

## EyeComfort tanıtım raporu<sup>1</sup>

Günümüz dünyasında ışık kalitesi, aydınlatmada kilit bir ayırt edici role sahip. Işık kalitesi, genel anlamıyla, ışığın görsel boyutları ile insan ve çevre ile bağlılıkları ve etkileşimi anlamına geliyor. LED'e geçiş, boyutsal, tayfsal ve zamansal ışık kalitesinde fark yaratmak için bize sonsuz seçenek sunuyor. Bizi ışık kalitesini değerlendirirken kullandığımız yöntemleri gözden geçirmeye zorluyor. Philips Aydınlatma, kullanıcı ihtiyaçlarını, aydınlatma uygulamalarına dair bilgileri ve bilimsel içgörülerini detaylı olarak bir araya getirerek sürekli ürün optimizasyonu yapıyor.

EyeComfort markasını aşağıdaki belirli parametreler ışığında yarattık: Titreşim, Stroboskopik etki, Fotobiyolojik güvenlik, Kamaşma, Parlaklık Ayarı, Ayarlanabilirlik, Renksel geriverim ve Duyulabilir gürültü.

LED ampul ve LED armatür ürün portföyümüz, bu parametreler üzerinden değerlendiriliyor. Bu tanıtım raporunda bu parametreler ve bu doğrultuda aydınlatma optimizasyonunun önemi açıklanıyor.

### Bilimsel Arkaplan

Philips EyeComfort LED, yukarıda belirtilen parametrelere bağlıdır:

#### 1. *Titreşim ve Stroboskopik etki*

Titreşim ve Stroboskopik etki, Zamansal Işık Artefaktları ("TLA'lar"). TLA'lar, belli bir ortamda bir insan tarafından gözlemlenen, zaman içerisinde yükselip düşen, ışık uyarısı, ışıklılık veya spektral dağılım ile ortaya çıkan, görsel algı değişimidir. Titreşim, statik bir ortamda statik bir gözlemci tarafından gözlemlenen, zaman içerisinde yükselip düşen, ışık uyarısı, ışıklılık veya spektral dağılım ile ortaya çıkan, görsel değişkenlik algısıdır. Diğer bir deyişle, ışığın odada rahatsız edici bir hızla dalgalanmasıdır.

Stroboskopik etki ise titreşimden farklı olarak statik olmayan bir ortamda statik bir gözlemci tarafından gözlemlenen, zaman içerisinde yükselip düşen, ışık uyarısı, ışıklılık veya spektral dağılım ile ortaya çıkan, hareket algısı değişimidir. Başka bir deyişle, stroboskopik etki hızlı hareket eden nesnelere, çok kısa süre içerisinde görünür kılarak "dondurabilir".

LED ampullerin bir özelliği de girdi sinyali değişikliklerine verdiği hızlı tepki. Böylece ışık çıktısındaki dalgalanmaları aslına uygun olarak yeniden yaratıyorlar; bu da aydınlanan ortamda TLA'lara yol açabiliyor. Dalgalanmaların şebekedeki bozukluklar, anahtarla etkileşimler (örn. dimmer'lar), harici kaynaklardan gelen girdi sinyalindeki bozukluklar (örn. Mikrodalga) ve elektronik sürücüden gelen, tasarlanmış dalgalanmalar gibi çeşitli nedenleri olabilir. LED'lerin ışık çıktısındaki dalgalanmaları bastırma ve aynı zamanda istenmeyen TLA'ların görülmesini azaltma yöntemleri olduğu biliniyor. Öte yandan, bu yöntemler, maliyet ve verimlilikten ödün verilmesini ve daha fazla fiziksel alan gerektirirken herhangi bir LED mimarisine sahip ürünlerin ömrünü kısaltıyor.

---

<sup>1</sup> EyeComfort tanıtım raporu, Ürün Geliştirme, Araştırma, Standartlar ve Düzenlemeler hakkında çeşitli bölgelerde (daha fazla) bilgi edinildikçe Philips Aydınlatma tarafından değiştirilebilir.

Kısa süre öncesine kadar titreşimin görünürlüğü ve stroboskopik etkinin ölçümü için Modülasyon Derinliği ve Titreşim Endeksi gibi çeşitli metrikler kullanılıyordu. Bu metriklerin hiçbiri insanların gerçek algısını veya deneyimini tahmin etmeye uygun değil. Titreşim ve stroboskopik etkiyi etkileyen faktörler arasında yer alan modülasyon derinliği, frekansı, dalga şekli ve görev döngüsü metriklerinde bu parametreler değerlendirmeye alınmıyor. Dolayısıyla İnsan Görme Sistemi'ne dayalı olarak geliştirilen bilimsel modellerde, görmemizi sağlayan sinir sisteminin bir parçası olan, insanın görsel algısı dikkate alınıyor. Titreşim ve stroboskopik etki için daha sağlam TLA metrikleri olarak sırasıyla  $P_{st}^{LM}$  ve SVM kullanılıyor [1,2]. Bu metrikler, Lighting Europe [3] ve NEMA [4] tarafından destekleniyor ve Philips EyeComfort LED aydınlatma değerlendirmesinde kullanılıyor.

### *Titreşim ve Stroboskopik etki bizi neden endişelendirmeli?*

Titreşim veya stroboskopik etki yaratan aydınlatma ürünleri, aydınlatma kalitesi düşük ürünler olarak kabul ediliyor [5-14]. TLA'lar insanlar için sinir bozucu olmalarının yanı sıra göz konforunu, genel konforu ve performansı da etkiliyor. Daha spesifik olmak gerekirse görünür TLA'lar görsel performansı düşürebiliyor, gözü rahatsız edebiliyor (yorgun gözler), baş ağrısı oluşumunu artırabiliyor ve sinir bozukluğuna sebep olabiliyor. Yapılan çalışmalarda, görünür titreşimlerin epilepsi nöbetlerini tetiklediği bazı vakalarla karşılaşıldı. [5-14]. Bu sebeple, Philips Aydınlatma EyeComfort LED ürünleri görünür titreşimleri ve stroboskopik etkiyi en aza indirmek üzere tasarlandı.

## *2. Fotobiyolojik güvenlik*

### *Mavi ışık tehlikesi*

Mavi ışık tehlikesi, retinanın fotokimyasal zarara uğramasıdır ve gözün maruziyetinin tayfsal bileşimine, şiddetine ve süresine bağlıdır. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) Fotobiyolojik güvenliğin değerlendirilmesi için bir standart hazırladı [16]. Kaynaklar, dört risk grubunda (0 = risk yok, 3 = yüksek risk) sınıflandırılıyor.

0 Risk Grubu: Lamba herhangi bir fotobiyolojik tehlike teşkil etmiyor

1 Risk Grubu: Normal davranış sınırları dahilinde herhangi bir fotobiyolojik tehlike yok

2 Risk Grubu: Parlak ışık veya termal rahatsızlık nedeniyle kaçınma tepkisi verildiğinden, tehlike teşkil etmez

3 Risk Grubu: Anlık maruziyette bile tehlikeli

Medyada yaygın olarak yer bulan bir yanlış anlaşılmaya göre LED aydınlatma, daha büyük oranda mavi dalga boyları içeriyor ve dolayısıyla mavi ışık tehlikesine sebep olma ihtimali daha yüksek. Bu konu hakkında kapsamlı araştırmalar ve ölçümler yapan Global Lighting Association, farklı aydınlatma teknolojilerinin tayfsal içeriğini ve yukarıda bahsedilen standardı kıyasladı ve pek çok bilim insanının katkılarından faydalandı [15].

Araştırmanın önemli bilimsel bulguları ise aşağıdaki gibidir:

- LED ampullerin mavi ışık tehlikesi bakımından akkor ve floresan aydınlatma gibi geleneksel teknolojilerden farkı yok. LED aydınlatmadaki mavi ışık oranı, aynı renk sıcaklığındaki diğer teknolojilerdeki orandan farklı değil.
- LED retrofit ürünleri, yerine geçmesi beklenen klasik ürünlerle karşılaştırıldığında risk seviyelerinin çok yakın olduğu ve kritik olmayan aralıkta olduğu ortaya çıkıyor.

- Tüketiciler, IEC 0 veya 1 Risk Grubu'na giren LED kaynaklarını (ampuller veya sistemler) ve armatürleri kullanabilirler.

### *Ultraviyole*

Tüketicinin kullanımına yönelik LED tabanlı ışık kaynakları, spektrumun UV kısmında herhangi bir enerji içermediğinden, daha yüksek UV ışığı hassasiyetine sahip kişilere zarar vermez.

### *Kızılötesi*

LED'ler akkor ve halojenin aksine çok nadiren kızılötesi ışın (IR) yayarlar. Tüketicilerin LED ışık kaynakları risk taşımaz çünkü kızılötesi radyasyonu o kadar güçlü değildir.

Göz güvenliği ise uluslararası standartlar ve rehber kurallar [16,17] ile değerlendirilir. Philips EyeComfort LED ürünlerinin tamamı 0 veya 1 Risk Gruplarında (RG0 / RG1) yer alır yani bu ürünlerin kullanımı, normal davranış sınırları dahilinde fotobiyolojik bir tehlike teşkil etmez veya ampuller fotobiyolojik tehlike taşımaz.

### *3. Kamaşma*

Kamaşma, konforlu aydınlatma konusunda en çok şikayet edilen konulardan biri. Kamaşma, bozucu ve rahatsız edici kamaşma olarak ikiye ayrılabilir. Bozucu kamaşma, görüş alanındaki bir kamaşma kaynağının sebep olduğu görsel performansın azalması anlamına gelir. Rahatsız edici kamaşma ise parlak ışık kaynaklarının yol açtığı rahatsızlık hissi olarak tanımlanır. Rahatsızlık hissi, kaynağın ışıklılığı, kaynak alanı, kaynağın görüş açısındaki konumu, arka plan ışığının durumu, faaliyet türü ve parlak ışığa maruziyet süresi gibi pek çok parametreye bağlı olarak değişiyor. Araştırmacılar yıllardır görsel rahatsızlık seviyesini ölçmeye çalışıyorlar. İç mekandaki işyerlerindeki (iş ortamı) kamaşma, genellikle UGR metriğiyle (Birleşik Kamaşma Endeksi) ölçülüyor. Bu ölçeğin temelinde, uzak alan şiddet dağılımına göre hesaplanan ortalama ışıklılık seviyeleri yer alıyor. LED aydınlatma çözümlerinde, çoğunlukla yüksek ışıklılık kontrastına sahip, tekdüze olmayan veya pikseli çıkış pencereleri görüyoruz. Araştırmalar, pikseli çıkış pencerelerinin, tekdüze çıkış pencereleriyle aynı ortalama ışıklılık seviyesinde (dolayısıyla aynı UGR değeri) olsalar da daha fazla bozucu kamaşmaya sebep olduğunu gösteriyor [19-35]. Bu da, mevcut UGR'nin tekdüze olmayan çıkış pencerelerinin kullanımına her zaman uygun olmadığını gösteriyor.

Mevcut UGR'nin uygulanabilirliğinin veya iyileştirilmesinin araştırılması, bozucu kamaşma tahmini için alternatif yöntemlerin keşfedilmesi, dikkate değer bir araştırma alanı. Mevcut UGR iyileştirmelerinde temel hedefler; UGR formülündeki konum endeksinin, görüş açısına bağlılığın hesaba katılarak düzeltilmesi, ortalama ışıklılığın düzeltilmesi, gözlemlenen aydınlık yüzeyin düzeltilmesi ve kamaşma kaynağındaki ışıklılık kontrastını ifade edecek ilave bir engel koyarak genel olarak düzeltilmesidir. [36-44]. Kamaşma için önerilen alternatif tanımlar, İnsan Görme Sistemi'nin (HVS) retina reseptör alanlarının modellenmesi ve bu modelin, odanın ışıklılık haritalarına uyarlanarak bozucu kamaşmanın ölçümüne dayanıyor [34]. Son yaklaşım ise yine insan görme sisteminin modellenmesine dayalı olan TLA metrikleriyle birebir aynı.

Tüketici ampulleri kategorisinde, kamaşmayı nicelik olarak ölçebilecek bir metrik bulunmuyor. Dahası, bir ampulün yarattığı kamaşma algısı da uygulamadan uygulamaya değişiyor. Bir ampul gözlemciye yakın bir masanın üzerinde, göz hizasında ve çıplak olarak bulunduğu odanın köşesindeki bir abajur içinde olduğundan daha çok kamaştırır. Kamaşmanın sebebi, genel anlamıyla yüksek ışıklılık, yüksek kontrast ve

kaynak boyutu gibi unsurların birleşimidir. Kamaşmayı önleyici tedbirler ise bu sebeplerin en az birini ele almalıdır; ışıklılığı azaltmalı, kontrastı düşürmeli veya kaynak boyutunu küçültmelidir. Philips LED aydınlatma portföyünde, kamaşma kontrolü özeliğine sahip olan veya olmayan ampulleri belirtiyoruz. Ampulünün üst kısmında dağıtıcı materyaller ve/veya pikseli şeritler bulunan kamaşma kontrollü bir lambada, aynı akiya ve aynı arka plan adaptasyonu özeliğine sahip, kamaşma kontrolsüz ampullere göre daha az kamaşma algısı yaratılıyor. Ampuller için halihazırda iyi bir ölçek mevcut değil, bu konu geleceğin araştırma alanlarından biri.

#### 4. Parlaklık ayarı

LED ürünlerinin parlaklık ayarlama özeliği, ışık şiddetini tercihinize göre değiştirme imkanı olarak tanımlanıyor. LED ürünlerinin parlaklık ayarı sayesinde her ortamda mükemmel ambiyansı veya fonksiyonel aydınlatmayı yakalayabilirsiniz. İnsanlar, çeşitli sebeplerle yapay aydınlatmanın parlaklığını ayarlamak istiyorlar. Öncelikle, ortamın ambiyansını değiştirebilmek istiyorlar (kısık ve loş, parlak ve enerjik). İkinci olarak, parlaklık ayarı, gün içerisinde farklı aktivitelere veya dışarıdaki ışığın seviyesine göre farklı akı seviyelerinin kullanılmasını sağlıyor. Örneğin, akşamları ışığı kısarak karanlık ortam ile LED ışık arasındaki kontrastı azaltabilir ve kamaşma ihtimalini düşürebilirsiniz. Parlaklık ayarının son avantajı ise enerji tasarrufu.

Parlaklık ayarı özeliği iyi uygulanmadığı takdirde kısık ışıpta görünür titreşim, düzensiz geçişler, yüksek asgari ışık seviyeleri gibi rahatsız edici ve istenmeyen etkiler ortaya çıkabiliyor. Bu problemler, LED sürücü devresi, şebeke gerilimindeki dalgalanmalar, şebekeye bağlanmış yükler ve dimmer bağlantısı gibi unsurlardan kaynaklanıyor. Kısık ayar sorunu, ışık seviyesindeki tekrarlı ve/veya düzensiz görünür değişimleri bastıran akıllı elektronik ürün tasarımlarıyla çözülebiliyor.

Philips EyeComfort LED kataloğundaki parlaklığı ayarlanabilir ürünlerde, kademeli ön ayarlar (SceneSwitch) veya tüm şiddet aralığını kapsayan kısma ayarları mevcut.

#### 5. Ayarlanabilirlik

Ayarlanabilir LED aydınlatması, üç kategoride tanımlanabilir:

1. Sıcak parlaklığını ayarlama: Akkor davranışını taklit etme becerisi (örn. Kısarken CCT, 2700K'den 2200K'ye düşüyor)
2. Beyaz ayarı: Işığın beyaz tonunu değiştirme becerisi (örn. 2700K – 6500K)
3. Renk ayarı: Işık rengini değiştirme becerisi (RGB)

Akkor ampul kısıldığında standart beyaz LED ışıklarının kısılmasından daha farklı bir aydınlatma deneyimi sağlanıyor. Kullanılan teknoloji dolayısıyla parlaklık ayarı yapılırken spiral akkorun sıcaklığı düşüyor ve daha kırmızımsı bir beyaz ışık yayıyor (daha düşük renk sıcaklığı). Buna karşılık, LED çipinin rengi parlaklık ayarı yapılırken değişmiyor. Buradan yola çıkıldığında, akkor ampulde ışığın hem şiddeti hem rengi değişirken LED ampulde yalnızca ışık şiddeti değişiyor, renk sıcaklığı ise aynı kalıyor.

Güzel ve loş ambiyanslar yaratmak isteyen insanlar, düşük ışık seviyelerini ve sıcak renkleri tercih ediyor [45] ancak bu durum, bölgeden bölgeye değişiklik gösterebiliyor. Bazı Philips EyeComfort LED ürünlerinde WarmGlow parlaklık ayarlama özeliği mevcut. İki farklı LED (2200K ve 2700K) ürünleri

kombinlenerek akkor parlaklık ayarı davranışı taklit edilebiliyor. WarmGlow özelliği, iki şekilde sunuluyor. Sabit, kademeli SceneSwitch ile tüm aralığı kapsayan WarmGlow ayarlama özelliği. (2700K-2200K).

Parlaklık ayarı, ambiyans etkisinin yanı sıra CCT değişikliğiyle bir araya geldiğinde insanların sirkadiyen ritimleri için de faydalı oluyor. Biyolojik saatimiz, bize ne zaman uyanıp ne zaman uykuya dalmamız gerektiğini söyler. Bu tepkileri kontrol eden parametrelerden biri ise ışığın yoğunluk ve eylem spektrumu [46]. İçerisinde çok fazla mavi barındıran yüksek ışık şiddeti, bizi uyanık ve tetikte tutarken mavi rengi az olan düşük şiddetli ışıklar ise uykumuzu getiren uyku hormonu melatonin salımını tetikliyor. Konuyla ilgili bir araştırma, mavi oranı güçlü ışıkların sabahları, uyanmaya yardımcı olmak üzere kullanılması gerektiğini ancak akşamları melatonin üretimini kısıtlayarak uykuya dalmayı zorlaştıracağı için bu tür bir ışıktan kaçınılması gerektiğini gösteriyor. Akşamları ise biyolojik ritmimizi rahatsız etmeyecek, kısık ve sıcak CCT ortamları en ideal tercih [46].

WarmGlow parlaklık ayarı özellikli Philips EyeComfort LED ürünleri hem ambiyans hem de insanın sirkadiyen ritmi açısından fayda sağlıyor.

## 6. Renksel geriverim

Renk kalitesi, kullanıcıların belli bir uygulamadaki aydınlatma algısı tercihi ve beğenisiyle ilişkili bir konu. Beyaz ışık kaynaklarının renk kalitesi, mekanların, nesnelerin ve insanların görünümünü etkiliyor. Düşük renk kalitesi, görsel olarak ayırt etme ve aydınlatılmış mekanlarda, nesnelere veya insanlarda isabetli renksel geri verim oranını azaltır. Örneğin, insan ten rengi, bitkiler ve yiyecekler, düşük renksel geri verim oranına ve/veya düşük renk doygunluğuna sahip ışıklarda donuk veya doygunluğu düşük olarak görünebilir.

Beyaz ışık kaynağının renksel geriverimi, bir aydınlatıcının, nesnelerin renksel görünümü üzerindeki etkisidir; bilinçaltında veya bilinçüstünde referans bir aydınlatıcının renk görünümü ile kıyaslanarak bulunur. [47] Beyaz ışık kaynağının renksel geriverim kapasitesi, sekiz adet spesifik orta doygunluktaki CIE 1974 deney-renk numunesinin kullanıldığı genel renksel geriverim endeksi (CRI-Ra) ile ölçülüyor ve belirleniyor. 100 CRI, deneye tabi kaynağın altındaki renklerin geriveriminin, referans kaynak altındaki renklerin geriverim oranına eşit olduğu anlamına gelir (5000K'dan küçük CCT'ler için referans değer akkordur)

Kullanıcı tercihleri, sadece doğrudan CRI değeriyle bağlantılı olmuyor. Bir ışık kaynağının yüksek CRI oranına sahip olması, her zaman en ideal seçenek değildir. Başta kırmızı olmak üzere renk doygunluğu da (canlılık) tercihte önemli bir etken [48,49,50]. İnsanlar çoğunlukla fazla doygunluğu tercih ediyor çünkü bu durumda nesnelere daha renkli görünüyor. Ten rengi görünümü için yapılan tercihler de kültürden kültüre değişiyor.

Belli bir uygulamada, renk doğruluğu (CRI) ile renk doygunluğu arasındaki dengeyi bulmak önemli. Philips EyeComfort LED ile renklerin daha iyi şekilde ayrıştırılmasını ve kaliteli renk özelliklerine sahip LED ampullerle estetik olarak gelişmeyi hedefliyoruz.

## 7. Gürültü

LED ampuller özellikle kısık seviyelerde kullanıldıklarında duyulabilir bir gürültüye sebep olabilirler. Oluşan gerilim ve akım, parçalar üzerinde mekanik rezonansa yol açabilir. Bu gürültü, çok sinir bozucu ve

rahatsız edici olabilir. Bu nedenle, Energy Star işitilebilir gürültü seviyelerine dair bir gereklilik listesi oluşturdu.

Energy Star'ın işitilebilir gürültü şartlarına göre, lambalar 1 metre mesafede 24 dBA seviyesinin üzerinde gürültü çıkarmaz [51]. Bu eşik, evin tamamen sessiz olan salonundaki lambalar (20 dBA civarında) veya insanların yakınındaki lambalar (okuma ışığı, başucu lambası) için yeterince katı değil. Tüm Philips EyeComfort LED ürünlerinde, yayımlanmış mevzuat dikkate alınır.

#### Referanslar:

- [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\\_aui=i5VMrMH4n4J8p7jb](http://www.nema.org/Standards/Pages/Temporal-Light-Artifacts-Flicker-and-Stroboscopic-Effects.aspx?_sm_aui=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, pp. 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, 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. 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, p. 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, pp. 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, pp. 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, p. 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), 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. In: *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, Beijing, 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. In: CIE (Hg.): Proceedings of the 26th Session of the CIE, Beijing, 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, Turkey, 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, Seoul, Korea, 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, South Africa, 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. In: *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, Belgrade, 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, France, 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, UK, p. 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, p. 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), 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, 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, 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, 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, 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, UK, p. 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, 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, 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.*