luz branca avermelhada (temperatura de cor mais baixa). Por outro lado, a cor do tom do LED não se altera durante a dimerização. Portanto, a lâmpada incandescente fornece variações na intensidade e na temperatura da cor, enquanto o LED fornece apenas uma variação na intensidade e a temperatura da cor se mantém igual.

As pessoas apreciam o cenário quente em baixos níveis de luz para criação de ambientes agradáveis e aconchegantes [45], mas isso pode ser diferente, dependendo da região. Alguns LEDs EyeComfort da Signify, marca da Philips, oferecem o recurso de dimerização WarmGlow. Ao combinar dois LEDs diferentes (2.200 e 2.700 K), um comportamento de dimerização incandescente pode ser imitado. O recurso WarmGlow possui duas variantes. O SceneSwitch com configurações fixas e dimerização WarmGlow suave em todo o intervalo. (2.700 a 2.200 K).

Próximo ao efeito de ambientação, um recurso de dimerização combinado com uma alteração de CCT também apresenta vantagens em relação ao ritmo circadiano das pessoas. Nosso relógio biológico nos diz quando acordar e quando dormir. A intensidade e o espectro de ação da luz são alguns dos parâmetros que controlam essas respostas [46]. Luz de alta intensidade que contém muito azul nos faz sentir acordados e em alerta, enquanto luz de baixa intensidade com pouco azul aciona a liberação do hormônio de sono melatonina, que nos deixa sonolentos. Pesquisas mostraram que a iluminação clara com forte componente azul é recomendada pela manhã, para ajudar no despertar, e deve ser evitada à noite, pois inibe a produção de melatonina e dificulta o adormecimento. Ambientes de CCT quente regulados à noite são ideais para um ritmo biológico tranquilo [46].

Os LEDs EyeComfort da Signify, marca da Philips, com recurso de dimerização WarmGlow, oferecem suporte à função de ambientação e ao ritmo circadiano das pessoas.

6. Reprodução de cores

A qualidade da cor se relaciona à preferência e apreciação da percepção da iluminação pelos usuários em uma determinada aplicação. A qualidade da cor de fontes de luz branca afeta a aparência do espaço, dos objetos e humana. Qualidade de cor ruim pode reduzir a discriminação visual e a reprodução precisa

PHILIPS

de pessoas, objetos ou espaços iluminados. Por exemplo, tons da pele humana, plantas e alimentos podem parecer monótonos ou subsaturados sob iluminação com baixa reprodução e/ou baixa saturação de cores.

A reprodução de cores de uma fonte de luz branca é definida como o efeito de um iluminante sobre a aparência de cores dos objetos, por comparação consciente ou não com suas aparências e cores sob um iluminante referencial [47]. O índice de reprodução de cor (CRI-Ra) geral é usado para medir e especificar a capacidade de reprodução das cores de uma fonte de luz branca, com base em um conjunto de oito amostras de cores de teste (TCS) CIE 1974 específicas e moderadamente saturadas. Um CRI de 100 significa que a reprodução das cores sob a fonte de teste é igual em comparação com a reprodução das cores sob a fonte referencial (referência incandescente para CCTs < 5.000 K)

A preferência dos usuários nem sempre é diretamente relacionada ao valor do CRI. Uma fonte de CRI mais alto nem sempre é preferida. A saturação das cores (vivacidade), especialmente a saturação do vermelho, também desempenha um papel importante na preferência [48,49,50]. Um pouco de supersaturação é, em geral, preferido pelas pessoas, pois os objetos parecem mais coloridos. A preferência pela aparência do tom da pele é diferente, também entre culturas.

É importante encontrar o equilíbrio entre a fidelidade das cores (CRI) e a saturação das cores para uma aplicação específica. O LED EyeComfort da Signify, marca da Philips, busca aumentar a diferenciação das cores e aprimorar a estética por meio do uso de LEDs com boas propriedades da qualidade de cores.

7. Ruído

Os LEDs podem sofrer ruído audível, especificamente quando usados em níveis de dimerização profunda. A corrente e as tensões produzidas podem gerar ressonância mecânica nos componentes. Este ruído pode ser percebido de forma muito incômoda e desconfortável. É por isso que a Energy Star estabeleceu requisitos para níveis de ruído audível.

De acordo com os requisitos para ruído audível da Energy Star, as lâmpadas não devem emitir ruído acima de 24 dBA a 1 metro de distância [51]. Este limite não é rigoroso o suficiente para lâmpadas em uma sala de estar totalmente silenciosa (em torno de 20 dBA) ou para lâmpadas localizadas próximas às pessoas (luz de leitura, luz de cabeceira). Todos os produtos de LED EyeComfort da Signify, marca da Philips, consideram as regulamentações publicadas.

Referências:

- [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, set. 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. No 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 171–78.

PHILIPS

- [6] Jaen, M., J. Sandoval, E. Colombo, and T. Troscianko, "Office workers visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting", *LEUKOS*, v. 1, p. 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*, v. 27, p. 243, 1995.
- [8] Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I.M., Slater, A. and Bedocs, L. (1989) Fluorescent lighting, headaches and eye-strain. *Lighting Research and Technology*, 21(1), 11–18.
- [9] Arnold Wilkins, Brad Lehman. Biological effects and health hazards from flicker, including flicker that is too rapid to see. 15/02/10, 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*, v. 43, p. 337–348, 2011
- [11] Harding, G. F. A., and P. Jeavons, *Photosensitive Epilepsy*. Londres: Mac Keith Press, 1994.
- [12] Binnie, C. D., R. A. de Korte, and T. Wisman, "Fluorescent lighting and epilepsy", *Epilepsia*, v. 20, p. 725–727, 1979.
- [13] Harding, G. F. A., and P. F. Harding, "Photosensitive epilepsy and image safety", *Applied Ergonomics*, 16 out. 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*, v. 46, p. 1.426–1.441, set. 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, p. 283–286.
- [20] WATERS, C.E., MISTRICK, R.G., BERNECKER, C.A. (1995): Discomfort Glare from Sources of Nonuniform Luminance. *Em: Journal of the Illuminating Engineering Society* 24 (2), p. 73–85.
- [21] KASAHARA, T., AIZAWA, D., IRIKURA, T., MORIYAMA, T., TODA, M., IWAMOTO, M. (2006): Discomfort Glare Caused by White LED Light Source. *Em: Journal of Light and Visual Environment* 30 (2), p. 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*, Pequim, China, p. 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. *Em: CIE (Hg.): Proceedings of the 26th Session of the CIE*, Pequim, China, p. 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, Turquia, p. 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, Coreia do Sul, p. 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, África do Sul, p. 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. *Em: Journal of Illuminating Engineering Institute Japan* 96 (2), p. 81–88.
- [30] ERDEM, L., TRAMPERT, K., NEUMANN, C. (2012): Evaluation of Discomfort Glare from LED lighting systems. *Proceedings of Balkan Light 2012, Belgrado*, p. 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, França*, p. 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, p. 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, Reino Unido*, p. 1.471–1.480
- [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, Reino Unido*, p. 1.602–1.611
- [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. *Em: Journal of Light and Visual Environment* 31 (3), p. 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, Austrália, 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, Reino Unido*, p. 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, Austrália, 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, África do Sul*, 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), p. 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, Reino Unido*, p. 1.373–1.381.
- [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, França*, p. 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, Austrália, 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: 6.405–6.412.
- [47] CIE 013.3-1995 – Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources

PHILIPS

[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: 992–1.014.

[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, ed. 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