Világítástechnikai évkönyv 2014-2015

„A fények és tények”

MEE Világítástechnikai társaság
Magyar Világítástechnikáért Alapítvány

Szerkesztette:
Németh Zoltán, főszerkesztő
Dr. Nagy Balázs Vince

Lektorálták:
Dr. Borsányi János
Horváth Márk
Dr. Kolláth Zoltán
Major Gyula
Dr. Nagy Balázs Vince
Nagy János
Nádas József
Némethné dr. Vidovszky Ágnes
Németh Zoltán
Dr. Schanda János
Dr. Wenzel Klára

Olvasószerkesztő:
Dr. Vetési Emil

A borítót tervezte:
Czeglédi Gabriella

Kiadja:
a Világítástechnikai Társaság
a Magyar Elektrotechnikai Egyesület Szervezete
és a Magyar Világítástechnikáért Alapítvány
1042 Budapest, Árpád u. 67. I. em. 6.

Felelős kiadó:
Nagy János elnök

Nyomdai előkészítés:
Media-Press '91 Kft.
HU ISSN 1416-1079

TISZTELT OLVASÓ!

Egy szakmai szervezet erősségét, életképességét és tevékenységét mi sem bizonyítja jobban, mint a sorozatban megjelentetett kiadványok, a szervezett ismeretterjesztő és tudományos rendezvények, a szakszerű állásfoglalások és ajánlások terjesztése, részvétele a jogszabály- és szabványalkotásban, valamennyinek természetes következménye a széleskörű ismertsége és elismertsége. Természetesen a felsoroltakon kívül a taglétszám és ezen belül is az aktív tagok tenni akarása döntő fontosságú, mivel meghatározó a tevékenységkezdeményezés, a végrehajtás és közösségformálás tekintetében.

Több szempontból is jubileumi kiadványként jelenteti meg a Világítástechnikai Társaság jelen évkönyvét, mivel 2015 év során több eseményt is ünnepel szakmai közösségünk.

10. Világítástechnikai Évkönyvünket tarja kezében a Tisztelt Olvasó. „Hosszú mérlegelés után Társaságunk elhatározta, hogy megjelenteti első Évkönyvét, melyben megkísérel szakmai közösségének és a világítástechnikai szakma minden művelőjének egy olyan megszólalási lehetőséget nyújtani, amely egyszerre lehet bemutatkozás, ismeretforrás, kapcsolatteremtési lehetőség." – írta 1996-ban bevezetőjében Pollich János, a Világítástechnikai Társaság akkori elnöke. A kísérlet sikerült, kitartó és szorgalmas munkával szakmai közösségünk az évek során megszerkesztett és kiadott még további kilenc évkönyvet. Valamennyi szakirodalomként hiánypótló kiadvány, a közölt írások az adott időszak legizgalmasabb fejlesztéseit és szakmai kérdéseit taglalják, ezáltal szakmatörténeti jelentőséggel is bírnak. Társaságunk közösségi, és szervezeti életét is hűen tükrözik eddig megjelent évkönyveink.

20. évfordulóját ünnepli 2015-ben a Világítástechnikai Társaság. Mielőtt még bárki is azt hinné, hogy ennyire fiatal a szakmai szervezetünk tájékoztatom, hogy sokkal hosszabb múltra tekint vissza, mivel az idők során volt Munkacsoport, Szakcsoport, Szakosztály, Szakbizottság. Az 1995. novemberi Társasággá alakulása a Magyar Elektrotechnikai Egyesület keretei között, jelentős önállóságot eredményezett a szervezet életébe. Tagságunk létszáma folyamatosan gyarapodik, ám meggyőződésem, hogy legalább tízszer annyian vallják magukat világítási szakembernek, mint amennyi a taglétszámunk és még sokkal többen vannak olyanok, akik a világítás területén végzik munkájukat kellő szakértelemmel vagy éppen annak hiányában.

Néhány száz fős lelkes tagságunk igyekszik olyan szakmai életet szervezni, szakirodalmat írni, kiadványokat szerkeszteni, konferenciákat rendezni, aminek haszonélvezői mindazok, akik a hazai világítástechnika területén dolgoznak valamint, reményeink szerint a társadalom minden tagja. Tesszük mindezt- hazai és nemzetközi szinten egyaránt-, szakmaszeretetből, elhivatottságból, elődeink iránti tiszteletből, kellő méltósággal azért, mert a hiteles és szakszerű tájékoztatás, a korrekt szakértői véleményalkotás alapelvünk. Természetesen annak örülnénk, ha sokkal többen jelentkeznének tagjaink soraiba, és segítenék munkánkat aktív részvételükkel szervezeti életünkben.

2015: A Fény Nemzetközi Éve. Az ENSZ célkitűzése: a fénnyel foglalkozó tudományok és az azt alkalmazó technológiák világszintű megismertetése és elismertetése. Remélem évkönyvünk jelen kiadásával mi is hozzájárulunk – hazai viszonylatban- a célkitűzés legalább részbeni teljesítéséhez.

Évkönyvünk tematikáját igyekeztünk úgy megválasztani, hogy a közölt írásokban a fény és világítás elmélet és gyakorlat is megjelenjen egyaránt. Az első rész elméleti síkon foglalkozik a fénnyel és világítással. Mivel a világítódiódák óriási lehetőséget teremtenek az innovációk megvalósítására, ezért a második rész ezekből mutat be néhányat. Majd ezt követően olvashatnak a környezetünk világításáról. Természetesen, aki a Világítástechnikai Társaságban történtekre kíváncsi, annak – szokás szerint –, kiadványunk utolsó fejezete nyújt betekintést szervezetünk életébe.

Kitüntető érdeklődését megköszönve remélem, hogy Társaságunk önzetlenül dolgozó szerkesztő, cikkíró, lektoráló és olvasószerkesztő csapatának munkája eredményesen szolgálja az első évkönyvünk megjelenésekor megfogalmazott célkitűzéseinket, és hasznos olvasmány lesz tízedik kiadványunk is.

Budapest, 2015. január

Nagy János
elnök

Évkönyvről – Évkönyvre

– Borsányi János –

Sok minden figyelmeztet minket az idő múlására. Ide sorolhatjuk az újabb és újabb felismeréseket, eszközeink és módszereink fejlődését, a családban a gyermekek (unokák) számának növekedését, saját magunkra gondolva a fehér hajszálak megjelenését és szaporodását, és azt is, – amennyiben valaki világítástechnikus vagy csupán érdeklődő – hogy a könyvespolcán sorakozó Világítástechnikai Évkönyvek egyre nagyobb helyet foglalnak el. 1996-ban jelent meg az első, azzal a nem titkolt szándékkal, hogy ezt több is fogja követni. Talán egyesek kételkedtek benne, hogy lesz-e elég „munníció" ebben a nem túl kiterjedt szakmai körben, hogy kétévenként megtöltse színvonalas tartalommal a köteteket. 19 év elmúltával a kétkedők is beláthatták, hogy az optimistáknak volt igazuk, volt és van mondanivalójuk a világítástechnikusoknak egymás számára és a társadalom számára is. Sőt, egyre vastagabbak, tartalmilag egyre gazdagabbak a polcon az időrendi sorrendben egymás mellé helyezett kötetek – igazolva a fenti állítást.

Kilenc kötet sorakozik már a polcon, és most az olvasó a tizediket tarthatja a kezében. A kerek szám afféle kisjubileumra is szolgáltathat okot, de arra is, hogy visszapillantsunk a kötetek tartalmán keresztül az eltelt csaknem húsz évre.

Az Évkönyvek története egyben a Világítástechnikai Társaság története is. Kötetről kötetre hírt kaphattak az olvasók a VTT tevékenységéről, a Társaságot érintő eseményekről, legyenek azok rendezvények, hazai és nemzetközi konferenciák, tisztújítások, díjak odaítélése vagy éppen társasági összejövetelek, kirándulások. Ugyanekkor a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (CIE) munkájáról is rendszeresen szerepelt tájékoztatás.

Mérföldkő volt a VTT 1995-ös megalakulása, amelynek első elnöke Pollich János volt. Az ő szavait idézem az első '96-os Évkönyv előszavából: „Hosszú mérlegelés után Társaságunk elhatározta, hogy megjelenteti első Évkönyvét, amelyben megkísérel szakmai közösségének és a világítástechnikai szakma minden művelőjének egy olyan megszólalási lehetőséget nyújtani, amely egyszerre lehet bemutatkozás, ismeretforrás, kapcsolatteremtési lehetőség." Pollich János ezután még két Évkönyvet bocsájtott (bocsájthatott) útjára. Fájdalmasan rövid életének befejezte után az elnökségben utóda Nagy János viselte (és viseli) szívén az Évkönyvek újbóli megjelenését. A 2004-2005-ös Évkönyv előszavában már ő fejezi ki örömét a Világítás Házának elkészülte és megnyitása felett, a megnyitóról magáról Jáni Józsefné tudósításából értesülhettünk. A 2006-2007-es kötet Almási Sándor tollából újabb fontos döntést közöl: lengyel, cseh, szlovák és magyar részvétellel megszületett a megállapodás, hogy a négy visegrádi ország Lumen-V4 elnevezés alatt kétévenként közös világítástechnikai konferenciát tart. Az első ilyen konferenciáról (Balatonfüred 2006) a 2008-2009-es Évkönyv tartalmaz beszámolót. A VTT krónikása, Arató András a 2010-2011-es Évkönyvben már a Kutatók Éjszakájáról is ad hírt, ahol a Társaság képviseletében világítástechnikus szakemberek évről évre tartanak tájékoztatót a legújabb és legérdekesebb fényforrások bemutatásával.

A következőkben egyes témák szerint csoportosítva emlékezzünk arra, miről is olvashattunk az eddig megjelent kilenc kötetben.

Látás és világítás; vizuális és nem vizuális hatások

A világítás biológiai és vizuális hatásairól maga a CIE akkori elnöke, Wout van Bommel tartott előadást 2004-ben a Világítás Házában, amelyről az Évkönyv is megemlékezett.

Érdekes és újszerű felismerésre hívta fel a figyelmet Schanda János: a fénynek az emberi cirkadián ritmusra, ezen belül a kék színképtartománynak a melatonin kiválasztásra gyakorolt hatására (2006-2007). Ugyanebben a kötetben Wenzel Klára a látás folyamatából kiindulva az optikai illúziók világába vezette el az olvasót.

Az éjszakai közlekedés és az autóvezetés szempontjából kiemelendő jelentőségű a mezopos tartomány, ennek tudományos vizsgálatáról adott számot a Pannon Egyetem kutatói által jegyzett cikk. Másfelől a BME Mechatronikai, Optikai és Gépészeti Informatika Tanszékének kutatói több cikkben is foglalkoztak a színtévesztéssel, annak korrekciójával (Ábrahám György, Wenzel Klára, 2008-2009).

A 9. Évkönyv tematikusan főként a fénynek az emberrel, általában az élővilággal, sőt a társadalommal való kapcsolatával foglalkozik. Ez számos érdekes cikk formájában nyilvánul meg, az éjszakai fényterhelés egészségre gyakorolt hatásától a fény mikrovilágban játszott szerepéig a szakterület legjobb ismerőinek tollából.

A világítás eszközei

A világítástechnika egyik fő kérdése ez: „Mivel világítsunk?". Úgy is mondhatnánk, hogy ez a világítástechnika „hardver" oldala. Ide tartoznak a fényforrások és lámpatestek, és mindazok az egyéb eszközök, melyek a működtetéshez szükségesek. Az ezzel foglalkozó nagyszámú cikkből jelen visszaemlékezésben csak néhányat van lehetőség megemlíteni.

1996-ban a GE munkatársa ismertette az elektródnélküli (indukciós) kisülőlámpát, a Genurát. Lantos Tibor ugyanebben a számban az egyre népszerűbb törpefeszültségű világítási hálózatról írt, gyakorlatban is jól használható táblázatokkal, műszaki adatokkal kiegészítve. Böröcz Sándor az újszerű és dekoratív száloptikás világítást mutatta be (1997-1998).

Egyes fényforrásokban - történetesen a nagyintenzitású kisülőlámpákban - lejátszódó folyamatok tisztázása és a lámpák fejlesztése magas szintű fizikai és kémiai ismereteket igényel. Ezekbe avatja be az olvasót Tóth Zoltán cikke. Az írás is igazolja, hogy az Évkönyv nemcsak szakmai ismeretterjesztésre és népszerűsítésre szolgál, hanem tudományos publikációk közlésére is. (1998-1999)

A 2010-2011-es Évkönyvben három cikk is foglalkozik a LED-ekkel. Mindegyikük igyekszik helyes képet kialakítani a világító diódáról, mely szinte forradalmasította a világítástechnikát, és sok tévhit, hamis információ terjedt el vele kapcsolatban.

Ne felejtsük el, hogy a fényforrások jellemző mennyiségeit mérni is kell. Több kötetben is találkozhatunk a fotometrálás, a színmérés egyre fejlettebb metodikáival; külön kihívást jelentettek a LED-ekkel kapcsolatos mérések megbízható megoldása, különös tekintettel a termikus vizsgálatokra. (Schanda János, Poppe András és munkatársainak írásai)

Több kötetben is foglalkoznak a szerzők a fényszabályozási megoldásokkal. Olvashatunk az EIB-Instabus rendszer előnyeiről, majd később a Világítás Házában működő DALI-rendszerről. Nyomon követhetjük a fejlődést az analóg módszerektől a korszerű digitális szabályozó rendszerekig.

Világítási megoldások

Az írások legnagyobb része – és ez természetes – a különféle megvalósított beltéri és kültéri világítások bemutatásával foglalkozott. Belső tereket illetően domináltak a speciális alkalmazások, úgy, mint múzeumokban, színpadon és nem utolsó sorban szakrális helyeken alkalmazott megoldások. Így a Feszty körkép és a Budavári Palota múzeumai mellett a Szent Jobb, a Belvárosi templom és a Vatikáni Múzeum magyar kiállításának világításáról

kaphatott képet az olvasó. (Horváth József, Vonnák István, illetve Lantos Tibor és N. Vidovszky Ágnes munkái).

Az Évkönyvek sorról sorra megmutatták a megújuló és újonnan megvalósított díszvilágításokat, amelyek nagymértékben hozzájárultak ahhoz, hogy magyarok és külföldiek gyönyörködjenek fővárosunk esti panorámájában. Az ilyen tárgyú cikkek elképzelhetetlenek fényképes illusztrációk nélkül, a 2002-2003-as kötet elénk varázsolja a Nemzeti Színház, a Budavári Palota, a BME központi épületének díszvilágítását. Deme Lászlótól a díszvilágítás módszertanáról is tájékoztatást kaphattunk (2006-2007).

A Parlament megújított díszvilágításáról írott cikk történeti fejlődésében mutatja be az Országház díszvilágításának alakulását, kitérve azokra a nehézségekre, amelyekkel az „épület végtelenségig kidolgozott részletei" miatt kellett megbirkózni a tervezőnek (Deme László).

Közvilágítás

Az eddigi kilenc Évkönyvet figyelembe véve a közvilágítás viszi el a pálmát a megjelent cikkek számát illetően. Ez nem véletlen, hiszen a közvilágítás minősége számos egyéb területen érezteti a hatását, és több rokon terület művelőjének van mondanivalója vele kapcsolatban. Így olvashattunk a közvilágítási lámpatestek újabb típusairól, a fényszennyezés csökkentéséről, a közlekedésbiztonságról, a fehér fény látási komfortot javító hatásáról és a közvilágítás gazdaságossági kérdéseiről. A későbbi kötetekben már természetesen megjelent a LED közvilágításban való alkalmazhatóságának a vizsgálata, egy-két konkrét példát is bemutatva. A téma gazdagságából adódóan számos kollégánk írását találhatjuk meg a kilenc kötetben. (Arató András, Budai Béla, Esztergomi Ferenc, Horváth Lajos, Kulcsár Ferenc, Kelemen László, Mancz Ivette, Nagy János, Radványiné N. Olga, Schwarcz Péter, Szilas Péter, Wild László).

Egyéb témák

Kilenc kötet kis híján 250 cikkének tartalmi gazdagságát felölelni egyetlen írásban lehetetlen vállalkozás. Újból fellapozva az egyes köteteket, mindig találni érdekes – és olykor a napi munkában hasznosítható – írásokat. Külön összefoglaló értékelést kívánnának a **fény és a művészetek** (különösen az építészet) kapcsolatát taglaló cikkek, ugyanúgy, mint a világítás **környezetvédelmi** vonatkozásaival foglalkozó írások. Örvendetes, hogy az utóbbi téma mind markánsabban jelentkezett az Évkönyvekben egyrészt a csillagos ég és az élővilág védelme, másrészt a veszélyes hulladékok kezelésének területén (Kolláth Zoltán, ill. Kovács Béla írásai).

A 2010-11-es szám felveti a „Mennyiért világítsunk?" kérdését is. Nagy terjedelmű és alaposan elemző cikkében Vetési Emil foglalkozik a témával, beavatva az olvasót a **gazdaságossági számítások** rejtelmeibe, de találhatunk ilyen vonatkozású írást az útvilágítás és irodavilágítás témájában is.

A világítástechnika **oktatásával** is több cikk foglalkozik, a 2006-2007. kötetben Molnár Károly átfogó képet közöl a magyarországi világítástechnikai oktatás helyzetéről.

Na, és a múlt! **Visszaemlékezések** régebbi eredményekre, örvendetes vagy éppen sajnálatos eseményekre és visszatekintés életutakra, a szakmában eltöltött évekre. Ezek nemcsak tiszteletet kiváltó írások, arra is alkalmasak, hogy a világítástechnika egyes részterületeinek fejlődésébe is bepillantsunk általuk (Várkonyi László, Horváth József írásai). Közös múltunk része volt a Világítástechnikai Állomás, amelynek fennállása 75. évfordulójára írott cikkből már nekrológ lett. Örömmel tölthette viszont el az olvasót az a reprint kiadásban közzétett beszámoló, amelyet Zipernovszky Ferenc írt a „Világítástechnikai Állomás működése és a világítástechnika általános fejlődése 1933/34-ben" címmel. Ez a 2010-11-es kötetben olvasható írás nemcsak a múlt megbecsülésének adta tanújelét, hanem érdekes olvasmány is, ké-

pet kaphatunk a hazai világítástechnika 80 évvel ezelőtti helyzetéről.

Ha a múltat idézzük, nem feledkezhetünk meg azokról, akik az első kötet szerkesztésétől számított húsz év alatt távoztak el sorainkból; életútjukat, tevékenységüket kötetről kötetre állították elénk a megemlékezések. Az összesen közölt 16 nekrológból 14 világítástechnikus kollégákra emlékezett. Legyen most együtt itt a nevük:

Gelléri Emil +1995, Vadas Gábor +1995, Wlassics Zoltán +1995, Faragó György +1997, Gergely Pál +1998, Tordai Tamás +1999, Pollich János +2001, Eperjessy Mária +2001, Vincze Vilmos +2003, Lantos Tibor +2004, Hauser Imre +2005, Horváth József +2005, Debreczeni Gábor +2008, Kerekes Béla +2012.

Minden egyes Évkönyv közli a Társaság díjazottjainak névsorát – mind a MEE, mind a VTT díjaiban részesültekét. A szerkesztők munkáját dicséri, hogy a felsorolások nem korlátozódnak a tárgyévben kiosztott díjakra, hanem az egyes díjakban részesültek nevét a kezdetektől összesítve tartalmazzák. A legutóbbi 2012-13-as Évkönyvben így már 143 név olvasható, természetesen jónéhány kollégánk neve többször is – több díjnál is - szerepel a felsorolásban.

A komoly szakmai tartalmat olykor humoros írások frissítették, és rendszeresen szerepeltek világítástechnikai témájú rejtvények. Mindent egybevetve mondhatjuk, hogy tartalmilag színes, szakmailag színvonalas, sok új ismeretet közlő és emellett esztétikus kiadványok kerülhettek az olvasó kezébe. **Köszönet** illet minden szerzőt, szerkesztőt, lektort, fotóst és technikai munkatársat ezért a – most már – tíz kötetért. Munkájuk nemcsak egy szűkebb szakmát szolgált ki, hanem az érdeklődők szélesebb köreinek mutathatta be egy ország világítástechnikai kultúráját, felhívva a figyelmet az újdonságokra. Ne felejtkezzünk el a cégekről, hirdetőkről, akiknek szponzori tevékenysége, anyagi támogatása nélkül az Évkönyvek nem jelenhettek volna meg.

Remélhetőleg az eddigi kilenc kötet mellett ez a tizedik is megnyeri az olvasók tetszését, és bízzunk benne, hogy a ma és a jövő világítástechnikusai szívesen írják-olvassák majd a tizedik után a többi egymást követő kötetet is.

A Magyar Világítástechnikáért Alapítvány
támogatja

- a hazai világítástechnikai szakemberek képzéseit,
- a fiatal világítástechnikai szakemberek munkába állását,
- a világítástechnikai kutatásokat és fejlesztéseket,
- a világítási célú tanulmányutakat és konferencia részvételeket,
- a világítástechnikával foglalkozó oktatási intézmények tevékenységét,
- a hazai világítástechnikai szabvány- és ajánlási rendszer létrehozását és érvényesítését,
- a korszerű világítástechnika vívmányainak népszerűsítését,
- a világítástechnikai szakkönyvtár gyarapítását.

2003

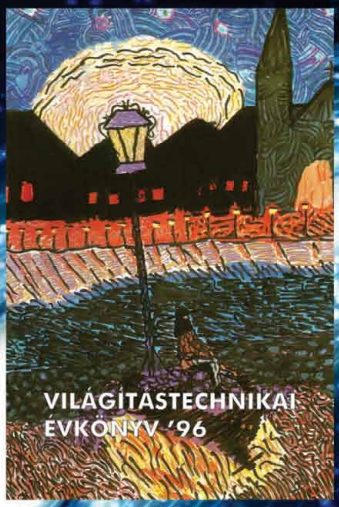
Adója 1%-ával Ön is hozzájárulhat a fenti támogatások sikereihez!

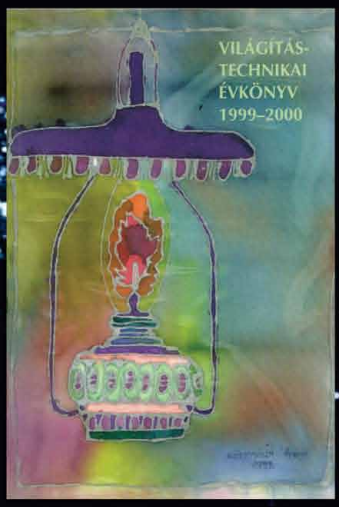
A Magyar Világítástechnikáért Alapítvány adószáma: 18110513-1-41

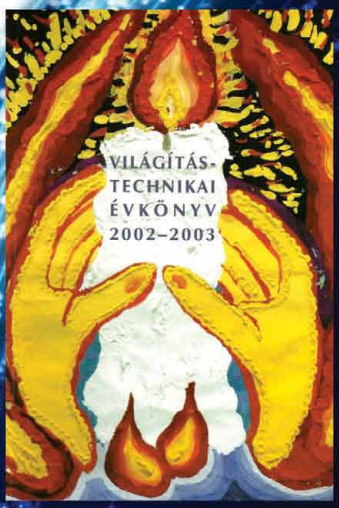
Támogatását előre is köszönjük!

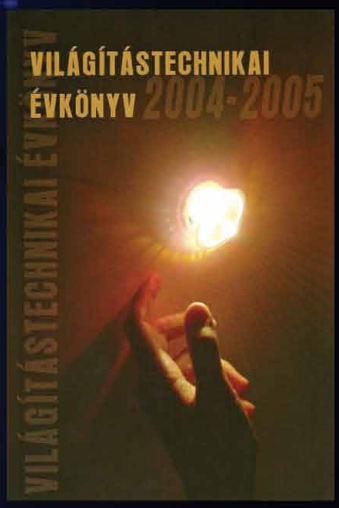
Gacs Sándor
a Magyar Világítástechnikáért Alapítvány Kuratóriumának elnöke

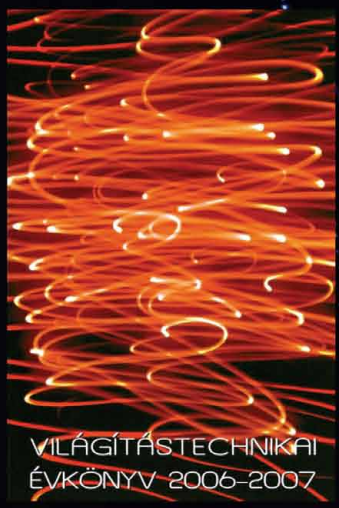
A Világítástechnikai Társaság eddigi Évkönyvei

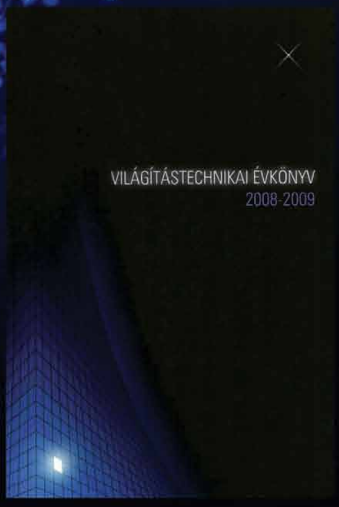


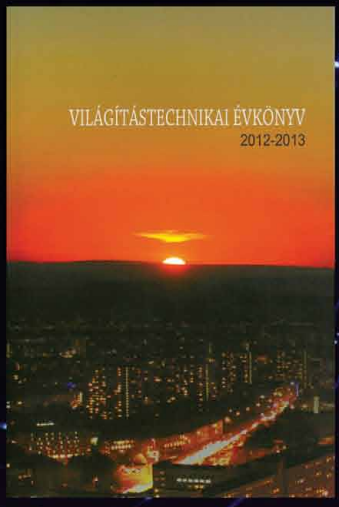












Jevons-paradoxon és világítás Mit tehetünk a Fény Évében?

– Kolláth Zoltán, Dömény Anita –

Az ENSZ és az UNESCO 2015-re meghirdette a Fény Nemzetközi Évét, amelynek központi témája a fényalapú technológiák szerepe a fenntartható fejlődésben és a globális energetikai kihívások megoldásában. Napjainkban a gazdaság számos területén energiahatékonyságra törekszünk, beleértve a közvilágítási rendszer fejlesztését is. A LED-világításra való áttérés azonban kockázatot is hordoz magában, tekintetbe véve ökonómiai, ökológiai, élettani és tájképi szempontokat. Éppen ezért a világítási rekonstrukciók várható hatásait több megközelítésből is vizsgálhatjuk. Egyrészt fotometriás módszerekkel mérhetjük a fényszennyezés egyik fő jellemzőjét, az éjszakai égbolt fénysűrűség-eloszlását. Ebből numerikus modellezés segítségével információkat kaphatunk az égbolt mesterséges fényléséről. Másrészt közgazdasági törvényszerűségeket figyelembe véve elemezhetjük az energiahatékonyság és energiafogyasztás közötti esetleges negatív visszacsatolási mechanizmust.

1. Bevezetés

Hosszú a lista, amely a fénnyel kapcsolatos tudományos felismeréseket veszi számba. A fizika története tele van olyan, a fényhez köthető alapvető megállapításokkal, amelyek megváltoztatták a tudományt. A 2015. esztendőben, a Fény Nemzetközi Évében számos kerek évfordulóra emlékezhetünk. 1000 évvel ezelőtt írta az egyik első optika könyvet egy arab tudós, Al-Haytham. Fresnel 200 évvel ezelőtt publikálta első írását a fény hullámtermészetéről. 1865-ben, éppen 150 éve Maxwell kidolgozta differenciálegyenlet-rendszerét, amellyel megadta a fény természetének elektromágneses elvét. 1915-ben a fény ismét a fizika homlokterébe került Einstein általános relativitáselméletében, központi szerepet játszva a téridő fogalmának bevezetésében. 1965-ben jelentős csillagászati eredmény született: felfedezték a kozmikus háttérsugárzást. Igaz, a mikrohullámú sugárzás szigorúan véve nem fény, de a nemzetközi év sok esetben általánosabban, az elektromágneses sugárzás szempontjából közelíti meg a témát. És ne feledjük, amit ma rádióháttérnek érzékelünk, valamikor ténylegesen fényként töltötte ki a Világegyetemet...

A kerek évfordulókon kívül nem szabad elfeledkeznünk a többi jelentős, fénnyel kapcsolatos tudományos eredményről sem. Az 1600-as években Newton és Huygens eltérő elméletet dolgozott ki a fény-anyag kölcsönhatás során tapasztalható jelenségek magyarázatára. A vitás kérdés magyarázata a kvantummechanika kialakulásához vezetett, amikor megszületett a fény kettős természetének (egyszerre tekinthető hullámnak és részecskének) elmélete. A másik nagy felismerés, hogy a fény sebessége független a koordináta-rendszertől, nem volt összeegyeztethető a klasszikus mechanikával, azonban a speciális relativitáselmélet választ tudott adni rá.

A fény tudományos és kultúrtörténetébe magyar kutatók is beírták a nevüket. Kiemelhetjük közülük Gábor Dénest, aki 1949-ben a fény viselkedésének egy nagyon érdekes alkalmazását fedezte fel: a hologramot, a fényben rejlő információ egy újszerű és teljesebb rögzítését. De megemlíthetjük Petzval Józsefet, aki a korábbinál lényegesen jobb portréobjektívot tervezett, ami nemzetközi ismertséget biztosított számára, krátert is neveztek el róla a Holdon.

A Fény Nemzetközi Éve azonban nem csak a tudományról szól, hiszen a kultúra, a művészetek is erős kapcsolatban vannak a fénnyel. Mindenki számára természetes,

hogy látásunk a fényre épül. Technikai, tudományos civilizációnk sem működne fény nélkül. Az információ nem áramlana óriási folyamaiban, ha nem az optikai szálakat használnánk kommunikációra. A koncentrált lézerfény a gyógyászat egyik fő eszköze lett. Az erős fénysugarak munkára foghatók a gyárakban. Sokan élnek meg abból, hogy világítunk... Ma már külön iparág a világítóberendezések gyártása. Külön technológiák alapulnak a fényre, és külön technológiák fejlődtek ki, hogy mesterségesen hozzunk létre fényt egyre nagyobb és nagyobb mennyiségben.

A megtermelt energia jelentős részét fény létrehozására használjuk fel. Világítunk, sokszor túlzott mértékben is... A 2015-ös év egyik fő témája éppen az „okos" világítás. Ma már képesek lennénk rá, de vajon mennyire élünk vele?

2. Jevons paradoxona és a világítás

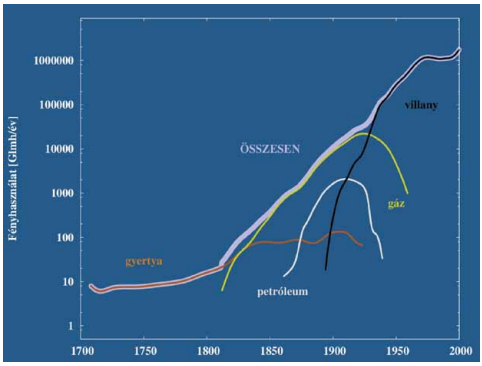
Az 1860-as években William Stanley Jevons figyelt fel arra, hogy a gőzgépek hatásfokának növekedése nem a szénfelhasználás csökkenésével, hanem azzal éppen ellentétben a növekedésével járt. Ma már ez az állítás Jevons-paradoxonként ismert a közgazdaságban, általánosítva bármely tevékenység hatásfokára és bármely erőforrás felhasználására. Azaz előfordulhat, hogy a megnövelt energiahatékonyság miatt megnő a kereslet az adott (olcsóbb) erőforrásra, így a várt megtakarítás – a megnövekedett felhasználás miatt – csökken. Az elv támogatói egyenesen azt állítják, hogy a hatékonyságjavítások mindig az energiafogyasztás növekedéséhez járulnak hozzá [1]. Kritikusai viszont azt róják fel, hogy Jevons specifikus megállapítása, ami csupán az ipar egy kis szegmensére vonatkozik, nem általánosítható objektíven, illetve jelen kidolgozottságában nem mérhető pontosan [2]. Így tehát az elv csak kellő körültekintéssel kezelhető, valódi helyzetekben sokszor egyéb tényezők is szerepet játszanak. A világítás történetében azonban találunk pár esetet, amikor a visszacsatolás szépen nyomon követhető.

Jevons paradoxona szempontjából fontos adat a fény ára, illetve, hogy ez miként változott a történelem folyamán. Itt célszerűen a fényforrás fényáramának az áráról beszélünk, amire szerencsére elég jó becslést lehet adni.

Az egyik legrégebben, kifejezetten világításra használt fényforrás a gyertya. Időnként még ma is használjuk, bár anyaga változott az évszázadok folyamán. Egy normál gyertya fényárama körülbelül 12 lumen. Ebből meg is becsülhetjük, hogy mennyibe kerül a fény ára, ha gyertyával világítunk. Körülbelül 100 forintért vehetünk egy olyan gyertyát, ami 10 órán keresztül világít. A teljes fénymennyiség ennek megfelelően kb. 120 lumenóra (lmh), amit az árral elosztva megkapjuk a keresett értéket: 0,83 Ft/lmh. Hogy ez mennyire sok vagy kevés, akkor mondhatjuk meg, ha összehasonlítjuk más fényforrásokkal, vagy a fényigényünkkel. 2005-ben egy európai lakosra átlagosan 42 Mlmh fénymennyiségfelhasználás jutott (ebben a beltéri és kültéri világítás is szerepel). Ha mindezt gyertyával szeretnénk létrehozni, akkor fejenként 35 millió forintot költenénk világításra. És nem számoltuk a füstöt, amit a sok gyertya kibocsátana... 2005-ben a fényforrások átlagos fényhasznosítása 50 lm/W volt. Az energia egységárát 40 Ft/kWh értékkel számolva, a fenti fejenkénti éves fényteljesítmény közel 35 000 forintba kerül, ezredébe mintha gyertyával világítanánk... Habár a gyertya relatívan egy nagyon költséges fényforrás, a mai ára töredéke annak, ami akkor volt, amikor általánosan elterjedt a világításban. A fényhasznosítás pedig szép lassan növekszik, tehát még olcsóbbá válik a fény.

Angliában több évszázadra visszamenőlegesen jó adatokat találtak a világítás mértékével, árával kapcsolatban [3]. A tanulmány

szerint a gyertya ára 1300 és 1900 között 32-ed részére csökkent. A XVI. század végén egy millió lumenóra (1 Mlmh) a mai árakon számolva közel 5 millió forint volt. Érthető, hogy 1700-ban az egy főre jutó éves fényhasználat csak 800 lmh volt, ami így is 4000 Ft-nak felel meg a mai árakon... A ma elérhető legjobb hatásfokkal 1 Mlmh fénymennyiség mindössze 200 forintba kerül...



1. ábra. Éves fényhasználat Angliában

A gyertya árának csökkenése és minőségének javulása (kezdetben a meglehetősen büdös és füstös faggyúgyertyákat használtak) a használt fénymennyiség rohamos növekedésével járt. Mindez persze még nem járt fényszennyezéssel, hiszen mértéke elhanyagolható maradt a mai fényözönhöz képest. A világításban bekövetkező első áttörés a XIX. század elején a gázlámpák bevezetésével történt. Csupán emiatt Angliában az 1800-at követő 120 évben durván 1000-szeresére növekedett a mesterséges fény évente kibocsátott mennyisége. Közben megjelent a paraffin és a petróleum is a világításban, de összességében sosem váltak jelentőssé.

Ezek hatását eltörpíti az elektromos világítás megjelenése: Angliában az 1800-at követő 200 évben 12 000-szeresre növekedett a fejenkénti fénymennyiség, 5 klmh-ról 60 Mlmh-ra. Ez az erőteljes növekedés már egyértelműen az elektromos világításnak köszönhető. De a villanyáramra alapuló technológia is rengeteget változott. Amikor Edison kifejlesztette a tömeggyártásra is alkalmas izzólámpát, egységnyi fénymennyiség előállítása 460-szor drágább volt, mint 2000-ben. Az ok egyrészt a fényhasznosítás növekedése volt. Ma már nosztalgiával emlékszünk vissza arra az időre, amikor még izzólámpák pislákoltak az utcai lámpák tányérja alatt – igazán még nem okozott gondot a fényszennyezés. Edison izzólámpájának fényhasznosítása még csak 1,6 lm/W volt. A modern izzók esetén ez durván 10-szeresére növekedett, de ez is csak azt jelenti még, hogy a felhasznált energia legalább 90%-a hőt termel.

Napjaink modern kisülőlámpái (pl. fémhalogénlámpák és nagynyomású nátriumlámpák) elérik a 100 lm/W fényhasznosítást. Az átlagos LED-es világítóberendezés még nem tart ezen a szinten, bár vannak már berendezések, amik elérik a 150 lm/W értéket, laboratóriumi körülmények között pedig sokkal többre is képes a félvezetőre épülő fényforrás. Hosszú ideig a csúcstartó a kisnyomású nátriumlámpa volt 175 lm/W fényhasznosításával. Ez a fényforrás csillagászati szempontból nagyon kedvező, mert főként a nátrium vonalaiban világít, és ezért könnyen kiszűrhető. Sajnos a monokrom sugárzás a vizuális hatás szempontjából az emberek többségének nem felelt meg. (Pl. azért, mert fénye alatt nem tudták megkülönböztetni a különböző színű autókat...). A fényforrásokban megjelenő technikai fejlődés tehát a múltban mindig együtt járt a kibocsátott fénymennyiség növekedésével.

2010-ben Tsao és munkatársai érdekes összefüggésre jutottak [4]. Áttekintve az angliai és egyéb forrásokat, azt kapták, hogy az elmúlt 300 évben az egy főre eső éves fénymennyiség egyenesen arányos az egy főre eső GDP és a fény adott időpontban vett árának hányadosával. A fényforrásokban bekövetkező fejlődés, a növekvő fényhasznosítás mindig a fény mennyiségének és a felhasznált energia növekedésével járt

együtt. Az összefüggés hátterében lényegében az volt, hogy a fény segített a termelékenység növekedésében – az üzemek éjszaka is működhetnek, akár kültéren is dolgozhatnak az emberek... Az extra termelés pedig megadja a lehetőséget a többletvilágításra. Minden együtt van ahhoz, hogy a Jevons-paradoxon egyik tényleges megnyilvánulását kapjuk. Tsao és munkatársai felismerésüket arra használták, hogy a félvezető alapú világítás, azaz a LED-ek hatását előrejelezzék. Ugyanis egy újabb világítási forradalom küszöbén állunk, 2030-ig tovább növekedhet a LED-ek fényhasznosítása, a Jevons-paradoxon pedig sajnos a fényre is működik...

A technikai és gazdasági trendeket előrevetítve az előbbi cikk szerzői azt kapták, hogy az eddigi szabályszerűséget követve a 2005-ös szinthez képest (20 Mlmh/év/fő világátlag) akár 10-szeresére növekedhet a kibocsátott fénymennyiség szintje, s mivel a Föld népessége növekszik, az összes fényár még inkább növekszik. Fényes jövő, de borús egészségügyi, ökológiai és csillagászati szempontokból. Ne feledjük, a LED-ek már a spájzban vannak! A probléma mértéke pedig még jelentősebb, ha megnézzük azt is, hogyan működik éjszaka a szemünk.

Tsao és munkatársai tanulmányukban a normál (fotopos) látásnak megfelelő fényáramokról beszéltek. A nátriumlámpáról fehér fényre áttérés során plusz egy jelentős növekményt jelent, ha az éjszakai (szkotopos) látásra kifejtett hatást nézzük: a városok fénykupolája még drasztikusabban növekedhet.

3. Az égbolt mesterséges fénylése

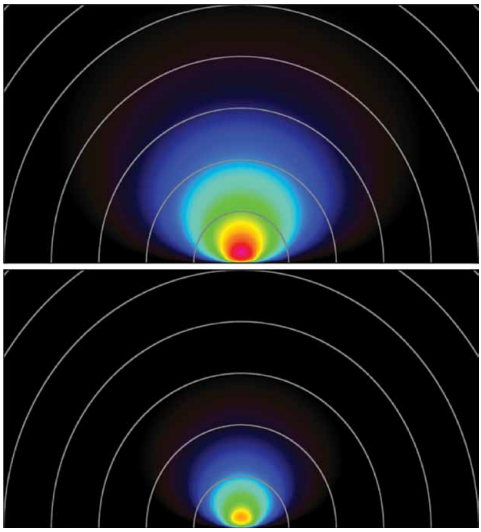
Ahhoz, hogy értelmezni tudjuk egy új típusú világítás (jelen esetben a LED) bevezetésének valószínű hatásait, kell egy mérőszám, ami könnyem meghatározható és közvetlen kapcsolatban van a mesterséges fények ökológiai hatásaival. Az égbolt fénysűrűsége a fényszennyezés egyik könnyen mérhető, globális jellemzője. Az égbolt fénylésének mesterséges komponense egyértelműen meghatározza az éjszakai égbolt csillagászati objektumainak (Tejút, állatövi fény, ködök, halvány csillagok) láthatóságát. Az égbolt fénysűrűsége közvetlen kapcsolatban van a mesterséges fények ökológiai hatásával, ezen kívül arányos a települések teljes fényveszteségével. Ennek megfelelően fontos, hogy ez megfelelő pontossággal mérhető legyen.

Az égbolt mesterséges fényessége azért is fontos, mert a fényszennyezés egyetlen hazai törvényi definíciójában, az országos településrendezési és építési követelményekről szóló 253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet (OTÉK) módosításában (211/2012. [VII. 30.] Korm. rendelet, Magyar Közlöny 2012. 103.) szerepel:

„Fényszennyezés: olyan mesterséges zavaró fény, ami a horizont fölé vagy nem kizárólag a megvilágítandó felületre és annak irányába, illetve nem a megfelelő időszakban világít, ezzel káprázást, az égbolt mesterséges fénylését vagy káros élettani és környezeti hatást okoz, beleértve az élővilágra gyakorolt negatív hatásokat is."

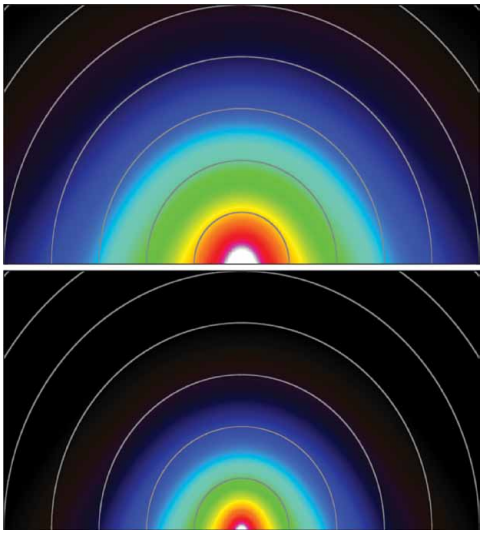
Az égbolt teljes fénysűrűsége a természetes és a mesterséges források hatásainak összegéből tevődik össze. A természetes források (csillagok, Tejút, állatövi fény, természetes légkörfény) okozta fénysűrűség sem állandó. Pl. a légkörfény mértéke függ a naptevékenység szintjétől. A földfelszínen mérhető, látható mesterséges fények mértéke ezen kívül függ a légkör állapotától, az átlátszóságától. Ennek megfelelően a két komponens szétválasztása, az égbolt mesterséges fénysűrűségének meghatározása egy összetett feladat. A mesterséges fények égbolton megfigyelhető hatása is erősen függ a légkör fizikai tulajdonságától: a páratartalom, az aeroszolok aránya jelentősen megváltoztatja a fény szóródását a légkörben. Szerencsére létezik olyan inverziós eljárás [5], amellyel a légköri paramétereket köz-

vetlenül az égbolt fénysűrűségeloszlásának mérésével is megbecsülhetjük.



2. ábra. Az égbolt szkotopos fénysűrűsége (relatív skálán) teljesen ernyőzött lámpatestek esetén. Fönt: 4400 K színhőmérsékletű LED, alul: nátriumlámpa

Az égbolt fénysűrűségének inverziójához kidolgozott modellek alkalmasak arra is, hogy a világításban bekövetkező változások hatásait megjósoljuk. A csillagos égbolt megfelelő látványának szempontjából nagyon fontos, hogy mit látunk szabad szemmel az égbolton. Ehhez arra van szükség, hogy a szkotopos látásnak megfelelően elemezzük a lehetséges változásokat. Tekintsünk etalonnak egy olyan nátriumlámpával megvalósított világítást, ahol a lámpatestek teljesen ernyőzöttek, azaz a felső térfélbe jutó fényáramhányad (ULOR, upward light output ratio) zéró. Az ULOR megmutatja a világítótestből a horizont síkja fölé távozó fényáramarányt a berendezés teljes fényáramához képest. A hasonló geometriájú (teljesen ernyőzött) 4400 K korrelált színhőmérsékletű LED-es világítás esetén a városok fénykupolájának fénysűrűsége a szkotopos látás tartományában körülbelül háromszorosára nő az etalonhoz képest. A számolt fénysűrűségeloszlásokat a 2. ábrán mutatjuk be. A teljesen ernyőzött lámpatestek esetén a talajról az égbolt irányába visszaszórt fény jól közelíthető Lambert-eloszlással, ami jól láthatóan kirajzolódik az égboltra is. Az ábrákon a szürke körívek 10 fokos lépésekben mutatják a fényforrástól mért szögtávolságot az égbolton.



3. ábra. Az égbolt szkotopos fénysűrűsége – mint a 2. ábra, de ULOR=5% esetén

A fénykupola teljes fényessége jól jellemezhető a megfigyelő helyén számolt, a forrás irányára merőleges felületen értelmezett vertikális megvilágítással. Ebben az esetben a szkotoposan értelmezett növekmény háromszoros. Meg kell jegyeznünk, hogy az imént tárgyalt ábrákat normál fotopos fénysűrűséggel elkészítve a LED-es és a nátriumlámpás világítás között csak minimális eltérést találunk. A fotopos vertikális megvilágításban kifejezve hatszázaléknyi növekedést kapunk, ami annak köszönhető, hogy a kék fény jobban szóródik a légkörben, mint a hosszabb hullámhosszú sugárzás.

Feltételezve, hogy a lámpatest teljes fényáramának 15%-a szóródik vissza az úttestről

és a talajról az égbolt irányába, a Lambert-eloszlást követve megvizsgálhatjuk, hogy mi történik, ha a teljes fényáram 5%-a közvetlenül a horizont síkja fölé vetül. Az utóbbi komponensnél feltételeztük, hogy az intenzitás a zenittel bezárt szög negyedik hatványával növekszik (Garstang-féle modell [6]). Az így kapott fénysűrűség-eloszlásokat a 3. ábrán láthatjuk. A fénykupola alakja határozottan megváltozik a horizont fölött kis sugárban távozó fénykomponens miatt, és egyúttal az összes fényesség is növekszik. A fényburából származó szkotopos vertikális megvilágításban számolva, az ernyőzött lámpatestekhez képest durván 2,6–2,7-szeres növekedéssel számolhatunk azonos színhőmérséklet esetén.

Ha az ernyőzött nátriumlámpás lámpatesthez hasonlítjuk a nem megfelelő geometriájú 4400 K színhőmérsékletű világítást, akkor együttesen már közel 8-szorosára növekedhet az égbolt teljes fényessége, csupán 5% ULOR esetén! Egy ilyen mértékű változás jelentős negatív hatással lehet a Tejút és a halvány csillagok szabadszemes láthatóságára, így tovább csökkenhetnek azon területek, ahol a gyerekek megismerhetik az éjszakai égbolt igazi látványát. Mindez kulturális örökségünk egy részének elvesztését is jelenti.

A tapasztalat szerint a meglévő, lecserélendő világítások között kevés olyan van, ami teljesen ernyőzött, leginkább 5% feletti ULOR-értékek jellemzőek. Ez esetben, a fenti számokat figyelembe véve, 4400 K színhőmérsékletű LED-et tartalmazó, de teljesen ernyőzött lámpatestekkel elérhető, hogy az égbolt szkotopos látványa ne romoljon. A számítások szerint, a fönti feltételek mellett a nátriumlámpa hatszázaléknyi horizont fölé irányuló fényáramát tudjuk éppen kompenzálni a jól megvalósított, teljesen ernyőzött LED-es berendezéssel, ha a fényforrás színhőmérséklete 4400 K. Ebben az esetben nem változik az égbolt éjszakai látásnak megfelelő látványa. Kisebb színhőmérséklet esetén pedig javulás érhető el. Ez lenne az igazi cél!

4. Az elmélet próbája a mérés

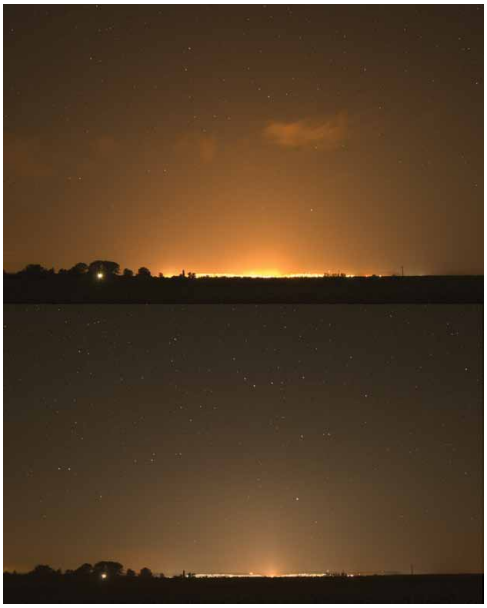
Az égbolt fénysűrűségének eloszlása meglehetősen egyenetlen. A településektől eltávolodva a zenitben mért fényesség gyorsan csökken, míg a horizont közelében a fénysűrűség nagyságrendekkel nagyobb lehet. Az egyedüli, teljes információt jelentő módszer a teljes égbolt leképező fénysűrűségének mérése. Nem léteznek azonban olyan felhasználásra kész eszközök, amelyek jól alkalmazhatók erre a célra, hiszen a mérendő fénysűrűségértékek lényegesen kisebbek annál, mint amit a hagyományos méréstechnikában használnak. Megoldást jelenthetnek a csillagászatban alkalmazott CCD-kamerákra alapuló mérőrendszerek (pl. az USA nemzeti parkjaiban rendszeresítettek ilyeneket [7]), azonban ezek az eszközök meglehetősen körülményesen használhatók terepi viszonyok között, és a mérések elvégzése is időigényes. Egy jól bevált áthidaló megoldást tett lehetővé a digitális tükörreflexes (DSLR) fényképezőgépekben tapasztalt rohamos fejlődés. A profi és félprofi kategória kamerái kellően érzékenyek ahhoz, hogy a fényszennyezésmentes helyeken is pontos mérési adatokhoz jussunk [8, 9], ráadásul a mérések jól reprodukálhatóak. Nagylátószögű optikák segítségével néhány felvétellel (halszemoptikával akár egyetlen képkockán) megmérhetjük a teljes égbolt fénysűrűségeloszlását. Egy helyszín felmérésének ideje így kellően lerövidíthető, akár 10 perces időszakra.

A méréseket csak tökéletesen derült éjszakákon, holdmentes időszakban végezzük, hogy minimalizáljuk az elkerülhető környezeti hatásokat. A mérésekhez csak azt az időszakot használjuk, amit a csillagászati szürkület határoz meg, azaz a Nap legalább 18 fokkal a horizont síkja alatt van. A teljes égbolt fénysűrűségeloszlásából ez-

után származtatható több mennyiség, például a horizontális és vertikális megvilágítás, és speciális eszközökkel (pl. Sky Quality Meter) mérhető szimulált mennyiségek.

Ha a település fénykupoláját különböző távolságokból és irányokból is lefényképezzük, akkor az összességében kapott információmennyiség elegendő ahhoz, hogy egy lineáris inverz problémát fogalmazzunk meg. A légkör állapota jól jellemezhető a teljes vertikális fényelnyelés mértékével (az aeroszol optikai mélységgel) és az aeroszolok skálamagasságával. A kidolgozott módszer lehetőséget ad arra, hogy viszonylag kevés, földfelszíni méréssel jól jellemezzük a fényszennyezés állapotát [5].

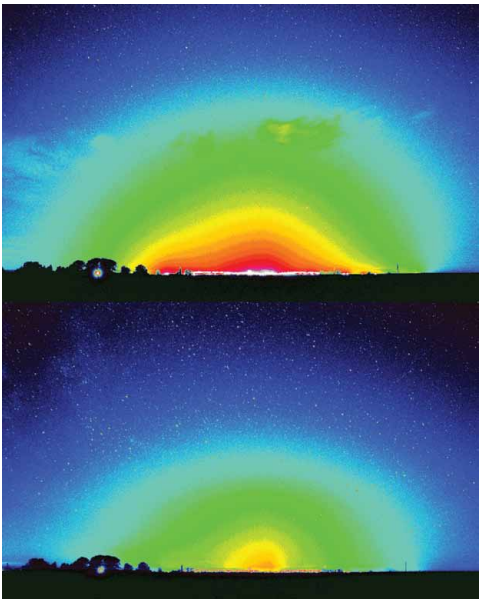
Az éjszakai égbolt fénysűrűségeloszlásának mérése és a mérések párhuzamos numerikus modellezése lehetőséget ad arra, hogy objektív módon, számszerűen jellemezzük a világítási rekonstrukciók fényszennyezésre gyakorolt hatását. A mérések inverziójából számos további hasznos információ kapható: véges helyen készült mérésekből interpolálható és letérképezhető a védett természeti területek fényszennyezettségének helyzete. A városon kívülről készült felvételek alapján meghatározható a településről távozó teljes fényáram mértéke, becsülhető a közvetlenül horizont fölé vetülő fényáram aránya. A folyamatos mérések és monitorozások alapján jellemezhetjük a világítási rekonstrukciók hatásait. Tervezzük, hogy elvégezzük a nemzeti parki területek teljes fényszennyezettségi felmérését, hosszabb távon pedig az ország teljes fényszennyezettségi térképének elkészítését. A téma művelésére külön doktori program indult a Nyugat-magyarországi Egyetemen. A Fény Nemzetközi Évének kezdetén két doktorandusz dolgozik a szerző témavezetésével. Bízunk benne, hogy a fényszennyezés elleni tudományos küzdelemben szereplő lelkes fiatalok száma tovább növekszik az év folyamán.



4. ábra. Szekszárd fénykupolája a világítási rekonstrukció előtt (fönt) és után (alul)

A világítási változások objektív követéséhez elengedhetetlenül fontos a tudományosan megalapozott mérések végzése és a kapott adatok elemzése. Elkezdtük a fényszennyezés szintjének felmérését több olyan helyszínen, ahol a közvilágítás korszerűsítése a közeljövőben várható. Nagyon fontos:, hogy a védett természeti területeken, kiemelten a meglévő és tervezett csillagoségbolt-parkokban kellő mérési adat legyen a rekonstrukció előtti állapotokról, hogy a változások követhetőek legyenek.

Előzetes eredményeink születtek Szekszárd város közvilágítási korszerűsítése kapcsán. Ebben az esetben a fényképfelvételeken közvetlenül is látható, hogy a horizont síkja fölé vetülő fényáramarány határozottan csökkent a rekonstrukció után (4. ábra). A két felvétel készítése és feldolgozása azonos módon készült, garantálva a közvetlen összehasonlíthatóságot. A város fénykupolájának fotopos fénysűrűsége egyértelműen csökkent (5. ábra). Ez a változás a modellszámítások szerint jól korrelál azzal, hogy mennyire változott a felső térfélbe sugárzott fényáramarány.



5. ábra. Szekszárd fénykupolájának fotopos fénysűrűség eloszlása a világítási rekonstrukció előtt (fönt) és után (alul)

Az előzetes eredményeink szerint az égbolt szkotopos fénysűrűsége is csökkent kis mértékben, de további mérésekre van szükség ahhoz, hogy pontosabb eredményre jussunk.

5. Összefoglalás

A közvilágítás jellege jelentős változások előtt áll. Elindultak a tömeges világítási rekonstrukciók, amelyek során Magyarországon a döntően nátriumlámpás megoldásokat fehér fényű LED-es lámpatestek váltják fel. A fehér fényre áttérésnek megvannak az előnyei, de ugyanúgy a hátrányai is, különösképpen ökológiai, tájképi és egészségügyi, azaz a fényszennyezéshez kapcsolódó szempontokból.

Ha a Jevons-paradoxon hatása a világításra is érvényes lesz, amit Tsao és társai [4] előrejeleztek, akkor világviszonylatban elég „borús" az éjszakai égbolt jövője – egyes helyek fénykupolái a legrosszabb esetben akár többszörösükre is növekedhetnek. És itt nem csak a csillagászatról van szó: a fehér fényű világítás túlzott térhódítása a fényérzékeny ganglionsejteket még inkább érinti, a melatonin hormon elnyomásában jelentős növekedés lehet, ami már közegészségügyi problémákat is felvet. Az állatvilágról pedig még nem is beszéltünk... A Jevons-paradoxon ellen csak egyféleképpen lehet tenni: törvényi szabályozással. Ezért lenne nagyon fontos, hogy olyan jogalkotás induljon meg, amellyel a teljes kibocsátott fénymennyiség és energiafelhasználás is radikálisan korlátozható lenne.

A rekonstrukciók után várható állapot nagymértékben függ attól, hogy mennyire használjuk ki a LED-es technológiában rejlő pozitív lehetőségeket. A fényáram-szabályozással az éjszaka jelentős részében csökkenthetők a fény környezeti hatásai. Megfelelő optikai tervezéssel kihasználható a LED-ek jól irányítható sugárzása, és elkerülhető, hogy a fény közvetlenül távozzon a horizont fölötti irányokba. A fényforrás színhőmérsékletének megválasztása is kritikus az ökológiai ás tájképi hatások szempontjából. A LED fényének irányíthatóságát és szabályozhatóságát kihasználva elérhetnénk azt a régi vágyat, hogy csak oda, akkor és olyan mértékben világítunk, amennyire szükség van. Pozitív példa mutatkozik a már említett rekonstrukció esetén, ahol a világítás megfelelő geometriája kompenzálja a színhőmérséklet növekedését. Ha törekednénk a maximum 3000 K-es színhőmérsékletre – és ahol lehetséges a ténylegesen borostyánsárgás világítás alkalmazására – akkor pedig akár vissza is fordíthatnánk a fényszennyezés növekedését, Jevons paradoxona ellenében. Az előrejelzések szerint a kifejezetten melegfehér, s akár a sárga fényű LED-ek fényhasznosítása a 2020-es években utoléri a hidegfehér félvezető eszközökét, és egyébként is jelentős javulás várható még a hatékonyságban.

Csak bízhatunk abban, hogy a Fény Nemzetközi Éve nem a felelőtlen világítás, a

felesleges fények elburjánzásának növelését jelenti majd, hanem minden szinten ráeszmélünk arra, hogy jobban oda kellene figyelni a felesleges és túlzott világítás okozta problémákra. Ezért kell még hatásosabban, közösen dolgoznunk 2015-ben.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak az Elios Innovatív Zrt.-nek a szekszárdi égboltfénylés felmérésben nyújtott segítségért.

Irodalomjegyzék

[1]. Herring, H.: „Definition and Implications of the Rebound Effect". (2008) http://www.eoearth.org/article/Rebound_effect

[2]. Sebestyénné Szép T.: „Energiahatékonyság: áldás vagy átok?" Területstatisztika 53, 54-68. (2013)

[3]. Fouquet, R. & Pearson, P.: „Long Run Trends in Energy Services: The Prices and Use of Light in the United Kingdom (1500-2000)". The Energy Journal 27, 139. (2006)

[4]. Tsao, J. L. és mtsai, „Solid-state lighting: an energy-economics perspective". J. Phys. D: Appl. Phys. 43, 354001 (2010)

[5]. Kolláth, Z. & Kránitz, B. „On the Feasibility of Inversion Methods Based on Models of Urban Sky Glow". Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer 139, 27. (2014)

[6]. Garstang, R.H. „Model for Artificial Night-Sky Illumination". Publ. Ast. Soc. Pacific, 98, 364-375

[7]. Duriscoe, D.M., Luginbuhl, C.B. & Moore, C.A. „Measuring Night-Sky Brightness with a Wide-Field CCD Camera". Publ. Ast. Soc. Pacific 119, 192. (2007)

[8]. Kolláth, Z. „Measuring and modelling light pollution at the Zselic Starry Sky Park" . Journal of Physics: Conference Series Volume 218, Issue 1, id. 012001. (2010)

[9]. Akkaynak, D. et al. „Use of commercial off-the-shelf digital cameras for scientific data acquisition and scene-specific color calibration" Journal of the Optical Society of America A 31, 312. (2014)

A fény keletkezése, keltése, érzékelése, biológiai hatásai, avagy a fény jellemzésére miért nem a foton-energiát használjuk?

– Erbeszkorn Lajos –

Az elektromágneses sugárzás egy szűk tartománya a fény. Jelenlegi tudásszintünkön a fény kölcsönhatásait különböző modellek segítségével magyarázzák. Ezek a fény hullámtermészetéhez vagy kvantumos viselkedéséhez kapcsolódnak. A világítástechnikai szakterület jelenségeinek zöme a fény kvantumos kölcsönhatásával magyarázható. Mégis a fény jellemzésére a hullámhosszát adjuk meg a foton-energia helyett. A szerző részletes indokolást ad a cikkben a fenti észrevétel megerősítésére.

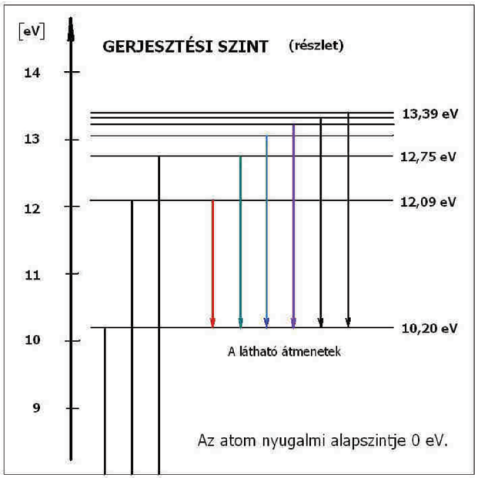
1. Bevezetés

Fénynek nevezzük a szemünk által érzékelt elektromágneses sugárzást. A fény-fény, fény-anyag kölcsönhatások rendkívül bonyolultak, szerteágazóak. Ráadásul a világítástechnikának az emberi szemek és az általuk szolgáltatott információ agyi feldolgozásának tulajdonságaihoz is maximálisan alkalmazkodnia illik.

2. Hogyan is jön létre a fény?

Vegyük a legegyszerűbb példaként a hidrogénatomot. Ilyen található a csillagunkban, a fénylő Napban is. A hidrogén-spektrállámpákban az atomokat elektronokkal gerjesztve a hidrogénatomok elektronjai egy nagyobb energiaszintű pályára állnak. A hidrogénatom energiaszintjeit az 1. ábrán [1] szemléltetem. Amikor közvetlen vagy többszöri szintugrásos módon az elektron visszatér az atom alapenergia szintjére, a jól meghatározott energiákat fotonok viszik el a rendszerből. Ezen fotonok egy része beleesik az emberi szem által érzékelt tartományba: 1,59 – 3,26 eV.

A nappali égboltot az átlagember kék színűnek érzékeli. Az egyedi fotonok a Rayleigh-szóródás következtében a légkör atomjain, molekuláin szóródnak, mégpedig az energiájuk negyedik (!) hatványának megfelelően. Ez eredményezi, hogy a lenyugvó Napot szabad szemmel is megfigyelhetjük. A légköri út ilyenkor jelentősen hosszabb, a nagy energiájú fotonok kiszóródnak és a maradó, vörös színérzetet keltő, kis energiájú fotonok nyalábja a szemet már nem károsítja. Ezért kényelmesen szemlélhetjük, hogy hol is volt a Nap 8 perccel azelőtt.



1. ábra. A hidrogénatom gerjesztett szintjei (részlet)

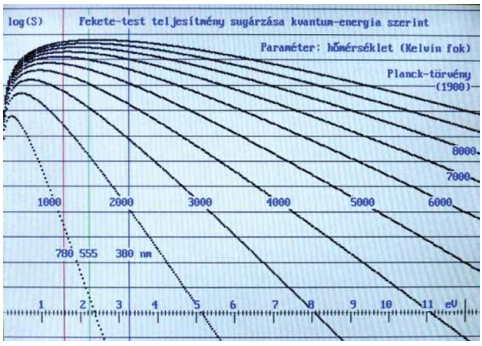
A hőmérsékleti sugárzók voltak az emberiség első világítóeszközei. Az ún. fekete test fogalmat Gustav Kirchhoff 1860-ban vezette be. Az 1800-as évek végén a különböző hőmérsékleten sugárzó tárgyakra részlegesen jó sugárzási törvényeket alkottak. Max Planck a mérési eredményekhez egy a teljes tartományban jól illeszkedő összefüggést talált [2] a frekvencia (ν) függvényében:

$$S_\nu = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2}\frac{1}{\left(e^{h\nu/kT}-1\right)}, \quad (1)$$

ahol: h – a Planck-állandó,

k – a Boltzmann-konstans,
T – a hőmérséklet, [K].

1900-ban mutatta be a Német Fizikai Társaságnak az egyenletet, az eloszlásfüggvényt a frekvencia függvényében. Később ezt az egyenletet igazolta azzal a közelítő feltevéssel, hogy az anyag harmonikus oszcillátorokból áll [2], amelyek diszkrét energiaszintjei a szomszéd szinttől h•ν energiával térnek el. A h hatáskvantum (ma: Planck-állandó) bevezetéséért 1919-ben kapta meg a Nobel-díjat. Ha az (1) egyenletet 1-gyel, másképpen kifejezve h^2/h^2-tel beszorozzuk, akkor h•ν, azaz a kvantum-energia függvényeként kapjuk meg a fekete test sugárzásának az eloszlásfüggvényét (2. ábra), amely eloszlás a világítástechnikában referenciaként szolgál.



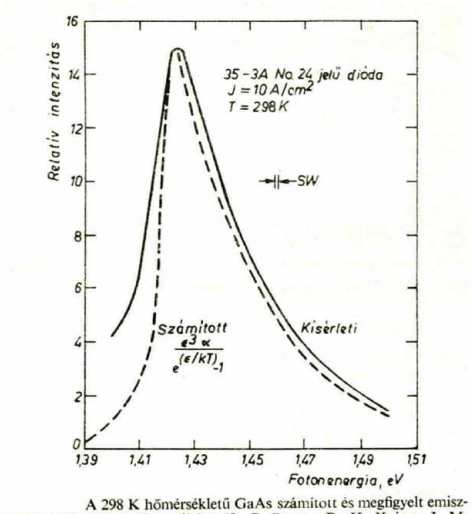
2. ábra. Az abszolút fekete test energiasűrűség-függvénye

Az elektromos ívek, a gázkisüléses fényforrások az adott gázok atomjainak, illetve a gázkeverékek atomjainak kölcsönhatásaiból, de az energiaszintjeikre jellemző energiájú fotonokat emittálnak. A nagy energiájú UV-sugárzást fényporokkal transzformálják a szem számára már kellemes energiasávba.

A jelenleg rohamosan fejlődő LED-technológia a félvezető anyagok energiaszintjeinek megfelelő beállításával éri el, hogy a befektetett elektromos teljesítmény minél hatékonyabban fényteljesítménnyé (fényárammá) alakuljon. Jellemző, hogy az első fejlesztések [3] – a lejátszódó fizikai folyamatoknak megfelelően – a foton-energia szerinti fényeloszlásokkal (3. ábra) dolgoztak.

3. A fény érzékelése

Kis fénymennyiségek mérésénél alkalmazott elektronsokszorozók érzékelője a fotókatód. Ebből kell a beeső fotonnak elektront kiléptetnie. Ha a foton energiája kisebb, mint a katód kilépési munkája, nem jön létre elektronemisszió. Lényegében a fotoelektromos-effektus fenti egyszerű magyarázatáért kapta meg Albert Einstein 1922-ben a Nobel-díjat [4].



A 298 K hőmérsékletű GaAs számított és megfigyelt emisszios sávjának összehasonlítása (J. C. Sarace, R. H. Kaiser, J. M. Whelan és R. C. C. Leite: Phys. Rev., 137, No. 2A, A 623, 1965.)

3. ábra. A LED elméleti és mért spektruma

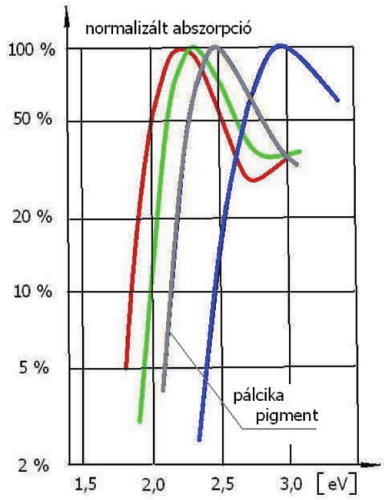
A jelenleg elterjedt félvezetős fényérzékelők működése a fény-anyag kölcsönhatáson alapul, amely a fény-foton energiájától függ. Az egyedi fény-foton energiának nagyobbnak kell lennie, mint a tiltott sáv energiaszélességének.

A világítástechnika az emberi szem számára kell, hogy teremtsen adott környezet-

ben optimális feltételeket. Nézzük meg a biológiai érzékelőt.

A szem érzékelői a retinában elhelyezkedő fotopigmentek. Ezeket a pigmenteket egyes kutatók elkülönítették, és megvizsgálták az abszorpciós képességüket [5]. A görbéket a 4. ábra szemlélteti. A kis energiájú görbeoldalon az abszorpció meredeken esik, a másik oldalon viszont jelentős szinten megmarad a kölcsönhatás. A nagyobb energiájú fotonok a szemgolyó anyagával már a retina elérése előtt kölcsönhatásba kerülnek. Így alakul ki az emberi szemre vonatkozó láthatósági függvény.

A fénytartományon túli, nagy energiájú ultraibolya sugárzás már veszélyes az emberre, kötőhártya-gyulladást, bőrrákot okozhat. Alkalmas víz, légtér bizonyos szintű sterilizálására.



4. ábra. Az elkülönített fotopigmentek abszorpciója szokatlan módon, logaritmikus léptékben a fotonenergia függvényében

4. További észrevételek a szemünkről, környezetünkről

Vegyünk – ellenpróbaként – a fény hullámtermészetéhez kötődő modellezést.

A szem-agy együttesünk a fény frekvencia (energia) összetételét színérzetként alakítja át a tudatunk számára.

Az „amplitúdó" értéket világosságérzetként észleljük.

Az elektromágneses sugárzás fázisáról, polarizációjáról viszont nincs semmi információnk.

A szokásos környezetünkben a fény hullámtermészetének hatása, például a polarizáció szinte mindenütt jelen van: a kék égbolton, a vízfelületekről, járművek és épületek üvegezéséről visszavert fények adott hányadában, azonban ezt nem észleljük (!!!).

A fény hullámtermészetével összefüggő jelenséget, az interferenciát viszont a szappanbuborék felületén, olajos úttesten, olajos vízfelszínen vagy korrodált fémfelületen is jól látjuk. A biológia is kihasználja ezt a lehetőséget: ilyen a morfo-lepke pigment nélküli kék színe. A szárnyfelületnek a fény hullámhosszával összemérhető szerkezeti elemei hozzák létre az interferenciát. De apró rovarok sokasága is interferenciaszínekben tündöklik.

A pupilla átmérője által meghatározott diffrakció jelensége éppen még szűk pupillánál sem érzékelhető, nem rontja a szemünk felbontását.

A fentiek alapján az átlagember a fény hullámtermészetéről csak elvétve az esetlegesen előforduló interferenciajelenségeket látva szerezhet tudomást.

$$E\ [eV] = \frac{1239{,}84}{\lambda\,[nm]}. \quad (2)$$

5. Összefoglalás

A cikkben részletezett példák mutatják, hogy a világítástechnika hatáskörébe tartozó jelenségek, eszközök és maga az emberi szem is a fény kvantumtermészetéhez kötődik. Ennek ellenére vajon miért a fény hullámtermészetére utaló paraméterrel, a hullámhosszal jellemezzük a fényt ezen a szakterületen? A spektrométerek csak hullámhosszban lehetnek kalibrálva?

Irodalomjegyzék

[1]. ht t p://w w w.w i k ip e d i a.de/wasserstoffatom
[2]. A. Nussbaum, R. A. Phillips: „Modern optika mérnököknek és kutatóknak", Műszaki Könyvkiadó, 1982, 371. oldal
[3]. Albert van der Ziel: „Szilárdtest elektronika", Műszaki Könyvkiadó, 1982, 424. oldal
[4]. „A Nobel-díjasok kislexikona", Gondolat, Budapest, 1985
[5]. http://www.inrp.fr/acces/biotic/evolut/mecanismes/opsines/html/pigments.htm (Dr. Tobias Breiner, uni-frankfurt)

Cégünk, az 50 éves gyártási tapasztalattal rendelkező **EMIKA Zrt.** Magyarország egyik legnagyobb, prémium minőségű lámpatesteket gyártó, magyar magántulajdonban lévő vállalata. Éves árbevétele két milliárd forint. Jelenleg 150 munkatársunk van.

A Vevői elvárásoknak és a változó technológiáknak történő rugalmas megfelelés érdekében megújított termékpalettánkat folyamatosan fejlesztjük. Minden tevékenységünk célja az elégedett Vevő, a kimagasló minőség, a megbízhatóság, és a környezet védelme.

A tudás és a design, mint hozzáadott értékek egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a saját tervezésű, korszerű, megbízható, energiatakarékos és környezetbarát világítástechnikai termékeinkben, amelyeket belföldön EMIKA márkanévvel forgalmazunk.

Világítástechnikai üzletágunk mellett másik fő tevékenységünk a fémmegmunkálás. Közepes méretű lemezalkatrészeket és részegységeket gyártunk autóipari felhasználásra.

Mindezekről bővebben www.emika.hu weblapunkon tájékozódhat.

A szabványosított káprázásértékelés kritikája

– Majoros András –

A minőségi mesterséges világítás legfontosabb követelménye a zavaró káprázás korlátozása. Az erre vonatkozó elvárásokat valamint a megengedhető zavarás mértékének számítási eljárását jelenleg az EN 12464 Fény és világítás, Belsőtéri munkahelyek szabvány tartalmazza. A szabványosított értékelési eljárással megfelelőségével kapcsolatban olyan kétségek merültek, amelyek lényegében érintik az összefüggés valamennyi komponensét és tartalmát. A cikk ezeket a kételyeket fogalmazza meg részben elméleti alapon, részben gyakorlati tapasztalatok segítségével. Egyidejűleg elképzeléseket közöl a remélhetőleg helyes módosításokra.

1. Bevezetés

A belsőtéri világítások az EN 12464-1 Európai Szabvány követelményei alapján létesülnek. A világítástechnikus alkalmazó számára a szabvány kész tény, érvényességi idején belül naprakész. A szabvány alkalmazása nem igényelheti kidolgozásának hátterét képező anyagok, esetleges újabb kapcsolódó kutatások ismeretét.

A szabványosított módszer lehet egyszerűsített az elvileg kifogástalan módszerhez képest, azonban semmiképpen nem tartalmazhat pontatlan fogalmakat, nem mondhat ellent világítástechnikai alapismereteknek, gyakorlati tapasztalatoknak és legfőképpen önmagának.

Az előzőek alapján elemzem a szabványosított káprázásértékelést, kételyeket fogalmazok meg és lehetséges válaszokat. Az utóbbiak esetenként a már rendelkezésre álló ismeretek alapján beláthatók, sok esetben olyan célirányos kísérleti alátámasztást igényelnek, amelyek természetesen messze meghaladják jelen kereteket.

A zavaró káprázás korlátozása napjaink világítástechnikai gyakorlatának egyik legfontosabb feladata. A mesterséges világítási berendezéseket megfelelő káprázáskorlátozással kell tervezni és esetenként tudni kell a megfelelőséget ellenőrizni a világítási berendezés üzembe helyezése után.

A zavaró káprázás értékelése jelenleg az idézett szabvány szerint történhet. A zavaró káprázás értékelésére az alábbi **alapösszefüggés** szolgál:

$$UGR = 8 \log\left(\frac{0{,}25}{L_b} \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2}\right)$$

E szabvány, követelményként **UGR határértékeket** ad az egyes belsőtér-rendeltetésekhez. Adott helyiség világítási berendezésének káprázatát jellemző UGR-érték ezt a határértéket nem haladhatja meg.

A világítástechnikai gyakorlat számára tehát adva vannak zavaró káprázásra vonatkozó szabványosított követelmények, és az alapösszefüggés, aminek alapján az aktuális zavaró káprázást tervezés során számolni, meglévő berendezés esetén ellenőrizni kell.

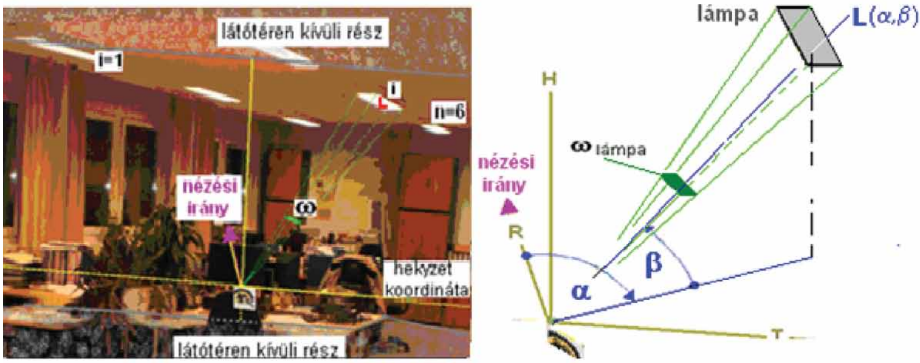
Olyan mérőberendezés, amelyik a zavaró káprázás nagyságát mérné, nem létezik. Így egyetlen lehetőség, hogy egy összefüggés, jelen esetben az alapösszefüggés segítségével határozzuk meg, tervezés során katalógus adatokból, ellenőrzésnél mért értékekből.

A káprázásértékeléssel kapcsolatos elméleti megfontolások, továbbá a mindennapi tapasztalatok indokolják, a szabványosított alapösszefüggés kritikai vizsgálatát. Ennek keretén belül célszerű áttekinteni mindazokat a kisebb nagyobb problémákat, amelyek jelen alapösszefüggéssel kapcsolatban felmerülhetnek, illetve felmerülnek. Ennek kíván megfelelni a következő tanulmány.

Az **alapösszefüggés** matematikailag pontatlan, föltehetőleg a következők szerinti képletet értették alatta:

$$UGR = 8 \log\left(\frac{0{,}25}{L_b} \sum_{i=1}^{n} \frac{L_i^2 \cdot \omega_i}{p_i^2}\right)$$

ahol, az idézett szabvány szerint, és az 1. ábrán értelmezve:



1. ábra. A káprázásvizsgálat koordináta rendszerei

UGR – A zavaró káprázás mértékét mennyiségileg jellemző szám,
L – az egyes lámpatestek világító felületének fénysűrűsége az észlelő szemének irányából nézve, cd/m^2,
ω – az egyes lámpatestek világító felületének térszöge az észlelő szemének irányából nézve, sr,
p – a Guth-féle helyzetindex az egyes lámpatestekre, ami azok látóvonalhoz viszonyított eltérésétől függ,
$\mathbf{L_b}$ – a háttér fénysűrűsége cd/m^2–ben, értéke E_{ind} /π –vel számolva, ahol E_{ind} a függőleges közvetett megvilágítás az észlelő szemének helyén,
n – a látótérben lévő vizsgált lámpatestek száma.

A káprázás olyan polárkoordinátarendszerben vizsgálható, aminek origója a szemlélő szeme, meghatározó tengelye pedig látóvonalnak nevezett a nézési irány. A Guth-féle helyzetindex az **R-T-H** derékszögű koordinátarendszerben értelmezett, ahol **R** tengely a nézési irány.

A szabvány magyar fordításában a **lámpatest** kifejezés használata pontatlan. Lámpatest ugyanis a fényforrásokat nem tartalmazó szerkezet megnevezése, ha a lámpatest fényforrást is tartalmaz, akkor a szakmailag pontos megnevezés **világítótest** (lásd Világítástechnikai Kislexikon). Jóllehet a hétköznapi gyakorlatban rendszerint mindkettőre egyszerűen lámpa megnevezést használják, szabványszinten azonban a pontosság e tekintetben is elvárható. A következőkben a világítótest vagy – világítótestet értve alatta – lámpa kifejezéseket használom.

Az összefüggés felépítését, nevezetesen, hogy a káprázás mértéke a zavaró fénysűrűség négyzetétől, térszögétől, egyenes arányban, a helyzetindex négyzetétől és háttér és látótér fénysűrűségétől fordított arányban függ, nem kívánom vitatni. Nem tekintem a struktúra változtatásának, ha a háttér mellett a látótér hatása is beépül az összefüggésbe.

Azonban az, hogy a káprázás értékelése során

- melyik lámpákat kell számításba venni,
- miként értelmezhető az L^2,
- milyen a háttér és a látótér fénysűrűségének hatása,

mindenképpen pontosításra szorul, mert az alapösszefüggés erős kétségeket támaszt.

Sorra véve a vélt pontatlanságokat, az alapösszefüggés módosításában

- az újra értelmezett fogalmakat, változókat lila szín,
- az új fogalmakat, változókat, kiegészítéseket kék szín jelöli.

2. Melyik lámpákat kell számításba venni?

Nem minden látótérben lévő világítótest zavaró, ezt a körülményt a káprázásvizsgálat során figyelembe kell venni. Az összefüggés matematikai vizsgálata nyújt erre módot.

A szabványosított káprázásértékelés kritikája

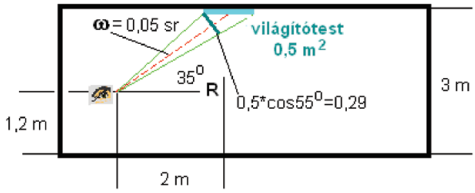
Tételezzük fel, hogy egyetlen világítótest zavaró hatásának vizsgálata a feladat, az erre egyszerűsített összefüggés:

$$UGR = 8 \log \frac{0{,}25\, L^2 * \omega}{L_b * p^2}, \quad \text{ha} \quad 1 > \frac{0{,}25\, L^2 * \omega}{L_b * p^2}$$

ennek logaritmusa negatív, tehát egy ilyen helyzetben a világítótest csökkentené a többi világítótest zavaró hatását, ez nyilván képtelenség, következésképen az ilyen világítótestet ki kell hagyni az képlet összegezéséből.

Van-e az ilyen esetnek realitása?

Vizsgáljunk meg egy 2. ábra szerinti reális geometriai esetet, az ábra a nézési irányon átmenő függőleges síkot mutatja.



2. ábra. A vizsgált eset geometriai elrendezése

Erre a geometriára, a lámpához rendelhető a Guth-féle helyzetindex, a helyzetet jellemző **H/R**=0,7, **T/R**=0 esetén, **p**=4,2

A háttér várható fénysűrűsége néhány 100 cd/m². Például egy ρ= 0,6 reflexiós tényezőjű matt mennyezet– oldalfal háttér, aminek megvilágítása E= 500 lx (ez egy kimondottan világos háttér), esetén a háttér fénysűrűsége

$$L_b = \rho * E/\pi = 0{,}6*500/3{,}14 = 96 \text{ cd/m}^2$$

Erre a geometriai elrendezésre a feltételezett háttér mellett a vizsgált hányados:

$$\frac{0{,}25\, L^2 * \omega}{L_b * p^2} = \frac{0{,}25 * 0{,}05}{96 * 4{,}2^2} * L^2 = 7{,}38 * 10^{-6} * L^2$$

Az a fénysűrűség-határérték, amely alatt az adott lámpát ki kell zárni a vizsgált káprázató világítótestek köréből:

$$1 = 7{,}38*10\text{-}6\, \mathbf{L}^2 \rightarrow \quad \mathbf{L} = 360 \text{ cd/m}^2$$

Ilyen fénysűrűségű az a világítótest, amelynek fényerőssége 55° alatt

$$\mathbf{I = L*A'} = 360* 0{,}29 = \mathbf{104} \text{ cd.}$$ Ez az érték a gyakorlatban előfordulhat.

Az előzőek miatt és alapján a **bázisösszefüggést bővíteni kell a következők szerint**

$$UGR = 8 \log \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}25 * L_i^2 * \omega_i}{L_b * p_i^2} \right)$$

és azokat a világítótesteket, amelyekre fennáll, hogy

$$1 > \frac{0{,}25\, L^2 * \omega}{L_b * p^2}$$

ki kell hagyni az összegezésből.

Ez a megkötés az alapösszefüggés további módosító kiegészítése esetén is értelemszerűen szükséges.

3. Miként értelmezhető az L² ?

A lámpatestek fénysűrűségeloszlása a felületük mentén lehet

- homogén, amikor a lámpatest minden felületelemének fénysűrűsége, valamely irányból és távolságból szemlélve ugyanaz, vagyis L állandó vagy
- inhomogén, amikor a világítótest-felület részeinek a fénysűrűsége valamely irányból, és távolságból szemlélve nem azonos, vagyis **L** változó. Ilyen esetben a világítótest-fénysűrűség felület menti változását egy **L(α,β)** eloszlásfüggvény jellemzi, ahol α, β a megfigyelő ponttól értelmezett szögek.

(a (b (c

3. ábra. Homogén fénysűrűségeloszlású világítótestek

Homogén fénysűrűségeloszlást szolgáltathatnak azok a lámpák, amelyeknek fénykibocsátó felületei általában Lambert-törvény szerint szórva sugározzák a fényt.

Ilyenek tekinthetők jó közelítéssel a gyakorlatban az opálburás gömblámpák (3a), a tejüvegszerű burkolatú lámpák (3b), a kis felületről (kb. 1° alatt látható) sugárzó lámpák (3c).

Ezzel kapcsolatban célszerű emlékeztetni arra, hogy az egyenletes fénysűrűségűnek látszó felület nem feltétlenül homogén, de annak tekinthető.

Homogén fénysűrűségeloszlású világítótesteknek

- a fénysűrűsége minden irányból egyetlen **L** értékkel,
- hatása az alapösszefüggésben pedig ennek négyzetével, $\mathbf{L^2}$-tel jellemezhető.

Inhomogén fénysűrűségeloszlásúak azok a világítótestek, amelynek fénykibocsátó felületeinek fénysűrűsége valamely irányból és távolságból szemlélve változó.

Ilyennek tekinthetők a gyakorlatban a tükrös lámpák (4a), továbbá azok a többékevésbé átlátszó felülettel határolt lámpák, amelyeknek a felülete nem opálburás és/vagy belülről egyenlőtlenül világított (4b, 4c). Várhatóan ilyen a LED-lámpák nagy része.

(a (b (c

4. ábra. Inhomogén fénysűrűségeloszlású világítótestek

Inhomogén fénysűrűségeloszlású világítótesteknek

- a fénysűrűsége, valamilyen **L(α,β)** eloszlásfüggvénnyel jellemezhető,
- hatása szükségszerűen csak is olyan egyetlen ún. $\mathbf{L_{ef}}$ effektív fénysűrűségérték négyzetével ($\mathbf{L_{ef}}^2$) jellemezhető, amely kielégíti az 5. ábra egyenleteit.

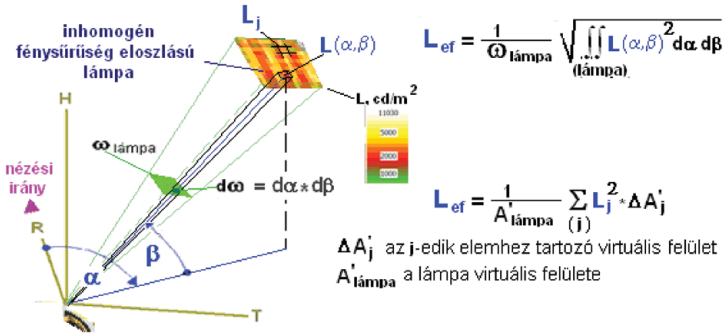
A probléma hasonló a váltakozóáram hatásánál értelmezett effektív értékhez, csak amíg ott időbeni változás, ez esetben a felületmenti eloszlás a súlyozás alapja.

Ennek szemléltetésére nézzünk egy egyszerű példát. Egy lámpa két egyenlő térszög alatt látott felülete eltérő fénysűrűségű, legyen az egyik felének fénysűrűsége 1000 cd/m² a másik felének pedig 5000 cd/m². Mennyi az effektív érték?

$\mathbf{L_{ef}}$=[(1000²*0,5ωlámpa,+5000*0,5ωlámpa)/ωlámpa]^0,5= (1 000 000 *0,5ωlámpa,+ 25 000 000* 0,5ωlámpa)/ωlámpa]^0,5=(13 000 000 *ωlámpa/ωlámpa]0,5 = (13 000 000] ^0,5= **3650** cd/m²

Minthogy e vizsgált világítótest átlagos fénysűrűsége 3000 cd/m², ha az átlag fénysűrűséggel vennénk figyelembe a zavaró hatást, akkor (3000/3650)² = 0,67-szeres hibával számolnánk.

Az **effektív fénysűrűség** tehát nem egyszerű átlag, hanem eloszlástól függő négyzetes átlag, amiről elemzés nélkül csak az tudható, hogy a legkisebb és legnagyobb fénysűrűségérték között, az eloszlás jellegétől függően bármilyen érték lehet.



5. ábra. Az I_{ef} effektív fénysűrűség értelmezése

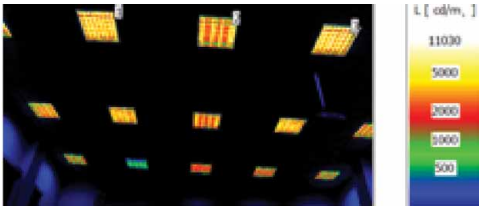
A szabványosított káprázásértékelés kritikája

A jelenlegi technikai háttér mellett a világítótestek $\mathbf{L_{ef}}$ effektív fénysűrűségének meghatározása korlátokba ütközik, a következők szerint:

Napjaink gyakorlatában a lámpatesteket fényeloszlási görbékkel, fényeloszlási testekkel jellemzik. Ezekből vehető a lámpatest adott irányú fényerőssége, ami a lámpatest egészére (teljes világító felületére) vonatkozó érték. Ebből következik, hogy a fényeloszlási görbék segítségével csakis a világítóteste adott irányhoz és a megfigyelő távolsághoz tartozó **átlagos fénysűrűsége** határozható meg.

A belsőtéri lámpák fénysűrűségeloszlása, a gyakorlatban használatos 0,5°-os vagy az 1°-os kézi fénysűrűségmérőkkel általában nem mérhető, mert ez a látószög néhány méter távolságból már a világítótest viszonylag nagy felületét méri. (Az egy 1°-os fénysűrűség mérő 4 m távolságról kb. 7 cm sugarú kör átlag fénysűrűségét méri.)

Jelenleg a fénysűrűségeloszlást mutató, fénysűrűségmérő kamera fényképe (6. ábra) az egyetlen lehetőség, amellyel a világítótest fénysűrűség felületi eloszlása – adott szemlélő pontból – közelítő pontossággal meghatározható.



6. ábra. Inhomogén fénysűrűségeloszlás a fénysűrűségmérő kamera képén

Az ilyen képek szemléltető hatása vitathatatlan. Maga a színskálás fénysűrűség eloszlás közvetlenül nem használható a káprázás számítására, azonban a világítótest felületének felosztásával, az egyes elemek fénysűrűség átlaga meghatározható.

Ezek segítségével a lámpa egészének $\mathbf{L_{ef}}$ effektív fénysűrűsége jól közelíthető.

Az előzőek miatt és alapján az alapösszefüggést célszerű átalakítani a következő formára:

$$UGR = 8 \log\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}25 * L_{efi}^{2} * \omega_i}{L_b * p_i^{2}}\right)$$

Összességében a világítótest L_{ef2} effektív fénysűrűség értékével kapcsolatban megállapítható, hogy a zavaró káprázás értékelése

- **csak homogén fénysűrűségű világítótest esetén lehetséges egyszerűen az alapösszefüggés segítségével,**
- **inhomogén fénysűrűségű világítótestek esetén L_{ef} effektív fénysűrűsége**
  - **a tervezéshez nem áll rendelkezésre,**
  - **a megvalósult berendezés ellenőrzésénél csak speciális eszköz**
  - **igénybevételével bonyolult eljárással állapítható meg.**

Tekintettel arra, hogy a belsőterek világításában használt lámpatestek számottevő részének, valószínűsíthetően többségének, fénysűrűségeloszlása inhomogén, ennek figyelmen kívül hagyása elvi hiba és pontatlanságot okozhat.

3. Milyen a háttérfénysűrűség hatása?

Mielőtt a **háttér** fénysűrűségét vizsgáljuk, célszerű pontosítani a háttér fogalmát.

A vizuális feldolgozás során a látótér folyamatosan két funkcionális részre osztható, nevezetesen a **látás tárgyára** és a látótér többi részére.

A **látás tárgya** az aktuális információt hordozó felület, amire a nézés irányul. A látás tárgyának kiterjedése különböző

lehet, általában nagyobb annál a területnél, mint ami egy nézési iránynál a tisztánlátás területe, ezért a tárgy tiszta képéhez úgy jutunk, hogy a nézési irány célszerű változtatásával szemünk végig pásztázza a tárgy felületét.

A világítás láthatóságra vonatkozó elvárásai (részletek, színek és forma), továbbá a kiegyensúlyozott fénysűrűség vizsgálata, vagyis a világítási problémák túlnyomó része, ennek a **tárgy-háttér** értelmezésnek az alapján történhet.

A káprázás azonban az előzőektől eltérő, speciális probléma, amelyre az a jellemző, hogy a tárgy nem az **információszerzés tárgya,** hanem a zavarásé, nevezetesen olyan nagy fénysűrűségű felület, például lámpák, amelyek a látótérben, a nézési irányon kívül vannak. Minthogy a nézési irány az információt szolgáltató tárgyra irányul, a **zavaró tárgyak** (lámpák) a látótér nézési irányától különböző irányokban láthatók, a káprázáskorlátozás vizsgálata során erre a helyzetre kell értelmezni a **tárgy-háttér** kapcsolatot.

A háttér problémakör kereteit a 7. ábra szemlélteti.

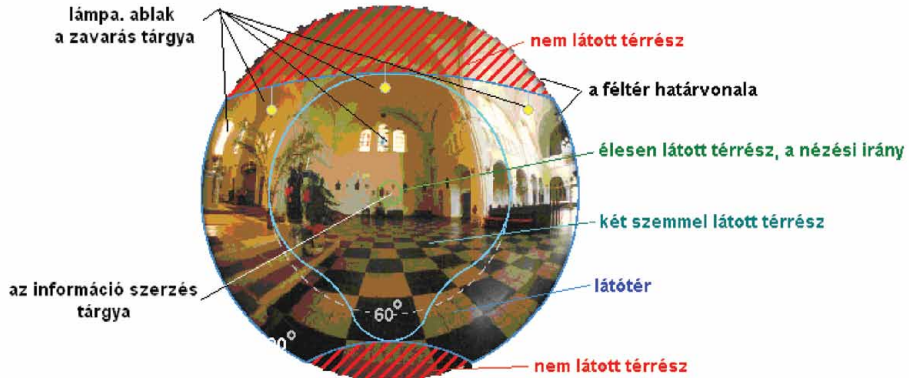
Az alapösszefüggés nevezőjében a háttérfénysűrűség vélhetően, a látótér káprázató fénysűrűségen kívüli részének hatását kívánja az érvényre juttatni.

Az alapösszefüggés, $\mathbf{L_b}$ háttérfénysűrűségként definiált változója, és annak adott meghatározási módja több kérdést vet fel, úgymint

I. Mit kell „háttér" alatt érteni, amelynek fénysűrűsége az $\mathbf{L_b}$ háttérfénysűrűség?
II. Lehet-e azonos a háttérfénysűrűsége, minden potenciálisan káprázató világítótest esetén, mint ahogyan azt az alapösszefüggés mutatja?
III. Hatással van-e a káprázásra a látótér háttéren kívüli része?
IV. Lehet-e a látótér egészének, vagy egyes részeinek hatását a látótérelemek fénysűrűségével számításba venni?
VI. Indokolható-e, hogy csak az indirekt megvilágítással jellemezzük a látótér hatását?
VII. Helyettesíthető-e megvilágítással az érzetként felfogott fénysűrűség?

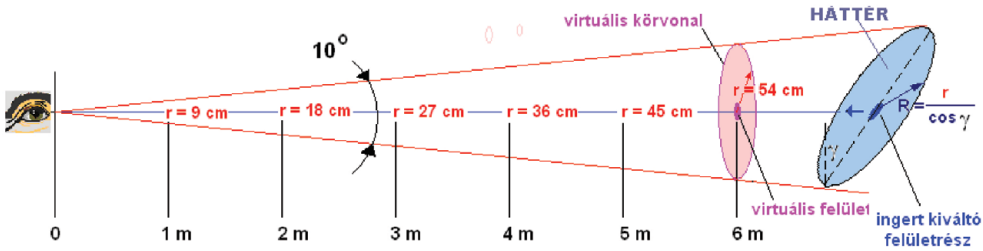
4. Mit kell „háttér" alatt érteni, aminek fénysűrűsége az L_b háttérfénysűrűség?

A legautentikusabb forrás, a CIE Szótár szerint: **„Háttér, elsődleges inger:** az ingert körülvevő, mintegy 10°-kiterjedésű környezet". A fenti kifejezést, a használhatóság érdekében pontosítani kell. Valamit és hátterét egyazon jellemzővel kell definiálni, ha a valami szög, akkor a háttere is szög, ha valami felület, akkor a hátte-



7. ábra. A látótér részei halszemoptikás fényképen

A szabványosított káprázásértékelés kritikája



8. ábra. A háttér kiterjedése és a virtuális felület

re is felület stb.), az inger alatt, nyilván az ingert kiváltó kúpszög (felület) értendő. Minthogy a belsőtér és minden egyes részét méreteivel definiáljuk, a gyakorlatban a lámpának méretei és felületei ismertek, a háttere is mérettel és felülettel jellemezhető konzekvensen (8 ábra). Ezt indokolja az is, hogy távolságot tudunk becsülni, szöget nemigen.

A gyakorlatban a káprázató inger a lámpa világító felülete, így az erre értelmezhető háttér a lámpa világító felületének virtuális körvonala mentén kb. 5°-os környezet.

A 9. ábra képei a hátteret szemléltetik kb. 5 m szemlélőtávolságból.

9. ábra. Lámpaháttérek a gyakorlatban

Értelemszerűen a háttér lehet közvetlenül a lámpa melletti felület, de lehet attól jóval távolabb lévő is.

Ennek megfelelően tehát, **a káprázást leíró egyenletben, a háttérfénysűrűség, csak a látótér egy kis, a zavaró fénysűrűségű lámpa körüli része. A háttér határvonalán belül jut érvényre a zavaró felület kontrasztja. Az ilyen módon célszerű újra értelmezni háttér L_b fénysűrűséget.**

II. Lehet-e azonos a háttér fénysűrűsége minden potenciálisan káprázató világítótest esetén, mint ahogyan azt az alapösszefüggés mutatja?

Az előző háttérértelmezés szerint, minden lámpának úgymond „saját" háttere, és így saját L_{bi} háttérfénysűrűsége van. Egyetlen fénysűrűséggel valamennyi lámpa háttere nem jellemezhető!

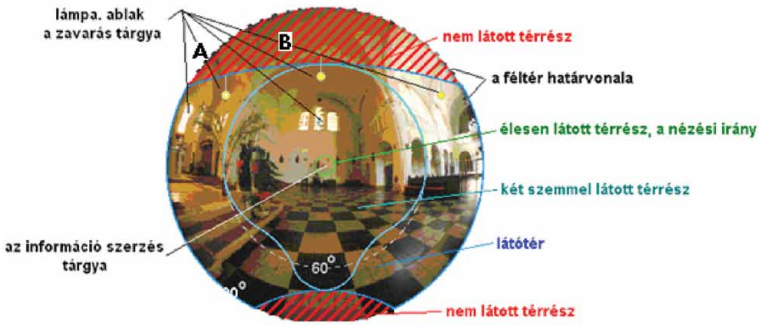
Ezt mutatja a 10. ábra, amelyen a nézési irányra szimmetrikusan elhelyezkedő, egyébként teljesen egyforma „A" és „B" lámpa látható. Ha elfogadnám, hogy a mindkét lámpára azonos L_b fénysűrűség vonatkozik, amit a szabvány javasol, akkor a két lámpa, káprázató hatásának azonosnak kellene lenni, ez pedig nem így van. S ennek oka a két lámpa – az előző pont szerint értelmezett – különböző háttere.

A közvetlen környezetként értelmezett háttér meghatározó befolyását mutatja az a gyakorlati tapasztalat is, hogy világos képernyőn 4,5-ször akkora fénysűrűség okoz káprázást, mint sötét képernyőn.

Emiatt az alapösszefüggést módosítani kell a következők szerint:

$$UGR = 8 \log\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}25 * L_{efi}^{2} * \omega_i}{L_{bi} * p_i^{2}}\right)$$

Következésképpen **minden világítótest káprázatát saját hátterében kell vizsgálni.**



10. ábra. Egyforma „A" és „B" jelű világítótestek megjelenése eltérő háttér mellett

III. Hatással van-e a káprázásra a látótér háttéren kívüli része?

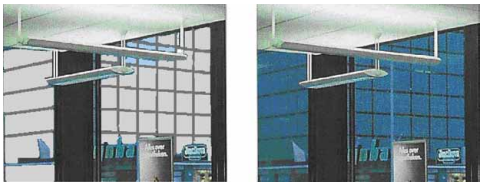
A látótér hatása első közelítésben így fogalmazható: „Minél világosabb a látótér, annál kisebb az adott káprázó hatás". Azonban jobban szemügyre véve a hatást, két részhatás különíthető el:

Az egyik rész a **káprázó fénysűrűség közvetlen környezetének,** az előbb tárgyalt hátterének hatása, aminek kontrasztjában észleljük a zavarást, minél kisebb a kontraszt, annál kisebb az adott zavaró tárgy káprázó hatása.

A másik rész a **teljes látótér fénysűrűségének hatása,** ami alakítja az adaptációt, minél világosabbra adaptált a látás, annál kisebb a zavaró hatás.

Minthogy e két hatás a látótér más-más részéhez kapcsolódik, minden esetben szükségszerűen különbözik egymástól, ezért nem képezhető le egyetlen jellemzővel.

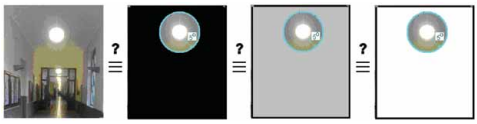
A kérdés: „Van-e a teljes látótér fénysűrűségének hatása a káprázásra?"



nappal éjszaka

11. ábra. Mesterséges világítás megjelenése nappal és éjjel

Tapasztalattal egyezik, amit a 11. ábra két képe mutat, nevezetesen, hogy a lámpák sötétebb környezetben nagyobb hangsúlyt kapnak. Gondoljunk csak az utcai lámpákra, amelyek este erősen káprázó hatnak, nappal bekapcsolt állapotukat sem igen észleljük. Sarkítva elemezhető a kérdés a következő képeken, tekinthető-e azonosnak a 12. ábra 4 képe káprázás szempontjából?



12. ábra. Azonos háttér különböző látótérben

Alig vitathatóan nem, amiből következik: bizonyosra vehető, hogy a teljes látótér által alakított adaptációs szint befolyásolja a háttér határvonalán belüli térrész értékelését, zavarásának mértékét.

Feltételezhető, hogy a világosabb látótér csökkenti a káprázás mértékét, így az $\mathbf{L_{fv}}$ látótér fénysűrűsége (index fv, field of view = látótér) a látótér integrált hatását érvényre juttató, valamilyen $\mathbf{g(L_{fv})}$ függvény szerint befolyásolja az alapösszefüggést. A látótér $\mathbf{g(L_{fv})}$ függvény szerinti hatása minden lámpára egyformán vonatkozik, ezért kiemelhető az összegzés során.

Az előzőeket elfogadva **az alapösszefüggés további kiegészítésre szorul, a következők szerint:**

$$UGR = 8 \log\left(\frac{1}{g(L_{fv})} \sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}25 \cdot L_{efi}^{2} \cdot \omega_i}{L_{bi} \cdot p_i^{2}}\right)$$

IV. Lehet-e a látótér egészének, vagy egyes részeinek hatását a látótér-elemek fénysűrűségével számításba venni?

A kérdés kapcsán felmerül valami nagy hiányosság a fénysűrűséggel kapcsolatban.

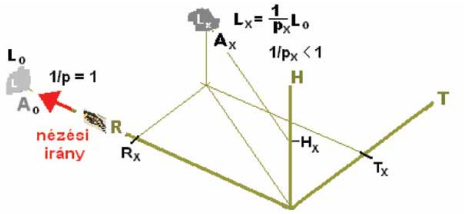
A látótér elemeinek fénysűrűségét érzékeljük. Általánosan ismert és használt a fénysűrűség fogalom, amelyet a nézőpontból mérünk a vizsgált felületre irányított fénysűrűségmérővel. A nézőpont a szemen kívül, a szem szaruhártya külső felületén értelmezhető. Minthogy a látás elsődleges célja az információszerzés, tekintetünk mindig az aktuálisan érdekes felületre irányul. Ezért az ismert és használt fénysűrűség fogalom maradéktalanul megfelel az információszerzéssel (részlet-, szín-, térlátás) kapcsolatos jelenségek leírására.

Természetesen egyidejűleg érzékeljük a látótér aktuális nézési irányon kívül részeinek fénysűrűségét is. Ezen fénysűrűségek játszanak szerepei egyebek mellett a káprázásban és az adaptációban.

A megszokott gyakorlat szerint, a nézési irányban észlelt, mért fénysűrűséget tekintjük a felület fénysűrűségének, hiszen ha a felületre nézünk, ez az információt szolgáltató tárgy.

A látótér nézési irányon kívüli részeinek fénysűrűségeit ugyancsak észleljük, de másképpen. Az eltérés az érzékelt fénysűrűség nagysága tekintetében van, nevezetesen adott fénysűrűség legvilágosabb a nézési irányban ($\mathbf{L_o}$) és attól távolítva **x** irányban azt sötétebbnek ($\mathbf{L_x}$) látjuk.

Van tehát egy hatás, ami miatt adott **fénysűrűség**et a látótérbeli helyzetétől függően különböző **érzetként felfogott fénysűrűség**ként észlelhetünk. Ezt a hatást, ami feltehetően több részhatás eredője, fejezi ki a **p** Guth-féle helyzetindex, amelynek értékei egy **R-T-H** derékszögű koordinátarendszerben pozicionált helyzethez adottak. Ez a koordinátarendszer a nézési irányhoz illesztett, az **R** tengely iránya a nézési irány, a 13. ábra szerint.



13. ábra. A Guth-féle helyzetindex és a fényérzetként felfogott fénysűrűség

A Guth-index reciprok értéke,- 1/**p** – a fénysűrűségérzékelés, **nézési iránytól függő hatásfoka.** Adott fénysűrűséget legnagyobbnak a nézési irányban észlelünk (**p**=1), attól távolodva 1/**p** szerint csökken (**p** > 1).

A Guth-helyzetindex segítségével a nézési iránytól eltérő irányban észlelt fénysűrűségek **érzetként felfogott fénysűrűség** értéke határozható meg.

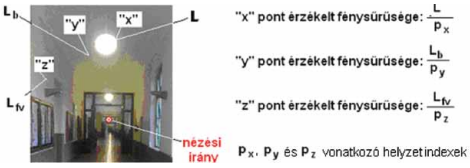
Az alapösszefüggés ezt a körülményt figyelembe veszi a káprázató fénysűrűség tekintetében, azonban figyelmen kívül hagyja a háttér fénysűrűségnél. Nehezen képzelhető el, hogy azok az érzékelési sajátságok, amelyek a Guth-index értékeiben manifesztálódnak, a nézési irányon kívüli látótérrészekben csakis a káprázató fénysűrűség esetén jutnak érvényre. Minek alapján lehet feltételezni, hogy látásunk blokkolja a Guth-index szerinti, a nézési irányon kívüli látótérrészekre vonatkozó csökkentő hatást, ha annak forrása nem világítótesttől ered?

Ha lenne ilyen blokkoló hatás, akkor például olyan esetben, ha egy lámpa fénysűrűsége 1000 cd/m^2 és környezetének fénysűrűsége 200 cd/m^2 és a pozícióhoz rendelt Guth-index értéke 10, akkor a képlet által képviselt stratégia szerint a lámpa fénysűrűségét 100/10= 100 cd/m^2, míg a hátteret 200 cd/m^2 értékkel érzékelnénk. Ami durván azt jelenti, hogy a lámpát sötétebbnek érzékelem, mint a környezetét. Ez nyilván képtelenség.

Joggal feltételezhető: a látótér minden elemének fénysűrűségére igaz, hogy érzetként felfogott fénysűrűsége függ a nézési irányhoz viszonyított helyzetétől. Ezek szerint tehát környezetünk minden felületének van

- egy nézőpontból mérhető L fénysűrűsége, amit a látás érzetként akkor fog fel, ha a nézés erre a felületre irányul, ezt tudjuk mérni, és
- egy attól függő érzetként felfogható fénysűrűsége, hogy a felület a nézési irányhoz viszonyítva hol helyezkedik el a látótérben.

A látás során az aktuális káprázás tárgyának, hátterének és a látóterének érzetként felfogható fénysűrűségeit észleljük, a 14. ábra szerint.



14. ábra. A Guth-féle helyzetindex hatása az érzetként felfogott fénysűrűségre a látótér egyes részein.

Tekintettel arra, hogy a zavaró tárgy és a háttér, mesterséges világításnál, általában a látótér kis részére terjed ki, ezeknél a gyakorlatban elfogadható, hogy egy-egy, $\mathbf{p_x}$, $\mathbf{p_y}$, helyzetindex értékkel történjen az érzetként felfogható fénysűrűség meghatározása. A látótér esetén ez az egyszerűsítés már nem helytálló, nem engedhető meg.

Az előzőeket elfogadva **az alapösszefüggés további kiegészítésre szorul, a következők szerint:**

$$UGR = 8 \log \left(\frac{1}{L_{fvátl} * \omega_{fv}} * \sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}25 * L_{efi}^{2} * \omega_i}{\frac{L_{bi}}{p_{bi}} * p_i^{2}} \right)$$

ahol:

$$g(L_{fv}) = L_{fvátl} * \omega_{fv} \quad \text{és} \quad L_{fvátl} = \frac{1}{\omega_{fv}} \iint_{(fv)} \frac{L}{p}(\alpha,\beta)\, d\alpha\, d\beta$$

és az integrál értelmezése az előzőek szerinti.

Tekintettel arra, hogy a lámpa és háttere a látótér közel azonos részén vannak, a gyakorlatban elfogadhatónak látszik, hogy a lámpához és hátteréhez ugyanazt a Guth-index értéket rendeljük, ez esetben $\mathbf{p_{bi} = p_i}$. Ezzel az összefüggés a következő formára alakul.

A fentiek alapján **belátható, hogy a látótér egészének, vagy egyes részeinek hatását nem a látótérelemek fénysűrűségével, hanem az érzetként felfogható fénysűrűséggel logikus számításba venni.**

$$UGR = 8 \log \left(\frac{1}{L_{fvátl} * \omega_{fv}} * \sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}25 * L_{efi}^{2} * \omega_i}{L_{bi} * p_i} \right)$$

V. Indokolható-e, hogy a csak az indirekt megvilágítással jellemezzük a látótér hatását?

Az előzőekben tárgyalásra került az alapösszefüggés szerinti $\mathbf{L_b}$, háttérfénysűrűség. Bár ennek során kiderült az alapösszefüggés szerinti értelmezés tarthatatlansága, mégis célszerű szemügyre venni azt, hogy a szabvány erre milyen meghatározási módot javasol.

A zavaró káprázás értékelésére szolgáló alapösszefüggésben az $\mathbf{L_b}$, háttérfénysűrűség meghatározását a szabvány a következő összefüggés szerint rendeli $\mathbf{L_b} = \mathbf{E_{ind}}/\pi$, cd/m^2, ahol: $\mathbf{E_{ind}}$, lx, - a függőleges közvetett megvilágítás az észlelő szemének helyén. Ez a javaslat kételyeket ébreszt.

A közvetett megvilágítás a CIE Szótár szerint: „**Közvetett megvilágítás** a világítási berendezésből adott síkra közvetetten, belsőtér felületeiről visszaverődés vagy áteresztés útján létrehozott megvilágítás."

A közvetett megvilágítás ilyenformán egy integrált hatás, bizonyos részének spekulatív elkülönítése. A közvetett megvilágítás nem érzékelhető, gyakorlatilag mérhetetlen, és csak számítógépes program mellékter-

mékeként adódik. Ennek következtében a káprázáskorlátozás tervezése során bár elérhető, a megvalósult világítási berendezés ellenőrzésénél mérésére gyakorlatilag nincs mód.

Az, hogy vertikális indirekt megvilágítás

- látótér helyett, az annál nagyobb féltér hatását tükrözi, továbbá hogy
- az összefüggés csak állandó fénysűrűségű féltérre igaz, a fenntartásoknak csak egy része.

Az a javaslat azonban, amely a féltérhatást csak a közvetett megvilágításhoz köti, kizárva a lámpák közvetlen megvilágítását, már nehezen indokolható. Ennek szemléltetésére szolgálnak a 15. ábra képei.

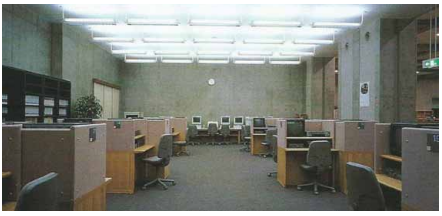
valóságos helyzet | ilyennek kell tekinteni | ha lámpa helyett fal van, azzal már számolni kell

15. ábra. Háttér indirekt és direkt hatásának értelmezése

Semmilyen módon nem látható be, hogy a vizsgált világítótest (*) környezetében lévő lámpa valami olyan speciális fénysűrűséget szolgáltatna,

- ami minőségileg más, mint a mögöttes fal-mennyezet fénysűrűsége,
- amit a látás eliminál, így hatását ki kell zárni a látás, vagy a káprázás mechanizmusából.

Honnan „tudná" a látás, hogy egy fénysűrűség – például a 16. ábrán – milyen funkcionális felülethez tartozik?



16. ábra. A háttér indirekt és direkt megvilágítást szolgáló részleteinek elkülöníthetetlensége

Egyébként maguknak a káprázató fénysűrűségeknek, az adaptációra gyakorolt hatása miatt, vált szükségessé a nagyfelületű káprázatásra a tárgyalttól eltérő összefüggést alkalmazni a természetes világítás esetén. Ez annak a felismerése, hogy a látótér minden része (a világító felület is) alakítja az adaptációt.

Az előzőek alapján megállapítható, hogy **az alapösszefüggésnek a háttérfénysűrűség meghatározására, a szabvány által javasolt módja, több okból elfogadhatatlan.**

VI. Helyettesíthető-e megvilágítással az érzetként felfogott fénysűrűség?

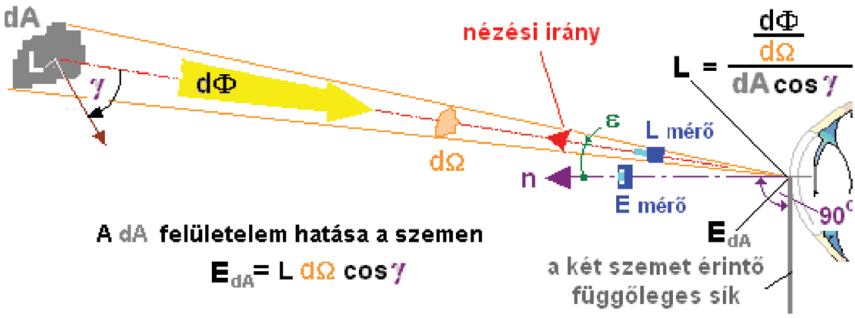
A szabvány szerint az ún. háttér-fénysűrűséget, a vertikális megvilágításból kell meghatározni, mert a kettő között állandó arányosság (π) áll fenn. Ez a feltételezés az alábbiak szerint cáfolható a 17. ábra alapján.

Az információszerzést szolgáló aktuális nézési irányt, elsősorban a fejünk, másodsorban a szem mozgatásával állítjuk be. A fej mozgatásával történik a közelítő ráirányítás az aktuális tárgyra, a szem mozgatása szolgál a finom beállításra. A két mozgás összehangolt.

Ha a célszerű nézési irány a látótér nagy területén belül változik, mint például egy kézilabda-mérkőzésnél, akkor a fejünket és a szemünket is folyamatosan mozgatjuk. Amennyiben a látni kívánt tárgy kis kiterjedésű, mint például egy képernyő esetén, akkor a képernyőn lévő szöveget olvasva, már nem feltétlenül mozgatjuk a fejünket, hanem csak a szem mozgásával követjük a sorokat.

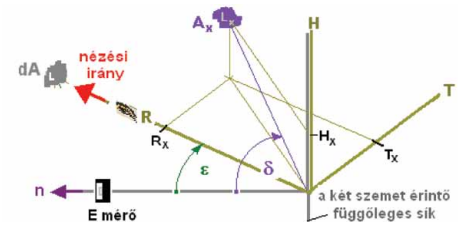
A fej által beállított nézési irány nem feltétlenül vízszintes, jellemzően attól inkább eltérő. Például a képernyő középpontjára irányuló nézési irány mintegy 10°-kal eltér a vízszintes iránytól, az előttünk lévő asztalra még inkább lefelé nézünk, egy néző a lelátón akár 40°-kal lefelé nézve szemléli a mérkőzést.

A fej által beállított iránytól az aktuális nézési irány a szemmozgás miatt eltérhet. Az



17. ábra. Vertikális megvilágítás és fénysűrűség értelmezése

eltérés +/- 15„20° is lehet. A helyzetet a következő ábra szemlélteti.



18. ábra. A különböző félterekben értelmezett vertikális megvilágítás és fényérzetként felfogott fénysűrűség

A háttérfénysűrűséget (akárhogyan értelmezem is a háttér kiterjedését) a fej által pozícionált látótér, nézési irány eredményezi.

A szabvány javaslat szerinti vertikális megvilágítást olyan megvilágításmérő mérheti, ami a két szemet érintő függőleges síkra merőleges, tehát vízszintes (n) irányú féltér hatását méri.

Minthogy a látótér közel nézési irányú, és a vertikális megvilágítás mérés pedig vízszintes, általában ε>0, következésképpen más félteret „láthat" a megvilágításmérő (**n**) és a megfigyelő. Ennek következményeként, általánosnak tekinthető esetekben, nehezen képzelhető el, hogy a szabványban javasoltak szerint a hátérfénysűrűséget vertikális megvilágításból lehet számítani.

A szabványban javasolt eljárás arra a téves feltételezésre alapul, hogy a látótér fénysűrűsége állandó. Ugyanis, bár adott d**A** felületelem, szem felületéről mérhető **L** fénysűrűsége és ezen d**A** felületelem által a szem felületén eredményezett $\mathbf{E_{dA}}$ megvilágítás egyszerű kapcsolatban vannak. A képlet állandó **L** esetén eredményezi az **E=L**π összefüggést. A fénysűrűség belsőtérben pedig jellemzően nem állandó.

További probléma, hogy amíg a vertikális megvilágítás a szemen kívül mért hatás, addig a látótér fényérzetként felfogott fénysűrűségét érzékeljük, a **p** Guth-féle helyzetindexnek megfelelő súlyozás szerint, ahol helyzetindex a nézési irányhoz koordinált érték.

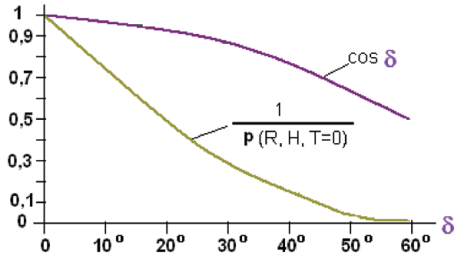
Amíg az **n** irányba néző megvilágításmérő érzékenysége forgásszimmetrikus **cos**δ függvény, addig a szem érzékenysége egy teljesen más, a **Guth-féle helyzetindex** 1/**p(R,T,H)** szerinti relatív helyzettől függő érzékenység.

A kétféle súlyozás különbségét szemlélteti a 19. ábra arra az esetre, ha nézési irány egybeesik a mérőműszer irányával (**n** és **R** azonos irányú, ε=0) és a felületelem ($\mathbf{A_x}$), aminek hatását vizsgáljuk, az **R-H** síkra merőleges, **T** irányú koordinátája elhanyagolható. Az ábra szerint, a feltételezett esetben, amikor is az **n** és **nézési irány** azonos a vizsgált felület hatása

a vertikális megvilágítás a mérés során a **cos**δ szerint,

a fénysűrűségérzékelés a 1/p függvények szerint változik.

Más elhelyezkedésű felületelem esetén hasonló megállapítás tehető. A kétféle értékelés olyan mértékben különbözik, hogy a megfelelőség kizárt.



19. ábra. A megvilágításmérő és a helyzetérzékelés eltérő jellege

Az előző három ok miatt és alapján megállapítható, **hogy a háttérfénysűrűség szabvány által javasolt módon nem származtatható a vertikális megvilágításból.**

5. Végezetül egy gyakorlati szempont

A zavaró káprázás értékelésére szolgáló UGR számskála a használat szempontjából nem a legszerencsésebb. A hétköznapi gyakorlatban valamilyen „jósági besorolás" skálája kézenfekvően olyan, hogy a legjobb értéke 1, (pl. színvisszaadási fokozat, olimpia stb.) a rosszabbaké egynél kisebb szám.

A tárgyalt szabvány követelményei között a legszigorúbb, káprázás szempontjából leginkább korlátozást igénylő funkcióknál a követelmény **UGR ≤ 16.** Nincs akadálya az alapösszefüggés olyan módosításának, hogy az értékelő skálán legjobb minősítés az 1 legyen, és ezt a skálát nevezzük egyszerűen **G** káprázásindexnek.

$$G = \frac{\text{alapösszefüggés}}{16} = 0{,}5 \log\left(\cdots\cdots \right)$$

4. Összefoglalás

A káprázás alapösszefüggésének elemzése megalapozza a következő megállapításokat:

1. A káprázást az aktuális teljes látótér alakítja.
2. A világítótest nem feltétlenül káprázató.
3. A világítótestek káprázató hatását az $\mathbf{L}_{ef}$ effektív fénysűrűségértékük jellemzi, időszerű és indokolt az **effektív fénysűrűség** fogalomnak a bevezetése.
4. A látótér egyes részeinek szerepe eltérő, vélhetően külön kell számításba venni,a világítótest, a világítótest háttere valamint a látótér egészének hatását.
5. A látótér nézési irányon kívüli részeinek fénysűrűségét, nem azzal az értékkel kell figyelembe venni, ami adott esetben fénysűrűség-mérővel mérhető. A látótér nem nézési irányában lévő elemeinek **érzetként felfogott fénysűrűsége,** csak az aktuális nézési iránynak megfelelően 1/**p**-vel csökkentett hatással érvényesül, ezzel kell számolni.
6. A káprázást feltehetően lámpánként két arány alakítja, – egyrészt a kontrasztot kifejező fénysűrűség arányok

$$\frac{\text{a lámpa érzetként felfogott effektív fénysűrűsége}}{\text{a háttér érzetként felfogott efffektív fénysűrűsége}} = \frac{L_{ef}/p}{L_b/p_b}$$

– másrészt a lámpa és a féltér integrált hatásainak aránya

$$\frac{\text{a lámpa érzetként felfogott integrált hatása}}{\text{az aktuális látótér érzetként felfogott integrált hatása}} = \frac{L_{ef} * \omega_{lámpa}}{L_{fvátl} * \omega_{fv}}$$

$$\log\left(\frac{1}{L_{fvátl} * \omega_{fv}} * \sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}25 * L_{efi}^{2} * \omega_i}{L_{bi} * p_i} \right) =$$

$$= \log\left(\sum_{i=1}^{n} 0{,}25 \frac{L_{efi} * \omega_i}{L_{fvátl} * \omega_{fv}} * \frac{L_{efi}/p_i}{L_{bi}/p_{bi}} \right)$$

7. Elfogadva, a jelen elemzés során nem vizsgált, az alapösszefüggés felépítését, ennek a keretében, a káprázás mértékének meghatározására a következő összefüggés lehet alkalmas

$$G = 0{,}5 \log\left(\frac{1}{L_{fvátl} * \omega_{fv}} * \sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}25 * L_{efi}^{2} * \omega_i}{L_{bi} * p_i} \right)$$

azzal a megkötéssel, hogy amennyiben

$$\frac{0{,}25 * L_{efi}^{2} * \omega_i}{L_{bi} * p_i} < 0 \text{ , akkor értéke 0}$$

8. A Guth-féle helyzetindex helyett, megfontolandónak tartom, a Wonwoo Kim és Jeong Tai Kim szerzők által kidolgozott, matematikai függvényként megadott helyzetindex használatát.

A káprázásértékelés elemzése kétségkívül szabványosított alapösszefüggésnél bonyolultabb összefüggéshez vezetett. Ennek oka egyrészt, hogy az alapösszefüggés nem felel meg maradéktalanul önmagának, másrészt, hogy a zavaró káprázás valóban egy nagyon összetett probléma, és a minél korrektebb megfogalmazásnak az egyszerűség nem feltétele.

Ugyanakkor természetesen a gyakorlati használhatóság szempontjából az egyszerűség fontos követelmény. Az egyszerűsítésnek azonban csak addig a határig van létjogosultsága, ameddig a mindennapi gyakorlat nem vet fel az előzőekben tárgyalt kételyeket. Egyébként tapasztalatból tudom, hogy a szabványosított alapösszefüggés gyakorlati alkalmazása jelenleg is meglehetősen bonyolult.

Úgy vélem: vannak lehetőségek arra, hogy egy elviekben megalapozott összefüggést a gyakorlat számára használhatóvá váljon. Ennek útja csakis a kísérletekkel alátámasztott egyszerűsítési lehetőségek kihasználása lehet.

Megkerülhetetlennek gondolom a világítótestek effektív fénysűrűség értékeinek (fényeloszlási görbékhez hasonló), gyártó általi adatszolgáltatását.

Szükségesnek tartom a háttér és teljes látótér, káprázást alakító szerepének, valamint az adaptáció – látótér fénysűrűségeloszlás kapcsolatnak kísérleti tisztázását.

LED-es fényforrások fotobiológiai vizsgálata

– Németh Zoltán, Klinger György –

Jelen cikkünkben röviden ismertetjük a fotobiológiai veszélyeket, és azok értékelését. Szót ejtünk a vonatkozó szabványokról, valamint a vizsgálatokhoz szükséges mérések elméleti hátteréről. Mindezeket az általános világítási célokra alkalmazott LED-es fényforrások aspektusából tesszük. Végezetül összefoglaljuk a vizsgálatokkal kapcsolatos tapasztalatokat.

1. Bevezetés

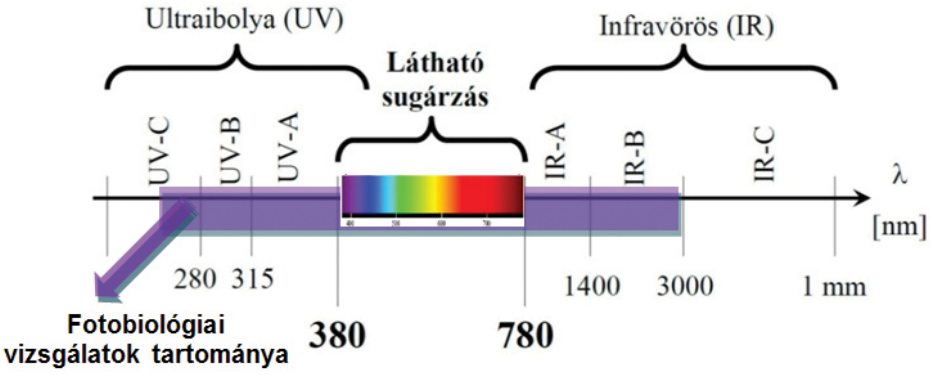
A háztartások világítása mellett környezetünk változatos területein is teret hódítanak a LED-es megoldások, legyen szó akár „retrofit", akár minden tekintetben új konstrukcióról. A gyártástechnológiák fejlődésének köszönhetően a világítódiódák egyre nagyobb egységteljesítménnyel és fényhasznosítással, egyre kisebb felületen helyezkednek el. Emellett kiváló hatásfokú optikai elemek is a gyártók rendelkezésére állnak. Így összességében elmondható, hogy egyre nagyobb fénysűrűségű fényforrásokkal állunk – ténylegesen – „szemben", amelyek kockázatot jelenthetnek szemünkre, bőrünkre, és szervezetünkre.

Lámpák és lámparendszerek fotobiológiai vizsgálata az optikai sugárzástartomány 200–3000 nm közötti diszkrét tartományának, az emberi szervezetre gyakorolt hatásainak értékelésével foglalkozik [1]. Optikai sugárzástartomány alatt az ultraibolya (UV) sugárzástól az infravörös (IR) tartományig – 100-10 000 nm – terjedő, elektromágneses sugárzást értjük (1. ábra).

2. A vizsgálatok szabványi háttere

A vizsgálatok a különböző elven működő és felhasználású lámpák és lámpatestek sugárzott energiájának lehetséges veszélyeit hivatottak felderíteni és kiértékelni.

Felhasználási elve alapján a vizsgált fényforrás kétféle kategóriába sorolható, amely meghatározza a mérés és a kiértékelés elvét egyaránt. Általános esetben a lámpa vagy világítótest „GLS" – „General Lighting Service" – besorolású, vagyis emberek által igénybevett világítási



1. ábra. Fotobiológiai vizsgálatok tartománya

terekben, általános világítási célra használt (például otthonokban, irodákban, autóutakon vagy akár gépjárművekben). Ellenkező esetben csak „non-GLS" lehet, azaz nem általános, ill. speciális rendeltetésű fényforrás. Ebbe a kategóriába sorolhatók például a projektorlámpák, a szoláriumok, vagy a germicidlámpák.

A különböző veszélyek és határértékek, valamint az azokhoz kapcsolódó méréstechnikák definiálását az IEC 62471:2006 – Fényforrások és fényforrás rendszerek fotobiológiai biztonsága [1] szabvány tartalmazza. Ezt egészíti ki az IEC 62471-2 szabvány, amely további tájékoztatást ad a vizsgálatokról, a kiértékelésről, valamint tartalmazza a szükséges figyelmeztető feliratokat is. Az Európai Unió területén forgalomba hozott lámpáknak és lámpatesteknek milyen fotobiológiai szabványnak kell megfelelniük? A CE megfelelőség-értékelési rendszer hazai harmonizációja óta évről-évre feltűnik olyan újdonság, amellyel a hazai gyártók és forgalmazók mellett, a szakmát művelő szakembereknek is foglalkozniuk kell. 2011. szeptember 1. óta a LED fényforrásokkal működő fénytechnikai berendezések fotobiológiai tulajdonságaival foglalkozó európai szabvány – EN 62471:2008 – az LVD-direktíva alatt harmonizálásra került. Ennél fogva a szabványnak való megfelelőség a CE megfelelőség értékelésének kötelező részévé vált. Mit jelent ez a gyakorlatban? Azt, hogy ha egy LED-fényforrással működő világítótestet a gyártó (vagy forgalmazó) az Európai Unió területén forgalmazni akar, akkor az eddig szokásos vizsgálatok mellett (villamos biztonság, EMC stb.) a termék fotobiológiai megfelelőségét is igazolnia kell.

Az EN szabvány az IEC-hez képest bizonyos veszélyek esetén eltérő határértéket ír elő, a 2006/25/EK [3] direktíva alapján. Két éve kiadásra került a szabvány MSZ EN 62471:2013 változata is, amely tartalmilag megegyezik az európai unióssal. Nemzetközi terméktanúsítási rendszerek esetén a megfelelőségi tanúsítvány nemzetközi IEC szabványokon alapul, míg az Európai Unió területén belül EN szabványnak való megfelelés szükséges. Hazai megfelelőség értékelés esetén az MSZ EN szabvány lehet irányadó.

Az általánosan alkalmazott, kék világítódióda alapú sárga fényporos fehér LED-es világítások rohamos elterjedésével párhuzamosan láttak napvilágot a kifejezetten erre a fényforrásra jellemző „kék fény" veszély ártalmaival foglalkozó újabb és újabb publikációk. A probléma komolyságát jelzi, hogy a szabványalkotók 2012-ben publikálták az IEC/TR 62778 szabványt, amely deklaráltan a kék fény veszély értékelésével foglalkozik. E szabvány nem témája jelen publikációnak, és megjelenésének pillanatában még nem is harmonizált.

Fontos megemlíteni, hogy a lézerek nem tartoznak a cikkben ismertetett fotobiológiai szabványok hatálya alá, így azok nem vizsgálhatók és nem is értékelhetők a bemutatásra kerülő metódusokkal és mennyiségekkel. Vizsgálatukkal az IEC 60825-1 szabvány foglalkozik.

3. A vizsgált fotobiológiai veszélyek

Az optikai sugárzástartomány, emberi szervezetre is ártalmas veszélyeit alapvetően két fő csoportra bonthatjuk: termikus és fotokémiai jellegűekre. Ezek a szemet és a bőrt veszélyeztethetik. A kérdéses mérendő mennyiségek lehetnek besugárzott felületiteljesítmény-, illetve sugársűrűség-jellegűek. Az IEC 62471:2006 szabvány a következő fotobiológiai veszélyeket és határértékeket (EL – expozíciós, vagy kitettség limit) definiálja:

LED-es fényforrások fotobiológiai vizsgálata

1. táblázat. Fotobiológiai veszély kategóriák és határértékek – az IEC 62471:2006 alapján[1]

Besugárzott felületi teljesítmény jellegű fotobiológiai veszélyek és határértékeik					
Veszély	Származtatás	Vizsgált sugárzás tartomány [nm]	Expozíció ideje [s]	EL - állandó besugárzott teljesítmény mellett [W/m²]	
Actinic UV skin & eye	$E_S = \sum E\lambda\ S(\lambda)\ \Delta\lambda$	200 – 400	< 30000	30/t	
Eye UV-A	$E_{UVA} = \sum E\lambda\ \Delta\lambda$	315 – 400	≤1000 >1000	10000/t 10	
Blue-light small source (1)	$E_B = \sum E\lambda\ B(\lambda)\ \Delta\lambda$	300 – 700	≤100 >100	100/t 1,0	
Eye IR	$E_{IR} = \sum E\lambda\ \Delta\lambda$	780 –3000	≤1000 >1000	$18000/t^{0,75}$ 100	
Skin thermal	$E_H = \sum E\lambda\ \Delta\lambda$	380 – 3000	< 10	$20000/t^{0,75}$	
Sugársűrűség jellegű fotobiológiai veszélyek és határértékeik					
Veszély	Származtatás	Vizsgált sugárzás	Expozíció ideje [s]	Látószög [rad]	EL - állandó sugársűrűség mellett [W/(m².sr)]
Blue light	$L_B = \sum L\lambda\ B(\lambda)\ \Delta\lambda$	300 – 700	0,25 – 10 10-100 100-10000 ≥ 10000	$0,011\sqrt{(t/10)}$ 0,011 $0,0011\sqrt{t}$ 0,1	$10^6/t$ $10^6/t$ $10^6/t$ 100
Retinal thermal	$L_B = \sum L\lambda\ B(\lambda)\ \Delta\lambda$	380 – 1400	< 0,25 0,25 – 10	0,0017 $0,011\sqrt{(t/10)}$	$50000/(\alpha t^{0,25})$ $50000/(\alpha t^{0,25})$
Retinal thermal (weak visual stimulus) (2)	$L_{IR} = \sum L\lambda\ R(\lambda)\ \Delta\lambda$	780 – 1400	> 10	0,011	$6000/\alpha$
ahol $S(\lambda)=S_{UV}(\lambda)$, $B(\lambda)$, $R(\lambda)$ – a mért spektrális értékek súlyozáshoz alkalmazott sztenderd hatásfüggvények					

1) Kis fényforrás (small source), ha a megfigyelő 0,011 rad-nál kisebb kiterjedési szögben (α) látja.
2) L_{IR} vizsgálata csak non-GLS fényforrásnál szükséges.

Mivel a szabványnak nincs magyar nyelvű változata, jelenleg egységes magyar terminológia sincs a veszélyekre vonatkozóan. Az alábbiakban igyekszünk rövid magyarázatot adni jelentésükre:

2. táblázat. Fotobiológiai veszélyek magyar jelentése

E_S	Aktinikus, más néven fotokémiai hatást kiváltó UV spektrális besugárzás bőrre és szemre	E_H	Bőrre ártalmas IR besugárzás
E_{UVA}	Szemre ártalmas UV-A besugárzás	L_B	Kék fény veszély[1)]
E_B	Spektrális besugárzás kék fény veszély – kis fényforrás esetén	L_R	Retinát érintő termikus veszély[1)]
E_{IR}	Szemre ártalmas IR besugárzás	L_{IR}	Retinát érintő termikus veszély – gyönge vizuális inger esetén[1)]

1) Sugársűrűség jellegű mennyiség

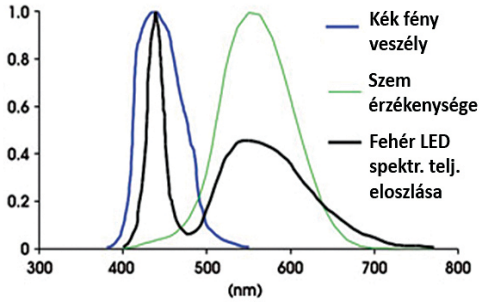
A fotonok által közvetített energia annál nagyobb, minél rövidebb az elektromágneses sugárzás hullámhossza. Ezzel is magyarázható az UV-sugárzás számos biológiai hatása, például a baktérium- és vírusölő-képesség is. A hatásmechanizmus az E_S, E_B, L_B, L_R, L_{IR} veszélyek esetén azok hatásspektrumától is függ – lásd 2. ábra, kék fény veszély spektrális érzékenysége, B(λ). Ismert, hogy a szaruhártya a 280 nm alatti UV-sugárzás 100%-át elnyeli, de 300 nm-es sugárzás esetén is közel 90%-os az abszorpció. Innentől az áteresztőképesség 360 nm-ig fokozatosan és hirtelen növekszik, az elnyelődés 360 nm-en körülbelül 35%-ig. A szaruhártyán áthatoló, fennmaradó UV-sugárzást a szemlencse nyeli el, szinte teljes egészében.

Ez azt jelenti, hogy a nagy energiájú UV-sugárzás 280 nm alatt a szaruhártyára jelent veszélyt, míg a látható tartományig fokozatosan kockázatot jelent a szemlencsére is. A retinára így el sem jut ez a nagy energiájú sugárzás, vagyis egyáltalán nem fenyegeti.

Ez a jelenség azonban egy hátrányos tulajdonságot is magában rejt. A látható fény általában nem okoz károsodást, mert a túlzottan erős inger hatására önkéntelenül is becsukjuk a szemünket vagy hunyorítással védekezünk [4]. Azonban UV-kitettség hatására a retinán található receptorok inger hiányában nem képesek védelmi funkciót kiváltani. Így a veszélyes sugarak jelenlétét és káros hatásait a szaruhártyán és a szemlencsén csak akkor érzékeljük, amikor a sérülés már megtörtént.

Az UV-tartományt érintő sugárzások a szaruhártyát (Photokeratitis – szaruhártya leégése és gyulladása), a kötőhártyát (Photoconjuntivitis – kötőhártya gyulladás), a szemlencsét (Cataractogenesis – szürkehályog kialakulás), és a bőrfelszínt (Erythema elastosis – bőrpír) irritálhatják. Általános világításra alkalmazott LED-ek esetén az ilyen veszélyek kockázati szintje igen alacsony. Az infravörös sugárzás termikus veszélyei a bőr, a szaruhártya és a retina megégését idézhetik elő, de a szemlencsét is veszélyeztethetik (Cataractogenesis). A halogénlámpákkal és izzólámpákkal szemben a világítási célú LED-ek alig emittálnak infravörös sugárzást, ezért a veszély kockázata csekély.

Nem úgy a kék fény (L_B, E_B) veszélyek esetén! A legnagyobb gond a fehér LED-ek esetén az, hogy spektrális teljesítményeloszlásuk intenzív kék csúcsa igen közel esik a B(λ) kék fény veszély hatásfüggvényének csúcsához (2. ábra).



2. ábra. Tipikus fehér LED spektrális teljesítményeloszlása (fekete) összevetve a B(λ) kékfény veszély hatásfüggvényével (kék), valamint a szem érzékenységi görbéjével (zöld) [5]

A kék fény veszély egyik kockázata a retinakárosodás (Photoretinitis) – ez ellen fellépnek védekező mechanizmusok, például hunyorítás. Emellett fontos hatással van a cirkadián ritmusra – más néven az emberi szervezet „belső órájára", ugyanis a kb. 460–480 nm-es kék fény szabályozza közvetett módon a melatonin hormon termelődését, ezzel pedig az élénkséget, az anyagcsere-folyamatokat, és befolyásol számos más biológiai folyamatot [7], [8]. A kék fénynek, az emberi szervezetre gyakorolt hatásaival és következményeivel az 2012-2013-as Világítástechnikai Évkönyv egyik cikke is behatóan foglalkozott [6].

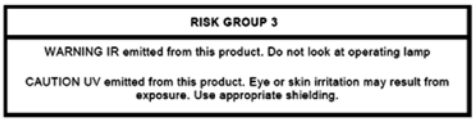
A gyerekek érzékenyebbek a kék fény okozta károsodásra, ugyanis szemlencséjük a felnőttekénél rosszabb hatékonysággal szűri ki a kék fényt. Mindemellett különböző kutatások [9], [10] eredményei alapján, a zavaró káprázásérzést elsősorban a kék-érzékeny (rövidhullámhossz-érzékeny) csap receptorok közvetítik, vagyis a kék fénynek káprázás szempontjából stimuláló hatása van.

Az IEC 62471 alapszabvány a következő **kockázati osztályokat** (RG – Risk Group), vagy más szóval „rizikócsoportokat" definiálja:

		A veszély gyakorlati jelentése
Kockázati osztály (RG)	0	Kockázatmentes *(Exempt)* – Egyáltalán nem jelent fotobiológiai veszélyt
	1	Alacsony kockázat (*Low Risk*) – Nem jelent fotobiológiai veszélyt megfelel használat esetén
	2	Mérsékelt kockázat (*Moderate Risk*) – Nem jelent veszélyt az er s fény vagy kellemetlen h érzet következtében fellép védekez inger miatt.
	3	Magas kockázat (*High Risk*) – Pillanatnyi expozíció esetén is veszélyes

3. táblázat. A fotobiológiai veszélyek kockázati osztályai

A kiértékelést követően a lámpákat és lámpatesteket a fenti csoportok valamelyikébe kell besorolni, annak függvényében, hogy van-e olyan vizsgált mennyiség, amely a szabvány által meghatározott expozíciós időtartam során meghaladja az előírt határértéket. Amennyiben a vizsgált fényforrás RG0 – „kockázatmentes" vagy 1-es kockázati osztályba kerül, úgy a gyártónak nincs további teendője. Azonban 2-es és 3-as RG esetén a termékinformációknál már jelölni kell az említett kockázati osztályt.


RISK GROUP 3

WARNING IR emitted from this product. Do not look at operating lamp

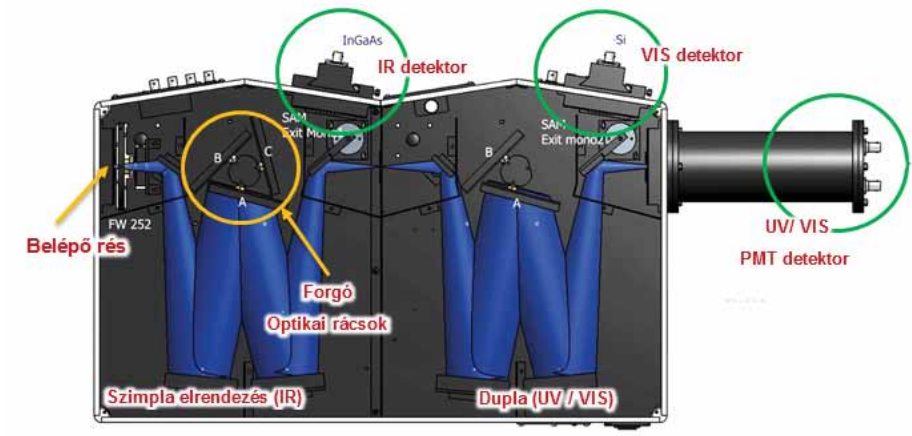
CAUTION UV emitted from this product. Eye or skin irritation may result from exposure. Use appropriate shielding.

3. ábra. Példa a szükséges feliratra RG3 esetén [2]:

Példaképpen bemutatjuk a kék fény (LB) veszély értékelését az IEC 62471-szerint. A fényforrás „kockázatmentes", amennyiben nem jelent veszélyt 10 000 másodperces expozíció során. Ebben az esetben a mért LB érték a meghatározott 100 W/(m^{2}sr) határérték alatt marad. Amennyiben ez nem teljesül, az RG1 besoroláshoz 100 másodperces kitettséget kell alapul venni, ami maximálisan 10 000 W/(m^2.sr)-os érték esetén „alacsony" kockázatot jelent. A fellépő védekező mechanizmusok miatt 0,25 másodperc alatti expozíciós idő során mérsékelt kockázatot rejt a fényforrás, ha a mért érték nem haladja meg a 4 millió W/(m^2.sr)-t. Egyéb esetben a legmagasabb kockázati osztály lesz érvényes.

4. A vizsgálatokhoz szükséges mérőrendszer ismertetése

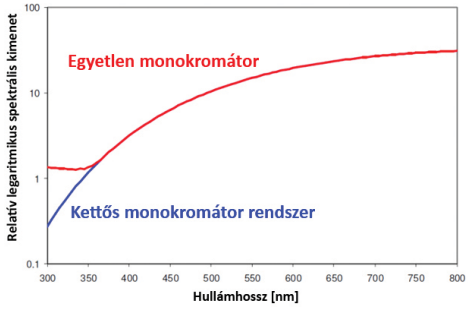
Mivel a fotobiológiai vizsgálatok rendkívül tág, 200-tól 3000 nm-ig terjedő tartományt érintenek, méréstechnikájuk igen összetett. Az első, és legalapvetőbb probléma az, hogy egyetlen érzékelővel nem lehet ekkora mérési tartományt lefedni. A mérést tovább nehezíti, hogy a különböző hullámhossz tartományokhoz más-más vizsgálati léptéket ajánl a szabvány. Spektrális mérésekkor (is) alapvető követelmény a megfelelő mérési pontosság biztosítása. Ezért a vizsgálatok elvégzéséhez több spektroradiométer párhuzamos alkalmazására – lenne – szükség. Ez a megoldás számos hátrányt hordoz magában, elegendő az átszerelések nehézségére és a járulékos bizonytalanságokra gondolni. Ezt kiküszöbölendő, rendelkezésre állnak külön erre a célra kifejlesztett mérőberendezések is. Ezek a spektroradiométerek robosztus, összetett felépítésűek, ebből kifolyólag meglehetősen drágák. Ahhoz, hogy a mérési sorozatot egyszerre, változatlan környezeti feltételek mellett el lehessen végezni, az ilyen műszerek egy bemenet mellett több kimenetet is tartalmaznak, amelyekre változó spektrumtartományokra kalibrált érzékelők csatlakoznak. Jelen cikkben bemutatásra kerülő műszer belső szerkezete a 4. ábrán látható.



4. ábra. Fotobiológiai mérésekre kifejlesztett spektroradiométer felépítése [11]

Látható, hogy a műszer monokromátora nem egy, hanem három – különböző rácskarakterisztikájú – optikai rácsból áll, amelyek forgatható tartón helyezkednek el. Ez mindig a vizsgált spektrális összetevőnek megfelelő (200-600 nm, 300-1100 nm vagy 1000-3000 nm) rácsot pozícionálja a becsatolt fénynyaláb útjába. Megfigyelhető továbbá a 3 optikai kimenet, amelyekre különböző spektrális érzékenységű detektorok csatlakoznak. Az első (baloldali) kimeneti résre IR-tartományra kalibrált, cserélhető, InGaAs vagy PbS detektorok kerülhetnek, előbbi a 900-1700 nm-ig terjedő, utóbbi a 1000 – 3000 nm-ig terjedő spektrumtartomány lefedésére. A másik 2 kimeneten Si detektor (200-1100 nm, 400 nm-től igazán pontos), és egy nagy érzékenységű (200-800 nm) PMT (Photo Multiplier Tube) fotoelektron-sokszorozó cső található. A monokromátor által szétbontott fényt tükörrendszer segítségével lehet a kimenetek valamelyikére csatolni.

A mérési bizonytalanságok ismerete kulcskérdés. A diffrakciós rácsok velejáró hibája lehet a szórt fényből, valamint a magasabb diffrakciós rendekből adódó, nem kívánatos jelek torzító hatása. Az érzékelőre jutó zavaró jelek (ha a detektor érzékenységi tartományába esnek) átlapolódhatnak, amivel torzítják a mérést. Ez a jelenség főként a rövidebb hullámhosszúságú, UV-tartományban lehet kritikus, ugyanis a látható tartományból beszűrődő fények ily módon UV-sugárzásként is mérhetők, ami nyilvánvaló hibát okoz. Emellett a belépőrésen becsatolt sugárzás a vékony résen áthaladva diffrakciót „szenved". Ennek kiküszöbölése és a zajok minimalizálása érdekében gyakran kettős monokromátor rendszert alkalmaznak (4. ábra), amely egy második monokromátort jelent az első kilépő rése után elhelyezve. A második monokromátorba a kérdéses hullámhossz mellett a kikorrigálandó szórt fény is belép, és bomlik ismételten komponensekre. A másodlagos szórt fények hatása ezzel kiszűrhető és szignifikánsan redukálható.



5. ábra. A zavaró jelek kiküszöbölése rövid hullámhossztartományon kettős monokromátor segítségével [11]

5. A vizsgálatok menete

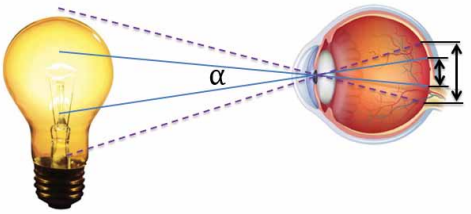
5.1. Kiindulási alapok

A különböző jellegű fotobiológiai mennyiségek méréséhez más-más mérési összeállítás szükséges. A bőrfelületet és a szem szaruhártyáját, kötőhártyáját, valamint lencséjét érintő mérések besugárzott felületi teljesítményre [W/m^2], illetve megvilágítás mérésre vezethetők vissza.

Viszont a retinát érintő veszélyek – sugársűrűség jellegű mennyiségek [W/(m^2.sr)] – vizsgálatakor, a mérések a szembe jutó sugárzások által kiváltott hatásmechanizmusok modellezését, „reprodukálását" hivatottak megvalósítani. Ehhez azonban több biológiai és fizikai törvényszerűségen alapuló tényezőt figyelembe kell venni. A pupilla átmérője szabályozza a szembe jutó sugárzások mennyiségét, amellyel, többek között védelmi funkciót lát el. Mérete nem csak a beeső fénysűrűségtől, hanem a sugárzás spektrális teljesítményeloszlásától is függ.

A beeső fénysűrűségtől függően – átlagosan – 2 mm ($L \approx 10\,000$ cd/m^2) és 7 mm között ($L < 0{,}01$ cd/m^2) [1] változhat. A fénysűrűség jellegű mennyiségek mérésekor a műszer optikájának apertúrája is a legkedvezőtlenebb esetet, a 7 mm-es átmérőt alkalmazza [1]. A sugárzás spektruma szintén hatással van a pupilla átmérőjére [7], a kék tartományú fény elsősorban a késleltetett pupilla reflexért felelős [13]. A beeső sugárzás ingerli a retina megfelelő receptorait, amelyek egyfajta védelmi feladatot betöltve szabályozzák a bejutó fény mennyiségét.

A mérési metódusnak egy másik fontos hatásmechanizmust is figyelembe kell vennie. Miközben szemünk egy adott pontra igyekszik fókuszálni, apró pásztázó mozgásokat végez, néhány Hz-es frekvenciával (6. ábra).



6. ábra. A test és a szem mozgása miatt a retinán leképzett kép foltszerű

Ez a pásztázás a gyakorlatban azt jelenti, hogy szemünk egy pontszerű forrás képét szórtan, egy adott területre képezi le a retinán. A fény szóródásának mértéke – vagyis a folt nagysága – az expozíció időtartalmától függ [1]. Ha a pislogási reflexidőnél (kb. 0,25 s) hosszabb ideig fókuszálunk egy adott pontra, a leképzett foltméret nyílásszöge hozzávetőlegesen 11 mrad lesz. Száz másodperc felett a fókuszálási képességünk romlik, ami a retinára leképzett kép (vagy sugárzott energia) további szóródását eredményezi. Ugyanez történik determinisztikus szemmozgások esetén is, például olvasás közben is – a nyílásszög növekszik. A retinára ténylegesen leképződő kép mérete a fényforrás hatásos nyílásszögével (α_{eff}) írható le, amelynek nagyságát az emissziós felület mérete, fénysűrűsége és az expozíciós idő is befolyásolja, vagyis nem összekeverendő a látszólagos nyílásszöggel (α) – lásd 5.2. fejezet –, sőt attól független.

A szem fizikai korlátait figyelembe véve – nyugodt szem és pontszerű fényforrás estén is – a lehető legkisebb leképzett kép nyílásszöge (α_{min}) 1,7 mrad. Akkor alkalmazzuk, ha az expozíciós idő 0,25 másodpercnél (pislogási reflex ideje) kisebb, függetlenül attól, hogy a fényforrás impulzusüzemű, vagy nagyon nagy fénysűrűségű. A veszélyek vizsgálatához az alábbi α_{eff} értékek adódnak (4. táblázat).

4. táblázat. Sugársűrűség mérésekor alkalmazott effektív nyílásszögek az expozíciós idő függvényében [1]

Expozíciós idő – t [s]	α_{eff} [rad]	α_{eff} [°](1)
≤0,25	$\alpha_{eff}=\alpha_{min}$ = 0,0017	0,1°
0,25 < t < 100	0,0017 < α_{eff} < 0,011 közte: α_{eff}=0,0017√(t/0,25)	0,63°
100 < t < 10000	0,011 < $\alpha_{eff}=\alpha_{max}$ < 0,1 közte: α_{eff}=0,011√(t/100)	5,73°

(1) Az értékek a tartomány maximális értékére vonatkoznak

Sugársűrűség jellegű veszélyek méréséhez α_{eff} megadása elengedhetetlen, hiszen ez határozza meg az irritált (vizsgált) felület nagyságát. A hőhatás szempontjából csak a szövetben elnyelt teljesítmény és a besugárzási idő veendő számításba [5]. Termikus veszélyek (L_R, L_{IR}) kiértékelésekor α_{eff}-t azért kell figyelembe venni, mert minél nagyobb a retinán kialakuló kép, annál kisebb az optikai tengely mentén bejutó hőenergia koncentráltsága és káros hatása. Pontszerűen disszipált teljesítmény a szövetekben adott időállandóval terjed, így más a hatásmechanizmus – és az elnyelt dózis – rövid és más hosszú idejű besugárzások esetén, amikor a sugárzás utánpótlása folyamatos. Például a retinát érintő termikus veszélyre (L_R) az expozíciós határértéket az alábbi összefüggés írja le [1]:

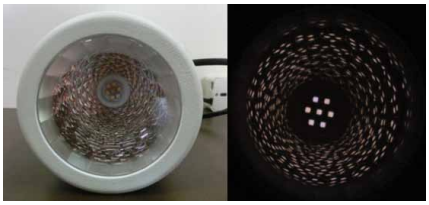
$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_\lambda * R(\lambda) * \Delta\lambda \leq \frac{50000}{\alpha * t^{0,25}} \; ; \qquad (10\mu s \leq t \leq 10s) \qquad (1)$$

ahol t az expozíció időtartama, L_λ a mért spektrális sugársűrűség, és R(λ) az égésveszély hatásspektruma.

5.2. A fényforrás látszólagos szögbeli kiterjedésének meghatározása

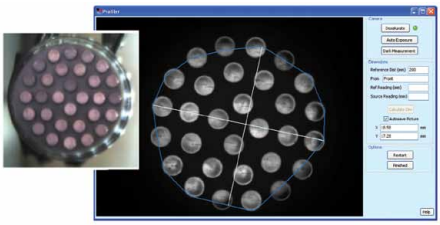
A fényforrás, megfigyelési pontból vett látószögének (FoV – Field of View), azaz a látszólagos szögbeli kiterjedésének (α) nagyságát az emissziós felület méretének ismeretében határozhatjuk meg. Az α paraméter a kék fény veszély jellegének meghatározásához szükséges, ugyanis ennek ismeretében dönthető el a fényforrásról, hogy az a veszély szempontjából kis fényforrásnak (small source) minősül-e, vagy nagynak (large source).

A paraméter kiszámításához ismerni kell a „hatásos" emissziós felület nagyságát, valamint az érzékelőtől vett távolságát. Előbbi meghatározása nem minden esetben egyértelmű feladat, ugyanis a releváns emissziós felület a maximális fénysűrűség 50%-ánál nagyobb fénysűrűségi pontokat jelenti. Egyszerű, homogén emittáló felületek esetén hosszméréssel meghatározható a felület kiterjedése. Optikákat, és szabálytalan geometriájú, például FF (Free Form) tükröket alkalmazó lámpák és lámpatestek esetén ez a feladat megfelelő mérőműszer hiányában meglehetősen bizonytalan (7. ábra).



7. ábra. Összetett geometriájú tükrös lámpatest emissziós pontjai – mekkora a releváns felület?

Ennek érdekében fénysűrűségmérő kamera és speciális algoritmust alkalmazó kiértékelő szoftver segítségével – a mérési távolság megadását követően – az emittáló felület mérete egyszerűen meghatározható (8. ábra). Ezt követően α kiszámításához már csak a detektortól vett 500 lx-os távolság ismerete szükséges.



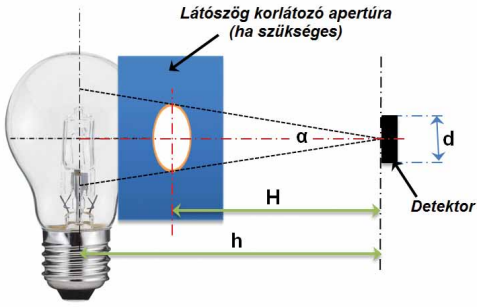
8. ábra. A fényemittáló felület méretének meghatározása kiértékelő algoritmus segítségével [11]

5.3. Fotobiológiai mennyiségek vizsgálatához alkalmazott mérési elrendezések

A méréseket minden esetben a lámpa legkedvezőtlenebb pozíciójából kell végezni, amelyhez előzetesen a fényerősségeloszlás goniométeres meghatározására is szükséges lehet, térben nem egyenletesen sugárzó fényforrások esetén.

5.3.1. Besugárzott felületi teljesítmény mérése

Besugárzott felületi teljesítmény (E_{UVA}, E_{IR}, E_H), és spektrális besugárzott felületi teljesítmény (E_S, E_B,) jellegű fotobiológiai mennyiségek méréséhez az IEC 62471 szabvány az alábbi mérési elrendezést definiálja:



9. ábra. Mérési elrendezés besugárzott felületi teljesítmény méréséhez

ahol:

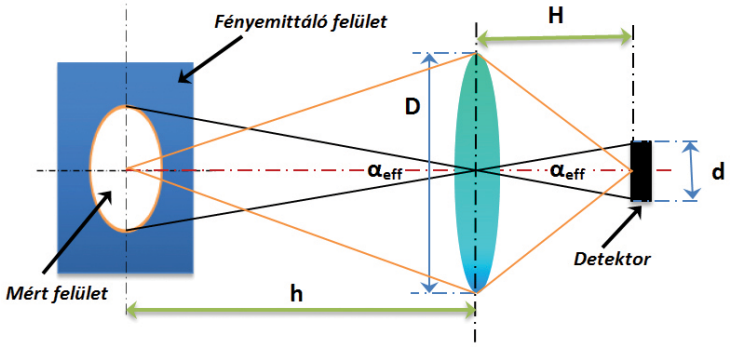
α – A detektorra leképzett emissziós felület nyílásszöge
d – Detektor (pupilla) átmérője
h – Mérési távolság
H – Látószög korlátozó apertúra távolsága a detektortól

A kalibrált koszinusz feltétes detektor felületét (d) korlátozó apertúra alkalmazása – amelynek átmérője legfeljebb 7 mm-ig csökkenthető – a térben inhomogén eloszlású, erős intenzitás csúccsal rendelkező lámpák esetén alkalmazandó. Sugársűrűség jellegű mennyiségek mérésére (lásd 5.3.2. fejezet), a szabvány bizonyos esetekben megenged egy ún. alternatív mérési metódust. Ekkor látószög-korlátozó apertúra alkalmazására van szükség a számításba veendő látószög biztosítása érdekében, amelynek ismeretében besugárzott felületi teljesítményből kiszámítható a sugársűrűség. Az apertúra távolsága a detektor átmérőjéhez képest elegendően nagy legyen (H>>d) [1].

A mérés talán legfontosabb paramétere a h mérési távolság meghatározása. Ehhez előbb el kell dönteni a vizsgált fényforrás kategóriáját, amely – ahogy korábban már tárgyaltuk – kétféle lehet. Általános világítási célra használt – GLS, egyéb esetben non-GLS.

A szabvány különbséget tesz továbbá a folyamatos és impulzusüzemű (például fényképező vaku, impulzusmodulált LED-ek és stroboszkópok) lámpák között. Utóbbi kizárólag non-GLS lehet. Egy fényforrás impulzusüzemű, ha a kisugárzott energiát egyetlen impulzus formájában, vagy azok sorozatával közvetíti, és minden impulzus időtartama (a mért jel fel és leszálló ágán a fél-érték pontok között eltelt idő) kevesebb, mint 0,25 másodperc. Továbbá folytonos impulzussorozatok, vagy modulált sugárzott energia esetén a kisugárzott energia csúcsa legalább tízszerese kell, legyen az átlagosnak. Ezen fényforrások mérési és kiértékelési metódusa eltérő, amelynek ismertetésétől a terjedelmi korlátok miatt el kell tekintenünk.

Már korábban is említettük, hogy minden vizsgálat célja a valós – gyakorlati – helyzet, jelen esetben a világítási környezet modellezése. A csoportosításból is adódik, hogy a két kategóriát nem lehet azonos módon vizsgálni, hiszen alkalmazásuk jellege is eltérő. GLS fényforrások vizsgálata esetén a h mérési távolság minden esetben az 500 lx megvilágítást adó távolság. Ennek magyarázata az, hogy az MSZ EN 12464-1[12] szabvány éppen ekkora



10. ábra. Hagyományos, leképező optikás mérési összeállítás sugársűrűség méréséhez

megvilágítás karbantartási értéket (E_m) követel meg a munkasíkon, a legáltalánosabb munkahelyi világítások esetén, vagyis azokban a helyiségekben, ahol a munkaidő jelentős részét töltjük. Ilyen helyiségnek minősül számos ipari munkaállomás, üzlethelyiség, irodahelyiség, számítógépes munkahely és osztályterem is. A mérési távolság azonban nem lehet 200 mm-nél rövidebb. Ebben az esetben ugyanis nem a retinán fókuszálódna a kép, azaz kisebb energia jutna egységnyi területre, ami torzítaná a mérést. Gyakorlati szempontból sem igazán fordul elő olyan eset, hogy a munkasíkot ennél kisebb távolságból nézzük, hiszen a középkorú felnőttek (szubjektív) tisztánlátás távolsága 20 cm-nél nagyobb, és ez a távolság az öregedéssel folyamatosan növekszik. Non-GLS lámpák esetén a mérési távolság minden esetben 200 mm.

5.3.2. Sugársűrűség jellegű mennyiségek mérése

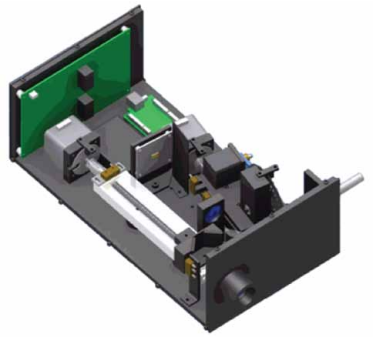
Sugársűrűség jellegű [W/(m^2.sr)] fotobiológiai mennyiségekkel a retinát érintő veszélyeket (L_B, L_R, L_{IR}) vizsgáljuk.

A szabvány kétféle mérési elrendezést definiál: egy leképező optikás (hagyományos), valamint egy megvilágítás mérésre visszavezethető metódust (alternatív). Utóbbi ismertetése nem témája jelen cikknek.

A hagyományos metódus (10. ábra) a szem optikai működését hivatott modellezni. A mérések nem igényelnek apertúrát, hiszen ebben az esetben egy optikai leképező rendszer változtatható paraméterei határozzák meg a vizsgált (átlagolandó) felület nagyságát, amit a hatásos látószög (α_{eff}) megfelelő beállításával biztosítunk.

Ahol:

α_{eff} – A mérés szempontjából releváns emissziós felület látószöge
h – Mérési (tárgy) távolság
H – Képtávolság - változtatható
d – Detektorátmérő (képméret)
D – Optikai lencse átmérője (apertúra átmérője)



11. ábra. A mérési elrendezés megvalósítása a gyakorlatban [11]

Kis szögek esetén $\alpha_{eff} = \frac{d}{H}$ összefüggésből származtatható, vagyis az optika látószöge csak d-től és H-tól függ. Ismert továbbá α_{eff} tényleges értéke, ami a 4. táblázatban ismertetett értékeket veheti fel. Mivel d a rendszer állandó paramétere, és a detektorra leképezhető folt méretét limitálja, a releváns α_{eff} eléréshez H-t

kell megfelelően beállítani. A 11. ábrán látható műszer esetén ez a művelet egy léptetőmotor segítségével, automatikusan történik.

Ezek után a beállított α_{eff} a mérési távolság nagyságának függvényében meghatározza a fényforrás mért (kiátlagolt) felületének nagyságát. Mivel a mérési elrendezés az emberi szem működését hivatott modellezni, a h távolság a szem fizikai korlátai miatt ebben az esetben sem lehet 200 mm-nél kisebb.

A méréshez alkalmazott műszer tartalmaz egy CMOS-érzékelőt is, amelynek segítségével megkereshető a legnagyobb fénysűrűségű, legkritikusabb terület.

5.3.3. Kék fény veszély mérése a gyakorlatban

A kék fény veszély vizsgálata GLS-fényforrások esetén besugárzott felületi teljesítménymméréssel kezdődik, amelynek első bemeneti paramétere a vizsgált fényforrás látszólagos szögbeli kiterjedése, avagy a detektortól vett látószöge (α). Amennyiben az 500 lx megvilágítást adó távolságból vett α kisebb, mint 11 mrad, úgy apertúra nélkül mért spektrális felületi teljesítményből, az 1. táblázatban leírt módon származtatható EB érték. Ha a besorolás EB alapján RG0 vagy RG1, a vizsgálat véget ért – mérési elvből adódóan ekkor $\alpha_{eff}=\alpha$. Ellenkező esetben az optikai leképező rendszerrel, α_{eff}=11 mrad látószöget beállítva spektrális sugársűrűség mérésre van szükség. A kiértékelést követően – α_{eff} ismeretében – át kell számítani a mért L_B értéket E_B-be (W/m^2), amely ha RG2 határértékénél is nagyobb, úgy a mérést meg kell ismételni α_{eff}=1,7 mrad mellett is. Amennyiben az eredmény továbbra is meghaladja a határértéket, úgy a veszély magas kockázatú.

Nagy fényforrás esetén a mérés eredménye sugársűrűség jellegű (L_B). Ha 11 mrad<α_{eff}≤100 mrad a fényforrás még pontszerűnek tekinthető, ezért a szabvány megenged egy alternatív mérési metódust. Ekkor L_B-t besugárzott felületi teljesítménymérésből származtatja – α továbbra ebben az esetben is ismert. Ha α_{eff}>100 mrad, úgy egy megfelelő átmérőjű apertúrát kell a fényforrás elé helyezni. Ennek mérete az 500 lx-on mért távolság tizede. Ekkor α_{eff} éppen 100 mrad. Ha a származtatott L_B érték meghaladja, vagy közel esik RG1 expozíciós limitjéhez, optikai leképző rendszerrel végzett mérések szükségesek a pontos L_B érték megállapításához, és a veszély besorolásához.

6. Vizsgálatok tapasztalatai

Mivel a világítási célra szánt LED-ek fejlesztésekor a legjobb hatásfok eléréséhez kitűzött cél a látható tartományon kívüli sugárzás minimalizálása, így az UV- és közeli IR- tartománybéli sugárzás vélhetően nem lehet kritikus. Ezt a gyakorlat is tökéletesen alátámasztja. Az elmúlt néhány év mérési tapasztalatai alapján kijelenthető, hogy a legkritikusabb jellemzők a kék fény veszélyhez (L_B, E_B), valamint a retinát érintő termikus veszélyhez (L_R, L_{IR}) kapcsolódnak. A kék fény veszély „okozója" a fényporokkal működő LED-ek kék tartománybeli, igen intenzív sugárzása és a nagy fénysűrűség. A termikus veszélyek főként nagy fénysűrűség estén, RG2-es fényforrások esetén fordulhatnak elő.

Ezek alapján egy LED-es fényforráscsalád termékpalettáján – azonos optikát feltételezve – a legkritikusabb típus általában a leghidegebb színhőmérsékletű – „legkékesebb színképű" –, legnagyobb teljesítményű típus. Amennyiben eltérő optikákat is kínálnak a fényforrásokhoz, csak a lámpa vagy lámpatest fényerősségeloszlásának ismeretében határozható meg a vizsgálandó típus.

Szabványi besorolások kapcsán a tapasztalat azt mutatja, hogy egy diffúzorral ellátott világítótest az esetek túlnyomó részében „kockázatmentes", RG0. A nagy fénysűrűségű és/vagy jó optikával szerelt modul a legtöbb esetben RG1 besorolású – kék fény veszély alapján. Ez még nem mondható kritikusnak. Ugyanakkor igen nagy teljesítményű és keskenyen sugárzó LED-modulok esetén előfordul a RG2 (Mérsékelt veszély)"

kategória is, amely a modulok felhasználása során már odafigyelést igényel.

Fontos leszögezni, hogy attól egy lámpatest fotobiológiai szempontból nem feltétlenül lesz megfelelő, hogy megfelelőségi értékeléssel rendelkező LED-modult vagy csipet építenek bele. Amennyiben az említett fényforrás fényeloszlását valamilyen optikai elem (például tükör vagy gyűjtőlencse) releváns módon megváltoztatja, úgy azt az új konstrukcióval együtt ismételten meg kell vizsgálni. Ugyanez fordított esetben is igaz: attól a pillanattól, hogy a lámpatest konstrukciója releváns módon megváltozik (például optikai elem, fényforráscsere, teljesítmény növelése stb.), egy új termékről beszélhetünk. Sajnos előfordul, hogy a gyártók erről megfeledkeznek.

7. Összefoglalás

Összegzésképpen elmondható, hogy nemzetközi viszonylatban a szabványok kezelik a szemünk és bőrünk védelmét. A CE megfelelőségértékelésnek köszönhetően a már megszokott villamos biztonságtechnikai követelmények mellett a fotobiológiai biztonság is fenntartható. A szükséges vizsgálatok elvégzése és kiértékelése a szabvány által támasztott követelményeknek megfelelő, összetett mérőberendezéssel történik. Általános világítási célú LED-es lámpák és lámpatestek méréseinek tapasztalatai alapján a legkomolyabb kockázatot a kék fény veszély jelenti. Az UV- és a retinát érintő IR- tartományú sugárzások jellemzően nem jelentenek veszélyt, de megfelelőségük megállapításához vizsgálatuk feltétlenül szükséges.

Irodalomjegyzék

[1]. IEC 62471:2006 Photobiological safety of lamps and lamp systems

[2]. IEC/TR 62471-2:2009 Photobiological safety of lamps and lamp systems – Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety

[3]. 2006/25/EC Artificial Optical Radiation Directive [A munkavállalók fizikai tényezők hatásának való expozíciójára (mesterséges optikai sugárzás) vonatkozó egészségügyi és biztonsági minimum követelményekről]

[4]. Schanda János – Az optikai sugárzás élettani hatásai – Magyar Tudomány, 2002/8 1000. o.

[5]. Kép forrása: http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=28351

[6]. Ann R. Webb - Az épületvilágítás szempontjai: a fény nem-vizuális hatásai, Világítástechnikai Évkönyv 2012-2013.

[7]. Lucas, Peirson, Berson, Brown, Cooper, Czeisler, Figueiro, Gamlin, Lockley, O'Hagan, Price, Provencio, Skene, Brainard - Measuring and using light in the melanopsin age – 2014 – Trends in Neurosciences, Vol. 37, 1-9.

[8]. Joan E. Roberts – Circadian Rhythm and Human Health. http://www.photobiology.info/Roberts-CR.html

[9]. Bullough JD, Fu Z, Van Derlofske J. (2002). Discomfort and disability glare from halogen and HID headlamp systems (SAE paper 2002-01-0010). In Advanced Lighting Technology for Vehicles (pp. 1-5), SP-1668. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

[10]. Derlofske JV, Bullough J, Dee P, Chen J, Akashi Y (2003). Effects of Vehicle Forward Light-ing Spectrum on Glare. Proc. PAL 2003 1134-1143.

[11]. Bentham IDR300- PSL - Evaluation of the Photobiological Safety of Lamps (User Manual)

[12]. MSZ EN 12464-1:2012 - Fény és világítás. Munkahelyi világítás. 1. rész: Belső téri munkahelyek

[13]. MOURA; NAGY; LA MORGIA; BARBONI; OLIVEIRA; SALOMAO; BEREZOVSKY; DE MORAES-FILHO; CHICANI; BELFORT; CARELLI; SADUN; HOOD; VENTURA - The Pupil Light Reflex in Leber's Hereditary Optic Neuropathy: Evidence for Preservation of Melanopsoin-Expressing Retinal Ganglion Cells. Investigative Ophthalmology & Visual Science, v. 1, p. 1-27, 2013.

Különböző spektrális teljesítményeloszlású világítási környezetek hatása a vizuális vizsgálatokban

– Dr. Nagy Balázs Vince –

A világítási környezet színingerei közvetlen hatással vannak az emberi látás a vizuális teljesítményre. A jelen összefoglaló különböző típusú fényforrások hatását mutatja be humán látáskísérletekben.

1. Bevezetés

A környezeti világítás fénytani és színtani hatásai kimutathatók az emberi látórendszerben [1] és függenek a megfigyelő jellemzőitől [2]. Több kutatócsoport foglalkozott már a világítás látórendszerre vonatkozó hatásaival [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] bár a színadaptáció hatásait, valamint a világítási környezet spektrális teljesítményeloszlását nem minden esetben vették figyelembe.

Az emberi látórendszer adaptációja egy összetett idegi mechanizmus, amely lehetővé teszi, hogy látásunk alkalmazkodjon a különböző ingerekhez, egyensúlyban tartva ezzel a látásfunkciókat [12, 13]. A látás különböző mechanizmusai vesznek részt az adaptációs állapot kialakításában. Ilyenek például pupillaátmérőt, a fotoreceptorok vagy az agyi látóidegpályák érzékenységét szabályozó idegi folyamatok [14, 15].

A színadaptáció (kromatikus adaptáció) a látási folyamatok olyan képessége, amely kompenzálja a megvilágítás spektrális teljesítményeloszlásbeli eltéréseinek hatását a színingerek világítási körülményektől független érzékelése érdekében [14, 15]. Természetesen a színadaptációs képességnek is vannak határai, azaz látórendszerünk nem képes bármely világítási környezetben a teljes kompenzációra, amely például a kvázi monokromatikus, színes LED-ek vagy akár a kisnyomású nátriumlámpák esetén lehet kifejezetten szemléletes.

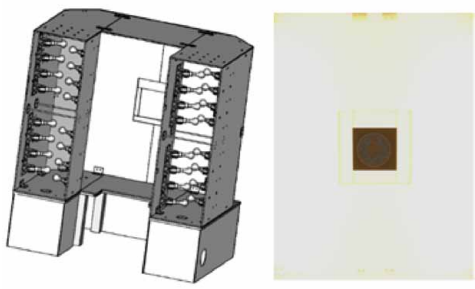
A világítástechnikai gyakorlatban a színadaptáció hatásait ritkán vizsgálják közvetlen módon. Bár a színvisszaadási paraméterek klasszikus és modern változatai is alkalmaznak adaptációs számításokat, többségük adott minták színinger koordinátáin alapul. A gyakorlati alkalmazásokban kevés esetben találkozunk a fényforrások spektrális teljesítményeloszlásával. Ezeket közvetlenül ma még inkább csak a kutatási munkákban szokás figyelembe venni annak ellenére, hogy bizonyítottan vannak pszichológiai és fiziológiai emberi hatásai [7, 10, 11].

2. Vizuális kísérletek

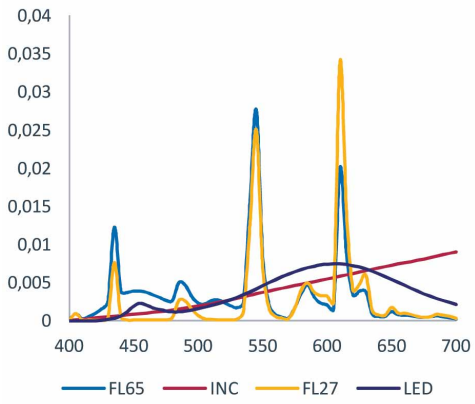
2.1. Világítási környezet kialakítása

Jelen munka célja azonos színingerű, de különböző spektrális teljesítmény-eloszlású fényforrások vizuális hatásainak vizsgálata volt [16].

Ehhez megépítésre került egy világító doboz (1. ábra), amely a kísérletekben résztvevő személyek teljes látómezejében egyenletes fénysűrűséget és színingert biztosított. Négy különböző típusú fényforrást építettem be a dobozba, amelyek egyenletes ($U > 0.92$) közvetett megvilágítást hoztak létre. A fényforrások számának és helyzetének gondos megválasztásával azonos fénysűrűségeloszlások alakultak ki mindegyik fényforrással. A fénysűrűség értékeket és a spektrális teljesítményeloszlásokat spektroradiométerrel mértem. Az 1. táblázat tartalmazza a vonatkozó fotometriai és színmetrikai jellemzőket, a 2. ábra pedig a spektrális teljesítményeloszlásokat. Mindkét esetben figyelembe vettem a világító doboz reflexióját, mint a látórendszert közvetlenül ingerlő tényezőt. A világító doboz egy teljesen elsötétített szobában helyeztük el, kiküszöbölve így az esetlegesen befolyásoló külső világítást.



1. ábra. A világító doboz kialakítása (bal oldalon) és látványa a kísérleti alanyok szemszögéből középen a Cambridge teszttel a doboz mögötti monitoron (jobb oldalon)



2. ábra. Az alkalmazott világítások spektrális teljesítményeloszlásai a világító doboz reflexiójának figyelembevételével

2.2. Kísérleti személyek

A kísérletsorozatban két korcsoport vett részt önkéntes jelentkezés alapján. A 20 és 35 év közötti korosztályból 20, az 50 év feletti korosztályból 10 személyt választottunk ki. Amennyiben a jelentkezőnek látást érintő betegsége, problémája volt, nem vehetett részt a kísérletsorozatban. Minden vizsgálat előtt legalább öt percig a világítási környezetben töltöttek a kísérleti személyek a megfelelő szintű adaptációs állapot elérése céljából.

2.3. Vizuális tesztek

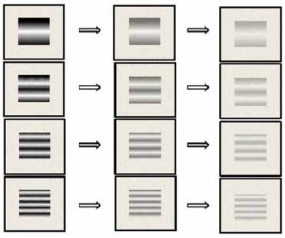
A kísérletek során a látáskutatásban alkalmazott ismert vizsgálati módszereket kívántam alkalmazni a világítási környezet hatásának megismerésére. A felhasznált tesztek alapvetően két csoportba oszthatók: 1. Önvilágító, monitoros tesztek és 2. Reflexiós tesztek. A monitoros teszteket a világító doboz hátoldalán kialakított, állítható méretű nyíláson keresztül lehet megjeleníteni. A monitor olyan távolságban került elhelyezésre, hogy a doboz világítása nem hozott létre reflexiót a monitor képernyőjén. A reflexiós teszteket a doboz vízszintes asztalán végezte a kísérleti személy.

1. táblázat. A világító doboz fotometriai és színmetrikai értékei a spektroradiométeres mérésekből számítva

	CCT, K	CRI	CQS	CIE u',v'	L, átlag cd/m²	L, centrális átlag, cd/m²
FL65	5650	82	82	0.1962 0.4973	357.6	320.6
FL27	2702	81	74	0.2669 0.5372	382.2	329.5
INC	2589	96	91	0.2602 0.5396	347.8	307.5
LED	2653	78	78	0.2643 0.5374	359.8	315.8

A monitoros tesztek közül a színlátás vizsgálatára szolgáló Cambridge Colour Testet [17] és kontrasztérzékenység vizsgálatot választottam. A Cambridge Colour Test a síninger megkülönböztető képességet (színdiszkrimináció) vizsgálja CRT-monitoron akromatikus, változó fénysűrűségű háttérben megjelenítve változó telítettségű ábrákból álló ún. Landolt-C jeleket (1. ábra). Maga a teszt a kísérleti személy számára egyszerű, egy távirányító segítségével kell kiválasztania, hogy a 'C' jel melyik irányban nyitott. A szoftver egy speciális algoritmus segítségével vizsgálja a háttér és a 'C' jel közötti minimális érzékelhetőség küszöbértékét, amelyet CIE u'v' koordinátákban fejez ki. A vizsgálataimban a csap fotoreceptorok kitüntetett irányaiban (protán, deután és tritán) vizsgáltam e küszöbértékeket.

A kontrasztérzékenységet vizsgáló számítógépes teszt különböző térfrekvenciájú rácsokat (3. ábra) jelenít meg a kísérleti személy válaszai alapján változó kontraszttal. Ez alapján adja meg azt a minimális kontrasztértéket, amely még érzékelhető. Jelen munkában a kontrasztérzékenység tesztet akromatikus (fekete-fehér), valamint vörös-zöld és kék-sárga rácsokkal is elvégeztem.



3. ábra. A kontrasztérzékenység vizsgálat szemléltetése különböző térfrekvenciákon akromatikus rácsokkal

A reflexiós tesztek közül az Ishihara, pszeudo-izokromatikus teszt mellett az ún. Lanthony D-15d kis telítettségű mintákból álló színinger-sorrenden alapuló tesztjét (4. ábra) alkalmaztam a színlátás mérésére. Itt a kísérleti személynek 15 mintát kell sorrendbe raknia a színingerük alapján. A D65 megvilágítás alatti referencia-sorrendtől való eltérések mutatják a színlátásbeli változást. A vizuális teljesítmény mérésére az ISO 9241-304 szabvány monitorvizsgáló tesztjének nyomtatott változatát alkalmaztam. Ez a teszt az olvasási sebességet méri különböző karakterek keresésével egy adott szövegben. Az eredmény a megtalált karakterek száma.

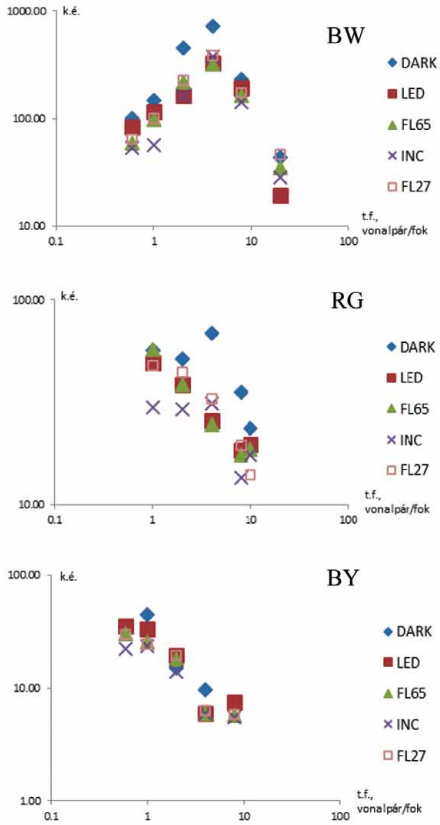
4. ábra. A Lanthony D-15d teszt színingermintái

A vizsgálatokat mind a négy fényforrástípus világítása mellett elvégeztem. A monitoros tesztek esetén referenciaként sötét környezetben is.

3. A kísérletek eredményei

3.1. Monitoros tesztek

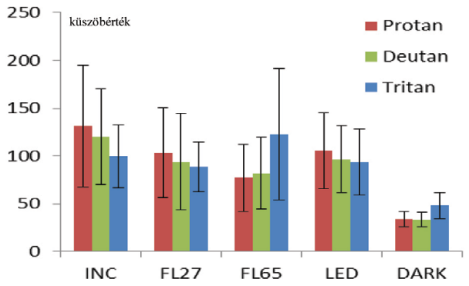
Korcsoporttól és vizsgálati módszertől függően eltérések mutatkoztak a különböző világítási környezetekben elvégzett kísérletek eredményeiben.



5. ábra A kontrasztérzékenység eredmények átlagos küszöbértékei (a szórásokat az átláthatóság érdekében nem szerepeltetem). Az akromatikus (BW-fekete-fehér), vörös-zöld (RG) és kék-sárga (BY) vizsgálatok eredményei szerepelnek az ábrákon. A 'DARK' a sötét szobában végzett kísérleteket jelenti.

A monitoron végzett kísérletek közül a kontraszt vizsgálat nem mutatott statisztikailag szignifikáns eltéréseket a különböző spektrális teljesítményeloszlású világítási környezetekben. A kontraszt-érzékenység általánosan a sötét környezetben volt a legjobb (5. ábra), ezt követte a 6500 K-es fénycsöves világítási környezet. A 2700 K-es világítási környezetek közül a LED-es adta a legjobb kontrasztérzékenység eredményt átlagosan mindhárom vizsgálati módszer (akromatikus és két kromatikus) esetében. Az izzólámpás világítási környezet csökkentette átlagosan legjobban a kontrasztérzékenységet.

A monitoros színdiszkriminációs képesség eredményei jelentősen eltérnek az egyes világítási környezetekben mindhárom vizsgált irányban a színtérben. A 6. ábra mutatja az egyes világítási környezetek és CIE u'v' irányokban (protán, deután és tritán) az átlagos küszöbértékeket. Szinte minden esetben statisztikailag szignifikáns különbségek mutatkoztak (kivétel ez alól a LED és az FL27, valamint a tritán esetben a LED és az INC összehasonlítása). Egyértelmű, hogy a sötét környezet (DARK) „zavarja" legkevésbé a monitoros színdiszkriminációt. Ezt követi a 6500 K-es fénycsöves világítási környezet a protán és deután irányokban. A legrosszabb színdiszkriminációt az izzólámpás világítási környezetben mértem e két irányban. Egyedül a kék színingereket vizsgáló irányban eredményezett a 6500 K-es fényforrás rossz színdiszkriminációt.



6. ábra. A monitoros színdiszkriminációs vizsgálatok átlagos eredményei és azok szórásai három irányban a CIE u'v' színtérben a különböző világítási környezetekben. A 'DARK' a sötét szobában végzett kísérleteket jelenti

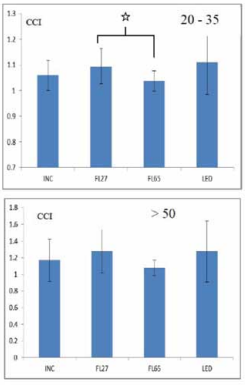
Érdemes megemlíteni, hogy a protán és deután irányokban az enyhébb színtévesztők sötét környezetben végzett hasonló kísérleteinek eredményei a 100-as (ΔE u'v' x 10^4) küszöbértéket felülről megközelíthetik. Ezt az értéket az izzólámpás világítási környezet átlagos eredményei meghaladják, azaz a monitoros színdiszkriminációe e környezetben, jóllehet viszonylag nagy környezeti fénysűrűség mellett, de eléri a színtévesztés szintjét.

A monitoralapú teszteknél nem találtam jelentős különbséget a két vizsgált korosztály eredményei között, így azokat az ábrákon egyben szerepeltetem.

3.2. Reflexiós tesztek

A reflexiós tesztek közül az Ishihara pszeudo-izokromatikus vizsgáló ábrákat minden világítási környezetben kivétel nélkül helyesen és nehézségek nélkül nevezték meg, azaz ezen ábrák nem érzékenyek a világítási környezet spektrális hatásaira normál színlátók esetében.

A D15-d vizsgálat eredménye hasonló tendenciákat mutatott mindkét vizsgált korosztály esetében azzal a különbséggel, hogy az 50 év felettiek eredményeinek szórása jelentősen nagyobb (7. ábra).



7. ábra. A D-15d tesztek eredményeinek átlaga és szórása a két vizsgált korosztály esetében. A függőleges tengelyen a CCI a hibák mértékére jellemző paraméter

A hibaérték (CCI), amely az adott világítás melletti CIE L*a*b* térbeli D65 világítástól való eltérések alapján számítható, az FL65 és izzólámpás világítási környezetben volt a legkisebb. A LED-es és 2700 K-es fénycsöves világítási környezetekben ennél egyformán nagyobb hibaértéket kaptam. Statisztikailag szignifikáns különbséget egyedül a 20-35 éves korosztálynál találtam az FL27 és FL65 közötti eredmények között. Ezen eredmények és a 2700 K-es világítások CRI értékei tökéletes korrelációt (r=-1) mutatnak, míg a CQS-értékek Pearson korrelációs együtthatója -0.86. A 6500 K-es környezetben elért eredmények figyelembevétele és a CRI, ill. CQS-értékek jelentősen csökkentik a korreláció mértékét, nem adva magyarázatot így a magasabb korrelált színhőmérsékletű világítási környezetben elért jobb eredményre.

A vizuális teljesítményt mérő teszt nem mutatott jelentős különbségeket egyik korosztály esetében sem. Általánosan a 6500 K-es világítási környezetben értek el jobb eredményeket a kísérleti személyek. A 2700 K-es világítások közül a LED-es környezet adta a legtöbb megtalált karaktert. A korreláció a CRI ill. CQS-értékekkel kismértékű volt.

4. Összefoglalás

Az itt bemutatott humán vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy az ép látással rendelkező kísérleti személyek a vizsgált adaptációs világítási környezetek közül általánosan a magasabb korrelált színhőmérsékletű 6500 K-es környezetben érnek el jobb eredményeket a vizuális teszteken. A három 2700 K körüli korrelált színhőmérsékletű világítás közül általánosan a LED-es környezet adott jobb eredményeket, azonban az egyes tesztek esetén a világítás spektrális teljesítményeloszlása jelentősen befolyásolja a kísérleti eredményeket. A kísérletsorozat megmutatta, hogy a különböző látási feladatokban más és más világítástípus alkalmazása lehet a legmegfelelőbb.

Irodalomjegyzék

[1]. Yaguchi, H., Ikeda, M. Contribution of opponent-colour channels to brightness. In J. D. Mollon and L. T. Sharpe (eds). Colour Vision: Physiology & Psychophysics. 1983, London: Academic Press Ltd.

[2]. Teller, D. Y., Pereverzeva, M., Civan, A. L. Adult brightness vs. luminance as models of infant photometry. Journal of Vision 2003, 3: 333–346.

[3]. Akashi, Y., Boyce, P. R. A field study of illuminance reduction. Energy & Buildings 2006, 38: 588-599.

[4]. Berman, S. M., Jewett, D. L., Fein, G., Saika, G., Ashford, F. Photopic luminance does not always predict perceived room brightness. Lighting Research and Technology 1990, 22: 37-41.

[5]. Boyce, P. R. Investigations of the subjective balance between illuminance and lamp colour properties. Lighting Research and Technology 1977, 9: 11-24.

[6]. Boyce, P. R., Cuttle, C. Effect of correlated colour temperature on the perception of interiors and colour discrimination. Lighting Research and Technology 1990, 22: 19-36.

[7]. Boyce, P. R. Human Factors in Lighting. 2003, London: Taylor & Francis.

[8]. Boyce, P. R., Akashi, Y., Hunter, C. M., Bullough, J. D. The impact of spectral power distribution on the performance of an achromatic visual task. Lighting Research and Technology 2003, 35: 141-161.

[9]. Fotios, S. A., Kevin, H. Tuning The Spectrum To Match Human Vision: an Opportunity For LED Arrays. Proceedings of the CIE Light and Lighting Conference, 2009, Budapest, Hungary.

[10]. Viénot, F., Durand, M-L., Mahler, E. Kruithof's rule revisited using LED illumination. Journal of Modern Optics 2009, 56: 1433-1446.

[11]. Viénot, F., Durand, M-L., Mahler, E. The effect of LED lighting on performance, appearance and sensation. Light and Lighting CIE conference, 2009, Budapest.

[12]. Helson, H. Adaptation-level theory. 1964, New York Harper and Row.

[13]. Stockman, A. Luminous efficiency, cone fundamentals and chromatic adaptation. Proceedings of the CIE Light and Lighting Conference, 2009, Budapest, Hungary.

[14]. Webster, M. A. Human color perception and its adaptation. Computation in Neural Systems 1996, 7: 587–634.

[15]. Sharpe, L. T., Stockman, A., Jägle, H. and Nathans, J. Opsin genes, cone photo pigments, color vision, and color blindness. In Color Vision: From Genes to Perception (Gegenfurtner and Sharpe, eds.). 1999, Cambridge University Press, NewYork, p. 3-52.

[16]. Nagy, B.V., Barboni, M.T.S., Oliveira, J.G., Ventura, D.F. The effect of ambient illumination spectrum on visual performance. CIE Conference 2013, Paris.

[17]. Mollon, J. D., Reffin, J. P. Handbook of the Cambridge Colour Test. 2000, London, UK: Cambridge Research Systems

Színes optika

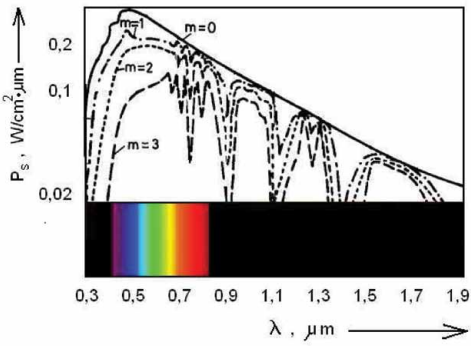
– Wenzel Klára –

A színek világában élünk. Az égbolt és a tengerek, az erdők, a mezők és a virágok, a madarak és a halak – mind szebbnél szebb színekben tündökölnek. Ezek a szemet gyönyörködtető színek szigorú fizikai, kémiai és optikai törvényszerűségek alapján keletkeznek. A cikkben két olyan optikai törvényszerűséget mutatunk be, amely talán a legváltozatosabb és legragyogóbb színeket hozza létre: a fényszóródást és az optikai rácsjelenséget. Néhány képen bemutatjuk a belőlük kialakuló színes jelenségeket is.

1. A fény szóródása

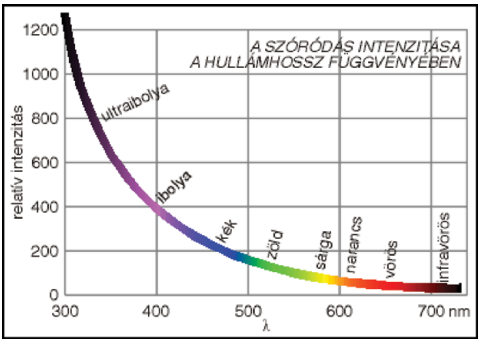
A fényszóródás nagyon változatos formában megjelenő optikai jelenség. Magyarázatát Christiaan Huygens holland matematikus, fizikus és csillagásznak (1629-1695) a hullámmozgás sajátságaival kapcsolatos elmélete alapozza meg. A Huygens-elv szerint a hullámok tovaterjedése folyamán minden, a hullám útjába kerülő anyagi pontot új elemi hullámok kiindulópontjának tekinthetünk. Ez az elv minden hullámmozgásra érvényes: a víz hullámmozgására, a hanghullámokra és a fényhullámokra egyaránt. A fényhullámok esetében a jelenség különböző formát ölt attól függően, hogy mi kerül a fény útjába. Apró részecskék (gázatomok, por, pára) jelenléte esetén például fényszóródás jön létre.

Szemünk a Nap elektromágneses sugárzásának csupán egy keskeny, 0,380…0,780 µm szélességű tartományát látja (1. ábra). Ezt a tartományt nevezzük fénynek, és szemünk ezt a fényt fehér színűnek látja. Isaac Newton angol fizikus, matematikus, csillagász és filozófus (1642-1727) kimutatta, hogy a fehér fény a színkép különböző hullámhosszúságú színeinek (vörös, narancs, sárga, zöld, türkiz, kék, ibolya) keveréke.



1. ábra. A Nap fehér fénye tartalmazza az összes látható színt

A Napból érkező elektromágneses sugárzás a légkörben lévő részecskéken szétszóródik. Adott méretű részecske esetén a fény szóródása annál nagyobb, minél kisebb a fény hullámhossza. A jelenséget lord John William Rayleigh (1842-1919) angol fizikus vizsgálta először, és megállapította, hogy ez a kapcsolat nagyon erős: a szórt fény intenzitása a hullámhossz növekedésével rohamosan csökken (2. ábra). A 400 nm-től 700 nm tartományba eső látható színek közül a legrövidebb hullámhosszúságú kék fény szóródik a legerősebben.



2. ábra. A fényszóródás intenzitása a hullámhossz függvényében

A szóródás mértéke nemcsak a hullámhossztól, hanem a szóró részecskék méreté-

től is függ. A részecskék mérete alapján jellegzetes tartományokat különböztethetünk meg [1, 2, 3].

A Rayleigh-szórás esetén a részecskék mérete kisebb mint 0,03 µm (pl. gázmolekulák). Ekkor a kék szín szóródik legjobban. Ez okozza az égbolt kék színét (3. ábra)

3. ábra. Az égkék és a felhők fehér színét a Nap fényének szóródása hozza létre.

A Mie-szórás vagy Tyndall-szórás vagy „Sárga Hold" jelenség akkor lép fel, ha a szóró részecskék mérete kisebb, mint 0,5 µm (pl. makromolekulák). Ekkor a kék és a zöld fény szóródik legjobban.

A „Kék Hold" jelenség akkor lép fel, amikor a szóró részecskék mérete 0,5-1,0 µm körüli (pl. vulkáni hamurészecskék). Ekkor a vörös fény szóródik legjobban. Vulkánkitörések után alkonyatkor néha az egész égbolt narancs-vörös fényben tündököl (4. ábra).

4. ábra. Vulkánkitörések után, naplementekor az egész égbolt vöröses fényű lesz

„Fehér szórás" lép fel olyankor, amikor a részecskék mérete nagyobb, mint 1 µm (pl. pára, köd, hó- és jégkristályok). Ilyenkor minden szín egyformán szóródik. A tiszta levegőjű, párás hajnalok fénye ezért sápadt, fehéres (5. ábra).

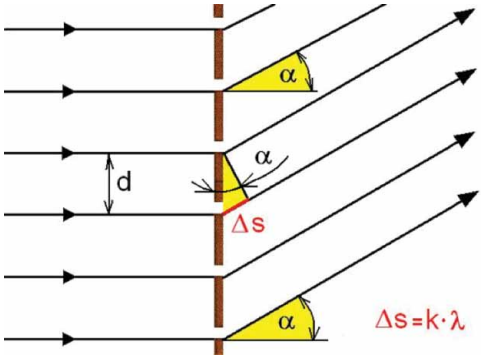
5. ábra. A tiszta hajnali párák által létrehozott fényszóródás színe sápadt, fehéres

Az egészen nagy részecskék már nemcsak visszaverik, hanem el is nyelik a fény jelentős részét. A nehéz, esetleg jeget is tartalmazó esőfelhők ezért haragos szürkék, feketék (6. ábra).

6. ábra. A viharfelhő jégszemcséi elnyelik a fény egy részét, és ezért színük sötét, szürkés-barnás

2. Az optikai rács

Az optikai rács [4] egyenes, párhuzamos, egyenközű vonalak összessége. Ha a rácsvonalak közötti távolság a fényhullámhossz nagyságrendjébe esik, akkor a rácsvonalakon fényelhajlási jelenség jön létre. Ennek oka az, hogy a vonalakon érvényesül a Huygens-elv, vagyis a vonalakon új, az eredeti fény hullámhosszával azonos hullámhosszúságú fényhullámok keletkeznek. Ezek egymással találkozva interferenciajelenség útján bizonyos irányban erősítik, más irányban gyengítik egymást. Amelyik irányban az egymással találkozó fény-nyalábok útkülönbsége a fényhullámhossz egész számú többszöröse (azaz a hullámok azonos fázisban vannak), ott erősítés, ahol ellenkező fázisban vannak, ott gyengítés jön létre (7. ábra).



7. ábra. Fényelhajlás optikai rácson

A fényhullámok akkor vannak azonos fázisban, ha útkülönbségük megegyezik egy vagy több teljes fényhullám hosszával, azaz

$$\Delta s = k\ \lambda \qquad (1)$$

ahol Δs a két hullám útkülönbsége
λ a fény hullámhossza
k pozitív egész szám

Az ábra alapján pedig

$$\Delta s = d\ \sin\alpha \qquad (2)$$

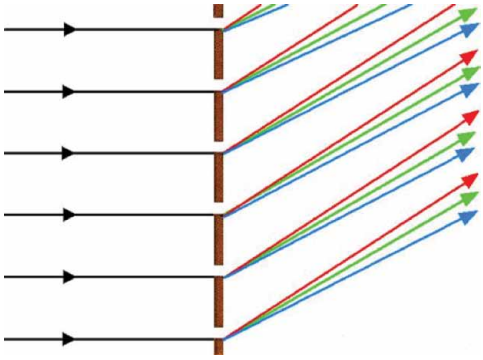
ahol: α a fényelhajlás szöge, és
d a rácsállandó, azaz egy rácsvonal és egy vonalköz hosszának összege

Az (1) és (2) alapján pedig

$$\sin\alpha = \frac{k\lambda}{d} \qquad (3)$$

A (3) az optikai rács egyenlete, amelyből látható, hogy a fényelhajlás annál nagyobb, minél kisebb a d rácsállandó, azaz minél sűrűbb az optikai rács.

A (3)-ból az is látható, hogy a fényelhajlás nagysága a fény hullámhosszától is függ, azzal egyenesen arányos. Ha tehát az optikai rácsra fehér fényt vetítünk, a fényelhajlás minden színre nézve más irányban jön létre; a fény színeire bomlik (8. ábra). Ezt a jelenséget fénydiffrakciónak nevezik.



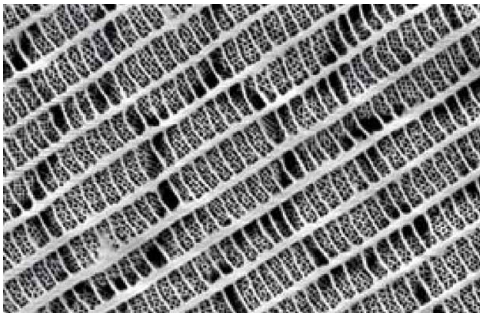
8. ábra. Fénydiffrakció optikai rácson

Az optikai rácsokat széles körben alkalmazzák spektrofotométerekben, a fehér fény színekre bontása céljából. Ahhoz, hogy a színek jól elváljanak egymástól, igen kicsi, a fényhullámhossz nagyságrendjébe eső rácsállandóra van szükség. Jedlik Ányos 1845-ben 1 mm-re 1200 karcolatot tudott készíteni. A modern optikai rácsokon 4000 karc is készülhet mm-enként. A rács lehet transzmissziós rács, amikor az elhajlási kép a rács mögött keletkezik, mint a 7. és 8. ábrán, vagy lehet reflexiós rács, amikor a rács előtt keletkezik az elhajlási kép, mint például a madarak tollán.

A madarak tollán ugyanis szintén találhatunk természetalkotta diffrakciós rácsot; ez hozza létre egyes madarak ékszerszerűen csillogó, színes tollazatát [5, 6].

9. ábra. Cyanophrys remus lepke

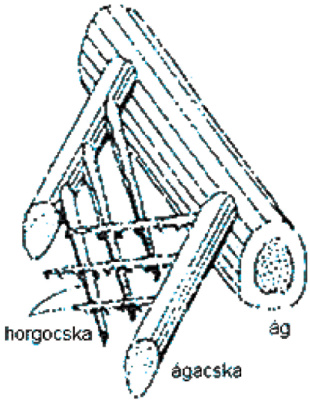
A Cyanophrys remus lepke (9. ábra) szárnyának fémes kék felszínét borító pikkelyek fotonikus kristályszerkezete két anyagból (kitinből és levegőből) felépülő kompozitnak tekinthető. A pásztázó elektronmikroszkópos képen (10. ábra) jól megfigyelhető, hogy a lyukacsos nanoszerkezetben hosszirányú rend van, a lyukak optikai rácshoz hasonló rácsot képeznek. A rács osztása (rácsállandója) körülbelül 1 µm, tehát 1 mm-re mintegy 1000 vonal jut.



10. ábra. Cyanophrys remus lepke szárnyának felszínéről készült pásztázó elektronmikroszkópos kép

Hasonló nanoszerkezetek találhatók a madarak szárnytollain is.

A madártollak esetében a színezés az úgynevezett ágacskák felületén történik. A 11. ábra egy madártoll vázának szerkezetét mutatja be. A kampókkal ellátott ágacskák egymást átfedve az ágak között helyezkednek el. Ezeket az ágacskákat három különböző anyagréteg fedi: felül egy körülbelül 10 nm vastag, átlátszó szaruréteg van, ez alatt helyezkednek el- a szórásért felelős cellák, legalul pedig egy sötét melanin réteg található. A cellák szabálytalan alakú, 30-300 nm átlagos méretű, levegőt tartalmazó üregekből állnak. Ezek az üregek az aktuális szórócentrumok.



11. ábra. Madártoll szerkezete

A 11. ábrán látható finom struktúra hozza létre a kolibrik szárnyának, vagy a páva tollainak élénken csillogó színeit (12. ábra).

12. ábra. A páva faroktollazata

3. A színjelenségek és az ember

A természet spektrális jelenségei, a Nap fehér fényének a földi tárgyakon kialakuló spektrális módosulásai csak akkor válnak színekké, amikor az ember észleli azokat.

A természet objektív jelenségeit az ember érzékszervei és elméje sajátos, szubjektív módon érzékeli. Szemünk három, eltérő spektrumtartományra (vörösre, zöldre és kékre)

érzékeny receptorai elnyelik a fény megfelelő tartományait és különböző erősségű elektromos jeleket küldenek az agy felé, majd ezekből a jelekből az agy bonyolult idegrendszeri feldolgozás után létrehozza a színélményt.

Érdekes elképzelni, hogy ha egy idegen bolygó értelmes élőlénye a Földünkre érkezne és körülnézne, mit látna. Még ha egyáltalán volna is szeme, de ha annak nem volna három különböző színekre érzékeny receptora, csupán egyféle, akkor Földünk színeiből egyáltalán semmit nem észlelne…

Irodalomjegyzék

[1]. National Geographic Online, 2003. szept. 8.
[2]. Horváth G.: „Fényszóródás a természetben" A Természet Világa 1986. No. 6.
[3]. Rajkovits Zs., Illy J.: „Az élő természet színei" Fizikai Szemle 2001/3. 76.o.
[4]. A. Nussbaum, R. Phillips: „Modern optika" Műszaki Könyvkiadó, 1982
[5]. Jéki L., Hartyányi N.: „Színjátszó szárnyakon - lepkéket öltöztet a kristályfizika". National Geographik 2008. No. 2.
[6]. Vértesy Z., Kertész K., Márk G. I., Bálint Zs., Biró L. P.: „Fotonikus mono- és polikristály nanoszerkezetek a Cyanophrys remus lepke szárnyain" T-042972 sz. OTKA kutatási jelentés, 2013.

Tungsram Schréder

TÖBB MINT 40000 ELADOTT LED LÁMPATEST ORSZÁGSZERTE

A TUNGSRAM-SCHRÉDER MAGYARORSZÁG VEZETŐ VILÁGÍTÁSTECHNIKAI VÁLLALATA KÖSZÖNI TÁMOGATÁSUKAT!

BIZTONSÁG HARMÓNIA FENNTARTHATÓSÁG MEGTAKARÍTÁS

MEGOLDÁS

www.schreder.hu

Világítástechnikai kvíz – Állapítsuk meg a helyes sorrendet!

– Borsányi János –

A következőkben 10 úgynevezett sorkérdés szerepel, a megfejtés annyit jelent, hogy a betűjeleket helyes sorrendbe kell rakni.

1. *A következő tudósok felfedezései a világítástechnikában is éreztették hatásukat. Állítsuk őket születési évük sorrendjébe, kezdjük a legkorábbival!*
   A) Max Planck
   B) Johann Heinrich Lambert
   C) Augustin Fresnel
   D) Jan Evangelista Purkinje

2. *Állapítsuk meg, hogy az alábbi fényforrásokat milyen sorrendben kezdték alkalmazni a világítástechnikai gyakorlatban?*
   A) Halogén izzólámpa
   B) Hagyományos fénycső
   C) Genura (indukciós) lámpa
   D) Kisnyomású nátriumlámpa

3. *Állítsuk sorrendbe a lámpatestekhez használt anyagokat a legnagyobb megengedett hőmérséklet alapján! Kezdjük a legkisebb értékűvel!*
   A) Polikarbonát
   B) Szilikon
   C) PVC (hőálló)
   D) Polisztirol

4. *Budapest közvilágításának történetéből ragadtunk ki néhány momentumot. Állítsuk időrend szerint sorba őket!*
   A) Az Andrássy úton megjelennek az ívlámpák
   B) Az első gázlámpák megjelennek a közvilágításban
   C) A fénycsővilágítás bevezetése
   D) Az útközepes világítás első alkalmazásai

5. *Állapítsuk meg a sorrendet a következő fényforrások között a bennük levő nemesgáz nyomás szerint, kezdjük a legkisebb nyomásúval!*
   A) Kisnyomású nátriumlámpa
   B) Nagynyomású nátriumlámpa
   C) Halogén autófényszóró-lámpa
   D) Egyenes fénycső

6. *Ismeretes, hogy a halogén izzólámpában a körfolyamat létrejöttének feltétele bizonyos hőmérséklet-eloszlás megvalósulása. Állítsa sorba az üzemelő lámpában uralkodó hőmérsékleteket! Kezdje a legkisebbel, az alkalmazott halogén a jód.*
   A) A volfrám izzószál hőmérséklete
   B) A bura hőmérséklete
   C) A volfrám-halogenid gőz lecsapódási hőmérséklete
   D) A volfrám-halogén reakció egyensúlyi hőmérséklete

7. *Az 1996. óta megjelent Évkönyvekből kiragadtunk négy cikket. Állítsuk sorba őket megjelenésük sorrendjében! Kezdjük a legkorábbival!*
   A) Deme László: Erzsébet-híd, Szabadság-híd díszvilágítása
   B) Nagy János: Búcsú Horváth Jóskától
   C) Surguta László: A GE Genura R80 indukciós lámpája
   D) Horváth-Vonnák-Csibi: A Szent Jobb világítása

8. *A világítástechnika történetének négy eseményét állítsuk időrendi sorrendbe! Kezdjük a legkorábbival!*
   A) Hefner-gyertya bevezetése a fényerősség mértékegységeként
   B) Az Auer-féle gázharisnya első alkalmazása
   C) A Jablocskov-féle villamos ívlámpa első alkalmazása (Párizs)
   D) Izzószál előállítása tantálból

9. *Állapítsuk meg a színvisszaadás jósága szerinti sorrendet az alábbi fényforrások esetében! Kezdjük a leggyengébb színvisszaadásúval!*
   A) 3000 K-es halogén izzólámpa
   B) 2200 K-es nagynyomású nátriumlámpa
   C) 5000 K-es fényporos LED
   D) 2700 K-es háromsávos fénycső

10. *Négy különböző fényforrást rögzítettünk egy asztal felett fej fent helyzetben azonos magasságban, és mértük a lámpák alatt a megvilágítást. Mi lehetett a mért megvilágítás-értékek sorrendje? Kezdjük a legkisebb megvilágítással!*

    A) 75 W-os festett fehér burájú izzólámpa
    B) 42 W-os kettősburájú halogén izzólámpa
    C) 10 W-os 2700 K-es irányított fényű LED--lámpa
    D) 15 W-os 3000 K-es diffúz burával ellátott kompakt fénycső

A megfejtéseket 2015. április 15-ig várjuk a vilagitasevkonyv@gmail.com e-mail címre! A helyes megfejtéseket beküldők között 3 db értékes ajándékot sorsolunk ki a XLVI. Közvilágítási Ankéton. A megoldásokat és a nyertesek nevét a Fény hírlevél 2015. júniusi számában is közzé tesszük!

Mire és hogyan alkalmazhatjuk a LED-eket?

– Molnár Károly Zsolt –

A világítódiódák a világítástechnika oktatás tematikájába az ezredfordulón kerültek be. Akkor azt mondtuk, hogy ezek az eszközök fénykeltésre alkalmasak, de világítástechnikai alkalmazásuk nem várható. Azóta alig telt el egy fél emberöltő, és ma már azt tapasztaljuk, hogy a LED-es világítás egyre szélesebb körben terjed el, és ezek az új fényforrások egyre jobban szorítják ki az eddig használatosakat.

1. Bevezetés

A forgalmazók folyamatosan bővülő köre minden tisztességes (és kevésbé tisztességes) marketingeszközt felhasznál arra, hogy a LED-ek népszerűségét növelje, mégis a közvéleményben ma is megfogalmazódnak az alábbiakhoz hasonló szkeptikus vélemények:

– „A LED-ben valakiknek nagy üzlet van, csak ezért nyomatják."
– „Fele sem igaz mindannak, amit a LED-ekről mondanak."
– „Az izzóknál jobb fényű lámpát soha nem fognak tudni kitalálni."
– „Ezek a csodalámpák csak arra jók, hogy hamarabb elpatkoljunk."

Láthatjuk, hogy a LED-szkeptikusok főként a gazdaságosság, a műszaki paraméterek hitelessége, a LED-ek fényének szubjektív megítélése és az egészségre gyakorolt hatásuk miatt kételkednek. Ugyanakkor találkozhatunk olyan rajongókkal is, akik ugyanezen szempontokra a következő válaszokat adják:

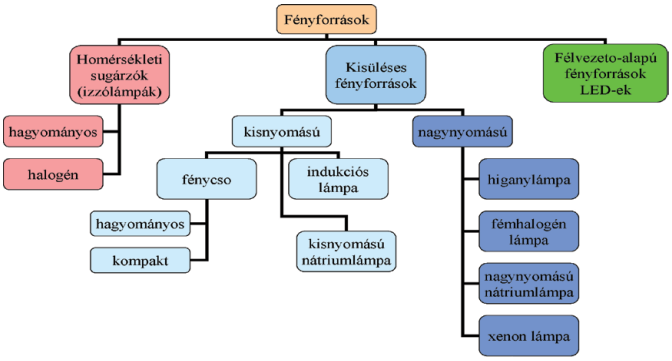
– „Lehet, hogy drágák, de rohamosan csökken az áruk, ráadásul örökéletűek, és alig fogyasztanak áramot."
– „Néhány éve talán még lehettek gondok vele, de ma már kenterbe vernek minden lámpát."
– „Végre egy lámpa, ami visszaadja a Nap fényét."
– „Nincs semmilyen sugárzásuk. A méregzöldek csak a fejlődést akadályozzák."

Felmerül tehát a kérdés: valóban a LED-ek azok a fényforrások, amelyek a jövő világítástechnikájában meghatározó szerepet fognak betölteni? Ha igen, akkor milyen célokra és hogyan használhatjuk azokat?

A válasz megfogalmazásánál először a LED-eket mint fényforrásokat vizsgáljuk. Ehhez három kérdésre kell válaszolnunk:

– Milyen fényforrástípusok léteznek, amelyekkel a LED-ek „versenyezhetnek"?
– Milyen objektív műszaki paraméterekkel jellemezhetők a fényforrások?
– Ezen paraméterek tekintetében a LED-ek hogyan jellemezhetők?

A fényforrások – működési elvéből adódó – csoportosítási lehetőségeit az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. Fényforrások csoportosítása

Az ábrából kitűnik, hogy a LED-ek működési elve jelentősen eltér az eddig megszokott hőmérsékleti sugárzók (izzólámpák) és kisülő fényforrások működésétől, ezért egy új fényforráscsoportot alkotnak. Ez azzal is jár, hogy alkalmazásuk során új műszaki megoldásokban kell gondolkodnunk. A megszokott világítási áramkörök egy az egyben nem alkalmazhatók a LED-ekre, azok megtáplálásához speciális áramköri elemre („meghajtó" – driver) van szükség.

A fényforrások jellemzésére általában két gazdaságossági mutatót, két minőségi jellemzőt és három – főként az alkalmazhatósággal összefüggő paramétert alkalmazunk.

2. Gazdaságossággal összefüggő paraméterek

Fényhasznosítás, ami közismerten azt mutatja meg, hogy egy fényforrás 1 W betáplált villamos teljesítményből mekkora fényáramot tud előállítani. Mértékegysége: lm/W. A fényforrások fényhasznosítás alapján történő összehasonlítása során ügyelnünk kell arra, hogy mit, mivel hasonlítunk össze. Beszélhetünk ugyanis magának a fényforrásnak a fényhasznosításáról, ill. a fényforrásnak a működtető elektromos szerkezeti elemekkel együtt vett fényhasznosításáról. Az eddig alkalmazott fényforrások esetében általában az első terminológiát alkalmaztuk. A LED-ek azonban leggyakrabban a működtető elektronikával szoros egységben kerülnek forgalomba, így ezek esetében a fényhasznosítás alatt a fényforrás+meghajtó áramkör együttes jellemzőjét értjük. Más fényforrással történő összehasonlítás során erre tekintettel kell lennünk.

Élettartam, ami kétféle módon is értelmezhető:

Átlagos élettartamnak nevezzük azt az időtartamot, ami alatt a fényforrás tönkremenetele („kiégése") 50 %-os valószínűséggel bekövetkezik.

Az élettartam végét azonban nemcsak az jelentheti, ha a fényforrás működésképtelenné válik, hanem az is, ha működik ugyan, de már nem tud elegendő fényt szolgáltatni. Ennek megfelelően a szakirodalom megemlíti a „fényhalál" fogalmát – mint élettartamra vonatkozó jellemzőt – amikor a fényforrás fényárama a kezdeti fényáram 70%-ára csökken.

A világítódiódák esetében az élettartamot általában nem az 50%-os „kiégésre" vonatkoztatják, hanem azt határozzák meg, hogy egy adott mennyiségű minta esetében a vizsgált LED-ek hány százaléka esetében tapasztalható adott mértékű fényáram csökkenés. Ennek megfelelően bevezetésre került egy Bxy-Lxy mutatószám (ahol xy adott számok). Példaképpen a B50-L70 = 30 000 óra kifejezés azt jelenti, hogy 30 000 óra alatt a vizsgált minták 50%-ánál tapasztalhatjuk azt, hogy fényáramuk a kezdeti fényáram 70%-ára csökkent. Erről bővebben olvashatunk a VTT honlapján.

3. Minőségi jellemzők

A fényforrások minőségi jellemzői színtani tulajdonságaikkal függnek össze. Ennek megfelelően beszélhetünk a fényforrások színhőmérsékletéről és színvisszaadásáról. Ezek értelmezésével és a fényforrások ilyen jellegű alkalmazhatósági korlátaival a szakirodalom széles körben foglalkozik, ezért itt csak a világítástechnikában kevésbé jártas olvasóknak foglaljuk össze ezen jellemzők értelmezését:

A **színhőmérséklet** egy kelvinben kifejezett mérőszám, ami azt mutatja meg, hogy a fényforrás színe mennyire közelít a „sárgás", illetve „kékes" színhez. Minél kisebb ez a szám (3300 K alatt) annál inkább sárgásnak tűnik a fényforrás színe, azaz annál „melegebb" pszichés érzetet kelt, és minél nagyobb ez a mérőszám (5500 K fölött) annál kékesebbnek látjuk a fényforrás színét, azaz annál „hidegebb" érzetet kelt. A két számérték között beszélünk semle-

ges fehér színhőmérsékletről. Bár léteznek olyan vizsgálatok, amelyek alapján kimondható, hogy milyen esetben milyen színhőmérséklet a kedvező, mégis azt mondhatjuk, hogy ezen paraméter megítélése meglehetősen szubjektív.

A **színvisszaadás** (R_a vagy CRI) arról nyújt információt, hogy a fényforrás fénye mellett a különböző színeket mennyire vagyunk képesek felismerni. Ennek mérőszáma egy 0-100 közötti (mértékegység nélküli) szám, amely minél nagyobb, annál jobb színvisszaadású a fényforrás. 80-as érték fölött már kiváló színvisszaadásról beszélünk. A belső téri munkahelyek világítására vonatkozó szabvány (MSZ EN 12464-1/2012) meghatározza az egyes helységek megvilágításának színvisszaadási követelményeit.

Napjainkban kutatások folynak arra vonatkozóan, hogy ez a jellemző mennyire helyesen adja vissza a szubjektíve megítélhető „színhűséget", illetve milyen mérőszámmal lehet azt még pontosabban kifejezni. Ezen kutatások felgyorsulását éppen a világítódiódák színtani értékelése tette szükségessé, amelyeknél a hagyományos színvisszaadási index nem tűnik optimális értékelési paraméternek.

4. Alkalmazhatósággal összefüggő paraméterek

Egy fényforrás adott célra történő alkalmazhatóságát – az eddig felsorolt jellemzőkön túl – az határozza meg, hogy a fényforrás a fényét a térben hogyan osztja el, azaz milyen a **fényeloszlási jelleggörbéje,** milyen a fényforrás fénysűrűségeloszlása – azaz **mennyire kápráztat,** valamint a bekapcsolást követően milyen gyorsan éri el maximális fényáramát (milyen gyorsan „melegszik be"), vagyis milyen hosszú a **felfutási ideje.** Fényeloszlás szempontjából az egyes fényforrások jellemezhetők ugyan, de ennek az alkalmazás szempontjából nincs gyakorlati jelentősége. A fényforrásokat ugyanis legtöbb esetben olyan lámpatestbe építik be, ill. olyan optikai rendszerrel látják el, ami a fényforrás fényeloszlását a rendeltetésének megfelelő mértékben módosítja. A felhasználónak azonban ügyelnie kell arra, hogy a világítótest (fényforrás+lámpatest együttesen) fényeloszlása nem (csak) annak formai kialakításától, hanem elsődlegesen optikai rendszerétől függ. Ily módon külsőleg hasonlónak tűnő világító eszközök is jelentősen eltérő fényeloszlással rendelkezhetnek.

Az egyes fényforrások kápráztató hatása azok fénysűrűségeloszlásával van összefüggésben. Mivel a fénysűrűség egyenesen arányos a fényforrás adott irányba kibocsátott fényerősségével és fordítottan arányos a fényforrás adott irányból „látott" felületével, a LED-ek esetében a káprázás vizsgálatának nagy jelentősége van. A világítódiódákat ugyanis egyre nagyobb egységteljesítménnyel (egyre nagyobb fényárammal) gyártják, és ugyanakkor fényáramukat csak korlátozott térrészbe irányítják. A LED-ek fényerőssége így bizonyos irányokban rendkívül nagy lehet. Ehhez társulva kis méretük azt eredményezi, hogy fénysűrűségük egyes irányokban jelentősen megnövekedhet, ami káprázást idézhet elő. Ennek mértéke termékenként változó, így azt minden egyes típusnál esetileg kell vizsgálni.

A világítótestektől elvárjuk, hogy bekapcsolásukkal egyidejűleg „azonnal teljes fényárammal" világítsanak. Ez az elvárás a fényforrások működési elvéből következően csak korlátozott mértékben valósul meg. Hőmérsékleti sugárzók és LED-ek esetében az „azonnali" maximális fényáram gyakorlatilag elérhető, míg kisülő fényforrások esetében a fényáram stabilizálódása akár perceket is igényelhet.

Az elmúlt évtizedekben – a kisülő fényforrások (fénycső, kompakt fénycső, nátriumlámpa, higanylámpa, fémhalogénlámpa) elterjedésével – „megszoktuk" azt, hogy a lámpa bekapcsolását követően a maximális fényáramra „várni kell". A világítódiódák esetében azonban fordított a helyzet. Ezek a bekapcsolást követően (hideg állapotban)

Mire és hogyan alkalmazhatjuk a LED-eket?

Fényforrás	Élettartam [óra]	Fény-hasznosítás [lm/W]	Szín-homérséklet [K]	Szín-visszaadás	Felfutási ido
Hagyományos izzó	1000	8 – 15	2500 – 2700	100	Rövid
Halogénizzó	500 – 2000	15 – 25	2700 – 3000	100	Rövid
Fénycso	12 – 24 ezer	80 – 100	2700 – 6500	> 80	Közepes
Kompakt fénycso	6 – 12 ezer	40 – 60	2700 – 6500	> 80	Hosszú
Kisnyomású Na	12 – 14 ezer	~200	~2000	< 0	Hosszú
Higanylámpa	12 – 16 ezer	40 – 50	~4500	40 – 60	Hosszú
Nagynyomású Na	18 – 24 ezer	80 – 120	~2200	20 – 40	Hosszú
Fémhalogén	4 – 12 ezer	60 – 80	3000 – 6500	60 – 90	Hosszú
LED	**> 30.000**	**> 100**	**2700 – 6500**	**> 70**	**Rövid**

2. ábra. Fényforrások főbb műszaki jellemzői

szolgáltatják a legnagyobb fényáramot, és – hűtésüktől függően – bemelegedésük során fényáramuk folyamatosan csökken. Ez a tény zavaró lehet azoknak, akik hozzászoktak a „bemelegedő" fényforrásokhoz.. A LED-es világítóeszközök bekapcsolásakor tapasztalható „nagy fény" ugyanis azt a téves képzetet is keltheti, hogy ez akár még növekedhet is (de legalább nem csökken), és ily módon sokkal rosszabbnak ítélik meg az egyébként hasonló paraméterekkel rendelkező kisülő fényforrásokat.

A felsorolt paraméterek alapján a 2. ábrában összefoglaltuk a leggyakrabban alkalmazott fényforrások főbb műszaki jellemzőit.

A 2. ábra természetesen csak egy átlagos összehasonlítást nyújt az egyes fényforrások műszaki paramétereiről. Egyes gyártók bizonyos termékei esetében ettől jelentős eltérések is tapasztalhatók. Ma már ugyanis vannak olyan fénycsövek és kompakt fénycsövek, amelyek élettartama jelentősen meghaladja a táblázatban feltüntetett értéket, ugyanakkor vannak olyan (nem professzionális) LED-termékek is, amelyek sokkal rosszabb paraméterekkel rendelkeznek, mint azt a táblázatban megadtuk. A táblázatból azonban kitűnik, hogy a műszakilag igényesen konstruált LED-ek – paramétereik alapján – ma már szinte minden fényforrással felveszik a versenyt:

– Élettartamuk rendkívül kedvező.
– Fényhasznosításuk megközelíti vagy meghaladja az eddigi fényforrások fényhasznosítását, főként, ha figyelembe vesszük, hogy az eddig használatos, kiemelkedő fényhasznosítású fényforrások színtani tulajdonságai nem voltak kedvezőek. Ezen a téren a LED-ekkel csak a kerámiacsöves fémhalogénlámpák veszik fel a versenyt. Mindezek mellett azt is figyelembe kell venni, hogy a fényforrások működtetéséhez szükséges meghajtó eszközök is teljesítményveszteséget okoznak, és ezen a téren a LED-ek igen jó hatásfokúnak mondhatók.
– Színhőmérséklet szempontjából ma már – a fénypor-technológiának köszönhetően – bármilyen LED előállítható a keresleti igényeknek megfelelően.
– A LED-ek színvisszaadása még kissé elmarad néhány közismert, hagyományos fényforrástól (izzólámpák, fénycsövek, kompakt fénycsövek), de meg kell említenünk, hogy ma már ez sem jelent műszaki akadályt, mert már léteznek 95-97 színvisszaadással rendelkező LED-ek is, bár ezek árfekvése kissé meghaladja a kereskedelemben kapható szokványos LED-ek árszínvonalánál.
– A felfutási idő tekintetében a LED-ek kiválónak tekinthetők. A másodperc tört része

alatt elérik fényáramuk maximumát, rendkívül jól tűrik a ki- és bekapcsolásokat, és nem közömbös az sem, hogy fényáramuk rendkívül tág tartományban, nagyon könnyen és minden negatív következmény nélkül szabályozható – amennyiben a működtető egység erre képes.

Mindezek alapján felmerül a kérdés: Ha a LED-ek – mint fényforrások – ennyire kedvező műszaki paraméterekkel rendelkeznek, akkor mi akadályozhatja még alkalmazásuk rohamos elterjedését?

Mindenekelőtt beszerzési áruk az, ami miatt ma még nem tudnak olyan gyorsan elterjedni, ahogy azt a forgalmazók szeretnék. Tény, hogy a LED-es fényforrások ára többszöröse a „hagyományos" fényforrásokénak, azonban nagyon egyszerűen kimutatható, hogy napjainkban ez az árkülönbség – az élettartam és a felhasznált villamos energia költségét figyelembe véve – viszonylag rövid idő alatt megtérülhet. Ennek mértéke nagyban függ attól, hogy milyen fényforrást milyen termékre váltunk ki.

A LED-ek rohamos elterjedését – látszólag paradox módon – akadályozza még rendkívül hosszú élettartamuk is. Mivel a LED-ek napjainkban rendkívül gyors műszaki fejlődésen mennek keresztül, a felhasználók aktivitását visszatartja az a tény, hogy nem látják célszerűnek olyan eszköz beszerzését, aminek élettartama évtizedekben mérhető, miközben ezen idő alatt sokkal jobb – és talán sokkal gazdaságosabb – konstrukciók jelenhetnek meg.

Ugyancsak gátolja a LED-ek rohamos elterjedését az a csalódottság, amelyet az ellenőrizetlenül az országba kerülő, gyenge minőségű, többnyire Távol-Keletről származó termékek okoznak a vevőkben. Ezen termékeket sokszor kellemetlenül nagy színhőmérséklet, rossz színvisszaadás és rövid élettartam jellemzi. Alacsony áruk ellenére csekély fényhasznosításuk sem indokolja ezen termékek alkalmazását, de a világítástechnikai ismeretekkel kevésbé rendelkező lakosság a hiányos információk alapján kezdetben preferálja azokat. Ez azért is szomorú tény, mert az ezt követő lakossági kiábrándultság már nem csak ezen gyártmányokra, hanem a LED-re mint technológiára vetül ki, ami nagy mértékben gátolja a korszerű, kiváló paraméterekkel rendelkező termékek értékesítését is.

Van azonban néhány olyan műszaki jellegű probléma is, ami ugyancsak gátat jelent a LED-es fényforrások rohamos elterjedésének:

Mivel a LED-ek rendkívül kisméretű és egyre nagyobb fényáramú fényforrások, ezért a „hagyományos" lámpatestkonstrukciókban nem alkalmazhatók. Azok fényeloszlását ugyanis meghatározott méretű és fényáramú lámpákra tervezték, és amennyiben ezekben LED-eket alkalmazunk, úgy azok fényeloszlása jelentősen megváltozhat, aminek köszönhetően egy adott helyiség világítási paraméterei módosulhatnak. Ennek leggyakoribb megnyilvánulása, hogy kiemelkedően nagy és kis megvilágítású helyek alakulnak ki (a világítás „foltos" lesz), illetve a falak és a mennyezet „elsötétül", miközben a munkaterület megvilágítása növekszik. Ezt a tényt egyes – nem teljesen korrekt – forgalmazók arra használják fel, hogy hamisan igazolják a LED-es lámpatestük előnyeit, miközben elhallgatják a munkaterületen kívüli környezet fényviszonyainak jelentős romlását (barlanghatás).

Ugyancsak a LED-ek nagy fénysűrűségével függ össze az is, hogy így azok káprázató hatása többszörösen meghaladhatja a „hagyományos" fényforrások által okozott káprázás mértékét. Ez természetesen megfelelő lámpatest konstrukcióval, illetve a lámpatestek megfelelő elhelyezésével mérsékelhető, azonban ez azt jelenti, hogy vagy a lámpatestek átalakítására, vagy a világítási rendszer átépítésére (áthelyezésére) kell nagyobb beruházási összeget szánni, ami megkérdőjelezi az alkalmazás gazdaságosságát. A káprázás azonban olyan fontos világítástechnikai jellemző, amely felett egy gondos világítástechnikus nem hunyhat szemet (legfeljebb miatta csukja be a szemét), így ennek korlátozását a világítási rendszer átalakítása során mindenképpen figyelembe kell venni.

Az előbbiekben csak a világítódiódák

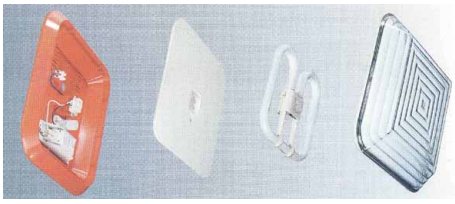
Mire és hogyan alkalmazhatjuk a LED-eket?

fénytechnikai adottságairól szóltunk, de meg kell említeni azok termikus viselkedését is. A LED-ek – ellentétben az eddig alkalmazott fényforrásokkal – az általuk termelt hőt nem tudják kisugározni, azt csak hővezetés formájában tudják leadni. (Téves az a nézet, hogy a LED-ek nem termelnek hőt. Igenis, a LED-ek meglehetősen sok hőt termelnek, csak azt nem hősugárzás formájában adják le, így közvetlenül nem is érzékeljük.) A világítódiódák által termelt hőt tehát megfelelő hűtéssel el kell vezetni, ami vagy a LED-es lámpák kialakítását teszi bonyolultabbá (költségesebbé), vagy a hűtés jár bizonyos mértékű beruházási költséggel, illetve energiaköltséggel. Amennyiben a világítódiódák hűtését nem oldják meg, úgy a fényforrás fényárama, fényhasznosítása és élettartama is jelentősen csökkenhet. Sajnos az egységes szerkezetbe integrált LED-es lámpa esetében – annak roncsolása nélkül – még laboratóriumban sincs lehetőség megállapítani, hogy a felhasznált világítódiódákat „túlfűtötték-e", így a felhasználók csak a forgalmazó iránti bizalmukra támaszkodhatnak annak megítélésében, hogy a kapott fényforrás termikus tulajdonságai kedvezőek. Azt azonban mindenképpen leszögezhetjük, hogy egy kellő hűtéssel ellátott LED-es fényforrás (lámpatest) napjainkban olyan hűtési kialakítást igényel, ami jelentősen megnövelheti a termék tömegét. (Egy megfelelő hűtéssel ellátott LED-es lámpatest esetében a hűtőbordák tömege akár 5-10-szerese is lehet a fényforrás és a meghajtóegység együttes tömegének). Szerencsére napjainkban már vannak olyan hűtési megoldások is, amelyek lényegesen kisebb tömegnövekedéssel járnak, de ezek rohamos elterjedése még várat magára.

A LED-ről – mint fényforrásról – tehát elmondhatjuk, hogy a világítástechnikában kiemelkedően nagy szerepet fognak betölteni az elkövetkezendő időben, de számolnunk kell azzal, hogy ezen eszközök csak akkor örvendhetnek közmegelégedésnek, ha a fentebb ismertetett problémákra a lámpatestgyártók és a világítástervezők kielégítő megoldást szolgáltatnak.

Mindezek alapján ismételten feltehetjük a címben megfogalmazott kérdést: Mire és hogyan alkalmazhatjuk a LED-eket?

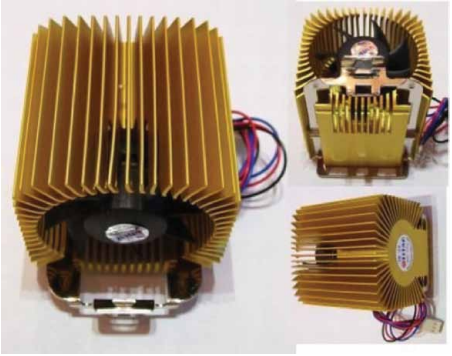
Ez idáig megszoktuk, hogy egy-egy adott fényforrástípushoz konstruálnak egy megfelelő lámpatestet, ami gondoskodik az adott fényforrás „fényének" megfelelő elosztásáról és működtetéséről. A fényforrást és a lámpatestet együttesen világítótestnek neveztük. A LED-ek esetében a fényforrás, lámpatest és világítótest fogalmak nem határolhatók el ennyire egyértelműen. A fényforrásként szolgáló LED – mint elektronikai elem – a legtöbb esetben nem különül el a többi alkatrésztől, hanem valamilyen nyomtatott áramkör részét képezi, vagyis az igazi fényforrás (a LED) cseréje csak szakműhelyben, forrasztással végezhető el. A legtöbb lámpatestben nem csak egyetlen LED-et alkalmaznak, hanem LED-csoportokat (klasztereket), így még inkább igazzá válik, hogy a LED – mint fényforrás – egy összetett elektronikai áramkör része. A 3. ábrán bemutatunk egy példát a hagyományos fényforrás-lámpatest-világítótest konstrukcióra, valamint egy, az elektronikával egybeépített LED-es konstrukcióra.



3. ábra. a) Hagyományos fényforrás-lámpatest-világítótest konstrukció

3. ábra. b) Elektronikával egybeépített LED-es konstrukció

Mint fentebb említettem, a LED-ek megfelelő működéséhez gondoskodni kell azok hűtéséről. Ebből az következik, hogy a kisméretű fényforrások mellé sokszor igen nagyméretű (és tömegű) hűtést kell beépíteni. Minél nagyobb fényáramú berendezést kívánunk készíteni, a világítótest tömegének annál jelentősebb részét teszi ki a hűtőbordák tömege. Lassan már-már el kell azon gondolkoznunk, hogy be kellene vezetnünk egy új mértékegységet a LED-es világítótestekre, a lumen/kg fogalmát (ld. 4. ábra).



4. ábra. A LED-ek hűtése jelentős tömegnövekedéssel jár

A leírtakat figyelembe véve a LED-ek gyakorlati világítástechnikai alkalmazására jelenleg két irányvonal kezd kirajzolódni:

5. „Retrofit” megoldások

Az értelmező szótár alapján a „retrofit” szó azt jelenti, hogy „valamilyen alkatrész cseréje újabb, modernebb eszközzel”. Ennek szellemében ezen irányvonal képviselői arra törekednek, hogy olyan LED-es fényforrásokat fejlesszenek ki, amelyek egy az egyben csereszabatosak az eddigi fényforrásokkal, így az izzólámpák, fénycsövek, kompakt fénycsövek, nagynyomású kisülőlámpák a lámpatest átalakítása nélkül helyettesíthetők legyenek ezen LED-es termékekkel. A kialakítás tekintetében számos konstrukciós megoldás létezik, amelyek közül csak ízelítőül mutatunk be néhányat a 5. ábrán.

5. ábra. „Retrofit” LED-es fényforrások

A „retrofit” termékek kétségtelen előnye, hogy viszonylag olcsók. Mivel ezek alkalmazásánál csupán csak a fényforrást kell kicserélni, nem kell számolnunk sem a lámpatest esetleges átalakítási költségeivel, sem az elektromos hálózat módosításának költségvonzatával. Ezen előny mellett azonban felmerül néhány műszaki probléma is, amelyek óvatos megfontolásra intenek bennünket a „retrofit” termékek alkalmazását illetően.

6. ábra. Valóban korszerű a „retrofit megoldás?

Mire és hogyan alkalmazhatjuk a LED-eket?

Az első elgondolkodtató kérdés mindjárt a retrofit szó értelmezéséből ered, vagyis hogy „valamilyen alkatrész cseréje újabb, modernebb eszközzel". A LED valóban új, modern eszköz, de vajon célszerű-e ezeket a valóban korszerű, hosszú élettartamú fényforrásokat elavult, műszakilag leamortizálódott lámpatestekbe elhelyezni? (lsd. 6. ábra). Nem konzerváljuk-e ezzel hosszú időre az elavult világítási berendezések műszaki színvonalát? Amennyiben gazdaságossági megfontolások alapján erre a kérdésre még igennel tudunk felelni, akkor felmerül a következő probléma.

A LED-es retrofit fényforrások fényárama és fényeloszlása általában eltér a kiváltani kívánt fényforrások fénytechnikai jellemzőitől. Ebből az következik, hogy a retrofit LED-es termékkel üzemelő világítótest más megvilágítási és fénysűrűségi viszonyokat teremthet a megvilágítani kívánt helyiségben vagy külső téren. Nem állítjuk, hogy ez mindig problémát okoz – sőt bizonyos esetekben akár kedvező változások is bekövetkezhetnek –, de ennek ellenőrzése csak világítástechnikai számításokkal vagy mérésekkel végezhető el, amire egy átlagos felhasználó általában nincs berendezkedve. Hangsúlyozni szeretnénk tehát, hogy retrofit termék alkalmazása előtt szakember bevonásával győződjünk meg arról, hogy a világítás színvonalát illetően a későbbiekben nem ér minket csalódás.

Amennyiben a retrofit LED-es fényforrást valóban úgy alakították ki, hogy annak beszereléséhez a meglévő lámpatestben semmilyen átalakítást nem kell végezni, akkor megelégedhetünk az előbb említett két „problémával". Vannak azonban olyan termékek is – főként a fénycsövek kiváltására készült LED-csövek –, amelyek alkalmazása során a lámpatestben kisebb-nagyobb mértékű átalakítás szükséges. (Pl. előtét kikötése vagy átkötése, gyújtó kiszerelése vagy cseréje a LED-csőhöz forgalmazott helyettesítő elemmel – ami legtöbbször egy olvadóbiztosító –, polaritás ellenőrzése vagy megfordítása stb.) Ez a „csekély" szerelési művelet azonban súlyosabb problémákat vet fel, mint pusztán annak anyagi vonzata. Mindenekelőtt ezt a beavatkozást csak szakember végezheti, tehát a fényforrás cseréjét a szakképesítés nélküli átlagos felhasználó nem tudja elvégezni. Ennél azonban sokkal nagyobb gond, hogy bármilyen átalakítás a lámpatesten magával vonja, hogy megszűnik a gyártói garancia, és érvényét veszítik a gyártmányra kiadott biztonsági és műszaki minősítések. Ilyen beavatkozás során tehát a felhasználónak tudatában kell lennie, hogy az átalakítást követően minden anyagi és jogi felelősség áthárul az átalakítást végző „személyre", ill. arra, akire ezt delegálják. Természetesen van arra lehetőség, hogy az átalakított berendezést újra minősítsék, de ennek költségvonzata már olyan, ami miatt az átalakítás gazdaságossága megkérdőjelezhetővé válik.

A „retrofit" megoldások felsorolt előnyeit és hátrányait a következő táblázatban foglaljuk össze:

Előnyök ✓	Hátrányok ✖
Kis szerelési igény	Fényeloszlás módosul
	Nem növeli a világítótest műszaki színvonalát
Költséghatékony	Elektromos bekötési anomáliák
	Megszűnik a lámpatest biztonsági minősítése

A retrofit megoldások előnyeit és hátrányait összevetve az alábbiakban összegezzük, hogy a retrofit termékek alkalmazása mikor ajánlott, ill. milyen feltételek mellett javasolt a kerülésük:

- Olyan lámpatestekben, ahol a fényforrás elektromos átalakítás nélkül cserélhető, és a lámpatestnek nincs külön optikai rendszere. (pl.: csillárokban, „spotlámpák" kiváltásánál) ✓
- Ha a lámpatest egy adott fényforráshoz tervezett optikai rendszerrel rendelkezik. (pl.: tükrös, rácsos lámpatestek) ✖
- Ha a fényforrás LED-re történő cseréjével együtt elektromos szerkezeti átalakítás is szükséges. (pl.: fénycsövek helyett) ✖

A felsoroltakon kívül további problémát jelent az alkalmazott fényforrás névleges feszültsége. A korábbiakban alkalmazott halogén „spot-lámpák" általában 12 V-os fe-

szültségről működnek. A „halogén spotlámpákat kiváltó" LED-es lámpák – működtető elektronikájuktól függően – üzemelhetnek 12 V-ról vagy 230 V-ról. A „halogén spotlámpák" kiváltása során az alkalmazott feszültségszintre tehát ügyelni kell. Ez adott esetben a hálózat átalakításával is járhat.

Az is tény, hogy még a 12 V-os halogénlámpák kiváltása sem történhet minden esetben egyszerűen 12 V-os LED-ekkel. Elterjedt gyakorlat ugyanis, hogy a 12 V-os halogénlámpákat párosával sorba kötve 24 V-ról üzemeltetik. Ezek LED-es kiváltása esetén mindenképpen szükségessé válik az elektromos hálózat átalakítása is.

6. Új utak keresése

Számos konstruktőr felismerte, hogy a LED-ek jelentős eltérése a „hagyományos" fényforrásoktól azt igényli, hogy a világítótest-kialakításánál újításokat kell bevezetni. Nem elegendő tehát meghagyni a lámpatestet, és ehhez kreálni egy új, LED-es fényforrást, hanem a lámpatest optikai rendszerét a LED-ek méretéhez és fényeloszlásához kell igazítani. Ez a felismerés nagyon fontos, és lehetővé tenné a lámpatest-konstruktőröknek, hogy fantáziájukat elengedve új, az alkalmazott LED-ekhez igazodó világítótesteket fejlesszenek ki. Egy-egy új konstrukció azonban új gyártástechnológiát is igényel, aminek bevezetése jelentős költségekkel jár. A költségek optimalizálása céljából tehát kialakult egy olyan irányvonal a LED-es világítótestek fejlesztése területén, amely igyekszik megtartani a „hagyományos" lámpatest-felépítést és -formavilágot, és kisebb-nagyobb változtatásokkal a korábbi termékekbe kívánják integrálni a LED-eket.

Mivel a szakemberek körében jól ismert az a tény, hogy a LED-ek – mint kisméretű fényforrások – fénytechnikai sajátosságai jelentősen eltérnek a „hagyományos" fényforrások fénytechnikai jellemzőitől, ezért fel kellett vállalni, hogy a lámpatestek fényeloszlását tükrök, illetve lencsék alkalmazásával a LED-ek sajátosságaihoz igazítják, de meghagyták a lámpatest formai kialakítását, beleértve a főbb szerkezeti elemeket is, amelyek gyártástechnológiájára már jól működő, költséghatékony módszerek állnak rendelkezésre. Néhány ilyen szemléletből született megoldásra mutat be példát a 7. ábra.

7. ábra. Hagyományos lámpatestek átalakítása LED-es fényforrásokra

Ezen világítótestek nagy előnye, hogy fényeloszlásuk csekély mértékben tér el a korábban alkalmazott, hasonló rendeltetésű lámpatestekétől, így azokkal a legtöbb esetben csereszabatosak. Egy adott világítási rendszer átalakítása LED-essé tehát kismértékű világítástechnikai tervezést igényel, és az átszerelés során általában felhasználhatók a korábbi lámpahelyek, tehát a világítótestek cseréjén kívül hálózati átalakításra általában nincs szükség.

7. Új bornak új tömlő kell

Annak felismerése, hogy egy új, a korábbiaktól merőben eltérő kialakítású és műszaki paraméterekkel rendelkező fényforrás alkalmazásához új ötletek szükségesek, még viszonylag könnyen megtörtént. Ahhoz azonban, hogy ennek következtében teljesen elszakadjunk a „hagyományos" világítási módoktól és eszközöktől, jelentős bátorságot igényelt mind a tervezőktől, mind a lámpatest (világítótest) gyártóktól, akiknek nemcsak az újdonság előnyeivel, hanem annak gazdasági következményeivel is számolniuk kell. Vannak azonban olyan gyártók, akik felvállalták, hogy a LED-hez, mint új fényforráshoz, egészen új

Mire és hogyan alkalmazhatjuk a LED-eket?

világítási megoldásokat alkotnak meg. Ennek jelenleg két úttörő módja kezd kialakulni.

Az első esetben a konstruktőrök a LED-et „csak" mint fényforrást tekintik, de olyan fényforrást, amelynek mérete és fényeloszlása eltér a „hagyományos" fényforrások paramétereitől. Ebből kiindulva arra helyezik a hangsúlyt, hogy olyan, egyedi kialakítású lámpatesteket tervezzenek, amelyek LED-ek alkalmazásával kielégítik az adott környezet világítástechnikai igényeit. Ezen szemlélet keretében alakultak ki azok a kisméretű lencsék (8. ábra) és tükrök, amelyek alkalmazásával tetszőleges fényeloszlású LED-es világítótestek alakíthatók ki egy-egy adott világítási cél megvalósítására. Erre mutat be példát a 9. ábra. Ezen világítótestek – bár már teljesen elszakadtak a hagyományos fényforrás-lámpatest-világítótest fogalomtól –, még őrzik azt a felfogást, hogy a világítást egy adott térben úgy kell megoldani, hogy a fény valahonnan, valamilyen fényeloszlással érkezik, tehát a világítótestek fényeloszlásának ismeretében azok elhelyezkedését kell megfelelő számításokkal meghatározni.

8. ábra. LED-ek fényeloszlásának módosítására kialakított lencsék

9. ábra. Új világítótestek hagyományos világítási megoldáshoz

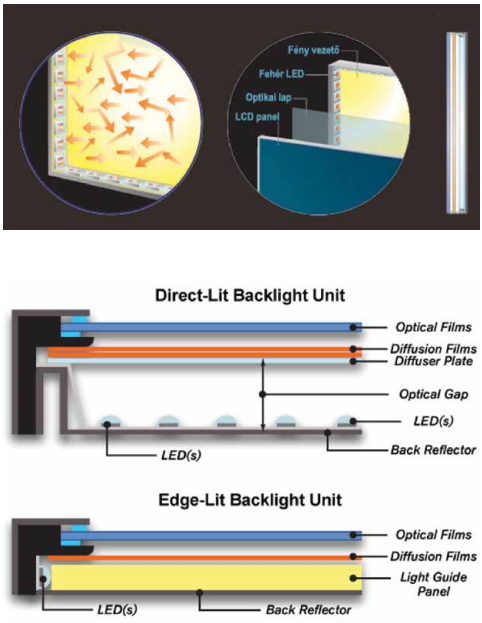
Vannak azonban olyan konstruktőrök is, akik nemcsak a fényforrás-lámpatest-világítótest fogalmaktól rugaszkodnak el, hanem újra értelmezik a mesterséges megvilágítás célját is. Eredeti felfogás szerint a mesterséges világításnak az a célja, hogy adott helyről a megfelelő helyekre a szabványok szerinti megvilágítást hozzunk létre, megfelelő fényeloszlású lámpatestekkel. Az újabb felfogás szerint a mesterséges világítás feladata az, hogy az adott térben, vagy annak egy részében olyan vizuális hatást hozzon létre, ami megfelel a tervező elvárásainak. Ez megfelelhet a szabvány szerinti követelményeknek is, de azoktól jelentősen eltérően új vizuális élményt is nyújthat. Ezen tervezők a LED-eket nem fényforrásként, hanem a fény forrásaként tekintik. Nem arra törekednek, hogy a fényt adott helyről adott helyre irányítsák, hanem arra, hogy a vizsgált térbe vagy térrészbe jutó fény a kellő hatást érje el. Ennek megvalósulási módjára két példát mutatunk be.

A 10. ábrán szereplő lámpatestnek nincs kitüntetett világítási célja. Arra azonban rendkívül jól megfelel, hogy egy adott szöveget kiemelten jelenítsen meg. A bemutatott eszköz LED-es világítással rendelkezik, de a LED-ek észre sem vehetők az eszközben. Az általuk kibocsátott fényt a megfelelően maratott műanyag lemez irányítja úgy, hogy az a figyelem felkeltésére alkalmas módon jelenjen meg.

10. ábra. LED-es tájékoztató tábla

Ez a felhasználási mód azonban nemcsak arra alkalmas, hogy figyelemfelkeltő eszközöket konstruáljunk, hanem arra is, hogy imitáljuk a természetes világítást. Hozzászok-

tunk ugyanis ahhoz, hogy nappali körülmények között a belső terekben a világítási viszonyok az ablakok (bevilágítók) méretétől és elhelyezkedésétől függően alakuljanak ki. Talán nem feltűnő számunkra, de érezzük, hogy természetidegen, amikor a mesterséges világítás bekapcsolásával a teremben a világítási viszonyok jelentősen megváltoznak. A LED-ek és megfelelő optikai eszközök alkalmazásával arra is lehetőségünk nyílik, hogy a mesterséges bevilágítók hatását imitáljuk. Erre mutat be példát a 11. ábra, amin egy élvilágító (Edge-LED) felépítését láthatjuk. Ennél a megoldásnál a LED „csak" a fény forrása, aminek eloszlásáról a speciális anyagokból egyedi rétegszerkezettel felépített nagy felületű hordozó gondoskodik. Ezt a megoldást alkalmazzák a LED-es televíziók esetében is, de a technikai megoldásnak köszönhetően felhasználhatók arra is, hogy az ablakok nappal a természetes fényt, éjjel pedig a mesterséges fényforrás fényét juttassák be a térbe úgy, mintha az a természetből származna.



11. ábra: Élvilágító (Edge-LED) felépítése

8. Összefoglalás

Látjuk tehát, hogy a LED valóban a jövő egyik meghatározó fényforrása lesz, amit az adott célnak megfelelően különböző módon tudunk alkalmazni. Vannak olyan szituációk, amikor a gazdasági előnyök érdekében műszaki megalkuvásokat kell tennünk. Vannak olyan esetek is, amikor semmilyen gazdasági előny sem indokolhatja, hogy szakmailag nem megfelelő eszközöket alkalmazzunk, de a jövő nagyon tágas a LED-ek előtt. Egyelőre csak néhány „korszakalkotóan" új megoldás ismert előttünk, de ezekből is nyilvánvalóvá válik, hogy ezen új fényforrás előtt még számos felhasználási lehetőség áll. Arra kell csak ügyelnünk, hogy ne ragadjunk le a hagyományos világítási szemlélet mellett, hanem legyünk nyitottak ezen új eszköz újszerű alkalmazási lehetőségei irányában is. Amennyiben a LED-eket csak megtakarítási forrásként kezeljük, akkor nem jutunk sokkal előbbre. Ha azonban készek vagyunk nyitni egy új világítási kultúra irányába is, akkor egyelőre ismeretlen lehetőségek tárháza nyílik meg előttünk.

Irodalomjegyzék

[1]. A Villanyszerelők Lapja 2013. novemberi és 2014. márciusi számaiban "Mire és hogyan alkalmazhatók a LED-ek?" címmel megjelent cikkek alapján.

Energiahatékony, intelligens folyosóvilágítás

– Kéri Renáta, Szabó Ferenc, Simon Péter, Schanda János
Kuti András, Bátai Roland, Balázs László –

A jelenlegi gazdasági környezetben fontos szerepet kap az energiahatékony világítás kérdése. A lehetőségek vizsgálatának érdekében a veszprémi Pannon Egyetemen egy intelligens, energiahatékony világítási rendszer került telepítésre, amelyen a dinamikus világítási beállítások vizuális tesztelése mellett, energiamegtakarítási lehetőségek vizsgálatára van lehetőség. A vizuális kísérletek 30 megfigyelő bevonásával zajlottak. Az előzetes kísérletek adatainak kiértékelése után a beállítások finomhangolása következett, és egy új tesztelési sorozat kezdődött. Kéziratunkban a vizuális kísérlet és energiafogyasztás mérés legfontosabb eredményei kerülnek bemutatásra.

1. Bevezetés

Az Európai Unió 2014-2020 közötti időszakra vonatkozó – Horizon 2020 éghajlat- és energiapolitikai-csomag – programjának szintén egyik fő célkitűzése az energiahatékonyság növelése, amelyet az üvegházhatású gázok 1990-es évre vonatkozó kibocsátási szintjének minimum 20%-os csökkentésével, valamint az Unió teljes energiafogyasztásának 20%-os csökkentésével kíván elérni. Ehhez természetesen hozzájárul az energiahatékony világítás is: becslések szerint az izzólámpás világításhoz képest 80%-os energiamegtakarítás érhető el LED-alapú, intelligens világítási rendszer alkalmazásával. Annak érdekében azonban, hogy a fogyasztók számára ideálisan megvilágított környezetet biztosítsunk, új energiahatékony fényforrások és rendszerek fejlesztésére van szükség. A jelenlegi kutatás mottója is ezt tükrözi: „csak ott és akkor világítsunk, ahol, és amikor szükséges". A feladat azonban összetett, ugyanis nem egyszerű olyan valós mérési adatokat találni, amelyekből információt szerezhetünk a ténylegesen megtakarított energia mennyiségéről, valamint a felhasználók világítási minőségről alkotott véleménye is ritkán mérhető statisztikailag megalapozottan.

2. Irodalmi áttekintés

Az európai EN 12464-1 számú szabvány [1] a hagyományos, statikus beltéri világításra ad követelményeket, az intelligens rendszerekkel még nem foglalkozik. Eszerint a forgalmasabb területek és folyosók padlózatán 100 lux megvilágítási szintet kell biztosítani, ahol az UGR_L káprázásra vonatkozó érték maximum 28, az U_o egyenletességi érték pedig 0,40, és a fényforrás színvisszaadási indexe (R_a) minimum 80 kell, hogy legyen.

Az intelligens, energiahatékony világítási rendszerek jelentősége a 2000-es évektől kezdett növekedni, egyre több publikáció született ebben a témában.

Logadóttir [2] már három különböző dinamikus világítási koncepciót hasonlított össze a hagyományos, statikus rendszerrel, és vizsgálta, hogy a megfigyelők melyik beállítást kedvelik leginkább irodai környezetben. Az elsőt megvilágításvezérlő rendszerrel, a másodikat színhőmérséklet-vezérlővel, a harmadikat pedig automatikus CCT-vezérlővel látták el, és négy periódusban vizsgálták a négy beállítást. A 88 megfigyelő véleménye alapján a legmegfelelőbb beállításnak a színhőmérséklet-vezérlővel ellátott rendszer bizonyult, ezt követte a megvilágításvezérlővel ellátott rendszer. A megfigyelők kevésbé preferálták az automatikus CCT-vezérlővel ellátott rendszert, valamint a hagyományos, statikus megvilágítást.

Mochizuki [3] [4], az intelligens rendszer megfigyelőkre gyakorolt hatása mellett már a 40 W-os fénycsővel ellátott rendszer energiamegtakarítási lehetőségeit is vizsgálta irodai környezetben. Az ő eredményei

azt mutatták, hogy a rendszer energiafelhasználása átlagosan 44%-kal csökkent a hagyományos rendszer energiafelhasználásához képest.

1. ábra. Pannon Egyetem – vizsgálat helyszíne

3. Kísérleti beállítások

A kísérletekhez használt mozgásérzékelőkkel ellátott rendszert a Pannon Egyetemen, két párhuzamos folyosón valósítottuk meg, ezáltal lehetővé vált, hogy egyidőben mérhessük a dinamikus és a statikus rendszer energiafogyasztását. Mindkét folyosón 15 darab 48 W teljesítményű fénycsővel ellátott lámpatest került elhelyezésre. A telepítést követően a megvilágítás egyenletességére vonatkozóan végeztünk méréseket, majd számításokat hosszirányban és keresztirányban egyaránt. Mindkét érték (hosszirányban U_o=0,97; keresztirányban U_o=0,91) jóval a szabványban meghatározott követelményszint (U_o=0,4) felett adódott.

4. Beállítások

Mivel a rendelkezésre álló intelligens rendszer magában hordozta a lehetőséget, hogy olyan dinamikus világítási beállításokat alkalmazzunk, ahol a vizuális komfortérzetet befolyásoló tényezők (pl. megvilágítási szint, bevilágított úthossz, villódzás) mellett az energiafogyasztás is meghatározó komponens, így mindkét irányban elkezdtük a vizsgálatot. Már a telepítést követően nyilvánvalóvá vált, hogy az említett két tényező közül a megfelelő vizuális érzet biztosítása a fontosabb, mivel úgy találtuk, a megtakarítás főként akkor érhető el, amikor a folyosó használaton kívül van és a lámpatestek alapszinten világítanak, vagy kikapcsolt állapotban vannak. A tesztelést nyolc beállítással kezdtük, amelyeket a megfigyelők véleményei alapján tovább fejlesztettünk, finomhangoltunk.

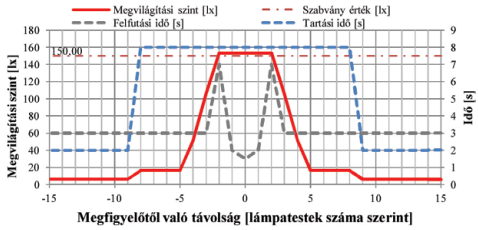
1. táblázat. Mintabeállítás

Séma #12			
Lámpatest ID	Szint [%]	Felfutás [s]	Tartás [s]
0	28	3	2
1	28	3	2
2	28	3	2
3	28	3	2
4	28	3	2
5	28	3	2
6	28	3	2
7	53	3	2
8	53	3	2
9	53	3	2
10	53	3	2
11	70	3	2
12	77	3	2
13	82	7	2
14	82	2	6
15	82	1,5	6

Az 1. táblázatban egy példa látható a világítási beállítások közül, amelyből megismerhetjük a rendszer viselkedését mozgásérzékelést követően. A mintabeállításból az látható, hogy belépéskor a folyosót használó feletti, valamint további kettő lámpatest aktiválódik (legmagasabb gerjesztési szint – 15, 14, 13-as számú lámpatest) és eléri az előre beállított 150 lux megvilágítási szintet (82-es DAC érték esetén a lámpa alatt a padlón 150 lux megvilágítás mérhető). A felhasználótól távolodva – a harmadik lámpatesttől a nyolcadikig – a megvilágítás fokozatosan csök-

ken (DAC érték 53 = 15 lux), míg a kilencedik lámpatesttől a megvilágítási szint csupán 6 lux (DAC érték 28).

Rendszerünkben a felfutási idő azt jelenti, hogy adott lámpatest milyen gyorsan éri el a megadott megvilágítási szintet; a tartási idő pedig azt jelöli, hogy elhaladást követően a lámpatest mennyi ideig világít a beállított értéken, mielőtt alacsonyabb szintre, végül alaphelyzetre visszaáll. Ennek folyamatát mutatja a 2. ábra.



2. ábra. A megvilágítási szint, felfutási idő és tartási idő alakulása belépést követően

A vízszintes tengely pozitív értékei mutatják a megfigyelő előtt lévő lámpatestek számát, a 0 érték jelöli a megfigyelő helyzetét, ahol éppen tartózkodik.

5. Tesztelési folyamat

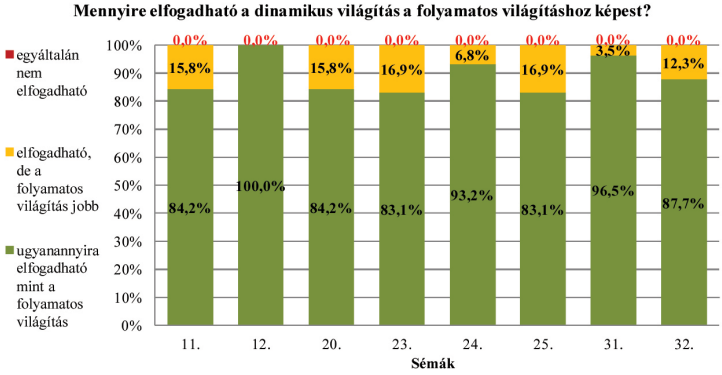
Ahogy a bevezetőben már említettük, a tesztelést 30 megfigyelő részvételével végeztük. Elsőként arra kértük őket, hogy a szabványos, statikus megvilágítás alatt sétáljanak végig a folyosón, majd ugyanez volt a feladatuk a dinamikus beállítások megfigyelésekor. Erre azért volt szükség, hogy összehasonlítási alapot kapjanak az intelligens beállítások véleményezéséhez, ugyanis a fő kérdés a dinamikus rendszer elfogadhatóságára, valamint a folyosó láthatóságának megfelelőségére vonatkozott, mindezt összehasonlítva a szabványos, folyamatos megvilágítással. A dinamikus beállítások fő paramétereinek módosításaival pedig azt vizsgáltuk, hogy melyek azok a beállítások, amiket a megfigyelők zavarónak érzékelnek, valamint melyek azok, amik már kellemes közérzetet váltanak ki a felhasználókból.

6. Eredmények

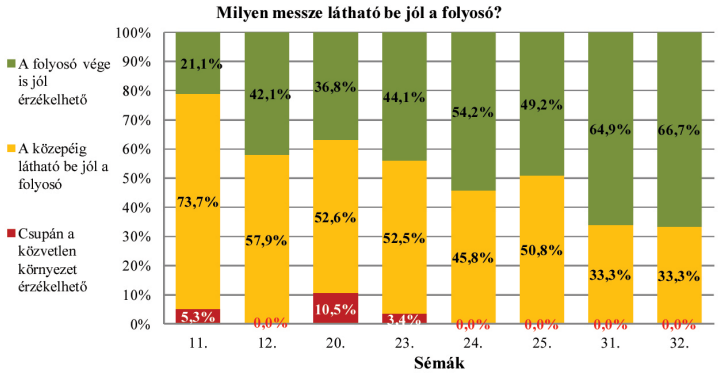
6.1. Vizuális kísérletek

Az előzetes kísérlet során 9 beállítást teszteltünk, amelyek eredményeit a validáció során vizsgált sémák fejlesztésénél felhasználtunk, azonban a terjedelmi korlátok miatt most csupán a validációs fázisra vonatkozó eredményeket mutatjuk be.

A validáció fázisában három különböző beállítást definiáltunk kiindulásként (Séma#11, #12 és #20), amelyeket 10 meg-



3. ábra. A dinamikus beállításokra vonatkozó eredmény



4. ábra. A dinamikus beállításokra vonatkozó eredmény

figyelő véleménye alapján fejlesztettünk tovább. A következő diagramokon a főbb kérdésekre vonatkozó eredményeket láthatjuk. Ezekből tökéletesen megfigyelhető, hogy a beállítások javításával, hogy alakult az intelligens rendszer megítélése.

A 3. ábrán az egyes dinamikus beállítások elfogadhatóságára vonatkozó eredményeket láthatjuk. Ahogy az előbb már említettük, az első három sémát csupán 10 alany látta, így a Séma #12-nél látható 100%-os elfogadhatóság a következtetés levonására – miszerint ez az a beállítás, amit finomítanunk kell – volt elegendő. A módosítások során fokozatosan növeltük a tartási időket (2 másodpercről 8-ra, majd 12 másodpercre), valamint növeltük a lámpatestek számát, amelyek fényárama mozgás következtében, a felhasználó előtt alapszintről az előre megadott értékekre növekedett. A Séma #31 esetében már az összes lámpatest fényárama olyan értékre nő, amely legalább 15 lux megvilágítási szintet eredményez, ezáltal a folyosó beláthatósága javul, ami a megfigyelők komfortérzetének növekedését eredményezi. Ezt igazolja a közel 100%-os elfogadhatósági szint.

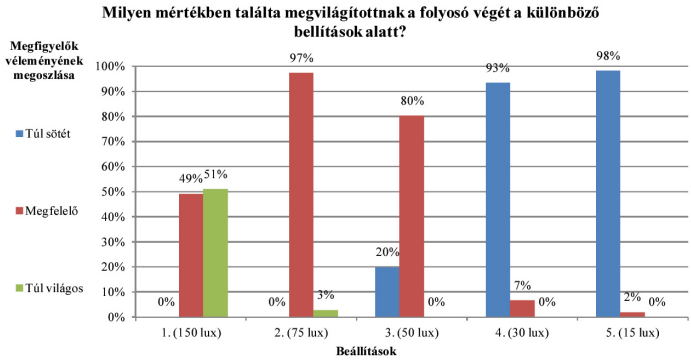
Az ábrából tökéletesen látszik, hogy a dinamikus beállítások mindegyikét elfogadhatónak értékelték megfigyelőink, de leginkább – 30 megfigyelő véleménye alapján – a Séma #31 bizonyult a legmegfelelőbbnek. Ez az a beállítás, ahol a belépést követően aktiválandó lámpatestek száma mellett a tartási időket is növeltük, ami még finomabb átmenetet eredményezett, ezzel is növelve a vizuális komfortérzetet.

A 4. ábra mutatja, hogyan javult a folyosó beláthatósága a beállítások javításával. A kevésbé preferált beállítások esetén még csak öt (Séma #11, #23), illetve nyolc lámpatest (Séma #12, #20, #24, #25) aktiválódik belépést követően a megfigyelő előtt, míg a vélemények alapján legalkalmasabb sémáknál (Séma #31, #32) már az összes lámpatest alatti megvilágítás minimum 15 lux értékre nőtt, a 6 lux alap megvilágítási szintről, javítva ezáltal a megfigyelők biztonságérzetét.

6.2. A folyosó végi megvilágítási szint vizsgálata

Már a kísérleti fázis kezdeti szakaszában azt a visszacsatolást kaptuk megfigyelőink részéről, hogy a folyosó végi világítás nagymértékben hozzájárul komfort- és biztonságérzetük javításához, ugyanis ha a folyosó vége sötét, a felhasználó nem látja hova tart, ami a komfortérzet csökkenését eredményezi.

Ennek okán vizsgálni kezdtük, mekkora az a megvilágítási szint a folyosó két végén, ami a megfigyelők szerint elegendő a folyosó végek érzékeléséhez, valamint biztonságérzetük kialakításához. Ennek vizsgálatához a rendszer intelligenciáját kikapcsoltuk, és



5. ábra. Folyosó végi megvilágítási szintek – eredmény

egy rögzített felhasználói pozícióhoz képesti állapotát állandósítottuk. A kísérleti személy ilyenkor a jól meghatározott pozícióban állt, és a folyosó végi megvilágítási szintek megfigyelése volt a feladata. Ennek eredményét mutatja az 5. ábra.

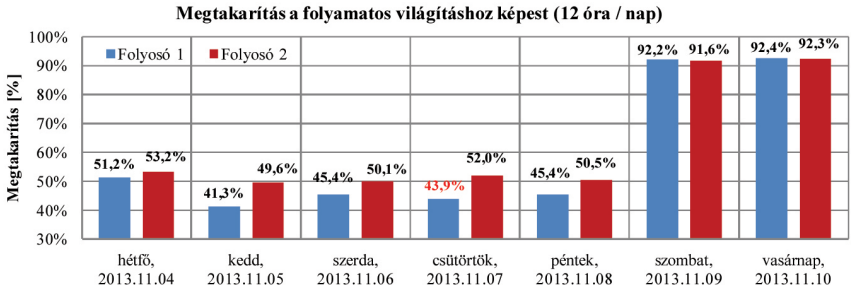
Látható, hogy a megfigyelők véleménye alapján a legmegfelelőbb beállításnak a 2. bizonyult, ami a 75 lux megvilágítási szintet jelenti. Több mint 50%-uk úgy érzékelte, hogy az első beállítás (150 lux) túl világos és a falról visszaverődő fény káprázatóan hat. A megfigyelők 80%-a még elfogadhatónak értékelte a harmadik – 50 lux - beállítást, míg 20%-uk szerint ez az érték már túl kevés. A negyedik (30 lux) és ötödik (15 lux) folyosó végi megvilágítási szint pedig egyértelműen – a megfigyelők több mint 90%-a szerint – túl kevés, és a folyosó végek érzékelhetősége nem megfelelő a két beállítás alatt.

6.3. Energiafogyasztás-mérés: beállítások, tesztek és eredmények

A Pannon Egyetemen kiépített intelligens rendszer lehetővé tette számunkra, hogy vizsgálhassuk, általa mennyi energiát tudunk megtakarítani a szabványos, megvilágításra méretezett statikus rendszerhez képest. Ennek érdekében fogyasztásmérő berendezést telepítettünk, amivel különböző módokon és időtartományokban vizsgáltuk a megtakarítást.

6.3.1. Egyhetes periódus

A megfigyelés során mindkét folyosón ugyanazt a dinamikus beállítást telepítettük, és egyhetes időintervallumban figyeltük az energiafogyasztást. A 6. ábrán a megfigyelők által legkedveltebb sémára (#31) vonatkozó energiamegtakarítási adatok láthatóak, a szabványos rendszeren mért adathoz viszonyítva,



6. ábra. A legkedveltebb beállítás energiamegtakarítási adatai

a napok legaktívabb periódusát tekintve (reggel 6 órától koraeste 18 óráig tartó időszak). Ez az a beállítás, ahol belépést követően az összes lámpatest aktiválódik, valamint a tartási idők is viszonylag hosszúak (12 másodperc).

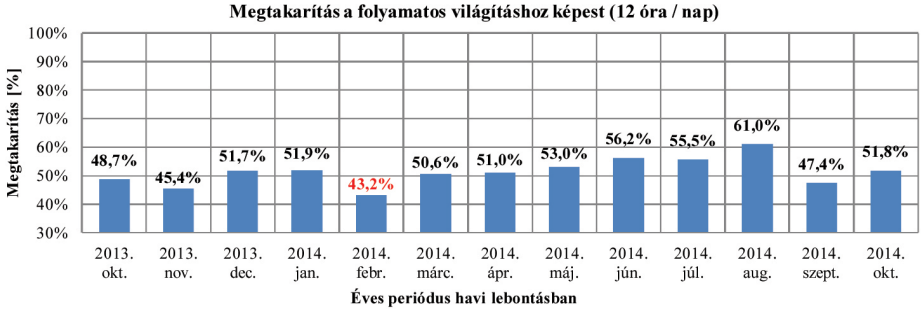
Látható, hogy szabadnapokon a statikus rendszerhez képest több mint 90%-os megtakarítást értünk el a dinamikus beállítással, valamint a megfigyelési időszak legaktívabb napján (2013. 11. 05 – kedd) és legaktívabb időszakában (6-18 óra) is több mint 40%-os megtakarítást figyelhetünk meg azon a folyosón, amely forgalmasabbnak bizonyult az említett időszakban.

6.3.2. Éves periódus

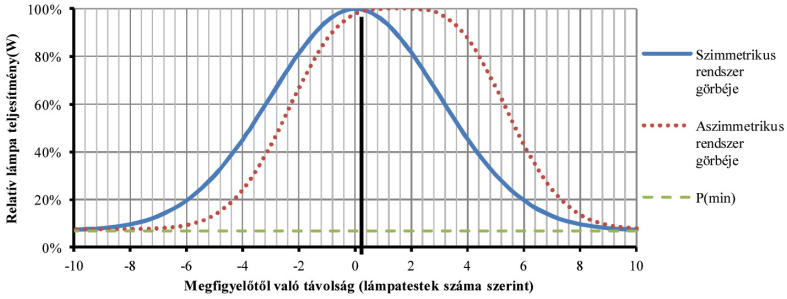
A vizuális tesztek kiértékelése után, a megfigyelők által legkedveltebb dinamikus sémát (#31) állítottuk be véglegesnek, melyet – ugyancsak a megfigyelők véleménye alapján – a legmegfelelőbb folyosó végi megvilágítási szinttel láttuk el (75 lux). Ezen rendszer energiafogyasztását mértük egy éves intervallumban, és hasonlítottuk össze az MSZ EN 12464 szabványt kielégítő rendszer fogyasztási adatához, amely a korábbi mérés alapján már rendelkezésre állt.

A 7. ábrán tökéletesen látszik, amelyek voltak a megfigyelt időszak (2013. október – 2014. október) aktívabb és kevésbé aktívabb időszakai. Látható, hogy 2014 első felében február hónap volt a legaktívabb. Ez azzal magyarázható, hogy az egyetemen ekkor kezdődik az új szemeszter, ekkor még nagyobb lelkesedéssel járnak be a diákok a kurzusaikra, és a fogyasztási adatok szerint ez a lelkesedés a félév végéhez közeledve egyre fogy. Február hónapban az átlagosan megtakarított energia mennyisége a folyamatos megvilágításhoz képest 43%, míg márciustól ez a szint fokozatosan emelkedik. A nyári szünet hónapjaiban a megtakarítás 55-56%, augusztus hónapban eléri a 61%-t is, de az új szemeszter indulásával ismét 47% a megtakarított energia mennyisége, a folyamatos megvilágításhoz képest.

Tekintve az energiafogyasztásra vonatkozó eredményeket, levonható a következtetés, miszerint a telepített intelligens rendszer az energiamegtakarítási célkitűzésnek megfelelt. Ahogy láthattuk, dinamikus rendszerünk a folyamatos világításhoz képest még a legaktívabb időszakokat tekintve is elérte a 40%-os energiamegtakarítási értéket. Normál igénybevétel esetén ez a megtakarítás 50%. Ezekben az eredményekben azonban az a legpozitívabb, hogy mindezt úgy értük el, hogy a vizuális kísérletek során tapasztalt vélemények alapján elsődleges célunk a felhasználók vizuális komfort- és biztonságérzetének biztosítása volt. Ezen célok elérése érdekében történt a különböző beállítások módosítása is.



7. ábra. Éves energiamegtakarítási adatok – havi lebontásban



8. ábra. A jelenlegi (szimmetrikus) és a változtatás utáni (aszimmetrikus) rendszer görbéje

7. További rendszerfejlesztési lehetőségek

Az előző fejezetekben láthattuk, hogy a vizuális kísérletek mellett a rendszer energiamegtakarítási lehetőségeit vizsgáltuk. A vizuális tesztek során összegyűjtött vélemények alapján azonban egyértelműen látszik, hogy megfigyelőink hiányosságokat érzékeltek a rendszer működésével kapcsolatban. A következtetéseket levonva, intelligens rendszerünk tökéletesebb lehetne, ha a mozgásérzékelők helyett jelenlétérzékelők lennének telepítve, ezáltal a folyosón közlekedők megállhatnának olvasni, illetve beszélgetni anélkül, hogy a világítás alaphelyzetbe visszaállna, elkerülve az ebből következő megvilágításingadozás zavaró hatását.

Jelenlegi rendszerünk három paraméter változtatását teszi lehetővé: a felfutási időt, a megvilágítási szintet, illetve a tartási időt. Ez azonban fix, szimmetrikus rendszert eredményez. Rugalmasabbá lehetne tenni, ha a három tényező mellett a görbe meredekségét is változtatni lehetne. A változtatásokkal az új modell lehetővé tenné, hogy a világítási szint fokozatosan emelkedjen, a jelenleginél is finomabb átmenetekkel. Mindezt úgy, hogy ha a lámpák teljesítménye eléri a maximum teljesítmény 85%-át, a felfutási görbe meredeksége laposabbá válna, így az átmenetek kevésbé észrevehetőek lennének, ami a folyosót használók vizuális komfort- és biztonságérzetét – feltételezhetően – még tovább növelné. Ezen kívül a paraméterek külön állíthatósága lehetővé tenné, hogy a rendszer aszimmetrikussá váljon (8. ábra). Ez a funkció azért lenne hasznos, mert az esetek többségében nem szükséges, hogy a felhasználó mögötti területet ugyanakkora távolságban világítsuk, mint a megfigyelő előtti területet. Ezzel még több energia megtakaríthatóvá válna a jelenlegi szimmetrikus rendszerhez képest.

Előző javaslataink mellett további fejlesztési lehetőséget jelentene, ha a mesterséges fény mellett az ablakokon beszűrődő természetes fény is hozzájárulna a folyosó beláthatóságához. Ebben az esetben a folyosón elhelyezett fényérzékelő szenzorok által lehetővé válna, hogy a kívülről beszűrődő fény mennyiségét mérve, a mesterséges világítás ehhez alkalmazkodjon. Ezáltal még több energia megtakaríthatóvá válna és a folyosót használók komfortérzete is javulna.

8. Összefoglaló

Vizuális kísérletek:

- A folyosó végi megvilágítás növeli a komfortérzetet, ennek hiányában félelem- és bizonytalanságérzet jelentkezik.
- A folyosó végi megvilágítási szint 75 lux és 55 lux között elfogadható.
- A megfigyelő feletti lámpatest fényáramának felfutási ideje fontos szerepet játszik. Értékének legalább 1,5 másodpercnek kell lennie. Ha ennél rövidebb, úgy zavaró villogásos hatás figyelhető meg, ami a komfortérzetet csökkenti.
- A felhasználótól távolodva a megvilágí-

tási szint kevesebb vagy megegyező legyen, ugyanis a nagyobb megvilágítási szint zavaró hatást kelt a megfigyelőben.

Energiafogyasztás:

- Az intelligens világítási rendszer dinamikus természete miatt kevesebb energiát fogyaszt a folyamatos megvilágításhoz képest. A megtakarítás a lámpatestek alapszintre való visszaállásával érhető el, amikor a folyosó nincs használatban.
- A különböző dinamikus beállítások energiafogyasztása között nem mutatkozik szignifikáns különbség, valamint a felfutási- és tartási idők csökkentése a megfigyelők komfortérzetének romlását okozza. Mivel elsődlegesen a felhasználók komfort- és biztonságérzetének biztosítása a cél, az időparaméterek túlzott csökkentése kerülendő.
- A hosszú távú energiafogyasztás adatai szerint a legrosszabb esetben is minimum 40%-os megtakarítás érhető el, és több mint 50% az egyetemi folyosó normál igénybevétele esetén.

Irodalomjegyzék

[1]. European Standards 2011 Light and lighting – Lighting of workplaces – Part 1: Indoor workplaces. EN 12464-1:2011.

[2]. Logadóttir A., Iversen A., Markvart J., Corell, D. D., Thorseth, A., Dam-Hansen, C. Comparison of User Satisfaction With Four Different Lighting Concepts, CIE x038:2013. pp. 159-168.

[3]. Mochizuki E., Oikawa, D., Kim J., Tashiro H, Iida K. Effects on Energy Savings of Personal Lighting Control System in an Office Building in Japan Part 1 outline of the measurement and effects on lowering electrical power consumption for lighting, CIE x038:2013. pp. 872-879.

[4]. Mochizuki E., Oikawa, D., Kim J., Tashiro H, Iida K. Effects on Energy Savings of Personal Lighting Control System in an Office Building in Japan Part 2: Evaluation of Lighting Environment and Occupants' Response to Personal Lighting Control System CIE x038:2013. pp. 880-888.

ÉRTÜNK HOZZÁ!

TRACON ELECTRIC®

LED FÉNYFORRÁSOK NAGY VÁLASZTÉKBAN

www.tracon.hu

Élő közvilágítási laboratórium Csillebércen – az energiatermelő adaptív közvilágítási rendszerek kutatására

– Kuti András –

A Központi Fizikai Kutatóintézet csillebérci telephelyén kialakított élő laboratórium olyan integrált közvilágítási, energetikai és informatikai rendszer, amely lehetőséget biztosít az intelligens közvilágítási rendszerek optimalizálására. A kutatás fő kérdései közé tartozik a rendszer elemeinek kiválasztása, a köztük lévő kapcsolatok kialakítása és a hasznosíthatóság lehetőségei. Jelen írás bemutatja a rendszer legfontosabb tulajdonságait és felveti azokat a kérdéseket, amelyekre választ a hosszú távú üzemeltetés tapasztalataiból kaphatunk.

1. Bevezetés

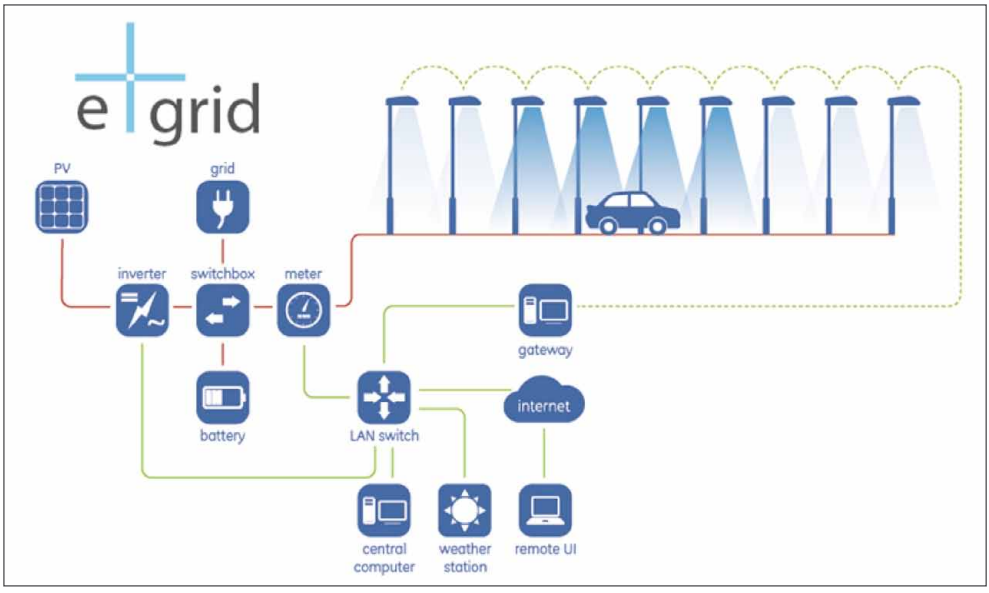
A közvilágítási rendszerek villamosenergia-ellátása jelentős költségeket ró az üzemeltetőkre, míg a szolgáltatás kimaradása közlekedés- és közbiztonsági kockázatot rejt magában.

A környezetükre dinamikusan reflektálni képes közvilágítási rendszerek összes energiaigénye kisebb, mint ami a közvilágítási naptár szerint meghatározott időszakban folyamatosan üzemelő, konstans fényáramú rendszerek esetében mérhető. Az ideális adaptív világítási rendszer minimális teljesítményfelvétel mellett is kiválóan ellátja feladatát, ha akkor, és csak akkor világítja meg környezetét, amikor arra szükség van.

A kísérleti rendszer négy fő részre bontható: A mozgásérzékelőkkel és kommunikációs egységgel felszerelt LED-lámpatestekre, a napenergiát hasznosító energetikai rendszerre, a központi számítógépre és az időjárás-állomásra. A komponenseket és a köztük lévő kapcsolatokat az 1. ábra mutatja be [1].

2. Az adaptív világítási rendszer

A kísérleti rendszerben használt világítótestek fényárama az észlelt jármű- és gyalogosforgalom, valamint a helyi időjárás függvényében dinamikusan változik. A kísérleti lámpatestekbe integrált passzív infravörös mozgásérzékelők segítségével az úton haladók sebessége, valamint haladási iránya is meghatározható.

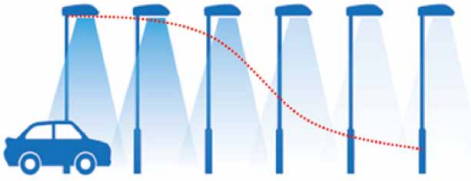


1. ábra. A kísérleti rendszer felépítése

Az érzékelt állapot szerint a lámpatestben elhelyezett vezérlőegység azonosítja és kategorizálja a forgalmi helyzetet, majd a világítótest fényáramát az érzékelt mozgásnak megfelelően állítja be. Az egyes lámpatestek vezeték nélküli kommunikációs hálózaton közvetlen kapcsolatban állnak egymással annak érdekében, hogy az általuk detektált eseményekről értesíthessék a rendszer többi elemét.

2. ábra. A lámpatestbe integrált mozgásérzékelők [alul] és kommunikációs antenna [felül]

A detektált mozgás hatására így nem csak az azt észlelő világítótest fényárama változik meg, hanem a soron következő lámpatestek is egyedi értékeket vehetnek fel. Egy lehetséges beállítás szerint jármű észlelésekor további 10 világítótest fényárama növekszik névleges értékre, míg gyalogosnak 4 oszloptávolságra világíthatunk előre. A detektált mozgás hatására az útszakaszon kialakuló megvilágításeloszlás (világítási kép) a mozgás során követi az úthasználót, így előrehaladása során újabb lámpatestek fényárama emelkedik meg, míg a jármű mögött a megvilágítás idővel csökken.



3. ábra. Egy lehetséges térbeli megvilágításeloszlás

A megfelelő világítási képek kialakításához a rendszer minden elemének ismernie kell, hogy mely elemeket kell riasztania mozgás érzékelése esetén. A szomszédsági viszonyt leíró mátrix automatikusan alakul ki a világítótestek földrajzi elhelyezkedése szerint, amelyet a bennük elhelyezett GPS-vevő alapján határoz meg minden eszköz. Természetesen elképzelhető, hogy két egymáshoz közeli lámpatest más-más útszakaszt világít meg – vagyis topológiai értelemben nem egymás szomszédjai – de a szomszédsági mátrix a rendszer használata során folyamatosan pontosítható. A pontosítást a berendezésben implementált gépi tanulási algoritmusok valósítják meg.

A fent leírtaknak megfelelően a dinamikusan változó világítás kialakításához – és új világítótestek rendszerbe illesztéséhez – nincs szükség központi vezérlőegységre, a fényáram-szabályozás a világítótestekbe integrált elosztott intelligencia révén valósul meg.

A mozgásra reflektáló világítási rendszer segítségével jelentős energia megtakarítás érhető el, főként azokon a helyeken, ahol kis forgalomsűrűség várható az éjszakák során, vagy a forgalom csak bizonyos időszakokban jelentős – például ipari parkokban, vagy lakóövezetekben.

3. Az energetikai rendszer

A világítótesteket a napenergiát hasznosító energetikai rendszer látja el villamos energiával. A különféle technológiájú napelemek, inverterek, töltésvezérlők, akkumulátorok és mérőeszközök alkotta berendezés nappal eltárolja az éjszakai világításhoz szükséges energia egy részét, amelyet szükség esetén a hálózatról vételezett energiával egészít ki.

4. ábra. Az energetikai rendszer madártávlatból

Az architektúra egyes elemeinek mérete a világítási rendszer energiaigényének és az éghajlatra jellemző időjárásnak megfelelően úgy alakult ki, hogy a teljes kísérleti rendszer éves szinten több energiát termeljen, mint amennyit saját működése során elfogyaszt – így energiamérlege pozitív legyen. A három különböző technológiát felvonultató akkumulátorcsomag mérete háromórányi feszültség kimaradást képes áthidalni abban az esetben is, ha a világítótestek mindegyike folyamatosan a névleges teljesítményén üzemel.

Az okos mérők által mért energiafolyamot központi számítógép figyeli, és dönt az energia-kereskedelmi kérdésekről. Az ilyen kérdések közé tartozik, hogy mikor érdemes eladni és vételezni villamos energiát a hálózatról, illetve mikor kell tölteni, vagy épp kisütni az akkumulátorokat. Az energia kereskedelem megvalósítása a kísérleti rendszerben azt a célt szolgálja, hogy a teljes energiafogyasztás minimumon tartása mellett a profit is a lehető legmagasabb legyen az elemi döntéseknek köszönhetően. Az energia kereskedelmi modell képes kezelni a különböző országokban alkalmazott tarifarendszert, így adaptálható a sávos – azaz a nap során változó – tarifarendszert alkalmazó gazdasági környezetbe is.

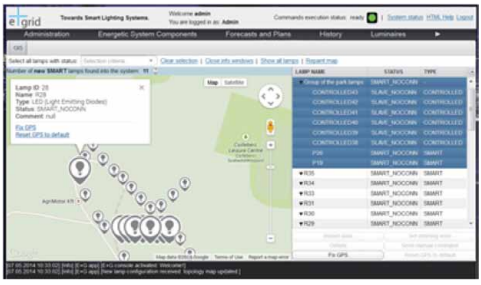
4. Központi számítógép

A rendszer szerves részét képző központi számítógép a berendezésen mérhető paraméterek gyűjtésén és az energiafolyam optimalizálásán túl számos funkciót is megvalósít. Segítségével valós időben kérdezhető le a kialakítás egyes elemeinek minden paramétere.

Az adatok mindegyike megjeleníthető a grafikus felhasználói felületen bármely, internetelérésssel rendelkező számítógépen. A rendszer elemei beágyazott térképen jelennek meg, és a jogosultsági szabályoknak megfelelően a felhasználó áttekintheti állapotukat, vagy akár be is avatkozhat működésükbe szükség esetén. A bemutatott grafikus felhasználói felület lehetőséget biztosít a világítótestekben futó vezérlő kód frissítésére, illetve az egyes vezérlőegységeknek közvetlenül is elküldhető a beállítani kívánt fényáramérték.

A távoli programozás lehetőséget biztosít az adaptív közvilágítás további kutatására, hiszen a bemutatott funkciók segítségével korlátlan számú vezérlési elv hatása vizsgálható mind az úthasználók szempontjából, mind az üzemeltetési költségek alakulása szerint.

A már bemutatott energiamenedzsment számítási igényét a központi számítógép biztosítja. A kalkuláció figyelembe veszi az energiaárak alakulását a következő 24 órára vonatkozóan, a kísérleti rendszerben használt akkumulátorok töltöttségi állapotát, és az időjárás-előrejelzéseket. A legfőbb kihívást a rövid távú energiatermelés előrebecslése jelenti: Ezt a rendszer üzemelése során gyűjtött historikus adatokra támaszkodva idősorelemzéssel, valamint a berendezéshez csatlakoztatott időjárás-állomás által szolgáltatott adatok alapján határozza meg a központi számítógép.



5. ábra. A központi számítógép grafikus felhasználói felülete

5. Az időjárás-állomás

A napelemek által termelt energiamennyiség predikciója érdekében a rendszer egyedi fejlesztésű időjárás állomást használ, amely a környezeti paraméterek mérésén túl információt szolgáltat a fotovoltaikus eszközök állapotáról, azok főbb paramétereiről.

A napelemek hatásfokát többek között üzemi hőmérsékletük határozza meg, így a környezeti hőmérséklet mérésén túl a napelemtáblákon közvetlen mérést is szükséges végezni. A teljes besugárzáson túl a diffúz természetes fény, a légnyomás, a páratartalom, valamint a szélsebesség is mérhető az állomás segítségével – amelyek mindegyike hatással van az üzemi hőmérséklet alakulására. Az időjárás-állomás a környezeti paraméterek mérését nem számítva 15 napelem üzemi adatait – hőmérséklet, feszültség, áram – képes szolgáltatni, így a kialakításban alkalmazott mindhárom technológiájú eszközből 5-5 darab egyszerre vizsgálható.

A kísérleti közvilágítási rendszer ki- és bekapcsolásáért a központi számítógép által tárolt közvilágítási naptár felel, de az időjárás-állomás részét képző alkonykapcsoló segítségével akkor is indítható az állapotváltozás, ha a kapcsolási időpontban a központi egység nem érhető el.

6. További célok

A rendszer hosszabb távú üzemeltetése lehetőséget biztosít az adaptív közvilágítási rendszerek kutatására, infrastruktúrát biztosítva a kísérletek elvégzésére. Az egyes világítási jelenetek valós, utcai körülmények között próbálhatók ki az ipari park jellegű kutató központ területén, anélkül, hogy a kísérleti rendszer a közlekedésbiztonságot veszélyeztetné. A projekt fenntartási időszakában folyamatos mérés zajlik a berendezésen, így elősegítve a további fejlesztéseket.

7. Összefoglalás

A GE Lighting által vezetett konzorcium több éves kutató és fejlesztő munkával olyan közvilágítási élő laboratóriumot hozott létre a KFKI csillebérci telephelyén, amely alkalmas a környezetére dinamikusan reflektáló közvilágítási rendszerek kutatására. A rendszer elosztott intelligenciája révén önálló működésre képes, de fejlesztési és adatgyűjtési okokból központi számítógépet is magába foglal. A berendezés energiaellátásáról napenergiát hasznosító kiserőmű gondoskodik, amely éves szinten több energiát termel, mint amennyi a rendszer működéséhez szükséges lenne. Az energiafolyam-optimalizációt és az üzleti modell kutatására alkalmas számítási környezetet a Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet, míg az időjárás-állomást az MTA TTK Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete fejlesztette. Az energetikai rendszer kialakításáért a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosenergetika Tanszéke felelt, a vezérlőegységeket, érzékelőket és kommunikációs antennákat tartalmazó kísérleti lámpatesteket a GE Lighting fejlesztette.

Köszönetnyilvánítás

A KMR-12-1-2012-0031 szerződésszámú projekt a Magyar Kormány támogatásával, a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség kezelésében, a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap finanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

[1]. R. Bátai, L. Balázs, T. Révész, G. Pedone, A. Kovács, L. Prikler: „E+GRID: Energy-positive adaptive street lighting" Light Source ´14 Conference poster

Az intelligens közvilágítás térnyerése

– Bakos Tibor –

Az intelligens közvilágítási menedzsment-rendszerekkel az üzemeltetők és az önkormányzatok folyamatosan áttekinthetik a település közvilágításának aktuális állapotát, működési jellemzőit, valamint a meghibásodásokat. A fejlett SCADA-szolgáltatásokkal és diagnosztikai elemzésekkel a hibák azonnal feltárásra kerülnek, pontosan megadva, hogy mikor melyik üzemeltetőnek kell a javítást elvégeznie. Így a javítások tervezése, logisztikai szervezése már a hibák fellépésekor megkezdődhet, ezáltal gyorsabb kijavítást tesz lehetővé. Az intelligens telemenedzsment-rendszerek teljes körűen vezérlik és felügyelik a település világítótesteit, illetve a közvilágítási hálózatait, aminek eredményeként megtakarítások és többletszolgáltatások érhetők el. Az intelligens rendszerek alkalmazásával a közvilágítási fogyasztásmérők távleolvasása és az energiafogyasztás folyamatos felügyelete is megoldódik.

1. Milyen a közvilágítás jelenlegi állapota?

Az intelligens elektronikai eszközök terjedésével ma már természetesnek tűnik, hogy az embereket körülvevő eszközök amellett, hogy energiahatékonyak, és energiatakarékosak, az igényeikhez mégis mindenben maximálisan alkalmazkodnak. Ettől a szinttől a közvilágítási rendszerek ma még jelentősen elmaradnak. Bár a rekonstrukciók során szinte kizárólagosan korszerű LED-technológiás világítótestek kerülnek telepítésre. Ezeket a világítótesteket installációjuk során ritkán készítik fel intelligens rendszerekkel történő integrációs lehetőségre!

Amíg a fejlett irányítástechnikának köszönhetően Magyarország teljes villamosenergia-ipari közép-, és nagyfeszültségű átviteli hálózatának, illetve alállomásainak távfelügyelete RTU-berendezésekkel megoldott, illetve a SCADA-rendszerek a távolból folyamatosan felügyelik az üzemviteli jellemzőit, addig a kisfeszültségű, így a közvilágítási hálózatok ellenőrzése és felügyelete még mindig manuálisan történik! Se az elosztóknak, se az önkormányzatoknak nincs átfogó képük a közvilágítás pillanatnyi állapotáról!

A hibák megismerése, feltárása, illetve a kiértékelésük hosszadalmas és körülményes, mert:

- egyrészt a lakosok bejelentéseitől függ, ami bizonytalan és esetleges,
- másrészt a hálózat havi, vagy kétheti ellenőrzésén derül csak ki, ami lassú és költséges.

Nincs mód beavatkozásokra, energiamegtakarításokra, mert:

- a közvilágítási rendszerek működésük közben teljesen figyelmen kívül hagyják az aktuális forgalom nagyságát, időbeli megoszlását, illetve a lakosok életmódját,
- sok helyen nincs fogyasztásmérés, a közvilágításra fordított energia elszámolása a beépített teljesítmény és az üzemidő szorzata alapján történik, és akkor is ugyanannyit fizetnek, ha nem világít a lámpatestek egy része,
- ahol mért is a közvilágítás, a mérők távleolvasása általában nem megoldott.

Mindez azt jelenti, hogy jelenleg a közvilágítási rendszerek nem kellő hatékonysággal üzemelnek!

2. Mi is az az intelligens közvilágítás?

Az intelligens közvilágítási rendszer, a korszerű világítótesteken túl, egy intelligens közvilágítás menedzsment-rendszert is tartalmaz, amely a fenti problémákra teljes körű megoldást nyújthat, miközben

alkalmazott menetrendjeivel, a felhasznált energia akár 20%-35%-át megtakaríthatja. A menedzsment-rendszerrel biztosítható egy adott település összes kültéri világítótestének, intelligens, energiahatékony és energiatakarékos vezérlése, illetve felügyelete. Alkalmazásával olyan korszerű, költséghatékony közvilágítási rendszer kerül telepítésre, amely a megtakarításokon felül jelentős többletszolgáltatásokat is nyújt. Segítségével rövid idő alatt értesülhetnek az üzemeltetők, a szolgáltatók és az önkormányzatok a felmerült problémákról, az aktuális lámpahibákról, túlfogyasztásokról, áramlopásokról, vezetékszakadásokról és üzemszünetekről!

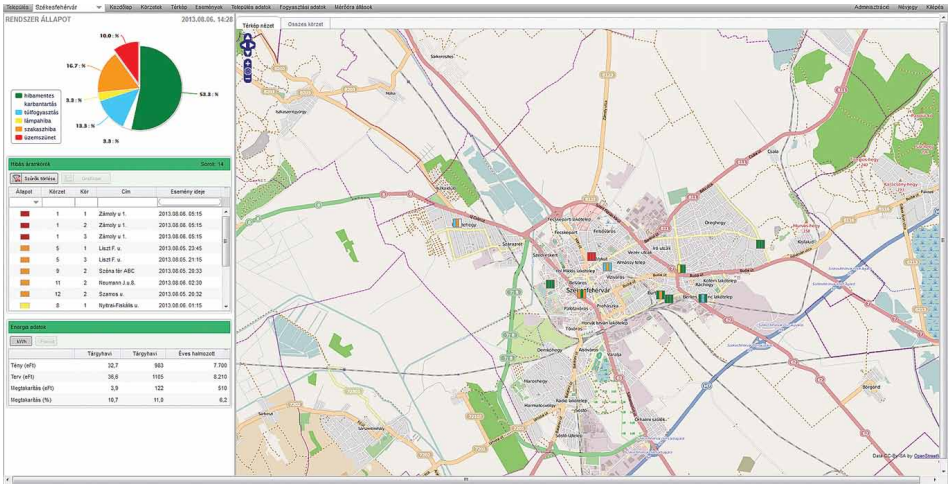
Az intelligens rendszer bekerülési költsége általában 5-8 év alatt térül meg (az alkalmazott világítótest üzemidejétől és a teljesítményszabályozás mértékétől függően). A megtérülési számítás tartalmazza a rendszer működtetéséhez transzformátorkörönként szükséges SIM-kártya és informatikai szolgáltatás költségeit.

A rendszer telepítése elsődlegesen az önkormányzatoknak hoz anyagi előnyöket, a 20%-35% közötti energiamegtakarítás, az üzemeltetési költségek csökkenése, valamint a túlfogyasztások, áramlopások megszűntetése miatt.

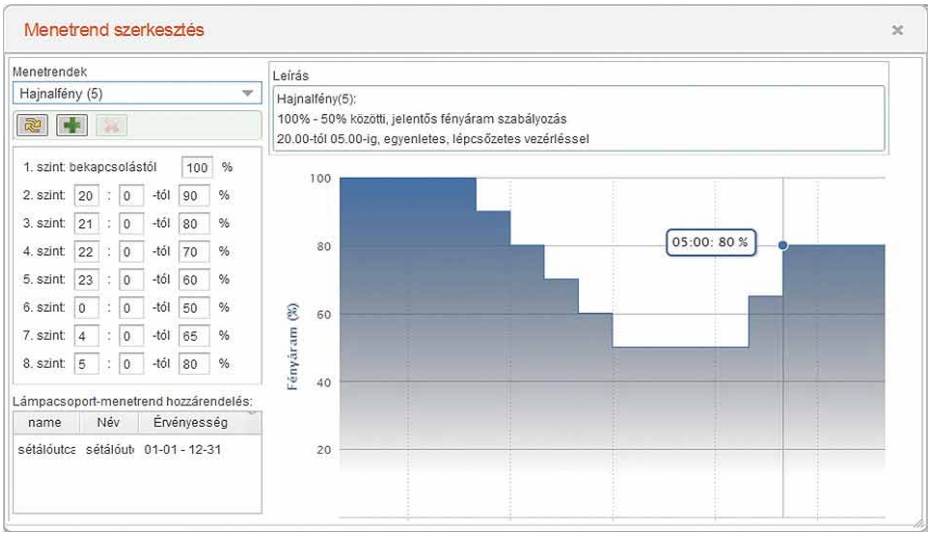
Az üzemeltetőknek is előnyös, mert a rendszer alkalmazásával javul a munkájuk hatékonysága, megszűntethetők a 2 hetenkénti ellenőrző bejárások, amivel költséget takaríthatnak meg. Többletinformációkat kapnak a hálózat állapotáról, a rendszer meghibásodásairól, valamint magasabb színvonalú szolgáltatást nyújthatnak a megrendelőknek. (Ilyenek pl.: a hiba keletkezésétől, és nem a bejelentésétől, számított gyors, akár 24 órán belüli hibajavítás lehetősége, az aktív – passzív elem hibák szétválasztása, az online frissülő aktív elem leltár készítése, a mérőórák távleolvasása stb.)

3. Milyen vezérlési lehetőségeket nyújt az intelligens rendszer?

Elöljáróban meg kell jegyezni, hogy az intelligens rendszer vezérlési funkcióinak alkalmazásánál körültekintően kell eljárni! A megvilágítás csökkentésénél figyelemmel kell lenni a közvilágítási szabványban (MSZ EN 13201) előírt értékekre, az ettől való eltérés a település önkormányzatának a felelősségére történik! A nem szabványos közvilágítás miatt bekövetkezett balesetek esetén az esetleges kártérítést az önkormányzat köteles viselni.



1. ábra. Áttekintő – térképpel



2. ábra. Menetrend

Az intelligens menedzsmentrendszerrel az útkategóriák és funkciók alapján rendszerezett – a közvilágítási hálózat fizikai kiépítésétől független – világítótest-csoportok alakíthatók ki (pl.: főútvonalak, gyűjtőutak, lakóutcák, parkolók, játszóterek, gyalogátkelők lámpái stb.). Az így kialakított csoportok mindegyikéhez önálló fényáram-szabályozási menetrend rendelhető.

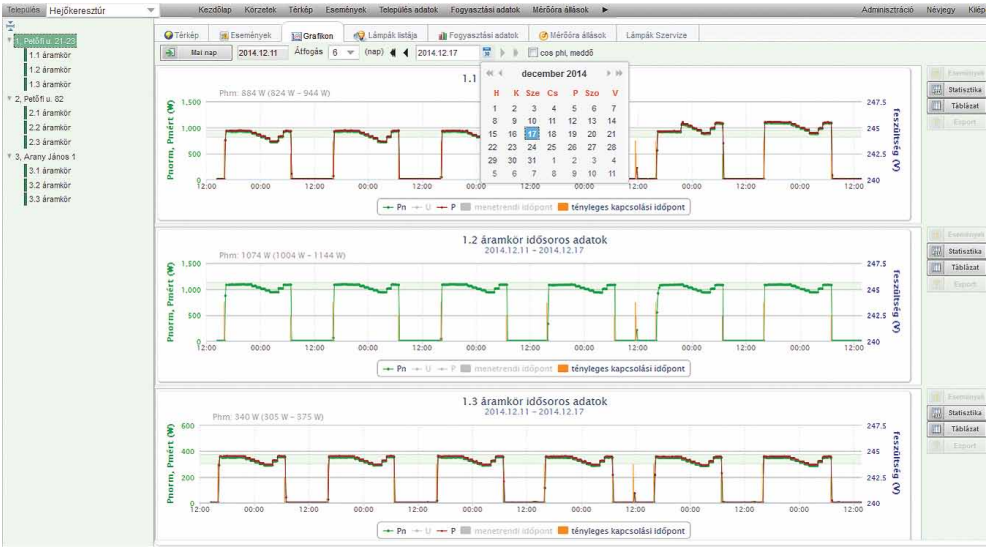
Mindig csak az aktuális időszakra vonatkozó (hónap, negyedév, félév) menetrendek kerülnek továbbításra a lámpavezérlőkbe. Ezek után minden lámpavezérlő rendelkezik a saját elhelyezkedésének megfelelő közút típushoz tartozó időszakos menetrenddel, amely alapján végrehajtja a fényáram-szabályozást. Ezáltal biztosított, hogy az azonos lámpacsoportba tartozó lámpatestek akkor is homogén megvilágítást adjanak, ha több, egymás utáni, különböző transzformátorkörzetben találhatók! A különböző menetrendek alkalmazásával hozzáigazítja a rendszer a lámpák fényáramát az adott úttípus szokásos forgalmához, illetve az ott élők életmódjához és igényeihez.

Ezen kívül új, speciális vezérlési funkciók valósíthatók meg direkt, egyedi vezérlések alkalmazásával:

- üdülőterületeken a forgalommentes időszakokban, takarékossági okokból,
- eseményeken, ünnepeken, rendezvényeken, tűzijátékokon,
- a rendszer installálásának, működésének, szervízelésének segítésére.

4. Mit jelent a közvilágítási hálózat felügyelete?

Az intelligens közvilágítási menedzsment-rendszer a teljes közvilágítási hálózatot online felügyeli, az állapotát a felhasználók internetes felületen, a távolból folyamatosan követhetik, illetve ellenőrizhetik. Az eseményekről minden regisztrált felhasználó személyre szabott riasztásokat kérhet SMS-en, vagy e-mail-ben. Így folyamatosan értesülhet a világítótestek és a hálózat aktuális működési jellemzőiről, meghibásodásairól, lehetővé téve az azonnali beavatkozást. A rendszer alkalmazása esetén nem függ a hibajavítás a lakosok bejelentéseitől, megadja a rendszer a hibák pontos helyét, valamint feleslegessé válnak a költséges kétheti, vagy havi hibafeltáró üzemeltetői bejárások. A rendszer



3. ábra. Grafikonok

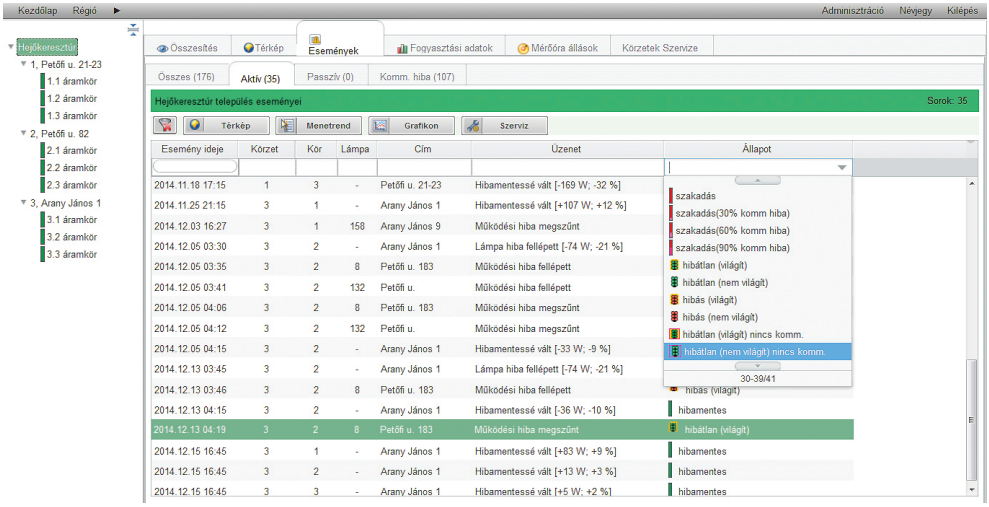
hibajelzései alapján azonnal, a meghibásodás pillanatától megkezdhető a hibák kijavításának tervezése, nem függ a hibabejelentések, felmérések esetleges késlekedésétől. A rendszer diagnosztikai elemzései elsődlegesen a világítótestek és a közvilágítási hálózatok üzemeltetői részére nyújt rendkívül fontos, részletes információkat, de az önkormányzatok is eredményesen használhatják, segítségükkel átfogó képet kapnak a település közvilágításának állapotáról.

4.1. Milyen diagnosztikai elemzéseket végez el a rendszer?

Nagy örömmel üdvözölték a szolgáltatók azt a sokéves problémáramegoldást jelentő új funkciót, amelyben a menedzsment-rendszer kiemelt támogatást ad – többszintű diagnosztikai elemzéseivel – a közvilágítási hálózat aktív (világítótest) és passzív (hálózati) hibáinak a megkülönböztetéséhez! Az észlelt hibákat a rendszer minden szinten egyenként elemzi, és különválasztja aszerint, hogy melyik üzemeltető cég feladata az adott hiba kijavítása. Ezt követően a rendszer a hibát online továbbítja a kijavításban illetékes üzemeltető cég hibabejelentő rendszerébe! Így elkerülhető, hogy passzív hiba fellépése esetén az aktív hiba karbantartója feleslegesen kivonuljon a helyszínre a nem megfelelő hibabejelentés miatt! Külön kerülnek elemzésre és megjelenítésre az áramköri szintű diagnosztika során képzett **áramköri státuszok,** amelyek a feszültség, a normalizált teljesítmény, a meddő teljesítmény és a fázistényező adataiból készített terhelési görbék elemzésével jönnek létre. A képzett áramköri státuszok:

Hibamentes állapot, Lámpahiba, Sorozatos lámpahiba, Szakaszhiba, Kommunikációs hiba, Üzemszünet, Túlfogyasztás, Karbantartás.

A menedzsment-rendszer – a közvilágításban elsőként – fejlett SCADA-szolgáltatásokkal segíti a felhasználókat (adatok fogadása, feldolgozása, megjelenítése, események, riasztások, trendek képzése stb.). Ezen túl térképes, műholdas megjelenítéseket alkalmaz, rendszeráttekintőket, eseménynaplókat készít,



4. ábra. Eseménynapló

valamint naponta online frissülő aktívelem nyilvántartást vezet.

A hibajelzések kiértékeléséhez, a pontos minősítésekhez az áramköri és a körzetszintű elemzések mellett a rendszer **világítótest-szintű diagnosztikát** készít a lámpatestekből származó működési adatokból (teljesítmény, hőmérséklet, kivezérlés mértéke, üzemidő, fogyasztás stb.), és **világítótest-szintű státuszokat** (hibamentes, teljesítményhibás, nem működő, kommunikációs hibás) képez belőlük. A teljes körű hibafeltáráshoz nagy segítséget nyújtanak még a lámpánkénti terhelési görbék, amelyekben a lámpák fenti működési adatai, tetszőleges időszakra, egyenként is visszanézhetők.

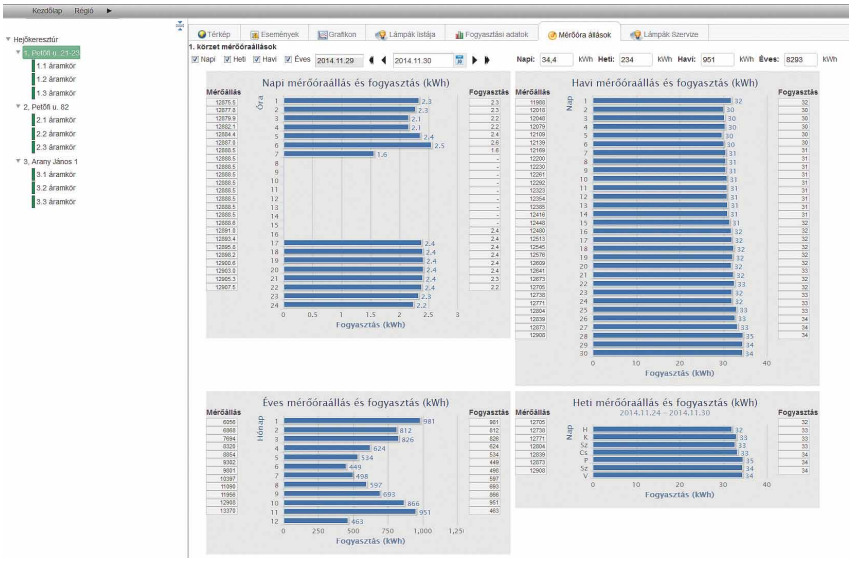
Azáltal, hogy nem kell időszakos bejárásokat szervezni a közvilágítási hibák helyének felderítésére, mert a rendszer ezt autonóm elvégzi, és automatikusan online továbbítja a szolgáltatók hibabejelentő rendszerébe, a költségek csökkenése mellett a közvilágítás szolgáltatási színvonala is jelentősen javul! A hibák fellépéskori azonnali jelzése alapján (ha a szerződés is úgy rendelkezik) megvalósíthatóvá válik a meghibásodástól (és nem a bejelentéstől) számított 24 órán belüli hibajavítás!

4.2. Hogyan felügyeli a rendszer az energiafogyasztást?

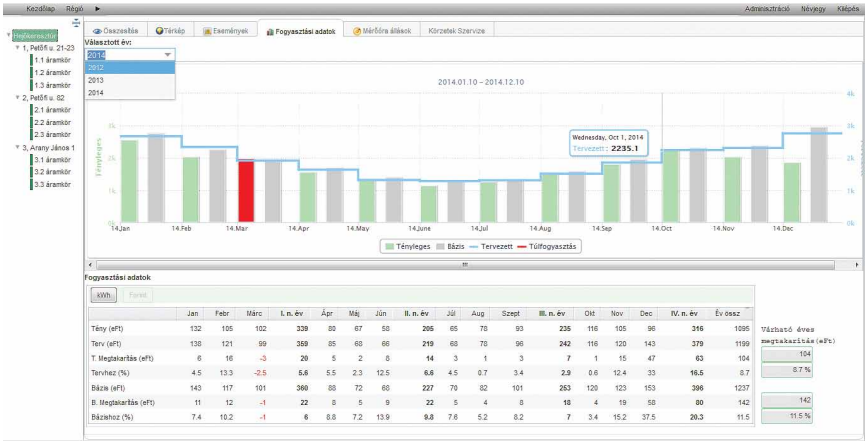
Az intelligens rendszer alkalmazásával a szolgáltatók és az önkormányzatok a távolból is bármikor le tudják olvasni, illetve ellenőrizni a mérőórák állását. Folyamatosan nyomon követhetik a település közvilágítási körzeteinek, illetve az település egészének a fogyasztási adatait. Az elszámolási mérők adatait a rendszer automatikusan az energiaszolgáltatónak is továbbítja.

A fogyasztási adatokból kiértékeléseket készít (órás, napi, havi és éves), amelyeket grafikusan és táblázatosan meg is jelenít. Előre jelzi a havi, vagy az éves várható fogyasztást naturáliában (kWh) és forintban, riasztást ad, ha a mért fogyasztási értékek magasabbak a tervezettnél, ezzel is segítve az energiaköltség-keretek betartását.

A rendszer folyamatosan ellenőrzi a hálózaton a „Jogosulatlan Beavatkozásokat", és riasztást ad, ha illegálisan rákötött fogyasztókat, pl.: reklámvilágítást, kirakatvilágítást, vagy egyéb fogyasztót detektál.



5. ábra. Mérőóra állások



6. ábra. Fogyasztási adatok

5. Hogyan épül fel az intelligens rendszer?

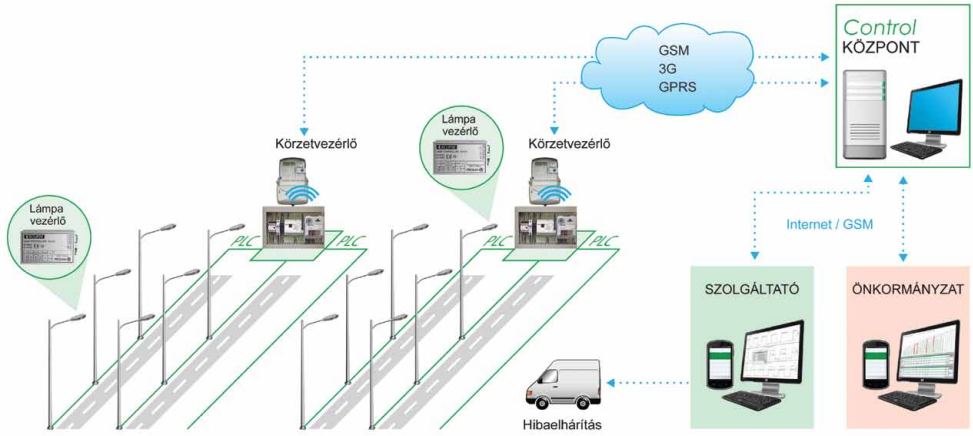
Első szint a terepi egységek szintje (lámpavezérlők, körzetvezérlők, szenzorok, smart city egységek stb.). Egymás között kommunikálhatnak a saját tápkábelükön megvalósított robosztus PLC-vel, amely hatótávolsága erősítés nélkül 1,9 km-es, vagy vezeték nélkül (RF). A terepi eszközök legfontosabb jellemzője, hogy autonóm módon, önállóan működnek és kommunikálnak egymással akkor is, ha esetleg a kapcsolat a központtal (GSM, 3G, GPRS) átmenetileg megszakad!

Második szint az intelligens rendszer központja, amely szervezi, irányítja és kiértékeli az összes folyamatot, ezekből eseménynaplókat készít, státuszokat, riasztásokat képez stb.

Harmadik szint a felhasználók szintje, (karbantartók, szolgáltatók, önkormányzat), akik a közvilágítási rendszer működésével,

állapotával kapcsolatban, internetes felületen keresztül minden fontos információról azonnal értesülhetnek, és azonnal intézkedhetnek a problémák megoldásáról!

Egyre több önkormányzat, aktívelem-, illetve hálózatüzemeltető cég igényli már az intelligens közvilágítás szolgáltatásait, elismerik a rendszer szükségességét! A kérdés csak az, mikor valósul meg, hogy az igény mellé anyagi forrás, finanszírozás, esetleg támogatás is párosul!



7. ábra. Rendszerábra

PROLAN

ECLIPSE Control

Intelligens Közvilágítás

Energiatakarékos megoldás

Mi jellemzi az intelligens közvilágítást?

- A közvilágítási hálózat teljes körű vezérlése és felügyelete
- Az aktuális állapotok és hibák térképes megjelenítése
- A lámpatestek és a hálózat hibáinak a megkülönböztetése
- Naponta frissülő lámpatest nyilvántartás és leltár
- Hibajelzések online továbbítása a szolgáltatók rendszereibe
- Mérőórák távleolvasása, a fogyasztási adatok elemzése
- Riasztások meghibásodás, túlfogyasztás, áramlopás esetén

Prolan Irányítástechnikai Zrt.
H-2011 Budakalász,
Szentendrei út 1-3, Hungary
telefon: +36-20/954-3197
fax: +36-26/540-420
email: bakos.tibor@prolan.hu
web: www.prolan.hu

LED-es közvilágítás túlfeszültség-védelme

– Dr. Kovács Károly, Szijártó Gábor –

A mai LED-es közvilágítási megoldásoknál a túlfeszültség-védelemre különösen nagy hangsúlyt szükséges fektetni. A LED-es fényforrás túlfeszültség okozta károsodása következtében szükséges cserék sokkal nagyobb költséggel járnak a korábbi technológiákhoz képest. Ezen okból kifolyólag a LED-es közvilágítást túlfeszültségvédelmi készülékkel ajánlott védeni figyelembe véve a LED-es közvilágítás különböző eseteit.

1. Bevezetés

Az utak, sétáló utcák, terek megvilágítására ma már LED-es közvilágítást is alkalmaznak, ahol a lámpatestek akár több méteres magasságban helyezkedhetnek el. Erre a megvilágítandó felület nagy mérete miatt van szükség. Alkalmazásuk azonban csak akkor lehetséges, ha a fényforrás megfelelően nagy fényárammal rendelkezik, amelyet a mai jó hatásfokú LED-es fényforrások gond nélkül teljesíteni tudnak. Ezeket a fényforrásokat a hosszú élettartam és az egyedi megvilágítási képek beállításának lehetősége teszi környezetbaráttá és költséghatékonyan alkalmazhatóvá.

A LED-es közvilágítási oszlopokat az alábbi különleges tulajdonságok jellemzik:

- nagy fényhasznosítás egészen 110 lm/W értékig,
- jól illeszthetők a mindenkori megvilágítási, fényelosztási feladathoz különböző lencsék alkalmazásával,
- különböző színű/színhőmérsékletű megvilágításra alkalmasak,
- a LED-es fényforrások élettartama az üzemi áram függvényében eléri az 50 000 – 100 000 órát,
- a LED-ek meghajtóiban (driver) a világítási képek (pl. fényáram, üzemidő, illetve alkonyatfüggő bekapcsolás) előre beállíthatók,
- ezen kívül az egyedi világítási képek részben 1-10 V-os vagy DALI-interfészen keresztül is beállíthatók,
- a LED-ek ideálisan alkalmazhatók biztonsági világításként, mert a teljes fényáramukat bekapcsolási késleltetés nélkül le tudják adni.

2. LED-es közvilágítás vizsgálata túlfeszültség-védelem szempontjából

A gyakorlatban különböző LED-es közvilágítási oszlopokat alkalmaznak, ahol a lámpatest általában fémből készül függetlenül attól, hogy kettős vagy megerősített szigetelésű védelmi módot (II. érintésvédelmi osztály) vagy a táplálás önműködő lekapcsolása védelmi módot (I. érintésvédelmi osztály) alkalmazzák az MSZ HD 60364-4-41:2007 szabvány alapján. A LED-es közvilágítási lámpatest fémházának nagy felülete a keletkező hő veszteségek elvezetésére is szolgál.

Ha csak az oszlopot vizsgáljuk, a közvilágítási célú oszlopok sok esetben fémből készülnek. A tápfeszültséget földkábeleken keresztül vezetik be az oszlop belsejébe. A kisebb oszlopok alsó részén egy, csak szerszámmal nyitható csatlakozódoboz helyezkedik el, ahonnan az erősáramú táplálást mindkét végén húzásra tehermentesített gumikábellel vezetik a lámpatesthez. Ebben a csatlakozódobozban helyezkednek el a sorkapcsok és a túláramvédelmi-készülék. Nagyobb oszlopok rendelkeznek saját elosztószekrénnyel, és ha az oszlop a hálózati energiaellátás mellett tartalék betáplálással is rendelkezik, akkor – az ide vonatkozó szabványelőírások szerint – a két vezetéket térben el kell választani egymástól.

Ha a LED-es lámpatest vagy az oszlop műanyagból készül (PVC), akkor az előforduló elektrosztatikus feltöltődést is figyelembe kell venni. Ennek ismertetése azonban nem tárgya a jelen védelmi javaslatnak.

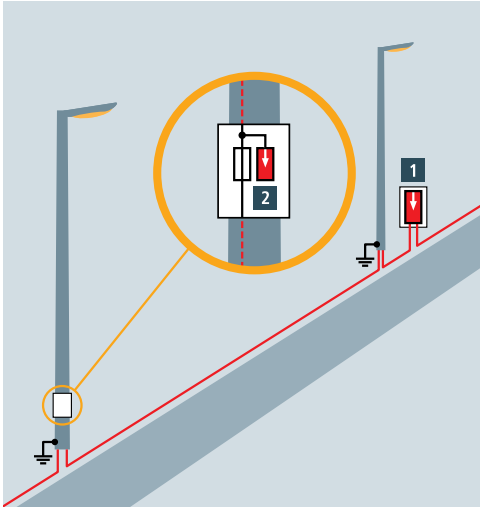
3. Túlfeszültség-védelem gazdasági okai

Ha összehasonlítjuk a korábbi nagynyomású kisülőlámpás és a mai LED-es közvilágítási megoldásoknál a túlfeszültség okozta károk miatt szükséges készülékcserék költségeit, akkor az állapítható meg, hogy a korábbi nagynyomású kisülőlámpás lámpatesteknél a túlfeszültségkárok a fényforrásnál, a gyújtóegységnél és az induktív előtétnél léptek fel. Ezzel szemben a mai LED-es lámpatesteknél a LED-meghajtó, annak paraméterbeállítása, és maga a LED-es fényforrás túlfeszültség okozta károsodása következtében szükséges cseréje sokkal nagyobb költséggel jár. Habár a LED-es közvilágítási lámpatestek hosszú élettartamúak, feltehető a kérdés, hogy a gyártó a teljes rendszerre (LED-meghajtó és LED-es fényforrás) kiterjedően milyen jótállási időt vállal, ismerve azt, hogy a túlfeszültség okozta igénybevételek negatívan hatnak a rendszer tipikus élettartamára. A lámpatestgyártásban érdekelt vállalatok erre a problémára nagyobb lökőfeszültség-állósággal rendelkező LED-meghajtók gyártásával reagáltak, és ennek megfelelően az újabb LED-es lámpatestek nagyságrendileg kb. 2 kA lökőáram-terhelhetőséggel és 4 kV lökőfeszültség-állósággal rendelkeznek. A hálózatban fellépő lökőáramok és túlfeszültségek ezt az értéket gyakran többszörösen meghaladják. Ezen felül figyelembe kell venni azt is, hogy a fázis- (L) és nullavezető (N) közötti lökőfeszültség-állóság jelentősen különbözik a fázis és a védővezető (PE), ill. a nulla és a védővezető (PE) közötti lökőfeszültség-állóságtól.

4. Védelmi koncepciók

4.1. Védőkészülék telepítése fémházas LED-es lámpatestek védelmére

A fém lámpatest, a fém oszlop, és a kettőjük közötti fémes kapcsolat együttesen minimalizálja a közeli villámcsapás hatására elektromágneses csatolás révén az oszlopban és a lámpatest belsejében lévő villamos rendszerekben indukálódó túlfeszültségeket. Ilyen esetben tehát csak azokat a túlfeszültségeket kell figyelembe venni, amelyek a villamos hálózaton terjednek. Ilyenkor a túlfeszültség-védelmi készüléket az oszlop csatlakozódobozába / a fém oszlop elosztószekrényébe célszerű elhelyezni (1. ábra).



1. ábra. Túlfeszültség-védelmi készülék telepítése fémházas LED-es lámpatestek védelmére a fém oszlop csatlakozódobozába/ a fém oszlop elosztószekrényébe, a hálózaton terjedő, távoli légköri eredetű és kapcsolási műveletek keltette túlfeszültségek ellen [1]

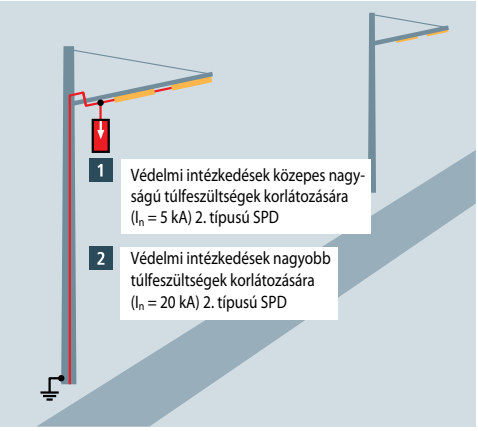
1. táblázat. Túlfeszültség-védelmi készülék kiválasztása fémházas LED-es lámpatestek védelmére a fém oszlop csatlakozódobozába/a fém oszlop elosztószekrényébe (1. ábra alapján)

Sorszám	Védőkészülék
1	2. típusú túlfeszültség-korlátozó háromfázisú TT vagy TN-S rendszerhez
2	2. típusú túlfeszültség-korlátozó egyfázisú TT vagy TN rendszerhez

Ennek a megoldásnak az az előnye, hogy a túlfeszültség-védelmi készülék felülvizsgálatát emelőkosaras gépkocsi nélkül lehet elvégezni.

4.2. Védőkészülék telepítése a LED-es lámpatest mellett, oszlopon kívül fektetett vezeték esetén

Ha a fém oszlop és a fém lámpatest nem alkot fémesen zárt rendszert, mert például a lámpatesthez menő vezeték kilép az oszlopból és az oszlop külső felületén van rögzítve, vagy az oszlopon több LED-es lámpatest van elhelyezve tartókonzolon, akkor a túlfeszültség-védelmi készüléket a LED-es lámpatest mellett szükséges telepíteni (2. ábra).



2. ábra. Túlfeszültség-védelmi készülékek telepítése a LED-es lámpatest mellett, oszlopon kívül fektetett vezeték esetén a villámcsapás okozta elektromágneses hatások következtében csatolás révén kialakuló, vagy egyedüli védelemként a hálózaton terjedő, távoli légköri eredetű és kapcsolási műveletek keltette túlfeszültségek ellen [6]

2. táblázat. Túlfeszültség-védelmi készülék kiválasztása fémházas LED-es lámpatestek védelmére a fém oszlop csatlakozódobozába/a fém oszlop elosztószekrényébe (2. ábra alapján)

Sorszám	Védőkészülék
1	Rugalmasan alkalmazható és helytakarékos egypólusú (L-N) 2. típusú túlfeszültség-korlátozó
2	2. típusú túlfeszültség-korlátozó egyfázisú TT rendszerhez

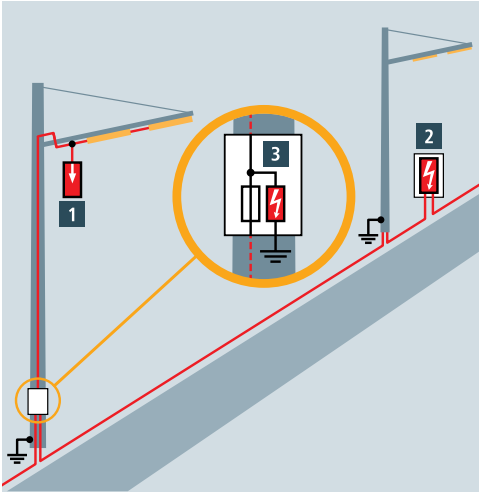
A LED-es lámpatest mellé egyedüli védelmi intézkedésként akkor is érdemes túlfeszültség-védelmi készüléket elhelyezni, ha a túlfeszültség okozta károsodás valószínűsége kicsi. Ha a LED-es lámpatestbe építjük be a túlfeszültség-védelmi készüléket, akkor a beépítéskor a lámpatest hibavédelmét figyelembe kell venni. Az MSZ HD 60364-4-41:2007 szabvány szerinti kettős vagy megerősített szigetelésű LED-es lámpatestek (II. érintésvédelmi osztály) biztonsági szintjét a csak alapszigeteléssel (az aktív részek alapszigetelésével, mint alapvédelemmel) ellátott túlfeszültség-védelmi készülékek nem korlátozhatják.

Közepes nagyságú zavarjelek elleni védelmi intézkedésként javasolt a DEHNcord készülék alkalmazása (I_n = 5 kA). Nagyobb zavarjelek elleni védelmi intézkedésként a DEHNguard modular DG M TT 2P 275 készülék alkalmazása javasolt (I_n = 20 kA).

4.3. Kombi védőkészülék telepítése a LED-es közvilágítási fém oszlop csatlakozódobozába/ a fém oszlop elosztószekrényébe

Ha a fém oszlopot villámcsapás éri, az oszloptest belsejében futó vezetéket az oszlop árnyékoló hatása védi, és az oszlop talppontjánál elhelyezett alkalmazás-optimalizált, kombinált villámáram-levezető (teljes villám-lökőáram egyfázisú táplálás esetén egészen 25 kA-ig (10/350 µs), háromfázisú táplálás esetén 50 kA-ig (10/350 µs)) pedig levezeti a villámáramot az elosztóhálózaton, illetve földelésen keresztül és alacsony védelmi szintjével megvédi a LED-es lámpatestet (3. ábra). Ehhez a védelmi kapcsoláshoz mindig szükség van az oszlop mellett telepített függőleges, ún. rúdföldelő vagy vízszintes földelővezető telepítésére, továbbá a LED-es fényforrásnál a vezeték-nyomvonal függvényében túlfeszültség-védelmi készülék elhelyezésére a 3. ábra szerint.

Alapvetően az itt bemutatott, 1. típusú kombi villámáram-levezetőt alkalmazó védelmi kapcsolási változatot akkor javasolt alkalmazni, ha a villámvédelmi kockázatelemzés szigorúbb védelmi intézkedést követel meg, mint amit 2. típusú túlfeszültség-védelmi készülékek alkalmazásával el lehet érni. Példa lehet erre az esetre az igen magas oszlopok alkalmazása, amelyeknek a tetején több LED-es lámpatest van elhelyezve tartókonzolon (nagyfelületű parkolók, stadionok stb.), vagy például olyan LED-es lámpatestek esetében, amelyek energiaellátását egy villámvédelemmel ellátott épület biztosítja, ahol az épület villámvédelmi potenciálkiegyenlítésén és a fő földelősínjén keresztül az épületet ért villámcsapás esetén a villám-részáram a LED-es lámpatest energiaellátó vezetékén eljut a LED-es lámpatestig.



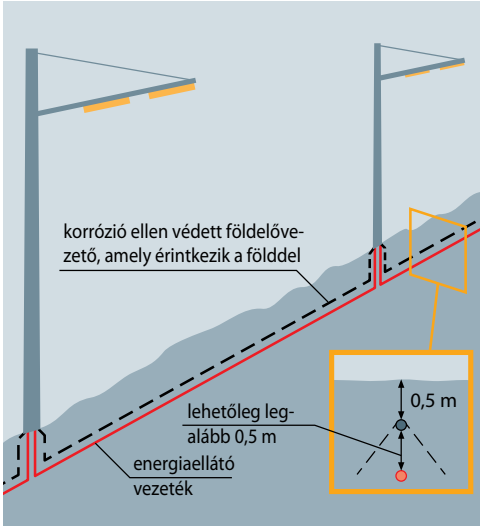
3. ábra. Kombinált villámáram-levezető telepítése a LED-es közvilágítási fém oszlop csatlakozódobozába/a fém oszlop elosztószekrényébe, kiegészítve a LED-es lámpatest közelében elhelyezett túlfeszültség-védelmi készülékkel, a közeli légköri események, és a hálózaton terjedő kapcsolási műveletek által okozott túlfeszültségek elleni védelemre [1]

3. táblázat. Kombinált villámáram-levezető kiválasztása a LED-es közvilágítási fém oszlop csatlakozódobozába/a fém oszlop elosztószekrényébe, kiegészítve a LED-es lámpatest közelében elhelyezett túlfeszültség-védelmi készülékkel (3. ábra alapján)

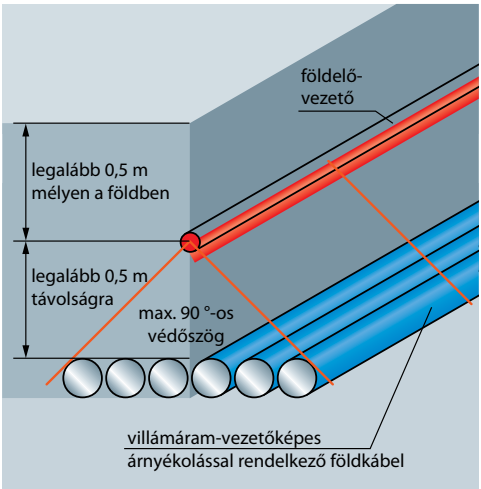
Sorszám	Védőkészülék
1	Rugalmasan alkalmazható és helytakarékos egypólusú (L-N) 2. típusú túlfeszültség-korlátozó
2	2. típusú túlfeszültség-korlátozó egyfázisú TT rendszerhez
3	1.+2. típusú kombinált villámáram-levezető egyfázisú TT vagy TN rendszerhez

5. Javaslatok LED-es közvilágítás villámvédelméhez

Olyan új létesítéseknél, ahol mind az oszlopok, mind a kábelnyomvonal újonnan kerül kialakításra célszerű a földkábel felett horganyzott köracélból készült földelővezető alkalmazását előírni (4. ábra).



4. ábra. Földelővezető a vezetéknyomvonal védelmére és az oszlop földelésének megvalósítására [6]



5. ábra. Vezetéknyomvonal védett tere [6]

Ha az oszlopot (nem magát a lámpatestet) vagy a földkábel nyomvonalán a talaj felületét villámcsapás éri, a földkábel felett elhelyezett földelővezető földelésként funkcionál és linearizálja a potenciáleloszlást a villámcsapás közelében, és ezáltal megakadályozza a földkábel szigetelésének átütését és a villámáram bejutását a földkábel aktív ereibe (5. ábra).

6. Összefoglalás

A villám- és túlfeszültség-védelem témakörrel a LED-es közvilágítás területén is érdemes foglalkozni, hiszen a túlfeszültség okozta igénybevételek negatívan hatnak a rendszer élettartamára. A túlfeszültségkárok elkerülésének érdekében a LED-es közvilágítás különböző eseteit figyelembe véve ajánlott megfelelő villám- és túlfeszültség-védelmi intézkedéseket tenni.

Irodalomjegyzék

[1]. „BLITZPLANER® 3. aktualizált kiadás", DEHN+SÖHNE, Neumarkt, 2013

[2]. „MSZ EN 60598-11:2011 Lámpatestek. 1. rész: Általános követelmények és vizsgálatok", MSZT, 2011

[3]. „MSZ EN 61643-11:2013 Kisfeszültségű túlfeszültség-levezető eszközök. 11. rész: Kisfeszültségű hálózatra csatlakozó túlfeszültség-levezető eszközök. Követelmények és vizsgálatok", MSZT, 2013

[4]. „MSZ HD 60364-7-714:2013 Kisfeszültségű villamos berendezések. 7-714. rész: Különleges berendezésekre vagy helyekre vonatkozó követelmények. Szabadtéri világítóberendezések", MSZT, 2013

[5]. „MSZ HD 60364-4-41:2007 Kisfeszültségű villamos berendezések. 4-41. rész: Biztonság. Áramütés elleni védelem", MSZT, 2007

[6]. „LED-es közvilágítás túlfeszültség-védelme", Védelmi javaslat, DEHN+SÖHNE, Neumarkt, 2014. szeptember

Foglalatba illeszthető LED-modulok hűtőszerelvényeinek termikus vizsgálata

– Poppe András, Kollár Ernő, Tóth Zoltán, Simonovics János –

A foglalatba illeszthető LED-modulok fejlesztése felkeltette az igényt az ilyen modulok hűtésére szolgáló hűtőszerelvények, hűtőbordák termikus minősítése iránt. E feladat kapcsán a gyártók természetes próbálkozása, az alkatrész szintű LED termikus mérési szabványoknak egy teljes LED-modul + hűtőszerelvény rendszerre történő alkalmazása lehet, de ekkor ismerni kell az alkalmazott LED-ek teljes kisugárzott optikai teljesítményét. Annak érdekében, hogy ne kelljen ezt meghatározni, a hűtőszerelvények termikus minősítő mérései során célszerű a LED-modulokat termikus viselkedésük szempontjából jól képviselő termikus helyettesítő modult használni, amelyben LED-ek helyett pl. szilíciumdiódák vagy tranzisztorok a hőforrások. Jelen írásunkban egy ilyen ún. termikus dummy modult mutatunk be, majd ismertetjük az ezen modul segítségével végzett mérések eredményeit, és azt a módszert, amelynek a segítségével a mérési eredményekből megállapítható a hűtőbordák hőellenállása.

1. Bevezetés

Nem sokkal a foglalattal rendelkező LED-modulokra vonatkozó termék szabványok (mint pl. az ún. Zhaga "könyvek" [1], [2]) megjelenése után igény jelentkezett arra, hogy az ilyen LED-es fényforrások hűtésére szánt szerelvények termikus jellemzésére standard módszerek alakuljanak ki. Természetesen korábban is voltak próbálkozások arra, hogy hűtőszerelvényeket termikus szempontból jól jellemezzenek, de jobbára azért, hogy rendszerszintű termikus szimulátorok számára modellezni lehessen azokat.

A tokozott félvezető eszközök és hűtőszerelvények ilyen, termikus tranziens mérései alapján készített, ún. kompakt termikus modellezésének alapgondolata már régről ismert [3]. E szerint a modellek paramétereit az ún. struktúrafüggvények segítségével állapítottuk meg. Jóllehet, ezen korai publikációnk alapján jól számszerűsíthető modelleket mutattunk be, nem létezett még semmilyen szabványos módszer arra, hogyan válasszuk szét egymástól a félvezető eszköz tokozásának, a termikus határfelületi anyagnak, és a hűtőbordának a rész-hőellenállásait. Jóllehet, egy nem túl régi cikk [4] chip-on-board (CoB) technikával szerelt, LED-mátrixok hűtésére szánt hűtőbordák optimalizálásával, és így ezen hűtőbordák modellezésével foglalkozik, a cikkben közölt eredmények azonban az egész LED-mátrix + hűtőszerelvény rendszerre jellemzőek, így a cikk sajnos nem ad semmiféle számszerű eredményt magára a hűtőbordára vonatkozólag. Ezért az ott leírtak nem szolgálnak hasznos iránymutatással a foglalatba illeszthető LED-modulok hűtő szerelvényeinek termikus karakterizálása tekintetében.

Jelen írásunk célja az, hogy felvázoljunk egy, a foglalatba illeszthető LED-modulok hűtőszerelvényeinek termikus minősítésére alkalmas, számszerű eredményeket szolgáltató mérési eljárást. Ugyan ezt az eljárást a GE egy konkrét LED-modul családjának [5] tagjaihoz tervezett hűtőbordák számára hoztuk létre, a mérési módszer általánosan használható hasonló LED-modulcsaládok hűtőszerelvényeinek esetében is.

2. A mérés alapgondolata

Ahogy azt korábbi konferenciaközleményünkben [3] részletesen leírtuk, hűtőbordák termikus impedanciáját nagyon jól meghatározhatjuk egy, a hűtőbordára szerelt tokozott félvezető eszköz termikus tranziens mérése segítségével. Ennek lényege az, hogy a félvezető eszközön egy disszipáció egységugrást létrehozva mérjük a félvezető lapka felületi hőmérsékletének időbeli megváltozását. Ebből a hőmérsékleti tranziensből megállapítható a környezet felé történő hőátadás egy

részletes hálózati modellje, amelyet az ún. struktúrafüggvény reprezentál.

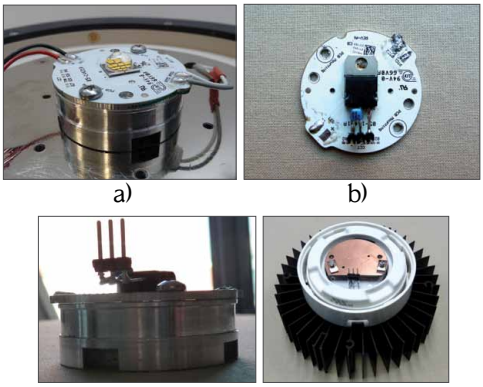
A LED-ek mint félvezető eszközök termikus tranziens mérése esetében a valós termikus impedancia meghatározását az nehezíti, hogy az alkalmazott disszipáció ugrás meghatározásához ismerni kell a LED által kibocsájtott fény teljesítményét is. E problémára kínáltak megoldást a LED-ek termikus méréseire vonatkozó új JEDEC szabványok [6], [7], [8], amelyeknek rövid magyar nyelvű ismertetése a 2012-2013-as Világítástechnikai Évkönyvben jelent meg [9]. A legnagyobb probléma, hogy ezek a szabványok LED-tokokra vonatkoznak. E szabványok szerint a mérés számára szolgáló termikus környezetet, a mérendő LED-tokot hordozó ismert hőmérsékletű hideg lemez jelenti, míg a hűtőbordával ellátott LED-modulok esetében a működésre jellemző termikus mérési környezetet az ún. JEDEC 1 köblábas álló levegős kamrához hasonló, de annál nagyobb kiterjedésű természetes konvekciós környezet jelentené.

2.1. Termikus helyettesítő modul alkalmazása

A fent vázolt méréstechnikai probléma megoldására (tehát hogy ne hideglemezen, hanem természetes konvekciós környezetben mérjünk, és ne kelljen a LED-modul kisugárzott optikai teljesítményét megmérni) megoldás lehet, ha egy olyan ún. termikus dummy modult készítünk, amelynek mechanikai struktúrája a lehető legjobban hasonlít a szóban forgó LED-modulok szerkezetére, de LED-ek helyett konvencionális szilícium eszköz (pl. egy teljesítmény tranzisztor) található a modulban. Fontos, hogy ez a szilíciumeszköz annyi hőt disszipáljon, mint amennyi a LED-modul veszteségi hője, és a modul és a hűtőborda közötti termikus határfelületen a hőáramfluxus eloszlása feleljen meg az eredeti LED-modul esetében tapasztalható eloszlásnak. Az 1. ábrán az általunk vizsgált LED-modul és az azt helyettesítő termikus dummy modul fényképe látható.

A LED-nek szilíciumeszközzel történő helyettesítése lehetővé teszi, hogy a termikus méréseket a diszkrét szilícium félvezető eszközökre vonatkozó szabványok szerinti módon végezhessük el, így nem kell foglalkozzunk az optikai teljesítménnyel.

Egy teljesítménytranzisztor alkalmazása azzal az előnnyel is jár, hogy annak disszipációja az emitter áram és a kollektor-bázis feszültség alkalmas megválasztásával tág határok közt állítható, így a termikus helyettesítő modullal az eredeti LED-modulcsalád különböző teljesítmény szintű tagjai is helyettesíthetőek. A méréseink során használt berendezés (Mentor Graphics MicReD T3Ster [10]) segítségével akár 100 W disszipáció is beállítható egy tranzisztor esetében.



a) b) c) d)

1. ábra. a) Az eredeti LED-modul meghajtó elektronika nélküli „magja", b) A modul bipoláris tranzisztorral szerelt hordozó lemeze, c) A termikus helyettesítő modul teljes „magja", d) A teljes termikus helyettesítő modul és egy hűtőborda

2.2. A hővezetési út egyezése

Mivel a termikus helyettesítő modul és az eredeti LED-modul szerkezete – a félvezetőeszköztől eltekintve – azonos, és hűtőbordák a mechanikai csatlakozó felületei azonosak, azt vártuk, hogy mind a termikus helyettesítő modulból, mind egy tényleges LED-modulból

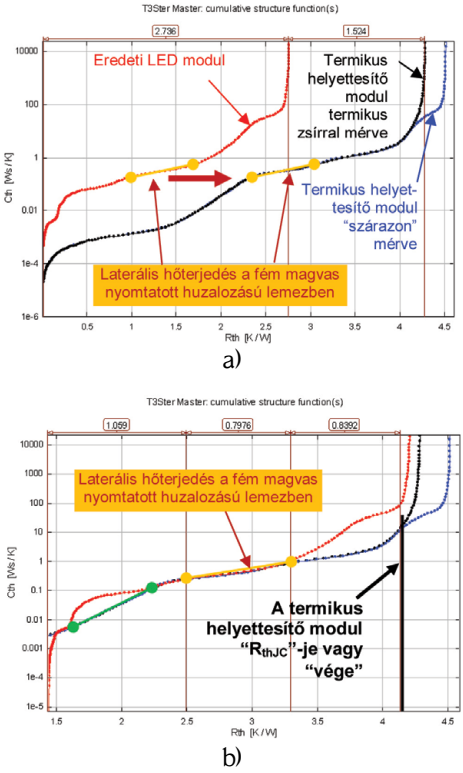
azonos módon történik a hűtőborda irányában a hőátadás. Ezt a feltevésünket egy eredeti LED-modul, és a termikus helyettesítő modul termikus tranziens mérésével igazoltuk. Mindkét modult hideg lemezre szerelve kétszer mértük úgy, hogy az egyik esetben termikus zsírral szereltük a modulokat a hideg lemezre, a másik esetben pedig „szárazon", termikus zsír alkalmazása neélkül. Ez a „dupla" mérés a termikus határfelület tulajdonságaival megfelel a JEDEC JESD51-14 szabvány szerinti ún. transient dual interface módszernek, amely a teljesítmény félvezetők junction-to-case (a pn átmenettől a tok hűtőfelületéig terjedő) hőellenállásának mérésére szolgáló legújabb szabvány [11].

Az eredeti LED-modul és a termikus helyettesítő modul junction hőmérsékelt tranzienseiből megállapított $Z_{th}(t)$ termikus impedanciagörbéket ún. struktúra fügvényekké konvertáltuk. Ezeken a hővezetési út „térképének" tekinthető függvényeken jól azonosíthatóak a modulok egymásnak pontosan megfeleltethető szakaszai (2. ábra).

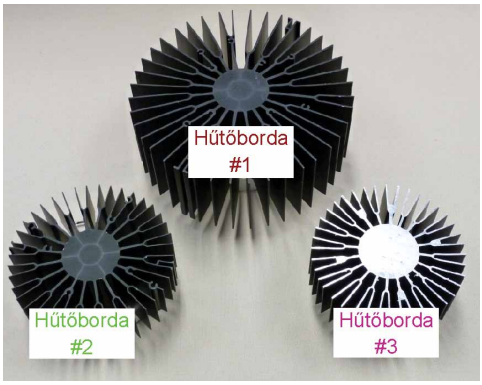
3. Mérési eredmények

Három különböző hűtőbordát vizsgáltunk a termikus helyettesítő modul segítségével egy olyan állólevegős kamrában, amely hőtechnikai tulajdonságai tekintetében megfelel a szabványos egy köblábas JEDEC kamrának, de annál nagyobb méretű volt. A vizsgált hűtőborda + termikus helyettesítő modul szerelvényeket a kamra közepén függesztettük be. A vizsgált hűtőbordák (3. ábra) méretükben és a termikus csatlakozó felületük megmunkálásában különböztek.

A hűtőbordákhoz csatlakoztatott termikus helyettesítő modulra vonatkozó mérési eredményeket a 4., 5., 6. és 7. ábrán mutatjuk be. A mérések kiértékelésekor a legkisebb hőellenállású összeállítást, a termikus pasztával (termikus zsírral) a hideg lemezre szerelt mérő modult tekintettük referenciának (fekete görbe a 4. ábrán).

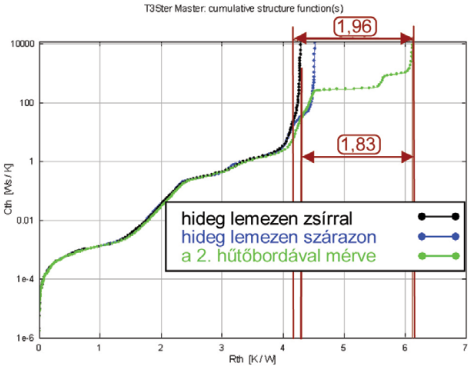


2. ábra. Egy eredeti LED-modul és a termikus helyettesítő modul kumulatív struktúra függvényei a) a mérésből közvetlenül származtatott görbék a hővezetési út jellegzetes elemeivel, b) az egymásnak megfelelő szakaszok illesztve

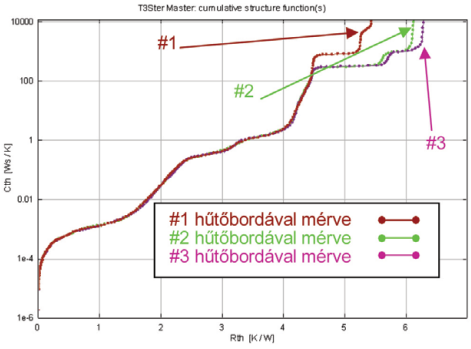


3. ábra. A vizsgált LED-modul hűtőbordák

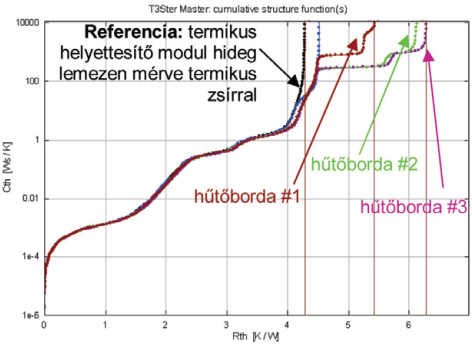
Foglalatba illeszthető LED-modulok hűtőszerelvényeinek termikus vizsgálata



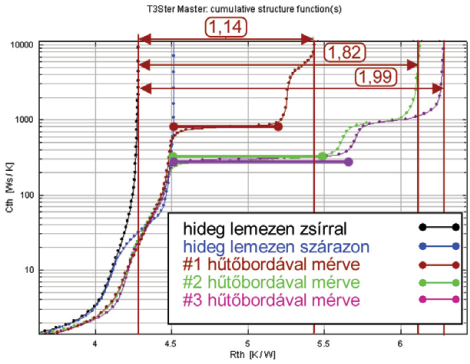
4. ábra. A 2. sz. hűtőbordához csatlakoztatott termikus helyettesítő modul (zöld görbe) és hideg lemezen termikus zsírral (fekete görbe) és szárazon, termikus zsír nélkül (kék görbe) mért helyettesítő modul struktúrafüggvényei



5. ábra. A termikus helyettesítő modul mindhárom hűtőbordával mért struktúrafüggvényei



6. ábra. A hideg lemezen (termikus zsírral, illetve szárazon) és a hűtőbordákkal mért termikus helyettesítő modul struktúrafüggvényei. A hideg lemezen termikus zsírral mért görbét tekintjük referenciának



7. ábra. A 6. ábra nagyított részlete. A struktúra függvényeken színes vizszintes vonallal jelölt részek a hűtőborda és a mérő modul közötti átmeneti hőellenállásoknak felelnek meg. Az ábra tetején külön jelöltük, hogy a referenciához képest hány K/W-tal nagyobb az egyes hűtőbordákkal szerelt összeállítás teljes hőellenállása

Az összes többi mérési összeállítás esetében az ezen referenciához képest bekövetkező hőellenállás-növekmény, az adott hűtési megoldás (hűtőborda geometria és felületi megmunkálás) jóságát jelzi: minél kisebb a növekmény, annál hatékonyabb a hűtés. A 4. ábrán a referenciagörbe szingularitása és a 2. sz. hűtőbordával szerelt összeállításhoz tartozó struktúrafüggvény (zöld görbe) szingularitása közötti különbség 1,83 K/W. Az ábrán jelöltük a mérő modulra értelmezett R_{thJC} hőellenállásnak megfelelő pozíciót (ami a kék és a fekete görbék elválási pontja). Ehhez képest a zöld görbe szingularitása 1,96 K/W-tal nagyobb hőellenállás értéknél van. E két szám különbsége, 0,13 K/W a hűtőborda és a mérő modul közötti átmeneti hőellenállásnak felel meg. Ennek értéke a használt termikus határfelületi anyag fajtájától (termikus zsír, a modul aljára ragasztot elasztikus ún. thermal pad anyag stb), illetve a modult és a hűtőbordát összeszorító erőtől is függ. A struktúra függvények előnye abban is megmutatkozik, hogy segítségükkel ezen (mérésről mérésre nehezen reprodukálható) átmeneti hőellenállás értéke is meghatározható és amennyiben szükséges, az

adatkiértékelésnél figyelembe vehető. Az 5. ábrán a vizsgált három hűtőbordára vonatkozó mérési eredményeket láthatjuk, struktúrafüggvények formájában. A hűtőbordák jóságának számszerű összehasonlítását segíti, ha megint összevetjük a hozzájuk tartozó struktúrafüggvényeket a referenciagörbével (6. ábra és 7. ábra).

Ezek alapján a legjobb hűtés az 1. számú, nagy hűtőbordával érhető el, a referenciához képest 1,14 K/W hőellenállás-növekménnyel. A legnagyobb, közel 2 K/W értékű hőellenállás-növekményt a 3. számú hűtőbordánál tapasztaltuk. Ugyan a 2. és 3. számú hűtőbordák geometriája nagyon hasonló volt, de a LED-modulhoz (illetve esetünkben a mérést szolgáló termikus helyettesítő modulhoz) csatlakozó felületük megmunkálása különbözött. A 7. ábrán jól látszik, hogy ennek jelentős hatása van az adott hűtőborda hőellenállására.

4. Összefoglalás

A foglalatba illeszthető LED-modulok termikus környezetének méréssel való vizsgálatához előnyös az, ha az ilyen modulokat helyettesítjük egy azokat termikus szempontból jól reprezentáló, de szilíciumdiódával vagy tranzisztorral szerelt, a LED-modullal azonos mechanikai kialakítású modullal. Ennek egy nagy előnye, hogy a termikus helyettesítő modul révén a hőellenállás mérése során nincs szükség a kiságárzott optikai teljesítmény mérésére.

Az eredeti LED-modul és a termikus helyettesítő modul hasonló viselkedésének igazolására a modulok mért $Z_{th}(t)$ termikus impedancia görbéiből származtatott struktúrafüggvényeket használtuk. A JESD51-14-es szabványban [11] definiált ún. „dual transient interface" módszer szerint, a struktúrafüggvények alkalmazásával meghatároztuk a termikus helyettesítő modul hőellenállását, valamint a modulhoz illesztett különböző hűtőbordák esetében mért teljes hőellenállásokat, illetve a mérő modul és a hűtőbordák közötti határfelületi hőellenállás értékét. Ezek ismeretében az egyes hűtőbordák „jóságát" számszerűsíteni tudtuk. A struktúrafüggvények segítségével azt is ki tudjuk mutatni, hogy mennyiben járul hozzá a hűtőbordák geometriai kialakítása, illetve a LED-modulokhoz csatlakozó termikus illesztő felületük mechanikai megmunkálása a hűtőbordák teljes hőellenállásához. Ugyan méréseinket a GE egy konkrét, foglalatba illeszthető LED-modulja, és az ezen LED-modulcsaládhoz tervezett hűtőbordák segítségével végeztük, az itt bemutatott termikus minősítő eljárás teljesen általános, ezért az más LED-modulok esetében is alkalmazható.

Irodalomjegyzék

[1]. Zhaga Interface Specification Book 1: „Over-view and Common Information", (Edition 1.6, September 2014)

[2]. Zhaga Interface Specification Book 2: „Type A: Socketable with integrated control gear 70 mm diameter x 45 mm height circular light emitting surface, 57 mm minimum diameter", (Edition 1.4, November 2014)

[3]. G. Farkas, A. Poppe, E. Kollár, P. Stehouwer, „Dynamic Compact Models of Cooling Mounts for Fast Board Level Design", In: Proceedings of the 19th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM'03), San Jose, USA, 11-13 March 2003, pp. 255-262, DOI: 10.1109/STHERM.2003.1194371

[4]. Bum-Sik Seo, Ki-Joung Lee, Jong-Kyung Yang, Young Seek Cho, and Dae-Hee Park, „Development and Characterization of Opti-mum Heat Sink for 30 W Chip on Board LED Down-Light", Transactions on Electrical and Electronic Materials 13(6): pp. 292-296, 2012, DOI: 10.4313/TEEM.2012.13.6.292

[5]. www.gelighting.com/LightingWeb/na/solutions/highlights/infusion-led-module/overview/

[6]. JEDEC Standard JESD51-50, „Overview of Methodologies for the Thermal Measurement of Single- and Multi-Chip, Single- and Multi-PN Junction Light-Emitting Diodes (LEDs)", (April 2012)

[7]. JEDEC Standard JESD51-51, „Implementation of the Electrical Test Method for the Measurement of the Real Thermal Resistance and Impedance of Light-emitting Diodes with Exposed Cooling Surface", (April 2012)

[8]. JEDEC Standard JESD51-52, „Guidelines for Combining CIE 127-2007 Total Flux Measurements with Thermal Measurements of LEDs with Exposed Cooling Surface", (April 2012)

[9]. Poppe András: „Teljesítmény LED-ek új termikus mérési szabványai", In: Barkóczi G., Bolvári G., Szabó F. (szerk.): „Világítástechnikai Évkönyv 2012-2013", pp. 96-102

[10]. www.mentor.com/products/mechanical/micred/t3ster

[11]. JEDEC Standard JESD51-14 „Transient Dual Interface Test Method for the Measurement of the Thermal Resistance Junction-To-Case of Semiconductor Devices with Heat Flow Through a Single Path", (November 2010)

Fémhalogénlámpák fényáramtartásának alternatív, gyorsított vizsgálati módszere

– Zsellér Viktor, Tóth Zoltán –

A cikk célja egy olyan alternatív tesztelési módszer- és az ehhez kapcsolódó vizsgálati eljárás bemutatása, amellyel a gyártók a fejlesztés korai szakaszában megfelelő bizonyosságú indikációt kaphatnak a fémhalogén nagynyomású ívkisülő lámpák fényáramcsökkenéséről és az elektródák állapotáról azok élettartama során. Ez az újfajta megközelítés önmagában is segíthet a fényáramtartás becslése mellett a fejlesztési hibák és a gyártási problémák kiszűrésében, megfelelő biztonsággal azonban csak a konvencionális; megnövelt hő- és teljesítményterhelésen alapuló interpolációs tesztek eredményeinek figyelembe vételével ajánlott a használata.

1. Bevezetés

A vizsgált fémhalogén nagynyomású ívkisülő fényforrások tulajdonságaikból adódóan jellemzően olyan körülmények között kerülnek alkalmazásra, ahol kritikus egy adott megvilágítás vagy fényerősség fenntartása [1]. Az élettartam során bekövetkező fényáram csökkenési folyamat ismerete ezért kritikus fontosságú lehet az adott világítást karbantartó, üzemeltető személyeknek az optimális csere-stratégia és ellenőrzés fenntartásában. Üzembe helyezéskor az új fényforrás akár120 lm/W feletti fényhasznosítással is rendelkezhet, ezen kívül kiváló színvisszaadás mellett akár 24 000 óra élettartam is elvárható [2].

Jelen cikk erősen támaszkodik a korábbi évkönyvekben megjelent írásokra, elsősorban a Világítástechnikai Évkönyv 2012-2013-ben megjelent Hosszú élettartamú fényforrások megbízhatóságának vizsgálata című cikkre, amelyben részletesen bemutatásra került a CMH (kerámia fémhalogén) lámpák élettartammal kapcsolatos szavatossági állításainak elméleti háttere.

Ilyen villamos termékek megbízhatóságának és teljesítményének igazolásához szükséges egy olyan átfogó tesztelési sorozat, amely robosztusságával reprezentálja a valódi alkalmazási környezetben a teljes élettartamot. A korábbi cikkek tanulsága szerint ez szélső értékként legalább 60 000 óra tartóságetést feltételezne a szerencsés anyagszerkezetű egyedeken [3], miközben a lehetséges hibamódok sokszínűsége miatt a mintaszámnak is vállalhatatlanul nagynak kellene lennie. Ennek lerövidítése és elkerülése érdekében érdemes egy olyan fokozott igénybevételnek kitenni a mintákat, amely alapján rövidebb tartóságetési ciklus után is megbízható becslést lehet adni a termék hosszú idejű viselkedésére. Ezt gyorsított élettartam tesztelésnek nevezzük (ALT – Accelerated Life Test). A teszt periódus lerövidítése a tervezési fázisban (és nem a szavatosság megállapításakor) nyílvánvalóan a piacra kerülés idejének meggyorsításában játszik döntő szerepet. Egy-egy apróbb design-, vagy folyamat változtatás teljeskörű tesztelésére megengedhetetlen lenne ennyi erőforrás felhasználása.

A fényáramcsökkenés fő oka a kerámia kisülőcső elfeketedése, amely az elektródacsúcsról leszakadó, WI2-ként távozó, majd a PCA belső falára kicsapódó volfram. A meleg, kb. 3000 K hőmérsékletű elektróda egy összetett folyamatban szublimál a plazmába, másrészt a villamos kisülésben lévő, a villamos térerősség hatására felgyorsult részecskék becsapódása által okozott roncsoló hatástól további degradációt szenved el. Az elektródáról távozó, a kerámiacsövön maradó anyag blokkolja a plazmából emittált fotonok útját és ezzel fokozatosan csökken a fényforrás fényárama. Emellett ezáltal általánosan növekszik a mechanikai feszültség a kerámiában a visszatartott többletteljesítmény miatt, ezzel a lokális hibák hamarabb végzetes meghibásodáshoz, vagyis a kisülőcső eltöréséhez vezetnek.

Korábban van Erk is vizsgálta a különbségeket az elektróda viselkedésében két különböző frekvenciájú üzemeltetés mellett [4], [5]. A 60 Hz-es konvencionális CWA-előtétek és a 100 Hz frekvenciájú vezérlőelektronikákkal táplált azonos lámpatestek sokaságán megfigyelte, hogy az alacsonyabb frekvencia mellett lényegesen rosszabb a CMH-lámpák fényáramtartása és több volfram csapódik ki a falra. Ennek fő oka a magasabb hőterhelés azonos teljesítmény mellett az elektróda csúcsában. Alacsonyabb anód-katód ciklus frekvencia mellett a hőingás a katódon jóval nagyobb, míg a frekvencia emelésével az elektróda hőkapacitásából eredő termikus időállandója miatt a csúcs hőmérséklete egyre inkább állandóvá válik az időben, ezzel a maximális hőmérséklet, amelyet egy periódusban mérhetünk, lecsökken. Elektródakialakítástól függően más és más átviteli függvényt állíthatunk fel a frekvencia és a maximális hőingás mértéke, illetve a hőingás és az elektródafogyás között.

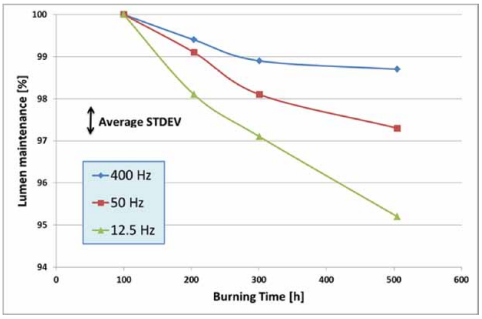
Az elektróda tényleges roncsolódása és a fényáramtartás valójában egy összetettebb folyamat, és ezért nem elég a primer indikációs Diriclet-gömbös mérés eredményeit figyelembe venni. Az elektróda fogyásával az ívkisülés feszültsége a megnövekedett gap (távolság az anód és a katód között) miatt törvényszerű, hogy növekedni fog, ezzel az optikai paraméterek változása miatt a fényáram önmagában nem a falon lévő volfrám mennyiségével korrelál.

2. Kísérlettervezés

Az elektródaállapot nagy felbontású mérésének bemutatása megtalálható a Proceedings of the 13th International Symposium on the Science and Technology of Lighting kivonatában. Az ott bemutatott speciális mérési elrendezés segítségével lehetőség nyílt az elektróda csúcshőmérséklet-eloszlásának időbeli mérésére 10 000 Hz-es működési frekvencia mellett is. A cikkben közölt tesztek során megegyező gyártmányú, fényáramtartást javító adalék- és oxigén nélküli 35 W-os és 70 W-os CMH-lámpákat használtak. A működtetést egy olyan speciális digitális jelfeldolgozós (DSP) ballaszt végezte, amelyen lehetséges volt 1 Hz és 50 000 Hz közötti négyszögjellel stabilan fenntartani a villamos ívet. A kísérlet célja volt több lámpakialakításon megtalálni egy lehetséges átviteli függvényt az elektródacsúcs hőingása és a működtetési frekvencia között. Három meghatározott mérési frekvencia: 12,5 Hz, 50 Hz és 400 Hz alapján megfelelő interpoláció állítható fel az adott határok között. Nagyobb frekvenciákon egyes esetekben akusztikus rezonancia figyelhető meg, amely a következtetések megbízhatóságát ronthatja, és így ez az intervallum (10 000 Hz környezete) már nem része ennek a tanulmánynak. A hosszú időtartamú égetések során nem alkalmaztunk semmilyen kikapcsolási, illetve pihentetési ciklikusságot, mivel a begyújtáskori terhelési sokk a vizsgált hatásoktól eltérő módon roncsolta volna a mintákat.

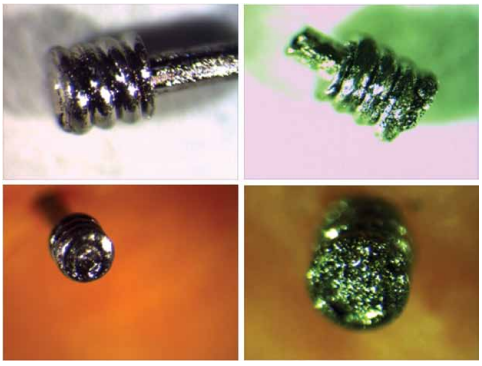
3. Az eredmények

Ahogyan az várható volt, alacsonyabb működtetési frekvenciákon a hőingás amplitúdója nagyobb lett. Már a szokványos 50 Hz-ről 40 Hz-re csökkentve közel 50%-ot nőtt egy 70 W-os kereskedelmi forgalomban kapható fényforráson. A három vizsgált égetési beállításhoz tartozó, mért relatív fényáramtartás átlagát az égetési idő függvényében mutatja be az 1. ábra. Az 50 Hz és a 400 Hz nominális értékeknek tekinthetőek a konvencionális- és a kis frekvenciás elektronikus előtétek körében. Az extrém alacsony 12,5 Hz-es működtetés célja egy olyan karakterisztika felvétele volt, ahol egyértelműen látható, hogy a hőingással összefüggést mutat az elektródadegradáció [6].



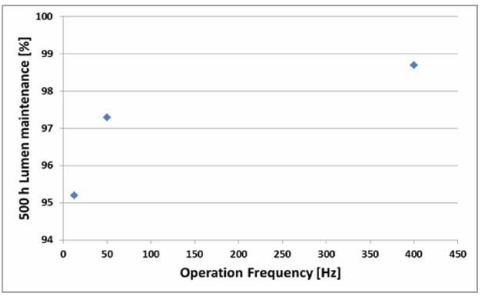
1. ábra. Három vizsgált égetési beállításhoz tartozó mért relatív fényáramtartás átlaga az égetési idő függvényében

A roncsolást az első 500 óra égetési időtartam után jól szemlélteti a 2. ábra, amelyen összehasonlítható a nagyobb 400 Hz-es (bal oldalt) és a kisebb, 12,5 Hz frekvenciájú égetés után az elektróda csúcs és a tip-spirál. Ezeken a sztereomikroszkópos méréseken is jól látszik, hogy míg nagyobb frekvencián minimális anyag távozott az elektródákról, addig a „lassú" átmelegítés számottevő roncsolódást okozott.



2. ábra.
400 Hz-es működtetés 12,5 Hz-es működtetés

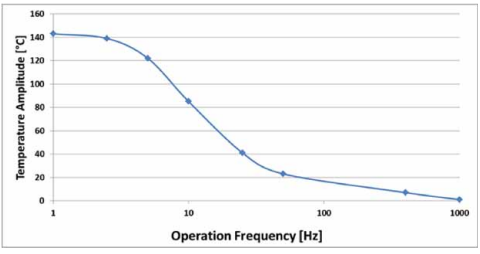
A 3. ábrán tekinthető meg összefoglalva az 500 órához tartozó relatív fényáramtartások átlaga a különböző égetési módok mellett. Ennek jellegéből látszik, hogy a frekvencia növelésével – ahogyan a hőingás mértéke csökken – egyre kevésbé befolyásolja az anyagleválást a kialakuló hőprofil. Ez természetesen lámpatípusonként eltérő lehet; minél kisebb hőkapacitást jelent az elektróda a hőtani modellben (általában minél kisebb az elektróda vastagsága), annál előnyösebb nagyobb frekvenciákon működtetni azt.



3. ábra. Az 500 órás tartóségetés eredményei – relatív fényáramtartás különböző működési frekvenciákon

4. Az elektróda hőtani és anyagtechnológiai modellezése

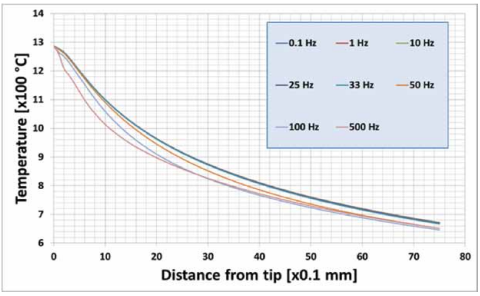
A kísérlet eredményeit felhasználva kifejlesztésre került egy olyan összetett végeselemes modellje a CMH-lámpáknak, amellyel egyes design változtatások rendszerre gyakorolt hatását még a prototípusok megépítése előtt előre lehet jelezni [7]. Ennek egyik eredménye a vizsgált két fényforrástípus hőprofiljának és a csúcs hőmérséklet ingásának pontos szimulációja. A 4. ábra szemlélteti – immár függvényként – a különböző kapcsolási ciklusszám melletti hőingás amplitúdóját a 70 W-os lámpa példáján. Itt szintén megfigyelhető, hogy 400 Hz és 10 000 Hz között ennél a típusnál már minimális jelentősége van a kapcsolás megváltoztatásának.



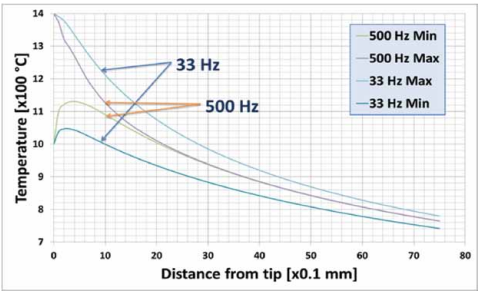
4. ábra. Az elektródacsúcson fellépő hőingás amplitúdója különböző frekvenciák esetén

Az 5. ábra az elektróda tényleges hőprofilját mutatja be a csúcstól a beforrasztásig; minden pontban az időben vett átlagos hőmérsékletet megjelenítve. A diagram érdekessége, hogy bár a csúcs átlagos hőmérséklete mindegyik esetben közel azonos a megegyező betáplált teljesítmény miatt; a magasabb frekvenciák esetében egy időben sokkal állandóbb hőkép alakul ki és nagyobb hőmennyiség képes távozni hővezetés útján. A 0 mm-hez tartozó érték valójában egy absztrakció, itt ténylegesen nincsen hőkapacitást képző anyag. Speciális alkalmazások során – ahol a hőmérséklet megfelelően nagy – ez éppen megfordul a nagyobb kisugárzott teljesítmény miatt.

A 6. ábrán hasonlítható össze a hőmérséklet lengésképe 33 Hz és 500 Hz működési frekvenciák esetén az egyes geometriai pontokban fellépő minimális és maximális hőmérsékletet ábrázolva. Itt szintén megfigyelhető, hogy a nagyobb frekvenciákon kisebb a lengés amplitúdója.



5. ábra. Az elektróda időben vett átlagos hőmérsékletprofilja



6. ábra. Az elektróda időben vett átlagos hőmérsékletprofiljának szélsőértékei

5. Összefoglalás

A cikkben bemutattunk egy alternatív módszert a CMH-lámpák fényáramtartásának vizsgálatára, amely gyakorlatilag azt használja ki, hogy ezen lámpák kis frekvencián működtetve hasonló karakterisztikával, de lényegesen gyorsabb ütemben használódnak el, mint a nominális, ajánlott érték környezetében. Ezzel szemben a frekvencia növelésével nem lehet komoly előnyre szert tenni az élettartam tekintetében. Az eredményeket mérésekkel igazoltuk, amelyek alapján egy modellt is megalkottunk a folyamat mélyebb megértése céljából.

A bemutatott módszert alkalmazva a statisztikailag igazolható eredmények eléréséhez szükséges időtartam jelentősen lerövidült a fejlesztések során, így piacra kerülése meggyorsítható.

Irodalomjegyzék

[1]. Peter Flesch, Light and Light Sources – High-Intensity Discharge lamps, Springer, Berlin, Heidelberg, New York ISBN-10 3-540-32684

[2]. Tóth Zoltán – Hosszú élettartamú fényforrások megbízhatóságának vizsgálata, Világítástechnikai Évkönyv 2012-2013

[3]. Tóth Zoltán, Timothy Russel, T. Kolozsi Zoltán, Vargáné Josepovits Katalin, Kiváló fénytartású és megbízhatóságú fémhalogén (CMH) lámpa fejlesztése, Világítástechnikai Évkönyv 2010-2011

[4]. W. van Erk, Pure Appl. Chem, vol. 22, no. 11 (2000), 2159

[5]. W. van Erk, G.M.J.F Luijks, W. Hitchcock, LS-12 Eindhoven 2010, Proceedings of the 12th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, p. 383

[6]. V. Zsellér, Z. Tóth, LS-13 Troy 2012, Proceedings of the 13th International Symposium on the Science and Technology of Lighting, p.153

[7]. V. Zsellér, Accelerated Lifetime Approximation of Ceramic Metal Halide Lamps, Thesis, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2014

Innovációk a víztisztításban

– Szöllősi György, Vígh Péter –

A LightTech Lámpatechnológiai Kft. környezetbarát és költséghatékony megoldásokat kínál az UV-C csíraölő fényforrás alkalmazásaikhoz. UV-C fényforrásaik változatos felhasználási területei: többek között medencék fertőtlenítése, fürdők vízkezelésese, haltenyészet. De a technológia kiváló megoldást nyújt az élettudományok és a vízkezelési folyamatok (szennyvíz, ivóvíztisztítás, ballasztvíz és a vízregenerálás) berendezéseinél, valamint légtisztításhoz, és felületek sterilizálására is.

1. ábra. LightTech Kft. telephelye Dunakeszin

A LightTech Kft. egyike a világ vezető kvarc-fertőtlenítőlámpa gyártóinak. Termékei alapvető alkatrészét képezik azoknak a berendezéseknek, amelyek segítenek megvédeni az ivóvizet a káros mikroorganizmusoktól, de akár a szennyvizet is képesek fertőtleníteni. A cég innovatív technológiája a nagytisztaságú vizet igénylő iparágaknak (gyógyszer-, elektrotechnikai- és italpalackozó-iparágak), az élelmiszerfeldolgozó üzemeknek, kórházaknak, valamint a hűtő-, fűtő- és légkondicionáló-berendezések gyártóinak is nélkülözhetetlen segítséget jelent.

A LightTech Kft. kutatási és fejlesztési csapata folyamatosan fejleszti az új, környezetbarát technológiákat, amelyek egyediek a fertőtlenítőiparban. A Kft. a környezettudatos megoldások elkötelezett híve világszerte, nem csak a hatékony fertőtlenítést tartja szem előtt, de törekszik arra, hogy hozzájáruljon a biztonságos közellátás és a környezetvédelem egyensúlyához is. Napjainkban az UV-C sugárzással történő vízkezelés egy biztonságosabb és környezetkímélőbb megoldás a széles körben elterjedt, vegyi úton történő eljárásoknál.

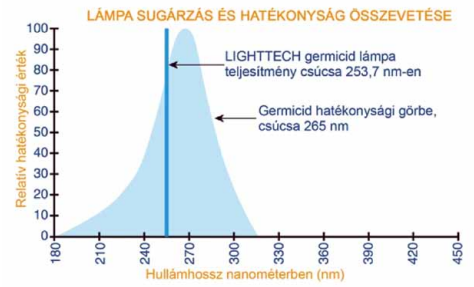
2. ábra. UV-C lámpák alkalmazása a Budapesti Vízművek megyeri telephelyén

A germicidhatás során az ultraibolya fény másodpercek alatt ártalmatlanítja a vírusokat, baktériumokat, élesztőgombákat, szemben a hagyományos kémiai fertőtlenítő megoldással, ahol a baktériumok rezisztenssé válhatnak az alkalmazott vegyszerekkel szemben. Az UV-C sugárzással történő fertőtlenítés során a baktériumok, vírusok és gombák nem válnak ellenállóvá, valamint az eljárás további előnye, hogy a kezelésnek nincsenek toxikus melléktermékei.

A mikroorganizmusok érzékenyek az ultraibolya sugárzás egy meghatározott tartományára, amelynek általában 265 nanométer (nm) közelében van a legérzékenyebb pontja.

Az alacsony nyomású UV-C fénycsövek működési elvükből adódóan, akár 40%-os hatékonysággal is át tudják alakítani a betáplált elektromos energiát 254 nm-es

sugárzássá, amely igen közel esik a már említett 265 nm-es akciós spektrumhoz (3. ábra). Ezáltal nagyon hatékonyan használhatók fertőtlenítési célokra. A besugárzás során az UV-C sugárzás áthatol a sejtfalon, és elnyelődik a nukleinsavakban, ezáltal a genetikai információban átrendeződés következik be. Ez a folyamat megzavarja a sejtek szaporodási képességét. Mivel a sejtek nem képesek szaporodni, elhalnak (pontosabban az UV-C fény kárt okoz a mikroorganizmusok DNS-ében oly módon, hogy kovalens kötéseket alkot a DNS bizonyos szomszédos bázisai között). Ez a formáció meggátolja a DNS-t, hogy képes legyen reprodukálódni.

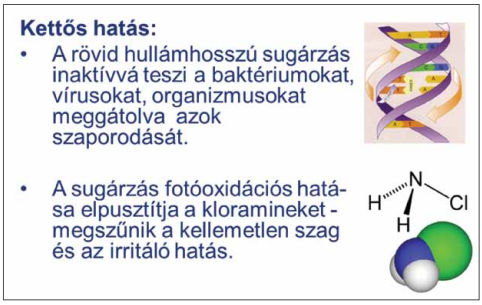


3. ábra. Germicidhatás és lámpasugár intenzitása

Világszerte elismert és szabadalmaztatott innováció a pellet-amalgámtechnológia, amely egyaránt lehetővé teszi a fénycsövek vízszintes, függőleges és ferde irányú alkalmazását. Egy saját fejlesztésű bevonat pedig lehetővé teszi, hogy a fertőtlenítő lámpák élettartama jelentősen megnövekedjen, és akár 16 000 órás működés után is képesek legyenek 85%-ot meghaladó sugárzási teljesítmény kibocsátására. A technológia környezetbarát és megfelel az EU veszélyes anyag tartalom előírásainak (2011/65/EU). Az amalgámtechnológia másik nagy előnye, hogy akár 1000 W névleges teljesítményű konstrukciók létrehozását is biztosítja. Emellett a kisugárzott energia intenzitása széles környezeti hőmérséklet-tartományban is közel állandó marad.

4. ábra. Szabadalmaztatott pellet-amalgám-konstrukció

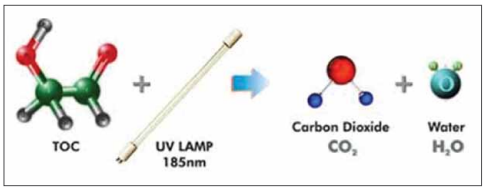
A fertőtlenítő lámpák számos vízkezelő berendezésben használhatók, beleértve a medencék, a fürdők és a haltenyésztés területeit, de az élettudományok és a vízkezelési folyamatok során is, mint a szennyvízkezelés, ivóvíztisztítás, ballasztvíz és a nagytisztaságú víztisztító berendezések működtetése is. A technológia alapvető célja, hogy radikálisan csökkentse a klórfelhasználást, továbbá a káros és irritáló fertőtlenítési melléktermékeket, amelyek DPS (disinfection by-products) néven ismertek (a leggyakoribb DPS-ek a haloecetsavak és trihalometánok). A hagyományos, klórt alkalmazó vízkezelési eljárások ugyanis veszélyt jelenthetnek az egészségre és a környezetre, viszont az UV-C sugárzással történő vízkezelés egy ennél biztonságosabb és környezetkímélőbb megoldást tesz lehetővé.



5. ábra. Germicidlámpák uszodatechnikai alkalmazásának kettős hatása

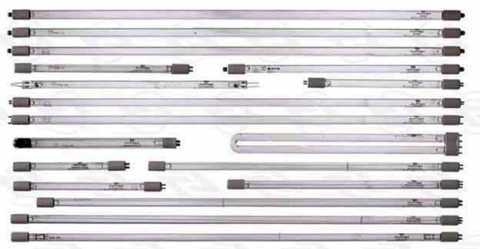
Nem csak a vízkezelésben alkalmazható nagy hatékonysággal a fertőtlenítő UV-technológia, de akár levegősterilizálásra, a kellemetlen szagok megszüntetésére, valamint az oldószere-

ket tartalmazó ipari levegőkibocsátás szabályozására is. A fertőtlenítő UV-sugárzás megtisztítja a levegőt a káros mikroorganizmusoktól, amelyek betegséget okozhatnak, ezért például a kórházak is nagy hasznát veszik az ilyen technológiát alkalmazó termékeknek. Néhány specifikus alkalmazásban ózont használnak a szerves anyagok oxidálására. Az ózontermelő lámpák kihasználják a higanykisülés 185 nm-es intenzitásvonalát, és olyan üvegtestből épülnek, amely átengedi ezt a sugárzást is.



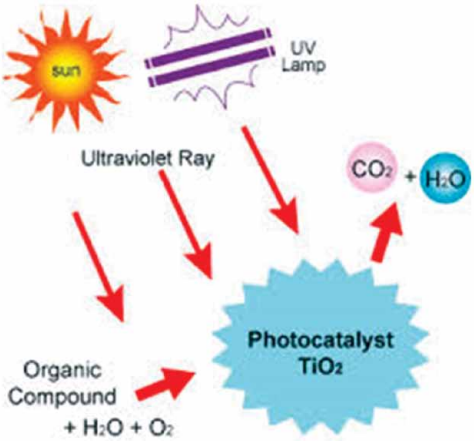
6. ábra. Szerves anyagok csökkentése (TOC – összes szerves széntartalom)

Többek között a szennyvíztisztító üzemekben a kellemetlen szagok ellen, gazdaságokban, kereskedelmi konyhákban, élelmiszerfeldolgozó üzemekben is használják őket. Ezeken kívül olyan iparágakban is hatalmas jelentőséggel bírnak, ahol káros és mérgező vegyi anyagok keletkeznek, mint például a nyomtatás, műanyag- és gumigyártás.



7. ábra. Változatok UVC-lámpaméretekre és lámpafejekre

Az UV-lámpák alkalmasak a felületek fertőtlenítésére is. Kulcsfontosságú, hogy a módszer során vegyszerek nélkül történik a sterilizálás, ez számos iparágban, mint például az élelmiszer-feldolgozó iparban is alapvető előnyt jelent más alkalmazásokkal szemben. Ilyen például a TiO_2 fotokatalizátor, amely UV-sugárzás hatására erős oxidációs közeget hoz létre, hogy felbontsa a káros szerves anyagokat széndioxidra, és vízre.



9. ábra. Szerves anyagok bontása fotokatalízis révén

Új fejlesztések a KMR_12-1-2012-0212 projekt keretében

A projekt célja nagyteljesítményű germicidlámpák és azok gyártásának kifejlesztése volt. Eredményeként prototípus lámpák kerültek kifejlesztésre amalgámos és közepes nyomású technológiákkal.

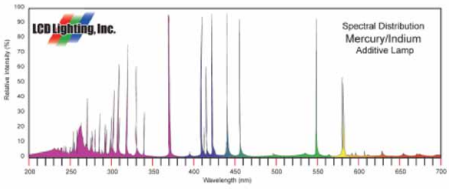
A projekt célja az volt, hogy kikutassa azt a tervezési teret, ahol ezek a nagyteljesítményű lámpák működnek, és meghatározza az összefüggéseket a kritikus paraméterek között. Az elvégzett kísérletek alapján meg kellett győződni a választott paraméterek megfelelőségéről, helyileg kialakított merőrendszerben, illetve valóságos ipari körülmények között is. Ez biztosítja, hogy a nagyteljesítményű lámpa a berendezésekben, ipari körülmények között is jól működjön. Így garantálható az UV-kibocsátás mértéke, az élettartam és a dimmelhetőség.

A választott technológiák alkalmazásának legfőbb indoka, hogy a hagyományos

higanyadagolású lámpáknál a teljesítmény és hőmérséklet egy határon túli emelésével erős hatásfok csökkenés tapasztalható. Ezért jelen projekt megvalósítása során ebben a teljesítmény tartományban (0,5 kW – 6 kW) amalgámos és/vagy ún. közepes nyomású technológiát alkalmaztunk.

Kifejlesztettünk 400 W, 500 W, és 800 W-os amalgámos típusokat UV-C sugárzás tartományban, valamint ózont generáló kivitelben is. Az utóbbi verziónál szintén kétféle megoldást használtunk: kvarcüvegből, vagy a növelt ózontermelő képesség érdekében ún. szintetikus kvarcüvegből készítve. A hosszú élettartam érdekében mindkét esetben speciális védőréteg-bevonatot alkalmaztunk.

A nagy UV-C intenzitású alkalmazások kielégítésére 2 kW és 5 kW közötti teljesítménytartományban készültek típusok, különböző méretekben. Szintén ebben a teljesítménytartományban hoztunk létre olyan sugárzókat, amelyek a nyomdai és a ragasztóiparban használatosak, és jellemzően az UV-A és látható kék fény tartományban sugároznak.



10. ábra. UV-A lámpa jellemző spektrális relatív intenzitáseloszlása

A fényforrások gyártására kidolgoztuk az elemi technológiai lépések láncolatát, és a LEAN-gyártás szervezés elvei szerint telepítettük az új gyártóvonalat.

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség
www.ujszechenyiterv.gov.hu
06 40 638 638

MAGYARORSZÁG MEGÚJUL

A projekt a Magyar Kormány támogatásával, a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség kezelésében, a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap finanszírozásával valósul meg.

LED-ek multi-domain szimulációs modelljei és azok gyakorlati vonatkozásai

– Poppe András, Szalai Albin, Hegedűs János –

A LED-ek ún. multi-domain modelljei konzisztens módon írják le az eszköz elektromos karakterisztikáját, termikus viselkedését és fénykibocsátásának főbb jellemzőit. Az ilyen modellek célja az, hogy egy teljesítmény LED működését lehessen vele szimulálni az ún. rendszerszintű tervezés során, ahol jellemzően vagy az elektromos környezet, vagy a mechanikai környezet vagy ezek együttesének kialakítása történik. Tekintve, hogy a végső cél egy adott világítástechnikai feladat megoldása, a rendszer (lámpatest) szintű szimulációra szánt multi-domain modellek egyik fontos feladata az, hogy segítségükkel megállapítható legyen az adott (termikus és elektromos) körülmények között alkalmazott LED üzemi fényárama. Jelen cikkünkben áramkör-szimulációs környezetben (pl. a széles körben ismert Spice-hoz hasonló programokban), illetve lámpatestszintű termikus szimulációra alkalmas programokban (pl. az ún. CFD programokban) használható LED-modelleket és az ilyen modellek használatához szükséges paraméterek meghatározásának a módját vázoljuk fel.

1. Bevezetés

A teljesítmény LED-ek működését egymással szoros csatolásban lévő fizikai folyamatok határozzak meg. Ezért olyan ún. multi-domain modellekre van szükség a LED-es alkalmazások tervezésekor, amelyekkel konzisztens módon, szimultán szimulálhatjuk a LED-ek elektromos, termikus és optikai tulajdonságait. Gyakorlati szempontból tehát olyan modellekre van szükség, amelyekkel a tervezéskor figyelembe vehető az, hogy a pn-átmenet hőmérsékletétől függ a LED-ek energiakonverziós hatásfoka, ill. fényhasznosítása, végső soron tehát az üzemi fényárama. A modellalkotásnál azt is figyelembe kell venni, hogy milyen jellegű tervezési feladat megoldása során használatos szimulációs programba szánjuk azt. Elektromos tervezéskor áramkör-szimulációs programba (pl. Spice) illeszthető modellre van szükség, míg például egy LED-es lámpatest mechanikai tervezése során a környezet felé történő hőátadás szimulációjára is szükség van, amelyet jellemzően ún. CFD (computational fluid dynamics) alapú termikus szimulációs programmal (pl. FloEFD [1]) végezhetünk el.

Fontos tehát egy LED-lapka (pontosabban a pn-átmenet) hőmérsékletének ismerete, amelyet a tokozott LED ún. R_{thJA} junction-to-ambient (a pn átmenettől, azaz a lapka aktív felületétől a termikus környezetig terjedő) hőellenállása és a LED disszipációja alapján számolhatunk ki a LED állandósult állapotára vonatkozólag. A disszipáció kiszámításához ismerni kell a LED nyitófeszültségét, nyitóáramát és kisugárzott optikai teljesítményét:

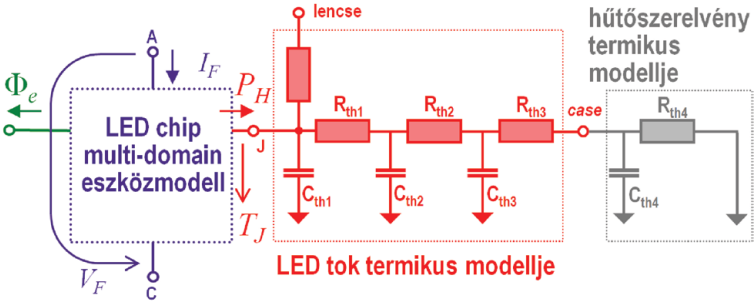
$$P_H = I_F \cdot V_F - P_{opt} \qquad (1)$$

ahol $P_{opt} = \Phi_e$ a LED teljes radiometriai fluxusa. A következőkben azt tekintjük át, hogy milyen modell egyenletekkel célszerű a LED-ek komplex működését leírni áramkör-szimulációs programok, illetve CFD-alapú termikus szimulációs programok számára, ezen modellegyenletek paramétereit hogyan határozhatjuk meg, illetve milyen módon számolhatjuk ki a világítástechnikai tervezés számára legfontosabb jellemzőt, az üzemi fényáramot.

2. LED-ek multi-domain áramkör-szimulációs modellje

2.1. A modell egyes részei

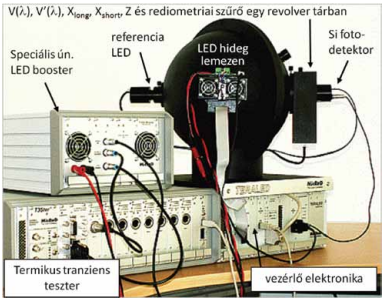
A LED-ek multi-domain modelljeinek [2], [3], [4] alapja egy olyan áramkör-szimulátorba illeszthető modell, amely lehetővé teszi a LED-csip hőmérsékletfüggő nemlineáris elektromos karakterisztikájának, a LED-tok termikus viselkedésének és a LED fénykibocsájtásának az egyidejű szimulációját. Egy ilyen modell struktúráját az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. Egy tokozott LED multi-domain szimulációs modelljének vázlata. I_F a teljes nyitóáramot, V_F a LED külső kapcsai közt mérhető nyitófeszültséget, T_J a lapkahőmérsékletét, Φ_e az emittált optikai teljesítményt, P_H pedig a LED disszipációját jelöli

E szerint célszerű a LED-tok termikus viselkedését a LED-lapka (csip) modelljétől elválasztható termikus RC hálózat formájában megadni. Egy ilyen modell termikus tranziens méréséből meghatározható; ennek részleteivel a 3. szakaszban foglalkozunk.

A LED aktív részének (pn-átmenet) a modellezése más-más megközelítést igényel egy áramkör-szimulációs program, illetve egy CFD termikus szimulációs program esetében. Azonban mindkét esetben fontos, hogy a modellparaméterek a LED-ekre vonatkozó méréstechnikai szabványoknak [5] megfelelő mérési összeállításokkal végzett mérések alapján könnyen megállapíthatóak legyenek. A 2. ábrán egy olyan mérési összeállítás képe látható, amelynek a segítségével a modellalkotáshoz szükséges mérések teljesen automatizálhatóan elvégezhetőek.



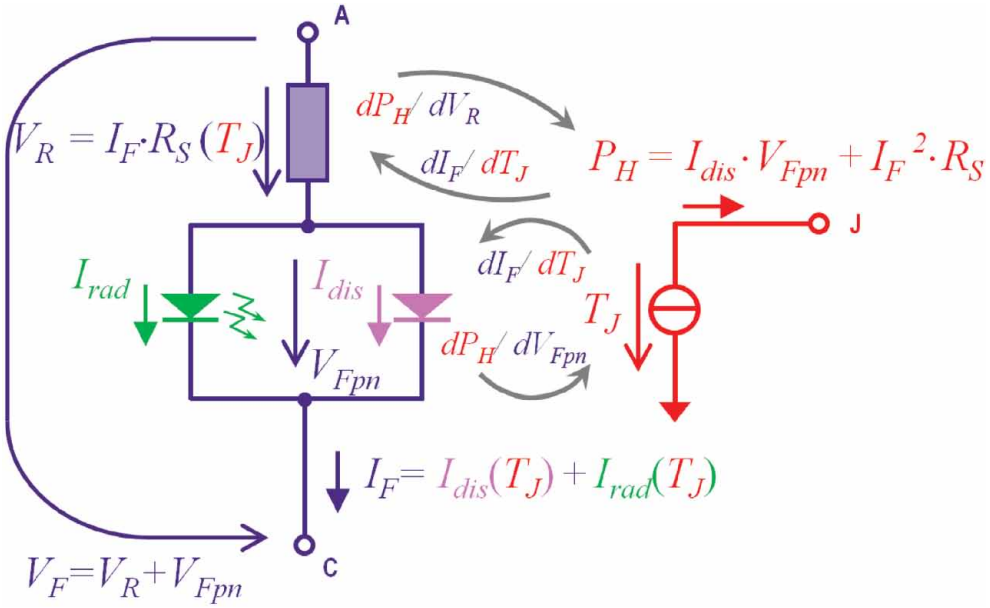
2. ábra. Tokozott LED-ek, illetve áramköri hordozóra (pl. MCPCB-re) szerelt kisebb LED-modulok teljes körű (kombinált elektromos, optikai és termikus) mérésére szolgáló gyakorlati mérési összeállítás

2.2. LED-csip elektromos modellje áramkörszimuláció céljára

A legtöbb áramkör-szimulációs program az ún. csomóponti potenciálok módszerét alkalmazva működik, ezért az ilyen programok számára a feszültség függvényében kifejezett eszközkarakterisztikákat célszerű megadni. Félvezető diódák esetében ez a jól ismert exponenciális karakterisztika, az ún. Shockley-modell:

$$I_F(V_F) = I_0\left[\exp(V_F/(mV_T)) - 1\right] \quad (2)$$

ahol I_0 az ún. szaturációs áram, $V_T = kT/q$ az ún. termikus feszültség és m az ún. idealitási faktor, k a Boltzman-állandó, T a pn-átmenet abszolút hőmérséklete, q az elemi töltés. Egy pn-átmenet katódjában (n adalékolású félvezető) az elektromos áramot a többségi töltéshordozó elektronok vezetik, míg a p adalékolású oldalon a lyukak. A pn-átmenet környékén az áramvezetés „stafétabotját” rekombináció révén adják át egymásnak a lyukak és az elektronok. A rekombináció kétféle módon mehet végbe: ún. direkt sávátmenettel, amelynek révén a rekombináció során a félvezető anyag tiltott sávszélességének megfelelő hullámhosszúságú fénykibocsátás történik, illetve ún. indirekt sávátmenettel, amikor a rekombinálódó elektronok a félvezető kristályrácsának adják át a rekombináció során felszabaduló energiájukat, azt melegítik. Az előbbit radiatív, az utóbbit disszipatív rekombinációs folyamatnak nevezzük. Egy LED



3. ábra. Egy elektrotermikus áramkörszimulációs programba építhető LED-modell topológiája és legfontosabb ágjellemzői

esetében mindkét folyamat egyszerre jelentkezik, így egy LED nyitóáramát modellezhetjük úgy, hogy azt két komponensre bontjuk.

Az egyik összetevő a disszipatív, a másik pedig a fénykibocsájtással járó (a kristályrácsot tehát nem melegítő) radiatív rekombinációs folyamatokhoz rendelhető. A 3. ábra jelöléseit felhasználva ezt fejezi ki a (3) egyenlet:

$$I_F(V_{Fpn}) = I_{dis}(V_{Fpn}) + I_{rad}(V_{Fpn}) \qquad (3)$$

Ennek értelmében egy LED ún. belső pn-átmenetét úgy tekinthetjük, mintha azt két párhuzamosan kapcsolt dióda alkotná: az egyik csak disszipál, melegíti a LED-lapkát, a másik pedig csak fényt bocsát ki, mintha az egy 100%-os hatásfokú LED lenne. Ezt, a belső pn átmenetet tartalmazó modellt, kiegészítve a dióda elektromos soros ellenállásával szemlélteti a 3. ábra. A LED nyitóáramának e két összetevőjét is a Shockley-féle modellel írhatjuk le úgy, hogy mind a disszipatív, mind a radiatív komponenshez egy-egy áramkonstanst és idealítási faktort rendelünk:

$$I_F(V_{Fpn}) = I_{0_dis} \cdot \left[\exp(V_{Fpn}/(m_{dis}V_T)) - 1\right] + I_{0_rad} \cdot \left[\exp(V_{Fpn}/(m_{rad}V_T)) - 1\right] \qquad (4)$$

A 3. ábrán látható modell a LED belső pn-átmenete mellett tartalmazza az R_S soros ellenállást és tartalmaz egy termikus ágat is, ami egyetlen, a LED P_H disszipációját leíró „áramgenerátorból" áll. Ezen ág a „termikus föld" és a LED pn-átmenetét termikus szempontból jellemző ún. junction csomópont közt található. E termikus csomópont „potenciálja" a pn-átmenet hőmérséklete, a T_J lapkahőmérséklet (lásd az 1. és a 3. ábrát). A LED (1) egyenlet szerinti disszipációja megfelel a 3. ábrán szereplő összefüggésnek: a belső pn-átmenet disszipatív rekombinációs folyamatai miatti hőtermelés és a LED soros ellenállásán fellépő disszipáció összegének. A (4) egyenlet jobb oldalán szereplő áramösszetevőket a 2. ábra szerinti műszer-

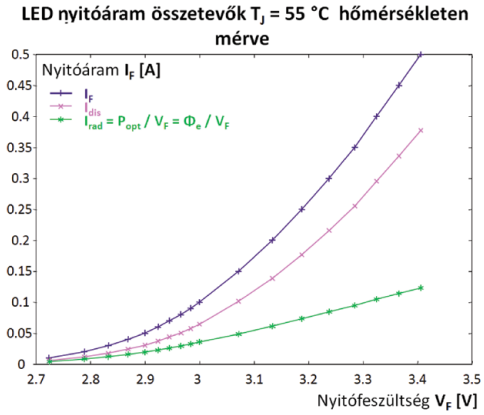
összeállítással meg is mérhetjük. A 3. ábra jelöléseit használva, a radiatív rekombinációs folyamatokhoz rendelhető áramösszetevőt a mért teljes radiometriai fluxus (emittált optikai teljesítmény), és a belső pn-átmenet nyitófeszültsége hányadosaként kapjuk:

$$I_{rad}(V_{Fpn}) = \Phi_e / V_{Fpn} \quad (5)$$

A disszipatív áramösszetevő ennek és a teljes nyitóáramnak a különbsége:

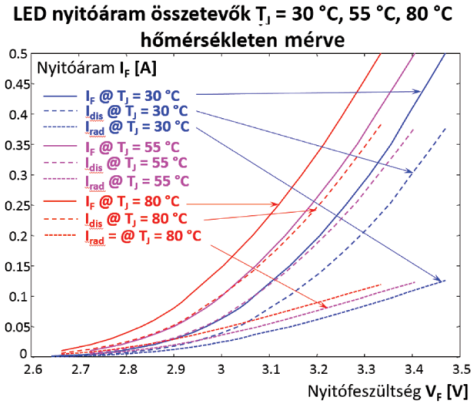
$$I_{dis}(V_{Fpn}) = I_F(V_F) - \Phi_e / V_{Fpn} \quad (6)$$

Színes LED-ek esetében a fenti modell nagyjából a LED pn-átmenetében lezajló fizikai folyamatoknak felel meg. Fehér LED-ek esetében azonban a mért fényteljesítmény a fénypor 100%-nál kisebb konverziós hatásfoka miatt kisebb lesz, mint a fényport gerjesztő, kék fényt előállító félvezető lapkát elhagyó teljes fényteljesítmény.

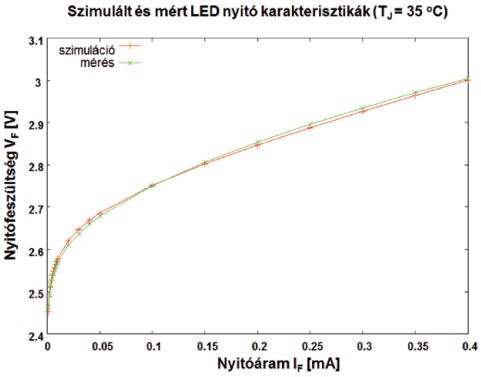


4. ábra. Egy fehér LED 55°C-os lapkahőmérséklet mellett mért izotermikus feszültség-áram karakterisztikái.

Emiatt a (4)-(6) egyenletekkel adott LED pn-átmenet modell csak egy ún. black box (fekete doboz) modellnek tekinthető. Ez a modell formailag ugyanolyan, mint a színes LED-ekre alkalmazható fizikai modell és segítségével ugyanolyan pontos szimulációk végezhetők, mint a színes LED-ek esetében. A 4. ábrán egy fehér LED konstans 55°C-os lapkahőmérséklet mellett mért feszültség – áram karakterisztikái láthatóak. A kék görbe a teljes nyitóáram, a rózsaszín görbe a disszipatív rekombinációs folyamatokhoz tartozó, a zöld görbe pedig a fényemissziót okozó áramösszetevő. (Az egyes áramkomponensek jelölésére alkalmazott színezési konvenció megegyezik a 3. ábrán alkalmazottal.) A modell részét képezi a 3. ábra szürke nyilakkal jelzett elektrotermikus és termoelektromos „transzfer vezetések" kiszámítása is. Ezek értékeit az ábrán feltüntetett parciális deriváltak adják.



5. ábra. Egy fehér LED három különböző lapkahőmérséklet mellett mért izotermikus feszültség-áram karakterisztikái

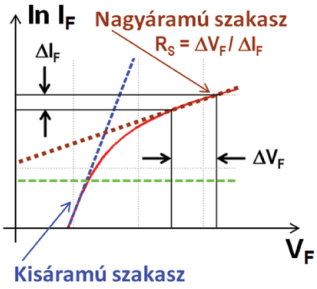


6. ábra. Egy fehér LED 35°C-os lapkahőmérsékletre vonatkozó mért és szimulált elektromos karakterisztikája

A karakterisztikák hőmérsékletfüggését meghatározhatjuk, ha a kérdéses LED-et több különböző lapkahőmérséklet mellett is megmérjük. Az 5. ábrán egy ilyen karakterisztikasereg látható. A 6. ábrán a (4)-(6) egyenletek segítségével számított nyitófeszültség – nyitóáram karakterisztikát vetünk össze az eszköz mért karakterisztikájával. A mért és szimulált karakterisztikát jó illeszkedését a modellegyenletek mellett a jó modellparaméter-készlet biztosítja. A paraméter identifikációval a 2.3. szakaszban foglalkozunk bővebben.

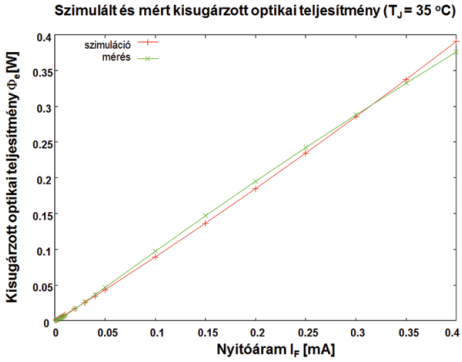
2.3. Az áramköri modell paraméter-identifikációja

A (4)-(6) egyenletekkel adott LED-modell paramétereit a szokásos módon határozhatjuk meg. A folyamatot a teljes $I_F - V_F$ karakterisztika nagyáramú szakaszán kezdjük az R_S soros ellenállás meghatározásával, amelyet a 7. ábra szemléltet. Ezen karakterisztikaszakaszon a dióda soros ellenállása dominál, az áram megváltozásával egyenesen arányos feszültségváltozást eredményezve: $R_S = \Delta V_F / \Delta I_F$ – jó kezdeti értéket szolgáltatva a soros ellenállás globális görbeillesztéssel való pontosabb meghatározásához.



7. ábra. Egy dióda soros ellenállásának meghatározása

Ezt követően minden mért munkapontra kiszámolhatjuk a belső pn-átmeneten eső $V_{Fpn} = V_F - I_F \cdot R_S$ feszültséget. Ennek ismeretében az (5) és (6) egyenlet szerinti módon kiszámolhatjuk az I_{rad} és I_{dis} áramösszetevőket. Az így megkapott feszültség – áram karakterisztikákhoz illesztve (4) egyenletben szereplő exponenciális összefüggéseket meghatározhatjuk az I_{rad_0} és I_{dis_0} áramegyütthatókat és az m_{rad} és m_{dis} idealitási faktorokat.



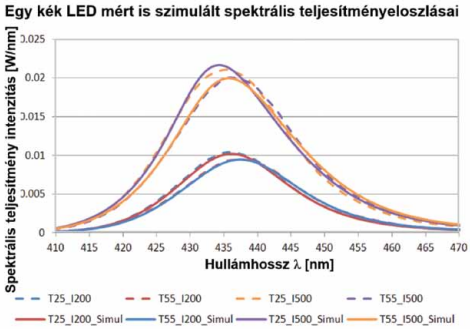
8. ábra. Egy fehér LED 35°C-os lapkahőmérsékletre vonatkozó mért és szimulált nyitóáram – optikai teljesítmény karakterisztikái

A fenti folyamatot az összes lapkahőmérsékletre mért izotermikus karakterisztikákra elvégezve, a soros ellenállás, az áramegyüttható és az idealitási faktorok hőmérsékletfüggését is meghatározhatjuk. Ezt az összes mért (I_F, T_J) munkapontra vonatkozó globális optimalizációval végezzük. Az optimalizáció során a célfüggvény természetesen a mért és szimulált karakterisztikák valamilyen norma szerinti legkisebb eltérése. Ilyen norma lehet a feszültség-áram karakterisztikák illeszkedésének (6. ábra) négyzetes hibája, vagy az energiakonverziós hatásfok, illetve az áram-optikai teljesítmény karakterisztikák (8. ábra) négyzetes hibája, vagy célfüggvény lehet akár a LED mért és számított harmonikustorzítása közti különbség minimalizálása [4], illetve ezen normák alkalmas súlyozású keveréke.

2.4. A fénykibocsátás modellezése

Amennyiben célunk pusztán a LED által kibocsátott teljes optikai teljesítmény

megállapítása, azt a (4)-(6) egyenletek szerinti modell gyakorlatilag azonnal szolgáltatja, hiszen az (4) egyenlet alapján az áramkör-szimulációs program által számított I_{rad} és V_{Fpn} mennyiségek alapján számolható: $\Phi_e = I_{rad} \cdot V_{Fpn}$.



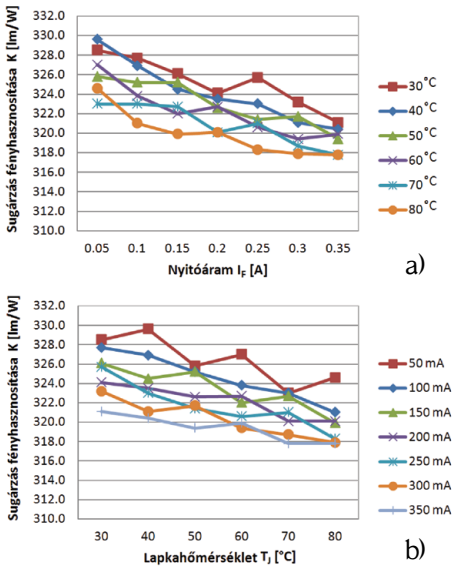
9. ábra. Egy kék LED 25°C-os és 55°C-os lapkahőmérséklet és 200 mA-es, valamint 500 mA-es nyitóáram esetén mért és szimulált spektrális teljesítményeloszlása

2.4.1. Színes LED-ek esete

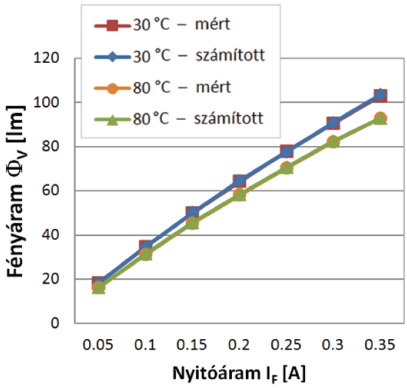
A teljes emittált optikai teljesítmény mellett színes LED-ek esetében fontos lehet a spektrális teljesítményeloszlás tetszőleges nyitóáram és lapkahőmérséklet kombináció esetére történő számítása. Erre Keppens és munkatársai nyomán [6] egy olyan modellt dolgoztunk ki [3], [7], amely néhány referenciahőmérséklet és nyitóáram érték mellett mért spektrális teljesítményeloszlás görbéhez történő illesztéssel megállapított paraméterek alapján az aktuális I_{rad} áramösszetevő és a T_j lapkahőmérséklet esetére meghatározza a LED spektrális teljesítményeloszlását. Ilyen mért és számított görbéket mutatunk be a 9. ábrán. Az így számított spektrumok alapján egy színes LED tetszőleges fénytechnikai paramétere az ismert integrálok segítségével számolható.

2.4.2. Fehér LED-ek esete

Fehér LED-ek esetében a spektrális teljesítményeloszlás modellezése nem reális célkitűzés. Ugyanakkor a teljes fényáram tetszőleges munkaponti áramra és lapkahőmérsékletre vonatkozó számítása fontos feladat. Ehhez célszerű a CIE Nemzetközi Világítástechnikai Szótárában (ILV) definiált, szokásosan *K*-val jelölt sugárzás fényhasznosítása (luminous efficacy of radiation) mennyiséget [9] felhasználni, amellyel a LED fényárama az emittált optikai teljesítményből számolható: $\Phi_V = K \cdot \Phi_e$.



10. ábra. Egy fehér LED K értékének mért áram- és hőmérsékletfüggése



11. ábra. Egy fehér LED mért és a (7) egyenlet szerint számított fényáramának áram- és hőmérsékletfüggése

A 2. ábra szerinti mérőrendszerrel K áram- és hőmérsékletfüggése meghatározható. A 10. ábra ilyen mérési eredményeket mutat be. Ezek alapján a sugárzás fényhasznosításának áram- és hőmérsékletfüggésére lineáris közelítés adható. Ezzel, illetve a LED áramköri modellje által számított mennyiségekkel egy fehér LED fényáramának számítására az alábbi modell adható:

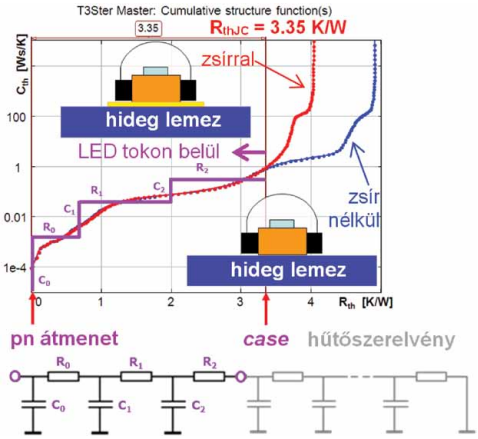
$$\Phi_V = (K_0 + \alpha_T \cdot (T_J - T_{J0}) + \alpha_I \cdot (I_F - I_{F0})) \cdot I_{rad} \cdot V_{Fpn} \quad (7)$$

ahol K_0 a sugárzás fényhasznosításának, a T_{J0} referencia (lapka) hőmérsékleten mért értéke, α_T és α_I a K lineáris hőmérséklet- és áramfüggését leíró együtthatók.

A 11. ábra szemlélteti a fényáram (7) egyenlet szerinti modelljének pontosságát. Az így számított fényáramot az áramkör-szimulációs programok számára szánt LED-modellben egy olyan vezérelt áramgenerátorral lehet leírni, amelynek árama a (7) egyenlet segítségével számolt értékkel egyenlő.

3. A LED-tok termikus modellje

A LED-tokok termikus modelljét is előállíthatjuk a 2. ábrán bemutatott kombinált termikus és radiometriai/fotometriai LED-mérőállomással (a JEDEC JESD51-51, 51-52 és 51-14-es szabványok [5] együttes alkalmazásával) mért adatok alapján. Ezek szerint a hideg lemezre szerelt LED-tok valós (azaz a kisugárzott teljes optikai teljesítményt is figyelembe vevő módon megkapott), $Z_{th}(t)$ termikus impedancia görbéjét kell megmérnünk úgy, hogy a LED-tok és a hideg lemez közt kétféle termikus határfelületi ellenállást valósítunk meg.



12. ábra. Egy teljesítmény LED-tok termikus modelljének a JEDEC JESD51-14-es szabvány szerinti végzett termikus tranziens mérések alapján történő megállapítása

Az első esetben „szárazon", azaz ún. termikus zsír alkalmazása nélkül, majd a második esetben a tok hűtőfelülete és a hideg lemez közti átmeneti ellenállást csökkentő termikus zsír (ún. TIM – thermal interface material – termikus határfelületi anyag) alkalmazásával mérünk. Ezután a mért impedanciagörbéket ún. struktúrafüggvényekké alakítjuk. A struktúrafüggvények a LED pn-átmenetétől a környezetig (itt: a hideg lemezig) terjedő hővezetési utat alkotó régiók rész-hőellenállásainak és hőkapacitásainak a „térképe". Azért nevezzük struktúrafüggvénynek, mert alakja a hővezetési út anyagi összetétele és geometriai szerkezete szerint változik. A két mérés közötti különbség a tok és a hideg lemez között alkalmazott strukturálisváltozás (termikus zsír hiánya/jelenléte), így a két méréshez tartozó struktúrafüggvények elválási pontja pont annak a fizikai helynek, nevezetesen a LED-tok aljának, azaz a tok "case" felületének felel meg, ahol a változást létrehoztuk (12. ábra). Az ehhez a ponthoz tartozó hőellenállás értéke a JEDEC JESD 51-14-es szabvány [10] szerint a tok ún. R_{thJC} junction-to-case hőellenállása.

Ez a hőellenállás érték állandósult állapotbeli (DC) szimulációhoz elégséges, de ha

pontos tranziens szimulációkat is szeretnénk végezni, akkor a hőkapacitások figyelembevétele is szükséges. Ha tehát a struktúrafüggvényeknek a LED-tokot jellemző, az origó és az R_{thJC} pont közötti szakaszát egy lépcsős függvénnyel közelítjük, akkor a lépcsőfokok hossza a hővezetési utat dinamikus szempontból modellező RC-létrahálózat ellenállásértékeit, a lépcsők magassága pedig ezen hálózat hőkapacitás értékeit adja meg, ahogy azt a 12. ábra is szemlélteti.

Az így előállított termikus RC-hálózat az, amit a LED áramköri modelljének J jelű termikus kapcsához kell csatlakoztatnunk, ahogy azt az 1., illetve a 3. ábrán láthatjuk. (A termikus modellt természetesen a „case" csomópontnál a hűtőszerelvény termikus modelljével le kell zárnunk.)

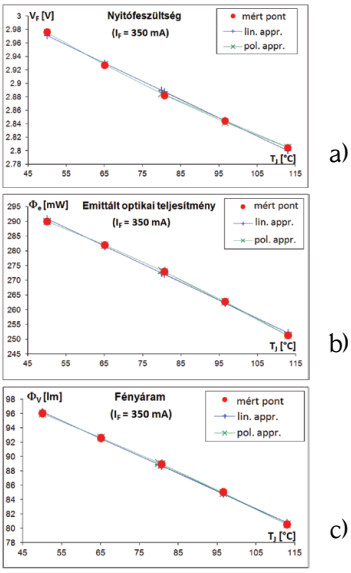
A LED-tokok fenti módon elkészített termikus hálózati modellje (vagy kompakt modellje) nem csak elektrotermikus áramkör-szimulációs programokban való felhasználásra alkalmas, hanem pl. egy lámpatest mechanikai CAD-tervei alapján készített, részletes termikus modellbe is beépíthető, az arra alkalmas termikus szimulációs programokban. Az ilyen kompakt modellek alkalmazását számos ún. CFD-program is támogatja. Ezek révén az igen számításigényes áramlástani számításokat is végző termikus szimulációs programok sebessége valamelyest gyorsítható azáltal, hogy a LED-tokok esetében nem végeznek részletes számításokat. A kompakt termikus modellek másik előnye az, hogy nem tartalmaznak a tokok részletes szerkezetére vonatkozó semmiféle gyártási titkot, így akár a LED-gyártók maguk is a lámpatesttervezők rendelkezésére bocsáthatnak ilyen modelleket. Nyilvánvalóan az sem okozhat nagy gondot, ha ilyen modelleket a gyártók nem publikálnak, hiszen az itt ismertetett módon mérési eredmények alapján bárki elkészítheti a számára fontos LED-tokok ilyen kompakt termikus modelljeit.

4. LED-ek egyszerűsített modellje

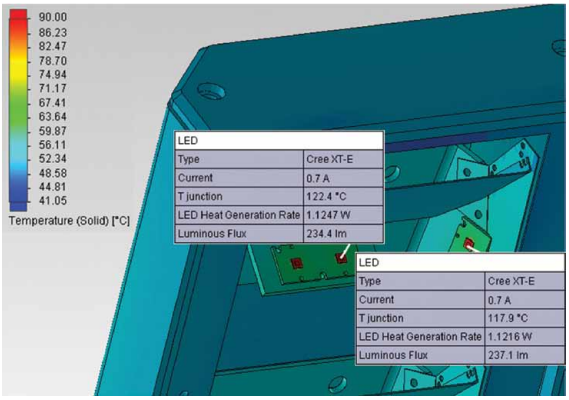
A gyakorlati életben a teljesítmény LED-eket áramgenerátoros elektromos táplálással működtetik. Ez tehát azt jelenti, hogy az I_F nyitóáramuk konstans. A félvezetődiódák elméletéből ismert, hogy ilyen esetben a pn-átmenet nyitófeszültsége növekvő hőmérséklettel csökken (13 a. ábra). A nyitófeszültség ilyen megváltozása, tág hőmérsékleti határokon belül egy lineáris közelítéssel pontosan leírható:

$$V_F(I_{F0}, T_J) = V_{F0} + S_{VF0} \cdot (T_J - T_{J0}) \quad (8)$$

ahol I_{F0} a LED pn-átmenetére kényszerített ismert nyitóáram, V_{F0} a nyitófeszültségnek az ezen áram mellett egy (tetszőlegesen megválasztott) T_{J0} referencia-hőmérsékleten mért értéke, S_{VF0} a nyitófeszültség-változás hőmérsékleti együtthatója. Egyetlen pn-átmenet esetében S_{VF0} -1,5 .. -2 mV/°C körüli, konkrét értéke függ a pn-átmenetet alkotó félvezető anyag tiltott sávszélességétől és az átmenetre kényszerített nyitóáramtól is.



13. ábra. Egy 1 W-os fehér LED konstans nyitóáram mellett mért nyitófeszültségének, optikai teljesítményének és fényáramának hőmérsékletfüggése



14. ábra. Egy tükrös optikai rendszerrel szerelt LED-es közvilágítási lámpatest virtuális prototípusának termikus szimulációs eredményei a FloEFD programban. A hőmérsékleteloszlás mellett a LED-ek lapkahőmérsékleteit és az ezen hőmérsékletekhez tartozó üzemi fényáram értékeit is kiszámolja a program

Áramgenerátoros táplálás esetén, ahogy az a 13 b. és 13 c. ábrán is látszik, a kisugárzott teljes optikai teljesítmény, illetve a teljes fényáram is növekvő lapkahőmérséklet esetén csökken. Nagyon sok LED esetében, különösen akkor, amikor a nagyáramú karakterisztikán a soros ellenállás hatása dominál, ez a hőmérséklet-függés a nyitófeszültséghez hasonlóan egy lineáris összefüggéssel jól közelíthető:

$$\Phi_e(I_{F0},T_J) = \Phi_{e0} + S_{\Phi e0}\cdot\left(T_J - T_{J0}\right) \quad (9)$$

$$\Phi_V(I_{F0},T_J) = \Phi_{V0} + S_{\Phi V0}\cdot\left(T_J - T_{J0}\right) \quad (10)$$

ahol T_{J0} praktikusan ugyanaz a referencia-hőmérséklet, mint ami a (8) egyenletben is szerepel, Φ_{e0} és Φ_{V0} pedig a kisugárzott optikai teljesítménynek, illetve a fényáramnak ezen referencia-hőmérsékleten mért értéke, $S_{\Phi e0}$ és $S_{\Phi V0}$ e fluxusváltozások hőmérsékleti együtthatói.

Tehát, ha egy adott I_{F0} nyitóáramra és T_{J0} referenciahőmérsékletre ismertek a V_{F0}, Φ_{e0} és Φ_{V0}, valamint az S_{VF0}, $S_{\Phi e0}$ és $S_{\Phi V0}$ modell-paraméterek értékei, akkor a fenti lineáris összefüggések segítségével a CFD megoldó algoritmuson belül az aktuális T_J hőmérséklet meghatározása érdekében végzett néhány iteráció után [amelynek során az (1)-es, a (8)-es és a (9)-es egyenletet használjuk], a (10)-es egyenlet segítségével egy lámpatestbe beépített összes LED lapkahőmérséklete, disszipációja és üzemi fényárama meghatározható.

Ezen konstans nyitóáramra vonatkozó egyszerűsített multi-domain LED-modell hatalmas előnye, hogy paraméterei a szokásos LED-mérések eredményeiből egyszerű lineáris regresszió segítségével, magának a mérőrendszernek az adatkiértékelő programjában meghatározhatóak. Ez a funkció a 2. ábrán látható mérőrendszerhez tartozó legfrissebb adatkiértékelő programban is elérhető.

5. Alkalmazási példa

A 3. szakaszban ismertetett termikus kompakt modellezés egyszerűsített multi-domain LED-modellt a Mentor Graphics cég a FloEFD nevű, MCAD rendszerbe ágyazott CFD szimulációs rendszerében [1] implementálta. A LED-tokok termikus modelljeit a hozzájuk tartozó multi-domain LED-modell paraméterekkel együtt egy LED-modellkönyvtárból választhatja ki a lámpatesttervező gépészmérnök. A termikus peremfeltételek megadása után a LED-tokok kompakt modelljeivel kiegészített lámpatestmodell CFD-szimulációja során a program kiszámítja a lámpatesten a részletes hőmérséklet-eloszlást is és a lámpatestbe beépített LED-ek lapkahőmérsékleteit is, valamint

a (10)-es egyenlet segítségével minden egyes LED-re meghatározza az adott hőmérséklethez tartozó üzemi fényáram értékét is. Ilyen szimulációs eredményt mutat be a 14. ábra.

6. Összefoglalás

A teljesítmény LED-ek ún. multi-domain, kombinált elektromos-termikus és optikai modelljei fontos segédeszközt jelentenek a LED-es alkalmazástervezők számára. Az áramkör-szimulációs programokban implementálható modellek segítségével az elektromos munkapont meghatározása közben a LED-ek saját melegedése, és az ennek következtében fellépő fényáramváltozása vehető figyelembe. A konstans, kényszerített munkaponti áram esetére vonatkozó egyszerűsített LED-modellek MCAD-rendszerbe ágyazott CFD-szimulációs környezetben használva, lehetővé teszik a lámpatestek termikus szempontból helyes tervezését. A szimuláció révén a mechanikai kialakításnak a lámpatestbe épített LED-ek üzemi fényáramára gyakorolt hatása azonnal megállapítható.

Az itt ismertetett LED-modellek gyakorlati előnye, hogy paramétereik a szilárdtest-fényforrásiparban széles körben elterjedt kombinált termikus és radiometriai/fotometriai mérőrendszerrel megkapható mérési eredményekből közvetlenül meghatározhatóak.

Irodalomjegyzék

[1]. Mentor Graphics, FloEFD LED module, http://s3.mentor.com/public_documents/datasheet/products/mechanical/products/floefd-led-module.pdf

[2]. A. Poppe, G. Farkas, V. Székely, Gy. Horváth, M. Rencz, "Multi-domain simulation and measurement of power LED-s and power LED assemblies", In: Proceedings of the 22nd IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM'06). Dallas, USA, March 14-16 2006, pp. 191-198.

[3]. A. Poppe, "A step forward in multi-domain modeling of power LEDs", In: Proceedings of the 28th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM'12), 18-22 March 2012, San Jose, USA, pp. 325-330,

[4]. A. Poppe, T. Temesvölgyi, "A General Multi-domain LED Model and its Validation by Means of AC Thermal Impedance", In: Proceedings of the 29th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM'13), 17-21 March 2013, San Jose, USA, pp. 137-142,

[5]. Poppe András: „Teljesítmény LED-ek új termikus mérési szabványai", In: Barkóczi G., Bolvári G., Szabó F. (szerk.): „Világítástechnikai Évkönyv 2012-2013", pp. 96-102

[6]. A. Keppens, W. Ryckaert, G. Deconinck, P. Hanselaer, „Modeling high power light-emitting diode spectra and their variation with junction temperature", J. Appl. Phys., Vol. 108, No. 4, pp.043104-043104-7 (2010)

[7]. K. Paisnik, A. Poppe, T Rang, G. Rang, „Physics related modeling of Power LEDs", In: Proceedings of the 13th Biennial Baltic Electronics Conference (BEC'12), Tallinn, Estonia, 3-5 October, 2012, pp. 57-60

[8]. A. Poppe, A. Szalai: „Practical aspects of implementation of a multi-domain LED model", In: Proceedings of the 30th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM'14), San Jose, USA, March 9-13 2014, pp. 153-158

[9]. CIE S 017/E:2011 ILV: International Lighting Vocabulary, 17-730-as címszó http://eilv.cie.co.at/term/730

[10]. JEDEC Standard JESD51-14 „Transient Dual Interface Test Method for the Measurement of the Thermal Resistance Junction-To-Case of Semiconductor Devices with Heat Flow Through a Single Path", (November 2010)

LED-es alkalmazások termikus kérdései – könyvismertetés

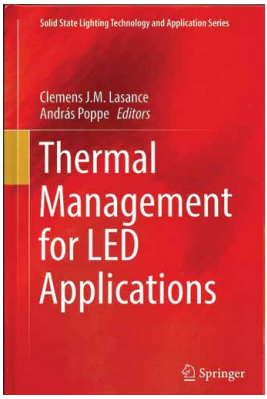
– Poppe Kornélné –

A Springer kiadó 2013-ban útjára bocsátotta a Szilárdtest világítástechnikai technológiák és alkalmazások (Solid State Lighting Technologies and Applications) sorozatát, amelynek legutóbbi, második kötete, Hőtechnikai megoldások LED-alkalmazásokhoz (Thermal Management for LED Applications) címmel 2013/14 fordulóján jelent meg. E könyv azon kívül, hogy a maga nemében hiánypótló, több magyar vonatkozással is rendelkezik; egyik szerkesztője és több szerzője révén jelen ismertetés írója számára ez a kötet egyébként is fontos…

1. Miről szól a könyv?

A Springer Hőtechnikai megoldások LED alkalmazásokhoz (Thermal Management for LED Applications) címmel megjelent kötete [1] a LED-ek és LED-es világítási megoldások termikus problémáinak, az ezeknél alkalmazott hűtési megoldásoknak, termikus mérési és tervezési eljárásoknak egy igen széles körű áttekintését adja. A könyv a state-of-the-art leírását a hűtési megoldások alapkérdéseinek ismertetésével kezdi, beleértve ebbe a LED-ek és LED-es rendszerek termikus jellemzésének, termikus méréseinek, az ezzel kapcsolatos szabványosításnak, a LED-ek megbízhatóságának és a nehéz környezeti körülmények közötti alkalmazásának a kérdéseit is. A termikus határfelületi anyagok, a kényszerített konvekciós hűtés, illetve a LED-es alkalmazások számára szolgáló hűtőbordák tervezésével, használatával kapcsolatos legfrissebb eredményeket is tárgyalja a könyv.

A könyv a Szilárdtest világítástechnikai technológiák és alkalmazások (Solid State Lighting Technologies and Applications) című sorozat második köteteként jelent meg. A könyv szerkesztői Clemens Lasance, aki évtizedeken keresztül a Philips Research vezető termikus szakértője, több termikus témájú nagy európai kutatási projekt irányítója, a termikus modellezés és méréstechnika nemzetközi szabványosításának egyik motorja volt, illetve Poppe András, a BME Elekronikus Eszközök Tanszéke munkatársa, a LED-ek termikus méréstechnikája terén piacvezető megoldásokat kifejlesztő egykori MicReD Kft. egyik alapító tulajdonosa volt. A szerkesztők személye önmagában is jelzés értékű: a könyv kiegyensúlyozott a precíz, tudományos szemlélet és az alkalmazott kutatás, illetve az ipari gyakorlati megoldások vonatkozásában. E tekintetben ez a könyv természetes folytatása a sorozat előző, 2013-ban megjelent, Willem van Driel és Xuejun Fan szerkesztette Szilárdtest világítástechnikai megoldások megbízhatósága (Solid State Lighting Reliability) című első kötetének [2]. E Springer-sorozat kötetei E. F. Schubert jól ismert LED-elméleti könyvét [3] egészítik ki a világító diódákkal kapcsolatos alapismeretek ipari és gyakorlati kérdéseinek széles körű tárgyalása révén.



A könyv négy nagyobb részre oszlik. Az első a LED-ek működésének, megbízhatóságának és a LED-es hűtési megoldásoknak az alapjait tárgyalja.

A könyv második része a LED-ek termikus és optikai jellemzésének (mérés, modellezés, szimuláció) kérdéseivel foglalkozik,

külön kitérve a termikus mérések részleteire, illetve a szabványosítási kérdésekre.

A könyv termikus mérésekkel foglalkozó fejezete a Székely Vladimír által több mint két évtizede kidolgozott, a termikus tranziens méréseken és az ún. struktúrafüggvényeken alapuló karakterizáló eljárásoknak eddig megjelent legrészletesebb, tudományos igényű, de a gyakorlati szakemberek számára szánt leírása. Hasonlóan igényes, és a gazdag irodalomjegyzéke miatt is értékes az optikai mérések laboratóriumi módszereit ismertető fejezet.

A könyv harmadik részét a hűtési módszereket, az ezen a területen született legújabb megoldásokat bemutató fejezetek alkotják. Részletesen tárgyalják a természetes konvekciós hűtést, a kényszerített konvekciós hűtést, ezen belül is a szintetikus sugárhűtést (synthetic jet cooling), a termikus határfelületi anyagokat és azok méréstechnikai kérdéseit.

A negyedik, befejező rész alkalmazástechnikai kérdésekkel foglalkozik: retrofit LED-lámpákkal, LED-es háttérvilágítású monitorokkal, illetve tévékkel, nehéz környezeti körülmények közötti (űreszközökön, repülőgépeken, kültéri, ill. közvilágítási lámpatestekben történő) alkalmazásokkal. A könyvet a közeljövőben várható új LED-es alkalmazások áttekintésével foglalkozó fejezet zárja.

2. Szerzők

A szerkesztők munkája igen nehéz lehetett az egyes fejezetek szerzőinek felkérése kapcsán, hiszen fontos volt az ipar és a kutatóhelyek, egyetemek közötti kiegyensúlyozottság, a LED-gyártók és -alkalmazók közötti helyes arány, a szilárdtest világítástechnika és a termikus problémák terén aktív kis és nagy cégek, valamint a földrajzi eloszlás egyensúlya. És ezen egyensúly tekintetében nem érheti súlyos kritika e könyvet. Persze vannak még olyan ismert cégek, ahonnan az olvasó joggal várhatna szerzőket egy ilyen könyvben… Nem a szerkesztőkön múlott, hogy a hosszas egyeztetések, a felkérések nem vezettek eredményre. Gyakran a vezető nagy cégek publikációs irányelvei megakadályozzák azt, hogy az egyébként nagy nemzetközi elismertségnek örvendő munkatársaik egy ilyen könyv egy fejezetének szerzőjeként vagy társszerzőjeként a tágabb műszaki-tudományos közösséget is támogathassák munkájukkal.

Külön öröm, hogy az egyes fejezetek szerzői közt öt magyar kollegát találhatunk, akik a Pannon Egyetem Schanda János professzor által alapított fénytani iskolájának, illetve a BME Székely Vladimír professzor által alapított félvezetős-termikus iskolájának tagjai. Schanda János maga is szerzője a könyv fénytechnikai méréseket áttekintő egyik fejezetének, társszerzői Szabó Ferenc és Csuti Péter, akik szintén a Pannon Egyetem Virtuális Környezetek és Fénytani Kutatólaboratóriumának munkatársai. A termikus mérésekkel foglalkozó fejezet szerzői Farkas Gábor, aki a Mentor Graphics MicReD részlegének (az egykori MicReD Kft.-nek) vezető fejlesztőmérnöke, a tokozott félvezető eszközök termikus tranziens méréstechnikájának vezető szakembere, illetve Poppe András, akinek a nevéhez kapcsolódik a tokozott LED-ek termikus méréseivel kapcsolatos nemzetközi szabványok kidolgozása, ezzel folytatva a "családi hagyományt" is… (A LED-ek legújabb termikus mérési szabványait a Világítástechnikai Évkönyv 2012/13-as kötete egy rövid áttekintő írásban ismertette [4].). Poppe András társszerzője a Kínai Tudományos Akadémia LED-kutatásokkal foglalkozó csoportjának tagjai által írt, a LED-ek fizikai működését bemutató fejezetnek is. Nem véletlenül, hiszen a LED-ek multi-domain modellezésével, szimulációjával kapcsolatos munkája szorosan illeszkedik e területhez is. (A LED-ek modellezéséről jelen kiadványban is találhatunk egy áttekintő cikket [5].)

A könyv másik szerkesztője, Clemens Lasance szintén két fejezet szerzője, illetve társszerzője. A LED-ek termikus karakterizációjának szabványosítási kérdéseivel foglalkozó fejezet mellett a gyakorlati

szakemberek számára nagy jelentőséggel bír a hűtőbordák alapvető kérdéseit tárgyaló fejezete. Ehhez szorosan kapcsolódik Norbert Engelberts munkája, a könyv LED-es alkalmazások szempontjából optimális hűtőbordák kiválasztásával, méretezésével kapcsolatos fejezete. Ez a fejezet egyben egy nagyon jó gyakorlati útmutató az elektronikai berendezések termikus szimulációjára széles körben használt FloTHERM-program használatához is.

Wendy Luiten a LED TV-k termikus problémáinak egyik legismertebb szakembere; az általa írt fejezetet szintén sok FloTHERM szimulációs példa illusztrálja. Theo Treuerniet – a Philips Lighting vezető termikus mérnöke – a retrofit lámpákról szóló fejezet szerzője. Az ipari körülmények közt végzett optikai mérésekkel foglalkozó fejezet szerzője Richard Young az Instrument Systems-től, aki a spektrális mérések elismert szakembere, az ezzel a területtel foglalkozó CIE műszaki bizottság vezetője. A termikus szakmában széles körben ismert nevek még Cathy Biber, David Saums, Ross Wilcoxon és Jim Petroski – egy-egy fejezet szerzői.

Schanda professzor mellett a szerzők közt szerepel a maga területén szintén iskolateremtő Michael Pecht professzor is, aki az USA-beli CALCE (Center for Advanced Life Cycle Engineering) vezetője, a LED-ek megbízhatósági kérdéseinek egyik legismertebb szakértője, aki fiatal kollegáival közösen a LED-ek megbízhatósági kérdéseit is tárgyaló bevezető fejezetet írta.

3. Magyar vonatkozások

A szerzők felsorolásából is kitűnik, hogy ez a könyv számos magyar vonatkozást is tartalmaz. Elsősorban a 4. és az 5. fejezetet kell megemlítenünk. Előbbi a LED-ek termikus méréseivel, utóbbi a LED-ek optikai méréseivel foglalkozik. Értelemszerűen mindkét fejezetben utalásokat találhatunk a TeraLED nevű mérőrendszerre, amelynek fejlesztését 2005-ben fejezte be a BME és a Pannon Egyetem, valamint a hozzájuk szorosan kötődő spin-off jellegű kisvállalkozások alkotta konzorcium. Ez a műszer-összeállítás, ahogy neve is utal rá, teljesítmény LED-ek kombinált termikus és radiometriai/fotometriai mérését teszi lehetővé, ami mára de facto ipari szabvánnyá vált a világ vezető LED-gyártóinál. E műszert jelenleg a budapesti Infoparkban működő Mentor Graphics MicReD és a Pilisvörösváron működő Lighting Metrics cégek gyártják közösen, és a Mentor Graphics értékesíti világszerte.

A könyv hatodik fejezete a LED-ek termikus modellezési kérdéseit is tárgyalja. Az ott bemutatott egyik mintapélda a Hofeka Kft. és az Optimal Optik Kft. által a KÖZLED-projektben fejlesztett egyik LED-es közvilágítási lámpatest. A KÖZLED-projektben használt modellezési és szimulációs módszer ma már széles körben hozzáférhető a Mentor Graphics cég egyik termikus szimulátorában. (Ezzel kapcsolatban további részleteket az [5] publikációban találhat az olvasó.)

Irodalomjegyzék

[1]. Clemens J.M. Lasance, András Poppe (szerk.): „Thermal Management for LED Applications", Springer, 2014, ISBN: 978-1-4614-5090-0, http://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-5091-7

[2]. Willem D. van Driel, Xuejun J. Fan (szerk.): „Solid State Lighting Reliability", Springer, 2013, ISBN: 978-1-4614-3066-7, http://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-3067-4

[3]. E. Fred Schubert: „Light-emitting diodes", 2. kiadás, Cambridge University Press, 2006, ISBN: 978-0-521-86538-8

[4]. Poppe András: „Teljesítmény LED-ek új termikus mérési szabványai", In: Barkóczi G., Bolvári G., Szabó F. (szerk.): „Világítástechnikai Évkönyv 2012-2013", pp. 96-102

[5]. Poppe András, Szalai Albin, Hegedűs János: „LED-ek multi-domain szimulációs modelljei és azok gyakorlati vonatkozásai", (jelen kötetben).

LED4ART: LED világítás a Sixtus-kápolna freskói számára

– Szabó Ferenc, Csuti Péter, Schanda János –

Az Európai Bizottság egyik, 2011-ben kiírt pályázatának célja az volt, hogy gyakorlati alkalmazáson keresztül bemutatható legyen a világ számára: 2014-ben a LED-ek már alkalmasak lesznek kiváló minőségű, a műalkotásokat nem károsító világítás létrehozására. A konzorcium a bemutató helyeként egy több szempontból is különleges helyszínt választott: a vatikáni Sixtus-kápolnát.

1. Bevezetés

A sikeres pályázat alapján 5 országot felölelő, 6 partnerből álló konzorcium kezdett munkához 2012-ben: a konzorciumvezető németországi OSRAM, az energiaauditért felelős IREC, a természetes világítás vizsgálatáért felelős Fabertechnika, a lámpatestek gyártását végző olaszországi OSRAM, valamint a helyszíni mérések alapján színképi optimalizálást és hangolást végző Pannon Egyetem Virtuális Környezetek és Fénytani Kutatólaboratóriumon kívül a Vatikán Múzeum a helyszínt biztosította.

2. A Sixtus-kápolna sajátságai

A Sixtus-kápolna önmagában is igencsak különleges helyszín: a Vatikán Múzeum részeként múzeumi helyszín, évente 6 millió látogatóval. Ezen kívül egyházi szempontból is kiemelten fontos, hiszen a mindenkori pápa megválasztásának – a konklávénak is – helyszínül szolgál. Liturgiáknak és a Vatikáni Kórus fellépéseinek – emiatt gyakran TV-közvetítéseknek – ad otthont.

A Sixtus-kápolna freskói Michelangelo, valamint több reneszánsz művész remekművei; az Utolsó Ítélet című, minden idők második legnagyobb freskója.

Hogyan illik/kell megvilágítani egy ilyen adottságú helyszínt?

A Sixtus-kápolnában található páratlan kulturális örökség miatt az ide telepítendő berendezésnek ki kell elégíteni a múzeumvilágítás követelményeit, mind a világítás minősége, mind pedig a műtárgyak védelme oldaláról. Szintén a múzeumi jellegből adódóan a nagy tömegben érkező látogatók (napi 25 000 fő) komfortérzete és biztonsága is fontos szempont, hiszen a kápolnában belső elválasztó fal, illetve lépcső is található. Az egyházi funkció miatt pedig megfelelő megvilágítást kell létrehozni a konklávékor használt asztalokon, a misék alkalmával az oltár környezetében, a TV közvetítésekkor pedig annak megfelelő, villogásmentes világítást kell biztosítani.

A szabványok előírásain és helyszíni sajátosságokon kívül a Vatikán Múzeum kurátorai további, kihívásokkal teli követelményeket fogalmaztak meg:

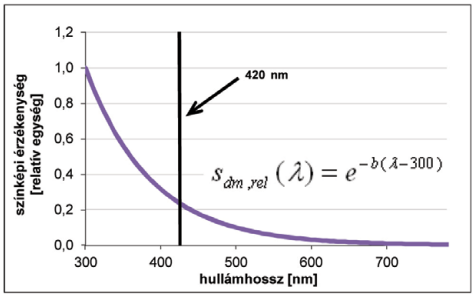
- az új lámpatesteket az épület belsejében kell elhelyezni úgy, hogy azoknak nem szabad láthatónak lenniük,
- a Sixtus-kápolnában az új világítás színhőmérsékletének illeszkednie kell a Vatikán Múzeum más területein használt melegfehér világításhoz.

3. Lehetséges fényforrások múzeumvilágítási célra

A természetes, nappali sugárzáseloszlás szélessávú, hidegfehér sugárzás. A látható hullámhossztartományba eső sugárzáson kívül tartalmaz a műalkotások számára kártékony ultraibolya és infravörös sugárzást is. Ezenkívül a nap és az év folyamán az intenzitása és a színhőmérséklete is folyamatosan változik, emiatt napjainkban múzeumokban csak nagy körültekintéssel és speciális szabályozók beépítésével használják.

A mesterséges fényforrások közül a hidegfehér színhőmérsékletűek jelentős teljesítménnyel rendelkeznek a színkép 350

nm – 420 nm közötti tartományában, amely a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (CIE) 157-es ajánlása [1] szerint kerülendő. A rövidebb hullámhosszúságú fotonok energiája nagyobb, mint a hosszabb hullámhosszúságúaké, így a károsító hatásuk is jelentősebb. Az optikai sugárzás károsító hatásait a hullámhossz függvényében az 1. ábra mutatja.



1. ábra. Az optikai sugárzás károsító hatásai a hullámhossz függvényében

Az 1. ábrán látható, hogy kerülendő az olyan fényforrások használata, amelyek a 350 nm – 420 nm hullámhossztartományban teljesítmény csúccsal, vagy jelentős teljesítménnyel rendelkeznek. Világítódióda-alapú világításnál ez a kritérium a kék színű LED mellőzésével, valamint a fényporos fehér LED fényport gerjesztő kék LED-je teljesítménycsúcsának gondos megválasztásával teljesíthető.

4. A Sixtus-kápolna korábbi világítási rendszere

A Sixtus-kápolna korábbi világítási rendszere az 1990-es évek közepén készült el, a kápolna freskóinak restaurálása után. Az akkori világítástechnikai megoldások olyan rendszert engedtek meg, amely a múzeumvilágítást a kápolnán kívül, az ablakoknál elhelyezett fémhalogénlámpákkal (90 db x 170 W) oldotta meg. A középkori vastag üvegezés jelentős szűrést valósított meg, így a 15,3 kW beépített teljesítmény ellenére a kápolnában csak korlátozott színlátási viszonyok valósultak meg. Az öregedő fényforrások, valamint az egyenetlen felületű üvegezés miatt az egyes ablakokon bejutó fény színképi eloszlása és intenzitása jelentősen különbözött egymástól.

A konklávé, valamint egyházi események alkalmával egy ún. „gála" világítási rendszert kapcsoltak fel a múzeumvilágítás mellé, amely a 11 m magasan – a kápolna két hosszanti oldalfalán – elhelyezkedő korlátokra rögzített halogénlámpás és fémhalogénlámpás funkcionális világítási rendszert jelentett. Ennek beépített teljesítménye önmagában 50,36 kW, a múzeumvilágítással együtt 65,66 kW. A padlóra irányított fényszórók jelentős káprázást okoztak, a freskók megvilágításán a gálavilágítás nem változtatott jelentősen.

5. Reneszánsz műalkotások világítása – helyszíni mérések

A reneszánsz műalkotások számára optimális fényforrás-színkép megtalálásához első lépésként áttekintettük az akkoriban alkalmazott pigmenteket. A reneszánszkori pigmentek reflexiójának méréséhez kezdetben az esztergomi Vármúzeum nyújtott segítséget, ahol Botticellinek tulajdonított freskók restaurálása történik. Előzetes vizsgálataink megállapították, hogy a reneszánszkori pigmentek színképi reflexiója jelentősen különbözik a ma használt pigmentekétől. Emiatt a ma használatos fényforrás-színminőségi metrikák (CIE CRI[2], CQS[3]) egyike sem szolgáltatna megfelelő előrejelzést a Sixtus-kápolnában várható színi megjelenésről.

A kutatások során kétszer került sor helyszíni méréssorozatra a Sixtus-kápolnában:

2013 februárjában a kápolna korábbi világítási rendszerét mértük fel, amely magában foglalta a padló megvilágítási szintjének, valamint az oldalfali freskók fénysűrűségeloszlásának mérését. Ugyanekkor került sor a freskók jellegzetes színes felületein pigmentreflexió mérésekre.

2014 szeptemberében a kutatás alapján javasolt színképi teljesítményeloszlás megvalósítása, valamint a vatikáni döntéshozók elfogadó véleménye után az új világítási

rendszer felmérésére került sor, a 2013. februári mérésisorozattal megegyezően.

6. A korábbi világítási rendszer felmérése

6.1. A padló megvilágítása

A padló megvilágítási szintjének méréséhez egy 2x2 méteres képzeletbeli háló rácspontjait jelöltük fel a Sixtus-kápolna padlójára. A rácspontokban kalibrált megvilágításmérők segítségével végeztünk méréseket. A megvilágításmérők f_1' illesztettségi mutatója <1,4%; a kalibrálás mérési bizonytalansága: ±2,0% (k=2). A 2. ábra a padló megvilágításmérésének eredményeit mutatja a kápolna alaprajzán, jelölve az elválasztó falat és az oltár területét. Az ábrán szereplő értékek lux mértékegységben értendők.

	1	2	3	4	5	6	7
A	2,7	2,6	0,7		1,4	1,7	2
B	3,4	3,2	3,3		2,9	2,5	2,8
C	3,8	4	3,9	3,5	3,5	3,3	3,2
D	4,1	4,4	4,4	4,3	3,9	3,8	3,6
E	4,4	4,8	4,7	4,5	4,1	4,3	4,2
F	4,2	4,8	4,9	4,8	4,6	4,6	4,8
G	4,1	4,7	5	5,2	4,8	4,9	4,4
H	3,7	4,1	4,8	5,1	5,8	5	4,6
I	2,3	4,1	4,5	5	5,2	5,1	
J	5,3	3,8	4,4	5,1	5	5,3	
K	3,8	3,9	4,4	5,3	5,8	5	5
L	3,4	3,9	4,4	4,8	6,3	5,3	5,1
M	3,7	3,8	4,1	4,3	4,5	4,5	3,9
N	3,4	3,7	4,5	3,6	3,3	4,1	3,6
O	3,4	4	4,5	4,2	4,8	5	5,2
P	4,3	5	5,6	5,6	5,6	6	6
Q	4,3	5,1	5,5	5,7	5,9	6	5,7
R	4,3	4,8	4,9	5,5	5,6	5,5	5,1
S	3,9	4,6	4,5	5	5,5	4,9	
T	4,4	9,9	6,6	6	5,2	4,8	
U	4	12	5,6	4	3,5	0	

2. ábra. Padlómegvilágítás mérése (korábbi világítási rendszer)

A mérési eredmények területenkénti kiértékelése az 1. táblázatban látható. Az oltár körüli terület alatt a táblázat B2 és E6 cellái által határolt területet, a belső kápolna területén az A1 és N7 cellák által határolt területet, míg a külső kápolna területén az O1 és U7-es cellák által határolt területet értjük.

1. táblázat. Padló megvilágításmérésének kiértékelése, lx (korábbi múzeumvilágítási rendszer)

E_{av}, az oltár körül	3,58
E_{av}, belső kápolna, az oltár nélkül	4,49
E_{av}, külső kápolna	5,16
E_{av}, teljes terület átlaga	4,47

A mérési eredményekből látható, hogy a megvilágítási szint nagyon kicsiny volt, nem tette lehetővé múzeumlátogatók nagy tömegekben történő áramlását. A padló megvilágításának 10 lx körüli értékre emelése fogalmazható meg célként az új világítási rendszer tervezésekor.

A múzeumvilágítás mellé bekapcsolt „gála" módban a padló megvilágítás mérési eredményeinek kiértékelése a 2. táblázatban látható.

2. táblázat. Padló megvilágításmérésének kiértékelése, lx (korábbi gálavilágítási rendszer)

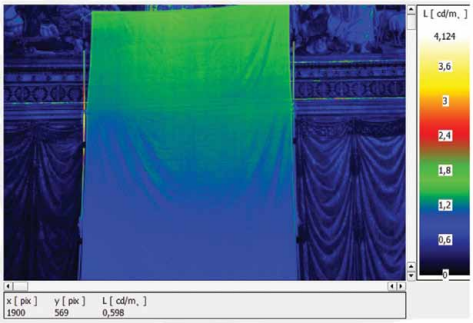
E_{av}, az oltár körül	234,4
E_{av}, belső kápolna, az oltár nélkül	240,9
E_{av}, külső kápolna	139,8
E_{av}, teljes terület átlaga	205,2

A „gála" világítási üzemmód már megteremti a biztonságos közlekedéshez szükséges megvilágítást, valamint a konklávékor kielégíti a a látási feltételeket.

6.2. Az oldalfali freskók fénysűrűség-eloszlása

Az oldalfali freskók fénysűrűségeloszlását azok érintése nélkül egy fehér színű vászon segítségével valósítottuk meg. A vászon fénysűrűségeloszlását a TechnoTeam LMK 98-3 típusú fénysűrűség- és színmérő-kamerával, valamint a Világítástechnikai Tár-

saságtól kölcsönkapott TechnoTeam Canon D450 mobil fénysűrűségmérő kamerával készítettük.

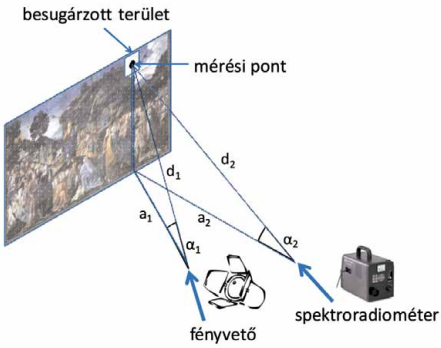


3. ábra. Oldalfali freskók fénysűrűség-eloszlásának mérése (korábbi, múzeumvilágítási rendszer)

A fehér vászon reflexiós tényezőjének, valamint a faltól való távolságának ismeretében a vászon egyes pontjainak fénysűrűség értékeiből a távolságtörvény segítségével becsülhetjük a freskók egyes pontjainak megvilágítás értékeit. A 3. ábrán látható mintegy 0,6–1,8 cd/m^2 fénysűrűség 2–5 lx megvilágításnak feleltethető meg. A 3. ábrán látható, hogy a freskók fénysűrűségi szintje az ún. mezopos fénysűrűségi tartományba esik, amelyben az emberi látórendszer receptorai közül a nappali körülmények között használt csapok már csak részben ingerlődnek, emiatt valódi színlátásról nem beszélhetünk. Az új világítási rendszer tervezéséhez célként minimum 50 lx átlagos megvilágítás fogalmazható meg az oldalfreskók esetén.

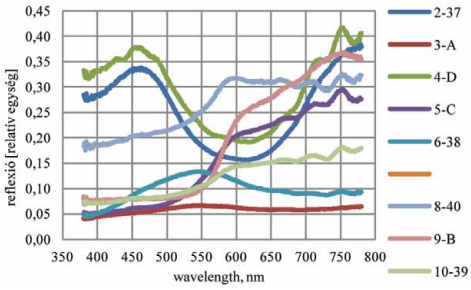
6.3. Pigmentreflexió-mérések

A Sixtus-kápolna freskóinak világításához a LED-fényforrások színképét a reneszánszkori festékpigmentek reflexiós tulajdonságainak figyelembe vételével kellett meghatározni. Ehhez a helyszínen – a freskók érintése nélkül – végeztünk reflexiómméréseket a freskók előre meghatározott pontjaiban. A freskó részletét egy ismert színképű, stabil fényáramú reflektorral világítottuk meg, majd a spektro-radiométerrel a felületről visszavert fényt mértük. A reflektornak és a spektro-radiométernek a mérendő felülethez képesti pozíciójának, valamint a fényforrás színképének ismeretében a felület reflexiós színképe meghatározható.



4. ábra. Reflexiómérés – mérési elrendezés

Néhány reflexiós színkép az 5. ábrán látható.



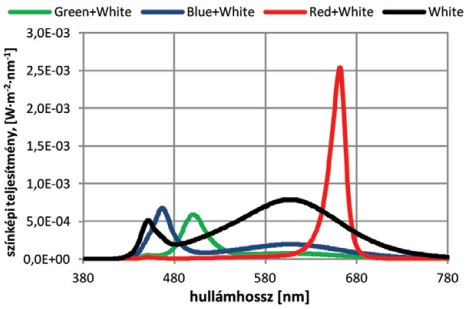
5. ábra. Reflexiómérés – mérési eredmények

7. Színképi optimalizálás

A saját helyszíni méréseinken kívül a Vatikán Múzeum rendelkezésünkre bocsátott por alakú pigmenteket, valamint a szakértőik által készített mérési eredményeket is. A fényforrás színképi optimalizáláshoz így összesen 280 reflexió állt rendelkezésre, amelyből egy reprezentatív halmaz került felhasználásra a fényforrás színképének meghatározásakor.

LED4ART: LED világítás a Sixtus-kápolna freskói számára

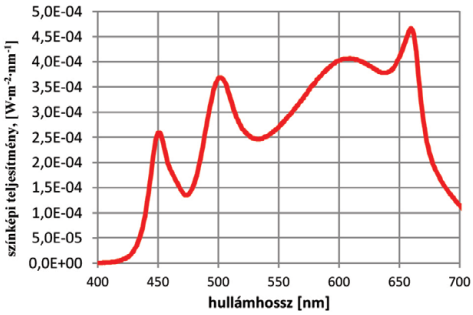
Az optimalizálás egyik peremfeltétele volt, hogy a lámpatestekben a felhasználható független csatornák száma maximálisan négy lehet. Ennek megfelelően kerültek kiválasztásra a kiindulási LED-típusok, amelyekből a 6. ábrán látható négy báziscsatorna került kialakításra.



6. ábra. A LED-es lámpatestek báziscsatornái

Az optimalizálás egy új paradigma alapján történt: olyan fényforrásszínképet hoztunk létre, amelynél a freskó pigmentek a mesterséges megvilágítás mellett is jó közelítésben olyan színészleletet keltsenek, mint természetes megvilágítás esetén [4, 5].

A reneszánsz freskók optimális színmegjelenését biztosító színképi teljesítményeloszlás a 7. ábrán látható.



7. ábra. Optimalizált LED-színképi teljesítményeloszlás

A megvalósított LED-es színkép néhány színminőségi adatát a 3. táblázatban foglaltuk össze.

3. táblázat. A megvalósított színképi eloszlás néhány színminőségi paramétere

R_a	93
R_9	82
CCT [K]	3496
d_{uv}	0,0029
FCI	110,3

A freskók részleteinek megjelenése a régi és az újonnan telepített, LED-es világítás esetén a 8. és 9. ábrán látható. Az alsó kép a LED-es világítással elért eredmény.

8. ábra.

9. ábra.

Képek forrása: http://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/led-lighting-in-the-sistine-chapel/the-visible-effects-of-led-lighting/index.jsp

8. Az új, LED-es világítási rendszer felmérése

8.1. A padló megvilágítása

Az új rendszer telepítése, valamint finomhangolása után a padló megvilágításmérése a korábbi rendszer mérésével megegyező módon történt. A 10. ábra a padló megvilágításmérésének eredményeit mutatja a kápolna alaprajzán, jelölve az elválasztó falat és az oltár területét. Az ábrán szereplő értékek lx mértékegységben értendők.

	1	2	3	4	5	6	7
A	5,2	6,6	6,8		6,8	6,7	5,1
B	6,8	8,1	8,5	9,1	7,3	7,5	6,9
C	7,1	8,2	8,4	9,5	7,8	7,3	6,9
D	7,6	8,7	8,9	10,6	8,8	8,3	7,8
E	7,9	8,8	9,2	11,5	9,3	8,7	7,9
F	8,3	9,5	10,2	12,5	11	9,5	8,1
G	8,8	10,7	12,3	12,8	12,4	10,9	8,5
H	9,1	10,8	12,2	13,1	12,5	10,8	8,6
I	9,4	11,1	12,4	13,6	12,5	10,5	8,5
J	9,75	11,9	12,6	12,7	12,11	10,3	7,5
K	9,6	11,6	12,7	12,9	12,1	10,4	
L	9,8	11,6	12,7	12,8	12,2	10,5	
M	10,5	11,5	12,5	12,7	12,3	10,5	7,1
N	9	10,5	11,5	11,3	11,1	9,5	7,3
O	9,9	10,5	11	11,3	10,2	9	9,5
P	9,8	10,3	11,2	11,8	10,3	9,9	9,6
Q	9,8	10,7	11,5	12	11,5		10,1
R	9,8	10,7	11,3	11,5	11,1	10,3	10,1
S	9,2	10,7	11,2	11,6			
T	8,7	9,6	11	11,4			
U	8,3	9,3	10,9				

10. ábra. Padló megvilágításmérése (új, LED-es világítási rendszer)

A mérési eredmények területenkénti kiértékelése a 4. táblázatban látható.

4. táblázat. Padló megvilágításmérés kiértékelése, lx (új, LED-es múzeumvilágítási rendszer)

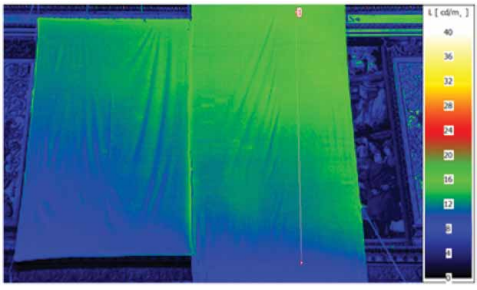
E_{av}, az oltár körül	8,7
E_{av}, belső kápolna, az oltár nélkül	11,6
E_{av}, külső kápolna	10,9
E_{av}, teljes terület átlaga	10,8

A mérési eredményekből következtethető, hogy az új világítási rendszer esetén az átlagos megvilágítási szint 2,3-szorosára emelkedett, így a célként megfogalmazott 10 lx körüli megvilágítás teljesült.

„Gála"-rendszer esetén a padló megvilágítása a korábbinak átlagosan 90%-a, ami még mindig kielégíti a különböző funkciók világítási igényeit.

8.2. Az oldalfali freskók fénysűrűség-eloszlása

Az új, LED-es rendszer beüzemelése után az oldalfali freskók fénysűrűségeloszlását az előbbiekben bemutatott módszer szerint mértük. A 11. ábra a mérési eredményeket mutatja, amely szerint a mintegy 10–20 cd/m^2 fénysűrűség átlagosan 50 lx megvilágításnak feleltethető meg. A freskók fénysűrűsége az ún. fotopos fénysűrűségi tartományba esik, amelyben az emberi látórendszer receptorai közül a nappali körülmények között használt csapok is ingerlődnek, emiatt ebben az esetben már valódi színlátásról beszélhetünk.



11. ábra. Oldalfali freskók fénysűrűségeloszlásának mérése (új, LED-es múzeumvilágítási rendszer)

9. Összehasonlítás, konklúzió

A Sixtus-kápolna új, LED-es világítási rendszere múzeumvilágításként 40 darab lámpatestből áll, amelyekben egyenként 140 darab LED (kék, türkiz, vörös és fényporos fehér) került elhelyezésre. Ez 3900 W beépített teljesítményt jelent. A „gála-világításhoz" 30 darab, motoros fényvető került beszerelésre, amelyek egyenként 50 W teljesítményűek. A múzeumvilágítás 75%-kal, a gálavilágítás pedig 92%-kal fogyaszt kevesebb villamos energiát, mint a korábbi világítási rendszer (LENI EN15193).

Fontos megemlíteni, hogy ilyen mértékű fogyasztáscsökkenés mellett a padló átlagos megvilágítása a régi rendszerhez képest 2,3-szeresére nőtt múzeumvilágítási módban, 0,9-szeresére csökkent „gála"-módban. Az oldalfreskók fénysűrűsége 2 cd/m^2-ről átlagosan 16 cd/m^2-re növekedett, aminek köszönhetően az emberi látórendszer csap típusú receptorai jobban működnek, így ezentúl teljes színlátásban van része a Sixtus-kápolna látogatójának.

10. További vizsgálatok

Az eddig bemutatott vizsgálatokon túl kétféle, laboratóriumi vizsgálat is folyamatban van:

1. Mivel a lámpatestek kimeneti színképe összetett színkép (türkiz, vörös és fényporos fehér világítódiódák fényének additív keveréke), felmerül a különböző félvezető anyagokból készült világítódiódák eltérő öregedési karakterisztikája. Ennek vizsgálatára laboratóriumi LED öregítési kísérletet indítottunk a Sixtus-kápolnában felszerelésre került LED-ek mintapéldányaival az IES LM-80 szabvány szerint, amely kísérlet a kézirat leadásakor 7000 óránál tart.

2. A kiválasztott színképi eloszlás károsító hatásának gyakorlati ellenőrzésére a por alakú pigmentekből mintákat készítettünk, amelyeket a Sixtus-kápolnában megvalósított színképű fénnyel besugárzunk. A kísérlet a kézirat leadásakor 8000 óránál tart.

Ezen vizsgálatok eredményeiről a következő Világítástechnikai Évkönyvben számolunk majd be részletesen.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a LED4ART – Minőségi és energiatakarékos LED-világítás a művészet számára – című, 297262 szerződésszámú EU ICT-PSP-2010-5 projekt keretében valósult meg. A szerzők köszönetüket fejezik ki Wierdl Zsuzsanna restaurátornak az esztergomi Vármúzeumban történt mérésekért, Böröcz Sándornak és a Lisys Zrt.-nek a méréshez használt fényforrás biztosításáért, a Világítástechnikai Társaságnak a mobil fénysűrűségmérő kamera rendelkezésre bocsátásáért, Fáy András és Tátrai Vilmos uraknak, a Szépművészeti Múzeum munkatársainak a múzeumban lehetővé tett próbavilágításért.

Irodalomjegyzék

[1]. Commission Internationale de l'Eclairage. Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation. CIE Technical Report 157:2004. Vienna: CIE,(2004)

[2]. Commission Internationale de l'Eclairage. Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources, CIE Publication 13. Paris: CIE, (1965)

[3]. Davis W, Ohno Y. Toward an improved color rendering metric. Proceedings of the SPIE 2005; 5941: G1–G8.

[4]. Schanda J. Csuti P. Szabó F. Colour fidelity for picture gallery illumination, Part 1: Determining the optimum LED spectrum. Lighting Res. & Technol. 16, 2014, doi: 10.1177/1477153514538643

[5]. Schanda J, Csuti P, Szabó F: A new concept of color fidelity form museum lighting. LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America, DOI: 10.1080/15502724.2014.978503

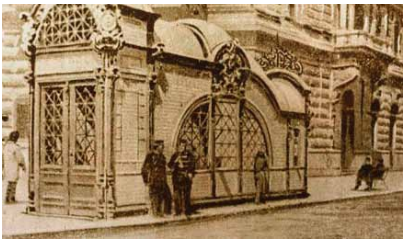
Budapesti 4-es metró világításának felülvizsgálatáról

– Némethné dr. Vidovszky Ágnes –

A cikk a Budapesti 4-es metró utastereinek világítása kapcsán bemutatja ezen területek világítási berendezéseinek rendszerét. Beszámol a világítási paraméterek körüli anomáliákról, valamint az átadás-átvételt követő fénytechnikai mérésekről ad rövid áttekintést, kitérve arra, hogy a káprázáskorlátozást meghatározó UGR mérése mire is ad választ.

1. Bevezetés

Budapest Székesfőváros ezen a néven csak 1873-ban született a három város: a vén Buda, ifjú menyasszonya a szép Pest, és Óbuda egyesítésével. Ez az időszak a kiegyezést követő fellendülése volt, amihez hozzájárult a technika – előző évszázadokhoz képest mért – szédületes fejlődése is. Az 1800-as évek utolsó évtizedei a millennium jegyében teltek. Ekkor nyerte el Budapest szecessziós képét. A millenniumi építkezések egyik nagy szenzációja a kontinens első földalatti vasútja, az 1896-ban átadott földalatti vasút, amely a technika bravúrja volt (1. ábra). Meg kell említeni, hogy azokban az időkben, hála Széchenyi Istvánnak, a magyar közlekedés a világ élvonalába tartozott. A vasminiszter Baross Gábor idején épült ki a Budapest-központú sugaras út- és vasúthálózat. Egyetlen példával szeretném illusztrálni a közlekedés – és ezen belül a vasút – nagyságát: 1884-ben átadták a Budapesti Keleti pályaudvart villamos világítással úgy, hogy azt már a tervezőasztalon villanyvilágítással tervezték meg.



1. ábra. Andrássy út eleje, a millenniumi földalatti szecessziós felépítménye

Az I. világháború sajnos véget vetett a fejlődésnek és az azt követő „békekötés" végtag nélkülivé tette az országot. A két háború közötti időszak bár hozott fejlődést, hiszen az elszigetelt, csonka ország újra létezett, a földalatti közlekedés mégsem fejlődött. A II. világháború rombolása után a romok eltakarítása, a lerombolt hidak, felszaggatott vasutak helyreállítása volt az elsődleges, nem pedig új vonalak létesítése. Az 1950-es években ugyan – szovjet mintára – megindult a metróépítés, de az az 56-os forradalom és szabadságharc idején abba is maradt, a már meglévő alagútrészeket bunkerként használták. A kontinenselsőség után közel 80 év telt el a 2. vonal átadásáig, amely a Deák téren csatlakozott az első vonalhoz (2. ábra).

2. ábra. Deák tér egykor

Jelen cikkben nem kívánom a Budapesti metróvonalak teljes történetét feldolgozni, ezt megtette Déri Tamás kollégám. Az ebben az évben átadott új vonal viszont ismét jelentős tény, hiszen ezzel mintegy 25%-kal nőtt a vonalak hossza. Ennek a nemrégen átadott, nem egészen 8 kilométernyi pályának és állomásainak világítástechnikai felülvizsgálati eredményeiről kívánok számot adni. Az új vonal tervezői nem akartak uniformizálni, ezért minden állomás más és más, nemcsak építészetileg, hanem világítási szempontból is.

Ami azonos mindenütt, hogy az üzemi világítás mellett biztonsági világítás is létesült, méghozzá nem a minimális (5 lx) megvilágítási szinttel.

Azonos továbbá, hogy a biztonsági sáv világítására minden állomáson az ún. „füstkötényfalba" szerelték a folytonos fénycsősort.

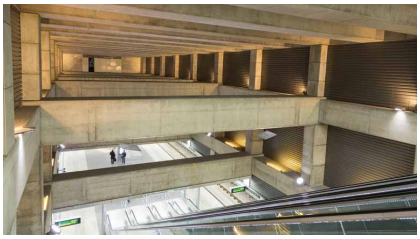
A vonal különlegessége még, hogy az alagutakban teljes hosszban van menekítő járda. Ezek világítása fénycsöves, ennek is van természetesen tartalékvilágítása.

2. A vonali állomások ismertetése

Keleti pályaudvar az indulás, csatlakozás a meglévő 2-es vonalhoz. A természetes fény és annak dinamikája nagyon jó hatással van az emberre. A metróvonal tervezői, ahol csak erre mód nyílott, igyekezetek minél több természetes fényt az állomásokra bevinni, ezt itt nagy bevilágító felületekkel oldották meg (3. ábra).

3. ábra. Keleti pályaudvari bevilágítók

II. János Pál pápa tér – Az alagutak fúrással készültek, az állomások mélyépítési technológiával, így keletkeztek a nagy belmagasságok. A többszintes terek nehezen hasznosíthatók, sok probléma adódna, de a világítástervezők megpróbálták tükrös direkt- indirekt világításokkal barátságosabbá tenni azokat. A felső szintek derítése némi javulást hoz (4. ábra).

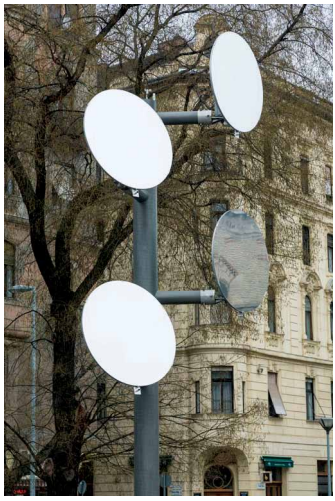


4. ábra. II. János Pál pápa tér

Rákóczi tér – Világítástechnikai szempontból talán a legérdekesebb állomás. A XX. századvégi fényvezetős rendszer épült itt (5. ábra).

5. ábra. Rákóczi téri fényvezetőcsövek

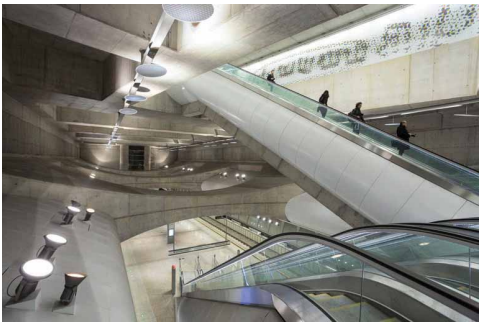
A csövek nappal a természetes fényt vezetik be, a 6. ábra szerinti tükrök segítségével, amelyek követik a Nap járását. Természetes fény hiányában pedig fémhalogénlámpák fényét viszik a mélybe.



6. ábra. Rákóczi téri tükörrendszer

A **Kálvin téren** csatlakozik az új vonal a meglévő 3. vonalhoz, emiatt is izgalmas terek alakultak ki, ahol ismét az indirekt – tükrös világítás tűnt jó megoldásnak. A falakon körbe Kodály Zoltán: Psalmus Hungaricus stilizált kottája látható (7. ábra).

Budapesti 4-es metró világításának felülvizsgálatáról

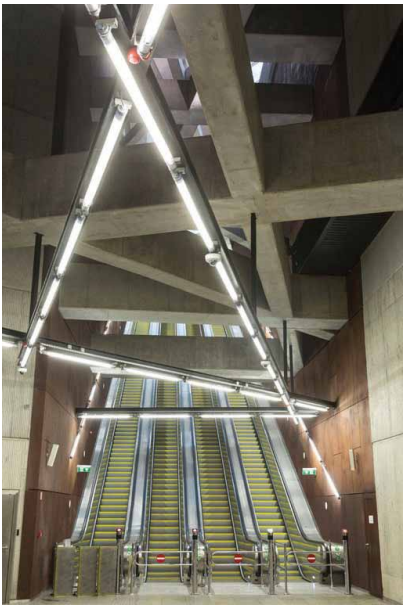


7. ábra. Kálvin tér

Fővám tér – Ez az állomás világításában hagyományosnak mondható a fénycsöves megoldásával (8. ábra), de hogy ne legyen unalmas a fénycsövek elrendezése – a két vágány közötti utastérben – random módon helyezték el azokat.

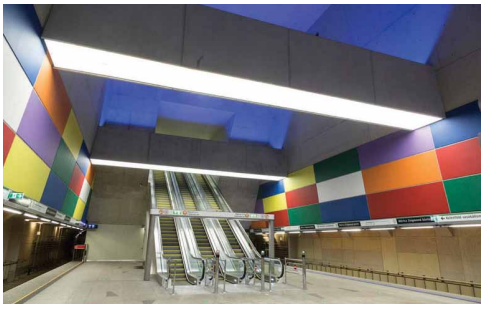
8. ábra. Fővám tér fénycsöves világítása

Szent Gellért tér – Az állomás építészetileg érdekes a nemes rozsdás falburkolatokkal. A világítása hagyományos, fénycsöves, a lámpatest-elhelyezés itt is random. A hatalmas áthidalókat fényvetők derítik (9. ábra).



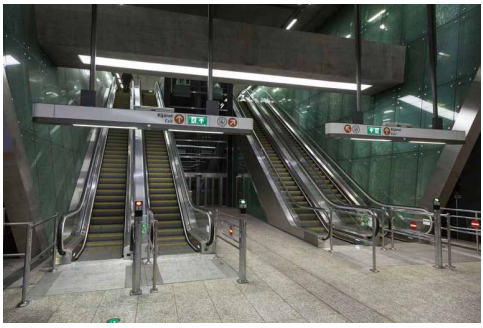
9. ábra. Szent Gellért tér

Móricz Zsigmond körtér – A tervező itt játékos kedvében volt, és a színekkel vitt vidám hangulatot a térbe. Az indirekt lámpatestek fehér fémhalogénlámpásak, amelyek extra színes üveggel biztosítják a belsőépítész által megálmodott kék színt. A gerendákon itt is LED-es világítótestek vannak. Az állomások világítási berendezéseinek szerelése nem az itt felsorolt és a kezdőponttól induló sorrendben történt, így a LED-ek nem itt debütáltak, hanem Újbuda Központban. A színes falak világítása fémhalogénlámpás, végeredmény: vidám környezet (10. ábra).



10. ábra. Móricz Zsigmond körtér

Újbuda-központ – Ennek az állomásnak a különlegessége az általános világításban a LED-ek alkalmazása. A peron fölötti áthidaló gerenda aljába, hagyományos fénycsöves lámpatestbe telepítettek egyedi LED-eket. A lámpatest lezárását diffúzorral oldották meg. A LED-ek hideg színhőmérsékletét oldja a biztonsági sáv fénycsöves világítása.

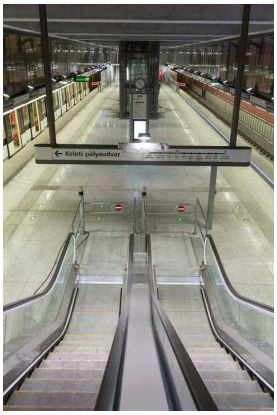


11. ábra. Újbuda-központ

Bikás park – Alapvetően ez az állomás is hagyományos világítású, de a peron mozgólépcső előtti része természetes fényt kap a felszíni építmény üvegfelületein keresztül. A budapestiek a Dunaparti Bálna alapján kis bálnának is nevezik (12. ábra).

12. ábra. Bikás park

Kelenföld – Jelenleg ez a végállomása a vonalnak, de reményeink szerint épül majd tovább is. Az állomás nagy aluljárórendszerhez, vasútállomáshoz, távolsági autóbuszpályaudvarhoz kapcsolódik. A felszínen P+R parkoló létesült. A végállomás „mennyezet" derítésére fémhalogénlámpás fényvetők szolgálnak (13. ábra), a kapcsolódó aluljárórendszer egy részének színpompás LED-es világítása van.



13. ábra. Kelenföld végállomás

3. Tervezés

Tervezési probléma abból adódott, hogy bár világszerte több ezer kilométernyi metróhálózat létesül évente, még sincs erre vonatkozó nemzetközi világítási szabvány, előírás. Illetve az MSZ EN 12464-2: 2007 szabvány 5.12. táblázata első sorában szerepel a metró, de a táblázat adatai nehezen vonatkoztathatók rá (talán az 5.12.16 sort lehetne alkalmazni. 1. táblázat)

1. táblázat

Hiv.sz.	A terület, feladat vagy tevékenység típusa	E_m [lx]	U_0	GR_L	R_a	Megjegyzések
	Vasúti területek kisvasutakkal, villamosokkal, egysínű vasutakkal,keskeny vágányú vasutakkal, metróval stb. együtt					A járművezetők káprázatát kerülni kell.
5.12.1	Utasforgalmi állomás sínei, veszteglés is	10	0,25	50	20	$U_d \geq 1/8$
…….						
5.12.16.	Fedett peronok, elővárosi vagy regionális vonatok, vagy intercity forgalom kevés utassal	50	0,4	45	40	1. különös figyelmet kell fordítani a peron szélére 2. $U_d \geq 1/5$

A probléma ezzel a táblázattal, hogy a 4. metró tervezése idején ez a szabvány még

nem létezett. A 2000-es évek elején, még csak az MSZ EN 12464-1:2002 szabvány volt hatályos, abban viszont nem szerepelt a metró. A belső téri munkahelyekre vonatkozó szabványlap közlekedési területekre vonatkozó adatai a 2. táblázatban találhatók.

2. táblázat

Hiv. sz.	A belső tér jellege, a feladat vagy tevékenység	E_m [lx]	UGR_L	R_a	Megjegyzések
1.1.1.	Forgalmi területek, folyosók	100	28	40	1. Megvilágítás padlószinten 2. R_a és UGR hasonló a csatlakozó terekhez 3. 150 lx, ha járművek vannak az úton 4. A ki és bejáratok világítása olyan átmeneti zónákat hozzon létre, ahol sem éjjel, sem nappal nincs hirtelen megvilágítás változás. 5. Ügyelni kell arra, hogy sem gyalogosokat, sem járművezetőket ne kápráztassanak
1.1.2.	Lépcsők, mozgólépcsők, mozgójárdák	150	25	40	
…….					
8.2.1.	Fedett peronok és gyalogos aluljárók	50	28	40	

A 4. metróvonal tervezésekor a beruházó ragaszkodott a 2. vonal építése idején készült előíráshoz, amit a 3. táblázat mutat.

Maga a tervezés is hosszú éveket vett igénybe, valamint az engedélyezés sem egy lépésben történt. Amint a 3. táblázat mutatja, az 1960-as évek végén csak megvilágításra tettek előírást, a többi világítási paramétert elhanyagolták. A táblázatok azt is mutatják, hogy jelentős különbségek vannak az előírások között. A hatósági engedélyezés során igyekeztünk az energiatakarékosság irányába hatni, azonban a beruházó ragaszkodott a nagyobb értékekhez. Tudva, hogy a fényes felületek ellen sem igen tudunk tenni, legalább a káprázáskorlátozásra felhívtuk a figyelmet, és előírásra került, hogy az átadás során ezt vizsgálni kell.

3. táblázat

Megnevezés	E_{av} [lx]	Megjegyzés
Utasterek	250	Padlószinten mérve
Peronok biztonsági sávjainál, mozgólépcsőkön és azok előtereiben	325-375	Az utasterek megvilágításánál 30% - 50 %-kal nagyobb legyen
Peronzárak környezetében	500	Padlószinten
Biztonsági világítás	Az üzemi világítás min. 10%-a, de legalább 5 lx	Akkumulátoros üzemidő min. 1 h

4. Mérések

A méréseket megbízott külső szakértők végezték. A létesítési engedély kiadása óta jelentős jogszabályi változások történtek, így a használatbavételi engedélyt a közlekedési hatóság nemcsak a vasúti terhet viselő szerkezetekre, a vasúti pályára és a peronokra adta, hanem a vasúti hatóság jogkörébe utalták valamennyi létesítmény használatbavételi eljárását is. Így az üzemi területeket is engedélyezni kellett mint egy föld alatti épületet. Ezekben a helyiségekben is volt fénytechnikai felülvizsgálat, ami szintén megérne egy cikket. Most azonban csak az utasforgalmi létesítményekről szólok.

a. Megvilágításmérések

A 3. táblázat szerint kellett az egyes területeket vizsgálni megvilágítás és térbeli egyenletesség szempontjából, jóllehet egyenletességi követelmény nem volt előírva.

Az első probléma: mi az utastér? Mind az a terület, ahol utasok megfordulnak. Megállapodás szerint mindenütt kellett mérni, ahol az utasok közlekednek, várakoznak, tartózkodnak. Ezek közül a peronok eredményét a 4. táblázat mutatja állomásonként.

4. táblázat

Állomás	Utasperon	
	üzemi	tartalék
	E [lx]	E [lx]
Keleti pályaudvar	420	90
II. János-Pál pápa tér	427	60
Rákóczi tér	389	48
Kálvin tér	360	126
Fővám tér	388	62
Szent Gellért tér	404	66
Móricz Zsigmond krt.	383	61
Új Buda Központ	382	92
Bikás park	335	60
Kelenföldi pályaudvar	557	58

A peronok térbeli egyenletessége az – E_{min}/E_{av} érték – igen egyenletesnek mutatkozott, átlagban 0,47, a szórás pedig 0,08 volt.

A 4. táblázat jól mutatja, hogy a biztonsági világítás meghaladja nemcsak a "legalább" 5 lx előírást, hanem a *minimum „üzemi világítás (E_n)" 10%-át is.*

A 3. táblázat szerint a következő vizsgálandó terület: peronok biztonsági sávjai, mozgólépcsők és azok előterei.

Mozgólépcsőkből egy-egy állomáson több is van, ezeket külön-külön mérték. De hogyan is kell lépcsőn megvilágítást mérni? Erre a Vasúti Világítási Szabályzat ad támpontot, miszerint aluljárók esetén az alsó és utolsó lépcsőfokot kell jól megvilágítani, ott kell mérni. Ennek megfelelően a mérési adatokból az 5. táblázatban csak a legjellemzőbb – peronszintről induló – mozgólépcső-fellépők adatait mutatom.

5. táblázat

Állomás	Mozgólépcsők	Biztonsági sávok	
	lent	bal	jobb
	E [lx]	E [lx]	E [lx]
Keleti pályaudvar	766	547,9	490,2
II. János-Pál pápa tér	757	557	567
Rákóczi tér	438	454	454
Kálvin tér	514	488	471
Fővám tér	937	483,1	491,7
Szent Gellért tér	956	503	512
Móricz Zsigmond krt.	433	656	612
Újbuda-központ	757	526	523
Bikás park	487	473	435
Kelenföldi pályaudvar	809,7	786,5	723,3

Az 5. táblázat jól mutatja az állomások tervezésében meglévő különbségeket. A mozgólépcsők megvilágítottsága jelentősen meghaladja az előírt értéket, de az állomások között is jelentős eltérés mutatkozik. Az mozgólépcsők megvilágításának átlaga mintegy 686 lx, a szórása azonban 200 lx! A biztonsági sávok világítása közel azonosra sikeredett, az eltérést jobbára a lámpatestek beállítási pontatlansága okozhatja. A biztonsági sáv fölötti lámpatestek forgatható tükörrel készültek.

A következő terület a peronzáraké, ami azért jelentett problémát, mert a tervezett elektronikus jegy bevezetésére még nem került sor. A 3. táblázat szerinti nagy megvilágításnak anno a 70-es években azért volt jelentősége, mert a bérletek ellenőrzését személyek végezték és az apró betűs feliratokat kellett ellenőrizniük. Ha az elektronikus jegy megvalósul, nincs szükség a nagy megvilágításra. A peronzárakat csak néhány padlóból kiálló kábelvég jelezte, a mérést mégis elvégezték a kollégák.

b. Káprázáskorlátozás ellenőrzése

Az UGR alkalmazásánál felmerült a kérdés: munkahely-e a metró? Milyen UGR-értéknek kell teljesülnie? Munkavégzés szempontjából 16-os értéknél kisebb érték esetén bármilyen finom munka végezhető, 16 – 23 között már lehet kellemetlen, de még nem akadályozza az általános munkavégzést, csak a finomabb munkák végzését. 28-nál nagyobb érték esetén munka nem végezhető. Ennek megfelelően külön vizsgálták a járművezető szempontjait és külön az utasokét. A 6. táblázatban ezeket egymás mellett mutatom.

6. táblázat

1. fejezet Állomás	Utasperon	Mozdonyvezető
	UGR	UGR
Keleti pályaudvar	19, 9	16,5
II. János-Pál pápa tér	18,4	14,4
Rákóczi tér	18,5	11,6
Kálvin tér	21,7	19,8
Fővám tér	21,6	18,0
Szent Gellért tér	19,9	12,1
Móricz Zsigmond körtér	21,9	17,9
Újbuda-központ	21,8	21,8
Bikás park	3,4	21,8
Kelenföldi pályaudvar	21,5	16,5

A 6. táblázat jól mutatja, hogy nincs szoros kapcsolat a peron utasok által használt része és az alagútból felbukkanó, járművezető szemszögéből nézett peronvilágítás hatása között.

Az 6. táblázat szerint nincs olyan terület, amelyen ne lehetne akár munkát is végezni. Az UGR sehol nem haladja meg 22-es értéket, ami még bonyolultabb munkavégzést is lehetővé tesz. Sajnos, ha az állomások többi részét vizsgáljuk, akkor már nem ennyire rózsás a helyzet, de 28-as, már problémát jelentő, munkavégzésre alkalmatlan terület ott sem adódott.

A káprázatatást sok esetben a mozgólépcsőknél az indirekt lámpatestek okozzák, amelyekre menet közben ráláthatnak az utasok, hacsak nem egymás arcát, vagy a mobiltelefonjukat nézik.

A legrosszabb helyzet a peronzáraknál adódott, ahol a szükségesnél lényegesen nagyobb megvilágítási szintek vannak.

Meg kell azonban jegyezni, hogy a káprázás-ellenőrzést és -számítást területenként és hátterenként, lámpatestenként néhány átlagoló mérés alapján készítették, így ezen értékek nagyobb bizonytalanságúak.

5. Konklúziók

A világ nagy városaiban emberek milliói utaznak a föld alatt. Ezrek munkahelye van ott, még sincs szabvány, amely a világítási paramétereket megadná. Az európai szabvány nehezen értelmezhető metróra.

Utazva a metrón, vagy csak a képeket nézve érzékelhető, hogy a káprázáskorlátozásra előírt UGR-érték teljesítése nem biztosítja a vizuális komfortot. A csillogó környezet, az indirekt világítás többszintes terekben nem biztos, hogy optimális ebből a szempontból, különösen nem a látássérültek szempontjából.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani kollégáimnak, Pálmai Ödönnek és Tóth Mihálynak, akik a fénytechnikai méréseket végezték igen lelkiismeretesen, nagyon nehéz körülmények között, hiszen még épültek az állomások, amikor már mérni kellett és sokszor nem lehetett az állványokat, bódékat kikerülni.

Köszönet illeti Déri Tamás kollégámat a képanyagért és a lelkes támogatásért.

Irodalomjegyzék

[1]. Déri Tamás: Metrófények Budapesten, Fórum Média Kiadó Kft. Budapest 2014.
[2]. MSZ EN 12464-2: 2007 Fény és világítás. Munkahelyi világítás. 2. rész: Szabadtéri munkahelyek
[3]. MSZ EN 12464-1:20002 Fény és világítás. Munkahelyi világítás. 1. rész: Belső téri munkahelyek
[4]. MÁVSZ 2950 -3:1999 Vasúti világítás Szabadtéri világítás

INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

Budapest, Baross téri új aluljárórendszer gyalogos közlekedési zónáinak világítás tervezése

– Takács Kristóf –

A Baross téri gyalogos aluljárórendszer világítástervezésével az UVATERV Zrt.-nél és a diplomamunkámban foglalkoztam. A közforgalmú területek világítására hagyományos fénycsöves és LED-es világítási rendszert terveztem. Célom az volt, hogy a fénycsöves világításnál kisebb energiafelhasználású és gazdaságosabb világítási változatot találjak. A következőkben a világítás tervezése során felmerült problémákra hívom fel az olvasó figyelmét, majd ismertetem a gazdasági számításaim eredményét, amelyből kiderül, hogy érdemes-e LED-es világítást tervezni gyalogos aluljárókba.

1. Bevezetés

Budapest közlekedési fejlesztési koncepciójának része volt a Baross téren az új M4 metróállomáshoz kapcsolódó felszíni és aluljárós forgalom tervezése. Ennek részét képezte a világítástervezés, amellyel az UVATERV Zrt.-nél lehetőségem volt foglalkozni. Diplomamunkámban ezen túlmenően a gyalogos közlekedési zónák (1. ábrán zölddel jelölve) világításának alternatív tervezése volt a feladatom.

1. ábra. Az aluljárórendszer felépítése [1]

A fénycsöves világítás megbízható, jó fényhasznosítású és kis bekerülési költségű. Továbbá üzemeltetése nem okoz különös gondot, mivel a budapesti aluljárók többségében fénycsöves lámpatestek vannak. Vélhetően ezen okok miatt döntött úgy a tulajdonos és az üzemeltető, hogy ez az opció valósuljon meg.

A LED-es világítás manapság nagyon gyorsan fejlődik, és terjed a világítástechnika területén. Igaz, hosszabb távú üzemeltetéssel kapcsolatos tapasztalatok még nincsenek, de a LED-ek gyorsan növekvő fényhasznosítása, kis energiafelhasználása és az élettartambecslések ígéretes eredményei miatt már egyre több helyen találkozhatunk LED-lámpatestekkel a közvilágításban.

2. Az aluljárórendszer hagyományos világítási változatának tervezése

Munkám során először a hagyományos fénycsöves világítási rendszert terveztem meg. Előzetes számításokkal meghatároztam az aluljáró közforgalmú zónáinak szükséges fényáramát. Már ez a kezdeti lépés sem volt egyszerű, ugyanis ehhez szükség volt a gyalogos aluljárók szabványban előírt átlagos megvilágítás értékére.

2.1. Hiányzó világítási szabvány

Irodalomkutatásom során azt tapasztaltam, hogy jelenleg nincs érvényes világítási szabvány a gyalogos aluljárókra. A régi, MSZ 20194-3 „Közforgalmú területek mesterséges világítása” c. szabvány egyértelmű előírást tartalmazott ezen a területen. 2004-ben azonban megjelent az MSZ EN 13201 „Útvilágítás” szabvány, amely ennek a helyébe lépett, viszont nem tartalmaz gyalogos aluljárókra vonatkozó előírást. Ez alapján csak a nyitott területek világítási követelményeit lehetett meghatározni: az átlagos megvilágítás legkisebb karbantartási értéke 15 lx, a megvi-

lágítás minimumának karbantartási értéke 5 lx. A fedett zónákhoz hasonló funkciójú területekre (pl. vasúti aluljárók, beltéri munkahelyi folyosók) vannak szabványok, amelyek vonatkoztathatók az aluljárókra. A tervezést végül az üzemeltető kérésére a régi szabvány alapján végeztem. Ennek értelmében minden fedett és félig nyitott közforgalmú zóna átlagos megvilágításának el kellett érnie a 200 lx karbantartási értéket, 0,4-es térbeli egyenletesség mellett. A karbantartási tényezőt is meghatároztam, ennek értéke 0,61.

2.2. Budapesti aluljárók megvilágításának mérése – túlméretezés a Nyugati pályaudvari aluljáróban

A Baross téri aluljárórendszerhez hasonló funkciójú aluljárókban, három helyszínen megvilágítás méréseket végeztem. A célom az volt, hogy következtetéseket vonjak le az aluljárók átlagos megvilágításából. A mérések során kiderült, hogy a Keleti pályaudvari aluljáróban (Baross téri aluljáró korábban elkészült szakaszán) és a Móricz Zsigmond-körtéri aluljáróban a régi szabvány alapján megfelelőnek mondható a világítás, viszont a Nyugati pályaudvari aluljáró felújított világítása jelentősen túl van méretezve (2. ábra).

Helyszín	Megvilágítás E_m [lx]	Egyenletesség U0 [-]
Keleti pu.	265	0,67
Nyugati pu.	975	0,83
Móricz Zs. körtér	413	0,71

2. ábra. Megvilágítás mérések eredménye

A Nyugati pályaudvari aluljáróban az előírt 200 lx[1] helyett 975 lx átlagos megvilágítást mértem. Ez még az irodák munkafelületére előírt 500 lx karbantartási értékének is majdnem a kétszerese.

Ez abból adódik, hogy a 2012-ben történt korszerűsítésnél a lámpatestek csoportba foglaló kereteit meghagyták, és csak a fényforrásokat és lámpatesteket cserélték ki. Bár az eredetileg 36 W-os fénycsöveket 28 W-osakra cserélték, a felújítást követően a jobb hatásfokú új világítótestek miatt nagyon nagy megvilágítás lett az aluljáróban. Ez a nagyobb beruházási költség mellett jelentős energiapazarlást is jelent: számításaim szerint éves szinten 8,3 millió forint[2] felesleges energiaköltséget okoz, nem beszélve a fénycsövek többletköltségéről.

Véleményem szerint érdemes lett volna egy világítástechnikai szoftverrel ellenőrizni az elképzelt változtatások hatását. Ebben az esetben kiderülhetett volna, hogy a két fénycsöves lámpatestek helyett elég lett volna egy fénycsöveseket alkalmazni, még így is biztosítva lenne a kellő megvilágítás. Ezt a jelenlegi lámpatest-kiosztás mellett is meg lehetett volna valósítani. Úgy gondolom, még most is érdemes lenne megvizsgálni, hogy milyen megoldással lehetne gazdaságosan üzemeltetni ezt az aluljárót, illetve az összes többit, ahol hasonló korszerűsítés volt, vagy lenne a jövőben.

2.3. Hamis világítótest-adatok

A világítás tervezését a Relux világítástechnikai tervező programmal végeztem. Itt építettem fel a modellteret, és helyeztem el a kiválasztott világítótesteket. Az aluljárórendszer legnagyobb területére, a fedett zónákba 2x24 W-os, T5-ös fényforrásokat tartalmazó lámpatesteket (3. ábra), a félig nyitott zónákban 1x36 W-os és 2x36 W-os kompakt fénycsöves lámpatesteket, a nyitott területekre pedig 70 W-os fémhalogénlámpás kandelábereket terveztem. Az összes típusnál nagyon fontos szempont volt a vandálbiztosság, azaz a lámpatestek legalább IK08-as védelme.

1. 200 lx az előírt karbantartási érték, ami 0,6-os karbantartási tényező esetén 333 lx kezdeti megvilágítást jelent. Mivel a fénycsövek kb. az élettartamuk felénél voltak, kb. 270 lx megvilágításnak kellene lenni az aluljáróban.

2. 975 lx felére csökkentéséhez képest, 40 Ft/kWh energia-egységárral számolva (mindenhol)

3. ábra. Fénycsöves lámpatest (2x24 W)

A Relux programban minden világítótestet egy ún. Eulumdat-fájl ír le, amely a világítótest minden fontos paraméterét tartalmazza. Ez alapján számol a program. A hagyományos világítás tervezése során találkoztam azzal a sajnálatos ténnyel, hogy a beruházó által preferált világítótest Eulumdat-fájljában szereplő világítási paraméterek teljesen irreálisak voltak (pl. 96% lámpatest hatásfok). Kiderítettem, hogy ennek a típusnak a gyártótól független mérését az Óbudai Egyetem akkreditált világítástechnikai laboratóriumában végezték, majd ez alapján kapott Eulumdat-fájlt. Ennek ellenére a gyártótól kapott fájlban szereplő fényerősségértékek másfélszer akkorák voltak, mint a mérési jegyzőkönyvben szereplők. Továbbá a hatásfokok sem egyeztek meg, egyedül csak az alapadatok. Később, az aluljáróban végzett ellenőrző megvilágításmérésem is igazolta, hogy hibás volt az Eulumdat-fájl. A világítótest gyártóját erről tájékoztattam, de a fenti tények után is azt állította, hogy az adatok helyesek.

Szerencsére a tervezést az eredetileg meghatározott világítótest-típussal végeztem, ami a gyártóját kivéve minden paraméterében közel azonos volt a hibás fájlú lámpatesttel, viszont ennek szerencsére jó volt az Eulumdat-fájlja. A helyszíni mérésem azt is bizonyította, hogy az aluljáróban megfelelő lett a megvilágítás, továbbá a Relux-szal számított értékek nagyon jó közelítéssel megegyeztek az aluljáróban mért megvilágítási értékekkel.

A normál világításon túlmenően a beruházó kérésére egyedi akkumulátoros tartalékvilágítást (kijárati utak biztonsági világítása és pánik elleni világítás) is terveztem.

2.4. Jogi, szerződésbeli probléma – fényszabályozás

A fényszabályozással kapcsolatban azt emelném ki, hogy a félig nyitott területeken is napi 24 órában kell működtetni a világítást Főváros és BDK közötti éves Közszolgáltatási Szerződés miatt. Semmilyen vezérlést és szabályozást nem tudtunk megvalósítani. (megjegyzem, a mérés kiépítése nem volt feladat és még akkor sem kérték, amikor a pazarlásra felhívtam a figyelmet). Emiatt évente 8760 órát üzemelnek a lámpatestek a szükséges 4000-5000 óra helyett, ami jelentős energiapazarlással jár, és évente kb. 1,3 millió Ft fölösleges kiadást jelent.

Sajnos, amíg a közvilágítási rendszer csak méretlen hálózatról üzemelhet [2], nem valósítható meg sehol sem a félig nyitott területek természetes fényhez illesztett, szabályozott működtetése.

3. Az aluljárórendszer LED-es világítási változatának tervezése

A LED-es világítás tervezésével az volt a célom, hogy a fénycsöves világításnál kisebb energiafelhasználású és gazdaságosabb világítási változatot találjak.

A lámpatest kiválasztásánál a vandálbiztosság mellett a megbízhatóságot tartottam a legfontosabb feltételnek, ezért egy olyan vandálbiztos lámpatestet választottam (4. ábra), amelyben a világon az egyik legjobb LED-eket gyártó cég fényforrása (CREE XLamp XTE) van.

4. ábra. LED-lámpatest

A nyitott zónákba a kandelábernek a LED-es típusát terveztem, amely kinézetre teljesen megegyezik a fémhalogénlámpás típussal. Az összes többi zónába a 4. ábra szerinti LED-lámpatestet választottam.

A LED-es világítást úgy terveztem meg, hogy a megvilágítás és a megvilágítás térbeli egyenletessége minél jobban megközelítse a hagyományos világítási változat értékeit, illetve ennél inkább kismértékben nagyobb legyen. Erre azért volt szükség, hogy gazdasági szempontból összehasonlítható legyen a két változat. A következő táblázat foglalja össze a hagyományos és LED-es rendszer számított átlagos megvilágítás és térbeli egyenletesség értékeit. A zárójelben lévő értékek a megvilágítás minimumai.

Zóna	Megvilágítás (lx)		Egyenletesség (-)	
	Hagyományos	LED	Hagyományos	LED
B1	210	243	0,7	0,58
B2	253	264	0,73	0,79
C	213	253	0,67	0,89
D	229	202	0,49	0,66
G folyosó	206	210	0,54	0,59
G1	237	222	0,61	0,7
G2	215	228	0,6	0,7
G3	211	220	0,62	0,66
F	248	235	0,39	0,57
F üzlet	160	189	0,56	0,57
F1	207	211	0,49	0,53
K	239	231	0,48	0,48
H	228	224	0,48	0,45
Nyitott 1	100 (56)	176 (124)	0,56	0,7
Nyitott 2	60 (31)	120 (76)	0,51	0,64
Nyitott 3	30 (8)	55 (14)	0,27	0,26

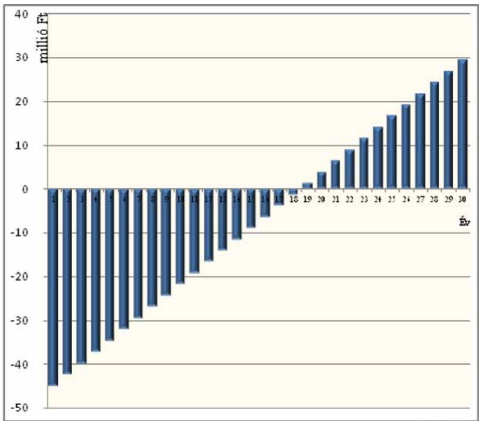
5. ábra. Hagyományos és LED-es világítás számított megvilágítási értékei

4. Gazdasági számítások

Számításaim szerint a LED-es világítás beruházási költsége jóval nagyobb a hagyományos világításénál, viszont hosszú távon nézve jelentős mennyiségű energia és költség takarítható meg jó minőségű, megbízható LED-es világítási rendszerrel.

A világítás költsége két részből áll: a létesítési és az üzemeltetési költségből. Jelen esetben (de ez általánosságban is elmondható) a LED-es világítás létesítési költsége a hagyományos világításnak a kétszerese. Az üzemeltetési költségnek három összetevője van: az energiaköltség, a fényforráscsere -költség és a karbantartási költség. A LED-es világítás beépített teljesítménye kevesebb mint 22 kW, ami a hagyományos világításnak a kétharmada. Ez alapján, éves szinten közel négy millió forint energiaköltség takarítható meg a LED-es világítással. A LED-fényforrások nagy bekerülési költsége miatt – bár a lámpatest 30 évvel számolt élettartama alatt kevesebbszer kell cserélni ezeket – jelentősen megnő a korszerű világításüzemeltetési költsége. Az összehasonlíthatóság miatt a fényforráscsere költségét éves költségként vettem figyelembe, így a LED-es világítás fényforráscsere-költsége évente 1 448 693 Ft-tal több. Számításaim szerint a LED-es világítás karbantartási költsége 17 760 Ft-tal kerül kevesebbe évente. Összességében a LED-es világítás üzemeltetési költsége éves szinten 2 561 252 Ft-tal kevesebb, mint a hagyományos világításé.

Ezek alapján a többlet beruházási költség 18 és fél év alatt megtérül, és az évente több mint 2,5 millió forinttal kevesebb üzemeltetési költség miatt 30 év alatt majdnem 30 millió Ft takarítható meg a hagyományos fénycsöves világításhoz képest. Persze ez csak abban az esetben igaz, ha jó minőségű LED-lámpatesteket alkalmaznak, és a beruházásra van fedezet, tehát nem kell kölcsönt felvenni. A következő ábrán látható, hogyan alakul évről-évre a LED-es rendszerrel elérhető megtakarítás a hagyományoshoz képest.



6. ábra. LED-es világítással elérhető megtakarítás a hagyományos világításhoz képest

A pénzügyi megtakarításon túlmenően környezettudatossági szempontból is kedvezőbb a LED-világítás, ugyanis éves szinten több mint 100 000 kWh-val kevesebb villamos energiát kellene termelni a LED-es esetben. Ezek összességében nem olyan nagy értékek, viszont itt csak egy aluljáróról volt szó.

4. Összefoglalás

Összességében elmondható, hogy az aluljáró tervezése során sok elszomorító ténnyel találkoztam. Kezdve a hiányzó szabványtól, a nem kellő részletességgel megtervezett felújításokon és hamis adatszolgáltatáson keresztül egészen a nem megfelelő jogi szabályozásig. Ezek jelentős energia- és pénzpazarlásához vezetnek, ezért jó lenne ezeken változtatni, de minimum tanulni kell belőlük.

A megtervezett két világítási rendszer gazdasági elemzésében arra az eredményre jutottam, hogy a LED-es lámpatestek – a fénycsöves lámpatestekhez viszonyított – többlet beruházási költségének megtérülési ideje 18,5 év, de a 30 éves élettartam alatt közel 30 millió forint megtakarítás érhető el.

Tehát elmondható, hogyha az önkormányzatok megengedhetik maguknak, hogy egy beruházás megtérülési ideje 18,5 év legyen, akkor hosszú távon megéri a LED-világítótestek alkalmazása a közvilágításban.

Ezzel szemben hozzá kell tenni, hogy ez csak megfelelő minőségű, és megbízható gyártótól származó világítótestek esetében igaz. Ellenkező esetben elképzelhető, hogy az akár jelentősen megnövekedő karbantartási költségek miatt nem is térül meg a beruházás.

Irodalomjegyzék

[1]. UVATERV Zrt.: Aluljáró üzemeltetési határok, építész kiviteli terv, 2012

[2]. Főváros és BDK közötti éves Közszolgáltatási Szerződés

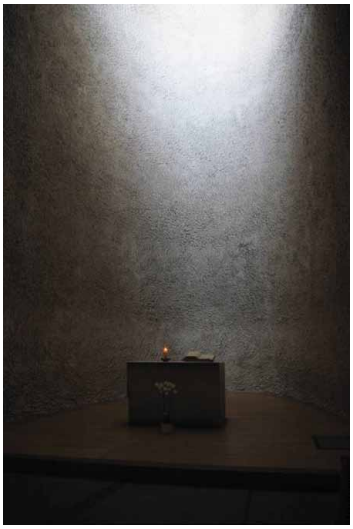
Építészet és díszvilágítás – Fényszennyezés

– Dulácska Zsolt –

Áttekintjük az építészethez igazodó, annak fontos elemét: a jó világítás, díszkivilágítás ismérveit. Fényszennyezés fogalomköre, és építésjogi háttér. Mindezekre jó és vitatható példákat mutatunk be.

1. Bevezetés

A jó épületvilágítás az építészeti alkotásnak, mint művészetnek a kifejező erejét szolgálja. Ami az építészeti megfogalmazás ellen hat, azt gyengíti, összezavarja, nem tekinthető jó díszkivilágításnak. Az összhang, a harmónia természetesen sok módszerrel, több megközelítésben is kiváló eredményt adhat. Mindig tekintettel kell lenni arra, hogy az építészet – és ily módon az épületvilágítás is – nem lehet öncélú. *„Az építészet emberszolgálat." (Perczel Dénes, építész)*



1. kép. Ronchamp, Magasságos Miasszonyunk-kápolna, mellékoltár (építész: Le Corbusier, 1950) [2]

A mellékoltáron a gyertya mellett a Biblia évtizedek óta a világosság alapvetésénél van kinyitva:

„Kezdetben vala az Ige, és az Ige vala az Istennél, és Isten vala az Ige. Ez kezdetben az Istennél vala. Minden ő általa lett és nála nélkül semmi sem lett, a mi lett. Ő benne vala az élet, és az élet vala az emberek világossága. És a világosság a sötétségben fénylik, de a sötétség nem fogadta be azt." [3]

2. Az építészet és a jó világítás

Az építészet: a funkció, a forma és a szerkezet harmonikus egysége.

Mind a négy fogalom roppant fontos. Ha megvan a harmonikus egység, abban a térben, épületben jó tartózkodni.

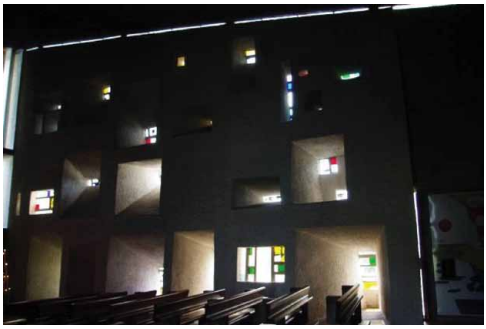
Ha csak egyik is hibádzik, az szembetűnő, rossz érzetet kelt a szemlélőben, az épületet használókban. A folyamatos rossz közérzet pedig pszichikailag megterhelő, tartósan az épületben élők személyiségében rossz irányú változásokat okoz. Erről kevés felmérés született, de kézzelfogható építész gyakorlati tapasztalat. Itt érhető tetten az épületvilágítás szerepe is: a jó világítás elősegíti az ember harmóniáját.

2. kép. Kolozsvár, gótikus csarnoktemplom harmonikus belső tere

2.1. Világítás és a funkció

A rendeltetést általában az építmények funkcionális világítása szolgálja. Ennek szép

példája a ronchampi kápolna elmélyedést és belső csendet teremtő varázslatos fényei, amelyek a déli fal nyílásain és színes üveg-ablak-réseken szűrődnek be. A színes kis üvegeken rövid tőszavak vannak felírva, mintegy „fénnyel súgják" a betérők lelkébe a létünk valóban fontos dolgait.



3. kép. Ronchamp, Magasságos Miasszonyunk-kápolna, déli fal (építész: Le Corbusier, 1950)

2.2. Világítás és a forma

4. kép. Roueni katedrális, Monet, (1892-94) (forrás: internet)

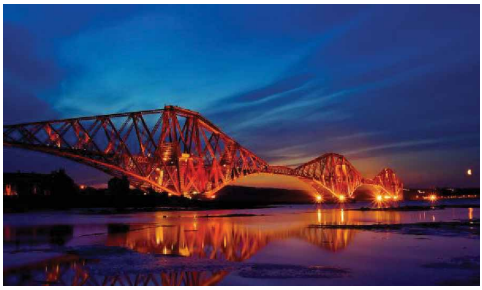
Cloude Monet 1892 és 1894 között több mint harminc képet festett a XII-XV. szd. között épült gótikus roueni Notre-Dame katedrálisról.

A gazdagon formált nyugati főhomlokzat a napszakok, az időjárás, a páratartalom, a világítás beesési szögének, és színhőmérsékletének változásával meglepően új és új arcát mutatja a festményeken. A művész világhírű képsorozatban mutatta be a megvilágítás változásának a hatását az építészeti forma érzékelésére.

2.3. Világítás és a szerkezet

A hidak őszinték. A „csontvázukat" kívül hordják: mindent látunk, mindent tudunk ha értő szemmel rájuk nézünk.

Ez a vasúti híd hasonlatos a budapesti Szabadság hídhoz. Acél rácsostartós konzolos híd, befüggesztett középső pályaelemmel. A díszvilágítás részletezően bemutatja a szerkezet lényegét, a rácsostartós szerkezetet.



5. kép. Firth of Forth vasúti híd, Skócia (1889) (forrás: internet)

6. kép. Firth of Forth vasúti híd, fénnyel megfestett acélszerkezet, fotónegatív kép

Ahol a rácsszerkezet a legnagyobb terheket átadja az alátámasztásnak, mintegy a legnagyobb feszültség jeleként, ott a legtöbb a fény, ott „izzik fel" a díszkivilágítás. Érde-

mes a szerkezet díszkivilágítását negatívként is megnézni, milyen gondosan, hiánytalanul rajzolja végig a világítás a híd „csontvázát”.

3. Hidak

A hidak a pilonoknál díszítést, rátételemeket elviselnek: teraszozó kiszélesedő járdák, nehéz kőburkolatok, párkányzatok, faragványok, szobrok-szoborcsoportok, kilátó stb. A hídnyílásokban azonban csak a hídpálya, tartó- és merevítőszerkezetei lehetnek, a kiszolgáló mellékszerkezetekkel (közvilágítás, vízelvezetés, vasúti-közúti kellékek).

A budapesti hidak majd mindegyike látványosan más konstrukció. Van lánchíd, ívhíd, konzolos-rácsostartós híd, kábelhíd, acél rácsostartó, K-rácsos tartós, acél dobozszelvényes. Alátámasztásukat tekintve is változatosak. Van Dunában álló sok-pilonos, van két-pilonos, és van, amelyiknek csak a parton van pilonja.

Ennek megfelelően megjelenésük is nagyon jellegzetes. A tanulságok okán érdemes áttekinteni a díszvilágításukat.

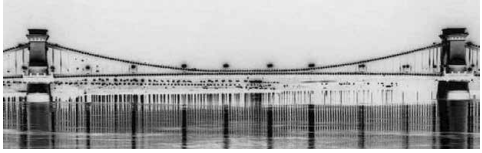
3.1. Lánchíd

A pilonokon átvetik a két láncot, és azok végeit a partokon lehorgonyozzák. A főtartó láncokra felfüggesztik az útpályát. Az útpálya merevítését azok alatti kereszttartók, hosszában pedig az útpálya és a járdák két oldalán futó rácsostartók biztosítják.

A budapesti Lánchíd pilonjainak díszvilágítása hagyományosan részletező. A burkolt homlokzati kőfelületek párkányonként kapnak világítást, a teljes kő-pilon így éjjel mintegy „belülről fénylik”.

7. kép. Lánchíd, Budapest (1849)

A láncok és az útpálya díszvilágítása allegorikus, mindkettő egy pontsorként jelenik meg éjszaka. A láncszemek valójában cca. 6 m hosszúak. Az útpályát a rácsostartó korlátok jelenítik meg nappal. Mégis, a díszvilágítás dinamikai-formai kontrasztja a súlyos kő-pilonok, és a könnyed acél lánc- és pályaszerkezet ellentéte különleges hatást kelt, jól sikerült. A Főváros egyik jelképévé vált.

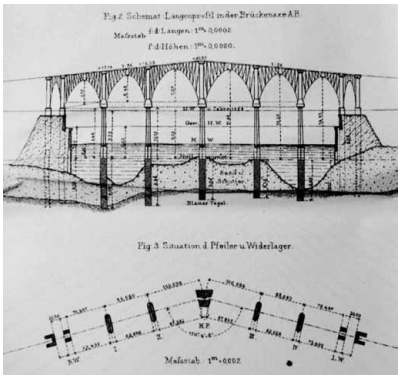


8. kép. Lánchíd, Budapest (1849), negatív kép

A díszvilágítás negatív fotója a mérnöki alkotást szépen kirajzolja, a bevezetőben említett harmóniát jól megmutatja.

3.2. Ívhíd

A partok és a pilonok közé boltívszerűen befeszítik az íves tartókat. Ez lehet boltozott kőhíd, acélszerkezet vagy vasbeton is.



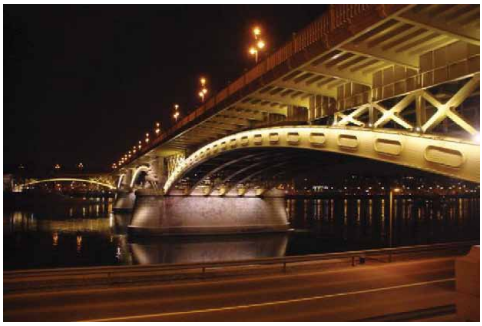
9. kép. Margit híd, Budapest (1876), eredeti terv részlete, torzított léptékkel

A budapesti Margit híd acél főtartós ívhíd. Díszvilágítása az ívhíd működésének lényegét bemutatja. A masszív pilonok, és az acél ívtartók az útpálya alatt a legerősebben megvilágítottak. Az útpályát hordozó kiegészítő rácsostartók, a kereszttartók is világítást

kaptak, de kisebb hangsúllyal. Az útpálya közvilágítása másodlagos elem, funkcionális világítás, mintegy leválik a hídszerkezet díszvilágításától. A díszvilágítás így pontosan bemutatja, leköveti a híd elvi lényegét.

Fényszennyezés szempontjából a díszvilágítás jól megoldott. A tartószerkezet világítását a fölöttes útpálya felülről takarja, a horizont és az ég felé nem irányulnak fénypászmák.

A parti pilonok járdába süllyesztett taposó fényvetői aszimmetrikus fénykúppal világítják meg a függőleges kőfelületeket.



10. kép. Margit híd, Budapest (1876)

11. kép. Margit híd fotónegatív, Budapest (1876)

A híd erőjátékának lényegi elemei a díszvilágítás a fotónegatív képén jól követhetően kirajzolódnak.

A lánchíd és az ívhíd díszvilágításának fotónegatívján a fentiek jól érzékelhetőek. A díszvilágítások nem azonosan jelennek meg a nappali látvánnyal, a „hídgyűjtemény" ezen része mégis harmóniában van.

12. kép. Ívhíd és lánchíd díszvilágítása

3.3. Kábelhíd

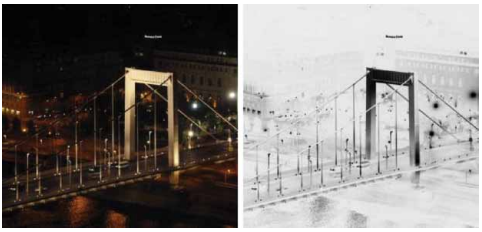
A pilonokon átvetik a két kábelt, és azok végeit a partokon lehorgonyozzák. A főtartó kábelekre felfüggesztik az útpályát. A dinamikus lengések a híd tönkremenetelét okozhatják (szélhatás: Tacoma Narrows híd, USA, 1940. nov. 7.). Ezért fontos az útpálya megfelelő merevítése, illetve szél esetén a hídpálya alatti és feletti légnyomáskülönbség megfelelő kiegyenlítése. Az USA-ban gyakran a hídpálya nem tömör felületű, hanem rácsos. Az európai gyakorlat inkább a pályaszerkezet megfelelő aerodinamikai kialakításával, illetve a pálya dobozszerkezetként történő tervezésével oldja meg.

A jelenleg közismert legnagyobb kábelhidunk a II. vh. előtt lánchíd volt. Három méteres makettje a müncheni technikai múzeumban megtekinthető.

13. kép. A felrobbantott Erzsébet híd lánchíd, később újjáépített kábelhíd „korában"

Díszvilágítása ma jól mutatja be az alapvető működést. Egyértelműek a fehér pilonok, a rajtuk átvetett főtartó kábelek. Az útpálya alsó dobozszerkezete mezőnkénti

ritmusban, de nem kiemelten vannak megvilágítva.

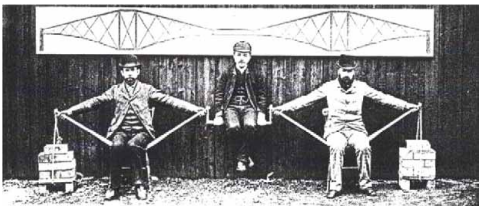


14. kép. Az Erzsébet híd díszvilágítása, és fotónegaítv képe

A fehér acél pilonok megvilágítása alulról történik, járdába süllyesztett billenthető fényvetőkkel, asszimetrikus lámpatestekkel. Fényszennyezés szempontjából a híd főtartó kábelek megvilágítási megoldása kérdéseket vet fel (árnyékolók nélküli fényvetők). Azaz: jelentősen fényszennyező ez a diszvilágítás.

3.4. Acél rácsostartós konzolos híd, beakasztott középső tartóval

Ezen hidak működésének alapelve, hogy a mederpillérekre acél rácsostartós hídelemeket állítanak, amelyek konzolosan benyúlnak a meder fölé. A parti oldalon a megfelelő biztonságos mértékben leterhelik, és így a meder közepébe egyszerűen beakasztható egy középső híd-elem.



15. kép. Konzolos acél rácsostartós híd működésének alapelve (forrás: internet)

Jól látható, hogy a kétoldali konzolos elemnek mind az alsó, mind a felső öve egyformán fontos: bármelyiket elhagyjuk, a híd leomlik.

16. kép. Szabadság híd, Budapest (1896)

A budapesti Szabadság híd díszvilágítása gondosan leköveti a szerkezet felső övét. Elemenként bemutatja a rácsos szerkezetet – a hídpálya fölött. Kevés fényt juttat a pilonokhoz, de csak a pilon kő- és acélszerkezetét mutatja be.

17. kép. Szabadság híd (konzolos rácsostartós híd), mögötte az Erzsébet híd (kábelhíd)

A díszvilágítás fotónegatívján jól látszik, hogy a híd alsó szerkezete „hiányzik". Pedig azonos jelentőségű híd-szerkezetileg az erősen megvilágított felső övvel.

A híd díszvilágítása jelen formájában véleményem szerint nem harmonikus, fogalmilag zavaró. A többi híd lényegét bemutató világításhoz nem illeszkedik.

18-19. kép. A konzolos rácsostartós Szabadság híd díszvilágítása, mintha kábelhíd lenne

4. Középületek

4.1. Igazgatási épület

Az 50-es években épült szocreál pártház, később irodaház közpark fölötti dombon áll. A dombra látványos lépcsősor vezet fel. Az épület tömege klasszikus tagolású: erős földszinti tömeg, felmenő homlokzat, majd lezáró főpárkány.

20. kép. Budapest II., igazgatási épület, volt pártház, nappal (építész: Körner József, 1953)

A jelenlegi díszvilágítás erősen kiemeli a pilaszter-sort a főhomlokzat első és második emeletén. Az első emeleti megvilágított sáv indokolatlanul erős, kiemelt a második emelethez képest. Ez a homlokzat szerkesztési arányrendszerét megbontja. Zavaróak az első emeleti ablakszemöldökök nagyméretű árnyékai.

21. kép. Bp. II., igazgatási épület díszvilágítása

A díszvilágítás a földszinti alépítményt, a homlokzat többi részét teljes sötétben hagyja. Jól mutatja ezt a fotónegatív is, érdemes összevetni az épület nappali megjelenésével.

22. kép. Bp. II., igazgatási épület, díszvilágítás fotónegatívja

Figyeljük meg a színeket is. A homlokzat színezése, és a megvilágítás színhőmérséklete fontos kérdés. A földszinti tömeg szórt, narancs fényt kap a park közvilágítási lámpáitól, amelyek a felvezető lépcsősoron állnak. Azonban a lámpatestek kápráztatnak: több fény jut a szemünkbe, mint a lépcsősorra. Mellesleg fényszennyezőek is!

23. kép. Bp. II., Mechwart tér, kandeláberek a közparkban (2014)

4.2. Irodaház

A Capital Square irodaház díszvilágítása összhangban van az épülttel. A bejáratot az előtető és a belső fények emelik ki. A játékosan megtört tetőt – mint lezáró elemet – jól láthatóan világították meg.

24. kép. Capital Square irodaház, Bp. XIII., (felelős építész tervező: Guczogi György DLA, építésztervezők: Halvaksz Mónika, Kertész Balázs; Finta és Társai Építész Stúdió)

A kőburkolatú homlokzat felületeket fényoszlopokkal világították meg, de felülről lefelé. A fénygyengülés megfelelő. Ahol a fényoszlop fénysűrűsége gyengül, ott a homlokzat megvilágításába besegít a közterületi megvilágítás szórt fénye. Az üvegfal az este használt irodák ki-bekapcsolt fényeivel játékos éjjeli új elemként jelenik meg az esti homlokzaton. A fotónegatív visszaigazolja a díszvilágítás átgondoltságát.

Fényszennyezés tekintetében a díszkivilágítás példaértékű: a horizont felé, és az égre nem irányul fénycsóva.

5. Színhőmérséklet

A díszvilágítás az épület „fénnyel festése". A színeknek itt fontos szerepe van. Mérlegelni kell az épület homlokzati színeit, a környező közvilágítás és egyéb közterületi világítások színeit, és a díszvilágítás színét, illetve színeit. Az épület és a díszvilágítás is négydimenziós térbeli alkotás. Nemcsak térbeli épületet világítunk meg. Időben is változik a teljes látvány. Vegyük észre, hogy nem csak fekete sötétben, hanem a változó színű alkonyi kékes-vörös, vagy a felhők által szűrt szürke is háttér lehet.

Kölcsey Ferenc bronzszobra és hófehér kő posztamense a mélyvörös barokk homlokzat előtt, (most még) narancs nátrium köztéri lámpák szórt fényében, fehér színű reflektorokkal megvilágítva, nagy színkontraszttal emelkedik ki a környezetből.

25. kép. Bp. I., Batthyány tér, Kölcsey Ferenc szobra (szobrász: Kallos Ede, 1897)

26. kép. Bp.V., Belvárosi templom

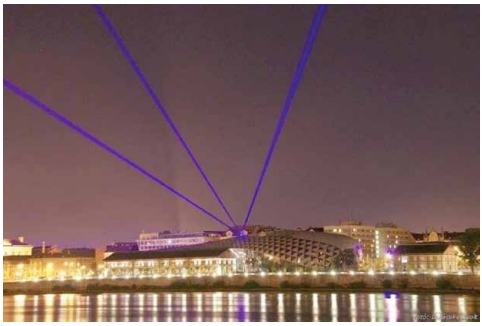
A középkori-klasszicista templom nemrégen felújított homlokzata és díszvilágítása meghatározó eleme a pesti Duna-partnak. A régi világítás – homlokzaton foltosan megjelenő – fényei helyett az új világítás kiemeli a klasszicista homlokzat egységét. A színhőmérséklet-különbség jól kiemeli a templomot a köztéri nátriumlámpás világítás narancs fényből. Azonban az idő dimenzióban változó (reklámozó függő), egyre erősebb fényű reklámfelületek színessége a látványba bezavar.

Felhívom a figyelmet, hogy a nagyteljesítményű, nagy fénysűrűségű LED-világítású reklámtáblák, cégérek sokszor kápráztatóak, a közlekedést zavaróak. Nem mindig a legharsányabb reklám a vonzó: sokszor a kevesebb többet mond. Sajnos ez Budapest városképének reklámkultúrájára is elmondható.

6. Látványos fényszennyezés

Budapesten közismerten nagy botrányt okozott a „Bálna" megnyitás előtti több hónapos lézer-ég-kivilágítása. A lézersugár

a budai oldali hegyvidék lakóövezetét végigsöpörte, a társasházak lakásaiba zavaró fényként rendszeresen bevilágított. A szervezők erre nem ügyeltek, azonban a légügyi hatósággal egyeztetve a Liszt Ferenc Repülőtér körüli indulási és megközelítési légi útvonalakat elkerülték az erős lézerrel.



27. kép. Budapest IX., „Bálna", az ég-kivilágítása lézerrel több hónapon át 2013 őszén

28. kép. Zágráb fényszennyezése (forrás: internet)

A felhők megvilágítása látványos, de a horizont fölé kibocsátott fényenergiát a város elpazarolja. A számlát a közösségnek ki kell fizetnie, az energiapazarlás növeli az ökológiai lábnyomot.

7. Építési jogi háttér

Az építmény- és az épület díszvilágítással, valamint a fényszennyezéssel kapcsolatban fontos áttekinteni a jogi hátteret, és a pontos fogalommeghatározásokat.

7.1. Az építési törvény (1977. évi 78. tv az épített környezet alakításáról és védelméről)

A törvény hatálya kiterjed az épített környezet körébe tartozóan többek között az épületek, műtárgyak (a továbbiakban együtt: építmények), …. az építmények építészeti-műszaki tervezésére; az építmények kivitelezésére; a szabályok ellenőrzésére és érvényre juttatására. (Étv 1. §).

A törvény fogalommeghatározásai között:

Építmény: „építési tevékenységgel létrehozott, illetve késztermékként az építési helyszínre szállított, – rendeltetésére, szerkezeti megoldására, anyagára, készültségi fokára és kiterjedésére tekintet nélkül – minden olyan helyhez kötött műszaki alkotás, amely a terepszint, a víz vagy az azok alatti talaj, illetve azok feletti légtér megváltoztatásával, beépítésével jön létre (az építmény az épület és műtárgy gyűjtőfogalma)." (2. § 8. bek.)

Épület: „jellemzően emberi tartózkodás céljára szolgáló építmény, amely szerkezeteivel részben vagy egészben teret, helyiséget vagy ezek együttesét zárja körül meghatározott rendeltetés vagy rendeltetésével összefüggő tevékenység, avagy rendszeres munkavégzés, illetve tárolás céljából." (2. § 10. bek.)

Műtárgy: „mindazon építmény, ami nem minősül épületnek és épület funkciót jellemzően nem tartalmaz (pl. út, híd, torony, távközlés, műsorszórás műszaki létesítményei, gáz-, folyadék-, ömlesztett anyag tárolására szolgáló és nyomvonalas műszaki alkotások)." (2. § 15. bek.)

Tehát a törvény értelmében építménynek számít a tereprendezéssel, növénytelepítéssel létrehozott térfalakkal, kerti utakkal, mesterséges tóval, szökőkúttal, szobrokkal, térvilágítással kialakított közpark is, a benne álló középülettel, annak díszvilágításával együtt.

7. 2. OTÉK [253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről]

A rendelet tiltja a fényszennyezést a „Higiénia, egészség- és környezetvédelem". (53. § (1)j); a „Biztonságos használat és akadálymentesség" (54. § (2); és a „Természeti erőforrások fenntartható használata" (56/B. § e) című fejezetekben, közlekedésbiztonsági szempontból is.

7.3. Fényszennyezés meghatározása (OTÉK)

„Fényszennyezés: olyan mesterséges zavaró fény, ami a horizont fölé vagy nem kizárólag a megvilágítandó felületre és annak irányába, illetve nem a megfelelő időszakban világít, ezzel káprázást, az égbolt mesterséges fénylését vagy káros élettani és környezeti hatást okoz, beleértve az élővilágra gyakorolt negatív hatásokat is." (1. sz.melléklet, 38. pont)

Precíz meghatározás. Ami ezen tulajdonságoknak megfelelő mesterséges fény, azt a rendelet tiltja az építmények tervezése, a megvalósítása és a használata idején is.

8. Összefoglalás

Nagyon sok területe az épület-díszvilágításnak említésre sem került, a rövid terjedelem miatt. Az épületek világítási harmóniájának módjai, a szabadtéri építészet világítása, park- és szoborvilágítások stb. mind elmaradtak.

Az építészet: a funkció, a forma és a szerkezet harmonikus egysége. A jó világítás ezen egységet erősíti.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom Csontos Csaba († 2013) építész barátomnak, hogy a fényszennyezés és építészet összefüggésire felhívta a figyelmemet.. Köszönöm Dr. Kolláth Zoltán fizikus-csillagásznak, hogy lehetőséget adott a konferenciaelőadásra. Detre Villő belsőépítész folyamatos támogatása nélkül nem született volna meg ez a cikk sem.

Irodalomjegyzék

[1]. Dulácska Zsolt: „Díszkivilágítás, építészet és fényszennyezés" c. előadásának kivonatos ismertetése, V. Fényszennyezési Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem Természettudományi Kar (Szombathely), 2014. jún. 13.

[2]. A forrással nem jelölt fotók a szerző saját fotói.

[3]. János evangéliuma, 1.1-5., ford.: Károli Gáspár

Kossuth tér, az ország főtere, új fényben

– Deme László –

A legutóbbi évkönyvben alkalmam volt beszámolni arról az örvendetes eseményről, hogy hosszú évek reményteli várakozása után végre megépült az Országház díszvilágítása. A 2011-ben átadott berendezés ugyan a dunai homlokzat teljes hosszát kezelte – amire korábban soha nem volt példa, továbbá a kupola és a tornyok többsége is meleg sárga fényben ragyogott –, de már akkor is többen kifogásolták, hogy a többi oldal miért maradt sötétben? A felelet persze készen állt: majd a Kossuth tér rendezésével együtt megoldják azt is. Ez később egyre ésszerűbb magyarázatnak tűnt, különösen annak tükrében, hogy az épület teljes környezete megváltozott.

A tér építészeti koncepciója egy olyan évszázaddal korábbi sétateret vizionált, ahol nincs autóforgalom, lehetőleg a villamos is kikerüli, és a pihenésre szánt parkot legfeljebb a kerékpárosok teszik kicsit mozgalmassá. Bár a korábbi elképzelést nem minden szempontból lehetett végrehajtani, így például túl nagy költség lett volna a villamos száműzése, a tér azonban gyökeresen átalakult, megváltozott. A már említett villamosvonalat közelebb helyezték a teret határoló épületekhez, és az Országház előtti, – korábban kordonnal elzárt nagy területeket – felszabadították. Az addig itt parkoló hivatali és vendégautóknak az északi térrészen épített mélygarázsban biztosítottak helyet.

A tér tehát kiszélesedett, és a növényzet átalakításának is köszönhetően szabadabb rálátás nyílt a környező palotákra. Ez a gondolkodásmód nem tűrte el, hogy az elképzelt, későbbi 5 m magas növényzeti határt a térvilágítási oszlopok meghaladják, és domináns látványelemekké váljanak.

Ennek valós műszaki indoka is létezett, hiszen a kritikus közlekedési szituációk pusztán a teret határoló épületek előtti úton, valamint a villamos vonalát is magában foglaló területsávon jelentkezhettek, ahol a gyalogosok és a kerékpárosok korlátozás nélkül rámehettek a sínekre. Itt kellett tehát precízen méretezett világítást építeni, ahol a megengedett nagyobb fénypontmagasságú egységek az épületek látványába belesimultak, míg a sétányok világítását inkább az ízlés alakította ki.

A városesztéták azonban nem csak a világítási egységek magasságának meghatározásában, formai kiválasztásában serénykedtek, hanem a sötétedés utáni színekkel is intenzíven foglalkoztak.

Abban mindenki egyetértett, hogy az Országház díszvilágításának meglévő meleg sárga színét a további homlokzatoknál is meg kell tartani, valamint abban is, hogy a Parlament épületének ezzel a színnel dominálnia kell.

Ebből a nézőpontból kiindulva úgy gondolták, hogy a később megépülő Kúria, Földművelésügyi- és Igazságügyi Minisztérium épületeinek díszvilágítása fehér színű legyen. Ugyancsak fehér színűnek képzelték el a téren meglévő, vagy a későbbiekben felállítandó szobrok díszvilágítását is.

A közvilágítás kapcsán fordított hierarchiában állapodtak meg. A kiemelt területeket fehér színű fénnyel, a sétautakat sárga színű világítással látták el. Ennek szellemében épült meg a már említett kritikus sáv világítása. A villamosvonallal együttes útvilágítást 10 m magas oszlopokról 144 W teljesítményű, palacsintasütőre emlékeztető LED-es lámpatestekkel, 27 lux átlagos megvilágítással oldották meg, 0,46 középegyenletesség mellett (1. ábra).

1. ábra

Kossuth tér, az ország főtere, új fényben

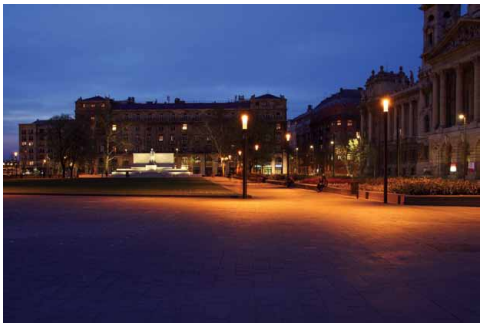
A teret szegélyező 61 világítási egység elegáns. Látványra ugyanilyen egységek állnak a rakparton is, a különbség csupán a fényforrásban van. Itt ugyanis kicsit disszonánsnak tetszett volna a parlament sárga homlokzata előtti hideg fehér színű lámpasor, ezért az itteni közvilágítást melegfehér színű, 140 W-os Cosmopolis lámpákkal építették meg. A kétsávos úton 15 lux átlagos megvilágítás mérhető, 0,43 középegyenletességgel. A gyalogosok számára megépített biztonságos sétaút két zebrájánál azonban dupla erősségű megvilágítás mérhető (2. ábra).

2. ábra

A Kossuth tér belsejét nátriumlámpás meleg sárga színű fény uralja. A sétányokhoz egy szokatlan kinézetű és kialakítású világítási egységet választottak. Az 5,4 m magas hengeres konstrukció zárt fülkéiben helyezték el a lámpatesteket. A többes számot azért használom, mert több egymásra helyezett fülke is sorakozhat, maximum négy. Ez azon múlik, hogy milyen funkciót kell teljesíteni.

Három feladatot tud ellátni a berendezés. Lehet közvilágítási lámpatest, lehet díszvilágítási fényvető és térfigyelő kamera is az egyes fülkékben. A befogadó méret azonban limitált, így a beépítendő berendezéseket gondos mérlegelés után választják ki.

A Kossuth téren az 59 világító egységben a variációk sora található meg, de a négyfülkés teljes változat öt esetben is szerepel. A kompozíción belüli helyzetet az is bonyolítja, hogy a közvilágítás nátriumlámpás, a díszvilágítás fémhalogénlámpás és LED-es egységekkel épült, illetve épül meg (3. ábra).



3. ábra

Érdekesség, hogy épp a tér közepe nem kapott térvilágítást. Korábban az itt álló 18 m magas kandeláberekről be lehetett világítani a területet, most azonban erre nem nyílt mód. A rendezvények számára fenntartott szabad terület közel labdarúgópálya méretű, és egyelőre csak abban reménykedhetünk, hogy a határoló épületek díszvilágításának lesz annyi reflektált fénye, ami lehetővé teszi a biztonságos közlekedést (4. ábra).

4. ábra

Hasonlóan megvilágítás nélkül maradt volna az Országház szűkebb környezetében

lévő, most is kordonnal elzárt terület, amelyet azonban biztonsági okokból megengedhetetlennek ítéltek. Szükségmegoldásként az újonnan épített növénykazetták oldalaiban helyeztek el olyan kisméretű lámpatesteket, amelyek súrlófénnyel a területet szakaszosan derítik. Az oldalfalba süllyeszthető lámpatestek azonban olyan kis teljesítményűek, hogy nátriumlámpás változat nem jöhetett szóba. Így a színnel kapcsolatos világítási elképzelést ebben az esetben nem lehetett végigvinni. A lámpatestekbe 35 W-os fémhalogénlámpák kerültek (5. ábra).

5. ábra

Ha a koncepció ismeretében kritikusan vizsgáljuk a tér közvilágítását, feltűnhet, hogy a rendezvényterület mellett mostohán bántak az északi és a déli homlokzatok előtti térrésszel is. Itt mintha túlságosan is bíztak volna a bejárati csarnokok előtti, már korábban itt álló díszkandeláberek nátriumlámpás átszerelésének, felújításának hatásában.

A környező épületek majdani díszvilágításának remélt jótékony hatása a sötét területekre igazolódni látszott a hónapokkal később átadott Országház díszvilágításával. A Parlament esti megvilágítása most már teljes, és az első vélemények kedvezően fogadták a látványt. Pedig a világítás kiépítését menet közben számtalan vita kísérte.

A megrendelői kívánság az volt, hogy az épülő díszvilágítás minél jobban hasonlítson a dunai oldalon megszokott képhez. Ott pedig a látvány egy részleteket is megmutató, de fényárvilágítással mégis lesimított egységes képet mutat. A fényárvilágítást a rakparton sorakozó nyolc oszlopra szerelt, összesen 48 fényvető szolgáltatja, mindenütt kisegítve azokon a területeken, ahol a helyi fényekkel nem lehetett a világítást megoldani.

Most azonban más volt a helyzet. A téren az Országház körül nincsenek fényvetők számára felállított oszlopok. Sőt, épp a legkritikusabb helyeken – a három bejárati csarnok előtt –, a térvilágítás is hiányzik. Ugyanakkor a hosszanti homlokzatok előtt végighúzódó növénykazetták fala lehetőséget teremtett fényvetőfészkek kialakítására. Innen a remélt fényárvilágítás megoldható volt.

Amikor ez a kettősség köztudottá vált, még mindig sorozatosan elhangzott az az igény, hogy a világítás egyforma, egynemű legyen, aminek a realitása igen csekélynek tűnt. Mindenesetre a homlokzatra szerelt lámpatestek lencsézésével, fényterelő rácsok felszerelésével, esetenként az erős fények fóliás tompításával, egy–egy kisebb, árnyékosabb rész utólagos megvilágításával a világítási kép egységesebbé vált (6. ábra).

6. ábra

Aki nem tud ezekről az előzményekről és csak a végeredményt látja, az különösen a csak helyi fényekből álló három bejárati épületrész érdekes és mozgalmas világítását méltatja. Sokszor elhangzik erényként az is, hogy ez a világítás ráirányítja a figyelmet a nappal észrevehetetlen homlokzati szépségekre is.

De miből is áll ez a sokat vitatott, tagolt világítási felépítmény? Ami mindenütt ugyanaz, az a homlokzatok előtti süllyesztett lámpatestsor. Ez mintegy két szintet

Kossuth tér, az ország főtere, új fényben

tud kezelni. Ahol növénykazetta található, ott az onnan a homlokzati felső szintekre irányított fényvetők „helyettesítik" a dunai oldal oszlopra szerelt lámpatesteit.

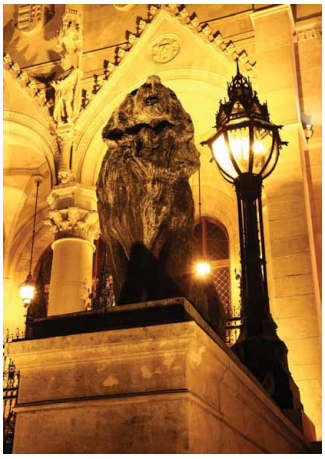
A többi esetben viszont a második szinti iker- és kettős ablakok sorának esti látványát, az ablakkeretek alsó sarkaiba szerelt két-két fényvető emeli ki. Érdekesség, hogy ide fémhalogénlámpás lámpatestek kerültek. Ennek magyarázata az, hogy ezeknél lehet lencsézéssel a kívánt fényeloszlást elérni. A sárga színt előtétüvegekkel érték el (7. ábra).

7. ábra

A főbejárati traktus önmagában is több szakaszból áll. Nyilvánvaló, hogy a középső rész a legfontosabb. Itt a már ismertetett két lámpatestes elhelyezés mellett több egyedi megoldásra is sor került (8. ábra).

8. ábra

A bejárati kapuzat feletti díszes, szobrokkal ékesített homlokzatot például a lépcsősor peremén álló, két közvilágítási kandeláber lámpafejéből kivilágító lámpatestek emelik ki (9. ábra). Az erkélyek belső világítási hangsúlyt kaptak, de ennek következtében felettük erős árnyékkúp keletkezett volna. Ezt az erkélytetők két szélére felszerelt lámpatestekkel akadályozták meg.



9. ábra

A homlokzatot felül öt háromszög oromzati elem zárja le. Ezeket két-két, ugyancsak lencsézett lámpatest deríti. A sorból kiemelkedik a középső, címerrel díszített rész. Ezt a világítás is kihangsúlyozza. A világítási hangsúlyt jobban kinyúló tartókról, nagyobb teljesítményű fényvetőkkel lehetett megteremteni (10. ábra).

10. ábra

Kossuth tér, az ország főtere, új fényben

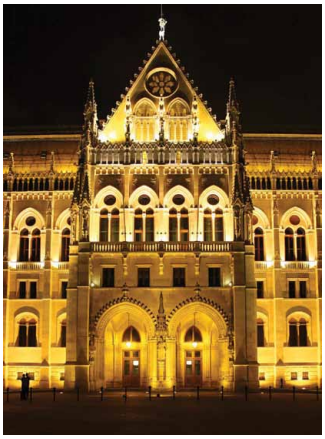
Ezt a nagyobb kinyúlást azért hangsúlyozom, mivel az épület egészén a minél kisebb kinyúlású karok alkalmazására törekedtek. Ennek a szigorú alapelvnek köszönhetően nappal szinte észrevétlenül simulnak a homlokzati képbe a felszerelt lámpatestek.

A bejárati homlokzat világítását kiegészíti még a háromszögelemek alatt futó balluszter sáv, amelyet LED-es, vonalas jellegű lámpatestek „húznak meg". Érdekességként említem, hogy itt maradhatott a fehér szín, nem került a lámpatestekre sárga fólia.

Nem úgy a többi homlokzat ballusztereinél, ahol a próbavilágítások eredményeként még a sárga színű fény „tompítására" is igény keletkezett. Ezt sötétkék fóliázással érték el.

A főbejárat előtti oroszlánszobrok világítását két-két, járófelületbe süllyesztett lámpatesttel oldották meg. Ma már bevált gyakorlat néhány gyártónál az, hogy a különböző világítási hatásokat lencsék beépítésével érik el. Itt a különböző karakterisztikájú lencsék kipróbálását követően alakult ki az optimális megoldás.

A szoborvilágítás még nagyobb hangsúllyal szerepel az azonos kialakítású északi és a déli homlokzatoknál. Ez nem is csoda, hiszen a középső traktusokat 11-11 szobor díszíti. Az összesen négy szinten található szobrok elhelyezkedése különböző, és így világításuk is változatos módon készült (11. ábra).



11. ábra

A bejárati csarnok földszinti szobrait kétoldalt átlósan beépített süllyesztett lámpatestek derítik. Az erkélyek vonalában, a tornyocskák szoborfülkéiben álló szobrokat az itt is megtalálható díszes térvilágítási kandeláberek óriás lámpatesteiből kivilágító fényvetők láttatják. A tetőszinti nagy háromszögoromzatok 3-3 szobrát az alattuk futó ballusztereke szerelt fényvetők emelik ki. Az oromzatok csúcsán álló vitézszobrokat a tornyocskák tövében elhelyezett fényvetők világítják meg. Az itteni világítás jellegzetessége, hogy az egyik olyan hely, ahol fehér színnel dolgoztak. A másik pedig az, hogy a világítás hozadékaként a fényvetők fénysugarai menetközben az oromzati csipkesorokat is megelevenítik (12. ábra).

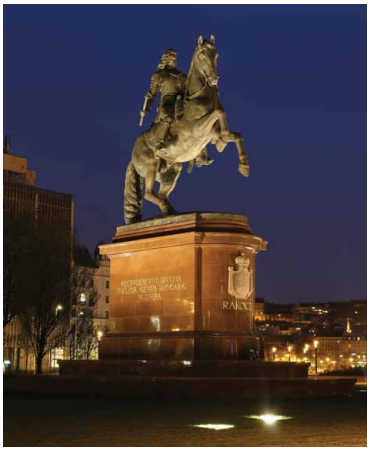
12. ábra

A felső nagy háromszög oromzati elemeken 3-3 nagyméretű üvegablak található. A megépült szoborvilágítást olyan árnyékoló felületek határolják, hogy épp az ablakok maradtak volna sötétben. Miután a homlokzatok mögött padlás van, onnan ragyogóan meg lehetett világítani az ablakokat, amik így szerves részét képezik a díszvilágításnak.

Mint már említettem, a tér átadásához képest fáziskéséssel készült el az Országház díszvilágítása. Ez azonban nem csak a tér főépületére, hanem a kisebb díszvilágításokra is vonatkozik.

Kossuth tér, az ország főtere, új fényben

A téren öt szobor lesz, de a régiek közül csak a Rákóczi- (13. ábra) és a József Attila-szobor (14. ábra) maradt meg. Azonban ez a két szobor is új helyre került. Mindkét szobor korábban nátriumlámpás világítással rendelkezett, de az új berendezések talajba süllyesztett fémhalogénlámpás lámpatestekkel épültek meg. Ilyen világítás láttatná a Kossuth szoborcsoportot is, amennyiben készen lenne. A főalak ugyan március 15. óta már a helyén áll, de azóta is várja társait. A talapzatba mindenesetre beépítették azokat a fémhalogénlámpás lámpatesteket, amelyek később funkciót kapnak (15. ábra).



13. ábra.

14. ábra.

Az északi és a déli térrészen két olyan szoborral ismerkedhetünk majd meg, amelyeknek eredetijét csak a háború előtt lehetett látni. Az Andrássy és a Tisza szobrok közül az utóbbi készült el korábban, és pár hónappal az Országház új díszvilágítását követően már ezt a szobrot is esti fényben lehetett szemlélni.

15. ábra.

Mindkét szobor igen magas lesz, ezért a jó világítást nem lehetett kizárólag járófelületbe süllyesztett lámpatestekkel megoldani. Viszont oszlopállításra sem nyílt lehetőség. Kompromisszumos megoldásként a már említett fülkés közvilágítási oszlop alkalmazása került előtérbe. A Tisza-szobor fenti régióit két oszlop fülkéiből, 3-3 db 19 W-os LED-es fényvető deríti (16. ábra).

16. ábra.

Kossuth tér, az ország főtere, új fényben

A környező épületek díszvilágítása ugyan még várat magára, de a tervek már elkészültek. Hogy ne kerüljenek később lehetetlen helyzetbe a kivitelezők, a térvilágítási munkák kapcsán a díszvilágítási kábeleket is lefektették, továbbá a közvilágítási kandeláberekre is felszerelték a majdani fényvetőtartókat (17. ábra).

17. ábra.

Az Alkotmány utca torkolatánál vízmedencét képeztek ki. Közelében áll az országzászló, aminek helyét úgy választották meg, hogy a budavári Sándor-palotából is látni lehessen. A zászlót sötétedés után megvilágítják. A világítást négy olyan süllyesztett lámpatest szolgáltatja, amelyek az Erzsébet hídon is remekül megvilágították a 34 m magasan húzódó tartókábel-szakaszokat. A szituáció hasonló, a zászlórúd magassága 33 m. A téren azonban nem csak itt található zászló. Az Országház erkélyein még nyolc helyen lehet zászlót bontani. Ezeket a jó színvisszaadása miatt fémhalogénlámpás lámpatestek világítják meg (18. ábra).

18. ábra.

A Kossuth tér átépítésének logikája bármennyire is a kicsit elkülönülő jelleget, a bensőséges és körülhatárolható miliőt próbálta megvalósítani, a közvetlen Duna parti kapcsolatot nem tűntethette el. Így most már a Margit hídról vagy a Lánchídról a tér felé tekintők például joggal állapíthatják meg, hogy a Kossuth téri oldalakkal kiegészült parlamenti díszvilágítás a Duna-parti látvány szerves részévé vált (19. ábra).

19. ábra.

A közvilágítás megújulása Magyarországon uniós támogatással – Pályázattól a megvalósulásig

– Mancz Ivette –

Magyarországon több mint 30 település közvilágítása újulhat meg uniós támogatással 2015 júniusáig. A cél: bemutatni néhányat ezek közül, az elért és elérhető eredményeket, illetve megosztani azokat a tapasztalatokat, amelyek a pályázati rendszer kötöttségére és a korszerűsítés előtti közvilágítás állapotára mutatnak.

1. Pályázati feltételek

A pályázat 2012 decemberében jelent meg és a beadása 2013 februárjában volt. Világítástechnikai szempontból, ami a szakma számára teljesen érthetetlen, egyetlen egy kritériumot fogalmaztak meg, mégpedig azt, hogy a jelenlegi világítási szint nem sérülhet. Abból biztos nem lehet baj! A minden második oszlopon lévő 1x11 W teljesítményű kompakt fénycsöves fényforrással üzemelő lámpatestek helyére bármi is kerül fel, – még ha kisebb fogyasztású is –, a meglévőnél rosszabb megvilágítást nyújtó rendszert biztos nem lehet installálni. Vagy mégis? A káprázásra senki sem gondolt. Sötét van, de legalább kápráztat!

A pályázónak meg kellett adnia, hogy mely utcákban, azaz milyen helyrajzi számokon szeretne energiahatékonysági beruházást végezni. Ezeken a helyszíneken mennyi és milyen fogyasztású világítótestek vannak, illetve az új rendszerben milyen fogyasztású világítótesteket kíván alkalmazni. A megtakarítás pénzben meghatározott összege került összevetésre a projekt teljes költségével. Ha a megtérülés 15 éven belüli volt, akkor a pénzügyi kritériumok is teljesültek.

Azok a települések voltak igazán előnyös helyzetben, amelyek ez idáig semmit sem tettek annak érdekében, hogy csökkenjen a közvilágításra fordított energiaköltségük. Nem a szabadpiacról vásárolták a villamos energiát és bár elégedetlenek voltak az üzemeltetés és karbantartás mennyiségével és minőségével, fizették a piaci ár többszörösét.

Megszámolták gyorsan a lámpákat, vagy egy régi nyilvántartást vettek alapul, és előkerültek a fiókokból azok a gyártói katalógusok, amelyek „megmondják", hogy a 70 W-os nagynyomású nátriumlámpa helyett milyen LED-es lámpatest alkalmazása javasolt. Voltak persze kivételek is, azok az önkormányzatok, amelyek már jóval a pályázat megjelenése előtt áldoztak időt és pénzt arra, hogy elkészítessenek egy tanulmánytervet. Szerencsés esetben ezt olyan szakcég végezte, amely már hallott az MSZ EN 13201 szabványról. A felmérés nem csak a világítótestek mennyiségi meghatározására irányult, hanem a világítástechnika méretezésekhez szükséges geometriát is tartalmazta.

Így vagy úgy, a pályázat beadásra került. Aztán teltek a hónapok, és amikor már senki sem hitte, hogy lesz forrás, megjelent a nyertesek listája.

2. Közbeszerzés

A jogászok és a mérnökök ádáz küzdelme. Szerencsére több közbeszerzésben felfedezhető volt a Világítástechnikai Társaság munkabizottsága által 2012-ben összeállított követelményrendszer a LED-es világítótestekre vonatkozóan. Ezzel csak annyi baj volt, hogy szakemberek készítették, de jogászok próbálták értelmezni. Szükségessé vált, hogy a munkabizottság újra összeüljön 2014-ben és az elvárható minimális paramétereket, és ezek igazolásának módját pontosan határozza meg.

Jogszabályi támogatás, azaz a közvilágítás létesítésére, átalakítására, fenntartására vonatkozó szabály- és követelményrendszer hiányában, ahány hely, annyi szokás. A VTT évek óta szorgalmazza egy új közvilágítási jogszabály megjelentetését, több javaslatot is készített szakemberek bevonásával, eddig sikertelenül.

Nagyobb projektek esetében a közbeszerzési dokumentációt, megjelenés előtt műszaki és jogi szempontok alapján ellenőrzik.

Jó esetben egy-két hónap, de lehet akár egy év is. Az idő közben telik, és mint általában, a megvalósításra marad belőle a legkevesebb.

3. Tervezés

A közbeszerzés nyertese meghatározott „tervezői feladat leírással" szembesül, amely tartalmazza, hogy melyik utcában, hány lámpatestet, milyen teljesítményfelvételű világítótestre kell lecserélni. Felelős pályázó esetében az utcákhoz társul egy MSZ EN 13201 szerinti besorolás is. Nem is tűnik olyan nehéz feladatnak.

1. ábra. Hévíz – korszerűsítés előtt és után

Az első akadály akkor jön elő, amikor a tervező is végigjárja az utcákat: pl. leírás alapján 8 világítótestet kell cserélni, de tíz van az utcában, és a kereszteződésnél még egy gyalogátkelőhely is található. Melyik két lámpahely maradjon ki? És a gyalogátkelőhelyet nem lehet az utcára előírt 40 W-os világítótesttel szabványosan megvilágítani. A másik utcában, a valóságban eggyel kevesebb világítótest van. Az egész olyan, mint egy nagy puzzle.

A második fejtörést az okozza, hogy közben az útkereszteződés átépült, körforgalom lett és a hálózatot is tovább bővítették.

Azután ott van a régi beidegződés is: lakóövezetek utcáiba kompakt fénycsövet, ezek gyűjtőútjaira 70 W-os, forgalmasabb utakra 100 W-os, vagy 150 W-os nagynyomású nátriumlámpa kell, de most, az új LED-es világítótestek körében legalább 10 féle teljesítménnyel találja magát szemben a tervező. Kénytelen elővenni egy világításméretező programot és sokadik nekifutásra kiderül, hogy ténylegesen szükség van ennyi, különböző fényáramú, világítótestre.

Akadtak olyan esetek is, hogy a pályázó a meglévő világítótesteket kívánta energiahatékonyan átalakítani. Ma már mindenki LED-ekben gondolkodik, így a „piaci igények" megteremtették a LED-es „lámpabelsőt". Sajnos ez az „átalakításos" megoldás egy ideje gyakorlattá vált.

2. ábra. Tapolca – korszerűsítés előtt és után

A közvilágítás megújulása Magyarországon uniós támogatással – Pályázattól a megvalósulásig

Ez azt jelenti, hogy egy meglévő közvilágítási lámpatest házát összeépítik egy optikai és elektronikus egységből álló berendezéssel, nevezzük ezt funkcionalitásából kiindulva, „világítóegységnek". A meglévő közvilágítási lámpatestek oly módon kerülnek átalakításra, hogy a villamos, optikai és termikus paraméterei teljes mértékben megváltoznak. Felhasználás, illetve felhasználhatóság szempontjából felújított világítóberendezés kerül kialakításra. Mit jelent ebben ez esetben a gyártói megfelelőségi nyilatkozat? A „világítóegység" gyártójának nyilatkozata nem terjed ki a teljes világítótestre, azaz a lámpatestházzal egybeépített „világítóegység" együttesére. A lámpatestháznak nincs önálló „CE" tanúsítványa, így a végeredmény egy olyan világítótest, amelynek egy alkatrésze nem rendelkezik megfelelőségi nyilatkozattal. Gyakorlatilag az átszerelt, felújított világítótestet újból be kellene vizsgáltatni, tanúsíttatni. Ez felveti azt a kérdést is, hogy a világítóegységért vállalható-e így garancia a felújított lámpatest bevizsgálása nélkül? Ha a „világítóegység" a lámpatestház állapotából kifolyólag, vagy az összeépítésből származó hatásokra visszavezethetően károsodik, azt a „világítóegység" gyártója tekintheti nem megfelelő alkalmazásnak, nem üzemszerű működtetésnek.

A „korszerűsítés" során a szerelő eltávolítja a lámpatest optikai- és szerelvényterét, a „világítóegységet" villamos és fizikai szempontból beköti, rögzíti, szigorúan véve: világítótestet gyárt. A „gyártás" során elmaradnak azok az ellenőrzések, tesztek, amelyek a megbízható termék forgalmazásának és a műszaki megfelelőségi nyilatkozat kiadásának is alapkövetelményei (tömítettség, elektromos paraméterek stb.). Feltételezhető, hogy a „világítóegység" gyártója számos vizsgálatot végzett a világítótestre, mint ahogy az elektronikus előtét gyártója is megteszi, mielőtt kereskedelmi forgalomba hozza a termékét. Mindketten vállalják az általuk forgalmazott gyártmányra, hogy a szabványoknak megfelelnek, megadva hozzá az alkalmazhatóság feltételeit. Az ő felelősségük jogilag idáig terjed. Amennyiben a felhasználó, jelen esetben a szerelő, bármilyen tényezőt (magas, alacsony, vagy ingadozó hálózati feszültség, sérült, eldeformálódott lámpatestház, a normál rezgésektől nagyobb igénybevételnek van kitéve a világítótest stb.) nem vett figyelembe, a beruházó tőle kéri számon a nem üzemszerű működést. A „világítóegység" gyártója a villanyszerelőre bízza számos olyan döntés meghozatalát, amelyet szaktudás hiányában, (nem is kell, hogy rendelkezzen ezzel a tudással) kellő felelősséggel, nem hozhat meg.

A „világítóegység" gyártója feltételezhetően hasonló, vagy jobb fényeloszlású optikai egységet hozott létre, mint amivel az eredeti lámpatest rendelkezett, kisebb „fényveszteséggel", azaz jobb hatásfokkal irányítja a fényt a megvilágítandó felületre. Ezáltal a hasznos fényáram azonos, vagy akár több is lehet, így biztosítható, de csakis így, hogy a meglévő megvilágítás ne változzon. A tervezőnek csak a „világítóegység" gyártójának ajánlását kell követnie, a kiviteli terv elkészítése már csak rajztechnikai kérdés.

Végre elkészül a kiviteli terv, összhangban van a pályázattal vállaltakkal, már csak az engedélyeztetés van hátra. A megrendelő mint leendő tulajdonos, és mint az önkormányzati utak kezelője, jóváhagyja a tervet. A Magyar Közút sem gördít akadályt a megvalósítás elé. Ezután jön a neheze, persze ez is területfüggő. Feszültségesés, zárlatszámítás és egyéb mérési jegyzőkönyvek. Miért is van ezekre szükség? Amikor ez már mind megvan és minden akadály elgördült volna, jön egy újabb fék.

Az önkormányzat 15 évvel ezelőtt korszerűsítette a közvilágítását, ún. hosszú távú finanszírozás keretében. A futamidőből van még hátra 2-5 év. A berendezések tulajdonosa csak úgy járul hozzá a kivitelezéshez, ha a hátralévő időszakra vetített díjakat az önkormányzat egy összegben megfizeti. Nagy nyomás kerül a megrendelőre: ha vitatja az összeget, a tulajdonviszonyokat, kifuthat az időből, vagy kifizeti a megállapított tartozását.

3. ábra. Kecskemét – korszerűsítés után

A kivitelezés megkezdése előtt már csak a referenciahelyszínek mérése van hátra: útkategóriánként, és lámpatípusonként egy.

4. Kivitelezés

A kivitelezés munkaterület átvétellel kezdődik. Itt kerül sor annak megemlítésére, hogy szépek ugyan a fák, de a lombozatukkal körbenőtték a lámpákat. Szükséges lenne a gallyazás. A kifogások között lehet válogatni: vegetációs időszak, a városi kertész, vagy ennek a költsége nem lett betervezve.

4. ábra. Balatonfüred – korszerűsítés után

A következő téma az ún. repülőzés. Földkábeles hálózatok esetén, üzemzavar elhárítás céljából a hibás kábelszakasz kiváltására a levegőben biztosítják az energiaellátást. Ezt úgy oldják meg, hogy megfúrják a lámpatestházat. Ezután az IP65 már csak történelem. A lámpatest gyártója csak úgy vállalja a garanciát termékeire, ha azokat rendeltetésszerűen használják. A kábelhibát javítani kellene.

Hasonló a karácsonyi díszvilágítás kérdésköre is: energiaellátását sok esetben a közvilágítási világítótestekből biztosították. Ez többszörösen is szabálytalan.

A munkakezdés előtti legnagyobb akadály azonban, amikor a megrendelő részéről valakinek eszébe jut, hogy egy, vagy több helyszín közvilágítása szintén pályázatból valósult meg és még fenntartási kötelezettsége van. Jöhet az újratervezés!

5. ábra. Szekszárd – korszerűsítés előtt és után

A kivitelezés során sok érdekes megoldással találkozhat szerelő. A teljesség igénye nélkül csak néhány dolog kerül megemlítésre. A kandeláber felszálló vezetéke két eres, szabadvezetéken nincs nullázó, a leszerelendő lámpa kar nélkül van rögzítve az oszlophoz.

5. Mérések

A szerelést követően megtörténik a referenciahelyszínek ellenőrzőmérése. A korszerűsítést megelőzően az átlagos megvilágítás a szabványhoz viszonyítva 1%-tól 43%-ig maradt el, míg a korszerűsítést követően szabványos, vagy azt meghaló értékeket lehetett mérni. Az energiamegtakarítás 31% és 56% között van. Az értékek közel 30 000 korszerűsített lámpahelyre vonatkoznak.

6. Összefoglalás

Már nem az a kérdés, hogy megfelelő minőségű LED-es világítótestekkel lehet-e jó és energiahatékonyabb közvilágítást létrehozni, inkább az, hogy ki képes az akadályokat leküzdve ezt meg is valósítani.

A városi világítási mestertervezés jelentősége az energiahatékonysági szempontú közvilágítás-korszerűsítések tervezése során

– Szőke Tamás –

Az önkormányzatok egyik energiamegtakarítási lehetősége a közvilágítás korszerűsítése. A világítási igények feltérképezése és rendszerbe foglalása azonban általában hiányzik a beruházási döntések sorából. Az igények és a műszaki tervezés között a világítási mesterterv teremthet kapcsolatot.

A tervnek a szabványokon túl a város éjszakai működését is le kell képeznie, beleillesztve a közvilágítást az épített és emberi környezetbe. A mesterterv egyik lehetséges kidolgozási metodikája ennek megfelelően az építészet-városépítészet rendszerén alapulhat, annak szabályozási elvrendszerét követve.

Ma Magyarországon a köz- és díszvilágítás átfogó szabályrendszerbe foglalását, a szakszerű tervezés és létesítés alapjainak lefektetését először Budapest határozta el. A munka első vizsgálati és koncepciófázisai ez év tavaszán kezdődtek.

Ezen ismertető részben Budapest példáján keresztül mutatja be a mestertervezési munka felépítésének egy lehetséges módját, kiegészítve általános megállapításokkal és javaslatokkal, amelyek más önkormányzatok saját szabályozási rendszerének kidolgozásához is támpontot adhat. Ezekhez elsősorban az alábbi kérdéseket kell megtárgyalni és megválaszolni:

I. Miért a közvilágítás-korszerűsítés az egyik kiemelt energiahatékonysági lehetőség az önkormányzatok számára?

II. Miért kellene világítási mestertervet készíteni?

III. Mi lehet a célja Magyarországon egy világítási mestertervnek? Hogyan épülhet fel?

1. A közvilágításkorszerűsítés mint energiamegtakarítási lehetőség. Célok és lehetőségek

Az önkormányzatok számára több lehetőség is adott annak érdekében, hogy akár általában véve, akár konkrétan, az energiagazdálkodásuk terén megtakarításokat realizáljanak. A megtakarítások legfontosabb és hosszú távon is fenntartható eredményeket jelentő lehetősége a városi üzemek működésének korszerűsítése. Ezek legtöbbje azonban hosszú, az önkormányzati politikai ciklusokon túlmutató megtérüléssel jellemezhető, költségigényes és adminisztratíve is elég nehézkes, elég ha a közbeszerzési szabályokra gondolunk. A közvilágítás és tágabban az energiagazdálkodás területén azonban az elmúlt években kedvező és támogatott folyamatok indultak el, így elsősorban a középületek, intézmények energiahatékonysági rekonstrukciója indulhatott el, és több lett a forrás a közvilágítás korszerűsítésére is.

Az energiahatékonyság és a közvilágítás megújítása nem véletlenül lett a városi üzemek korszerűsítésének zászlóshajója. Nem csak egyfajta globális környezetvédelmi törekvésről van szó, hanem egy viszonylag gyors és látványos eredményekkel is kecsegtető lehetőségről, amely politikailag is jól kommunikálható, illetve a hasznok akár társadalmi szinten is realizálhatók, illetve példát, irányt mutathatnak a háztartások számára is.

Ha a közvilágítást vizsgáljuk, természetesen ki kell jelenteni, hogy nem ez az üzem a legnagyobb energiafogyasztó egy város életében. A közvilágítással azonban számos közvetett cél is összefügg. Triviálisan hangzik, de ilyen pl. a köz- és a közlekedésbiztonság szolgálata, amely az utóbbi időkben kissé talán elsikkadt, de emellett pl. a közvilágítási hálózat megújítása a hálózat tulajdoni és üzemeltetési viszonyainak tisztázásának egyik útja is. Amikor a pályázati források ilyen irányú felhasználásának értelmét vizsgálják, akkor sok esetben ezekről a közvetett célokról nem is esik szó, csak egy szűken értelmezett pénzügyi megtérülés az, ami a terítékre kerül.

A tulajdoni viszonyok rendezetlensége a városi világítástervezés szempontjából is gondot jelenthet. Hiszen a magyarországi közvilágítási hálózat jelentős részben (Budapest kivételével) nem önkormányzati kézben van, így a közvilágítással kapcsolatos stratégiai és műszaki döntések sem csak az önkormányzat döntési körében vannak, annak ellenére, hogy a jogszabályok egyértelműen az önkormányzat felelősségébe utalják a megfelelő közvilágítás biztosítását. Ez persze csak részben a tulajdonviszonyok kérdése. Meg kell említeni, hogy a jogszabályi háttér nem rendelkezik a hálózatépítés vagy -fejlesztés engedélyezése kapcsán arról sem, hogy melyik szervezet léphet fel hatósági és ellenőrzési jogkörökkel. Itt kell megjegyezni, hogy a közvilágítási rendelet 2009. évi deregulációjával talán ez utóbbi jogkörrendezés elmaradása a „legfájóbb", hiszen a vonatkozó szabványok alapján a megfelelő világítási szint meghatározása még csak-csak lehetséges, de a megvalósítás módjának felügyelete a beruházást finanszírozó vagy a későbbi üzemeltetést fizető önkormányzat teljes körű döntési és ellenőrzési lehetősége nélkül finoman szólva is furcsa végeredményeket okozhat.

2. A városi világítási mesterterv mint a közvilágítás fejlesztésének és korszerűsítésének eszköze

Ha a közvilágításról beszélünk, akkor természetesen a világítási szintek alakítása kell, hogy a kiemelt cél legyen! Az elmúlt 20-30 évben mind számában, mind minőségében átalakultak a közlekedési szabályok, módok és lehetőségek, elég, ha csak a nagyvárosi kerékpáros közlekedés széles körű elterjedésére gondolunk, amely pár éves történeti hátterű hazánkban. A magyarországi hálózatok pedig csak rekonstrukciós ciklusukból is következően jó esetben is legalább évekkel követik a közlekedési rendszer változásait. Ez a fáziskésés ráadásul gyakran párosul a világítási szintek nem okszerű meghatározásával is. Gyakori jelenség, hogy pl. egyes elkerülő utak létesülésével a városokban a korábbi nagyforgalmú főútról eltűnik a forgalmi teher és az ezzel összefüggő veszélyhelyzet is csökken, de a világítás ehhez képest a korábbi nagyobb forgalomra méretezett módon működik, vagy az elkerülő utak új csomóponti rendszereivel eddig kisebb szerepű gyűjtőutakra tevődnek át a városi feltáró szerepek, miközben a közvilágítás alacsony teljesítményű kompakt fénycsövekkel üzemel. Mindkét esetben gyakori városszerkezeti beavatkozások eredményeként válik a korábbi közvilágítás áttervezendővé, de jellemzően az áttervezés csak a szűkebb beruházási környezetet szokta érinteni. Ezért a városszerkezeti szinteken is jelentős változások lekövetése a közvilágításban is magasabb szintű, városi léptékű gondolkodást igényel. Ennek egyik fő eszköze lehet a városi világítási mesterterv. A terv alkalmazásával meg kell teremteni annak a lehetőségét, hogy a változások gyorsan, áttekinthetően tervezhetővé, szakaszolhatóan megvalósíthatóvá váljanak, de annak is, hogy hosszú távú fejlesztések feltételei is meghatározhatók és térben ábrázolhatók legyenek.

3. A városi világítási mesterterv kidolgozásának fontosabb elvei

Budapest és más magyarországi városok számára is a közvilágításon túl minden városi üzem különböző időtávlatú stratégiai tervek alapján kerül fejlesztésre. Ez a gondolkodás azonban általában hiányzik a közvilágításból, annak ellenére, hogy a közvilágítás is csak összvárosi szinten kezelhető, rendszerszintű szemlélet igényelne, nagyobb léptékű, területileg jól kezelhető beavatkozásokkal. Ehelyett többnyire kisebb léptékű vagy egyedi beavatkozások történnek, olyan illeszkedési szabályok vagy ökölszabályok alkalmazása mellett, amelyek pontos célja sem minden esetben meghatározott, pl. egy-egy amortizáltabb

hálózati szakasz kiváltása, vagy valamilyen elv alapján a teljesítményszint csökkentése vagy emelése, általában szűk, lokális igények alapján.

Fontos látni, hogy a közvilágítás fejlesztése szoros összefüggésben kellene, hogy működjön a hosszú távú stratégiákkal támogatott városi infrastruktúrák fejlesztésével, kiemelten az energiaellátással és főleg a közlekedéssel. Ez utóbbi esetben azonban az utóbbi időkig még sok esetben az új gyalogátkelőhelyek létesítéséhez szükséges kiemelő világítások kialakítása sem volt jellemző.

A megoldás mindenképpen az lenne, ha a közvilágítás fejlesztése nem csak elsősorban pl. technológiai vagy avultsági szempontok alapján zajlana, hanem szoros együttműködéssel a változó egyéb infrastrukturális célokkal. Kezdetben lehetséges, hogy ez nagyobb indulási beruházási költséget jelentene, de tekintettel a városi infrastruktúrák hosszú élettartamára, a jó döntések hosszú távon jó és komplex megoldást eredményeznének. A mesterterv feladata ebben az összefüggésben a városi hálózatok fejlődésének lekövetése, illetve a közvilágítási fejlesztési döntések előkészítése, a beavatkozások ütemezése és összehangolása a változásokkal.

Sok esetben ehhez a kisebb léptékű fejlesztésekben is összvárosi szintű gondolkodást igényelne a közvilágítástervezés, de mestertervi szintű dokumentumok nélkül a tervezők is csak a jelenlegi állapot alapján tudnak tervezni, sok esetben a tervezési határok pontos meghatározási esélye nélkül.

A városi világítási mestertervnek fel kell vállalnia olyan célokat is, amelyekről az elmúlt időszakban sok szó esett, de lokális eszközökkel megvalósítani szinte lehetetlen. Ilyen pl. a fényszennyezés és zavaró fények elleni stratégia, amelyekhez világos szabályrendszereket kell alkotni, amelyek minden esetben betartatásra kell, hogy kerüljenek. Amennyiben a városi világítási mesterterv törekvései részben önkormányzati szintű szabályozókkal kerülnek megtámogatásra, úgy még országos jogszabályok nélkül is elősegíthető az előnyösebb technológiák és alkalmazási megoldások kikényszerítése.

1. kép. Budapest éjszakai madártávlati képe (forrás: internet)

A városi világítási mesterterv további fontos célja a közvilágítás mint kiemelt települési arculati tényező kezelése. A köz- és díszvilágítás minősége, az alkalmazott technológiák és berendezések alapvetően meghatározzák a települések éjszakai arculatát, nem csak az esztétika oldaláról, hanem a vizuális komfort és a biztonságérzet szempontjából is.

Egyes külföldi nagyvárosokban a fény minőségi paraméterei, pl. a színhőmérséklet tájékozódási tényezőt is jelent. A főutak, jelentős csomópontok és kevésbé súlyponti közlekedési elemek eltérő színhőmérséklete jól vezeti a városban ismeretlenül közlekedőket.

1. ábra. Részlet Bécs mestertervéből, amelyben a színhőmérséklet az egyik lehetséges, városon belüli tájékozódási eszközként is felmerül

4. A Budapesti Világítási Mesterterv kidolgozása, jelenlegi státusza

A Budapesti Világítási Mesterterv céljainak és tervezési menetének kidolgozása során széles körű nemzetközi tapasztalatokra lehetett támaszkodni, jelentős nagyvárosok (London, Bécs, Szentpétervár, Berlin) rendelkeznek saját mestertervvel, és egyes hasonló adottságok alapján kidolgozott tervi eszközök részben adaptálhatók is talán a hazai viszonyokra. Természetesen a vizsgált nagyvárosok eltérő fejlesztési elképzelései és céljai nem teszik lehetővé, hogy szabályozókat egy-az-egyben átültessünk, megállapíthatóvá vált, hogy a magyar városoknak – és kiemelten Budapestnek – saját mestertervre van szükségük!

Fontosabb adaptálható nemzetközi elvek azonban akadnak, mint pl. az alábbiak:

- a világítási szintek meghatározása során városszerkezeti alapú „zonáció" szükséges, világítási értelemben többszintű zónaszabályokkal,
- a fényáramszabályozás lehetőségének meghatározása kívánatos, rögzítve a helyszínnel és a mértékkel kapcsolatos követelményeket,
- a közlekedés mellett más szempontok alapján is mérlegelni kell (éjszakai forgalom, turisztikai zónák nagyobb biztonsági igénye stb.).

4.1. A Budapesti Világítási Mesterterv céljai

A Mesterterv kidolgozásával a Főváros hosszú távú elkötelezettséget mutat a közvilágítás fejlesztésével kapcsolatban, így a Mesterterv is részben stratégiai (hosszabb távú) és akár már rövid távon is érvényesíthető, komplex szakmai célok alapján dolgozható ki.

Ezek alapján a Budapesti terv stratégiai céljai a következők szerint kerültek meghatározásra:

- A városi világítási mesterterv, a városi köz- és díszvilágítás létesítésének és fenntartásának (üzemeltetésének) egyik meghatározó szintetizáló tervi eszköze, amely a városi tervek (pl. rendezési tervek, fejlesztési koncepciók) rendszerében területi / időbeli célokat és feladatokat, illetve alapelveket határoz meg.
- A városi világítási mesterterv, a köz- és díszvilágítási feladatok rendszerszerű felépítésének és meghatározásának egyik alapeleme, amely a célállapotot rögzíti, térbeli és időbeli hatályokat rendelve a város egyik lényeges és arculatot markánsan meghatározó közüzemének.
- A városi világítási mestertervnek illeszkednie kell az országos és fővárosi ágazati érdekekhez és szabályokhoz, illetve azon túlmenően a kapcsolódó városüzemeltetési ágazatok rendszeréhez (elsősorban elektromos ellátás, közlekedés, rendvédelem-közbiztonság, építészet stb.) és tágabb értelemben pedig együttműködik azokkal a városszerkezeti-városépítészeti és városüzemeltetési célok megvalósításában.

A Budapesti Világítási Mesterterv szűkebb értelemben vett szakmai céljai pedig az alábbiak alapján kerültek elfogadásra:

- A nagyvárosaink területén a szabvány megközelítése a megfelelő világítás kialakításához nem elegendő, a szabvány jogi értelemben „nem elég erős", az igényeket meg kell erősíteni (nincs semmilyen közvilágítási jogszabály!). A szabvány alkalmazása – bár a szakmai munka alapjait képezi – nem kötelező érvényű, amióta az EU-jogharmonizáció megtörtént. Emellett jelentős benne a szubjektív tartalom, így kogens jogszabályi tartalommá közvetlenül és pontosítások nélkül nem átfordítható.
- A közvilágításkorszerűsítés mint fókuszpont elvonhatja a figyelmet a közvilágítás egyéb fontos szempontjairól, ezeket is előtérbe kell helyezni az energiahatékonyság mellett.

- JOGI ESZKÖZ nélkül a városi világítás fejlesztése, korszerűsítése még a beruházói oldalról is követhetetlen lehet (még engedélyezési folyamat sincs)!
- Mivel a törvény megalkotása egyelőre nem várható, a városok a saját szándékaik leképezését csak saját úton, saját rendelettel valósíthatják meg!

4.2. A Budapesti Világítási Mesterterv felépítése, tervezési menete, jelenlegi státusza

A Mesterterv első ütemében a szabályozási koncepció kidolgozása és szakmai vitájának megindítása volt a fő törekvés, azaz a közvilágítás tervezésében és fejlesztésében lévő lehetőségek és követelmények köztudatba vitele. Elmondható, hogy ezidáig minden egyes szakmai prezentáció, akár a VTT szakembereivel, akár az önkormányzatok és városüzemeltetési cégek képviselőivel is zajlottak le, értékes megállapításokkal és a továbbtervezés felé jelentős ötletekkel gazdagították a munkát.

Ez jelentős részben talán betudható annak is, hogy a tervezés első időszakában leginkább a szakirodalom, a jogi-műszaki környezet vizsgálata zajlott, megalapozva minden egyes későbbi megállapítást vagy törekvést.

A tervezés második felében már zömmel helyszíni bejárások zajlottak, amelyek alapján vizsgálati zónák kerültek lehatárolásra.

2. kép. A tervezés során egyes jelentős helyszíneket a madártávlati éjszakai képek alapján is vizsgáltuk (Blaha L. tér, Budapest).

Ezek pontosításával tervezési zónákat lehetett kijelölni, ahol egymástól jól elkülöníthető célok alapján lehet majd a jövőbeni szabályokat meghatározni. Ezeknek a zónáknak általában markáns konfliktusaik, jellemző arculati és műszaki előnyeik vagy figyelembe veendő követelményeik vannak, amelyek megkívánják az egyedi kezelést.

A mesterterv már rövid távon is alkalmazandó szakmai-műszaki szabályrendszereinek az alábbi tartalmi követelményekkel kell felépülnie:

- meg kell, hogy határozza a világítási szinteket és azok műszaki megoldásának, megvalósításának alapkövetelményeit,
- célállapotot jelenít meg (beruházási tervezési ciklusokhoz illeszthető módon),
- meghatározza a területi energiahatékonysági követelményeket,
- rögzíti a berendezésekkel kapcsolatos követelményeket,
- közvetve megjeleníti a gazdasági-gazdálkodási követelményeket,
- biztosítja az üzemeltetés és korszerűsítés szakmai alapjait,
- mindezeket összehangolva a kapcsolódó városi tervekkel (Fővárosi Rendezési Szabályzat, Településszerkezeti Terv, a Budapesti Közlekedési Központ stratégiai és operatív tervei), legalizációt is és koherenciát is nyerve.

A munka 2014 februárjában indult. Első ütemként azt a feladatot tűzte ki a Fővárosi Városépítési Iroda, hogy egy olyan átfogó városszerkezeti alapokon nyugvó javaslat készüljön, amely megalapozhatja a városi világítási szabályzat rendelettervezetének későbbi kialakítását, majd egy középtávú, műszaki felmérésen alapuló stratégiai kidolgozását.

A fő munka ezen első fázisban azonban az volt, hogy felépüljön a Mesterterv budapesti váza, modellje! Ehhez a tervezők az építésszabályozás meglévő, működő és más

szakterületekkel is komplexen együttműködő rendszerét hívták segítségül, tekintettel az alábbiakra:

- hasonló mérnöki feladatokat lát el, hasonló „zonációs" rendszerben, létező hierarchikus gyakorlatban, egyértelmű jogkörökkel, jogosítványokkal, működési modellel,
- a városi világításban is összefüggő feladat- és feltételrendszert kell figyelembe venni, akár csak a városépítészetben, hogy a kis beavatkozások is a nagy egész ismeretében történhessenek,
- a legfontosabb alapinformációk a mestertervi áttekintő tervlapról derüljenek ki, nagyléptékű elhatározások egyértelműen követhetők legyenek,
- a szabályozás felépítése az általános szabályoktól a részletekig logikus rendszerben működjön,
- a követelmények mindenütt egyértelműen megadhatók legyenek helyrajzi alapon is,
- minden közterület legyen ellátva egyértelmű világítási paraméterekkel. A tervező vagy a későbbi jóváhagyó / engedélyező el kell, hogy tudja egyértelműen dönteni: az adott helyszínen mely követelmények érvényesítendők.

4.3. A budapesti szabályozási koncepció alapjai

A budapesti mesterterv első változata már a szabályozás, a későbbi rendeletalkotás elemeit is megalapozta, hiszen rengeteg olyan alkalmazási kérdés is felmerült, amelyek továbbtervezésével kapcsolatban az első véleményezési körben is már foglalkozni kellett. Ilyen alapvető szabályozási elemek a következők:

- A későbbi szabályozás jogi értelmű hatályainak megállapítása (a „terület" és az engedélyezés problematikája): a jogszabályok legfontosabb része a vonatkozás hatályának megállapítása: ebben az esetben a terület (a város területe) sem egyértelmű kategória, mivel több olyan ágazat és magánterületi világítás is megjelenik a városban, amelyre nem alkothat a Főváros saját szabályokat, illetve nem szólhat bele ezek engedélyezésébe sem.
- Új fogalmakat kellett bevezetni, a régóta használatos szakmai fogalmakat pedig jogi értelemben is fel kellett tartalommal tölteni, köznapi szakmai értelmük konkretizálása mellett.
- Ki kellett dolgozni a koncepció általános szabályozási elemeit: pl. világítási zónák paraméterrendszerei között energiahatékonysági mutatók, fényáramszabályozási lehetőségek, színhőmérsékleti követelmények, a zónában kijelelhető világítási osztályok stb.)

A mesterterv illeszkedve más városszerkezeti témájú tervek övezeti rendszeréhez is, 9 világítási zónát határoz meg:

a) Történelmi Belváros Világítási Zóna
b) Belvárosi Világítási Zóna
c) Átmeneti Világítási Zóna
d) Külvárosi Világítási Zóna
e) Hegyvidéki Világítási Zóna
f) Dunamenti Világítási Zóna
g) Hidak és Hídfőterek Világítási Zóna
h) Jelentős Városi Csomópontok Világítási Zóna
i) Komplex Fejlesztési Területek Világítási Zóna

Ezek kialakítása és lehatárolása során a városi terek használatának intenzitása, a használat fő trendjei mellett nagyrészt a városképi szempontok is érvényesítésre kerültek, kiemelten a Belvárosi Zónák, ahol elsősorban a műemléki és világörökségi környezeti elvárásokat is integrálni próbálják. Ezzel szemben a Hegyvidéki és Külvárosi Zónákban, amelyek a város mintegy kétharmadát fedik le, ezen szempontok mellett az okszerű világításlétesítés és az energiahatékonyság lett a fő cél.

2. ábra. A Mesterterv zónáinak elhelyezkedése (részlet)

A mesterterv célja és funkciója okán elsősorban a közvilágítással kapcsolatos elemekre helyezi a hangsúlyt, de a város éjszakai látványában talán jóval meghatározóbb elemek a dísz- és díszítő világítások. A szabályozás kidolgozása során meg kell különböztetni azonban a város jelképszerű, és az éjszakai orientációban meghatározó díszvilágításait (pl. Hősök tere, Parlament, Budai Vár), amelyek fejlesztése-tervezése során az alkotói szabadság és szakértelem számára kellő teret kell biztosítani. A város életében főleg a nem szakszerűen, jellemzően magánprojektekhez kapcsolódó vagy szezonális, sok esetben zavarónak is mondható díszítő világításokat kell szabályozni. Jellemzően szabályozandók a lakóingatlanok ablakaira jutó zavaró fények, a homlokzatok előtt a járdába süllyesztett és a gyalogosokat zavaró berendezések elhelyezése és teljesítménye.

A díszítő világítások szabályozása ezen felül a fényszennyezés szempontjából is fontos. A nem szakszerűen pozícionált vagy indokolatlanul, a környezethez mérten túlzó világítási effektusokat és alkalmazásokat vissza kell szorítani.

Komplex szabályozási elveket igényel az említett ikonikus díszvilágítások látványának védelme is, azaz, hogy az éjszakai városképben ezeket ne nyomhassa el más, egyáltalán nem karakteres és sok esetben nem is szakszerű világítási elem. Ennek érdekében a tervben karakter- és látványvédelmi beavatkozásokat kell előirányozni, a zavarás mértékének megállapítását pedig szakemberek bevonása mellett javasolt a terv hatályba lépését követően végezni, különösen ott, ahol a Világörökségi rang is megköveteli ezt, pl. a Duna partjai mentén, ahol területileg igen nehéz egzakt látványvédelmi zónákat lehatárolni, hiszen a folyó két partján a díszvilágított városi és nemzeti jelképek zavartalan látványát a város esetenként távolabbi pontjairól (pl. Gellérthegy, hidak stb.) kell biztosítani. Ezért a mesterterv kiemelten kezeli és meghatározza, hogy az éjszakai látványban mely pontokról kell biztosítani az eddig sok esetben méltatlanul kezelt szakmai és kulturális értékeink látványvédelmét.

5. Összefoglalás

A reményeink szerint a Budapesti Világítástechnikai Mesterterv kidolgozásának példáját a jövőben további nagyvárosok is követni fogják, illetve reméljük, hogy a hosszú tervezési munka következő állomásairól is folyamatosan tájékoztatni tudjuk majd a különféle szakmai fórumokon az érdeklődő közönséget.

Budapest fényei

– Pap Zoltán –

A Világítástechnikai Évkönyv korábbi kiadásai rendszeresen foglalkoztak Budapest dísz- és közvilágításával. Jelent meg írás a közvilágítás kezdeteiről, annak jubileumáról, jelentősebb épületek díszvilágításáról, az új üzemeltető megalakulásáról, illetve a BDK Kft. tulajdonában lévő berendezések üzemeltetési gyakorlatában bekövetkezett változásokról.

Úgy gondolom, a folyamatot érdemes követni, hisz fővárosunk köz- és díszvilágítása töretlenül fejlődik, lépést tartva az innovatív technológiák megjelenésével, azok megfontolt és átgondolt bevezetése révén. A feladathoz mérten mondhatni, a maroknyi világítástechnikai szakemberekből álló csapat mindent megtesz annak érdekében, hogy „fényt hozzon Budapest életébe".

1. Feladat és küldetés

Mivel a munkánk eredménye nap, mint nap Budapest esti megjelenésében mérhető, ezért a feladat és az ezzel járó felelősség is jelentős. Akár a helyi lakosok, akár a hazánkba látogató turisták „szemmel láthatóan" azonnal észlelik tevékenységünk eredményeit, de esetleges hiányosságait is. Ebből adódóan, mivel mindig a „kirakatban" vagyunk, a legnagyobb odafigyeléssel kell üzemeltetnünk a Kft., a Főváros, illetve a kerületek tulajdonába lévő köz- és díszvilágítási berendezéseket. Ám a folyamatos rekonstrukciók sem maradhatnak el, amit a Főváros által biztosított amortizációs forrásból végzünk. Új fejlesztésekre a fővárosi költségvetés helyzetének függvényében kerülhet sor, amennyiben erre a Főváros fejlesztési hányadot tud biztosítani a tömegközlekedési útvonalakon. A helyi utak kerületi hatáskörben vannak, itt is készséggel elvégezzük a fejlesztési munkákat, ha erre a kerületek forrást biztosítanak. Önálló bevételt a kerületek és üzleti szereplők számára végzett közvilágítás fejlesztés, műszaki tanácsadás, és a műszaki ellenőrzés, valamint a kerületek számára végzett karácsonyi díszvilágítási munkák generálnak.

1. ábra. Karácsonyi díszítő világítás a Városháza parkban

2. ábra. Karácsonyi díszítő világítás a Bazilikánál

Budapest esti látképe, annak egy-egy részlete gyakran bejárja a világot, amihez – úgy gondolom – a mindennapi munkánkkal jelentősen hozzájárulunk. Ilyen esti képek készülnek a karácsonyi díszítő világításokról is, amelyet igyekszünk megújítani újabb látványelemek beüzemelésével.

3. ábra. Margit-híd és Parlament

4. ábra. Budapesti fények

Budapest területén emelt szintű szolgáltatást biztosítunk, azaz a közvilágítás rádiófrekvenciás vezérléssel akkor kapcsol be, ha a megvilágítás átlagos szintje 26,5 lux alá esik, illetve kikapcsol, ha ismét ezen érték fölé emelkedik. Ennek megfelelően az üzemidő éves szinten átlagosan 4150 óra, szemben az általánosan alkalmazott közvilágítási naptárral, amely esetén átlagosan 4000 óra. A közvilágítás működésének üzemkészség-ellenőrzését, havonta végzett sorsolás alapján a Főpolgármesteri Hivatal végzi.

Munkánkat egyben küldetésnek is érezzük, azon túlmenően, hogy azt magas minőségi színvonalon, átlátható gazdálkodással és biztonságosan végezzük, ügyfélbarát módon biztosítjuk a lakosság számára a közvilágítási hibák gyors javítását is. Természetesen ez nem mindig sikerül a leggyorsabban, hiszen egy-egy nagyobb területen jelentkező, kábelhibából fakadó úgynevezett szakaszhiba, vagy oszlopdöntést okozó káresetből adódó hiba kijavítása nem egyszerű. Évente több mint ezer kábelhiba-javítást és közel ötszáz káreseményből fakadó oszlopjavítást kell elvégezni, ami esetenként a normál hibajavításnál jóval hosszabb időt igényel.

Az évkönyv tematikája: "Fények és tények", … a Főváros esti megjelenéséhez mi tényekkel (munkánkkal) biztosítjuk a fényeket. Ezt igyekszünk a korszerű, energiatakarékos technológiák bevezetésével, a közvilágítás energiafogyasztásának csökkentésével elérni, ezzel hozzájárulva a fenntartható fejlődés megvalósulásához.

2. Hogyan tovább?

Mint ahogyan eddig is, a jövőben is igyekszünk fejleszteni jelenlegi szakmai és gazdasági pozíciónkat, s mindent megtenni a szabványos közvilágítás megvalósítása céljából. Lévén, hogy „kirakatban" van a munkánk eredménye, a társadalmi, környezeti és műszaki változásokra gyorsan és hatékonyan kell reagálnunk magas színvonalon, gyorsan és biztonságosan kell ellátnunk a közszolgáltatói feladatokat, a hibák 98%-át nyolc napon belül, ennek 70%-át két napon belül törekszünk kijavítani.

A szakmai továbbképzéseken, a hazai és nemzetközi konferenciákon igyekszünk megismerni a környezetkímélő, energiatakarékos technológiákat, és azokat integrálni tevékenységünkbe a Főváros köz- és díszvilágításának energiahatékony megújításához, hogy az energiafogyasztásban évente 10-15 millió Ft energiaköltség-megtakarítást érjünk el a hosszú távú beruházási tervben meghatározott beruházási forrásigény emelése nélkül. A megtakarítási lehetőségek elemzése alapján és külső forráslehetőség bevonásának megvizsgálásával, energiamegtakarításból finanszírozott (ESCO) közvilágítás-korszerűsítési javaslatot készítünk a Főváros számára.

Felkészülten, gyakorlati üzemeltetési tapasztalatokkal felvértezve készülünk az amortizációs időből fakadóan 2020-22 között esedékes nagy volumenű, a lámpatestállomány több mint 50%-át érintő korszerűsítésre, technológiaváltásra és ennek finanszírozására.

A hálózatunkon az új fejlesztéseket megelőzően gyakorlati teszteket végzünk. Így volt ez a LED-es fejlesztések esetén, és megkezdtük az energiaszabályozási és távvezérlésű telemenedzsment rendszerek tesztelését is az energiamegtakarítás növelése és az üzemeltetési költségek csökkentése céljából.

A lakosság hatékony kiszolgálása érdekében és az eszközállomány naprakészen tartására korszerű, elektronikus alapú ügyfélkapcsolati rendszert működtetünk. Fontosnak tartjuk a jó kapcsolat ápolását az ellátásért felelőssel, az áramszolgáltatóval, beszállító partnerekkel, a hatóságokkal és

együtt dolgozunk a fővárosi társszolgáltatókkal a hatékony működés és a szinergiák kihasználása céljából.

A küldetésből és jövőképből fakadóan célunk egy hatékony, biztonságos, a közpénzekkel takarékosan gazdálkodó, fenntartható és elkötelezett a köz- és díszvilágítást üzemeltető cég működtetése.

3. Hová jutott a Főváros köz- és díszvilágítása az elmúlt három évben és melyek a jövő feladatai?

3.1. Jól működő, hatékony és biztonságos közvilágítás

Hatékonyság

- Az üzemkészség fővárosi elvárása 99,25 (havi ellenőrzéskor 1000 fényforrásból 993 világít), 3 év átlaga 99,6% (1000-ből 996 világít).
- A hibajavítás 98%-a 8 napon belül történik, ebből 70% 2 napon belül (az általános gyakorlat 14 napot engedne).
- Megújult honlap, naprakész információk, minden közbeszerzési felhívás azonnali közzététele.
- Hibabejelentési lehetőség honlapon és okos telefon is.

Biztonságosság

- **üzemeltetési eredmények 2011-14:** közel 200 ezer fényforrás cseréje, 7300 oszlop festése, 5500 kábelhiba javítása, 1600 káreset helyreállítása, közel 15 000 oszlop állapotvizsgálata, 32 000 kandeláberajtó javítása, 1800 kapcsoló körzet érintésvédelmi mérése, ezzel áttérés a lakosság számára nagyobb biztonságot jelentő 3 éves ellenőrzési ciklusra.
- **üzemeltetés hatékonysága 2011-14:**
  – az egy lámpatest szerelésére eső összmunkaóra a 2009-2011 közötti 1,5 óráról 1,3 órára csökkent 2012-14 között: 14% javulás,
  – alvállalkozók helyett több saját munka a szabadvezeték-szerelésben, ezzel az üzemeltetésen kívüli, saját rekonstrukciós munkaórák száma a 2009-2011 közötti évi 15 700 óráról 17 300 órára emelkedett 2012-14 között: 10% javulás.

A rekonstrukciós beruházásban elért eredmények 2011-2014 között (lsd.: 1. táblázat)

1. táblázat. BDK Kft. által végzett rekonstrukciós munkák alakulása

Közvilágítási eszközök	Mennyiség 2014.01.01.	Felújított mennyiség 2011-2014	Részesedés a teljes mennyiségből
Közvilágítási tartószerkezetek (kandeláberek)	69 478 db	5 000 db	7%
Közvilágítási kapcsolószekrények	3 306 db	260 db	8%
Kábel és szabadvezeték hálózat összesen, ebből:	5 672 km	223 km	4%
Közvilágítási szabadvezeték	2 712 km	85 km[1]	3%
Közvilágítási kábel	2 898 km	101 km	4%
Középvezetős hálózat	62 km	37 km	kábelezés kiváltása
Lámpatest	177 457 db	11 500 db	6%

Munkabiztonság

A Kft. kiemelt figyelmet fordít a munkabiztonságra. Bevezetésre került a munkabiztonsági program és a rendszeres vezetői munkabiztonsági bejárás (safety walk) gyakorlata. Közös sikerünk, hogy a Kft.-nél harmadik éve nem volt munkabaleset!

5. ábra. Kollégák nappal

1 2012-től már nem alvállalkozókkal, hanem saját munkában

6. ábra. Kollégák éjjel

3.2. Takarékosság a közpénzekkel

Megvalósult az új alapokra helyezett, átlátható, hatékony közbeszerzési gyakorlat általánossá tétele. A szélesebb körű pályázói részvétel és nagyobb verseny révén elért eredmények:

- Az energia ára 2012-től folyamatosan csökkent, a kedvező beszerzési árból fakadó megtakarítás egyenlege 125 M Ft 2014-re.
- A kedvező piaci helyzetet kihasználva már a 2015. évi energia-egység árat is sikerült rögzíteni 2014 év elején, az eddigi legalacsonyabb szinten (15,65 Ft/kWh).
- A 2009-10. évi árakhoz képest a lámpatestek beszerzési átlagára 33%-kal (-68 M Ft), a fényforrásoké 38%-kal (-64 M Ft) csökkent 2011-14 között.
- Megújult a karácsonyi díszvilágítás 2011-ben, a korábbi bérlet helyett megvásárlásra kerültek a díszek, ezzel közel 50%-os megtakarítást sikerült elérni (négy év alatt a költség 176 M Ft helyett 91 M Ft).

3.3. Fenntarthatóságág

- A 2013-14-ben megvalósított energiamegtakarítási célú beruházások eredményeképpen 1 millió kWh-val csökken az energiafelhasználás, ami 2014-től két év alatt több mint 30 M Ft-tal csökkenti a főváros energiaszámláját.
- 2013-14 folyamán 5 db LED tesztprojekt (730 lámpatest) valósult meg Budapesten, a Világítástechnikai Társaság szakmai partnerként történő bevonásával, amelyek eredményeinek elemzése alapján további LED-esítésre kerülhet sor.

Mindezekre jó példa a Rákóczi híd közvilágításnak megújítása, amelynek eredményeképpen hatékony, biztonságos, innovatív és a fenntarthatóság szempontjából is kiemelkedő megoldás született, hiszen évi 2,3 M Ft energiamegtakarítást eredményező, modern, szabványos közvilágítás létesült úgy, hogy a látványkép is megmaradt. Mindeközben a nyílt, átlátható közbeszerzéssel, az előzetes becslésekhez képest több tízmillió forint közpénz-megtakarítását is sikerült elérni.

7. ábra. Rákóczi híd

4. A következő évek fő feladatai

A feladataink megvalósításában kiemelt jelentősége van a Városépítészeti Főosztállyal közösen kidolgozott Fővárosi Világítási Mestertervnek, ami körzetenként, a városépítészeti és energiahatékonysági szempontokat is figyelembe veszi a közvilágítás korszerűsítésénél.

A Mesterterv a fővárosi szabályozás alapját képezné a jövőben, és egyértelműen meghatározná a szabványnak megfelelő közvilágítás fejlesztés szabályait, illetve gátat szabna a túlvilágítást okozó fejlesztéseknek, ami indokolatlan költségnövekedést jelent a Fővárosnak. A Fővárosnak biztosítania kell,

hogy a fejlesztések esetében a szabványos megvilágítási szint meghatározásra kerüljön.

Az elektromos autózás nemzeti fejlesztési programjához kapcsolódva meg kell vizsgálni, – természetesen kizárólag kiegészítő jelleggel – hogy speciális igény esetén hálózati- és oszlop-infrastruktúra szempontjából Budapesten melyek az előfeltételei az elektromos autók közvilágítási oszlopról történő töltésének, és ez milyen üzleti modell alapján valósulhat meg a jövőbeli fejlesztéseknél.

A közvilágítás magas színvonalú üzemeltetésének fenntartása és az elmúlt években megnövekedett díszvilágítási berendezések szakszerű üzemeltetése természetesen a jövőben is alapvető feladat marad.

Összességében megállapítható, hogy jelentős sikereket ért el a Budapesti Dísz- és Közvilágítási Kft. a közpénzzel történő takarékos gazdálkodás és a hatékonyság növelése terén, de természetesen tovább kell haladni ezen az úton. A hatékonyság javulása mellett folytatni kell az energiatakarékosságból fakadó hatékonyságnövelést, e nélkül ugyanis nem lehet további nagyságrendi megtakarítást elérni a gazdálkodásban. Az elkövetkező öt évben több tízezer lámpatest amortizálódik el teljesen, tehát aktuálissá válik ezek megújítása. Nyilvánvalóan felmerül, hogy a modern technológia gyors fejlődésének eredményeként fontos alternatíva lehet a LED-esítés nagyobb ütemben történő megvalósítása. Eddigi tapasztalataink szerint, ugyan energiamegtakarítás nem kizárólag LED-világítótestekkel valósulhat meg, de a világítódiódás megoldások meghatározó tényezővé válnak a közeljövőben. Ehhez kapcsolódóan és remélhetőleg a közeljövőben fővárosi elfogadásra kerülő Mestertervvel összhangban az alábbi feladatokat tartjuk meghatározónak a következő évekre.

2015: Az eddigi LED- és energiaszabályozási tesztprojektek elemzése; a nagy tömegben található, amortizált lámpatestekre vonatkozóan az eszközállomány teljes felmérése és energiahatékony közvilágítás rekonstrukciós javaslat kidolgozása.

2016: A közvilágítás-fejlesztési javaslat műszaki, közgazdasági és hálózati megvalósíthatósági elemzése; konkrét területeket és darabszámokat tartalmazó javaslattétel a korszerűsítésre; energiamegtakarítási javaslat és finanszírozási modell kidolgozása a Fővárossal együttműködve.

2017-2018: Közbeszerzés, kivitelezés – 15-20 000 lámpatest LED-es korszerűsítése.

E projekt eredményei és a kialakított hatékony közbeszerzési gyakorlat alapján lehet felkészülni a 20-22 között esedékes, a korábbi, 2000-es évek elején megvalósított nagyobb közvilágítási korszerűsítésből elavulttá váló, mintegy 90 000 db, jelenleg nagynyomású nátriumlámpás közvilágítási lámpatest korszerűsítésére.

8. ábra. A LED-es világítótestekkel korszerűsített Árpád fejedelem útja a korszerűsítés előtt és után

Világítástechnikai kvíz – Találjuk meg a párját!

– Borsányi János –

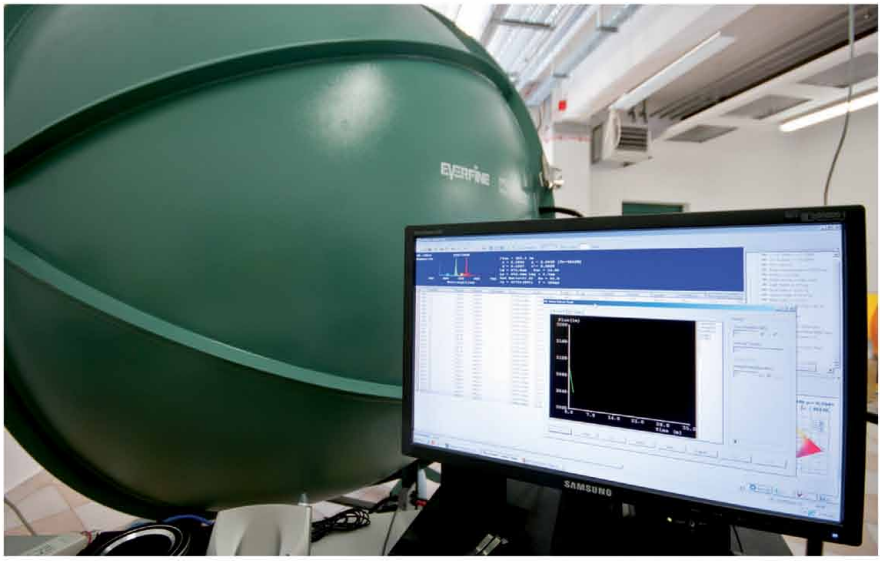
A tudományos életben szokásos életben szokásos, hogy valamilyen jelenséget, kifejezést vagy eszközt valakiről elneveznek – általában arról, aki felfedezte, vagy először alkalmazta azokat. Egy huncut manó azonban összekeverte az összetartozó fogalmakat és így adott személy neve mellé másik személyhez tartozó fogalom került. Állítsuk helyre a helyes párosítást!

Lambert-ellipszis
Ulbricht-hő
Fresnel-elegy
Rayleigh-harisnya
MacAdam-állandó
Edison-oszlop
Planck-lencse
Curie-egyenletek
Fermi-fej

Joule-görbék
Maxwell-gömb
Lorentz-szórás
Volta-pont
Boltzmann-sugárzó
Penning-szint
Söllner-szám
Auer-erő

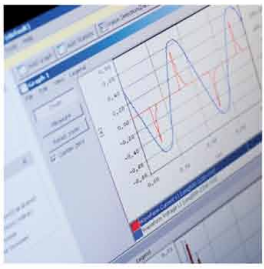
light logic
www.lightlogic.eu

FÉNYMÉRÉSTECHNIKAI LABORATÓRIUM



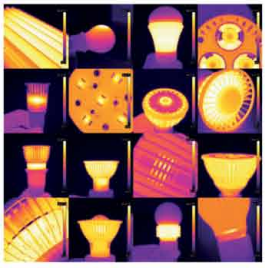
Eszközpark

- **Janitza UMG 508 Teljesítmény analizátor**
- **GW INSTEAK APS-1102 programozható tápegység**
- **Everfine 2m átmérőjű integrálógömb + Everfine HAAS-2000 spektroradiometer**
- **Fluke 289 True-rms Industrial Logging Multimeter**
- **Flir b-series infrared cameras-B40**



Mérhető fénytechnikai jellemzők

- **Spektrális eloszlás (200nm-2550nm)**
- **Kibocsájtott fényáram**
- **Fényteljesítmény**
- **Színkoordináta (1931 CIE, 1976 CIE szerint)**
- **CCT és CRI (Színhőmérséklet és színvisszaadási index)**
- **Fényáram változása tápfeszültség függvényében**
- **Effektív áram, csúcsáram**
- **Látszólagos, hatásos és meddő teljesítmény**
- **Power factor (cos fi), és THD**
- **Áram és feszültség jelalak és felharmonikusok (40.-ed rendig)**
- **Hőkamerás vizsgálat**



20 év

– Arató András –

20 éve, 1995-ben alakult meg a Világítástechnikai Társaság. 20 év: sok ez, vagy kevés? Egy átlagos emberi élet negyede. Az ember alkotóképes éveinek fele, tisztelet a kivételnek. Ha villamos világítás durván 140 évesre becsülhető történetét vesszük, annak az 1/7-e. Mi minden történt ez alatt a 20 év alatt? Szerencse, hogy a személyes emlékek mellett a Társaság története az 1996-ban útjára indított évkönyvek sorozatából, és a 2002 óta megjelenő Fény hírlevelekből is nyomon követhető.

A VTT 20 évvel ezelőtti megalakulása nem volt előzmények nélküli, hiszen a villamos világítással foglalkozó szakemberek a Magyar Elektrotechnikai Egyesület kebelében már a kezdetektől, 1900-tól létrehozták szakmai fórumukat. Az Elektrotechnika folyóirat 1908-ban megjelent első évfolyamát böngészve számos világítástechnikai témájú cikkel találkozhatunk. Érdekes átnézni, hogy milyen témák foglalkoztatták elődeinket. Mutatóba néhány cím: A magyar királyi várpalota elektromos világítása, A világítás kiszámítása (így!), A fémszálas lámpák és a feszültségingadozások stb. A MEE keretein belül a világítással foglalkozó szakemberek később munkabizottság, szakcsoport, szakbizottság, szakosztály elnevezésű szervezeti egységekben folytatták tevékenységüket.

A rendszerváltás alapos változásokat hozott nemcsak a politikában, hanem a gazdaságban, és az akkoriban társadalminak, ma inkább civilnek nevezett szervezetek életében is. A Világítástechnikai Szakosztály vezetője ebben a viharos időben Pollich János volt, akinek előkészítő munkája nyomán 1995 novemberében alakult meg a MEE keretein belül, de önálló jogi személyként működő Világítástechnikai Társaság. A tagság az alakuló közgyűlésen őt választotta elnökké, az elnökségi tagok Debreczeni Gábor, Jáni Józsefné, Kosztolicz István, dr. Lantos Tibor, Nagy János és Némethné Vidovszky Ágnes lettek. A Társaság székhelye az Egyesült Izzó Rt. által 1927 óta működtetett Világítástechnikai Állomáson, az Eötvös utca 11/a-ban volt.

Pollich János fájdalmasan korai halála után Nagy János került a VTT élére. Fordulatos időszak volt ez, hiszen már javában zajlott az országban a privatizáció, nyíltak meg új szervezeti és vállalkozási lehetőségek. Az Egyesült Izzó amerikai vezetői nem látták indokoltnak a Világítástechnikai Állomás további fenntartását, a VTT viszont vállalkozási tevékenységéből olyan anyagi forrásokhoz jutott, hogy elérhető közelségbe került egy saját székhely megvásárlása. Hozzájárult ehhez az is, hogy 2003-ban létrejött a Magyar Világítástechnikáért Alapítvány, amelynek kiemelt célja a VTT támogatása.

Sajnos az Eötvös utcai Állomás átvétele különböző, rajtunk kívül álló okok miatt meghiúsult. Helyette viszont sikerült megvásárolni Újpest központjában, az Árpád út 67-ben egy nagyméretű polgári lakást, ami némi építészeti átalakítás után alkalmas lett a szakmai közélet szervezésére. Két szoba összenyitásával mintegy 50 fő számára alkalmas előadótermet alakítottunk ki, amely a VTT jogi tagvállalatainak jóvoltából egyúttal bemutatóteremként is funkcionál.

1. ábra. Dr. Horváth József visszaemlékezése az egykor volt Világítástechnikai Állomásra

Az akkoriban legkorszerűbbnek számító világítási megoldások felett azonban mára már eljárt az idő, indokolt lenne egy felújítás. Egy kisebb helyiség ad otthont az irodának és könyvtárnak, míg egy másik, ablaktalan helyiségbe a Világítástechnikai Állomás egykor volt Architektúra-termének feltámasztásaként a világítási megoldások modellezésére alkalmas berendezést terveztünk, ami azonban máig a többszöri nekifutás ellenére sem valósult meg. A Világítás Házának elnevezett létesítmény azóta rendszeresen ad teret a szakmai rendezvényeknek, közgyűléseknek.

2. ábra. Megszületnek az első bejegyzések a Világítás Háza vendégkönyvébe (a képen Radványiné Novotny Olga és Poppe Kornélné)

A szakmát tekintve az elmúlt 20 év legjelentősebb, Nobel-díjjal is jutalmazott történése a fehér LED-ek megvalósítása és rohamos elterjedése volt, ez utóbbival a VTT igyekezett lépést tartani. Minden technikai újdonságra jellemző, hogy először a bombasztikus reklámok jelennek meg, a higgadt műszaki értékelés várat magára. Nem volt ez másként a LED-ek esetében sem, így a Társaságra hárult az a nem mindig hálás feladat, hogy a gyakran túlzó marketingpropaganda ellenében magalapozott, hiteles információkkal segítse az új technika felhasználóit. Első alkalommal 2010-ben szerveztük meg a LED Konferenciát, amelyet hatalmas érdeklődés kísért, és amely azóta rendszeres nagyrendezvényünkké vált. A szakmai fórum mellett a VTT széles körben terjesztett állásfoglalást is megjelentetett a LED-ek alkalmazásával kapcsolatban, amelyben a felhasználók figyelmét hívja fel az új lehetőségek mellett az elkerülhető csapdákra is. Hasonló módon, az izzólámpák forgalmazásának megszüntetésével kapcsolatban is számtalan rádió- és tévériportban, újságcikkben tájékoztattuk a szélesebb közönséget a változásokról. Hiánypótló vállalkozásunk volt a Világítástechnikai kislexikon és a Közvilágítási kézikönyv megjelentetése. A szakkönyvek mellett az Elektrotechnika folyóirat világítástechnikai rovatát is gondozzuk. A szakmai ismeretek terjesztésére bekapcsolódtunk a mérnöktovábbképzésbe, szoros együttműködésünk van a hazai felsőoktatási intézményekkel, de ezek mellett saját szervezésű tanfolyamokat is indítottunk, pl. a közvilágítási szerelőknek vagy a bolti eladóknak. A fénysűrűség-technika terjedésének elősegítésére a VTT beszerzett egy kalibrált mérőkamerát, amelyet jogi tagvállalataink egy-egy mérési feladathoz kikölcsönözhetnek. A mérések technikájának elsajátításához szintén megszerveztük a szükséges oktatást.

A rendszeres rendezvényeket tekintve is változást hozott az elmúlt 20 év. A korábbi időszakokban minden évben két nagyrendezvényt szerveztünk, májusban a Közvilá-

gítási Ankétot, októberben pedig a Világítástechnikai Konferenciát. Amíg a szakemberek viszonylag zárt körét érintő Közvilágítási Ankét változatlanul évente 120-180 érdeklődőt vonz, a világítástechnika szélesebb területét átfogó őszi konferenciák iránt csökkent az érdeklődés. Ennek az is oka volt, hogy az ún. Visegrádi országok (Cseh Köztársaság, Lengyelország, Magyarország, Szlovákia) szakmai szervezeteinek együttműködéseként, magyar kezdeményezésre létrejött a Lumen V4 konferencia, amelyet minden második évben, és mindig más országban tartanak meg.

3. ábra. Az első LumenV4 konferencia elnöksége

Az ötletadó VTT-nek jutott az a megtisztelő feladat, hogy 2006-ban Balatonfüreden szervezhette meg az első Lumen V4 konferenciát, 8 évre rá pedig stílszerűen Visegrádon láttuk vendégül a társországok világítástechnikusait.

4. ábra. A balatonfüredi LumenV4 konferencia résztvevőinek egy csoportja

A rendezvények átfedésének elkerülése érdekében az őszi konferenciák ritkultak, és csak minden második, a Lumen V4-gyel ellentétes évben tartottuk meg őket. A havi rendszerességgel megtartott klubnapok továbbra is stabil törzsközönséget vonzanak. Tagjaink szélesebb körű kitekintését segítik a főleg a szomszédos országokba szervezett szakmai kirándulások, valamint a kiállítások szervezésében való közreműködés. A VTT éveken keresztül szervezte a Luxexpo-kiállítást, amelyet az utóbbi időben a teljes építőipart átfogó Construma-kiállítás váltott fel, ahol rendszeresen tartunk előadásokkal kísért szakmai napot.

A VTT a MEE által már korábban is adható díjak mellett a kiemelkedő szakmai tevékenység elismerésére 2002-ben két további díjat alapított. A „Pollich János díj a Világítástechnikai Társaságért" kitüntetést azok kaphatják meg, akik a VTT támogatásával, a tagsági élet szervezésével, kimagasló irodalmi, oktatási tevékenységgel öregbítik a VTT hírnevét. A „Sziráki Zoltán - Gergely Pál díj a magyar világítástechnikáért" elismeréssel azokat jutalmazzák, akik jelentős mértékben hozzájárulnak a világítási kultúra fejlesztéséhez, a tagsági élet szervezéséhez.

A VTT további történetének kulcskérdése, hogy sikerül-e lépést tartani a technika fejlődésével, és megnyerhetjük-e a világítástechnika ügyének a jövő nemzedékét. A közelmúlt eseményeinek fényében mindkét kérdésre igennel felelhetünk. A vezetőség generációváltása, a LED-es rendezvények elindítása, az internetes jelenlét kiteljesedése, az alkalmazástechnikai füzetek megjelentetése, az olyan országos eseményekbe való bekapcsolódás, mint a fiatalok megszólítását célzó Kutatók éjszakája, garanciát jelentenek arra, hogy az elmúlt 20 év csak bevezető volt egy vég nélküli történethez.

Akiknek emlékét a VTT díjai megörökítik

GERGELY PÁL

Az 1977-ben megjelent „Gyakorlati világítástechnika" könyv évtizedeken keresztül a legfontosabb hazai szakirodalomnak számított. Szerkesztése és több fejezetének megírása (A mesterséges világítás számítási módszerei, Sportvilágítás) az ÉVITERV főmérnökének, Gergely Pálnak a nevéhez fűződik. Szintén ő volt a szerzője a Fénycsővilágítás c. könyvnek, amelyből a kor legelterjedtebb fényforrásának alkalmazásához szerezhettek mélyreható ismereteket a szakemberek. Nemcsak szakíróként alkotott jelentőset, hanem a gyakorlati munkában is: az ÉVITERV műhelyében számos jelentős világítási berendezés terve született meg. 1988-ban bekövetkezett halála fájdalmas űrt hagyott a világítástechnikai szakmában.

POLLICH JÁNOS

1994-től 2001-ben bekövetkezett haláláig volt a Világítástechnikai Állomás vezetője, emellett ellátta a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (C.I.E.) Magyar Nemzeti Bizottságának titkári tisztét is. Az ország egyik legjobb világítástechnikai szakembereként számos világítási berendezést tervezett (Prágai Nemzeti Múzeum díszvilágítása, Parlament beltéri világítása).

Magas szinten foglalkozott a világítástechnika történetével. Részt vett az Elektrotechnikai Múzeumban a Bródy-terem újrarendezésében, a TUNGSRAM Gyártörténeti Gyűjtemény kialakításában. Meghatározó szerepet játszott Világítástechnikai Társaság létrehozásában.

Dr. SZIRÁKI ZOLTÁN

Dr. Sziráki Zoltán gépészmérnök, a KÖZTI osztályvezetője vezetésével alakult meg a VTT elődje, az 1960 és 90 között működött Világítástechnikai Szakbizottság. Személyében a hazai világítástechnikának nemcsak zseniális és fáradhatatlan szervezőjét, hanem a gyakorlati tervezési munka példamutatóan precíz megvalósítóját is tisztelhetjük. Nevéhez fűződik pl. a budai Vár újjáépítés utáni első díszvilágításának és belső téri világításának kialakítása. Megjelent publikációi közül említésre méltó a Korszerű világítási berendezések tervezése c. könyvnek az Ipari épületek mesterséges világítása fejezete, a Mérnöktovábbképző Intézet és a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola több jegyzete, továbbá a VTT Krónika.

VTT Krónika

– Barkóczi Gergely –

A Világítástechnikai Társaság tagjai, illetőleg a világítási szakma a legutóbbi évkönyv megjelenése óta számos rendezvényen hívta fel magára a figyelmet. Az elmúlt két év eseményeit a kisebb szünet után újraindult Fény hírlevél folyamatosan hírül adta, és jelen írás is igyekszik azokat összefoglalni. A krónika áttekintést nyújt a VTT szervezte konferenciákról, ankétokról, szemináriumokról, és igyekszik bemutatni a szakmával kapcsolatos egyéb említendő eseményeket. Ha valamely oknál fogva, valami mégsem kerül említésre, ami a Tisztelt Tagság szerint szót érdemelne, kérem, hogy senki ne vegye személyes bántásnak, vagy jelentéktelenné nyilvánításnak!

A legutóbbi évkönyvünk krónikája 2012 februárjában a LED konferencia eseményeinek bemutatásával zárult, amely már akkor is rendszeres rendezvényünknek számított, akárcsak az áprilisi jelenlétünk a Construmán. Az építőipar évenként megtartott, meghatározó ipari bemutatóján és vásárán a MEE, és ezzel együtt a VTT már 2012-ben is ismert szereplőnek számított. Az április 19-ei szakmai napnak, amelyen négy előadónk „Ez is világítás? – Ez is világítás!" vezércímmel tartott előadást, külön jelentőséget adott, hogy a vásár központi épületében, megfelelő hangosítással és kivetítéssel rendelkező előadótermében tarthattuk meg, és a korábbi rendszer kamarai akkreditáltságát is élveztük. A nagy érdeklődés és a köz- és díszvilágítási témák kapcsán kezdődött szakmai eszmecsere folytán igazán sikeres volt az előadássorozat.

A tavaszi programok közül természetesen 2012-ben is a Közvilágítási Ankét élvezhette a legnagyobb szakmai figyelmet, amelyet 43. alkalommal Békéscsaba látott vendégül május 17-én és 18-án.

1. ábra. A Közvilágítási Ankét előkészületei Békéscsabán

A Jókai Színház és a Vígadó nyújtotta impozáns díszletek, az egyre nagyobb teret kapó LED-ek, a mezopos látás jellemzői és a fényterhelés élettani hatásai, az üzemeltetési kérdések és a szabványi átalakulások témáit érintő szakmai körkép, illetőleg az Európai Bizottság félvezető alapú fényforrásos városi világításokkal foglalkozó munkacsoportjának megalakulásáról érkező hírek mellett ünnepelni is volt alkalom a rendezvényen, hiszen a díszvacsorán köszönthettük tiszteletbeli elnökünket 80. születésnapja alkalmából.

A Közvilágítási Ankéttal azonban nem ért még véget a májusi munkánk, 30-án Debrecenben tartottunk szakmai napot „LED-ek a világítástechnikában" címmel. Sikerrel könyvelhettük el, hogy egyre több szakmai közösség, területi kamarai divízió keresett meg bennünket azzal a céllal, hogy a világítástechnika jelenéről, a piacra került eszközök valós képességeiről és alkalmazásuk helyes szemléletéről tőlünk kérjenek információt, továbbképző előadást. A VTT, amikor lehetett, örömmel tett eleget ezeknek a felkéréseknek, hiszen ez kimondott és vállalt szakmai célunk volt és lesz.

Szeptember bőségesen kínált számunkra lehetőségeket, illetőleg elvárásokat a minőségi szakmai bemutatók terén. A MEE szokásos Vándorgyűlése után, amelyen elvár-

hatóan képviseltük a VTT-t, a hónap végén esedékes rendezvényekre koncentráltunk.

Szeptember 19. és 28. között három, számunkra fontos nemzetközi esemény is zajlott, ami egy kicsit meg is osztotta erőinket, részvételi lehetőségeinket.

Szeptember 19-én kezdődött Kínában a CIE Light and Lighting konferenciája, amelyen részvételünk elengedhetetlen volt, és természetesen nem csak az előadások tartása, illetőleg hallgatása kapcsán, hanem a tematikus divíziók munkájában való aktív közreműködés miatt is.

A CIE konferencia után pár nappal, szeptember 25-én Bregenz-ben, Ausztriában indult az Lps 2012 LED Professional Symposium + Expo, ami a gyártók és alkalmazó szakemberek nagy érdeklődésére tartott számot, és amely sajnálatos módon részben egybeesett a visegrádi országok világítási konferenciájával.

2012. őszi programjai közül mégis nagy jelentőségűnek tekintettük a LUMEN V4 konferenciát, amely negyedik alkalommal, negyedik tagországban, ezúttal Pozsonyban került megrendezésre. A magyar előadók és a VTT elnökségének képviselői érdemben járultak hozzá a konferencia szakmai tartalmához. A fényforrás- és lámpatest fejlesztési irányok, az új retrofit világítódiódás termékek megismerése mellett belső- és külsőtéri világítási rendszerelméleti előadások is elhangzottak. Több előadó említette a vizuális komfort és a mezopos látás tématerületein felmerült kérdések tisztázásának, újragondolásának igényét, amelyek helyes műszaki kezeléstechnikájának meghatározására igény lenne mind építészeti, mind villamos oldalról. A konferencia nem szakmai rendezvényein is részt vettek a VTT tagjai, és többször elhangzott a várakozás a 2014-es második alkalommal megszervezésre kerülő magyarországi konferenciára vonatkozóan.

Az ősz még tartogatott egy szemináriumot, amelyet november 13-án hallgathattunk meg a Világítás Házában. A feszültségszabályozó rendszerek ismertetése igazán érdekesnek bizonyult, és élmény volt egy olyan témát megismerni, amely a világítástechnika szerves és manapság elengedhetetlen része, ám mégsem a leggyakrabban emlegetett, boncolgatott ismeretanyagot hordozza.

2012 decemberében a szeminárium idejében tartottuk szokásos közgyűlésünket, melynek során az év jelentős eseményeinek összegzése, és a jövő év tervei mellett fő célja volt, hogy az Ünnepek előtt kötetlenül is jól érezzük magunkat egymás társaságában. A közgyűlés hagyományos részeként adtuk át szakmánk elismert képviselőinek a VTT két díját a Világítástechnikai Társaságért Pollich János Díjat és a Magyar Világítástechnikáért Gergely-Sziráki Díjat. A díjazottak kitüntetése mellett az évzáró közgyűlés adott alkalmat a VTT friss kiadványainak bemutatójára is. A 2011-2012-es VTT évkönyv mellett nagy büszkeséggel mutatta be a társaság elnöksége az újból útjára indított Világítástechnikai Füzeteket, amelynek első kiadványa a Halogénlámpák címet viselte. A sorozatnak azóta elkészült az újabb része is, amely a kompakt fénycsövekkel foglalkozik részletesen, de forrás hiányában még nem került kiadásra.

A 2013-as év első jelentős eseménye február 5-én és 6-án a negyedik alkalmat is megért LED konferencia volt. A korábbi évekhez hasonlóan az Óbudai Egyetem adott otthont a rendezvénynek. Ebben az évben a konferencia mottója : "Jó az, amit jól is használunk!" és ennek szellemében boncolgatta a képességeket, szükségességeket, illetőleg azt, hogy az alkalmazott eszközeink vajon tényleg a technológia adta lehetőségeit, és ezáltal a felhasználók érdekeit szolgálják, illetőleg hogy a megalkotott újszerű eszközöket tényleg megfelelő módon, és nem a régi rendszerbe beleerőltetve használjuk-e.

A februári konferenciát márciusban sem a megszokott szeminárium követte. A veszprémi Pannon Egyetem tanulmányútra hívta az érdeklődőket. Bemutatták

legújabb kutatási eredményeiket, valamint fénytechnikai laboratóriumukat, amely különlegessé tette a kihelyezett előadást.

2. ábra. Egyetemi látogatás Veszprémben

Áprilisra már szinte megszokott volt a rendkívüli helyszín. A tisztújító közgyűlés előre látható időpontja miatt ebben a hónapban már 3-án élvezhettük szakmánk szépségeit, amikor is a TÜV Rheinland InterCert Kft. hívta meg a VTT tagságát megújult világítástechnikai laboratóriumába egy bemutatóra. A szeminárium ilyenformán is kellemes szakmai csemegével szolgált. Érdemes megjegyezni, hogy a látogatáson felbátorodva, azóta már egy szakközépiskolás csoport is megismerte a laboratórium felszereltségét.

A VTT 2013. április 9-én tartotta rendes, tisztújító közgyűlését a Világítás Házában. A tisztújítás valódi újdonságot hozott, hiszen a korábbi elnökségből többen nem tudták tovább vállalni a jelölést. A tagság számos új tagtársat javasolt az elnökségbe – a tapasztaltabb kollégák nagy örömére – a fiatalabb szakemberek közül is szép számmal szerepeltek a jelöltek között. Több oszlopos tagunk hangot is adott abbéli örömének, hogy a fiatal tagság komolyan foglalkozik a VTT, és általában a világítási szakma kérdéseivel.

Az elnök Nagy János maradt, az elnökség tagjai pedig Csuti Péter, Mancz Ivette, Nádas József, Némethné dr. Vidovszky Ágnes, Schwarcz Péter és Dr. Szabó Ferenc lettek. Az új elnökség azóta is töretlen lendülettel folytatja munkáját.

Nem szabad megfeledkeznünk arról sem, hogy a tisztújítás után két nappal ismét képviseltük a világítási szakmát a Construma építőipari kiállításon. A megszokott minőségben egy kissé változó előadói gárdával.

2013-ban tartotta a CIE Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság 100. évfordulós párizsi konferenciáját. A konferencia magyar előadásait és szakmai tapasztalatait május 14-én, a VTT keddi szemináriumsorozatának részeként hallgathattuk meg a konferencián hazánkat képviselő előadók, elnökségi tagok előadásában, a Világítás Házában. A konferencián elhangzott magyar tudományos tartalmak, kutatási eredmények a megszokott magas színvonalon, és a divíziókban történt részvételek komoly aktivitással és hangsúllyal erősítették hazánk és a VTT pozícióját a nemzetközi világítástechnika területén.

Májusban, a szeminárium mellett sor került a VTT hagyományos, immár 44. alkalommal megrendezett Közvilágítási Ankétjára Debrecenben, a Hotel Aranybikában. A május 23-án és 24-én megtartott rendezvény fő témái között szerepelt a LED-közvilágítások jelene, és gyarapodó szakmai tapasztalatai. Nagy hangsúlyt kapott az új fényforrás-technológia mellett a fényszennyezés visszaszorítása és az aktuálisan felavatott Hortobágyi Csillagoségboltpark. Továbbá elhangoztak a vizuális komforttal kapcsolatos előadások, bemutatásra kerültek „smart" rendszerek és természetesen nem maradtak ki gazdasági-, illetőleg jogszabályi témakörök, a Villamos Energia Törvénnyel kapcsolatos kérdések tárgyalásai sem.

2013. tavaszi félévének záró programja a június 17-én tartott Hallgatói Ankét volt. Mindig nagy öröm, ha egy évben összegyűlik elegendő számú és színvonalú világítástechnikai diplomaterv és szakdolgozat, amelyek alapot teremtenek az ankét megtartására. A frissen végzett szakemberek számára ez egyedülálló bemutatkozási,

3. ábra. Nagy örömünkre 2013 újból lehetőséget adott a Hallgatói Ankét megrendezésére

A 2013-as év nagy eredményeként júniusban újraindult a Fény hírlevél, amelynek hasábjain azóta is folyamatosan tájékoztathatjuk a Tisztelt Tagságot a VTT-t, a világítási szakmát és az érdeklődőket érintő eseményekről, hírekről. A szerkesztői feladat elvállalásakor célom volt egy tartalmas és tényleg érdekes hírlevél szerkesztése, amelynek böngészése élvezetet nyújt, és ezúton is köszönöm minden közreműködő áldozatos munkáját, aki önkéntesen ajánlkozva vagy felkérésre gazdagította a hírlevél eddigi tartalmát.

Hála ennek a fejleménynek, a 2013. szeptemberi szemináriumról már a Fény hasábjain is olvashattunk beszámolót. Az ősz első hetében megtartott rendezvény a júniusi LEDlight4U és SSL4EU workshopok tanulságait ecsetelte. Az ősz programskáláját két konferencia is gazdagította. Az első a szokásos MEE Vándorgyűlése, amely a Mátrába hívta az elektrotechnikus szakembereket, és amely a szakmai és személyi változások mellett több résztvevőt egy erőteljes náthával is meglepett. A Vándorgyűlés mottója az "Energia-fordulat" volt, amely a közeljövő energetikai kérdésköreivel való behatóbb vizsgálatokat prognosztizálta. A VTT külön világítástechnikai szekcióval hangsúlyozta a szakmaterület jelentőségét, amelynek „Se veLED, se nélküLED" címe már önmagában is beszédes volt.

A másik konferencia a Lengyelországba invitáló LUX EUROPA volt, amely minden alkalommal számot tart a magyarországi szakemberekre. A szeptember 17. és 19. között megtartott rendezvényen ezúttal nem csupán előadóként és résztvevőként találkozhattunk magyar nevekkel, de a programigazgatóság magyar tagja is a VTT egyik alelnöke volt. Ennek megfelelően a szakmai hazai eredményeit megfelelő magas színvonalon kellett képviselni,

A VTT őszi rendezvénynaptárában már több éve szerepel a Kutatók Éjszakája programkavalkádja is. 2013-ban a Dürer rendezvényház adott otthont a központi programoknak, amelyen a VTT színesen világító kínálattal kápráztatta - illetve dehogy kápráztatta - az érdeklődőket. Ezen a rendezvényen a közvetlenség és az alapok érdekes elmagyarázása olykor sokkal fontosabb, mint a mélyreható elméleti magyarázatok. Az elmúlt évek tapasztalatai megmutatták, hogy a szakszerűen megfogalmazott intelmek még akkor is jobban hangzanak a reklámszlogenek féligazságainál, ha nem mellékelünk mellé jegyzőkönyvet, csupán a „saját szemükkel" láthatják az emberek.

4. ábra. A világítás 2013-ban is vonzotta a látogatókat a Kutatók Éjszakáján

A VTT standjával párhuzamosan az Óbudai Egyetem világítástechnikai la-

boratóriuma is várta az érdeklődőket ezen az éjszakán és ugyancsak nagy élményt jelentett itt is a látogatás.

2013. október második keddjén a Világítás Háza egy érdekes szemináriumnak adott otthont, amely a növényvilágítások mezőgazdasági vonatkozásit mutatta be. Üdítő élmény volt ismét egy világítási peremterületet megismerni és a szakmánkat más szemszögből, egy biológiai területen dolgozó kutatóhölgy szempontrendszere szerint látni. Az ilyen jellegű kitekintő előadások igazán növelik a szemináriumsorozat értékét.

A témához kapcsolódik, hogy október végén részt vettünk a Nemzeti Biodiverzitás Stratégia Konferencián is. A fényszennyezés, illetőleg annak elkerülése érdekében a VTT mint szakértő civil szervezet állásfoglalását is kikérték a stratégia kialakításában.

2013 őszének kapcsán hiba volna említés nélkül hagyni a Világítástechnikai Megoldások Fórumát. Ez a kezdeményezés egy olyan rendezvény megtartását célozta, amely az alkalmazástechnikát állítja fókuszba. A VTT-vezetőség egy olyan programot szeretett volna megvalósítani, amelyen gyártók, beruházók, tervezők cserélhetnek eszmét a szokásos fórumvitakör formájában. A kezdeményezést üdvözöljük, és nagy reményekkel várjuk, hogy az első próbára ugyan meghiúsult rendezvény második nekifutásra sikerüljön. Természetesen ez elsősorban a szakmán múlik.

A novemberi szemináriumot követően, amelyen a LUX EUROPA tapasztalatait ismerhettük meg, decemberben ismét összegyűltünk szokásos évzáró Közgyűlésünkre. A szép számú jelenlévő előtt a megújult vezetőség örömmel számolhatott be az év teljesítményeiről. A díjazottaink megünneplése, és a közelgő Ünnepek meghitt hangulatot teremtettek, és a szokásos kedélyességgel zárták a 2013-as évet is.

5. ábra. A 2013-ban megválasztott új vezetőség

A 2014-es évvel kapcsolatban mindenekelőtt említést kell tenni a sajtómegjelenésekről. Attól eltekintve, hogy ez az év újabb évkönyvvel kecsegtetett, a szakmai folyóiratokban is gyakran előfordultak tagtársaink írásai. A rendszeres cikkek mellett érdemes kiemelni az Elektrotechnika áprilisi számát, amely több korábbi esethez hasonlóan kiemelten foglalkozott a világítástechnikával és társaságunk szakmai működésével.

A VTT-rendezvények sorát a januári szeminárium nyitotta meg, amelynek során az UV-lámpák gyakorlati alkalmazásával ismerkedhettünk meg. A nem általános világítástechnikai alkalmazások bemutatásai tehát a 2014-es évben is folytatódtak.

A február fő programja az immár V. alkalommal megtartott, éves LED Konferencia volt. A rendezvénynek új helyszín adott otthont, az Óbudai Egyetem helyett a Lurdy házban vehettek részt az érdeklődők a LED-lámpatestek fejlődési irányait, a közvilágítások jövőképét és a világítódiódák élettani, látás-érzékelési hatásait is tárgyaló előadásokon. A helyszín változása az érdeklődést nem csökkentette, és bár az előadói körülmények nem voltak annyira előnyösek, mint a kifejezetten tudományos közegnek kialakított egyete-

men, a konferencia mind szakmai, mind rendezési szempontból sikeresnek volt mondható.

6. ábra. A LED konferencia a Lurdy Házban is sikeres volt

A Magyar Mérnöki Kamara Elektrotechnikai Tagozatának felkérésére 2014 során elkészítettük a kötelező mérnöktovábbképző világítástechnikai oktatás tematikáját. A hat órás képzés igyekszik átfogni a legfontosabb világítástechnikai ismereteket az alapfogalmaktól a belső-, külső-, sport és múzeumvilágításokig, valamennyit a világítódiódás technológia szemszögéből tárgyalva. Az előadásokat egy közösen elkészített diasorozat alapján tartják a VTT tagjai közül azok, akik az előkészítésben részt vettek Az előadásokra az MMK megyei szervezeteinél kerül sor.

A VTT nevével fémjelzett másik éves esemény, a Közvilágítási Ankét ebben az évben Veszprémbe látogatott, ahol a konferenciával egy időben LED-méréstechnikai továbbképzésre is lehetőséget kaptak az ankét résztvevői. A veszprémi Pannon Egyetem házigazdaként és előadói révén szakmai tartalommal is méltó vendéglátója volt a rendezvénynek. A közvilágítási témák között a LED mellett komoly hangsúlyt kaptak a rendszerszintű műszaki problémák, fejlesztések és nem utolsó sorban a környezetre gyakorolt másodlagos hatások is.

7. ábra. 2014-ben a XLV. Közvilágítási Ankétnak Veszprém adott otthont

2014. őszi félévének szemináriumsorozata a budapesti világítási mesterterv megvitatásával kezdődött. Ennek a tervezetnek, amely alapjaiban fogja meghatározni fővárosunk közvilágítási tendenciáit, igen fontos a szakmai megalapozottsága. A szemináriumon ezúttal ismét egy olyan téma került terítékre, amely nem csupán a szakmai ismeretek továbbfejlesztésére alkalmas, hanem valóban megvitatandó kérdés, szakmai körökben is eltérő megítélés alá kerülő probléma. A rendezvény ellentétes szempontokat váltott ki a hallgatóság képviselőiből, azonban mindenképpen érdemesnek találták a téma megvitatását.

Azon túlmenően, hogy a VTT honlapján nyilvános fórumot biztosítottunk tagságunknak, egy ad-hoc öttagú Munkabizottság elkészítette a Mesterterv részletes szakmai bírálatát, amelyet megküldött a Fővárosi Polgármesteri Hivatal részére.

A VTT sikeresen képviselte a szakma érdekeit az Elektromos és elektronikus hulladékok újrahasznosítására vonatkozó kormányrendelet módosításának kapcsán. A jogszabálytervezet számtalan előnytelen megoldást tartalmazott a világítástechnikával foglalkozó cégek számára. Sikerült elérnünk valamennyi előírás eltörlését, illetve enyhítését úgy, hogy a felelős környezettudatos magatartása szakmánknak továbbra is

előtérben szerepel. A módosított jogszabály 2014 decemberében lát napvilágot.

A 2014. év fő eseménye az V. Lumen V4 Konferencia volt, amelynek különleges jelleget kölcsönzött, hogy a szervezés joga, amely évenként vándorol a Visegrádi Országok között, először szállt vissza egy korábbi rendezőhöz, vagyis hozzánk. A Lumen V4 a VTT számára különösen fontos rendezvény, hiszen már az alapgondolat megszületésétől kezdve a konferencia sikerességén, és nemzetközi elismertségén dolgozunk. A különleges alkalomhoz különleges helyszínt sikerült választani Visegrád városában. Ennek a szimbolikus, és önmagában is gyönyörű helyszínnek a kivitelezése komoly erőfeszítéseket igényelt a szervezőbizottság és a VTT-vezetőség részéről, de a kemény munkát komoly siker jutalmazta. Elmondható, hogy ismét megálltuk a helyünket a szakmai próbatételen, igazán élvezetes és színvonalas szakmai tartalmat nyújtva. A visegrádi látvány és történelmi értékkincs mesés környezete pedig hozzáadta azt a pluszt, amitől igazán emlékezetessé vált ez a konferencia.

8. ábra A LumenV4 2014 konferencia-vándordíj továbbadása

A Visegrádi Országok világítástechnikai konferenciájával zártam jelen évkönyvünk krónikáját. Az események felsorolása után azonban még maradt egy nagyon fontos feladatom, amivel pár sor erejéig feltartom a kedves olvasót.

Az előbbiekben bemutatott időszakban számtalan rádió- és tv-riport hangzott el a Társaságunk vezetőivel, valamennyi a hazai világítástechnikát, a VTT tevékenységét és nem utolsó sorban szakmai ismeretek népszerűsítést tűzte ki célul. Az országos írott sajtóban és szaklapokban is számtalan, világítástechnikai ismereteket terjesztő cikket jelentettek meg tagjaink.

Ez a rengeteg program, a színes, ötletes rendezvények és további terveink kivitelezhetetlenek volnának, ha nem lennének azok a tagtársaink, akik az aktív tagi teendők mellett rendszeresen további plusz feladatokat vállalnak, ezáltal is tolva a VTT világító szekerét. A beszámolóból nem véletlenül maradtak ki a nevek. Lehetetlen volna felsorolni mindazokat, akik rendezvényszervezéssel, itthoni és nemzetközi kapcsolataik megmozgatásával, vendégelőadók fuvarozásával, vendégelőadások tartásával, fórumbeszélgetések moderálásával, szekcióvezetéssel, laborbemutatással, szakértői tevékenységgel, adminisztrációs feladatokkal, konferenciakellékek beszerzésével, szállításával és megőrzésével, kiadványok, újságcikkek és honlap-, világítási újság-különszámok szerkesztésével, írásával, lektorálásával, kiadásával, szponzorálásokkal, tudásukkal és jelenlétükkel lehetővé tették, hogy egyáltalán volt most miről írnom. Mindannyian tettek érte, hogy a tartalmat olvasni is érdemes legyen. Azt hiszem, a VTT teljes tagsága nevében mondhatom nekik: Köszönöm! És ezt nyugodtan vegye mindenki magára!

BME
Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

MŰEGYETEM 1782

Világítástechnikai szakmérnök szakirányú továbbképzés

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszéke várhatóan 2015 szeptemberében elindítja a világítástechnikai szakmérnöki szakon történő másoddiplomás képzést. A képzés célja az épített környezet korszerű és energiahatékony világítástechnikai ismereteinek átadása. A képzésre maximum 60 személy jelentkezését a jelentkezés sorrendjében fogadjuk el.

A négy féléves képzés félévente 10 pénteki és szombati alkalommal, összesen 4 x 90 óra kötött elfoglaltságot jelent. A tanfolyamon félévenként 30, összesen 120 kreditpontot kell teljesíteni. Egy blokkban 3x45 perces előadások, illetve gyakorlatok vannak.

A szakirányú továbbképzésre való felvétel feltétele a legalább BSc szintű mérnöki végzettség, de elsősorban építészmérnökök, építőmérnökök, villamosmérnökök és gépészmérnökök jelentkezését várjuk.

A szak megnevezése: **Világítástechnikai szakirányú továbbképzési szak**
Az oklevélben szereplő megnevezés: **Világítástechnikai szakmérnök.**

A képzés rövid leírása

A képzés a tanterv szerinti félévvégi vizsgákkal, illetve záróvizsgával zárul. Az oklevél megszerzésének feltétele egy elfogadott témavázlatnak megfelelő szakdolgozat elkészítése, és az abban foglaltak záróvizsgán történő ismertetése, illetve megvédése.

Bővebb információ és jelentkezés

Érdeklődni a BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszéken lehet.
Cím: 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. II. em. 31.
Telefon: (1) 463-1331, fax: (1) 463-3647
Email: vilagitas@egt.bme.hu
www.egt.bme.hu

A képzés vezetője Dr. Magyar Zoltán, tanszékvezető egyetemi docens.
Képzés felelőse Szabó Gergely mérnöktanár.

Virtuális Környezetek és Fénytan Kutatólaboratórium

A kutatólaboratórium tevékenysége

A kutatólaboratórium az optikai sugárzás, a fény- és a színinger mérésével, a képi információ látásfiziológiailag és látáspszichológiailag helyes feldolgozásával, a multimédiás és virtuális megjelenítés informatikai kérdéseivel és alkalmazásaival foglalkozik. Ennek érdekében kutatásokat végez az optikai sugárzásnak az emberi látás szempontjából optimális meghatározása és a képi információnak virtuális környezetben az emberre gyakorolt hatása területeken.

Újszerű terület a világítódióda alapú alkalmazásoknak az emberi szervezetre és a napi életritmusra gyakorolt hatások vizsgálata (LED fotobiológia, EEG jelek mérése). Az egyes kutatási területek gyakorlati alkalmazása, így a virtuális világok megvalósításának eredményei felhasználásra kerülnek a speciális szükségletű és fogyatékkal élő felhasználók rehabilitációjánál és emberibb életkörülményeinek biztosításához szükséges szoftverek kidolgozásánál, az alkonyi látás eredményei a biztonságosabb közlekedéshez nyújthatnak támpontot, a színvisszaadás vizsgálatok hozzásegíthetnek kellemesebb színhatású és energiatakarékos mesterséges világítások fejlesztéséhez.

Kutatólaboratóriumunk fontos kutatási területe a multimédia, virtuális valóság és „Design for All" (univerzális tervezés, azaz mindenki számára akadálymentes kezelőfelületű szoftverek) elmélete és gyakorlati felhasználása, amely területen kutatási és fejlesztési projektekben vesz részt.

A kutatólaboratórium számos hazai és Európai Uniós projektben működött közre a múltban is, így a jobb színvisszaadású, biztonságosabb közlekedést biztosító fényeloszlású és energiahatékonyabb világítódiódás közvilágítási lámpatest kidolgozásában (KÖZLED), az alkonyi látás színképi érzékenységének jobb meghatározását célzó kutatásban (MOVE), intelligens világítódiódás autófényszóró kialakításában (ISLE), vagy a LED alapú lakásvilágítási fényforrások fejlesztését megcélzó projektben (SSL4EU).

Ez utóbbi együttműködés keretein belül Európában egyedülálló spektrumszimulációs laboratórium került kialakításra hangolható LED fényforrások alkalmazásával, amely a fényforrás színminőség vizsgálatok új távlatát szolgáltatja: a belemerülés (immersion) és valós körülmények közötti munkavégzés hatékonyság-vizsgálatának lehetőségét biztosítja.

2014 végén zárult projektünk (LED4ART) során a Vatikán területén található Sixtus kápolna belső világítási rendszerének rekonstrukciójában működtünk közre. Feladatunk a reneszánsz freskókat nem károsító, egyben a látogatók számára kedvező fényforrás színképi eloszlásának és fénytani paramétereinek meghatározása volt.

Jelenleg futó EU-s kutatási projektünkben (HI-LED) feladatunk múzeumvilágítás számára optimális színképi teljesítményeloszlások meghatározása különböző európai művészeti korszakok sajátosságainak figyelembevételével.

A kutatólaboratórium független vizsgáló és kalibráló laboratóriumként vállalja különböző fotometriai és színmetrikai mérések elvégzését nemzetközi, illetve nemzeti etalonokra visszavezetett mérési eredményekkel. (x)

Virtuális Környezetek és Fénytan Kutatólaboratórium

Pannon Egyetem - Műszaki Informatikai Kar
Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék
Veszprém, Egyetem u. 10., I-épület, 1. emelet

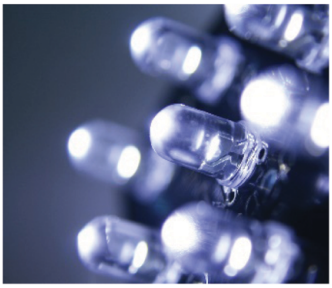
Szakterületeink:

- spektrofotometria,
- goniofotometria,
- fénysűrűség mérés,
- reflexió és transzmisszió mérés,
- ICC profilok,
- színképi optimalizálás,
- vizuális kísérletek,
- LED öregítés,
- energiahatékonyság.

Mérési eredményeink nemzeti/nemzetközi etalonra visszavezetettek!

Virtuális Környezetek és Fénytan
Kutatólaboratórium
http://vision.uni-pannon.hu

BUDAPEST MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Gépészmérnöki Kar
Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék



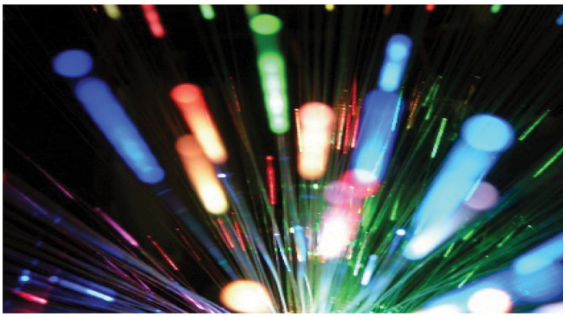
Tanszékünk 50 fős szervezeti egységként a Gépészmérnöki Kar második legnagyobb tanszéke. Jelentős oktatási és kutatási tevékenységünk mellett számos ipari, fejlesztési projektekben veszünk részt. Ipari K+F+I potenciálunkat a magas szintű tudományos kvalitással és ipari tapasztalattal rendelkező gépészmérnök, villamosmérnök, építőmérnök, egészségügyi mérnök, biológus, informatikus, mérnökmatematikus és mechatronikai mérnök munkatársaink adják.

A MOGI Tanszék kompetenciái a világítástechnika, optika és optomechatronik területén:

- Spektrális transzmissziós és reflexiós mérések (színmérések) fényforrások és felületek esetén
- Komplex optikai és optomechatronikai műszerek, berendezések fejlesztése és kivitelezése
- Optikai rendszerek tervezése, szoftveres modellezése (SPEOS, Zemax, ASAP, APEX)
- Általános optikai mérések (fókusztávolság, felbontóképesség, képhibák, torzítá fényerő és optikai felületek alakmérése)
- Optikai átviteli függvények mérése Ealing-Beck padon
- Lézertechnika méréstechnikai alkalmazásai
- 3D optikai méréstechnikai fejlesztések

K+F+I referencia partnereink:
Paksi Atomerőmű Zrt., AUDI Hungária Kft., Robert Bosch Kft., FESTO Kft., OPTASENS Ltd., NASA, Max-Planck Institute, Nemzetbiztonsági Szolgálat, ORFK, MOL Zrt., NABI, GE Hungary, HOYA Magyarország Zrt., AGC Glass Hungary Kft., Salgglas Zrt., Trilak Kft.

1111 Bertalan L. u. 2-4.
Telefon: +36 1 463-2602
Fax: +36 1 463-3787
www.mogi.bme.hu
info@mogi.bme.hu

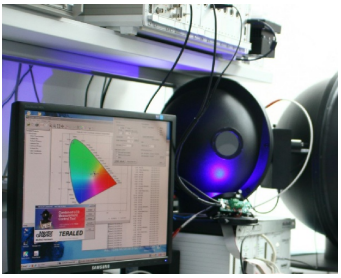


Oktatás, kutatás, fejlesztés és innováció a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán
a világítástechnika és szilárd-test világítástechnika területén

A 70 évek közepétől az egykori Tungsram (ma GE Lighting) támogatásával folyt fényforrás szakmérnöki képzés részben az akkori Nagyfeszültségű Technika Tanszék, részben az Elektronikus Eszközök Tanszéke részvételével. Jelenleg Kar MSc programja keretein belül a **Villamos Energetika Tanszék** gondozásában folyik épületvillamossági képzés, amelynek egyik tantárgya a *Világítástechnika*. A tanszék K+F tevékenységéhez kapcsolódva fényforrásfejlesztés témakörben PhD képzésre is van lehetőség. Ennek kapcsán legutóbb fényforrások EMC mérésre alkalmas mérőrendszer készült a Villamos Energetika Tanszék, a Szélessávú Hírközlő Rendszerek Tanszék, valamint a General Electric (GE) Lighting üzletág közös fejlesztésében.

EMC-mérőrendszer a Villamos Energetika Tanszék laboratóriumában

A szilárd-test fényforrások (LED-ek, OLED-ek) fizikai működésének kérdéseivel a karon az **Elektronikus Eszközök Tanszéke** foglalkozik. A félvezető eszközök minden aspektusát lefedő tanszék sajátos szakterületét jelenti a félvezető eszközök termikus tulajdonságainak mérése, modellezése, szimulációja, amely a LED-ek, mint fényforrások esetében különös jelentőséggel bír. A tanszék vezette a TERALED konzorciumot, amely 2005-ben kifejlesztette a mai vezető LED gyártók által széles körben használt, a LED-ek kombinált termikus és radiometriai/fotometriai mérését lehetővé tevő T3Ster TeraLED mérőműszert. A LED-ekkel, OLED-ekkel kapcsolatos speciális ismeretek a tanszék PhD képzésében és a tanszék által meghirdetett *Opto-elektronika és szilárdtest fényforrások* c. választható tárgy keretein belül férhetőek hozzá a mérnökhallgatók számára.



LED mérőállomás az Elektronikus Eszközök Tanszéke laboratóriumában

A LED-es világítástechnikai megoldások tápellátási kérdéseivel, LED meghajtó áramkörök fejlesztésével az **Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék** teljesítményelektronikai csoportja foglalkozik.

A BME spin-off vállalkozása, a **BME Viking Zrt.** a Villamosmérnöki és Informatikai Karának tanszékeivel együttműködve aktív szerepet vállal LED-es világítástechnikai megoldások kialakításában, egyes minősítő mérések elvégzésében.

A **BME Viking Zrt**. a
BME Villamosmérnöki és Informatikai Kara
Villamosenergetika Tanszékével és Elektronikus Eszközök Tanszékével
Együttműködve vállalja

DC és AC LED tokok és LED modulok teljes körű karakterizálását

- **fénytechnikai paraméterek mérése** (pl. fényáram, kisugárzott optikai teljesítmény, CIE xy koordináták, fényhasznosítás, hatásfok)
- **hőellenállás mérése** (pl. JEDEC JESD 51-51, 51-52 és 51-14 szabványok szerinti R_{thJC}, tokon / modulon belüli részhőellenállások mérés alapján történő meghatározása)
- **elektromos paraméterek mérése, EMC mérések végzése** (pl. teljesítményfelvétel, felharmónikus tartalom mérése)

Kapcsolat: BME Viking Zrt, 1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2, Q épület
Műszaki egyeztetés: Hantos Gusztáv, telefon: 06-1-463 3072, hantos@eet.bme.hu

V. LUMEN-V4 konferencia – szervezői szemmel

– Almási Sándor, Nagy János –

Előzmények

Mint ismeretes, 2004-ben magyar kezdeményezésre, a Cseh Köztársaság, Szlovákia, Lengyelország és Magyarország világítástechnikai szervezetei elhatározták, hogy kétévente közös konferenciát szerveznek.

Megegyeztek az alapelvekben, amelyek közül a legfontosabbak:

- A szóbeli előadásokat nemzeti nyelven kell megtartani, a rendező országnak gondoskodnia kell a szinkrontolmácsolásról!
- A posztereket angol nyelven kell elkészíteni és bemutatni!
- A konferenciát minden páros évben rendezik meg, más – más tagországban.

A döntést követően 2006-ban Balatonfüreden, 2008-ban a lengyelországi Szczyrkben, 2010-ben a Brnóban, 2012-ben Pozsonyban rendezték meg az egyre ismertebbé és rangosabbá váló konferenciát.

2014-ben második fordulóját kezdte el a Visegrádi Országok Világítástechnikai Konferencia sorozata

Az új „kört" ismét Magyarország indította. A Világítástechnikai Társaság vezetői úgy döntöttek, hogy ez alkalommal a legautentikusabb helyre, Visegrádra szervezik a hagyományossá vált konferenciasorozat ötödik rendezvényét. Az érkezési nappal és kirándulással együtt, az eseményt október 8-10 között 3 naposra tervezték. A színhely a rekonstruált Királyi Palota, ahol 1355.-ben Károly Róbert magyar király, Luxemburgi János cseh király, és Nagy Kázmér lengyel király politikai és kereskedelmi szövetséget kötött. (Ez az együttműködés olyan sikeres volt, hogy a három királyság gazdasága ebben a korban virágkorát élte.)

A rekonstruált Királyi Palota

A konferencia résztvevői számára szálláshelyet a Hotel Visegrád és a Hotel Honti wellness-szállodák biztosítottak.

Az előzetes számítások szerint – a helyszín miatt – a konferencia kissé drágább lett volna a korábbiaknál. A VTT elnöksége ezért úgy döntött, hogy költségcsökkentési célból a szervezést nem bízza külső cégre, hanem ezt a munkát saját erőből végzi el. E feladatot és annak irányítását Almási Sándor vállalta el. Még a munka elején Percze Tamást segítségét is kérte, aki szívesen vett részt a szervezésben. Az magyar nyelvű adminisztrációt részben P. Asbóth Zsuzsa végezte. Néhány felsőbb szintű vezetővel a VTT elnöke, Nagy János tárgyalt, de a mindennapi munkán is rajta tartotta a szemét, ha kellett: beavatkozott.

A szakmai anyagokkal kapcsolatos valamennyi feladatot Tóth Zoltán végezte.

A beérkezett előadásokat, posztereket ő gyűjtötte, csoportosította, ezekből állította össze a programot. Ő kérte be az előadások anyagait az USB-tárolón történő publikáláshoz és a tolmácsok számára is.

A korábbi LUMEN-V4 konferenciák szervezéséhez hasonlóan két bizottság alakult, amelyben mind a négy ország képviseltette magát.

Irányító Bizottság: Karel Sokanský (CZ), Jan Grzonkowski és Wojciech Żagan (PL), Alfonz Smola és Milan Hrdlík (SK), Nagy János és Majoros András (HU).

Program Bizottság: Tóth Zoltán (HU), Tomáš Novák (CZ), Dariusz Sawicki és Piotr Pracki (PL), Dionýz Gašparovský és Stanislav Darula (SK).

A szervezéssel kapcsolatos írásos magyar nyelvű anyagokat Hódos Jirina, Buczny Grzegorz (Greg) és Dionýz Gašparovský (Dini) fordította le a másik három nyelvre.

A konferenciával kapcsolatos információk gyorsan felkerültek a LUMEN-V4 honlapjának, a naprakész frissítést Nádas József végezte.

A szervezés indításakor pályázatot adtunk be a Visegrádi Alaphoz a konferencia anyagi támogatására. Ezt a munkát Szabó Ferenc irányította és a pályázati anyagot is ő készítette, Pap Zoltán segítségével.

Az első fordulóban formai okok miatt pályázatunkat elutasították, de a második beadásnál a hibákat kijavítottuk és a LUMEN-V4 konferenciák történetében először 3000 eurós támogatást nyertünk a Visegrádi Alaptól. Ezzel nagymértékben tudtuk emelni a konferencia színvonalát, a vacsorákért nem kellett külön díjat fizetni, valamint a hely szellemének megfelelő társasági programot is be tudtunk mutatni.

A konferencia lebonyolítása

A résztvevők érkezése és regisztrálása már 8-án délben megkezdődött. A kora délutáni órákban az érkezettek közül több mint tucatnyian mentek el az Esztergomba indított buszos kirándulásra.

Az előadóterem berendezésével egy időben a kiállító cégek, Balogh János Miklós irányításával ezen a délutánon építették fel bemutató standjaikat, és Tóth Zoltán irányításával a poszterek egy része is ekkor került fel a táblákra.

Este, a vacsora előtt, a főszervező, Almási Sándor pezsgővel köszöntötte a jelenlévőket. Az üdvözlő vacsora után a négy nemzet világítási szervezeteinek vezetői megbeszélést tartottak a LUMEN-V4 konferenciasorozat jövőjéről és az esetleges változtatásokról. A vezetők előkészítettek egy közös dokumentumot is, amelynek aláírását a rendezvény bezárása előtti időpontra tervezték.

Kötetlen beszélgetés a nyitóvacsorán

A konferencia első szakmai napján, október 9-én reggel a frissen érkezettek regisztrációja és a poszterek előkészítése folytatódott, majd 9 órakor Nagy János hivatalosan is megnyitotta az V. LUMEN-V4 konferenciát. Ezután az elnökségben ülő cseh, szlovák és lengyel vezetők, valamint Visegrád polgármestere, Félegyházi András is köszöntötte a konferencia résztvevőit.

A megnyitó

V. LUMEN-V4 konferencia – szervezői szemmel

Az első előadó Buzás Gergely, a Visegrádi Múzeum igazgatója volt, aki röviden összefoglalta Visegrád és a királyi palota, valamint a visegrádi együttműködés történetét.

Ezután következett a konferencia két napos szakmai programja. A 28 előadás bemutatása 4 szakmai témakörbe sorolva, azok mindegyikét időben kettéosztva, összesen 8 szekcióban történt.

A szakmai témakörök a következők voltak:

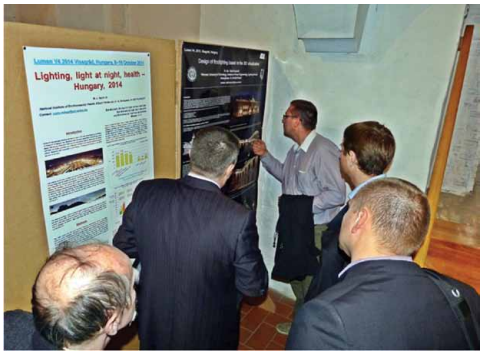
- Kültéri világítás
- Beltéri világítás
- Fényforrások és világításmodellezés
- Rendszerfejlesztés és méréstechnika

Nemzetenként 7 előadás tartására volt lehetőség, amelyből egyet felkért előadó tartott 30 perc, a választott 6 előadó pedig 15-15 perc időtartamban.

Hallgatóság egy csoportja

Kávészünet a szabadban

Az előadások témája széles skálán mozgott. Fényforrás és világítás tervezés, alkalmazás és méréstechnika, világítás és környezet, fényszennyezés, az ember és a világítás, szabványok és alkalmazásuk, világítás LED-del, mind szóba került nemcsak az előadók szájából, hanem a csaknem 60 poszteralkotók „tollából is". Az utóbbiak bemutatására október 9-én a délelőtti és délutáni előadások után, egy-egy órás poszter szekció keretében volt lehetőség, amikor is a szerzők bemutathatták kitáblázott anyagaikat az érdeklődő résztvevőknek.



Érdeklődés a poszterekénél

A második szakmai nap (október 10.) délelőtti része „Gyártói blokkal" fejeződött be. Ekkor kaptak szót a kiállítók és szponzorok cégük, illetve termékeik bemutatására.

A kiállítások helyszíne: a kút körüli kerengő

A konferencia teljes időtartama alatt a világítástechnikával foglalkozó cégek, termékeik bemutatására, kiállítási lehetőséget kaptak.

Míg a szakemberek a konferencián fejlesztették tudásukat, a hozzátartozók két autóbuszos kiránduláson vehettek részt.

A 9-i, egész napos budapesti idegenvezetés és a másnap délelőtti szentendrei látogatás a visszajelzések szerint kitűnően sikerült.

A zsúfolt szakmai program mellett társasági rendezvényeken lehetőség volt a résztvevők közös szórakozására, ismerkedésére, kötetlen baráti beszélgetésekre.

Október 9-én az esti program a Salamon toronyban kezdődött. Forralt borral a kézben remek naplementében és dunakanyari kilátásban lehetett gyönyörködni. Ezután középkori lovagi torna következett, amelynek végén a vendégek is aktívan közreműködhettek a játékokban.

Ez az este a Reneszánsz étteremben felszolgált középkori vacsorával végződött, amelynek kiemelt szereplői voltak a négy ország világítástechnikai szervezeteinek elnökei mint „megkoronázott világítástechnikai királyok". A köszöntőt ugyancsak korhű ruhában Björn Brandt úr, a konferencia fő szponzorának, a TUNGSRAM-Schréder Zrt.-nek a vezérigazgatója mondta.

Résztvevők egy csoportja a Salamon toronyban

A király, a királyné és az udvari bohóc

V. LUMEN-V4 konferencia – szervezői szemmel

Részlet a lovagi tornáról

A „Világítástechnika Királyai"

A dokumentum aláírása

Hoppmester a reneszánsz vacsorán

A reneszánsz vacsora

Október 10-én a késő délutáni órákban a szakmai program több, kellemes meglepetéssel zárult.

A négy nemzet világítástechnikai szervezeteinek vezetői közös dokumentumot írtak alá, amelyben kezdeményezték a fény és világítás napjának bevezetését november 4-re. Ezen a napon 1879-ben jegyezték be Thomas Alva Edison szénszálas izzójának szabadalmát.

Ez alkalommal, a LUMEN-V4 konferenciák történetében először, a legjobb előadások és poszterek díjazásban részesültek. Minden nemzet maga szavazta meg a saját nemzetének legjobb előadását, az összes poszter közül a legjobbat pedig közös szavazással döntötték el. A díjak mindegyike két személyre szóló, két éjszakás, tartózkodás a Visegrád Hotelben wellness-szolgáltatással.

V. LUMEN-V4 konferencia – szervezői szemmel

A vendégországok képviselői magasztalták a kiváló programokat és szervezést. A lengyel Világítástechnikai Egyesület elnöke, Piot Pracki úr bejelentette, hogy 2016-ban ők kívánják megrendezni a VI. LUMEN-V4 Világítástechnikai Konferenciát, amelyre minden jelenlévőt szeretettel hívnak. A magyar szervezők által ez alkalomra készített LUMEN-V4 vándorszobrot Nagy János átadta Piotr Pracki úrnak, a következő szervező társaság képviselőjének.

Az V. LUMEN-V4 konferenciát Nagy János, a MEE-VTT elnöke értékelte és zárta be.

A LUMEN-V4 vándorszobor átadása

A külföldi vendégek többsége az estét még Visegrádon töltötte. Ők a Dunakanyarban sétahajózva pohár pezsgővel élvezhették a naplementét és egymás társaságát. Az este és ezzel a rendezvény is a Hotel Visegrád grillpartijával ért véget, amelynek végén utolsó meglepetésként az étterem pincérei „LUMEN-V4" feliratú tortát toltak be.

A rendezvény szakmai sikerét elsősorban az előadások és a poszterek magas színvonala biztosította. Ehhez járult az aktív résztvevők széles skálája. Közöttük voltak egyetemi tanárok, Phd-re készülő diákok, tervezéssel, gyártással, alkalmazástechnikával foglalkozó mérnökök, világítási eszközöket forgalmazó, valamint szolgáltató vállalatok szakemberei, de voltak olyan világítástechnikusok is, akik e szakterületet hobbiként kedvelik.

Az összes regisztrált száma 159 fő volt, akik közül:

31 szlovák, 24 cseh, 35 lengyel, 69 magyar;
127 férfi és 32 nő;
122 teljes-, 21 diák-, 16 hozzátartozó-státuszú résztvevő volt.

A konferencia mindhárom napján három egyetemista, Kéri Renáta, Nagy Róbert, Simon Péter Gábor segítette a rendezvény lebonyolítását. Ott voltak a regisztrációban, az előadóteremben, segítették a hozzászólások lebonyolítását, az információs eszközök, valamint a tolmácsberendezés működtetését, de bármikor szükség volt munkájukra, azonnal segítőkészek voltak. Feltétlenül említésre méltó, hogy egyikük, Kéri Renáta, a legjobb magyar előadás díját is megnyerte!

Az előadások szinkron tolmácsolását a European Masters Tolmácsiroda munkatársai jó színvonalon végezték.

V. LUMEN-V4 konferencia – szervezői szemmel

Az V. LUMEN-V4 konferencia sikeréhez és színvonalához nagymértékben hozzájárult az alábbi szponzorok támogatása:

Arany fokozatú támogatók:

- TUNGSRAM-Schréder Zrt.
- GE Hungary Zrt.
- Hofeka Kft.

Bronz fokozatú támogatók:

- Electrcord Magyarország Kft.
- Vill-korr Villamosipari Kft.
- Elios Innovativ Energetikai Zrt.

Médiatámogatók voltak:

- Elektrotechnika
- Elektroinstallateur
- Villanyszerelők lapja
- E-villamos

A konferencia óriási sikerének fő oka természetesen az előadások, poszterek magas szakmai színvonala volt, amely meghaladta minden eddigi LUMEN-V4 konferenciáét.

Reméljük, hogy a Visegrádi Országok Világítástechnikai Konferenciáinak új köre ezt a szintet tartani tudja, és ezzel egyre rangosabb helyet tud biztosítani magának az európai világítástechnikai szakmában. Ezt legközelebb 2016-ban Lengyelországban lehet bizonyítani!

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Mikroelektronikai és Technológia Intézet

kalibrált műszerparkjával fényforrások és lámpatestek világítástechnikai és elektromos paramétereinek bemérésével áll megrendelői szolgálatára.

Érdeklődni lehet:
molnar.karoly@kvk.uni-obuda.hu címen.

Magyar Elektrotechnikai Egyesület

A Magyar Elektrotechnikai Egyesület meghirdeti a 62. Vándorgyűlés Konferencia és Kiállítást.

Helyszín: **Siófok, Hotel Azúr**

Időpont: **2015. szeptember 16-18.**

Főtámogató: **ABB Kft.**

Társrendező: **ABB MEE szervezete**

Központi téma: **Formáljuk együtt az energetika jövőjét!**

Mottó: **„Globális gondolkodás, lokális megvalósítás"**

Ahogy az előző években, idén is a rendezvény honlapján (http://vandorgyules.mee.hu) folyamatosan frissítjük a 62. Vándorgyűlés Konferencia és Kiállításhoz kapcsolódó információkat.

Magyar Elektrotechnikai Egyesület
1075, Budapest, Madách Imre út 5. III. emelet
Telefon: 06-1-353-0117 www.mee.hu

Magyar Világítástechnikáért Alapítvány

A 2013-ban alapított szakmai civil szervezetünk, a Magyar Világítástechnikáért Alapítvány, átalakítása a vonatkozó törvények értelmében és az alapítók szándéka szerint megtörtént. A közel 2 éves átalakulási folyamat lezárásaként a Fővárosi Törvényszék végzése 2014. 05. 27. napján jogerőre emelkedett. A változások érintik az alapító okirat egyes pontjait, amelyeket a törvény szellemében módosítani kellett. Megváltozott továbbá az alapítvány képviselete (kuratórium elnöke), a kezelő szervének (kuratórium) és felügyelő bizottságának összetétele, illetve az alapítói jogok gyakorlásának módja is a következők szerint.

A kuratórium tagjai:

- Gacs Sándor elnök
- Esztergomi Ferenc
- Kozaróczy Kornél
- Nádas József
- Schmidt Gábor

Az alapítói jogok gyakorlására kijelölt személyek:

- Nagy János
- Schulcz Gábor

Felügyelő Bizottság tagjai:

- dr. Kovács Béla elnök
- Bolváry Gábor
- Major Gyula

Az MVA székhelye változatlanul a Világítás Háza (H - 1042 Budapest, Árpád út 67.) Alapítványunk a jövőben is folytatja közhasznú tevékenységét. Céljaink változatlanok, azaz:

- szakemberek világítástechnikai képzésnek elősegítése
- fiatal világítástechnikai szakemberek munkába állásának segítése
- tehetséges fiatal szakemberek számára világítástechnikai témájú tanulmányi ösztöndíj biztosítása
- hazai és nemzetközi, világítástechnikai vonatkozású tanulmányi utak és konferenciák támogatása
- világítástechnikával foglalkozó oktatási intézmények támogatása
- világítástechnikai kutatások és fejlesztések támogatásának kezdeményezése
- a nemzeti világítástechnikai szabvány és ajánlási rendszer létrehozásának és érvényesítésének elősegítése
- a korszerű világítástechnika vívmányainak és ideáinak népszerűsítése, a közgondolkodás formálása
- világítástechnikai szakkönyvtár alapítása.

Alapítványunk közhasznú szervezet! Az önkéntes munkára alapuló közhasznú tevékenységhez bármikor lehet csatlakozni, ezért várjuk azok jelentkezését, akik munkájukkal rendszeresen vagy alkalomszerűen segíteni kívánják alapítványunkat. Csatlakozni kívánunk továbbá az állami rendszerbe is, hogy fogadó nonprofit szervezetként az alapítványunknál is dolgozhassanak diákok közérdekű önkéntes munkavégzés céljából.

Az MVA 2014-ben támogatási szerződést kötött dr. Schanda János professzor úrral, aki a 10 éves időtartamra szóló szerződés keretében adományával támogatni kíván tehetséges ifjú szakembereket. A főiskolai vagy egyetemi végzős hallgatók, doktoranduszok világítástechnikával és/vagy színtannal kapcsolatban készített szakdolgozatuk/diplomamunkájuk/diplomatervük/disszertációjuk anyagának nemzetközi porondon való bemutatásához pályázhatnak támogatásért. Ez lehet a dolgozatból készült publikáció megjelentetésének pénzügyi támogatása jelentős nemzetközi szakfolyóiratban, vagy egy nemzetközi konferencián a dolgozat témájából előadás tartásának támogatása. További információk a **www.vilagitas.org** weboldalon találhatók.

2015. január
Gacs Sándor
a kuratórium elnöke

Összefoglaló a CIE Magyar Nemzeti Bizottság híreiről

Az alábbiakban adunk rövid összefoglalást a CIE Magyar Nemzeti Bizottság híreiről

1. ábra. A CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) 2014-ben rendszeresített új logója

A CIE nemzetközi szervezetében a legszembetűnőbb változást a CIE új logója jelenti, amelyet 2014-ben a malajziai ülésen fogadtak el. A CIE-MNB több személyi pozícióján utoljára 2011-ben került sor tisztújításra. A tisztújítás célja az volt, hogy a vezetés fiatal, ambíciókkal teli vezetőkkel frissüljön. 2014-től a CIE-MNB titkári teendőit Dr. Nagy Balázs Vincze tartós külföldi tartózkodása miatt Csuti Péter vette át.

A divízióvezetők munkáját – elsősorban a CIE szabványtervezetek véleményezését –, köréjük szerveződő albizottságok segítik, amelyek létét a CIE-MNB kiemelten fontosnak tartja, és rendszeres napirendi pontként ismerteti az évente megrendezésre kerülő CIE-MNB bizottsági üléseken.

A CIE-MNB szintén fontos feladatának tekinti a technikai bizottságokban folyó munka, illetve a hazai és külföldi konferenciákon elhangzó előadások megismertetését az érdeklődőkkel. Ennek érdekében rendszeresen szervez szakmai előadásokat és más rendezvényeket.

A CIE sokéves munka eredményeképpen elkészítette a CIE ILV-t (International Lighting Vocabulary). Ennek a szótárnak a magyarra fordítására a CIE-MNB és a VTT közös munkacsoportot hozott létre. A munkacsoport fő szervezőjének, Dr. Schanda Jánosnak koordinálásával a munka folyamatosan zajlik, és várhatóan 2015-től kezdődően a címszavak már magyar nyelven is elérhetőek lesznek.

2014-ben többek között az alábbi rendezvényeken képviseltette magát a CIE-MNB:

- Április 23-26. CIE 2014, Lighting Quality & Energy Efficiency Conference, Kuala Lumpur, Malaysia,
- Június 16-17. CIE Divízió 1 találkozó az ISCC COlor, Light and Appearance rendezvényén, Gaithersburg, NIST, Egyesült Államok,
- Szeptember 11-12. CIE Divízió 2 tanfolyam és szakértői szimpózium az ipari fotometria és radiometria mérési bizonytalansága témában, Bécs, Ausztria.

Utoljára hagytuk, de nem utolsósorban szeretnénk említeni, hogy az Egyesült Nemzetek Szervezete és az UNESCO 2015-öt a Fény Nemzetközi Évének kiáltotta ki (International Year of Light, IYL). Ezen apropóból a nemzeti szervezetek önállóan készülnek programokkal, amelyek közül kiemelkedik a 2015 májusában megrendezésre kerülő Nyitott Laborok program (Global Open Lab Days, IYL-GOLD), amelynek keretében az érdeklődők megtekinthetik azon laboratóriumokban folyó munkákat, amelyek valamilyen módon kapcsolódnak a fény jelenségéhez.

A CIE-MNB kétnyelvű (angol/magyar) honlapja a http://cie.mogi.bme.hu/ címen található. A honlapon a nemzeti bizottság általános információi mellett folyamatosan beszámolunk a CIE magyar tevékenységéről, ezen felül megtalálhatók nemzetközi információk és hírlevelek is.

A technikai bizottságok nyitva állnak mindenki számára, aki aktívan szeretne közreműködni egyes témák kidolgozásában.

Jelentkezésüket várja a CIE – Magyar Nemzeti Bizottság (CIE-MNB) elnöke, Dr. habil Ábrahám György, az abra@mogi.bme.hu címen.

Összefoglaló a CIE Magyar Nemzeti Bizottság híreiről

CIE-MNB elnöke	Dr. habil Ábrahám György		
CIE-MNB titkára	Csuti Péter		
Divíziók			
	CIE-MNB Div. vezető	CIE TC vezető	CIE TC tag
Div1 Látás, szín	Dr. Wenzel Klára	TC 1-70 Dr. Kránicz Balázs	TC 1-57 Schwarcz Péter
		TC 1-77 Hirschler Róbert	TC 1-70 Hirschler Róbert
		TC 1-85 Dr. Schanda János	TC 1-88 Dr. Nagy Balázs Vince
Div2 Fény- és sugárzásmérés	Csuti Péter	TC 2-57 Csuti Péter	TC 2-57 és TC 2-70 Hirschler Róbert
		TC 2-66 Dr. Schanda János	TC 2-63, TC 2-64 és TC 2-76 Dr. Poppe András
Div3 Belsőtéri világítás és tervezés	Dr. Filetóth Levente		TC 3-50 Némethné dr. Vidovszky Ágnes
			TC 3-53 Némethné dr. Vidovszky Ágnes
Div4 Közlekedés, világítás és jelzések	Schwarcz Péter		
Div5 Kültéri világítás és más alkalmazások	Schwarcz Péter		
Div6 Fotóbiológia és fotokémia	Dr. Csík Gabriella		
Div8 Képi technológiák	Dr. Samu Krisztián		

A MEE Világítástechnikai Társaság választott tisztségviselői

TISZTELETBELI ELNÖK
Dr. Schanda János

ELNÖK
Nagy János

ALELNÖKÖK

Csuti Péter

Mancz Ivette

Nádas József

Némethné
dr. Vidovszky Ágnes

Schwarcz Péter

dr. Szabó Ferenc

VTT ELLENŐRZŐ BIZOTTSÁGA:
Major Gyula (elnök)
Laky István
Schulcz Gábor

VTT DÍJBIZOTTSÁG:
Esztergomi Ferenc (elnök)
Antal Zoltán
Szabó Tibor

MAGYAR VILÁGÍTÁSTECHNIKÁÉRT ALAPÍTVÁNY – A KURATÓRIUM TAGJAI:
Gacs Sándor (elnök)
Esztergomi Ferenc
Kozaróczy Kornél
Nádas József
Schmidt Gábor

FELÜGYELŐ BIZOTTSÁG:
Kovács Béla (elnök)
Bolváry Gábor
Major Gyula

FÉNY HÍRLEVÉL SZERKESZTŐ:
Barkóczi Gergely

ELEKTROTECHNIKA VILÁGÍTÁSTECHNIKA ROVATSZERKESZTŐ:
Némethné dr. Vidovszky Ágnes

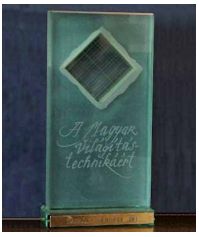
HONLAPSZERKESZTŐ:
(www.vilagitas.org)
Nádas József

A Világítástechnikai Társaság díjai

Világítástechnikai Társaságért Díj (1997–2001)

Világítástechnikai Társaságért Pollich János Díj (2002-2004)

Világítástechnikai Társaságért Pollich János Díj (2005-)



Magyar Világítástechnikáért Gergely-Sziráki Díj (2002-2004)

Magyar Világítástechnikáért Gergely-Sziráki Díj (2005-)

„Pro Lumine" Díj az év világítástervezője (2005-)

Díjazottaink

ELEKTROTECHNIKA NAGYDÍJ
Alapítva: 1969
Évente kiadható díjak száma: 1

1972: Gergely Pál ✞
1980: Dr. Sziráki Zoltán ✞
1991: Debreczeni Gábor ✞
1993: Dr. Horváth József ✞
1998: Dr. Lantos Tibor ✞
2002: Kádár Aba
2007: Dr. Schanda János
2011: Dr. Borsányi János

ZIPERNOWSKY-DÍJ
Alapítva: 1912
Évente kiadható díjak száma: 1

1933: Dr. Selényi Pál ✞
1947: Szigeti György ✞
1983: Dr. Schanda János
1996: Dr. Horváth József ✞

DÉRI-DÍJ
Alapítva: 1960
Évente kiadható díjak száma: 1

1975: Vincze Vilmos ✞
1981: Gergely Pál ✞
1984: Debreczeni Gábor ✞
1991: Dr. Gelléri Emil ✞
1992: Vadas Gábor ✞
1994: Jáni Józsefné
Poppe Kornélné
1995: Várkonyi László
2000: Vonnák István
2007 Dr. Tóth Zoltán
2008: Dr. Kránicz Balázs
2010: Arató András
2012: Kerekes Béla ✞

BLÁTHY-DÍJ
Alapítva: 1958
Évente kiadható díjak száma: 2

1962: Dr. Sziráki Zoltán ✞
1971: Gregor Aladár ✞
1971: Kádár Aba
1979: Debreczeni Gábor ✞
1985: Dr. Gelléri Emil ✞
1992: Dr. Lantos Tibor ✞
1994: Nagy János
1997: Horváth József
Némethné dr. Vidovszky Ágnes
1998: Radványiné Novotny Olga
2001: Pollich János ✞
2004: Gyöngyösi Géza
2012: Szekeres Sándor
2013: Almási Sándor

KANDÓ-DÍJ
Alapítva: 1979
Évente kiadható díjak száma: 4

1990: Gyöngyösi Géza
1991: Kosztolicz István
1995: Borkovits György
1996: Déri Tamás
1996: Jakabfalvi Gyula
2004: Dobi László
2005: Almási Sándor
2007: Schulcz Gábor
2009: Pelle Ervin
2010: Budai Béla
2011: Major Gyula
2014: Kovács Csaba

STRAUB-DÍJ
Alapítva: 1985
Évente kiadható díjak száma:1

1985: Kádár Aba
1997 Lengyel János

URBANEK-DÍJ
Alapítva: 1985
Évente kiadható díjak száma: 1

1985: Faragó György ✞
1986: Dr. Schanda János
1987: Dr. Sziráki Zoltán ✞
1988: Jáni Józsefné
1989: Radványiné Novotny Olga
1990: Dr. Borsányi János
1991: Hauser Imre ✞
1992: Poppe Kornélné
1993: Vincze Vilmos ✞
1994: Pollich János ✞
1995: Szilas Péter
1996: Almási Sándor
1997: Dr. Takács György
1998: Kosztolicz István
1999: Debreczeni Gábor ✞
2000: Böszörményi Béla
2001: Nagy János
2002: Arató András
2003: Némethné dr. Vidovszky Ágnes
2004: Nagy József
2005: Schwarcz Péter
2006: Déri Tamás
2007: Esztergomi Ferenc
2008: Máthé Jenő ✞
2009: Dr. Székács György
2010: Várkonyi László
2011: Dr. Majoros András
2012: Dr. Wenzel Klára

Díjazottaink

2013: Dr. Vetési Emil
2014: Molnár Károly Zsolt

NÍVÓ-DÍJ

Évente kiadható díjak száma: 3

1989: Dr. Lantos Tibor ✞
1990: Dr. Gelléri Emil ✞
1993: Déri Tamás
1993: Némethné dr. Vidovszky Ágnes
1994: Szőnyi László
1994: Dr. Vetési Emil
1995: Haász Ferenc
2006: Molnár Károly
2007: Kosztolicz István
2008: Dr. Majoros András
2009: Deme László
2011: Schulcz Gábor
2014: Dr. Wenzel Klára

MEE ÉLETPÁLYA-ELISMERÉS

Alapítva: 1994
Évente kiadható díjak száma:4

1995: Kádár Aba
1996: Dr. Borsányi János
1997: Lengyel János
1997: Vincze Vilmos ✞
2000: Poppe Kornélné
2002: Hauser Imre ✞
2004: Jáni Józsefné
2005: Szilas Péter
2005: Zala Kurtné
2008: Schnur Gábor
2009: Kosák Józsefné
2010: Kosztolicz István
2012: Budai Béla
2013: Szőnyi László
2014: Radványiné N. Olga

VILÁGÍTÁSTECHNIKAI TÁRSASÁGÉRT DÍJ

Dr. Borsányi János
Böszörményi Béla
Déri Tamás
Hauser Imre ✞
Hiezl József
Jáni Józsefné
Kosztolicz István
Dr. Lantos Tibor ✞
Nagy János
Nagy József
Némethné dr. Vidovszky Ágnes
Pintér Árpád
Poppe Kornélné
Radványiné Novotny Olga
Veres Sándorné
Gyökeres Sándor
Vincze Vilmos ✞

VILÁGÍTÁSTECHNIKAI TÁRSASÁGÉRT POLLICH JÁNOS DÍJ

Alapítva: 2002
Évente kiadható díjak száma: 1

2002: Dr. Horváth József ✞
2003: Vincze Vilmos (posztumusz) ✞
2004: Kosztolicz István
2005: Kosák Józsefné
2006: Radványiné Novotny Olga
2007: Pécsi Tivadar
2008: Buczny Grzegorz
2009: Jáni Józsefné
2010: Arató András
2011: Major Gyula
2012: Hódos Jirina
2013: Almási Sándor
2014: Balogh János Miklós

MAGYAR VILÁGÍTÁSTECHNIKÁÉRT GERGELY - SZIRÁKI DÍJ

Alapítva: 2002
Évente kiadható díjak száma: 1

2002: Poppe Kornélné
2003: Debreczeni Gábor ✞
2004: Dr. Lantos Tibor ✞
2005: Várkonyi László
2006: Dr. Schanda János
2007: Dr. Majoros András
2008: Polgár Péter
2009: Szilas Péter
2010: Dr. Borsányi János
2011: Kosák Józsefné
2012: Esztergomi Ferenc
2013: Deme László
2014: Dr. Kolláth Zoltán

„PRO LUMINE" DÍJ AZ ÉV VILÁGÍTÁSTERVEZŐJE

Alapítva: 2005
Évente kiadható díjak száma: 2
Kategóriánként: 1

2005: Belső téri kategória: Villányi László ✞
Némethi Ferenc

A VTT támogató tagjai

EH-SZER Energetikai és Távközlési Hálózatépítő és Szerelő Kft.
www.ehszer.hu

EMIKA Elektromechanikai Zrt.
www.emika.hu

HOFEKA Kft.
www.hofeka.hu

Lighttech Lámpatechnológia Kft.
www.lighttech.hu

Mezei.Vill Kft.
www.mezeivill.hu

OSRAM A.S.
Magyarországi Fióktelepe
www.osram.hu

PERCEPT Kft.
www.percept.hu

PROLAN Irányítástechnikai Zrt.
(www.prolan.hu)

Tungsram-Schréder Világítási Berendezések Zrt.
www.schreder.hu

WEBS Ipari Kft.
www.webs-kft.hu

Hirdetőink

be light!
www.belight.hu

Electro-Coord Magyarország Nonprofit Kft.
(http://www.electro-coord.hu/)

EMIKA Elektromechanikai Zrt
(www.emika.hu)

Light Logic Kft. (www.lightlogic.eu)

PROLAN Irányítástechnikai Zrt.
(www.prolan.hu)

PROLUX Világítástechnikai Kft.
www.prolux.hu

Tracon Electric Kft.
(www.tracon.hu)

TUNGSRAM-Schréder
Világítási Berendezések Zrt.
(www.schreder.hu)

A VTT pártoló tagjai

Electro-Coord Magyarország Nonprofit Kft.
www.electro-coord.hu

HOLUX Fényrendszer Ipari,
Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.
www.holux.hu

IBV Hungária Világítástechnikai
és Műanyagipari Kft.
www.ibv.hu

KONSTRUÁL Fémszerkezet Gyártó
és Szerelő Kft.
www.konstrual.hu

KÖZVIL Első Magyar Közvilágítási Zrt.
www.elmib.hu

Lightronic Világítástechnikai és Elektronikai Kft.
www.lightronic.hu

OMEXOM Magyarország Kft.
www.omexom.hu

PHILIPS Magyarország Kft.
www.philips.hu

PROLUX Világítástechnikai Kft.
www.prolux.hu

Rábalux Kft.
www.rabalux.com

SIMOTRADE Kereskedelmi és Termelő Kft.
www.simotrade.net

Sysco-Lux Kft.
www.syscolux.hu

T-Lighting Kft.
www.t-lighting.hu

TRILUX Hungária Kft.
www.trilux.hu

TÜV Rheinland InterCert Kft.
www.tuv.com/hu/hungary

ZUMTOBEL Lighting Kft.
www.zumtobel.hu

Köszönjük hirdetőinknek, hogy hozzájárultak az Évkönyv megjelentetéséhez.

Szerzőink

Almási Sándor
Okl. villamosmérnök, nyugdíjas
Korábban a főváros köz,- és díszvilágításának üzemeltetésével foglalkozott (ELMŰ), és tervezett (Éviterv), a TUNGSRAM-Schréder Rt. nyugdíjba vonulásáig vezérigazgatója volt. A CIE munkájában 1990-től 2007-ig mint a 4. osztály (Útvilágítások és útjelzések) magyar képviselője. A MEE tagja. A VTT elnökségében 1994-től 2013-ig tevékenykedett. A MEE Ellenőrző Bizottságának 1997-től tagja, 2007-től 2013-ig elnöke. Az egyesületben végzett munkájáért 1996-ban Urbanek- 2005-ben Kandó-díjban, 2013-ban Pollich díj a Világítástechnikai Társaságért elismerésben részesült.
✉: almasi.s@schreder.hu

Arató András
Okl. villamosmérnök, nyugdíjas
Okleveles villamosmérnök. Korábban a MEEI fénytechnikai szakosztályának vezetője, a HOLUX Kft. műszaki igazgatója, az MSZT világítástechnikai szabványbizottságának elnöke. Urbanek-díjas, Déri-díjas, Világítástechnikai Társaságért Pollich János-díjas.
✉: aratoa@gmail.com

Bakos Tibor
Villamosipari üzemmérnök / műszaki tanár / közvilágítási projektvezető
Prolan Irányítástechnikai Zrt./ Prolan Co.
1985-ben végzett a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola műszeripari és irányítástechnikai szakán. 2006-tól kizárólagosan csak a közvilágítással foglalkozik.
✉: bakos.tibor@prolan.hu

Barkóczi Gergely
Okl. villamosmérnök / abszolutált doktorandusz / szakoktató
Verebély László Szakközépiskola és Szakiskola
Oktatási, kutatási tevékenységet végzett a BME VET tanszéken. Építési műszaki ellenőr és felelős műszaki vezető. Több éve szakújságíróként tevékenykedik építőipari és villamos szaklapokban. A Fény hírlevél szerkesztője.
✉: barkoczi.gergely@gmail.com

Dr. Borsányi János
Okl. vegyész / fizika-kémia szakos tanár / fényforrás szakmérnök / egyetemi doktor
Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, nyugdíjas főiskolai docens
A MEE tagja, Urbanek-díjas, Világítástechnikai Társaságért-díjas, Gergely-Sziráki-díjas, MEE Nagydíjas.
✉: borsanyijanos@t-online.hu

Csuti Péter
Okl. mérnök informatikus / tanszéki mérnök
Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar
2002-ben végzett a Pannon Egyetem Műszaki Informatika karán. Kutatási területei: fotométer érzékelők V(λ) illesztése, LED-ek fotometriája és színmérése, LED-es alkalmazások tervezése, spektrofotométerek sáváteresztési hibája, modern fényforrások színvisszaadása, színingeregyeztető-függvények.
✉: csutip@gmail.com

Deme László
Okl. villamosmérnök / műszaki igazgató
Lisys-project Kft.
Az ELMŰ-nél Budapest közvilágításával foglalkozott. A Tungsramhoz kerülve főleg a sportvilágítások és a magas oszlopos térvilágítások tartoztak hozzá. A Lisys Stúdió, majd Zrt.-nél a díszvilágítási terület lett a legfontosabb területe. 2009-ben kiadott könyve: Budapest díszvilágítása (1989-2009). Jelenleg a Lisys-project Kft. műszaki igazgatója. Déri- és Sziráki Gergely-díjas. 2014-ben az Országház díszvilágítási munkája kapcsán a Magyar Érdemrend Lovagkeresztje kitűntetéssel ismerték el.
✉: deme.laszlo@lisys-project.hu

Dömény Anita
Okl. geográfus / doktorandusz
Nyugat-magyarországi Egyetem, Savaria Egyetemi Központ
2011-ben geográfus mester fokozatú oklevelet szerzett a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karán. 2013-ban ugyanitt fizika-földrajz szakos tanárként végzett. Jelenleg a Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskolájának első éves hallgatója. Kutatási témája az égbolt fénysűrűség eloszlásának mérése és modellezése.
✉: domenya@gmail.com

Szerzőink

Dulácska Zsolt

Okl. építészmérnök / építész vezető tervező
SÁMSON Építész-Statikai Kft.
A BME Építészmérnöki Karán 1988-ban a Középülettervezési Tanszéken diplomázott. Egy évtizedig a BUVÁTI tervezője volt. Később projektvezetőként egy német ingatlanfejlesztőnél, jelenleg saját cégében dolgozik. Részt vesz a Magyar Építész Kamara elnökségének munkájában. A fényszennyezés témakörét a szakmai továbbképzésébe bevonták.
✉: samson@samson.co.hu

Erbeszkorn Lajos

Okl. villamosmérnök / okl. nukleáris elektronikai szakmérnök, nyugdíjas
Optikai Kutató: optikák szórt fényeinek mérése, katonai célra szilícium detektorok mérése, technológiája, első sorozat. (Kandó: „Nukleáris műszerek" – jegyzet). Országos Mérésügyi Hivatal: orvosi műszerek típusvizsgálata, nemzetközi összehasonlító mérések (pl. grafikus interpolációs program), az atomerőmű hermetikus részek levegő-aktivitás mérőinek és a kéményekbe telepített kimenő aktivitást mérő-rendszerek hitelesítése az indításkor.
✉: lajkorn@t-online.hu

Hegedűs János

MSc hallgató
A BME Elektronikus Eszközök Tanszékén V. éves mesterszakos villamosmérnök hallgató. A CFD szimulációk számára szolgáló LED-kompakt modellek paramétereinek meghatározásáról szóló szakdolgozatát a Mentor Graphics MicReD készítette. Jelenleg a LED-ek megbízhatósági kérdéseivel és áramköri modellezésével foglalkozik.

Kéri Renáta

Projekt munkatárs
Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Karán projekt munkatárs. Kutatási területe a mezopos látás és a fényforrások színminőségének vizsgálata.
✉: keri.renata7@gmail.com

Klinger György

Okl. villamosmérnök
(világítástechnikai szakirány)
TÜV Rheinland InterCert Kft.
Korábban a MEEI Kft-nél vizsgálómérnök, projektvezető. Jelenleg a jogutód TÜV Rheinland Intercert Kft. fénytechnikai laboratóriumának vezetője. A MEE VTT tagja.
✉: gyorgy.klinger@hu.tuv.com

Dr. Kollár Ernő

Okl. villamosmérnök / tanszéki mérnök
BME Elektronikus Eszközök Tanszéke
2001-től tanszéki mérnök. Szakterülete: termikus tranziens méréstechnika, teljesítmény félvezető eszközök hőáram- és hőárameloszlás mérése, PCB-hordozók hővezetés vizsgálata, termikus szimuláció, infrakamerás (termovíziós) vizsgálatok, 2014-ben PhD fokozatott szerzett.
✉: kollar@eet.bme.hu

Kolláth Zoltán

Okl. villamosmérnök / tanszéki mérnök
BME Elektronikus Eszközök Tanszéke
A fizikai tudományokban szerezte PhD fokozatát 1990-ben, majd a Magyar Tudományos Akadémia doktora lett 2003-ban. Jelenleg a Nyugat-magyarországi Egyetem Természettudományi Karán egyetemi tanár, a Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola Környezetfizikai Programjának vezetője. Az MTA Csillagászati és Űrfizikai Tudományos Bizottság tagja. 2004-től kezdődően a Magyar Csillagászati Egyesület elnöke.
✉: zkollath@gmail.com

Dr. Kovács Károly

Okl. villamosmérnök / cégképviselő / egyetemi adjunktus
DEHN+SÖHNE GmbH+Co.KG. Magyarországi Képviselete
Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Villamosenergetikai Intézet
A BME Villamosmérnöki Kar Erősáramú Szakán végzett 1989-ben, a műszaki tudomány kandidátusa címet 1994-ben szerezte meg. 2010 óta a DEHN+SÖHNE magyarországi kereskedelmi képviseletének vezetője, ezen kívül az Óbudai Egyetem adjunktusa. Jelenleg a villám- és túlfeszültség-védelem nemzetközi szabványi követelményeinek bemutatásával és ezzel kapcsolatos termékek műszaki tanácsadásával foglalkozik.
✉: kovacs.karoly@dehn.hu

Szerzőink

Kuti András
Okl. villamosmérnök / fejlesztőmérnök
GE Hungary Kft.
Intelligens világítási rendszerekhez kapcsolódó kutatásokban és fejlesztésekben vesz részt fejlesztőmérnökként.
✉: andras.kuti@ge.com

Dr. habil Majoros András
Okl. villamosmérnök / professor emeritus
BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék. A VTT tagja.
✉: amajoros@t-online.hu

Mancz Ivette
Világítástechnikai szakmérnök / közvilágítási üzletágvezető
Elios Innovatív Energetikai Zrt.
A Zrt. közvilágítási üzletágának vezetője. A MEE VTT alelnöke.
✉: mancz.ivette@eie.hu

Molnár Károly Zsolt
Okl. villamosmérnök / tanársegéd
Óbudai Egyetem, Mikroelektronikai és Technológiai intézet
1988-ban villamosmérnökként végzett a Budapesti Műszaki Egyetemen. Munkáját az ELMŰ-nél kezdte hálózattervezőként – és a világítástechnikai szakmérnöki diploma megszerzését követően – közvilágítási üzemvezető helyettesként dolgozott. 2002 óta világítástechnikát tanít az Óbudai Egyetemen (ill. annak jogelőd intézményein). Folyamatosan fejleszti az egyetem világítástechnikai laboratóriumát. A MEE VTT tagja, 2013-ig alelnöke. Több szakmai folyóiratcikk, könyv, ill. egyetemi jegyzet fejezeteinek szerzője, szakmai konferenciák rendszeres előadója.
✉: molnar.karoly@kvk.uni-obuda.hu

Dr. Nagy Balázs Vince
Okl. gépészmérnök / adjunktus
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, MOGI Tanszék
Színlátás kutatással foglalkozik. Az utóbbi 4 évben a São Paulo-i Egyetem Pszichológia Intézetének látáskutató laboratóriumában dolgozik vendégkutatóként. Fő kutatási területe a világítási környezet hatása az emberi látásfunkciókra.
✉: nagyb@mogi.bme.hu

Nagy János
Villamosmérnök / világítástechnikai szakmérnök, a VTT elnöke
A PROLUX Világítástechnikai Kft. és a Credilux Kft. ügyvezető igazgatója, 2001 decemberétől a MEE Világítástechnikai Társaság elnöke, a Bláthy-díj és Urbanek-díj birtokosa.
✉: jano.nagy@gmail.com

Németh Zoltán
Okl. mechatronikai mérnök / vizsgáló mérnök / doktorandusz
TÜV Rheinland InterCert Kft.
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, MOGI Tanszék
Mesterdiplomát szerzett a BME Gépész Karán, Optomechatronika szakirányon. 2012-től doktorandusz a BME MOGI Tanszékén. Kutatási témája a színtévesztés vizsgálata és korrekciója. Szakmai tevékenysége: fotometriai méréstechnika, színmérés, világítástechnika és CAD modellezés. Köztársasági ösztöndíjas (2011). 2013-tól a TÜV Rheinland InterCert Kft.-nél vizsgáló mérnök, szakértő. Az Évkönyv főszerkesztője.
✉: zoltan.nemeth@hu.tuv.com
✉: nzoltano@gmail.com

Némethné dr. Vidovszky Ágnes
Okl. villamosmérnök / okl. gazdasági mérnök
Nemzeti Közlekedési Hatóság
A BME-n szerzett villamosmérnöki oklevelet 1978-ban, majd 1993-ban a BME Közlekedésmérnöki Karán gazdaságmérnöki oklevelet, és 1996-ban egyetemi doktori címet. Az egyetem elvégzése után a MÁV Tervező Intézetben kezdett dolgozni, majd 1984–től – jelenleg is – az államigazgatásban dolgozik, a Nemzeti Közlekedési Hatóságnál. Az 1980-as évek végén kapcsolódik be a szakirányú oktatásba, 2001-től oktat a VIK VET tanszéken. A MEE-nek 1981-től tagja, a VTT-nek alapító tagja, jelenleg alelnöke. A CIE-MNB-nek is tagja, a 3. Divizió és a JTC 1-munkabizottság munkájában vesz részt. Publikál az Elektrotechnikában és jelent meg cikke – társszerzőként – nemzetközi folyóiratokban is (Licht, LR&T, Svetotechnik). Előadója a hazai konferenciáknak és 1989-től hat egymást követő LUX – Európa konferencián adott elő vasútvilágítási témakörben Déri Tamással közösen.
✉: nemethnedr.vidovszky.agnes@nkh.gov.hu

Szerzőink

Pap Zoltán

Okl. közgazdász / ügyvezető
BDK Budapesti Dísz- és Közvilágítási Kft.
2011 óta a BDK Budapesti Dísz- és közvilágítási Kft ügyvezetője. Közgazdász, több évtizedes köz- és üzleti szférában szerzett szakmai tapasztalattal.
✉: bdk@bdk.hu

Dr. Poppe András

Okl. villamosmérnök, a műszaki tudomány kandidátusa / egyetemi docens / tanszékvezető
BME Elektronikus Eszközök Tanszéke
Szakterülete: félvezető eszközök, különösen LED-ek méréstechnikája, multidomain modellezése, szimulációja. Tagja a JEDEC JC15-ös szabványosítási bizottságnak és a CIE több műszaki bizottságának.
✉: poppe@eet.bme.hu

Poppe Kornélné Egyed Magda

Okl. fizikus, nyugdíjas
A TUNGSRAM Bródy Kutatóintézetéből ment nyugdíjba 1994-ben. 1983-ig a TUNGSARM Fejlesztési Főosztályának Optikai Laboratóriumát vezette. A BME-n és a Kandón tanította a Fénytechnika alapjai c. tantárgyat, e tárgy jegyzetének szerzője. Aktív szerepet vállalt a szabványosításban és a fénytechnikai szakkifejezések magyarításában, CIE körmérések szervezésében.

Dr. Schanda János

Okl. fizikus / professzor emeritusz
Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar
A MEE VTT tiszteletbeli elnöke, a CIE MNB tagja. Zipernowsky-díjas, Gergely-Sziráki-díjas, Elektrotechnika Nagydíjas.
✉: schanda.janos@virt.uni-pannon.hu

Simonovics János

Okl. gépészmérnök / tervezőmérnök / doktorjelölt, GE Hungary Kft.
2010-ben végzett a BME Gépészmérnöki karán, ahol jelenleg doktorjelölt a doktori iskolában. 2011 óta Design Engineer a GE Hungary Kft. Lighting üzletágban dolgozik.
✉: janos.simonovics@ge.com

Dr. Szabó Ferenc

Okl. mérnök informatikus / villamosmérnök / adjunktus
Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar
2005-ben végzett a Pannon Egyetem Műszaki Informatika szakán, majd 2006-ban a Villamosmérnöki szakán. 2012-ben PhD fokozatot szerzett informatika tudományok tudományágban. Jelenleg egyetemi adjunktus a Pannon Egyetem Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszékén. Több CIE munkabizottság tagja, a MEE VTT alelnöke. 2009-ben Lukács Gyula Emlékdíjat kapott, 2010-ben a brit Society of Light and Lighting Leon Gaster díját nyerte.
✉: szabof@szafeonline.hu

Dr. Szalai Albin

Okl. villamosmérnök / tudományos munkatárs
BME Elektronikus Eszközök Tanszéke
Oklevelét 2010-ben szerezte meg a BME-n. 2009-ben féléves szakmai gyakorlaton volt a SANYO-nál, Japánban. Az elosztott paraméteres RC hálózatok elméleti kérdéseivel foglalkozó PhD disszertációját 2014-ben védte meg. Szakmai érdeklődése: a kapcsolt kapacitású áramkörök és az analóg integrált áramkörök tervezése, a termikus karakterizáció, a félvezető fizika, azon belül pl. a LED-modellezés.
✉: szalai@eet.bme.hu

Szijártó Gábor

Villamosmérnök / műszaki támogatás
DEHN+SÖHNE GmbH+Co.KG.
Magyarországi Képviselete
Az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Villamosenergetikai Intézet Energetikai informatika modulján végzett 2013-ban. Szakdolgozatával a MEE Diplomaterv és szakdolgozat pályázaton III. helyezést ért el.
Jelenleg az Óbudai Egyetemen folytatja MSc-s tanulmányait, illetve villám- és túlfeszültség-védelemmel foglalkozó szakcégnél tevékenykedik.
✉: szijarto.gabor@dehn.hu

Szerzőink

Szőke Tamás
Településmérnök / ügyvezető, tervező
KÖTÁG Bt.
TUNGSRAM-Schréder Zrt.
Világítástechnikával 2008 óta foglalkozik, annak is elsősorban a közvilágítási tervezési kérdéseivel. Fontos feladatnak tekinti az új technológiák, korszerűsítések tapasztalatainak megosztását. Jelenleg fő szakmai feladata a Budapesti Világítási Mesterterv kidolgozásában tervezőként történő részvétel. A Zrt.-nél az Értékesítéstámogatási osztályt vezeti.
✉: mr.szoke.tamas@gmail.com

Szöllősi György
Okl. gépészmérnök / főmérnök
LightTech Lámpatechnológiai Kft.
Főmérnök a LightTech Lámpatechnológiai Kft.-nél 2012 óta. 13 évet dolgozott a General Electric Lighting fejlesztési osztályán kis és nagynyomású fényforrások és gyártásuk projektvezetőjeként. 7 évet dolgozott termelési vezetőként az autóiparban. 1992-ben szerzett diplomát a BME Gépészmérnöki Karán.
✉: szollosigy@lighttech.hu

Takács Kristóf
Okl. villamosmérnök
UVATERV Zrt.
2014-ben végzett a BME Villamosmérnöki és informatikai karán. Jelenleg a Zrt. villamos tervezőmérnöke. A MEE VTT és az IEEE tagja. Díjak: Köztársasági Ösztöndíj, BME VIK Szakmai Ösztöndíj, Gábor Dénes Diplomamunka Ösztöndíj.
✉: takacs.kristof.89@gmail.com

Dr. Tóth Zoltán
Okl. fizikus / termékfejlesztési projektvezető
GE Hungary Kft.
Ph.D.-dolgozatát Nagyintenzizású kisülőlámpák beforrasztásának és megbízhatóságának vizsgálat címmel védte meg az Eötvös Lóránd Tudományegyetemen. A MEE VTT tagja, Déri-dijas.
✉: zoltan2.toth@ge.com

Vígh Péter
Okl. villamosmérnök / termékvizsgáló laboratóriumi vezető
LightTech Lámpatechnológiai Kft.
Termékvizsgáló Laboratóriumi Vezető a LightTech Kft.-nél 2010 óta. Előtte a General Electric Lighting-nál dolgozott 7 évig fejlesztőmérnökként a kompakt lámpa (CFL), majd autólámpa (D2 xenon) fejlesztésen. 2002-ben szerzett diplomát a BME Villamosmérnöki Karán, majd egy évet dolgozott a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén.
✉: vighp@lighttech.hu

dr. Wenzel Klára
Gépészmérnök, kandidátus, habil / finommechanikai szakmérnök / egyetemi magántanár
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, MOGI Tanszék
A CIE magyarországi 1. Szakcsoport vezetője, az AIC magyarországi vezetőségi tagja, a Kolorisztikai Egyesület vezetőségi tagja, az International Colour Vision Society (ICVS) tagja. Kitüntetések: Munka Érdemrend bronz fokozata 1987, Pro Scientia kitüntetés 1993, Pro Scientific Student Work kitüntetés 1994, Pro Education kitüntetés 1997, Genius Feltalálói Kiállítás nagydíja 1998, Urbanek-díj 2012.
✉: wenzel@mogi.bme.hu

Zsellér Viktor
Okl. mechatronikai mérnök / optikai tervezőmérnök, GE Hungary Kft.
Diplomamunkáját a nagyintenzitású kisülőlámpák gyorsított élettartam teszteléséből írta. Jelenleg félvezető fényforrásokat alkalmazó közvilágítási lámpatestek fejlesztésében vesz részt.
✉: viktor.zseller@ge.com

Jegyzetek

Tartalomjegyzék

Bevezető cikkek
Előszó ... 3
Évkönyvről-évkönyvre ... 4

I. fejezet – Fényviszonyaink
Jevons-paradoxon és világítás. Mit tehetünk a Fény Évében? ... 9
A fény keletkezése, keltése, érzékelése, biológiai hatásai, avagy a fény jellemzésére miért nem a foton-energiát használjuk? ... 18
A szabványosított káprázásértékelés kritikája ... 22
LED-es fényforrások fotobiológiai vizsgálata ... 36
Különböző spektrális teljesítményeloszlású világítási környezetek hatása a vizuális vizsgálatokban ... 48
Színes optika ... 54
Világítástechnikai kvíz – Állapítsuk meg a helyes sorrendet! ... 60

II. fejezet – Innovatív világítás
Mire és hogyan alkalmazhatjuk a LED-eket? ... 61
Energiahatékony, intelligens folyosóvilágítás ... 72
Élő közvilágítási laboratórium Csillebércen – az energiatermelő adaptív közvilágítási rendszerek kutatására ... 81
Az intelligens közvilágítás térnyerése ... 85
LED-es közvilágítás túlfeszültség-védelme ... 93
Foglalatba illeszthető LED-modulok hűtőszerelvényeinek termikus vizsgálata ... 98
Fémhalogénlámpák fényáramtartásának alternatív, gyorsított vizsgálati módszere ... 104
Innovációk a víztisztításban ... 108
LED-ek multi-domain szimulációs modelljei és azok gyakorlati vonatkozásai ... 112
LED-es alkalmazások termikus kérdései – könyvismertetés ... 122

III. fejezet – Környezetünk világítása
LED4ART: LED-világítás a Sixtus-kápolna freskói számára ... 125
Budapesti 4-es metró világításának felülvizsgálatáról ... 132
Budapest, Baross téri új aluljárórendszer gyalogos közlekedési zónáinak világítás tervezése ... 139
Építészet és díszvilágítás – Fényszennyezés ... 144
Kossuth tér, az ország főtere, új fényben ... 153
A közvilágítás megújulása Magyarországon uniós támogatással – Pályázattól a megvalósulásig ... 160
A városi világítási mestertervezés jelentősége az energiahatékonysági szempontú közvilágítás korszerűsítések tervezése során ... 164
Budapest fényei ... 171
Világítástechnikai kvíz – Találjuk meg a párját! ... 176

IV. fejezet – VTT
20 év ... 178
VTT Krónika ... 182
V. Lumen-V4 konferencia – szervezői szemmel ... 194
Magyar Világítástechnikáért Alapítvány ... 202
Összefoglaló a CIE Magyar Nemzeti Bizottság híreiről ... 203
A MEE Világítástechnikai Társaság választott tisztségviselői ... 205
A Világítástechnikai Társaság díjai ... 206
Díjazottaink ... 207
A VTT támogató tagjai ... 209
Hirdetőink ... 209
A VTT pártoló tagjai ... 209
Szerzőink ... 210