

Dr. Balázs László, Braun Ferenc, Dr. Lengyel József

Energiamegtakarítás adaptív útvilágítással

Jelentős mennyiségű villamos energia takarítható meg, ha egy adott útszakaszon csak a forgalom nagysága és összetétele szerint indokolt mértékű megvilágítást alkalmazunk. Az adaptív világítással elérhető energiamegtakarítás becsléséhez forgalomfigyelő kamerát helyeztünk el egy M3 osztályba sorolt útszakaszon és egy éven át óránként rögzítettük a forgalomnagyságra és összetételre vonatkozó adatokat. A forgalmi paraméterek alapján meghatároztuk az MSZ-EN-13201 szabványsorozatban előírt fénysűrűség szinteket és az ezekhez kapcsolódó effektív üzemidőt. Megállapítottuk, hogy a vizsgált útszakaszon 50% nagyságrendű megtakarítás érhető el adaptív világítással. Cikkünkben az óraátállításhoz az energiamegtakarításra gyakorolt hatását is elemezzük.

We estimated the energy saving potential of adaptive street lighting by means of camera-based traffic counting system. The EN-13201 standard enables the luminance and illuminance to be reduced according to the actual traffic conditions. By analyzing traffic volume and composition data collected from an urban street of class M3 over a one year period we found about 50% annual saving opportunity. The effect of the daylight saving time on the energy consumption of adaptive street lighting was also analyzed.

1. BEVEZETÉS

Európa számos országában, így Magyarországon is, 2021 januárja óta a villamos energia nagykereskedelmi ára erőteljes növekedésnek indult és 2022 augusztusára a korábbi évek szintjének tízszeresére emelkedett [1]. Habár az árak az év utolsó hónapjaiban mérséklődtek, várhatóan hosszú távon kell számolni a magas árszinttel.

Az önkormányzatok az egy nagyságrendet ugró költségek miatt a közvilágítás rendszerének átalakítására kényserülnek. Az intézkedési tervek között gyakran szerepel a közvilágítás üzemidejének csökkentése, ami a közvilágítás teljes lekapcsolását jelenti az éjszakai órákban. Az elsőtétítés jól tervezhető megtakarítást eredményezhet, de számos kérdést vet fel a közlekedés biztonságosságával és a közbiztonsággal kapcsolatban. Az útvilágítás mértéke és az éjszakai balesetek gyakorisága közötti kapcsolatot számos tanulmány taglalta a szakirodalomban [2]. A baleseti statisztikák elemzése alapján kijelenthető, hogy az átlagos fénysűrűség növekedésével csökken az éjszakai balesetek bekövetkezésének valószínűsége, de a jó világítás önmagában nem zárja ki, hogy baleset történjen egy útszakaszon. A még elégséges megvilágítás mértékére kísérletek és statisztikai adatok elemzése alapján nem tudunk teljesen objektív küszöbértéket meghatározni.

Kevésbé drasztikus, de közlekedésbiztonság szempontjából továbbra is aggályos intézkedés, amikor nem minden lámpatestet kapcsolnak fel egy útszakaszon. Habár az útvilágítás energiafogyasztása ezáltal is csökkenthető, a fénysűrűség, illetve a megvilágítás egyenletessége jelentősen romlik az úton. A nagy szórású mutató adatok alapján statisztikai

módszerekkel nem mindig mutatható ki különbség az éjszakai balesetek, valamint a bűnesetek száma és az útvilágítás mértéke között [3].

Az önkormányzatok döntésénél a szűk szakmai szempontokon túl a lakosság szubjektív biztonságérzete is mérlelendő szempont lehet. Az MSZ-EN-13201 szabványsorozat iránymutatást ad a még elégséges fénysűrűség, illetve megvilágítási szintek tervezéséhez, egyben lehetőséget biztosít az útvilágítás szintjének időben szabályozott változtatására a forgalmi helyzet függvényében [4, 5].

Cikkünkben egy jelentős forgalmú, M3 besorolású gödöllői, belterületi közút példáján mutatjuk meg, hogy az adaptív világítás jelentős energiamegtakarítást eredményezhet úgy, hogy közben az MSZ-EN-13201-2 szabvány ajánlásai folyamatosan teljesülnek, következőképpen a közlekedés résztvevői nem érzékelnek romlást az útvilágítás mennyiségi és minőségi jellemzőiben.

2. ADAPTÍV ÚTVILÁGÍTÁS

Az adaptív, más néven dinamikus útvilágítás alkalmazásakor a megvilágítást és ezen keresztül az út fénysűrűségét időben szabályozzuk a forgalom nagyságának, összetételének, esetleg más, a forgalmi helyzettel kapcsolatos paraméternek függvényében [4]. Az adaptív világítási rendszerhez hozzátartozik a forgalomnagyságot, esetleg a forgalom összetételét is mérő érzékelő, amelynek jele alapján a világítótestek teljesítményét szabályozzuk. Időalapú vezérléssel is megvalósítható az adaptív világítás, amennyiben megbízható adatsor áll rendelkezésre a forgalom időbeli alakulásáról.

A kiválasztott beltéri útszakasz forgalmát egy 416×416 képméretű kamerával figyeltük. A forgalom nagyságát és összetételét közel valós időben határoztuk meg. A forgalmi adatokat óránként összesítettük és eltároltuk. Ebben a kísérletben nem volt lehetőségünk arra, hogy a forgalmi adatok alapján szabályozzuk a közvilágítást. Munkánk során azt számoltuk ki, hogy milyen szintre állíthatnánk a világítótestek fénysűrűségét, hogy az aktuális forgalmi helyzetnek megfelelő útvilágítási osztályhoz rendelt minimális fénysűrűség jelenjen meg az útszakaszon. A számítás eredményei jó felső becslést adnak az adaptív világításban rejlő energiamegtakarítás mértékére.

2.1 Útvilágítási osztályok

Az MSZ CEN/TR 13201-1:2015 műszaki jelentés határozza meg az útvilágítási osztályokat és útmutatást ad az osztályok kiválasztásához [4]. A vizsgált útszakaszra az M (gépjárműforgalom) világítási osztály ajánlásai vonatkoznak. A forgalom paramétereire súlyfaktorokat rendelünk és ezek összesítéséből származtatjuk az osztálybesorolást. Az 1. táblázat a kiválasztott útszakaszra mutatja a normál (maximális forgalomra tervezett) világítási osztály (VW_{norm}), valamint a minimális forgalom (VW_{min}) súlytényezőit. A súlyokat összegezve (VWS), majd az összeget 6-ból kivonva megkapjuk az útvilágítási osztály számát. Az útszakasz a legforgalmasabb időszakban az M3 kategóriába sorolandó, ennek megfelelően a szabvány által előírt minimális fénysűrűség értéke 1 cd/m^2 . Ez a tervezési fénysűrűség csökkenthető az időben, amennyiben az útszakasz paraméterei megváltoznak.

Az 1. táblázatban kétkel jelzett sorokban található a vizsgált útszakaszon egy nap folyamán változó jellemzők: a forgalomnagyság és a forgalomösszetétel.

A forgalomnagyságra a szabvány három sávot definiál az útkapacitásra vonatkoztatott 15% alsó és 45% felső határral. Ennek megfelelően a forgalomnagyságra vonatkozó súlytény-

nyezők a következőképpen számítandók: 45% fölött 1, 15%–45% között 0, 15% alatt –1. A forgalom-összetétel súlytényezője kizárólag gépjárműforgalom esetén –1, vegyes (gyalogos és gépjármű) forgalom esetében 0. A többi paraméter állandónak tekinthető minden napszakban az év során.

1. táblázat A normál (tervezési) és a minimális forgalomra vonatkozó adaptív világítási osztály kiválasztása

Jellemző (súlyok)		VW _{min}	Megjegyzés
Tervezési sebesség vagy sebességhatár (-2; -1; 1; 2);	-1	-1	sebességhatár állandó, 40–70 km/h között
Forgalomnagyság (-1; 0; 1);	1	-1	> 45%-ról <15%-ra esik
Forgalom-összetétel (0; 1; 2);	1	0	vegyesről csak gépjármű
Úttestelválasztás (0; 1);	1	1	nincs
Csomópontsűrűség (0; 1);	0	0	<3 szintbeni kereszteződés
Parkoló járművek (0; 1);	1	1	vannak
Környezeti fényűrség (-1; 0; 1)	0	0	közepes
Navigációs feladat (0; 1; 2).	0	0	könnyű
VWS	3	0	
6-VWS	3	6	
Világítási osztály	M3	M6	
Minimális fényűrség [cd/m ²]	1.00	0.3	
Fényűrség a tervezési szinthez képest	100%	30%	

Az aktuális forgalomnagyság és forgalom-összetétel szerint az útbesorolás egy nap folyamán M3, M4, M5 és M6 kategória között változhat, következésképpen a megvilágítás (fényűrség) a tervezési értékre vonatkoztatva 100%, 75%, 50% és 30% lehet.

2.2 Forgalomszámlálás

Forgalomszámlálásra egy biztonsági kamerát használtunk, amelynek látóterébe az M3 besorolású út is beleesett. A videojelet YOLOV5 nyílt forráskódú objektumfelismerő algoritmussal elemeztük [6]. A gépi tanulás segítségével az algoritmust alkalmassá tettük gépjárművek (személygépkocsi, teherautó, busz, motorkerékpár), pedállal hajtott kerékpárok és gyalogosok azonosítására. Az 1. ábra egy éjszakai felvételen személygépkocsiként azonosított járműveket mutat narancssárga keretben. A kép előterében álló autót az algoritmus nem tekinti haladó járműnek. A forgalomnagyságot a fenti hat kategóriában, óránként rögzítettük. Elemzésünkben a 2021. július 16. – 2022. július 15. közé eső egyéves időszakot használtuk.



1. ábra Azonosított gépjárművek a kamerával rögzített képen

3. ADATELEMZÉS

Az adatalemzés előtt az adatsort megtisztítottuk, az adatrögzítési hibákat kiszűrtük, valamint egy nyári és őszi leállási időszakból hiányzó adatokat a környező adatok interpolálásával pótoltuk. A 365 napra vonatkozó, összesen 8760 sorból álló táblázatban minden egyes naphoz kiszámoltuk a pirkadat és az esti sötétedés kezdetének időpontját csillagászati adatok számítására kifejlesztett, nyílt forráskódú Astra python modul [7] felhasználásával. Az egyéves időszak minden egyes órájára meghatároztuk a teljes forgalomnagyságot, a forgalom-összetételt és a 2.1 fejezetben ismertetett súlytényezőkből kiszámítottuk a megvilágítás mértékét. A forgalomnagyságot a kétsávos út kapacitásával (1500 jármű/h) elosztva meghatároztuk a relatív forgalomnagyságot, amiből a megvilágítási szinteket származtattuk.

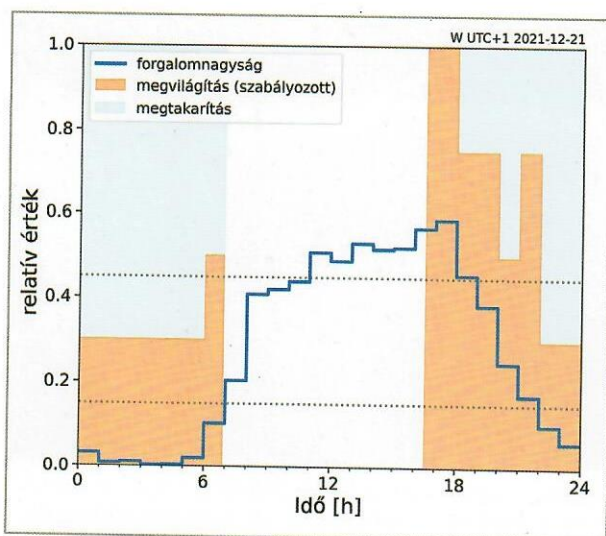
3.1 Napi adatok

A 2. ábrán a téli és a nyári napforduló forgalmi adatai láthatók. A vízszintes szaggatott vonalak a nagy, közepes és kicsi forgalmat elválasztó 45% és 15% relatív forgalomnagysághatárokat jelzik. Kék vonal mutatja az útkapacitásra vonatkoztatott relatív forgalomnagyságot. A forgalmi adatokból számolt relatív világítási szinteket a sárga oszlopok jelzik, míg a világoskék terület az adaptív szabályozásból adódó megakaritást mutatja.

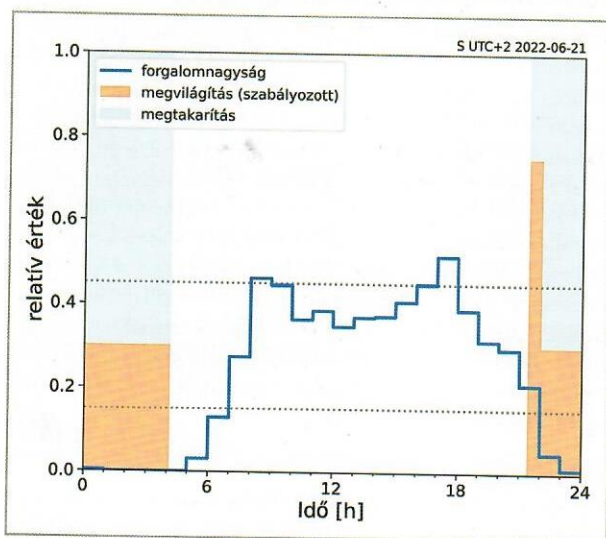
2. táblázat Egy téli és egy nyári nap forgalom-összetétele

Dátum	A	T	B	M	K	Gy	Össz.
2022. 06. 21.	8115	402	19	72	86	52	8746
	92,8%	4,6%	0,2%	0,8%	1,0%	0,6%	100%
2021. 12. 21.	9838	235	52	9	30	52	10216
	96,3%	2,3%	0,5%	0,1%	0,3%	0,5%	100%

A 2. táblázat a forgalomösszetétel-adatokkal egészíti ki a 2. ábrán bemutatott adatsort. A táblázat fejlécében a betűk jelentése a következő: A: autó, T: teherautó, B: busz, M: motorkerékpár, K: kerékpár, Gy: gyalogos. A forgalom több mint kilenc tizedét a személygépkocsik adják, míg a gyalogosok és kerékpárosok hozzájárulása a napi forgalomhoz 1% körül van ezen az útszakaszon. Az éjszakai órákban a relatív forgalomnagyság 15% alá esik, gyalogos és kerékpáros közlekedők nagyon ritkán jelennek meg az úton, ezért a megvilágítás a minimális értékre, a névleges érték 30%-ára



a)



b)

2. ábra A forgalomnagyság, a forgalomra szabályozott működési profil és az adaptív világításból származó megtakarítás a) 2021. december 21-én és b) 2022. június 21-én

csökkenthető. Az 5 órakor induló reggeli forgalom 8 óráig meredeken emelkedik, ami a téli időszakban a megvilágítás növelését vonja maga után. A nyári napforduló idején már 5 óra előtt világos van, ezért a reggeli forgalmi csúcson idején a közvilágítás kikapcsolt állapotban található. A decemberi adatsoron látszik, hogy a délutáni forgalom alkonyatkor csúcsosodik és ennek megfelelően a világítótestek a maximális teljesítményen üzemelnek. A forgalom lecsengésével összhangban a megvilágítási szint is csökkenthető az este folyamán.

Az óránként kiszámolt relatív megvilágítás értékeket egy napra összegezve megkapjuk a napi effektív üzemidőt. Ez az az idő, amely alatt az útszakaszon elhelyezett világítótestek a névleges teljesítményen ugyanannyi fényáramot bocsátanak ki, mint az adaptív működésű rendszer egy napi üzem alatt. A megtakarítás viszonyítási alapja a nem szabályozott üzem, amikor az útvilágítás alkonyattól pirkadatig állandó, névleges teljesítményen üzemel.

A 3. táblázatban feltüntetett megtakarítás közvetlenül a lumenórában mért fényenergiára vonatkozik. Habár a korszerű LED-világítótestek fényárama és teljesítménye a 30–100% tartományban közel lineárisan változtatható, részben az előtét veszte-

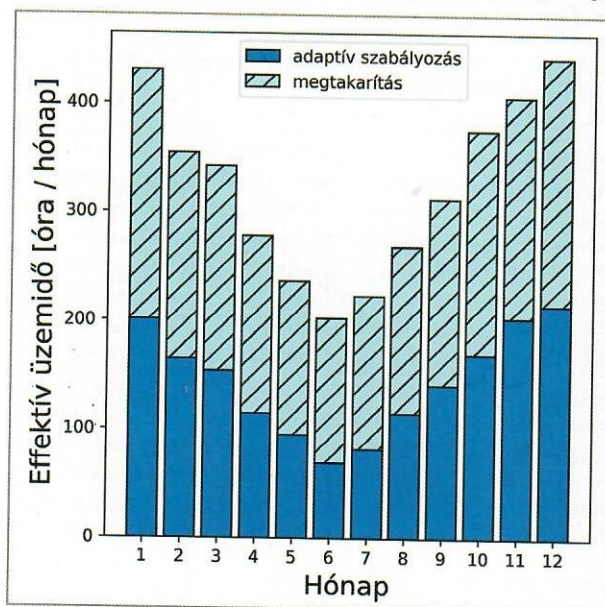
sége miatt a világítótest fényhasznosítása nem tekinthető állandónak, ezért a villamos teljesítményben mérhető megtakarítás néhány százalékkal kisebb a táblázatban feltüntetett értéknél. A pontos villamosenergia-megtakarítás az útszakaszra telepített világítótest jellemzőitől is függ, és a pontos energiamegtakarítás számításához a világítótest fényárama és felvett elektromos teljesítménye közötti összefüggést is ismernünk kell.

3. táblázat Az adaptív világításra számolt napi effektív üzemidő és a napi megtakarítás

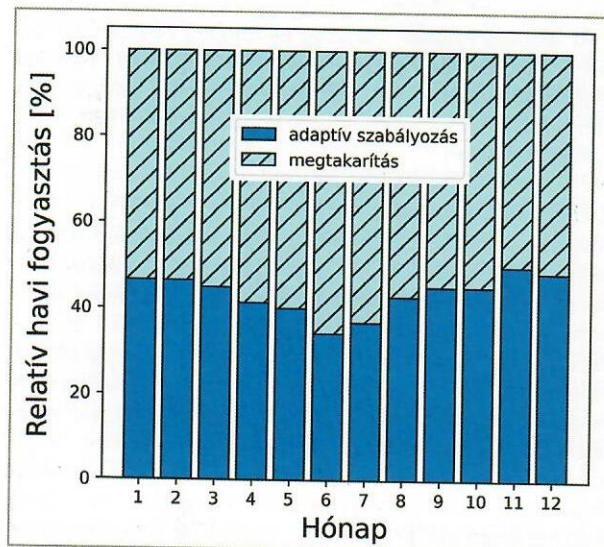
Dátum	Effektív üzemidő [óra/nap]	Megtakarítás [%]
2021. 12. 21.	7,06	50,8
2022. 06. 21.	2,25	66,2

3.2 Havi adatok

Az adatok havi összesítéséből látható, hogy minden évszakban jelentős megtakarítás érhető el az adaptív világítás alkalmazásával. A 3. ábrán a kék kitöltött oszlopok a havi effektív üzemidőt mutatják az év folyamán. A teljes oszlopmagassága a



3. ábra A havi effektív üzemidő a vizsgált időszakban



4. ábra Az adaptív világítás relatív energiafogyasztása az alkonykapcsolóval működtetett, (nem szabályozott) üzemre vonatkoztatva

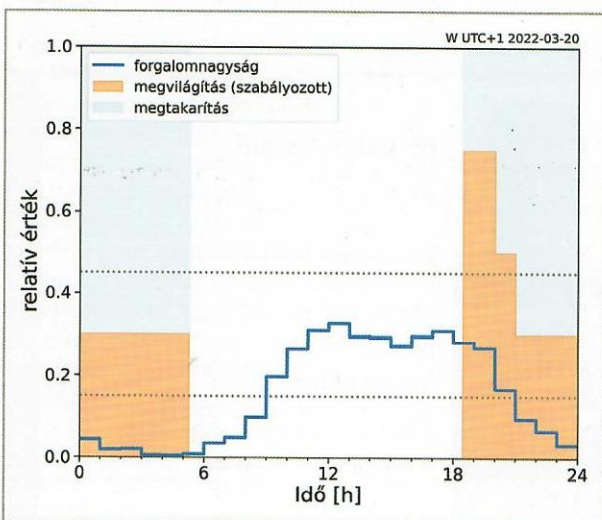
nem szabályozott üzemre vonatkozik, amikor alkonykapcsoló működte az útvilágítást állandó teljesítmény mellett. A vonatkozó rész az oszlopoknak a fényenergia-megtakarítás.

A vizsgált időszakra a havonta elérhető relatív fogyasztás és megtakarítás látható a 4. ábrán.

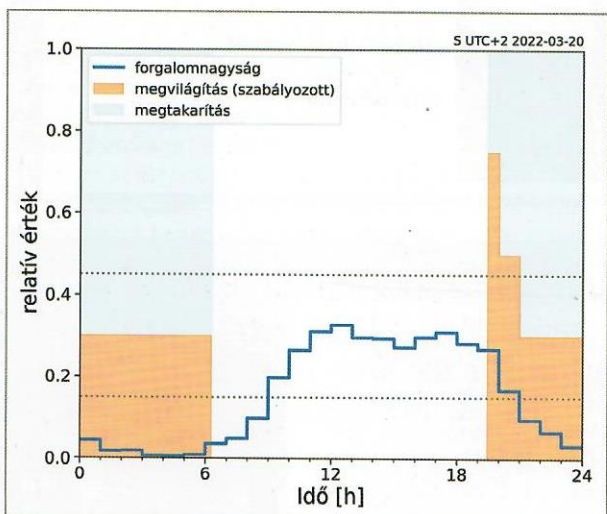
4. AZ ÓRAÁTÁLLÍTÁS HATÁSA

Az eddig bemutatott számításoknál 2021. október 31. és 2022. március 27. között az egyezményes koordinált világidőhöz képest 1 óra időeltolódással számoltunk (UTC+1), míg ezen kívül a nyári időszámításnak megfelelő UTC+2 időzónát vettük alapul. Mivel az Európai Parlament és Tanács irányelvet adott ki az évszakokhoz kapcsolódó óraátállítás megszüntetéséről [8], ugyanakkor a tagállamokra bízta, hogy a nyári vagy a téli időszámítást tartják-e meg a változtatás után, megvizsgáltuk, az időzóna kiválasztása milyen hatással lehet az adaptív világítással elért megtakarításra.

A legelső megállapítás, hogy a pirkadat és alkonyat időpontjára vezérelt világítás esetében az időzónaváltásnak nincs hatása. Mivel a világítótestek állandó teljesítményen működnek és a nappalok hosszát az időzóna-választás nem befolyásolja, az üzemidő az óraátállítással nem változik.



a)



b)

5. ábra A forgalom nagyság, a forgalomra szabályozott működési profil és az adaptív világításból származó megtakarítás 2022. március 20-án a) téli és b) nyári időszámítás esetében

Energiamegtakarítást akkor érünk el, ha az óraátállítással a forgalmi csúcsidezőszakot a nappali időszakra toljuk. Az 5. ábra a tavaszi napéjegyenlőségre mutatja a forgalmi és világítási adatokat a) téli és b) nyári időszámítás esetén. Amikor március utolsó vasárnapján egy órával előretoljuk az órát, a pirkadat reggel hat órára kerül, amikor még kicsi a forgalom nagyság. A délutáni csúcst viszont egy órával hátrébb toljuk és ez a változás már észrevehető mértékben csökkenti a sárga terület nagyságát az ábrán, tehát a nyári időszámítás már március utolsó vasárnapja előtt észlelhető megtakarítást hozhat a téli időszámításhoz képest. Hasonló megállapítást tehetünk az őszi napéjegyenlőség időszakára is a 6. ábra alapján. Amikor a nyári időszámításról visszatérünk a téli időszámításra, minimálisan csökken a fényenergia-felhasználás a kora reggeli időszakban, ellenben jelentősen megnő 18 óra után, mert a késő délutáni forgalom jelentős része alkonyat utánra esik.

A 4. táblázat az egész évre összesített effektív üzemidőt és az elérhető fényenergia-megtakarítást mutatja az adaptív és alkonykapcsolóval vezérelt üzemmódokra, illetve a téli (UTC+1), a nyári (UTC+2) és a jelenlegi, évszakhoz kapcsolt időszámításra. Az adatokból egyértelmű, hogy a megtakarítás elsősorban az adaptív üzemmóddal érhető el, az időzóna-választás hatása csekély mértékű.

Ki kell emelni, hogy a számítás során azt feltételezzük, hogy az időzóna-választásnak nincs hatása a forgalom nagyság időbeli lefutására. Elhamarkodott következtetés lenne azt gondolni, hogy Magyarországon a nyári időszámítás fenntartása minimalizálná az adaptív világítás energiaigényét.

4. táblázat Az üzemmód és időzóna hatása

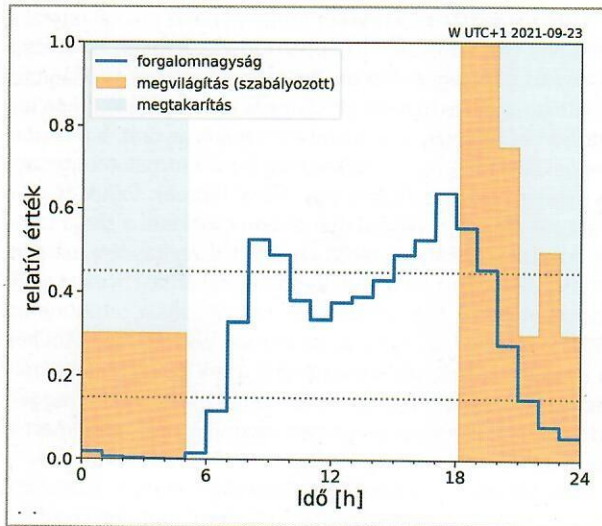
Üzemmód	Időzóna	Effektív üzemidő [óra/év]	Megtakarítás [%]
Adaptív	UTC + 1	1824	52.9
	Vegyes	1722	55.5
	UTC + 2	1661	57.1
Idővezérelt	mindegy	3872	0

5. ÖSSZEFOGLALÁS

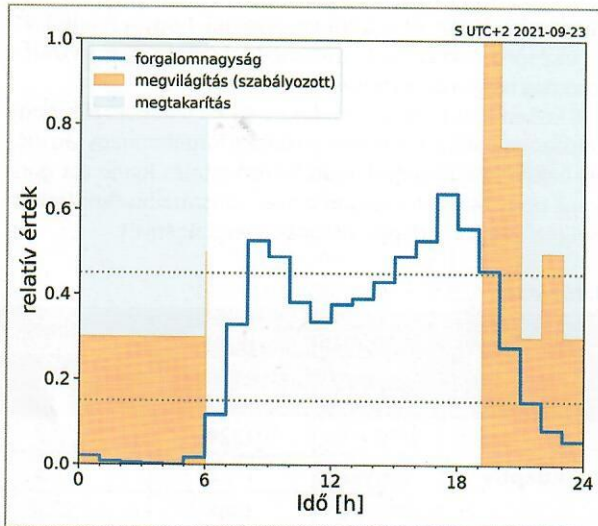
A forgalom nagyságra és összetételre szabályozott adaptív útvilágítással jelentősen csökkenthető az útvilágítás energiaigénye. Az általunk vizsgált M3 besorolású útszakaszon a megvilágítás szintje a forgalom nagyságtól függően 100% és 30% között volt változtatható a tervezési értékhez viszonyítva úgy, hogy a világítás paraméterei mindvégig teljesítik az útvilágítás-szabványban leírt ajánlásokat. A megtakarítás lehetséges mértéke alacsonyabb osztálybesorolású útszakaszon értelemszerűen csökken, amennyiben az M6 osztályhoz tartozó fénysűrűségérték alá nem kívánjuk állítani a világítást. Az egész városra kiterjedő adaptív világítási terv elkészítéséhez nem szükséges a település minden utcájában kamerát elhelyezni, elegendő a településszerkezetnek megfelelő reprezentatív pontokon mérni a forgalmat és ezután az adatok súlyozásával a teljes úthálózatra vonatkozó fogyasztás kiszámítható.

Az adaptív világítás kialakításának fontos eleme a forgalomszámlálás, amelyet kísérletünkben egy kamerával és a videojelet feldolgozó számítógépes rendszerrel valósítottunk meg. Hasonló felmérésbe bevonhatók az IP-címmel rendelkező térfigyelő kamerák is.

Tanulmányunkban nem foglalkoztunk a forgalmi adatok visszacsatolásának módjával, ugyanakkor feltételeztük, hogy



a)



b)

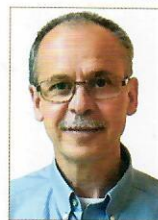
6. ábra A forgalom nagyság, a forgalomra szabályozott működési profil és az adaptív világításból származó megtakarítás 2021. szeptember 23-án a) téli és b) nyári időszámítás esetében

a forgalom szempontjából lassú megvilágítás- és fényesűrűség-változás észrevehető a közlekedők számára. Amennyiben a napi forgalom időbeli lefutása nem változik jelentős mértékben az év során, a felmérésben meghatározott időprofil szerint is vezérelhető az útvilágítás, ami kisebb költségű beruházást jelent, mint a szenzor jelére közvetlenül szabályozott, IoT-alapú világítási rendszer kiépítése.

A dinamikus útvilágítás kialakítására számos megoldás létezik, és a műszaki tartalomtól függően a beruházási költségek is széles sávban mozognak. Az útvilágítás korszerűsítését tervező önkormányzatoknak érdemes megfontolni az igényeiknek és lehetőségeiknek megfelelő adaptív világítás kiépítését, mert a tartósan magas energiaárak mellett az adaptív megoldás többletköltsége rövid időn belül megtérül.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **EMBER:** European wholesale electricity price data. <https://ember-climate.org/data-catalogue/european-wholesale-electricity-price-data/> (Letöltve 2022. december 27).
- [2] **Jackett, M., Frith, W.:** Quantifying the impact of road lighting on road safety – A New Zealand Study, IATSS Research, Vol. 36, no. 2, pp. 139–145, Mar. 2013.
- [3] **Steinbach, R. et al.:** The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis, J Epidemiol Community Health, Vol. 69, no. 11, pp. 1118–1124, 2015.
- [4] **MSZ CEN/TR 13201-1:2015.** Útvilágítás. 1. rész: Irányelvek a világítási osztályok kiválasztásához.
- [5] **MSZ EN 13201-2:2016.** Útvilágítás. 2. rész: A világítási jellemzők követelményei.
- [6] **YOLOV5** DOI:10.5281/zenodo.7347926
- [7] **Astral v3.2,** <https://pypi.org/project/astral/>
- [8] **Európai Parlament:** JELENTÉS az évszakokhoz kapcsolódó órátállítás megszüntetéséről és a 2000/84/EK irányelv hatályon kívül helyezéséről szóló európai parlamenti és tanácsi irányelvre irányuló javaslatról. www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2019-0169_HU.html



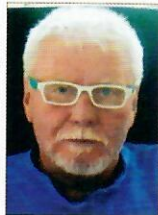
Dr. Balázs László

egyetemi docens
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Növénytermesztési-tudományok Intézet
balazs.laszlo@uni-mate.hu



Braun Ferenc

ELKH Energiatudományi Kutatóközpont
Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet
braun.ferenc@ek-cer.hu



dr. Lengyel József

Prompt-H Számítástechnikai Kft.
lj@prompt.hu

HÍREK

Két új magyarországi naperőmű

A MET energiavállalat új beruházásai bekapcsolódtak a megújuló energiatermelésbe. Befejeződtek a MET Gerjen Solar Park (Tolna vármegye, a Paksi Atomerőmű mellett) és a MET Söjtör Solar Park (Zala vármegye) építési munkálatai, a naperőművek megkezdték kereskedelmi üzemüket – jelentette be a cég. A beruházások összesen 170 hektárnyi területen valósultak meg a két magyarországi településen, ahol közel 180 ezer napelemet telepítettek. A napelemparkok újonnan telepített nagyfeszültségű alállomásokon keresztül

csatlakoznak az elektromos hálózathoz. A MET Gerjen Solar Park 51 megawatt (MWp) kapacitású és a MET Söjtör Solar Park 45 MWp kapacitású napelemparkok üzembe helyezése több szakaszban történt. A két erőmű mintegy 50 ezer háztartás fogyasztásának kiszolgálására elegendő zöldáramot termel, a legmodernebb technológiát alkalmazva.



Forrás: infostart.hu