

Dokument k systému EyeComfort¹

Kvalita světla je dnes klíčovým faktorem pro výběr osvětlení. Kvalita světla obecně označuje vizuální aspekty světla, jejich závislost na osobách a prostředí a interakci s nimi. LEDifikace nám dává nekonečné možnosti odlišení prostorových, spektrálních a časových vlastností světla. Nutí nás přehodnotit tradiční způsob posuzování kvality světla. Společnost Signify nepřetržitě optimalizuje své produkty spojením hlubokého porozumění potřebám uživatelů, znalostí v oblasti použití osvětlení a odborného přehledu. Společnost Signify, která je globálním lídrem v oblasti osvětlení, přináší na trh své žárovky LED a svítidla LED pod známou značkou Philips.

Společnost Signify vytvořila ochrannou známku EyeComfort na základě následujících vybraných kritérií: blikání, stroboskopické efekty, fotobiologická bezpečnost, oslnění, regulace, ladění, barevné podání a slyšitelný hluk.

Naše portfolio žárovek LED a svítidel LED je posuzováno na základě těchto kritérií. V tomto dokumentu jsou tato kritéria popsána společně s vysvětlením důležitosti optimalizace osvětlení.

Základní odborné informace

Technologie LED EyeComfort značky Philips od společnosti Signify zahrnuje výše uvedená kritéria:

1. Blikání a stroboskopické efekty

Blikání a stroboskopické efekty jsou dočasné světelné artefakty (TLA). Artefakty TLA jsou definovány změnou vizuálního vnímání, která je vyvolána světelným podnětem, jasem nebo spektrální distribucí, která se v průběhu času mění pro lidského pozorovatele v daném prostředí. Blikání je vnímání vizuální nestálosti, která je vyvolána světelným podnětem, jasem nebo spektrální distribucí, která se v průběhu času mění pro statického pozorovatele ve statickém prostředí. Jinými slovy se jedná o rušivé rychlé kolísání světla v místnosti.

Stroboskopické efekty se od blikání liší a jsou definovány jako změny ve vnímání pohybu, které jsou vyvolány světelným podnětem, jasem nebo spektrální distribucí, která se v průběhu času mění pro statického pozorovatele v nestatickém prostředí. Jinými slovy stroboskopické efekty představují nepřírozené přerušování souvislého pohybu.

Vlastností žárovek LED je rychlá reakce na změny ve vstupním signálu. Toto kolísání je tudíž věrně reprodukováno ve výstupu světla, což může potenciálně vést k artefaktům TLA pro osoby v osvětleném prostoru. Kolísání může pocházet z různých zdrojů včetně rušení v síti, použití ovládacích prvků (např. stmívačů), rušení vstupního signálu z externích zdrojů (např. mikrovlnné trouby) a záměrného kolísání způsobeného elektronickým předřadníkem. Jsou známy metody potlačení kolísání ve světelném výstupu žárovek LED a současně snížení viditelnosti nežádoucích artefaktů TLA. Tyto metody však vyžadují kompromis s ohledem na cenu a účinnost a vyžadují více fyzického prostoru. Současně tak při jakékoli architektuře dochází ke zkrácení životnosti produktů LED.

¹ Dokument k systému EyeComfort může být změněn společností Signify na základě dostupnosti dalších informací v daných oblastech, včetně vývoje produktů, výzkumu, norem a předpisů.

PHILIPS

Donedávna se k posuzování viditelnosti blikání a stroboskopických efektů používalo několik ukazatelů, např. index blikání FI a hloubka modulace. Žádný z nich však není vhodný pro posouzení toho, co lidé skutečně vidí či vnímají. Viditelnost blikání a stroboskopických efektů je ovlivněna délkou modulace, frekvencí, tvarem vlny a střídou a uvedené ukazatele nezohledňují všechny tyto parametry. Proto byly vyvinuty vědecké modely na základě lidského zrakového systému simulující vizuální vnímání lidí, které je součástí nervového systému umožňujícího vidění. Výkonnějším ukazatelem TLA pro blikání je P_{st}^{LM} a pro stroboskopické efekty SVM [1,2]. Tyto ukazatele jsou podporovány organizacemi Lighting Europe [3] a NEMA [4] a používají se při posuzování produktů LED EyeComfort značky Philips od společnosti Signify. V současnosti probíhá neustálé zkoumání možných vylepšení ukazatelů TLA.

Obvyklou definicí prahu absolutní viditelnosti je bod, při kterém pozorovatel rozpoznává vjem po 50 % doby [2]. To znamená, že osoba si není jista, zda efekt blikání vidí, a jako odpověď vybere možnost „Vidím po 50 % doby.“ To neznamena, že pozorovatel blikání jasně vidí po 50 % doby a po zbývajících 50 % je nevidí. Znamená to, že 50 % je úroveň pravděpodobnosti posouzení, zda pozorovatel vjem vidí či nevidí.

S ohledem na výše uvedené informace je požadavek na neviditelnost blikání definován jako $P_{st}^{LM} \leq 1,0$ na základě norem IEC 61000-4-15 **Error! Reference source not found.** a NEMA 77-2017 **Error! Reference source not found.**. Měření hodnoty P_{st}^{LM} se provádí podle normy IEC TR 61547-1, 2. vydání **Error! Reference source not found.**.

Proč musíme věnovat pozornost blikání a stroboskopickým efektům?

Osvětlovací produkty, u nichž dochází k blikání nebo stroboskopickým efektům, jsou považovány za osvětlení nižší kvality [5-14]. Artefakty TLA nejsou pro uživatele pouze obtěžující, ale mají rovněž vliv na pohodlí oka, obecné pohodlí a funkce vidění. Konkrétně mohou viditelné artefakty TLA snížit efektivitu při zrakových činnostech, způsobovat nepohodlí očí (únavu zraku), přispívat ke vzniku bolesti hlavy, namáhat oči a vyvolávat pocity nepříjemnosti. Studie prokázaly, že viditelné blikání může v některých případech vyvolávat epileptické záchvaty [5-14]. S ohledem na tyto skutečnosti jsou produkty LED EyeComfort značky Philips od společnosti Signify navrženy tak, aby minimalizovaly viditelné blikání a stroboskopické efekty.

2. Fotobiologická bezpečnost

Nebezpečnost modrého světla

Nebezpečnost modrého světla spočívá ve fotochemickém poškození sítnice a závisí na složení spektra, intenzitě a době vystavení oku. Mezinárodní elektrotechnická komise IEC vytvořila normu pro posuzování fotobiologické bezpečnosti [16]. Zdroje jsou zařazeny do 4 rizikových skupin (0 = bez rizika, 3 = vysoké riziko).

Riziková skupina 0: Žárovka nepředstavuje žádné fotobiologické riziko

Riziková skupina 1: Žádné fotobiologické riziko při normálních omezeních použití

Riziková skupina 2: Nepředstavuje nebezpečí z důvodu obranné reakce na jasné světlo nebo tepelné nepohodlí

Riziková skupina 3: Nebezpečné i při krátkodobém vystavení

V médiích je často prezentována nesprávná domněnka, že světlo LED obsahuje vysoký podíl modrých vlnových délek a proto může představovat rizika související s modrým světlem. Organizace Global

Lighting Association provedla v tomto ohledu důkladný výzkum a měření a porovnala obsah spektra různých technologií osvětlení podle výše uvedené normy společně s využitím vstupů od mnoha vědců [15].

Klíčová vědecká zjištění [15]:

- S ohledem na nebezpečnost modrého světla se žárovky LED nijak neliší od běžných technologií, např. tradičních a fluorescenčních žárovek. Podíl modrého světla v osvětlení LED se neliší od podílu v jiných technologiích při stejné teplotě chromatičnosti.
- Porovnání dodatečně osazených produktů LED s tradičními produkty, které mají nahradit, zjistilo, že úroveň rizika je velmi podobná a dostatečně nízká v rámci bezpečného rozsahu.
- Zdroje (žárovky či systémy) a svítidla LED spadající do rizikových skupin 0 či 1 podle definice normy IEC mohou být používány zákazníci.

Ultrafialové záření

Světelné zdroje využívající technologii LED pro zákazníky neobsahují žádnou energii v ultrafialové části spektra a proto nejsou škodlivé pro osoby citlivé na ultrafialové světlo.

Infračervené záření

Na rozdíl od tradičních a halogenových žárovek nevyzařují žárovky LED téměř žádné infračervené světlo (IR). V případě světlených zdrojů LED nehrozí zákazníkům žádné riziko, protože záření IR není dostatečně silné.

Pro optickou bezpečnost platí mezinárodní normy a předpisy [16,17]. Všechny produkty LED EyeComfort značky Philips od společnosti Signify jsou klasifikovány jako riziková skupina 0 nebo 1 (RG0/RG1). To znamená, že použití těchto produktů LED nepředstavuje fotobiologické riziko při normálních omezeních použití nebo že žárovka nepředstavuje žádné fotobiologické riziko.

3. Oslnění

Oslnění je jedním z nejvýznamnějších příčin nespokojenosti v souvislosti s pohodlným osvětlením. Osvětlení lze rozlišit na omezující oslnění a rušivé oslnění. Omezující oslnění označuje snížení funkce vidění způsobené zdrojem oslnění v zorném poli. Rušivé oslnění je definováno jako vnímání nepohodlí způsobené jasnými zdroji světla. Vnímání nepohodlí závisí na mnoha parametrech, jako jsou jas zdroje, zdrojová oblast, poloha zdroje v zorném poli, světelné podmínky na pozadí, typ činnosti a doba vystavení jasnému světlu. Vědci se již mnoho let snaží kvantifikovat míru vizuálního nepohodlí. K hodnocení oslnění ve vnitřních pracovištích (v pracovním prostředí) se obvykle používá ukazatel UGR (Unified Glare Rating, Jednotný systém hodnocení oslnění). Tento ukazatel je založen na průměrných hodnotách jasu vypočítaných z rozptýlení intenzity ve vzdáleném poli. U řešení osvětlení LED jsou často patrné nerovnoměrné nebo na body rozložené výstupy s velkými kontrasty v jasu. Studie prokázaly, že výstupy rozložené na body, které mají stejný průměrný jas jako rovnoměrné výstupy (a tedy stejnou hodnotu UGR), způsobují větší rušivé oslnění [19-35]. To znamená, že aktuální ukazatel UGR není vždy vhodný pro hodnocení nerovnoměrných výstupů.

Zkoumání použitelnosti či možností zlepšení aktuálního hodnocení UGR a hledání alternativních způsobů predikce rušivého oslnění je závažným předmětem zájmu výzkumu. Vylepšení aktuálního hodnocení UGR se soustředí zejména na korekci indexu polohy ve vzorci UGR za účelem zohlednění závislosti na

PHILIPS

zorném úhlu, korekci průměrného jasu, korekci pozorovaného jasného povrchu a obecnou korekci přidání dalšího průsečíku pro vyjádření kontrastu v jasu v rámci zdroje oslnění [36-44]. Navržené alternativní metody popisu oslnění jsou založeny na modelování recepčních polí sítnice lidského zrakového systému (HVS) a použití tohoto modelu na mapy osvětlení v místnosti za účelem posouzení rušivého oslnění [34]. Nejnovější přístup je shodný s měřeními TLA, která jsou rovněž založena na modelování lidského zrakového systému.

V případě žárovek pro zákazníky není aktuálně k dispozici žádný ukazatel pro kvantifikaci oslnění. Vnímání oslnění způsobované žárovkou je navíc závislé na způsobu použití. Nezakrytá žárovka nad stolem ve výšce očí v blízkosti pozorovatele bude více oslňující než tatáž žárovka pod stínidlem v rohu místnosti. Oslnění je obecně způsobováno kombinací vysokého jasu, vysokého kontrastu a velikosti zdroje. Opatření proti oslnění se musí týkat alespoň jedné z těchto příčin – snižovat jas, omezovat kontrast nebo zmenšovat velikost zdroje. V rámci sortimentu produktů LED EyeComfort značky Philips od společnosti Signify jsou rozlišovány žárovky s možností a bez možnosti kontroly oslnění. Žárovka s kontrolou oslnění obsahuje difuzní materiály a/nebo lem rozložený na body v horní části žárovky a je vnímána jako méně oslňující ve srovnání se žárovkami bez kontroly oslnění se stejným světelným tokem při použití na stejném pozadí. Vhodný ukazatel pro hodnocení oslnění není v současnosti k dispozici a je předmětem výzkumu do budoucnosti.

4. Stmívání

Funkce stmívání produktů LED je definována jako možnost změnit intenzitu světla podle vlastní preference. Funkce stmívání produktů LED umožňuje vytvoření odpovídající atmosféry nebo osvětlení pro daný úkol v jakémkoli prostředí. Lidé požadují ztlumení umělého osvětlení z různých důvodů. Zejména mají zájem upravit atmosféru prostředí (tlumené a pohodlné nebo jasné a povzbuzující osvětlení). Funkce stmívání může rovněž poskytnout jiný světelný tok během dne na základě různých činností nebo v závislosti na úrovni světla venku. Například večer můžete chtít snížit úroveň osvětlení a kontrast mezi tmavým prostředím a osvětlením LED, aby nedocházelo k případnému oslnění. Funkce stmívání se rovněž používá pro úsporu energie.

Nevhodná realizace funkce stmívání může způsobit určité nepohodlí nebo nežádoucí účinky, např. viditelné blikání při nízkých úrovních osvětlení, neplynulé přechody či silné světlo při minimální úrovni. Tyto problémy jsou způsobeny řídicím obvodem LED, změnami v amplitudě napájecího napětí, zatížení síťového připojení a používáním stmívače. Inteligentní konstrukce elektronického systému odstraňuje problémy se silným tlumením a potlačuje opakované a/nebo nepravidelné kolísání úrovně osvětlení.

Regulovatelné produkty LED EyeComfort značky Philips od společnosti Signify poskytují možnost tlumení v nastavených krocích (SceneSwitch) nebo plynulého ovládání v celém rozsahu intenzity.

5. Nastavitelné

Regulovatelné osvětlení LED lze definovat ve třech kategoriích:

1. teplé stmívání: schopnost simulovat chování tradiční žárovky (např. pokles CCT 2700–2200 K při stmívání),
2. regulace bílé: schopnost změnit bílý tón světla (např. 2700–6500 K),

3. regulace barev: schopnost změnit barvu osvětlení (RGB).

Regulace tradiční žárovky vypadá odlišně od regulace běžných bílých žárovek LED. Použitá technologie způsobuje, že se spirála tradiční žárovky při ztlumení méně zahřívá a proto vyzařuje červenější bílé světlo (s nižší teplotou chromatičnosti). Naopak barva žárovky LED se při ztlumení nezmění. Tradiční žárovka tedy umožňuje změnu intenzity i teploty chromatičnosti, zatímco žárovka LED poskytuje pouze rozdíly v intenzitě a teplota chromatičnosti se nemění.

Lidé dávají přednost při slabším osvětlení teplému nastavení, které vytváří příjemnou atmosféru [45], v různých regionech se však preference mohou lišit. Některé produkty LED EyeComfort značky Philips od společnosti Signify jsou vybaveny funkcí stmívání WarmGlow. Kombinací dvou různých LED (2200 K a 2700 K) lze simulovat chování tradiční žárovky. Funkce WarmGlow je k dispozici ve dvou verzích: SceneSwitch s pevným nastavením a plynulá regulace WarmGlow v celém rozsahu (2700–2200 K).

Kromě efektu prostředí má funkce tlumení společně se změnou CCT rovněž výhody související s cirkadiánními rytmy osob. Naše biologické hodiny nám signalizují, kdy máme vstávat a kdy mám usínat. Intenzita a akční spektrum světla patří mezi parametry, které tyto odezvy řídí [46]. Světlo s vysokou intenzitou, které obsahuje vysoký podíl modrých složek, nás udržuje bdělé a čilé, zatímco světlo s nízkou intenzitou s nízkým počtem modrých spouštěcích prvků vede k vylučování spánkového hormonu melatoninu, takže začneme být ospalí. Výzkum ukázal, že ráno je doporučováno jasné osvětlení se silnou modrou složkou, které podporuje vstávání. Naopak je vhodné se mu vyhnout večer, protože potlačuje tvorbu melatoninu a brání usínání. Tlumené a teplé hodnoty CCT večerního osvětlení jsou ideální pro nerušený biologický rytmus [46].

Produkty LED EyeComfort značky Philips od společnosti Signify, které využívají funkci stmívání WarmGlow, podporují funkce přizpůsobení prostředí i cirkadiánních rytmů osob.

6. Barevné podání

Kvalita barev se týká preferencí a citu vnímání osvětlení jednotlivých uživatelů při daném použití. Kvalita barev u bílých světelných zdrojů má vliv na podobu prostoru, předmětů a osob. Nedostatečná kvalita barev může snižovat vizuální rozlišování a přesnost podání osvětlených prostorů, předmětů a osob. Například odstíny lidské pokožky, rostlin či potravin mohou při osvětlení s nízkým barevným podáním a/nebo nedostatečnou sytostí barev vypadat matně a vybledle.

Barevné podání bílého světelného zdroje je definováno jako vliv svítidla na barevný vzhled objektů při vědomém nebo nevědomém srovnání barevného vjemu v případě referenčního svítidla [47]. Obecný index barevného podání (CRI-Ra) slouží k měření a stanovení schopnosti barevného podání bílého světelného zdroje na základě sady osmi konkrétních testovacích barevných vzorků CIE 1974 se střední sytostí. Hodnota CRI 100 znamená, že barevné podání testovaného zdroje je shodné ve srovnání s barevným podáním referenčního zdroje (jako reference je použita tradiční žárovka s CCT < 5000 K).

Preference uživatelů nemusí být vždy přímo úměrné hodnotě CRI. Zdroj s vyšší hodnotu CRI nemusí být vždy upřednostňován. Sytost (živost) barev, zejména červené, rovněž hraje důležitou roli při preferencích [48,49,50]. Lidé obecně určité nadměrné nasycení preferují, protože předměty vypadají barevněji. Preference odstínu pokožky se u různých osob a různých kultur liší.

PHILIPS

Je nutné nalézt správnou rovnováhu mezi věrností barev (CRI) a sytostí barev při daném použití. Technologie LED EyeComfort značky Philips od společnosti Signify se snaží vylepšit rozlišení barev a zvýšit estetické vnímání na základě použití světla LED s vysokou kvalitou barev.

7. Hluk

Žárovky LED mohou podléhat slyšitelnému hluku, zejména při použití s hlubokými úrovněmi stmívání. Vytvářené hodnoty napětí a proudu mohou vyvolávat mechanické resonance v různých součástech. Tento hluk může být vnímán jako velmi nepříjemný a obtěžující. Proto byly v rámci programu Energy Star vytvořeny požadavky týkající se úrovní slyšitelného hluku.

Na základě požadavků programu Energy Star na slyšitelný hluk nesmí žárovky vydávat hluk vyšší než 24 dBA ve vzdálenosti 1 m [51]. Tato mezní hodnota není dostatečně přísná pro žárovky ve zcela tichém obývacím pokoji (přibližně 20 dBA) nebo žárovky v bezprostřední blízkosti osob (čtecí světlo, noční lampička). Všechny produkty LED EyeComfort značky Philips od společnosti Signify zohledňují vydané předpisy.

Reference:

- [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, Vizuální aspekty časově modulovaných osvětlovacích soustav – Definice a modely měření, září 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 a T. Troscianko, „Office workers visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting“, LEUKOS, vol. 1, pp. 27–46, 2005.
- [7] Veitch, J. A. a 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. a 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 a N. Narendran, „Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort“, Lighting Research and Technology, vol. 43, p. 337–348, 2011
- [11] Harding, G. F. A. a P. Jeavons, Photosensitive Epilepsy. London: Mac Keith Press, 1994.
- [12] Binnie, C. D., R. A. de Korte a T. Wisman, „Fluorescent lighting and epilepsy“, Epilepsia, vol. 20, pp. 725–727, 1979.
- [13] Harding, G. F. A. a P. F. Harding, „Photosensitive epilepsy and image safety“, Applied Ergonomics, 16. 10. 2008.
- [14] Fisher, R. S., G. F. A. Harding, G. Erba, G. L. Barkley a A. Wilkins, „Photic- and pattern-induced seizures: A review for the Epilepsy Foundation of America working group“, Epilepsia, vol. 46, pp. 1426–1441, září 2005.

- [15] Global Lighting Association: Optical and Photobiological Safety of LED, CFLs and Other High Efficiency General Lighting Sources
- [16] IEC 62471:2006, Fotobiologická bezpečnost světelných zdrojů a soustav světelných zdrojů
- [17] IEC TR 62778, Použití normy IEC 62471 k posouzení nebezpečnosti modrého světla pro světelné zdroje
- [19] EBERBACH, K. (1974). Der Einfluss der Leuchtdichtestruktur von Lichtquellen auf die Blendempfindung. *Lichttechnik* 6, pp. 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), pp. 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), pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 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), pp. 81–88.
- [30] ERDEM, L., TRAMPERT, K., NEUMANN, C. (2012): Evaluation of Discomfort Glare from LED lighting systems. Proceedings of Balkan Light 2012, Belgrade, pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 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), pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 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), pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 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 – Způsob měření a určení vlastností barevného podání světelných zdrojů
- [48] Teunissen C, van der Heijden FFW, 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, Požadavky programu Energy Star na žárovky, kritéria způsobilosti – verze 1.1.
- [52] IEC TR 61547-1:2017, Zařízení pro všeobecné osvětlovací účely – EMC – požadavky odolnosti – Část 1: Objektivní metoda zkoušky odolnosti proti kolísání napětí, 2. vydání.
- [53] IEC 61000-4-15, Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 4-15: Zkušební a měřicí technika. Flikrmetr. Specifikace funkce a dimenzování.
- [54] NEMA 77-2017, Temporal Light Artifacts: Test Methods and Guidance for Acceptance Criteria