



SmartSSL – okos közvilágítási lámpatest fejlesztése IoT szemlélettel

– dr. Horváth Péter, dr. Timár András, Hegedüs János, Szalai András,
Szabó Tamás, dr. Poppe András –

Tartalmi összefoglaló

Az „okos rendszerek” (egy leegyszerűsített definíció szerint) új minőségű funkciókat nyújtanak a korábbi, önálló funkcionálisok integrációja révén. A közvilágítás – hasonlóan a világítástechnika más területeihez – drasztikus változásokon ment/megy keresztül az utóbbi évek „LED-esítése” következtében. A LED-ek mint fényforrások egyszerű elektronikus vezérelhetősége egy új paradigmaváltást eredményezett: a LED-es világítótestek okos rendszerekbe való integrálását. Az okos rendszerintegráció része pl. a változó környezeti körülményekhez (pl. hőmérséklet) való alkalmazkodás képessége, a fejlett öndiagnosztika és a kommunikáció képessége. Jelen írásunkban egy jelenleg is folyó fejlesztési projektről számolunk be, amelyet az Európai Unió EuroCPS projektje keretén belül végzünk. A projekt célja egy olyan „jövőbiztos” rendszer definiálása és használatának demonstrálása, amely nem csak a szokásos, ütemezett és/vagy mozgásérzékelős világításvezérlésre korlátozódik, hanem egy okos városban szükséges egyéb funkciók (pl. a közlekedésben résztvevőkkel való kommunikáció) használatát is lehetővé teszi. A rendszerarchitektúra kialakítását az ún. 7 rétegű OSI (Open Systems Interconnection) modell inspirálta. A fejlesztés elképzelt eredményei egy új ún. kiberfizikai vagy IoT (internet of things – a dolgok internete) eszköz, amely LED-es közvilágítási lámpatestek integráns része, és amely az adott alkalmazási környezetben elérhető tetszőleges fizikai adatkommunikációs csatorna (pl. PLC, WiFi, Zigbee vagy egyéb rádiófrekvenciás összeköttetés) használatát lehetővé teszi a fizikai kommunikációs rétegtől független módon kialakított adatátviteli réteg révén. Az alkalmazási réteg fő funkcionálisága természetese-

sen továbbra is a világításvezérlés (pl. DALI protokollal), de a rendszer egyéb lehetőségeket is biztosít, pl. a környezeti hőmérséklet hatását kompenzáló fényáramtartást, vagy egyéb kommunikációs lehetőségeket (önazonosítás, öndiagnosztikán alapuló részletes állapotjelentés stb.)

Bevezetés

A LED-ek működési feszültségének a mai digitális elektronikában használt feszültségzintekkel való kompatibilitása, valamint a nagyon rövid kapcsolási idejük következtében a LED-es világítástechnikai rendszerek komplex digitális vezérlése és okos rendszerekbe való integrálása mára a mindennapok realitásává vált. Ezért a különböző gyártók fejlett digitális kommunikációs képességekre alapozott „smart SSL”, azaz „okos félvezetős világítástechnikai” elképzelései könnyen megvalósíthatókká váltak. Ennek révén a bel- és kültéri LED-es lámpatestek az „okos otthon”, „okos épület”, ill. „okos város” koncepciók fontos elemei lehetnek.

Például ha egy közvilágítási lámpatest egy flexibilis, nyílt architektúrájú kommunikációs modult is tartalmaz, akkor az a jövőben bármikor egyszerűen integrálható egy „okos város” megoldásba: a ma terjedő jelenlétérzékeléssel kiegészített világításvezérlés mellett lokális kommunikációs hub is lehet pl. WiFi szolgáltatás nyújtásával^[1], de akár navigációs információt is nyújthat a jövő önvezető autói számára. Ma az okos iroda és okos közvilágítási megoldások tervezése, kialakítása az időszerű; utóbbi esetben a jelenlétérzékelésen túl a környezeti körülmények (hőmérséklet) hatását is figyelembe vevő világításvezérléssel.

Közvilágítási alkalmazás esetében a LED-ek elektromos munkapontját a téli hideg éjszakák alacsonyabb hőmérsékletéhez igazítva számottevő energiamegtakarítás érhető el a tervezett

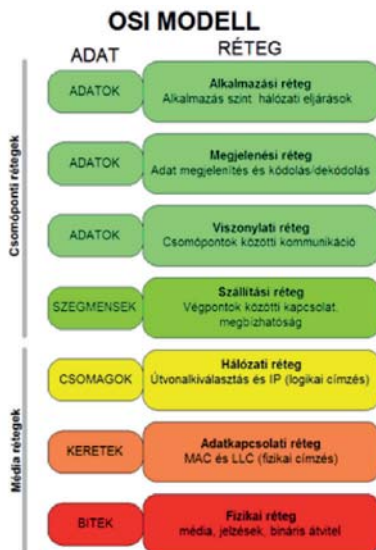


megvilágítás szinten tartása mellett. A LED-es világítótestek egyszerű fényáram-változtatása (vezérlése), illetve digitális vezérlése már ma is létező valóság, de minden összetettebb funkció megvalósítása gyakran még kezdetleges és jellemzően az adott gyártóhoz kötődő egyedi rendszert jelent. Mivel egyelőre nem léteznek gyártófüggetlen, általánosan elfogadott világításvezérlő kommunikációs megoldások, a közvilágítási rendszerek üzemeltetői nem építhetnek ki olyan rendszereket, amelyek több különböző gyártó lámpatesteit (és azok kommunikációs interfészeit) is tartalmazzák.

Jelen cikkünkben egy olyan moduláris és flexibilis, LED-es lámpatestekbe szánt, duplex kommunikációra képes digitális vezérlő modul koncepcióját és kísérleti megvalósítását mutatjuk be, amely nem csak a lámpatestbe épített LED-ek „egészségi állapotáról”, hanem pl. a lámpatest környezetének állapotáról is információt tud szolgáltatni, és a beépített számítási képességei révén autonóm módon, adaptív fényáram szabályozásra is képes, továbbá ún. firmware frissítések révén a kommunikációs protokollok esetleges jövőbeli változásaihoz való alkalmazkodásra is képes.

E koncepció kialakítását a számítógép hálózatok ún. hét rétegű OSI (Open Systems Interconnection) modellje^[2] inspirálta (1. ábra). E szerint: „Az OSI modellje a különböző protokollok által nyújtott funkciókat egymásra épülő rétegekbe sorolja. Minden réteg csak és kizárólag az alsóbb rétegek által nyújtott funkciókra támaszkodhat, és az általa megvalósított funkciókat pedig csak felette lévő réteg számára nyújthatja.” Ez tehát azt jelenti, pl. a fizikai adatátvitel és az ehhez kapcsolódó alacsony szintű adatformátumok, illetve az alkalmazás szintű kommunikációs protokollok egymástól függetlenek lehetnek. Ennek révén (ahogy azt a számítógép-hálózatok több évtizedes múltja jól bizonyítja) jól kezelhető egy adott rendszerbe integrált egységek különbözősége és az adatátvitel fizikai csatornáinak nagyfokú változatossága is. Ezen összefü-

gésben a flexibilitás és konfigurálhatóság tehát azt jelenti számunkra, hogy egy okos LED-es lámpatest alkalmazható tehető a létező és a jövőben várható új világításvezérlési protokollok (alkalmazásszintű protokoll) és a különböző fizikai adatátviteli csatornák (pl. PLC^[3], WiFi, GSM) kezelésére. Ezzel egy ilyen okos lámpatest „jövőállósága” biztosítható: a beruházóknak a szállítók és szolgáltatók iránti kiszolgáltatottsága minimalizálható.



1. ábra. Az OSI hét rétegű kommunikációs modellje^[2].

Célkitűzéseink

A mai kiterjedt LED-alapú korszerűsítés egyik problémája az, hogy ez nagyon gyakran retrofit jelleggel történik: jöllehet, a hagyományos fényforrásokkal működő lámpatesteket LED-es megoldások váltják fel, de a lámpatestek működtetéséhez szükséges fizikai infrastruktúra (elektromos hálózat, oszlopok, karok, hagyományos vezérlési megoldások) gyakran változatlanok maradnak, így a LED-ek nyújtotta, a bevezetőben említett előnyök nem használhatóak ki teljesen.

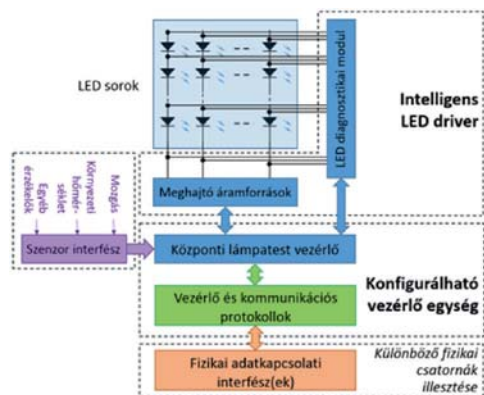
Egy alkalmas okos vezérléssel az ener-



SmartSSL – okos közvilágítási lámpatest fejlesztése IoT szemlélettel

gia-megtakarítás pl. tovább növelhető, ha figyelembe vesszük a környezeti hőmérsékletet és a pontos LED-karakterisztikákat, vagy az üzemeltetési költségek annak révén is csökkenthetők, ha pl. a LED-es lámpatestek önmagukról is pontos információkat tudnak a csatlakozó kommunikációs hálózaton keresztül nyújtani (pl. geolokációs adatokat is tartalmazó, lekérdezhető elektronikus „adattábla”, öndiagnosztikai adatok a meghajtó elektronika, ill. a LED-ek állapotáról). Ennek alapján fejlesztő munkánk célkitűzései a következők voltak:

- A Hungaro Lux Light Kft. létező LED-es közvilágítási lámpatestcsaládjának megújítása továbbfejlesztett/kibővített vezérlő- és kommunikációs-modul beépítésével (pl. emberi jelenlét érzékelése, környezeti körülményekhez való adaptáció képessége), különös tekintettel a kisebb vidéki önkormányzatokra, ahol az üzemeltetési költségek jelentős csökkentése fontos tényező lehet a beruházási döntés előkészítésekor. Az ilyen települések korlátozott anyagi forrásai miatt a beruházási döntés meghozatalakor fontos tényező lehet a már vázolt okos funkciók fokozatos megvalósításának a lehetősége is.



2. ábra. A tervezett új, intelligens LED-lámpa vezérlő és kommunikációs modul elvi blokkvázlata

Ennek kapcsán a következők megvalósítása:

- Öndiagnosztikai és intelligens vezérlési funkciók kialakítása.

- Erre vonatkozólag egy tesztrendszer megvalósítása, ami lehetővé teszi minden egyes lámpatest teljes élettartama alatti teljes követhetőségét, így pl. a gyártó követhetőségét is, miáltal egyértelmű lehet az, hogy a termék élettartama végén kit terheljenek az újrahasznosítás/megsemmisítés/ártalmatlanítás költségei. (Ezáltal is csökkenthető az olcsó, rossz minőségű import-termékek áradata, ahol az olcsó beszerzési ár értelemszerűen az ilyen költségelemeket nem fedezi, így nyújtva tisztességtelen árelőnyt az ilyen termékek gyártóinak.)
- A lámpatestbe beépített LED-ek elektromos munkapontjának változtatása a külső környezeti hőmérsékletnek megfelelően (konstans fényáramra szabályzás) annak érdekében, hogy a csökkenő hőmérséklettel növekvő fényhasznosítás következtében további energiamegtakarítást lehessen elérni^[4, 15].
- Érzékelő interfész kialakítása, amelynek a segítségével az intelligens központi vezérlő egységhez számos különböző érzékelő csatlakoztatható (pl. mozgásérzékelő, hőmérséklet-érzékelő)
- Programozható központi vezérlő egység kialakítása nyílt, az OSI modell elveivel hasonló módon kialakított kommunikációs felülettel, ami az adott installáció esetében hozzáférhető fizikai adatátviteli csatornától való lehető legnagyobb függetlenséget biztosítja és lehetővé teszi, hogy a közvilágítási hálózatot üzemeltetők egy alkalmas szoftverfrissítés által úgy átkonfigurálhassák a vezérlőegységet, hogy az kövesse a hálózati infrastruktúrában végrehajtott esetleges későbbi fejlesztéseket.

A fenti elképzeléseknek megfelelően tervezett új vezérlő és kommunikációs modul elvi blokkvázlatát a 2. ábra mutatja be.

Megvalósítás

Az előző szakaszban ismertetett funkciók számára a 3. ábrán látható topológia sze-



rinti adathálózati kapcsolatokat terveztük. Az intelligens lámpatest (IL) két, egymástól független alhálózathoz kapcsolódik. Az egyik az üzemeltetői- vagy szerviz-alhálózat, a másik az ún. „okos város” alhálózat. Ennek topológia sajátja az, hogy ezeknek az alhálózatoknak a csomópontjai közösek: maguk az IL-ek. E két alhálózat funkciói a következők:

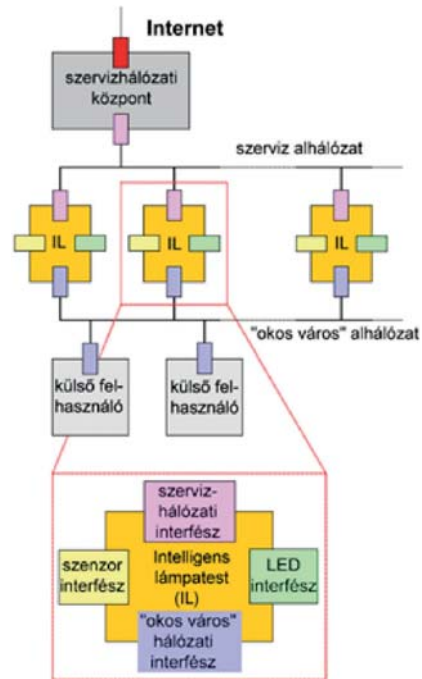
A szerviz-alhálózat egy szervizhálózati központ lámpatestekhez való távoli hozzáférést teszi lehetővé. Ezen hozzáférés legfontosabb eleme a lámpatestek azonosító adatainak (a lámpatestek memóriájában tárolt geolokációs adatokat is beleértve) és öndiagnosztikai információinak az elérése, illetve a világításvezérlés feladatainak a megoldása. Gazdasági megfontolások alapján az a célszerű, ha ezen alhálózat fizikai rétegét egy már létező infrastruktúra biztosítja, ami lehet akár egy vezeték nélküli kommunikációs csatorna vagy a tápellátás vezetékhálózatán keresztüli kommunikáció (PLC – power line communication).

Okos város alhálózat: Széles körben használt kommunikációs interfészek (pl. WiFi) megvalósításával a lámpatestek okos város alkalmazásokat támogató alhálózatokból is hozzáférhetőek. Ez lehetőséget teremt a szerviz-alhálózaton kívüli egyedi hozzáférésre, így pl. a karbantartó személyzet a kiszállások alkalmával ezen interfészen keresztül is leolvashatja egy lámpatest adatait. Ezen túlmenően az okos város alhálózatot jövőbeli, új funkcionális megvalósításnak elősegítésére szántuk.

Ahogy az a 3. ábrán látszik, a hálózati csomópontok (a lámpatestek) további absztrakt interfészekkel is rendelkeznek egyes lokális feladatok ellátására. Ilyen pl. a szenzor interfész, amelynek a segítségével különböző érzékelők csatlakoztathatók a lámpatesthez, amelyek segítségével a lámpatest környezeti körülményeinek jellemzői (pl. a hőmérséklet) mérhetőek. A LED-interfész valósítja meg pl. a LED-ek vezérlésének (pl.

DALI-val^[61]) alacsony szintű rétegeit. Ezen interfészek mindegyike az OSI modell elveit követi.

E rendszerarchitektúra egyedülálló tulajdonsága az, hogy ezen interfészek mindegyikét ugyanazon az IoT eszközök és kiberfizikai rendszerek kialakításához tervezett miniatűr számítógépen, az Intel Edison platformon^[71] (4. ábra) implementáltuk. (Ez egy teljes, Linux alapú, 500 MHz-es órajel frekvenciájú, 1 GByte RAM-mal rendelkező mikroszámítógép, nagyon sok különböző analóg és digitális fizikai interfésszel; WiFi használata esetén 35 mW készenléti állapotbeli fogyasztással).



3. ábra. Az intelligens LED-es lámpatest (IL) központi vezérlőegysége és annak különböző interfészei, valamint a lámpatestek lehetséges adathálózati kapcsolatai

Ez azt jelenti, hogy a lámpatestvezérlő központi egység (3. ábra) különböző protokollokat használó interfészei egy közös



SmartSSL – okos közvilágítási lámpatest fejlesztése IoT szemlélettel

alkalmazói réteggel rendelkezhetnek és úgy oszthatnak az Edison-platform közös erőforrásain, hogy nem zavarják egymást. Az általunk kifejlesztett demonstrációs rendszer (5. ábra) a fizikai adatkapcsolati rétegek tekintetében jól bevált technológiákat használ: a szerviz alhálózat esetében PLC-t, az okos város alhálózat esetében WiFi-t.



4. ábra. Az Intel IoT rendszerek megvalósítását megkönnyítő miniatűr számítógépe, az Edison platform¹⁷¹. A fénykép nagyjából mérethelyesen ábrázolja az eszközt.

Az OSI modell szemléletét követő réteges kommunikációs protokoll séma lehetővé teszi azt, hogy bármely új igény, technológia vagy szabvány egy firmware-frissítés révén megvalósítható legyen rendszerünkben.

A rendszer internet-hozzáférése a szervizhálózati központon keresztül lehetséges – ez módot ad a megfelelő adatbiztonsági rendszerek és eljárások implementálására. Ezen internet-kapcsolat révén az intelligens lámpatestek a „dolgok internetének” (IoT – Internet of Things) a részévé válhatnak, a saját adatfeldolgozási képességeik mellett adatokat továbbíthatnak egy központi felhő-szolgáltatásba. Az így megnyíló lehetőségek tárgyalása meghaladja jelen cikkünk kereteit, de egy korábbi publikációnkban már utaltunk ezekre¹⁸¹.



5. ábra. A Hungaro Lux Light Kft. Pearl-Light 24 jelű lámpatestjeivel és az Intel Edison platform felhasználásával megvalósított demonstrációs rendszer „deszkamodelljének” vizsgálata a BME Elektrotechnikus Eszközök Tanszéke fejlesztő laboratóriumában.

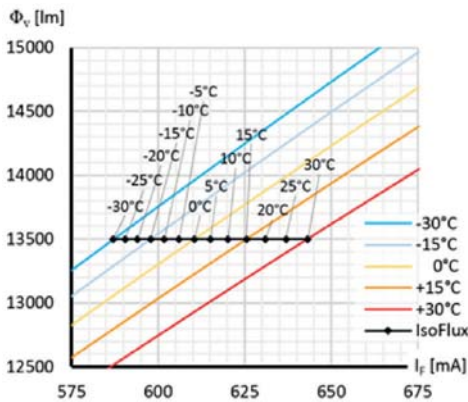
Smart dimming: konstans fényáramtartás beépített LED modell alapú ize-flux vezérléssel

Ismert tény, hogy a LED-ek energiakonverziós hatásfoka növekvő hőmérséklettel csökken. Ez azt jelenti: pl. egy LED-es közvilágítási lámpatestet úgy kell megtervezni, hogy üzemi összfényárama a legmelegebb időjárási körülmények között is elegendően nagy legyen egy adott világítási feladat során az előírt megvilágítást biztosítsa. Ezáltal az év hűvösebb időszakában, amikor az alacsonyabb környezeti hőmérséklet következtében jobb a LED-ek hatásfoka, a lámpatest által biztosított megvilágítás a szükségesnél nagyobb lesz. Tehát ha megelégszünk a világítási feladat által megkívánt minimális megvilágítási szint biztosításával, akkor alacsonyabb hőmérsékletek esetén csökkenthető a lámpatestbe beépített LED-ek nyitóárama egészen addig, amíg az adott nyitóáramnak és LED-lapka hőmérsékleteknek megfelelő üzemi fényáram le nem csökken a tervezéskor figyelembe vett névleges értékre.

Ahhoz, hogy üzemi körülmények közt a fent vázolt működés biztosítható legyen,



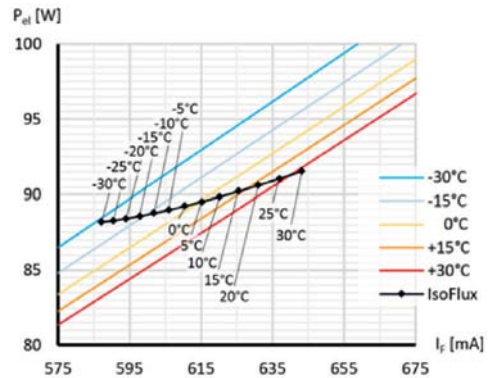
ismerni kell a lámpatestbe beépített LED-ek ún. izo-flux karakterisztikáit, amelyek a kérdéses LED ún. multi-domain szimulációs modellje^[4] ismeretében megállapíthatók^[5]. Fontos, hogy pl. a^[4] publikációban vázolt multi-domain LED-moddal egy LED TJ pn-átmenet hőmérsékletének függvényében tudjuk a fényáramot kiszámítani. Ahhoz, hogy a környezeti hőmérséklettől való függést megkapjuk, a LED-modelleket a lámpatest termikus modelljével együtt kell szimulálnunk^[5,9,10], az a gyakorlati, ún. beágyazott LED-modell^[11], amelyet az előző fejezetben ismertetett intelligens LED-lámpatest vezérlő-egységbe¹ beépítve kialakítható a konstans fényáramtartást biztosító, a környezeti hőmérséklet hatását kompenzáló nyitóáramvezérlés^[5].



6. ábra. A Hungaro Lux Light Kft. Pearl-Light 48 típusú lámpatestjének számított névleges teljes fényáramának LED nyitóáram függése különböző környezeti hőmérsékletek esetében.

A 6. ábrán egy teljes lámpatest összes LED-jének együttes szimulációjával számított^[5,9,10] karakterisztika-seregben feltüntettük a +30 °C-os környezeti hőmérsékletre tartozó, névleges-

nek tekintett, 13 500 lm-es állandó teljes fényáramhoz tartozó izo-flux karakterisztika egyenest, és megjelöltük annak az egyes környezeti hőmérséklet értékekhez tartozó pontjait. Innen leolvashatók az $I_F(T_A)/\Phi_V = \text{const}$ függvény adott teljes fényáramhoz tartozó egyes pontjai, ahol T_A a környezeti hőmérsékletet jelöli. Kellő sűrűséggel egy táblázatba gyűjtve ezen nyitóáram-környezeti hőmérséklet karakterisztika pontjai kialakíthatóak.

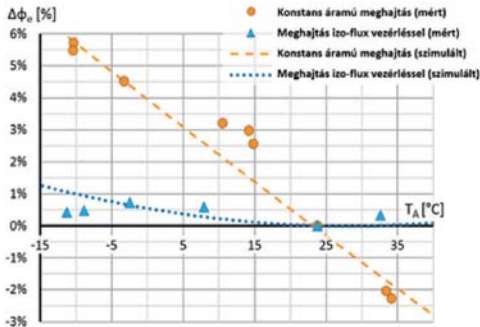


7. ábra. A vizsgált lámpatest LED-jeinek a 6. ábra szerinti izo-flux karakterisztikájához tartozó számított névleges teljesítményfelvétele.

Az így kialakított, hőmérséklet-független, konstans összfényáramot biztosító vezérlés azt eredményezi, hogy csökkenő környezeti hőmérséklettel csökken a lámpatestbe beépített LED-ek elektromos teljesítményfelvétele. Fontos kiemelni, hogy a pn-átmenetek alapvető tulajdonsága, hogy csökkenő hőmérséklettel a nyitófeszültségük növekszik, így a LED-ek mai általános gyakorlat szerinti konstans nyitóáramú táplálása esetén elektromos teljesítményfelvételük nő. Az imént vázolt, konstans fényáramtartást eredményező, hőmérsékletfüggő áramvezérléssel ez a tendencia (a 7. ábra tanúsága szerint) megfordítható és éves átlagban, szokásos magyarországi meteorológia viszonyokat feltételezve, akár 5-10% energiamegtakarítás is elérhető^[5].

¹ A vezérlő egység alapját képező, a 4. ábrán látható miniatűr számítógép^[7] számítási kapacitása messze meghaladja egy ilyen look-up táblaszzerű beágyazott LED-modell számítási igényét.

SmartSSL – okos közvilágítási lámpatest fejlesztése IoT szemlélettel



8. ábra. A vizsgált lámpatest LED-jeinek a 6. ábra szerinti izo-flux karakterisztikájához tartozó számított névleges teljesítményfelvétele

Szimulációs eredményeinket terepi mérésekkel is ellenőriztük^[12]. (A 0 °C hőmérséklet alatti méréseket 2017 januárjának leghidegebb időszakában, Csobánka községben található családi ház fűtetlen, hőszigetetlen garázsában végeztük. A garázs zavaró fényektől mentes környezetet biztosított, fűtés nélkül a hőmérséklete megegyezett a külső környezeti hőmérséklettel. Nagyobb hőmérsékleteket a garázs ideiglenes fűtésével értünk el. Egy PearlLight48G típusú lámpatesttel egy adott geometriai elrendezés mellett tapasztalható besugárzás⁽²⁾ környezeti hőmérséklettől függő megváltozását mértük (majd a mért besugárzás megváltozását a lámpatest teljes számított radiometria fluxusára normáltuk) és ezt összevetettük a lámpatest szimulációs modelljével^[9,10] számított fluxusváltozás-értékekkel. Kétféle beállítás mellett mértünk. Az összehasonlítás eredményeit a 8. ábrán láthatjuk. Az első esetben konstans nyitóáramot alkalmaztunk (konstans áramú meghajtás) és így mértük a különböző környezeti hőmér-

sékletek mellett kibocsájtott teljes fluxussal arányos besugárzást. A második esetben a szimulációk alapján az $I_F(T_A)/\Phi_V=13\,500$ lm függvény felhasználásával, az aktuális környezeti hőmérséklethez tartozó, változatlan fluxust szolgáltató nyitóáramot állítottunk be (izo-flux vezérlés).

Az ellenőrző méréseket jelenleg laboratóriumi körülmények közt folytatjuk. Ennek során egy klímakamrában vizsgálunk egy intelligens vezérlővel ellátott lámpatestet, amely méri a saját környezeti hőmérsékletet és ennek alapján az $I_F(T_A)/\Phi_V=13\,500$ lm függvényt megvalósító LED-moddal segítségével megállapított nyitóáram alkalmazásával stabilizálja a lámpatest teljes fényáramát.

Összefoglalás

Az itt leírt eredmények a EuroCPS H2020-as projekt SmartSSL címet viselő ipari kísérleti projektje keretén belül születtek. A projekt befejező fázisban van, amelynek során egy demonstrációs lámpatest elkészítése a cél. Ezt követően egy teljes demonstrációs rendszer megvalósítása és annak egy próba-installáció keretén belül való kipróbálása a végső cél. Ezen demonstrációs rendszerrel igyekszünk feltárni, hogy a felhasznált IoT platform által nyújtott tág lehetőségek közül mi az, ami a gyakorlati alkalmazásokban a legfontosabb, illetve egy ilyen teszt-rendszerrel szerezhető tapasztalatok konkrétan is igazolhatják az okos vezérlő egység alkalmazásával remélt energia-megtakarítást és költségcsökkenést.

A beépített, konstans fényáram-tartást biztosító LED-modell kapcsán jogos az a felvetés, hogy miképp vehető figyelembe a lámpatestben alkalmazott LED-ek öregedésének a hatása. Erre vonatkozólag is végeztünk már előzetes vizsgálatokat, amelyek ismertetése meghaladja jelen cikkünk kereteit. Előzetes eredményeink^[5,12] e területen is biztatóak, de ezen a téren további kutató-fejlesztő munka és gyakorlati eredmény is szükséges.

⁽²⁾ A besugárzás a kibocsájtott teljes radiometriai fluxussal arányos. A multi-domain LED-modellek, ha egyéb kiegészítő modellt nem alkalmazunk, szintén radiometriai fluxust (kisugárzott optikai teljesítményt) számolnak.



Köszönetnyilvánítás

Az itt ismertetett fejlesztési munkát az Európai Unió H2020 kutatási, fejlesztési és innovációs keretprogramja által finanszírozott EuroCPS H2020-ICT-2014-1-IA projekt (szerződés száma: 644090) támogatta a Hungaro Lux Light Kft.-nél futó SmartSSL nevű ipari kísérleti fejlesztési projekt révén. A Hungaro Lux Light Kft.-nél futó ezen projekt műszaki támogatását a BME Elektronikus Eszközök Tanszéke, mint a EuroCPS

projekt magyarországi IoT/CPS tervezői és kompetencia központja biztosítja.

A fejlesztéshez kapcsolódó LED mérési és modellezési munkát a Delphi4LED projekt keretén belül a BME Elektronikus Eszközök Tanszéke végezte. A BME Delphi4LED projekten belüli tevékenységét az EU H2020-as keretprogramja ECSEL 692465 sz. támogatási szerződése és a Nemzeti Fejlesztési, Kutatási és Innovációs Alap NEMZ_16-1-2017-0002 sz. támogatási szerződése finanszírozza.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] <http://www.minuszos.hu/egy-oszloppal-okosabb-lett-budapest/>
- [2] <https://hu.wikipedia.org/wiki/OSI-modell>
- [3] "IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications", IEEE Std 1901-2010
- [4] Poppe A. et al., In: Világítástechnikai Évkönyv 2014-2015, Budapest: MEE VTT, 2015, pp. 112-121.
- [5] Hegedüs J., Poppe A., "Közvilágítási lámpatestek karakterizálása multi-domain LED modellekkel – a LED karakterisztikáktól a lámpatest üzemi fényáramáig", Elektrotechnika 110(3-4), pp. 13-20 (2017)
- [6] IEC, International Standard - IEC 62386, "Digital addressable lighting interface", 2014
- [7] "Intel edison, one tiny platform, endless possibility", <http://www.intel.com/content/www/us/en/do-it-yourself/edison.html>
- [8] A. Szalai et al., "SmartSSL: application of IoT/CPS design platforms in LED-based street-lighting luminaires", In: Proc. of the VI. LUMEN V4 Conference, 2016. szeptember 13-16., Karpacz, Lengyelország, pp. 65-70
- [9] A. Poppe et al, "Creating multi-port thermal network models of LED luminaires for application in system