

Tartalom

1. Háttér	2
2. Összefoglaló megállapítások	2
3. A LED és az optikai biztonság	2
4. A fotobiológiai rizikó becslése és konklúziók	2
4.1 A kék fény kibocsátással kapcsolatos végkövetkeztetések	3
4.2 Az UV-sugárzással kapcsolatos végkövetkeztetések	3
4.3 Az infravörös sugárzással kapcsolatos végkövetkeztetések	4
1. melléklet: Az optikai sugárzás szemre és bőrre kifejtett hatásai	4
2. melléklet: A háztartásokban használt fényforrások spektrális összehasonlítása	4
3. melléklet: A fényforrások kék fény kibocsátási adatai	6
4. melléklet – A terminológia magyarázata	8

A LED-világítás optikai biztonsága 2(9)

(Forrás: a CELMA közleménye, 1. kiadás, 2011, www.celma.org)



1. Háttér

Az izzólámpáknak az Európai Unióban és számos más országban történő kitiltásával és sok új LED-es fényforrás (lámpák, modulok) és lámpatestek bevezetésével felmerül a kérdés, hogy vajon a LED-lámpák és a beépített meghajtóval rendelkező energiatakarékos kompakt fénycsövek spektrális jellemzői elég jók-e ahhoz, hogy ezekkel a fényforrásokkal lecseréljük a hagyományos izzólámpákat? Ezek az aggodalmak általában a bőrüket vagy szemüket érő bizonyos – főként a spektrum UV és kék tartományába eső – sugárzásra különösen érzékeny embercsoportoknál vetődik fel. Jelen kiadvány a fehér fényű fényforrásokra és azoknak a háztartásokban történő felhasználására fókuszál.

(L. a CELMA korábbi hasonló tárgyú közleményét a HOLUX Hírek 78. (2010. márciusi) számában – A Szerk.)

2. Összefoglaló megállapítások

Gyakran hangsúlyozzák, hogy a LED-alapú fényforrások abban különböznek a hagyományos lámpáktól, hogy nagyobb arányban tartalmaznak kék hullámhosszúságú fényt és így valószínűbb, hogy problémákat okoznak, például az ún. kék fény okozta károsodást (blue light hazard). Felismerve a kérdés fontosságát, az európai világítástechnikai ipart képviselő ELC és CELMA összeállította a jelen részletes kiértékelést az otthoni használatra szánt közönséges LED-fényforrások fotobiológiai biztonságáról a hagyományos izzólámpákkal összevetve. A hangsúlyt a háztartásokban használatos fehér fényű fényforrásokra helyezték.

A kulcsfontosságú megállapításokat összegezve: a LED-fényforrások (lámpák és rendszerek) és -lámpatestek biztonságosak a felhasználó számára, ha a tervezettnek megfelelően használják azokat. A fotobiológiai biztonságuk szintjét tekintve a LED-lámpák nem különböznek a hagyományos technológiákkal készültől, pl. az izzólámpáktól és a fénycsövektől. A LED-ekben a kék fény aránya nem tér el az ugyanolyan színhőmérsékletű, más technológiákat használó lámpák kék fényének részarányától. A retrofit LED-termékeknek a velük lecserélni szándékozott hagyományos termékekkel történő összehasonlítása azt mutatja, hogy a rizikószintek nagyon hasonlóak és jóval a nem kritikus tartományon belül vannak. Mindazonáltal kerülni kell azt, hogy egyenesen belenézünk egy nagy fényű pontszerű fényforrásba (LED-ekbe, vagy más, erős fényű pontszerű

fényforrásba, pl. világos burájú izzólámpa, kisülőlámpa vagy a Nap fényébe). Ugyanakkor, ha véletlenszerűen mégis belenézünk egy erős fényű fényforrásba, természetes védekező reflex lép fel (ösztönösen lehunyjuk a szemünket, vagy félrekapjuk a fejünket). Meg kell említeni, hogy a kék fény hatásának történő kitétel, expozíció fontos az emberek szempontjából. A 460-480 nm körüli csúcscsal rendelkező kék fény szabályozza ui. a biológiai órát, az élnépséget és az anyagcsere-folyamatokat. Természetes feltételek között a külső napfény teljesíti ezt a funkciót. Az emberek azonban a nap túlnyomó részében belső terekben (irodáknak stb.) vannak, és gyakran nem töltenek elegendő időt kék fény hatása alatt. A kék és a hidegfehér fényű fényforrások felhasználhatók olyan világítási feltételek előállításához, amelyek során az emberek megkapják a kék fénynek azt a napi adagját, ami ahhoz szükséges, hogy fenntartsák a fiziológiai összhangot a nappal és éjszaka természetes ritmusával. Igen rugalmas alkalmazási lehetőségeik folytán a LED-alapú fényforrások különösen alkalmasak ilyen célra.

3. A LED és az optikai biztonság

Az optikai biztonság a megelőzésre vonatkozik (az optikai sugárzással – a 100 nm-től 1 mm-ig terjedő hullámhosszúságú elektromágneses sugárzással – összefüggő veszélyekre vonatkozó európai szabályozásban (2006/25/CE direktíva) az EN 62471 szabványban definiált expozíciós határértékek szerepelnek. A szemre és a bőrre kifejtett hatást is számításba veszik a nagyobb érzékenységgel rendelkezők esetén. Az utóbbi csoport által felvetett aggályokra válaszként az 1. melléklet részletesebb megfontolásokat tartalmaz e speciális csoporttal kapcsolatosan.

A szemre ható legáltalánosabb veszély a kék fény okozta károsodás (blue light hazard = BLH) és az időskori makuladegeneráció (age related macular degeneration = AMD), amelyeket a nagy intenzitású kék fény idézhet elő vagy súlyosbíthat. Amikor közvetlenül belenézünk egy nagy fényerejű fényforrásba, a retina fotokémiai károsodása (kék fény okozta károsodás) léphet fel a fény intenzitásától vagy a hatásnak való kitétel idejétől függően. Ez a jelenség a Napba való nézésről ismert. A retinakárosodások megelőzésére megfelelő szemüveget kell felvenni, ha pl. napfogyatkozást szemlélünk. Fényes, napos időben azonban természetes reflex lép fel (szemhéjak bezáródása, elfordulás), ami védi a szemet a károsodástól.

Az ultraibolya (UV) fény is hatással van a szemre, szürkehályogot vagy „hóvaksgot” (szaruhártya-leégést) okoz.

Az infravörös (IR) fény is okozhat szürkehályogot (IR szürkehályognak vagy üvegfüvök szürkehályogjának is nevezik), és persze valamennyi hullámhosszú, extrém nagy erősségű fény előidézhetheti a retina termikus sérülését.

Az optikai sugárzás befolyásolhatja a bőrt is, például leégést okoz, vagy súlyosabb esetben rákot is az UV sugárzásnak történő hosszú idejű expozíció esetén. Vannak olyan betegcsoportok – például lupuszban vagy fotodermatózisban szenvedők –, akik különösen érzékenyek az UV fényre (és néha a kékre is).

Megjegyzendő, hogy a fent említett hatásokat túlnyomórészt a természetes napfény okozza; némelyiküket mesterséges fény sosem váltja ki. Mindenesetre a mesterséges fényforrások optikai biztonságát garantálni kell, és a fényre érzékenyeket olyan fényforrásokkal kell ellátni, amelyek az izzólámpák megfelelő és biztonságos alternatívájának tekinthetők.

4. A fotobiológiai rizikó becslése és konklúziók

A kék fény okozta fotokémiai károsodást az EN 62471 szabvány alapján lehet kiértékelni, amely a fényforrásokat 0., 1., 2. és 3. rizikócsoportba sorolja (a „0=nincs rizikó”-tól a „3=nagy rizikót jelentő csoport”-ig). A Napot a legnagyobb számjegyű rizikócsoportba lehetne sorolni.

A CELMA és az ELC tagvállalatai biztosítják azt, hogy a termékeik kielégítsék a fotobiológiai biztonsági szabványt.

A rizikót az egyes rizikócsoportokhoz különböző mérési kritériumok alapján lehet hozzárendelni.

Az egyik azt a távolságot méri, ahol 500 lux (tipikus érték az általános célú világítás esetén) megvilágítás érhető el. Az EN 62471 szerint az 500 lux-os kritériumot általános világításra szánt lámpákhoz kell alkalmazni (irodák, iskolák, lakások, gyárak, utak világításához vagy autólámpákhoz).

A másik kritérium a fotobiológiai biztonságot 200 milliméteres távolságból méri. A 200 mm-es kritériumot minden lámpához alkalmazni kell (ide értve például olyan professzionális felhasználásra szánt lámpákat mint a filmvetítéshez, másoláshoz, napon történő cserzéshez, ipari folyamatokhoz, gyógykezelésekhez és keresőfényekhez használt típusokat is). Alapvető módon indokolt megtenni ezt a megkülönböztetést, noha senki sem néz pl. az iroda menynyezetére szerelt lámpatestbe 200 mm-ről,

A LED-világítás optikai biztonsága 3(9)

de bizonyos ipari folyamatoknál előfordulhat, hogy a dolgozónak 200 mm-es távolságból kell belenéznie fényforrásokba, pl. minőségellenőrzés során.

Bizonyos esetekben speciális utasításokra van szükség a szem károsodásának megelőzésére.

Amikor fényforrásokat szerelünk egy lámpatestbe, az RG rizikóbesorolás a lámpatestben használt optika következtében megváltozhat:

1. Ha a lámpatestbe 0. vagy 1. rizikóosztályba sorolt fényforrást szerelünk, új tesztekre nincs szükség.
2. Olyan lámpatest esetén, amelyben nem tervezzük cserélni a 2. vagy 3. rizikóosztályú beépített fényforrást, új tesztekre nincs szükség, de a termékinformációnak jeleznie kell az említett rizikóosztályt.
3. Olyan lámpatest esetén, amely a használt 2. vagy 3. rizikóosztályú fényforrás eredeti jellemzőit bármilyen formában megváltoztatja, új mérést kell végezni a lámpatest osztályozásához.

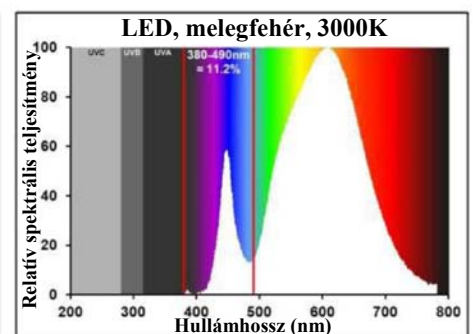
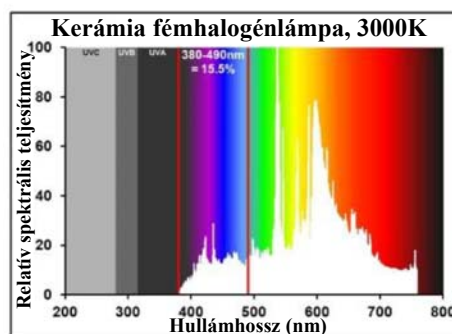
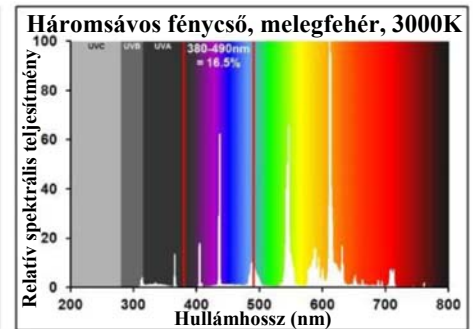
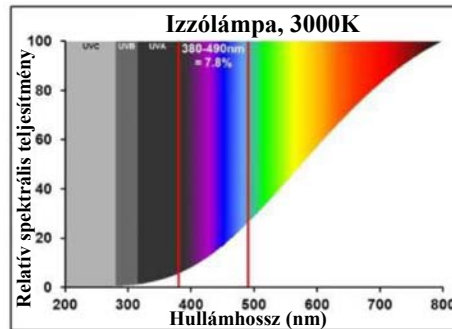
4.1 A kék fény kibocsátással kapcsolatos végkövetkeztetések

Kiértékelés 500 lux-ot eredményező távolságban

Az 500 lux-os kritériumot tekintve mérési alapként, a LED-termékek egyike sem tartozik a 2. rizikócsoporthoz. Ezt 2010-ben az élelmiszerekkel, a környezettel és a munkavégzéssel kapcsolatos egészségbiztosítási kérdésekkel foglalkozó francia ügynökség (ANSES) is megerősítette egy tanulmányában (l. részletesen a HOLUX Hírek 90. (2011. márciusi) számában – A Szerk.), amely kimutatta, hogy még a nagy fényáramú LED-ek is a 0., ill. 1. rizikócsoporthoz sorolhatók az 500 lux-os kritérium alkalmazása esetén.

A LED-ek összehasonlítása más fényforrásokkal

A fotobiológiai biztonság tekintetében a LED-ek alapvető módon nem különböznek a hagyományos technológiákat használó fényforrásoktól, pl. az izzólámpáktól vagy a fénycsővektől. A kék fény részaránya a LED-ekben nem nagyobb, mint az azonos színhőmérsékletű, de más technológiákon alapuló fényforrásoknál (l. a 3. melléklet 2. ábráját, amely sokféle termék károsodást okozó kék fény kisugárzását mutatja összehasonlítható színhőmérsékleten). Ha a lecserélésre szánt retrofit LED-eket azokkal a termékekkel hasonlítjuk össze, amelyeknek lecserélésére szolgálnak (pl. a LED MR16-ot a halogén MR16-tal, vagy egy becsavarható fejű retrofit LED-et



1. ábra – Különböző fényforrások relatív spektrális teljesítményeloszlása

belülhomályos izzólámpával), ugyanolyan rizikócsoporthoz tartoznak.

Elővigyázatossági rendszabályok gyermekek esetén

A gyerekek szemlencséje rosszabb hatékonysággal szűri ki a kék fényt, mint a felnőtteké, azaz érzékenyebbek a kék fény okozta károsodásra. Ezért a gyerekek által sűrűbben látogatott helyeknél különös gondot kell fordítani a fényforrások és lámpatestek oly módon történő megválasztására és felszerelésére, amivel elkerülhető, hogy közvetlenül a fényforrásba nézhessünk.

A fenti megállapítások okán nem szükséges, hogy a LED-eket (vagy általában a kék fényt) kerüljük a gyerekek által látogatott környezetekben. Ha nagy felületen vagy területen oly módon használjuk, hogy ne okozzon káprázást, még a „tisztán” kék fény is teljesen veszélytelen – tekintet nélkül arra, hogy azt a napfény, LED vagy más fényforrás kelti.

Kék fényre erősen érzékeny személyekre vonatkozó tanácsok

A fenti megállapítások az átlagos közösségek egészséges tagjaira érvényesek. A kék fényre erősen érzékeny bőrű vagy szemű emberek esetén tanácsos megvizsgálni alternatív fényforrásokat, amelyek olyan – specifikusabb – sugárzási sávban működnek, amely nem fedi le a sugárzások széles tartományában működő típusok spektrumát. A jelen tanulmány mel-

lékleteiben megadott összehasonlító adatok útmutatóul szolgálnak az adott érzékenységhez legjobb fényforrástípus kiválasztásához.

A kék fény biológiai fontossága

Fontos megemlíteni, hogy a kék fény hatásának való kitétel fontos az emberek számára. A kb. 460-480 nm-es csúcshatárú kék fény szabályozza a biológiai órát, az élnépséget és az anyagcsere-folyamatokat. A CELMA és az ELC felállított egy speciális munkacsoportot azzal a céllal, hogy átültessék ezeket a megállapításokat gyakorlati alkalmazási normák és szabványok formájába. Természetes feltételek között a külső napfény teljesíti ezt a funkciót. Az emberek azonban a nap túlnyomó részében belső terekben (irodáknak stb.) vannak, és gyakran nem töltenek elegendő időt kék fény hatása alatt. A kék és a hidegfehér fényű fényforrások felhasználhatók olyan világítási feltételek előállításához, amelyek során az emberek megkapják a kék fénynek azt a napi adagját, ami ahhoz szükséges, hogy fenntartsák a fiziológiai összhangot a nappal és éjszaka természetes ritmusával. Igen rugalmas alkalmazási lehetőségeik folytán a LED-alapú fényforrások különösen alkalmasak ilyen célra.

4.2 Az UV-sugárzással kapcsolatos végkövetkeztetések

A LED-alapú fényforrások egyáltalán nem emittálnak UV-fényt (a kimondottan ilyen célra készülő kivételével), ezért nem

A LED-világítás optikai biztonsága 4(9)

veszélyesek a bizonyos UV-sugárzásra különösen érzékenyek számára, és enyhülést okozhatnak bizonyos betegcsoportok esetén. E tekintetben a LED-alapú fényforrások előnyt jelentenek a hagyományos izzólámpákkal, a halogénlámpákkal és a kompakt fénycsövekkel szemben. Részletesebben 1. a 2. mellékletben.

4.3 Az infravörös sugárzással kapcsolatos végkövetkeztetések

A többi fényforrás többségével – pl a halogénlámpákkal és izzólámpákkal – szemben a LED-ek alig emittálnak infravörös fényt (a kimondottan bizonyos típusú IR-fény kibocsátására konstruáltak kivételével). A beltéri fényforrások rendelkezésre álló típusai esetében az infravörös sugárzás nem olyan erős, hogy az bármilyen veszélyt is jelentene az emberekre.

1. melléklet: Az optikai sugárzás szemre és bőrre kifejtett hatásai

A szemre kifejtett lehetséges hatások

A szemre kifejtett befolyás szempontjából általánosságban tárgyalt hatás a *kék fény okozta károsodás* (blue light hazard=BLH) és az *időskori makuladegeneráció* (age-related macular degeneration=AMD), amelyet a nagy intenzitású kék fény kiválthat vagy felerősíthet. Az ultraibolya fény is hatással van a szemre, szürkehályogot vagy „hóvakaszt” (szaruhártyaleégést) okoz. Az infravörös (IR) fény is okozhat szürkehályogot (IR szürkehályognak vagy üvegfúvók szürkehályogjának is nevezik), és persze valamennyi hullámhosszúságú, extrém nagy erősségű fény előidézhetheti a retina termikus sérülését. A következőkben egy kicsit részletesebb háttérmagyarázatot is adunk.

A *kék fény okozta károsodás* (BLH) a retina nagyenergiájú rövidhullámú fény okozta lehetséges sérülése. A (400-500 nm-es rövid hullámhosszúságú) kék fény igen nagy intenzitások esetén fotokémiai-károsíthatja a fotopigmenteket (és néhány másfajta molekulát), amelyek azután szabadgyökként hatnak és a retina sejtjeinek visszafordíthatatlan, oxidációs sérüléseit okozzák (egészen a vaksáig fokozódva). Az ilyen sérülések kialakulásában három tényezőnek van kritikus szerepe: először is a *sugárzás spektrális eloszlásának* (spectral irradiance distribution) (a kék fény okozta károsodás spektrális érzékenységi tartományába eső részarány az érdekes; matematikailag: a sugárzás spektrális

érzékenységi görbéjével súlyozott integrált spektrális eloszlása); másodsor a *sugársűrűségnek* (radiance) (nagyobb erősségű sugárzásnál valószínűleg több foton ütközik fotopigmentekkel és okoz sérüléseket); és végül harmadszor a *behatás, az expozíció időtartamának* (hosszabb expozíció esetén a hatások folyamatosan erősödnek). Például ha közvetlenül belenézünk a Napba, a retina az óriási sugárzás következtében igen gyorsan károsodik. Ezzel ellentétben – noha az égbolt esetén a kék fény viszonylagos részaránya jóval nagyobb, az égbolt szórt fénye által okozott retinakárosodásnak nincs veszélye, mivel a sugársűrűség túl alacsony.

Az *időskori makuladegeneráció* (AMD) a központi látómező (makula) vizuális romlása, főként az időseké. A kék fény elősegítheti ezt a folyamatot. A jelenlegi tudományos irodalom szerint a retinasejtekben a kor előrehaladtával egyre jobban felhalmozódó *lipofuscin* molekula sérül az oxidációs károsodásokat kiváltó kék fény hatására.

Jegyezzük meg, hogy az időskori makuladegeneráció nem lesz nagyobb, ha hosszabb ideig kerül valaki kék fény hatása alá fiatalabb éveit alatt, pl. a túlnyomórészt kültéren végzett szakmát folytatók – tengerészek, farmerek – esetén. A kék fény okozta károsodáshoz hasonlóan az időskori makuladegenerációt befolyásoló releváns tényező a sugárzás spektrális eloszlása és a sugársűrűség. De a kék fény okozta károsodással ellentétben az időskori makuladegenerációt nem válthatja ki a küszöbérték feletti egyszeri nagy fénydózis, hanem azt a kék (és zöld és sárga) fény hatásának történő hosszú idejű expozíció befolyásolja – még esetleg kisebb dózisok esetében is. Jegyezzük meg azonban azt is, hogy nem a kék fény a fő rizikófaktor; a legfrissebb orvosi irodalom genetikai (ERCC6 gén) és környezeti tényezőket – életkort, dohányzást, magas vérnyomást és a diétát – tartja az időskori makuladegeneráció kiváltó okának, elősegítőjének.

A *szürkehályog* (cataract) a kor előrehaladtával kifejlődő rendellenesség. Amikor megszületünk, kristályos szemlencsénk teljesen átlátszóak a fény számára. A természetes öregedés és az UV-sugárzás elnyelésének hatására a lencsék opálössz/sárgává válnak, ami akadályozza a fény útját. Ennek az életkorfüggő problémának a súlyosabb formáját nevezik szürkehályognak. Mellékhatásként: a sárgává váló lencsék szűrőként viselkednek a kék fényrel szemben, így idősebb korban a retina egyfajta természetes védelméül szolgálnak.

Súlyosabb esetekben sebészi beavatkozásra (a lencsék eltávolítására – aphakia – vagy cseréjére – pseudophakia) lehet szükség. Az ilyen páciensek és a gyerekek gyakran érzékenyebbek a kék fényre, mint az egészséges felnőttek.

A bőrre kifejtett lehetséges hatások

Az optikai sugárzás – különösen az UV-fény – ártalmas lehet a bőrre. Messze a Nap a legveszélyesebb forrás. A hosszú idejű napfénydózis okozta *leégések* (UV erythema) és *bőrrákok* jól ismert sugárzással kapcsolatos problémák. Ezenkívül az *autoimmun betegségekben* – pl. *lupuszban* vagy *photodermatosisban* – szenvedők különösen érzékenyek lehetnek az UV-sugárzással szemben – és néha a kék fényrel szemben is. Az ilyen érzékenységekben szenvedők közül sokakat aggodalommal tölthet el az, hogy a jól ismert izzólámpák kivonása olyan beltéri fényforrások nélkül hagyhatja őket, amelyeknek kicsi az UV-és kék fény tartalma.

2. melléklet: A háztartásokban használt fényforrások spektrális összehasonlítása

Ebben a fejezetben a fényforrások különböző típusai (LED-ek, kompakt fénycsövek, halogénlámpák) spektrális adatainak grafikai ábrázolását és kvalitatív értékelését adjuk (a kvantitatív értékelést a 3. melléklet tartalmazza). A hangsúlyt a fényforrások különböző típusai spektrumának kék és UV-fény tartalmára helyeztük a legtöbb felhasználó két világítási „arany” standardjával – a napfényrel és az izzólámpával – összevetve. Spektrális sugárzási méréseket végeztünk a szokásos fényforrások spektrumainak előállítására érdekében – minden mérést 500 lux megvilágítási szinten, az EN 62471 nemzetközi szabvány előírásainak megfelelően.

Tájékoztatóul: az 500 lux a beltéri munkahelyek, pl. irodák világításánál széles körben elterjedt megvilágítási szint; a lakásokban a megvilágítás a pl. TV-sarkokban használt 50 lux és az ebédlőasztalnál vagy a konyhákban szokásos 500 lux között változik. Kültéren a beltéri világítási szint többszöröse tapasztalható: a borult égre jellemző 5000 luxtól a napos ég 50 000 luxos értékéig.

1. megjegyzés: A mért fényforrásokat logaritmikus skálán ábrázoltuk, mivel a lineáris skála nem mutatná jól a különböző görbék közötti eltéréseket.

A LED-világítás optikai biztonsága 5(9)

2. megjegyzés: A fényforrások spektrális görbe alatti területe a spektrum adott részében (pl. a kék emisszió tartományában) mérhető energiát adja. Amikor adott rizikó – pl. a kék fény okozta károsodás vagy a fotokémiai hatású UV-sugárzás – iránt érdeklődünk, akkor a területet súlyozni kell a kék fény okozta károsodás vagy a fotokémiai hatású UV-sugárzás érzékenységi görbéjével (a kék fény okozta károsodásról vagy a fotokémiai hatású UV-sugárzásról részletesebben l. a 4. mellékletet).

A LED-ek spektrális jellemzői

A 2. ábra első grafikonján különböző LED-fényforrásokat hasonlítottunk össze egy izzólámpával és a napfényvel. A fehér LED-eknek tipikusan van egy csúcsuk a kék tartományban (kb. 450 nm-nél királykék LED-ek esetén), és nagyobb mértékű szélessávú emissziót mutatnak a spektrum zöld/sárga részén. A kék csúcs közelében, 490 nm környékén „gödör” látható, amely szintén a kék fény okozta károsodás (BLH) érzékenységi görbéje (itt vízszintes kék vonal jelöli) alá esik. Ez a gödör „kompenzálja” a LED-lámpák kék csúcsát, ezért egy 2700K-es LED által kibocsátott fény teljes kék komponense (a görbe alatti terület!) összevethető a 2700K színhőmérsékletű izzólámpáéval.

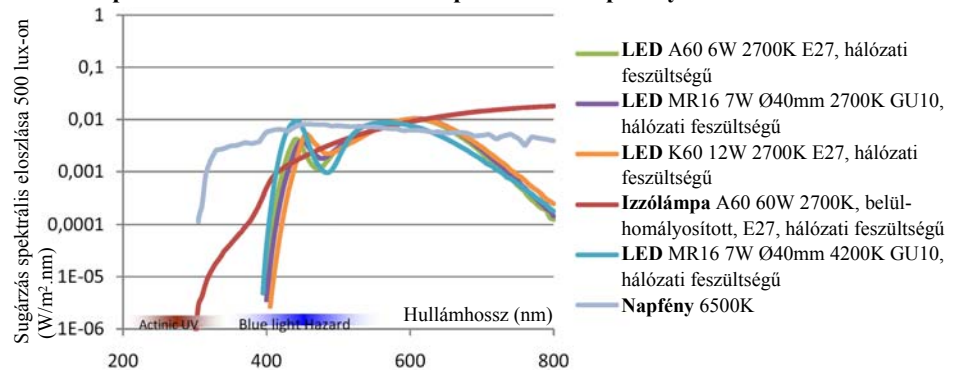
A beépített elektronikával rendelkező energiatakarékos kompakt fénycsövek spektrális jellemzői

A 2. ábra középső részén két szokásos, beépített elektronikával készülő, energiatakarékos kompakt fénycső spektrumát hasonlítjuk össze egy izzólámpa és a napfény spektrumával. A kompakt fénycsövek tipikus spektruma több „éles” csúcsot és gödröt tartalmaz. Ha a görbe alatti területet szeretnénk megvizsgálni a kék sugárzás meghatározásához, a csúcsok és a gödrök ismét csak kioltják egymást. Figyeljük meg, hogy a magas csúcsok igen keskenyek, ezért nem sokban járulnak hozzá a kék sugárzáshoz (amint az intuitíve látható is a grafikonokból). Baloldalon a spektrumgörbék enyhén benyúlnak a fotokémiai hatású UV-sugárzás spektrumába. Ugyanakkor – miután az adatokat logaritmikus tengelyen ábrázoltuk – a fotokémiai hatású UV-rész energiája nagyon kicsi (!) és jól láthatóan a természetes napfény emissziói alá esik.

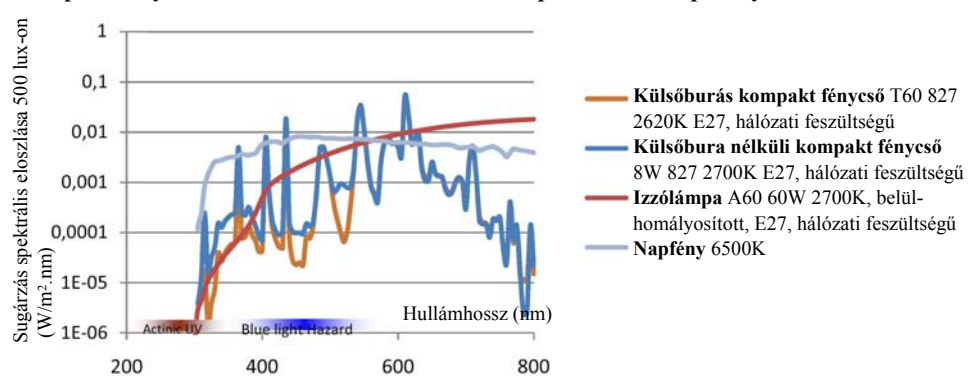
A halogénlámpák spektrális jellemzői

A 2. ábra alján különböző halogénlámpákat hasonlítottunk össze egy izzólámpával és a napfényvel. A halogénlámpák spektrális görbéi az izzólámpákéhoz hasonló alakot mutatnak: a görbék folyamatosan

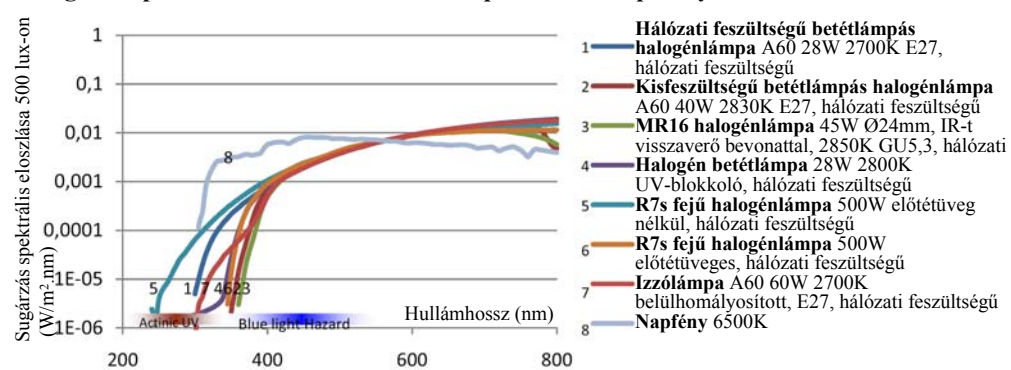
LED-lámpák összehasonlítása az izzólámpákkal és a napfényvel



Kompakt fénycsövek összehasonlítása az izzólámpákkal és a napfényvel



Halogénlámpák összehasonlítása az izzólámpákkal és a napfényvel



2. ábra – Különböző általánosan használt fényforrás spektruma reprezentatív napfény-spektrummal összehasonlítva, ugyanolyan megvilágítási szintek esetén. A fotokémiai hatású UV és a kék fény okozta károsodás (BLH) görbéjét barna, illetve kék vonalak illusztrálják, a színek erőssége pedig a hatékonyságot (amint azt pl. az EN 62471 előírja, l. a 4.3. mellékletben).

emelkednek a nagyobb hullámhosszakon és ismét lefelé hajlanak az IR tartományban, ezért a halogénlámpák jó alternatívát kínálhatnak az izzólámpák helyett. A zöld görbe infravörös fényt visszatükröző bevonattal ellátott halogénlámpára vonatkozik (a görbe jól láthatóan lefelé hajlik az IR tartományban). A lila görbe azt mutatja, hogy az UV-fényt kiszűrő kvarc valóban jó hatással távolítja el az UV-komponenst, igen közel kerülve ezzel az izzólámpa görbéjéhez. A többi típus nagyobb UV-tartalmat mutat, mint az izzólámpa, különösen a két végén fejezt 500W-os típus, de ezt a lámpafajtát mindig megfelelő elötétítéssel (fényárlámpák) vagy meg-

felel burkolatban (felfelé sugárzó lámpák) együtt használják. Az elötétítve típus görbéje nagyon közel fut az izzólámpáéhoz. Figyeljük meg, hogy a napfényvel összehasonlítva valamennyi lámpa UV-komponense meglehetősen alacsony, mivel a skála logaritmikus, nem pedig lineáris.

Összefoglalás

Noha a LED-ek, a beépített elektronikájú kompakt fénycsövek, a halogénlámpák és az izzólámpák spektrumának eltérő a „tipikus alakja”, a kék fény részaránya nem különbözik jelentősen a különböző technológiáknál (azonos színhőmérsékletű ese-

A LED-világítás optikai biztonsága 6(9)

tén) és mindig lényegesen kisebb, mint a napfény kék (vagy UV-) összetevője. Az UV-kibocsátás az általános világításra szánt valamennyi lámpa esetén jóval az EN 62471-ben meghatározott expozíciós határértékek alatt van. Az általános világításhoz használt LED-ek mentesek az UV-fénytől (a kimondottan UV-fény kibocsátására szolgáló speciális típusok kivételével).

A 2. ábrán bemutatott különböző lámpatípusok magyarázata

Halogénlámpák: vannak közöttük kifesztésű (12V-os) és hálózati feszültségű (230V/2800K) típusok, betétlámpa, valamint speciális halogénlámpa-foglalatban működő reflektoros típus (MR16), illetve a jól ismert izzólámpa burájába beépített – azok cseréjére alkalmas – változat (E27).

Energiatakarékos kompakt fénycsőek: beépített elektronikájú eszközök külső bura nélkül, vagy külső burába szerelve.

Izzólámpa: a piac „arany standard”-nak tekinthető lámpája.

LED: az izzólámpák, a halogén reflektorlámpák (MR16) és a T8-as fénycsőek alternatívájának tekinthető fényforrások.

Napfény: a CIE hivatalos, 6500K-es napfény-görbét vettük alapul.

3. melléklet: A fényforrások kék fény kibocsátási adatai

A LED-ek (és más fényforrások) által kiváltott kék fény okozta károsodás kiértékelésénél két alapvető módon eltérő esetet kell megvizsgálni.

A eset: megvilágított jelenet szemléltetése

Az emberek az esetek túlnyomó többségében megvilágított képet, jelenetet szemléltetnek: tipikusan a napfény világítja meg a „képet”, és mindenki igyekszik közvetlenül nem belenézni a fényforrásba, a Napba. Vagy – beltéri világításnál – mesterséges fényforrások világítják meg a helyiséget, miközben a lámpatestek megakadályozzák a fényforrásra történő közvetlen rálátást – elsősorban a káprázás megelőzése érdekében. A megvilágított kép szemléltetése esetén a fényforrás (geometriai) tulajdonságai – például annak a felületnek a mérete, ahonnan a fény emittálódik (a sugársűrűség, radiance) nem érdekes. Ehelyett a felületre (a megvilágított képre) jutó besugárzás (irradiance), a lényeges.

HOLUX – A LED-világítás optikai biztonsága 2011 p.6

Az „A” esetet általában biztonságosnak tekinthetjük. Például a szórt kék fényű égőboltra nézve (amelynek erős a kék fény besugárzása, de alacsony a sugársűrűsége) teljesen biztonságos, és ez igaz a mesterséges fényforrásokra is, amelyek kevesebb kék besugárzást produkálnak, mint a napfény.

B eset: Fényforrásba nézés

A fotobiológiai rizikók (EN 62471 szerinti) kiértékelésekor a fényforrásba történő közvetlen belenézés veszélyesebb esetét vizsgáljuk. Mindennapi szituációkban ilyen ritkán fordul elő: ne feledjük, hogy az EN 62471 szabványt eredetileg pontosan a világítástechnikai iparban (szerelésnél) és más hasonló területeken dolgozók védelmére fejlesztették ki. Megtörténhet azonban, hogy ezek a dolgozók egy munkanap során többször is belenéznek a fényforrásokba, összesen több másodperces „dózist” halmozva így fel. Ilyen helyzetben a kék sugársűrűség a kritikus faktor a kék fény okozta károsodás (BLH) szempontjából (minél nagyobb a sugársűrűség a vonatkozó spektrumban, annál nagyobb a valószínűsége, hogy a fény (megfelelő energiával) fotopigmentekbe ütközzön és károsodást okozzon.

A fényforrásba történő közvetlen belenézés (B eset) általában ugyancsak biztonságos a diffúz vagy melegfehér fényű fényforrások – pl. a belülhomályosított

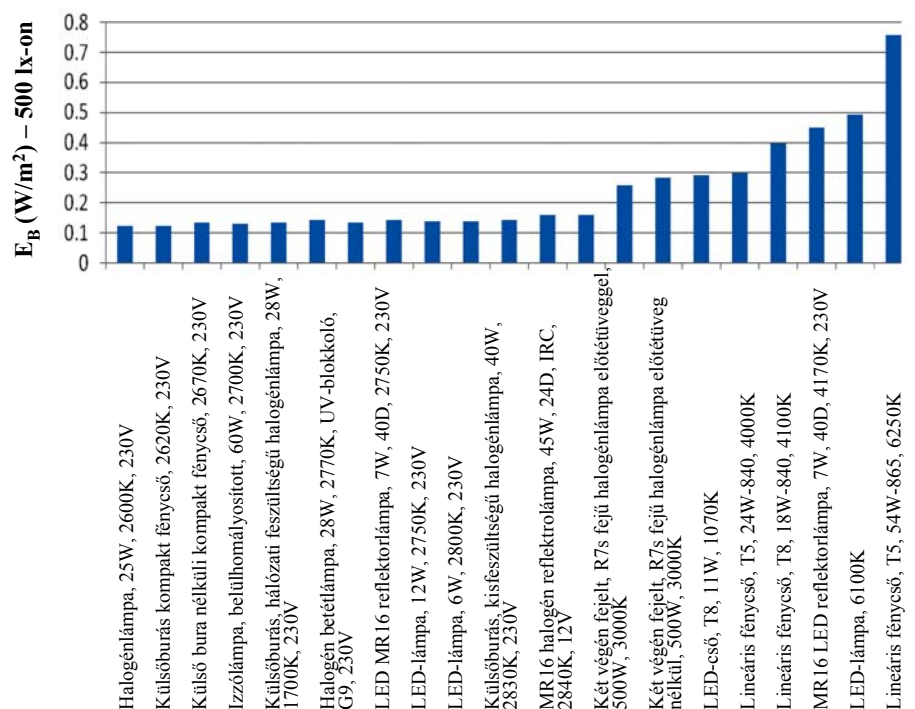
vagy fehér diffúz fényű lámpák – esetén. A nagy fényerősségű hidegfehér vagy kék fényű pontszerű fényforrások – például az izzólámpa-spirál, elektromos kisülési ív vagy LED-chip – esetén azonban óvatosságra van szükség, még egy irányított fényű lámpa lencséje mögötti LED-chipnél is. Az ilyen pontszerű fényforrások koncentrált fényfoltként vetülnek a retinára, ami károsodást okozhat, ha a fény intenzitása elég nagy és ha a spektrum tartalmaz a kék fény okozta károsodás spektrális érzékenységi görbéjével egybevágó kék fénykomponenst.

Az alábbiakban mindkét esetet részletesebben is megtárgyaljuk.

Az A esetre vonatkozó adatok: megvilágított jelenet szemléltetése (besugárzás)

A 2. melléklet különböző fényforrások spektrális adatairól ad áttekintést, egymással közvetlenül összehasonlítva őket. Ezekből a spektrumokból kiszámoltuk a kék fény okozta károsodás E_B besugárzási értékét a standard kék fény okozta károsodási (BLH) spektrális érzékenységi görbe felhasználásával. A következő ábra a különböző lámpatípusok E_B -értékeit hasonlítja össze. Látható, hogy valamennyi hasonló (K-ben megadott) T_c színhőmérsékletű fényforrásnak hasonló az E_B -értéke. Ennek az az oka, hogy a kék fény részaránya rögzített viszonyban van a fehér szint előállító többi színnel.

Különböző fényforrások összehasonlítása a kék fény okozta károsítás szempontjából, 500 lux esetén



3. ábra – Különböző lámpatípusok és a napfény E_B -értékeinek összehasonlítása

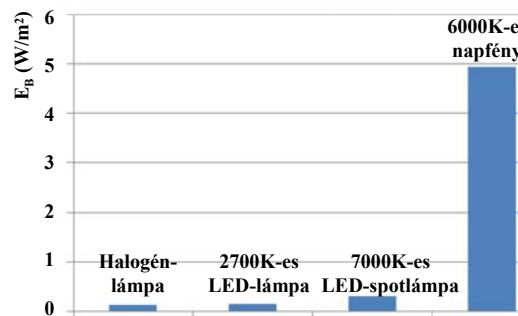
A LED-világítás optikai biztonsága 7(9)

A napfény hatásával történő jobb összehasonlítás érdekében meg kell jegyezzük, hogy a napfény általában 500 luxnál jóval nagyobb megvilágítási szinteket produkál. A 4. ábra a különböző fényforrások 500 lux-on adódó E_B -értékeit veti össze a napfénynek a közepes földrajzi szélességekre jellemző 5000 lux-os szintjénél mérhető E_B -értékével. A tényleges kültéri megvilágítás értéke széles tartományban változhat – a közepes földrajzi szélességeknél napos időben mérhető 50 000 lux-os értéktől a trópusoknál előforduló akár 100 000 lux-os értékekig. Ez azt mutatja, hogy a beltéri általános világítás kékfény-tartalma a kültéri körülményekkel összehasonlítva a „kicsi...igen kicsi” tartományba esik.

B esetre vonatkozó adatok: Fényforrásba nézés (sugársűrűség)

Annak érdekében, hogy összehasonlítsuk a fényforrásokat a B esetre nézve, a fent ismertetett EN 62471 szabványt vettük alapul, amely különbséget tesz a nagy és kis fényforrások között. Egy kis (<11mrad) fényforrás képe a retina nagyobb területén „kenődik szét” a szem szándékolt és akaratlan mozgásai következtében, így lecsökken az a kék fény mennyiség, amely a retina adott foltját (receptorát) éri, ezzel lecsökkentve a retina károsodásának veszélyét. Ezenkívül a teszt módszer számára megkülönböztetjük az általános világításra szánt fényforrásokat az összes többi célra szolgáló (a professzionális, speciális alkalmazásokra szánt) fényforrástól. Az alábbi összehasonlításban a legszigorúbb tesztelési módszert fogjuk alkalmazni az összes többi célra. Ebben az esetben a fényforrást 200 mm-es távolságban kell mérni, ami rövidebb annál a távolságnál, amelynél az általános világítási lámpák 500 lux megvilágítást produkálnak. 200 mm-es távolság esetén a legtöbb fényforrás a szabvány szerint „nagy fényforrás”, és a kék fény sugársűrűségét (L_B) kell alkalmazni osztályozásukhoz, amely a vonatkozó kék fény okozta károsodás (BLH) érzékenységi spektrumában fellépő sugárzás sűrűségéből származtatott mennyiség (a magyarázatot l. az alábbiakban). A szabványban az L_B értéket használják a maximális expozíciós idő kiszámításához (annak a maximális időtartamnak a meghatározásához, amely alatt biztonsággal lehet a fényforrásba nézni) és ebből eredően az RG rizikócsoportokba történő besoroláshoz. Ezeket tartalmazza az 1. táblázat. A sugársűrűség annak a sugárzásnak a sűrűségét (W/m^2sr) adja meg, amely a szemet éri. Ha csak a látható spektrumba eső fényt tekintjük, fény-sűrűségről (cd/m^2) beszélünk.

Néhány tipikus lámpa 500 luxnál adódó E_B -értéke 5000 lux-os kültéri megvilágítás E_B -értékével történő összehasonlítása



4. ábra – Néhány lámpatípusnak a beltéri világításra jellemző 500 lux-nál adódó besugárzási értékének összehasonlítása a napfénynek a kültéri világításra jellemző 5000 lux-os értékénél adódó besugárzásával

LB-érték (W/m^2sr)	Maximális expozíciós idő (s)	Osztályozás
0-100	Nincs maximális idő definiálva	RG 0 – rizikómentes
100-10 000	100-10 000	RG 1 – kis rizikó
10 000-4 000 000	0,25-100	RG 2 – közepes rizikó
>4 000 000	<0,25 (averzió, idegenkedési válasz)	RG 3 – nagy rizikó

1. táblázat – Rizikóosztályozás az EN 62471 szerint

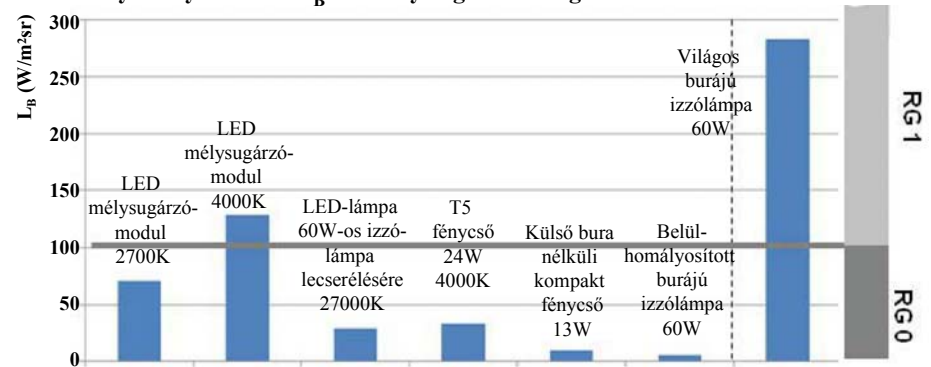
Termék megnevezése	Fénysűrűség (cd/m^2)	Alkalmazási terület
Külsőburás elektronikus kompakt fénycső	23 000	Lakásvilágítás
Külső bura nélküli elektronikus kompakt fénycső	50 000	Lakásvilágítás
Diffúz fényű LED-lámpa	150 000	Lakásvilágítás
60W/230V-os világos burájú izzólámpa	7 000 000	Lakásvilágítás
42W/230V-os világos burájú halogénlámpa	8 000 000	Lakásvilágítás
230W/230V-os két végén fejtelt halogénlámpa	13 000 000	Lakásvilágítás
12V-os halogénlámpa (IR bevonatú is)	15 000 000	Üzlet-/lakásvilágítás
Nap	160 000 000	Kültéri világítás

2. táblázat – Különböző fényforrások számított fény-sűrűsége

Ahhoz, hogy képet kapjunk a különböző fényforrások sugársűrűség/fénysűrűség értékeiről – a napot is ideértve, tekintünk a 2. táblázat különböző fényforrásokra kiszámított fény-sűrűség-értékeit. A fénycsövek láthatóan nagy mennyiségű fényt bocsátanak ki, de nagy felület mentén, így kicsi a fény-sűrűségük, rendszerint néhány száz 10 000 cd/m^2 nagyságrendjébe esik.

A volfrámszálas halogénlámpák viszont igen kis felületről, emittálják a fényt, ezért nagy a fény-sűrűségük, rendszerint több millió cd/m^2 . Ma a piacon kapható legnagyobb fényű csupasz LED (komponens) fény-sűrűsége tíz millió, a napé pedig 1 billió cd/m^2 nagyságrendjébe esik,

Diffúz fényű fényforrások L_B kék fény sugársűrűsége



5. ábra – Néhány általánosan használt kis megvilágítási szintű fényforrás (izzólámpa, fénycső) és LED-es helyettesítjük L_B kék fény sugársűrűsége. Referenciaként a világos burájú izzólámpa megfelelő értékét is feltüntetjük.

A LED-világítás optikai biztonsága 8(9)

A fényforrások fényességét az EN 62471 szabvány 5.2.2.2. fejezetében leírt módszer felhasználásával határoztuk meg. Párhuzamosan meghatároztuk a spektrális karakterisztikákat a kék fény L_B sugársűrűségének (a kék fény okozta károsodás érzékenységi görbéjével spektrálisan súlyozott sugársűrűség) kiszámítása érdekében. Az eredmények az 5. és 6. ábrán láthatók.

A kék fény sugársűrűségi görbékkel kapcsolatos végkövetkeztetések:

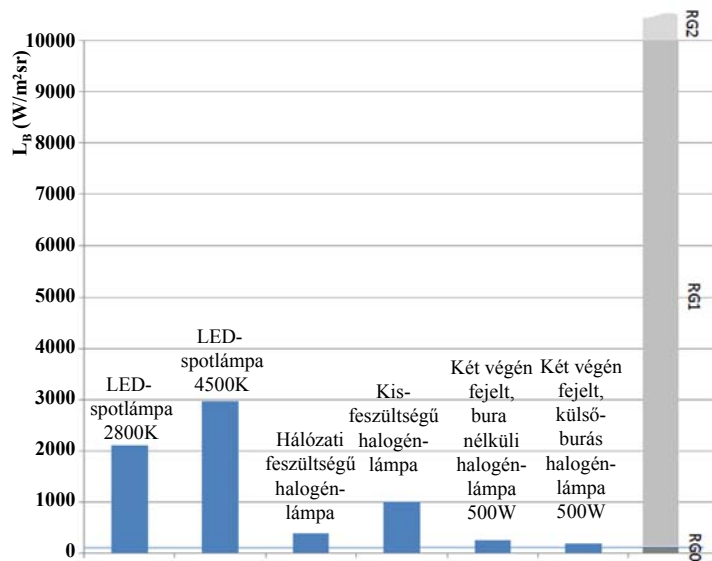
– A **diffúz fényű fényforrások** L_B kék fény sugársűrűsége viszonylag alacsony. A fényforrásoknak az L_B értékek alapján (az EN 62471 szerint) történő besorolása rizikócsoportokba azt mutatja, hogy legtöbbjük a 0. rizikócsoportba esik, magasabb (4000K) színhőmérsékleten néhány közülük éppen beleeshet az 1. rizikócsoportba több mint 1 órányi maximális expozíciós idővel. Jegyezzük meg, hogy ez az expozíciós idő arra vonatkozik, ha valaki közelről közvetlenül belenéz a fényforrásba. Normál körülmények között, amikor a távolságok jóval nagyobbak, mint a fényforrástól számított 200 mm-es mérési állapot, ez teljesen biztonságos. Ráadásul reflexszerű reakcióként elfordítjuk fejünket a nagy fényű fényforrásoktól úgy, hogy ilyen expozíciós időket nem lehet elérni.

– Az itt tárgyalt valamennyi pontszerű fényforrás az 1. rizikócsoportba esik, ezért a szabvány értelmében biztonságosnak tekinthető és nem igényel kiegészítő figyelmeztető jelöléseket, de kerülni kell azt, hogy közvetlenül belenézünk ezekbe a fényforrásokba, különösen közelről. Az itt bemutatott lámpák maximális expozíciós ideje 200 másodperc vagy annál hosszabb, de – mint ahogy azt a korábbiakban említettük – az emberek ilyen esetekben behúnyják a szemüket, vagy elfordítják a fejüket (akaratlan idegenkedési, averziós reakció). Ez érvényes a nagy fényességű LED-ekre csakúgy, mint a piacon régebben jelenlévő nagy fényességű fényforrásokra.

4. melléklet – A terminológia magyarázata

A *sugárzott teljesítmény* (radiant flux), a *besugárzás* (irradiance), a *sugárzáserősség* (radiant intensity) és a *sugársűrűség* (radiance) valamennyi hullámhosszra, a *fényáram* (luminous flux), a *megvilágítás* (illuminance), a *fényerősség* (luminous intensity) és a *fényesség* (luminance) pedig

Néhány tipikus pontszerű fényforrás L_B kék fény sugársűrűsége



6. ábra – Néhány nagy megvilágítási szintű fényforrás és LED-es helyettesítőjük L_B kék fény sugársűrűsége. (Megjegyzés: a lépték más, mint a 4. ábrán!)

Paraméter	Jelölés	Mértékegység	Magyarázat
Besugárzás (irradiance)	E_{rad}	W/m ²	Bizonyos síkra beeső sugárzási teljesítmény
Megvilágítás (illuminance)	E	lux	Spektrálisan a világosban látás érzékenységi görbéjével súlyozott besugárzás
Károsító kék fény besugárzás	E_B	W/m ²	Spektrálisan a kék fény okozta károsodás görbéjével súlyozott besugárzás
Sugársűrűség (radiance)	L_{rad}	W/m ² sr	Fényforrásból emittált sugárzás felületre eső erőssége
Fénysűrűség (luminance)	L	cd/m ²	Spektrálisan a világosban látás érzékenységi görbéjével súlyozott sugársűrűség
Károsító kék fény sugársűrűség	L_B	W/m ² sr	Spektrálisan a kék fény okozta károsodás görbéjével súlyozott sugársűrűség

3. táblázat – A jelen összeállításban szereplő mértékegységek áttekintése

ezek analógiájaként a látható spektrumra korlátozódik (spektrálisan súlyozva az


emberi szem különböző hullámhosszágú fényre érvényes vizuális érzékenységi görbéjével).



Valamely forrásból kilépő elektromágneses sugárzás/látható fény teljes teljesítménye

Sugárzott teljesítmény (Radiant flux): Φ_e (W)


Fényáram (Luminous flux): Φ_v (lm)



Valamely (egységnyi) felületre eső sugárzott teljesítmény/fényáram $\Phi/\partial A$

Besugárzás (Irradiance): E_e (W/m²)

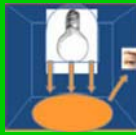
Megvilágítás (Illuminance): E_v (lm/m² = lx)



Bizonyos irányban (egységnyi térszögben) kilépő sugárzott teljesítmény/fényáram

Sugárzáserősség (Radiant intensity): I_e (W/sr)

Fényerősség (Luminous intensity): I_v (lm/sr = cd)



Adott irányban haladó sugárzás/fény egységnyi felületre eső sugárzott teljesítmény/fényáram $\Phi/\partial A \partial \Omega = E/\partial \Omega = I/\partial A$

Sugársűrűség (Radiance): L_e (W/sr/m²)

Fénysűrűség (Luminance): L_v (lm/sr/m² = cd/m²)

A LED-világítás optikai biztonsága 9(9)

4. táblázat – A rizikócsoportok áttekintése (az EN 6241:2006 alapján)

Rizikó	Érzékenységi spektrum	Jelölés	Emissziós határértékek			Mértékegység
			Mentes	Alacsony rizikó	Közepes rizikó	
Kémiai hatású UV	$S_{UV}(\lambda)$	E_S	0,001	0,003	0,03	Wm^{-2}
UV közeli		E_{UVA}	10	33	100	Wm^{-2}
Kék fény	$B(\lambda)$	L_B	100	10 000	4 000 000	$Wm^{-2} sr^{-1}$
Kék fény, kis fényforrás	$B(\lambda)$	E_B	1,0*	1,0	400	Wm^{-2}
Retina felhevítése	$R(\lambda)$	L_R	$28\ 000/\alpha$	$28\ 000/\alpha$	$71\ 000/\alpha$	$Wm^{-2} sr^{-1}$
Retina felhevítése, gyenge vizuális inger**	$R(\lambda)$	L_{IR}	$6\ 000/\alpha$	$6\ 000/\alpha$	$6\ 000/\alpha$	$Wm^{-2} sr^{-1}$
IR sugárzás, szem		E_{IR}	100	570	3200	Wm^{-2}

* $\alpha < 0,011$ radiánnal rendelkező kis fényforrás. Átlagos látómező 10 000 s esetén 0,1 radián.
 ** Az értékelés nem általános világítási célú fényforrást foglal magába

A mérések mögötti elvek

EN 62471: nagy/kis fényforrásokra való alkalmazhatóság

- nagy fényforrás (a vonatkozó fényforrás sugársűrűsége)



- kis fényforrás (a vonatkozó pupillát érő besugárzás)

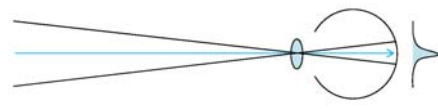


EN 62471: kis/nagy fényforrások különböző mérési módszerei

- igen rövid ($< 0,25$ s) expozíció, kicsiny, pontszerű fényforrás, $\min. = 0,0017rd \sim 0,1^\circ$ az eredendő életlenség miatt

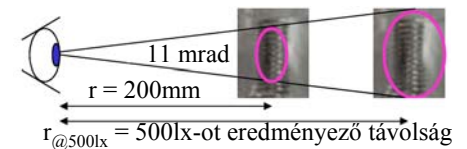


- közepes (10 – 100 s) expozíció, kis fényforrás, $eff = 0,011rd$ ($\sim 0,63^\circ$) a gyors szemmozgásnak köszönhetően



- hosszú (> 10000 s) expozíció, kis fényforrás, $eff = 0,1rd$ ($\sim 5,7^\circ$) az orientált szemmozgás feladat következtében

Nyílásszögek mérése 200 mm-nél és 500 lx-ot eredményező távolságnál



Szemmozgások és nyílásszögek

1 1,7 mrad

- a legkisebb kép, amely egy **nyugalomban lévő szem** retináján kialakulhat $\alpha_{\min} = 1,7$ mrad minimális értékre korlátozódik ($< 0,25$ s = pislogási reflex idő)



Csak a fényforrás sugársűrűsége „legkedvezőtlenebb eset”

2 11 mrad 200 mm-nél

- a kb. 0,25 s-nál hosszabb időtartamok esetén a **gyors szemmozgások** elkezdik „elmaszatozni” a pontszerű fényforrás képét nagyobb, $\alpha_{eff} = 11$ mrad szög mentén – a 11 mrad-nál kisebb szög kiterjedésű fényforrást „kis fényforrásnak” tekintjük

3 11 mrad 500 lx-nál

4 100 mrad

- > 100 s esetén a kép tovább terjeszkedik a **szem feladatfüggő mozgásai** következtében, ami $\alpha_{\max} = 100$ mrad maximális nyílásszöget eredményez ($> 10\ 000$ s expozíciós idők esetén mérve)

A fotokémiai hatású UV és a kék fény okozta károsodás spektrális érzékenységi görbéje

A spektrum adott részének spektrális sugárzása számára az UV és a kék fény okozta károsodás spektrális érzékenységi görbéi a súlyozási tényezők. Az érzékenységi görbék értékeit megszorozva az UV- és/vagy fényforrások (normalizált) spektrális adataival, komparatív tényezőket kapunk, amelyek alkalmasak e fényforrások összevetésére az említett veszélyek tekintetében.

