

Végvári Zsolt<sup>1</sup>

## A LED-EK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A MAGYAR HONVÉDSÉGBEN

### A VILLAMOS VILÁGÍTÁS JÖVŐJE, A LED-ES FÉNYFORRÁSOK KATONAI ALKALMAZÁSÁNAK KÉRDÉSEI

#### **Absztrakt**

*Napjaink vitathatatlanul legkorszerűbb fényforrásai a LED-ek. Egyre több területen szorítják ki a hagyományos elektromos világítóeszközöket. Katonai alkalmazásuknak számos előnye van. A LED-ek katonai vonatkozású felhasználásának aktualitást ad a valamennyi NATO tagállam által ratifikált, a chicagói NATO csúcserkezesleten megfogalmazott, energiahatékonyságról szóló nyilatkozat, amelynek alapján a 2015-ben hazánkban megrendezésre kerülő CAPABLE LOGISTICIAN (CL15) logisztikai és szabványosítási gyakorlaton „Smart Energy” néven, első ízben önálló logisztikai egységet (MILU – Multinational Integrated Logistic Unit) alkotva vonulnak fel a korszerű energetikai megoldások, köztük a LED-es fénytechnikai eszközök.*

**Kulcsszavak:** LED, világítástechnika, katonai alkalmazás, energiahatékonyság

#### **Bevezetés**

Gyorsan változó századunkra az energia az élet szinte minden területén olyan kérdéssé vált, amely napi szinten jelen van a híradásokban, és nincs ez másként a védelmi szektorban sem. A II. világháború óta a haditechnikai fejlődés során a haderő minden elemének (egyres harcos, harcjármű, repülőeszközök, illetve telepített alegységek, egységek) elektromos áramfelhasználása drasztikusan növekszik, ami olyan nehézségek elé állítja a korszerű haderőt, amelyek

---

<sup>1</sup> A szerző a HM VGH KMBBI Kutatási, Fejlesztési és Tudományos Osztály kiemelt mérnök főtisztje, a CL15 logisztikai gyakorlat „Smart Energy” MILU magyar szakértője, az Európai Védelmi Ügynökség Energia és Környezet Munkacsoportjának magyar delegáltja

megoldásához tudatosan kell keresni azokat az újszerű módszereket és eszközöket, amelyek növelik az energiahatékonyságot. A legtöbb európai ország védelmi tárcájára, köztük a magyarra, két helyről is erős nyomás nehezedik annak érdekében, hogy energiapolitikájában alkalmazkodjon ezen elvárásokhoz.

Brüsszel irányából az Európai Védelmi Ügynökség (European Defence Agency – EDA) oly módon nyomatékosította ilyen irányú terveit, hogy a korábban is zajló energetikai kutatásokat 2014-ben összevonta és önálló szintre emelte. Az Energia és Környezet Munkacsoport (Energy & Environment Workgroup) saját költségvetésből még 2015-ben létre kíván hozni egy zöld mintatábort. A „Green Camp” területén számos olyan jövőbemutató energetikai megoldás helyet kap, amelyek ha sikerrel vizsgáznak a zord nyugat-afrikai körülmények között, jelentős előrelépést jelenthetnek az energiahatékonyság területén.

Másfelől, a NATO is komoly lépéseket tett ebben az irányban. A 2012-es chicagói NATO csúcstalálkozón a résztvevő tagállamok deklarálták: „azon fogunk dolgozni, hogy számottevően növeljük az energiahatékonyságot a haderőinkben”<sup>2</sup>. Ennek nyomán 2014 februárjában elkészült az ún. Zöld Védelmi Keretterv, amelynek három pillére az energiahatékonyság, a környezetvédelem és a műveleti hatékonyság. Ezt a dokumentumot valamennyi tagország jóváhagyta 2014. szeptember 5-én a walesi NATO csúcstalálkozón. A keretterv eddigi legmarkánsabb megjelenése - valószínűleg - a hazánkban 2015 nyarán megrendezésre kerülő Capable Logistician 2015 (CL15) logisztikai és szabványosítási gyakorlat lesz, ahol a NATO szervezésében önálló logisztikai egységet (MILU – Multinational Logistic Unit) alkotva „Smart Energy” („okos vagy „ügyes energia) néven vonulnak fel a legkorszerűbb energetikai megoldások.

Magyarország, mint EDA és NATO tagállam, mindkét szervezet munkájában aktívan részt vesz. Az említett munkacsoportban, illetve a gyakorlat „Smart Energy” törzsében a HM Védelemgazdasági Hivatal Kutatás-fejlesztési, Minőségbiztosítási és Biztonsági Beruházási Igazgatóság Kutatási, Fejlesztési és Tudományos Osztálya képviseli hazánkat.

Az energiahatékonyságot a villamos fogyasztók felől vizsgálva, mindenképpen szólni kell a fényemittáló diódákról, azaz a LED-ekről

---

<sup>2</sup> A chicagói NATO csúcserőkezlet záró nyilatkozata, 2012. május 20, 52. pont

(Light Emitting Diode). Ez a legkorszerűbb és legsokoldalúbb fényforrás, amit mostanáig az emberiség létrehozott. A LED energiahatékonysága önmagában is figyelemreméltó, ám ezen kívül számos olyan előnyt is kínál, amelyek érdemessé teszik arra, hogy vizsgálat alá kerüljön a katonai alkalmazhatóság szempontjából. Vajon melyek ezek az előnyök és vannak-e az alkalmazásnak korlátai? A cikk ezekre a kérdésekre keresi a választ.

## 1. A LED-ek összehasonlító vizsgálatának fizikai háttere

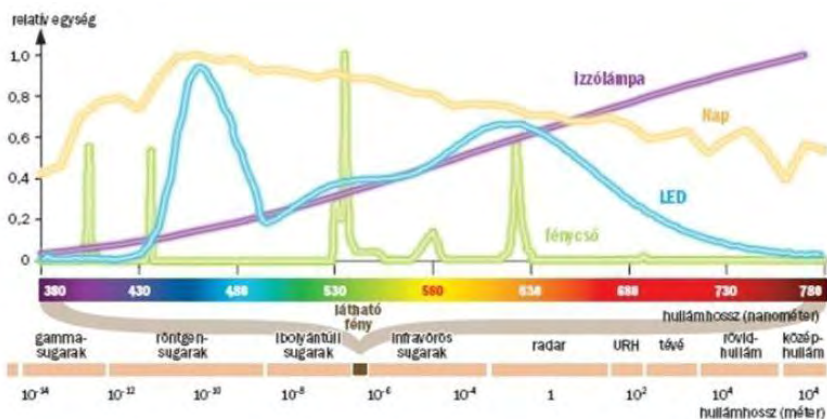
Napjainkban számos technológiát alkalmaznak a világítástechnikában, amelyek korrekt megítéléséhez szükség van a manapság használatos villamos világítóeszközök általános áttekintésére, és néhány, az összehasonlítás szempontjából elengedhetetlen fizikai jellemző megismerésére is.

A világítástechnikában általában a megvilágítottság a legfontosabbnak tekintett paraméter, aminek az SI rendszerben a lux a mértékegysége. Ugyanakkor a megvilágítottság erősen függ a környezettől és nem utolsósorban a fényforrástól mért távolságtól, így a fényforrások objektív jellemzésére nem igazán alkalmas. Egy világítóeszköz fényének ereje többféle módon is meghatározható. A tulajdonképpen (de csak egy irányban sugárzott) fényerő SI mértékegysége a kandela (cd), ám a gyakorlatban többnyire a lumenben (lm) mért **fényáramot** szokás megadni. Ez egy olyan paraméter, ami önmagában nehezen értelmezhető, mivel a fénysugárzásnak egy szabványos fénymérő-észlelőre gyakorolt hatása alapján definiálják, de a fényerősséggel szemben ezt egzakt módon és viszonylag pontosan meg lehet mérni. Fényforrások összehasonlítására viszont tökéletesen alkalmas, hiszen könnyű belátni, hogy a nagyobb fényáram nagyobb fényerősséget, és – azonos körülmények között – nagyobb megvilágítottságot is eredményez.

A **színhőmérséklet** a definíciója szerint egy fekete test adott hőmérsékletéhez hozzárendelt szín, amelyet kelvinben (K) szokás megadni. Ennek önmagában a gyakorlat szempontjából ugyancsak nincs jelentősége. A mesterséges fényforrások esetében az a fontos, hogy a Nap színhőmérséklete kb. 5400 K. Az ettől alacsonyabb színhőmérsékletek lágyabb, sárgás-pirosas fényként, a magasabb színhőmérsékletek pedig ridegebb, kékes fényként érzékelhetők.

A **teljesítmény** wattban (W) szokás megadni. Ez a villamos világítóeszközöknél nem a leadott fényteltjesítményt, hanem a hálózatról vagy telepről felvett elektromos teljesítményt, a tulajdonképpeni villamosenergia-**fogyasztást** jelöli. Azonos működési elvű fényforrások esetén a nagyobb felvett teljesítmény nagyobb fényteltjesítményt is jelent (a 100-as izzó fénye nyilvánvalóan erősebb, mint a 60-asé). A **hatásfok** azt jelenti, hogy a felhasznált elektromos energia milyen mértékben válik fényenergiává. Ezt meg lehet adni %-ban is, de ennél a számnál beszédesebb az, hogy 1 W energiából hány lumenes fényáramot képes az adott eszköz produkálni (lumen/W). Ez utóbbi értéket nevezik **fényhasznosításnak**.

Az **élettartam** az az órában kifejezett idő, amíg a fényforrás működik. Ez triviálisnak tűnik, de a gyakorlati érték nagyban függ a felhasználás módjától, pl. egy hagyományos izzó sokkal tovább működik, ha huzamosabb ideig folyamatosan használják, és hamarabb tönkremegy, ha sűrűn kapcsolgatják. A gyártók az élettartam mérésénél természetesen igyekeznek olyan körülményeket teremteni, ami számukra kedvezőbb értéket eredményez, így a megadott élettartamot a gyakorlatban igen ritkán lehet igazolni.



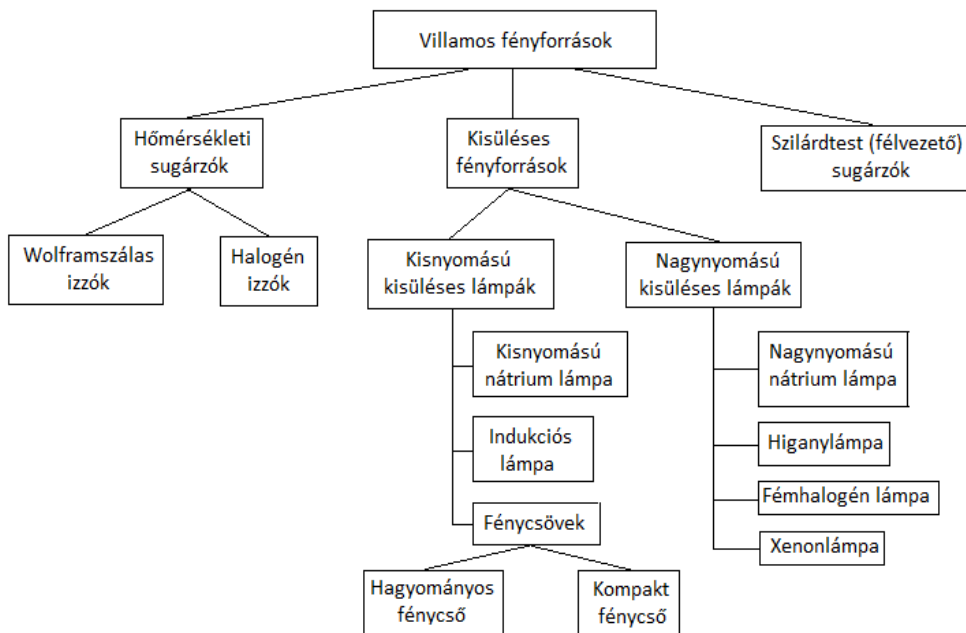
1. ábra. A nap és a legfontosabb mesterséges fényforrások spektruma (Forrás: BME)

Magyarul **fényvisszaadásnak** szokás fordítani azt a nem hivatalos SI értéket, amit az angol szakirodalom többnyire csak Ra-ként, azaz sugárzásként (radiation) jelöl – dimenzió nélküli szám. A jelentése az, hogy ha a Nap spektruma, vagyis az összes különböző színű sugárzott fény összessége 100-nak tekintett, akkor ez az érték megadja, hogy egy világítóeszköz fényösszetétele mennyire hasonlít a Napéhoz. Ha ez az érték nagy, például 95%, akkor az adott világítóeszköz

- a Naphoz hasonlóan - a látható tartományban csaknem egyenletesen sugároz, míg egy alacsony érték azt jelenti, hogy az adott eszköz spektrumából hiányzik néhány színkomponens.

## 2. A villamos világítás fejlődésének áttekintése

A XIX. századig az emberiség összes fényforrása (talán a szentjánosbogaraktól eltekintve) az égésen alapult. A fény csupán az égés egy mellékterméke volt, és még a legkorszerűbb gázharisnyás égők is csak az éghető anyag kémiai energiájának ezrelékét alakították fénné. A villamos világítás persze ekkoriban még nem a jó hatásfóval hódította meg az embereket, hanem azzal, hogy megszabadította őket a tűzgyújtás és -oltás, valamint a tüzelőanyag-utánpótlás problémáitól.



2. ábra. A villamos fényforrások főbb típusai

A világon a legelső villamos fényforrás a **Humphry Davy** angol fizikus által 1812-ben megalkotott ívfénylámpa volt. A két elektróda között feszülő villamos ívek a veszélyességük, nehézkes szabályozhatóságuk és brutális energiaigényük miatt sosem voltak általánosan használtak, de néhány valóban különleges helyen még ma is alkalmazzák őket. A hajózási és katonai célokra kifejlesztett lángívlámpák

(Beck-lámpák) különlegessége például, hogy a fénysűrűségük meghaladhatja a Napét is.

Napjaink villamos fényforrásainak 99%-a döntően három nagy csoportba sorolható, típusaikat a 2. ábra mutatja.

### 3. A hagyományos izzók

#### 3.1. A hagyományos izzók fejlődése

Ha világitásról van szó, még talán napjainkban is a legkézenfekvőbb megoldás a hagyományos izzólámpa. A működési elv igen egyszerű: az izzó, illetve az izzószál ugyanis valóban izzik. Az ívlámpánál említett Davy már az 1800-as évek első évtizedeiben kísérletezett platinaszálak elektromos izzításával, majd többen is szabadalmaztattak légmentes üvegburába zárt izzószálakat, de ezek egyike sem volt még hétköznapi használatra alkalmas. A műszaki fejlesztés folyamatának meghatározó pontja az volt, amikor 1879-ben **Thomas Alva Edison** megvásárolta két amerikai fizikus szabadalmát, mert ebből sikerült még abban az évben elsőként olyan elektromos világítóeszközt kifejlesztenie, ami akár több száz óráig is működőképes maradt, így az izzó már kereskedelemben is értékesíthető terméké vált.

**Edison** izzója még szénszálat tartalmazott, amit a századforduló után felváltottak a különféle fémszálak. Az első volfrámszál izzót a budapesti Egyesült Izzó és Villamossági Rt.-nél gyártották le 1904-ben. Az első időkben rendelkezésre álló, volfrámból készült spirálok a magasabb hőmérsékleteken megnyúltak, ami a felület növekedését és így fokozottabb hűlést eredményezett. 1927-ben - szintén az Egyesült Izzónál - **Millner Tivadar** és **Túry Pál** kidolgozták az úgynevezett nagykristályos volfrám gyártási technológiáját. Az adalékolással előállított, durvább kristályszerkezetű volfrámból lehetett először alaktartó, "belógás-mentes" spirálokat gyártani, ami nemcsak a fényforrások, hanem az elektroncsövek területén is forradalmi előrelépést jelentett.

Később a szálat spirálba, majd kettős spirálba csavarták, végül arra is rájöttek, hogy a hatásfok javítható, ha a vákuumot semleges gázokra cserélik a bura alatt. A magyar tudósok ekkoriban mindvégig a kutatások élvonalában voltak, és a hagyományos izzók fejlesztésének utolsó jelentős lépcsőjét is magyar kutató jegyzi, ugyanis **Bródy**

**Imre** nevéhez fűződik a kripton-töltésű izzólámpa szabadalma 1930-ból.

### 3.2. A hagyományos izzók jellemzői

A két világháború között gyártott hagyományos izzók műszaki jellemzői lényegében alig különböznek a maiaktól. Tulajdonképpen egy volfrámszál melegszik fel és kezd izzani mintegy 2-3000 K hőmérsékleten a rajta áthaladó áram hatására, és csak azért nem ég el, mert az üvegbura alatt nincs oxigén. A volfrám környezetében csak vákuum - vagy a nagyobb teljesítményű, komolyabb izzóknál - valamilyen semleges gáz, nitrogén vagy argon található. Ennek az eszköznek a színösszetétele alapesetben igen közel áll a Napfényhez, ugyanis hőmérsékleti sugárzóként az UV-től az infravörös tartományig folytonos a spektruma, bár az intenzitás a vörös felé erőteljesen növekszik. Ennek köszönhető, hogy a színhőmérséklete nagyon kellemes, lágy 2700 K, viszont a lesugárzott teljesítménynek csak mintegy 2-4%-a esik a látható fény tartományába.

Az izzók nagy előnye, hogy az évszázados termelési tapasztalat, illetve a tömeggyártás miatt elképesztően olcsóak, és 0,1 W-tól több száz W teljesítményig minden elterjedt foglalathoz egyszerűen beszerezhetők, illetve azok voltak, egészen a legutóbbi időkig. Az izzók működése szempontjából mellékes, hogy egyen- vagy váltakozófeszültséggel táplálják őket, és jól tolerálják a feszültség ingadozását is. Ha a feszültség a névleges alá csökken, még hosszabb ideig világítanak, csak kisebb fényerővel. Bizonyos világítástechnikai eszközökkel, pl. a forgatható gombos csillárkapcsolóval a világítás erőssége vezérelhető („dimmelhető  $\Rightarrow$  fényáram-vezérelhető”). Ha a feszültség a névleges fölé nő, az sem jelenti az izzó azonnali kiégését, csupán az élettartam csökken, bár a névleges feszültség 150%-a többnyire már igen gyorsan tönkreteszi őket.

A hagyományos izzó jó tulajdonságainak számbavétele mellett meg kell említeni annak rossz tulajdonságait is. Ezek közül a legkellemetlenebb a már említett 2-4%-os határfok, ami másképpen annyit tesz, hogy 1 watt elektromos energiából csupán 10-15 lumen fényáram keletkezik. Érdeemes megemlíteni, hogy a hagyományos izzók esetében a termelés technológiája mára olyan szintre tökéletesedett, hogy e műszaki paramétereik alapján nem lehet különbséget tenni a jó nevű gyártók termékei, illetve az olcsóbb eszközök között. A további összehasonlítás kedvéért az 1. sz. táblázat tartalmazza a ház-

tartásokban általánosan használt csavarmenetes hagyományos izzók hozzávetőleges fényerejét és hatékonyságát:

Hagyományos izzók fényereje a teljesítmény függvényében

1. sz. táblázat.

Névleges teljesítmény (W):	15	25	40	60	75	100
Leadott fényáram (lm)	90	220	400	620	840	1380
Fényhasznosítás (lm/W)	6	8,8	10	10,3	11,2	13,8

Amint látható, a hatásfok nagyobb teljesítménnyel (nagyobb hőmérséklettel) javítható, de elméletileg is csak a volfrám 3695 kelvines olvadáspontjáig.

A hagyományos izzó a bekapcsolás után nem azonnal világít teljes mértékben, jellemzően 1-2 másodperc, míg a volfrámszál üzemi hőmérsékletre melegszik. A bemelegedési idő alatt az izzó nagyobb villamos teljesítményt vesz fel (a volfrámszál elektromos ellenállása hidegen kisebb). A hagyományos izzók üzemideje vagy élettartama mindössze 1000 óra körül van, amelyet elsősorban a volfrámszál hőtágulás okozta mechanikai sérülései korlátoznak. Ebből következik, hogy az izzók egyébként sem kimagasló élettartamát a gyakori kapcsolgatás jelentős mértékben csökkentheti.

A volfrámszál több ezer fokok izzása miatt az üvegbura is képes akár száz Celsius fokot meghaladó hőmérsékletre hevülni, ami bal- esetveszélyes. Az izzók igen érzékenyek a mechanikai hatásokra is, a vékony izzószál nem tolerálja az esést és a rázkódást, az üvegbura sérülése pedig az izzó azonnali tönkremenetelét jelenti, mivel oxigén jelenlétében a volfrám pár másodperc alatt elég.

### 3.3. A halogén izzók

A hagyományos izzók egy változata a kicsit korszerűbbnek tekinthető halogén izzó. Ezeknél az üvegbura alatt a semleges gázok mellett kis mennyiségű halogénelem, többnyire jód vagy bróm is található. Megfelelő hőmérséklet esetén beindul az úgynevezett halogén körfolyamat, ami javít az izzó hatásfokán, és növeli annak élettartamát is. Magát az elvet már a múlt század 30-as éveiben felfedezték,



de anyagtechnológiai okok miatt csak a 60-as évektől került sorozatgyártásra a típus. A halogén izzók a gyakorlatban azonos fényáram mellett elvileg 20-25%-kal kevesebb elektromos energiát igényelnek, az üzemidejük pedig elérheti a 3-5000 órát is.

A halogén izzók a hagyományosnál jobb hatásfokuk és élettartamuk mellett azért megőrizték az előd összes – többnyire rossz – egyéb tulajdonságait, ráadásul erőteljesebben melegednek is azoknál. A halogénelemek bevitele miatt, illetve, mivel a magas hőmérsékletéhez speciális kvarcüvegből kell készíteni a burát, lényegesen drágábbak is a hagyományos izzóknál.

A magasabb működési hőmérsékletből adódóan a halogén izzók spektruma jobban eltolódik a kékes árnyalat felé, és így már számottevő az UV sugárzásuk is, ami a napjainkban népbetegségnek tekinthető szürke-hályog egyik fő rizikófaktora.

## **4. A gázkisüléses lámpák**

### **4.1. A gázkisüléses lámpák általános jellemzői**

A gázkisüléses lámpák igen sok változata használatos, de az alapelv mindegyiknél azonos. Ezek olyan üreges üvegtestek, amiket gázzal, fémgőzzel vagy ezek keverékével töltenek fel.

Beindításukhoz erős elektromos tér kell, amely hatására a gázok és gőzök az áramot jól vezető plazma állapotba kerülnek. Működés közben az átáramló villamos energia hatására (az elektródokról emitálódó elektronok becsapódása következtében) a plazma állapotban maradó gázok és gőzök atomjai magasabb energiaszintekre kerülnek, amely viszont egy instabil állapot, miközben az atomok visszatérnek stabil állapotukba, a plusz energiát foton formájában sugározzák le. Ez a foton általában az UV tartományba esik, így az üveg belső részén egy speciális bevonat, „fénypor” is szükséges, ami a becsapódó UV foton hatására ezúttal már a látható tartományba tartozó foton bocsát ki.

A feszültségingadozást a hagyományos izzóknál is kevésbé tolerálják, nem dimmelhetők. A mechanikus igénybevételt általában kicsit jobban tűrik, mint a hagyományos izzók, de az üvegbura sérülékenysége természetesen itt is kritikus. Az indításukhoz és működtetésükhöz minden esetben külső elektronika szükséges.

A gázkisüléses lámpák működési elve már a XIX. század végén is ismert volt, de elterjedésük csak az 1950-es évek után vált tömegessé, mikor az energiaárak növekedése egyre inkább előtérbe helyezte a hagyományos izzókkal szembeni előnyös tulajdonságaikat.

Hatásfok tekintetében igen nagy a szórás közöttük, de még a legkevésbé takarékos típusok fajlagos teljesítménye is többszöröse az izzószálúakénak, a legkorszerűbb típusok pedig akár nagyságrendileg is jobbak azoknál.

Az élettartamuk is többszöröse az izzókénak, általában 10-20 000 óra között ingadozik. A gázkisüléses lámpák közös jellemzője, hogy a méret, illetve a teljesítmény növelésével a hatásfokuk egy bizonyos határig erőteljesen növekszik, kisteljesítményű változatot nem is gyártanak (100-250 W alatti tartomány). A legtöbb fajtájuk a bekapcsolás után közvetlenül a névleges fényerejének csak töredékét adja le, és akár több perc is eltelhet, mire eléri a normális fényerejüket, bár e tekintetben vannak kivételek.

## **4.2. A fénycsövek**

A gázkisüléses lámpák egyik legősibb és vitán felül legerjedtebb fajtája a fénycső. Már a második világháború előtt pár évvel sorozatban gyártották, de igazán csak az 50-es, 60-as évektől terjedt el, elsősorban a közintézményeknél, vállalatoknál. Legfőbb előnye az, hogy a hagyományos izzók által felhasznált energia negyedével-ötödével képes ugyanakkora fényáramot előállítani. Az épületvilágítási célokon kívül – pl. a közlekedésben – szinte sehol sem alkalmazták őket. A fénycsőben található higanygőz nyomásának emelésével a hatásfok még tovább javítható, de a magasnyomású eszközöket a robbanás veszélye miatt csak ipari, esetleg közvilágítási célra használják. A fénycső színhőmérséklete az üvegcső belső falán található fénypor összetételével változtatható.

A hagyományos indukciós gyújtású fénycsövek a háztartásokban nem igazán terjedtek el. Bár a hatásfokuk és az élettartamuk rendkívül kedvező, az első fénycsövek igen robusztusak voltak, és csak nem túl esztétikus nagy armatúrákba voltak szerelhetők. A működtetésükhöz egy indukciós áramkörre is szükség volt („neongyújtó”), ráadásul a hálózati frekvenciával együtt „villogtak”, ami igen zavaró tulajdonságuk volt. Mindehhez még komoly UV kibocsátás, és néha alig hallható, de máskor már zavaró zaj is társulhatott a működés során.

### 4.3. A kompakt fénycsövek

A teljes egészében a fénycsövek technológiájára alapuló, de azoknál egyszerűbben alkalmazható kompakt fénycsöveket a 70-es évektől kezdték fejleszteni, amelyek a 90-es évektől terjedtek el szélesebb körben. Ezek a működési elvük alapján tulajdonképpen közönséges fénycsövek, csak „összehajtogatták” őket, és egybeépítették a működtető elektronikával – amely immár nem indukciós, hanem félvezető-alapú. Így kiegészítő szerelvények nélkül is be lehet őket csavarni egy hagyományos Edison-menetes foglalatba. Az elektronikus gyújtó a hálózati 50 Hz-től eltérő frekvencián működik (jellemzően 30 kHz-en), így már a villogást is teljes egészében kiküszöböli.

Viszonylag gyors elterjedésüknek elsődleges oka, hogy bevezetésükhöz nem kellett az épületek villamos hálózatát, illetve a csillárokat, falikarokat lecserélni, és egy 100 W-os izzó helyére csavart 20-22 W-os fénycső lényegében ugyanazt a megvilágítást produkálta. A fénycső összehajtása ugyanakkor nem tett jót az eszköz élettartamának, a kompakt eszközök e paraméterükben némileg elmaradnak a hagyományos „egyenes” társaiktól, de az izzószálaknál még mindig lényegesen jobbak. A hatásfokuk viszont még mintegy 10%-ot javult, mert a félvezető elektronikának az indukciós gyújtóval szemben elhanyagolható vesztesége van.

A kompakt fénycsövek (különösen a nagyobb teljesítményűek) nehezebbek és nagyobbak, mint a hagyományos izzók, de ugyanolyan sérülékenyek. A nagyobb mechanikai méret egy csillárban nem feltétlen jelent gondot (még esztétikailag sem, mert kaphatók külön üvegburával ellátott típusok is), de pl. egy mennyezeti UFO-lámpába már nem szerelhető be bármelyik, így az izzókról való áttérés egyes esetekben többletköltséget okozhat. A vibrálás és a zaj a korszerű típusoknál nem jelentkezik, de a jelentős UV kibocsátás továbbra is probléma. Épületvilágítási, háztartási célokra kívül ezt a típust sem alkalmazzák sehol. Igen zavaró tulajdonságuk, hogy – a hagyományos csövekhez hasonlóan – a bekapcsolás után 1-2 percig inkább csak fénylenek, mint világítanak, ezért pl. a mellékhelyiségbe egyáltalán nem valók. A gyakori ki-be kapcsolgatás is a várható élettartam nagymértékű csökkenését okozza.

A kompakt fénycsövek fényét sem lehet a feszültség változtatásával szabályozni, és a színvisszaadásuk is igen rossz, de többféle színhőmérsékletű változat kapható belőlük. A hagyományos izzókkal ellentétben fokozottan érzékenyek a külső hőmérsékletre, nagy me-

legben akár a normális érték 80%-ára csökkenhet a fénykibocsátásuk. Öregszenek is, vagyis a sokat használt csövek fénye érezhetően halványabb az újakénál, amit gáznyomás csökkenése, illetve az üveg belső falán kialakuló lerakódások okoznak.

Mindezekén túl a fénycsövek rendkívüli módon környezetszennyezőek is. A hagyományos kiégett izzó után „csak” hagyományos szemét, üveg, alumínium, elhanyagolható mennyiségű volfrám, esetleg semleges gáz marad, de sajnos ezeken felül minden fénycső tartalmaz néhány milligramm higanyt is. Ezt a rendkívül mérgező anyagot kivonni, újrahasznosítani – legalábbis gazdaságosan – nem lehet, ezért jobbára csak az összegyűjtésére és elhelyezésére törekszenek.

A kompakt fénycsövek területén viszonylag új fejlesztés az **amalgám** technológia. A fénycsövek működési elvéből adódóan a higany alkalmazása elkerülhetetlen, de ezeknél a fényforrásoknál nem elemi higanyt, hanem amalgámot, egy más fémekkel alkotott higanyötvözetet használnak. Az ilyen fénycsövek tulajdonságai csaknem teljesen megegyeznek az elődökével, de az amalgám lényegesen kevésbé környezetszennyező (nehezebben lép reakcióba a környezetével), és mivel szobahőmérsékleten szilárd halmazállapotú, egyszerűbben megoldható a gyűjtése is. A fejlesztők szerint az amalgám-technológiájú kompakt csövek kevésbé öregszenek, és fénykibocsátásuk kevésbé függ a külső hőmérséklettől.

#### 4.4. Fém-halogén- és nátriumlámpák

A fénycsövek egyik legsúlyosabb hiányossága, hogy a színvisszaadásuk rendkívül rossz, mivel a higany színeképe meglehetősen hiányos. Ezt a 60-as évektől oly módon igyekeztek javítani, hogy a higany mellé olyan halogén elemek gőzét keverték, amelyek színeképe kiegészítette a higanyét. Némi kémiai jellegű innováció segítségével a kutatóknak sikerült is az Ra-indexet 90% fölé vinni, miközben még a hatásfok is javult, de a technológia ebben az állapotában még mindig nem volt életképes, mert az agresszív halogéngőzök kémiaileg támadták az elektródákat, sőt magát a kvarcüveget is.

Az egyik lehetséges fejlesztési út az volt, hogy a halogéneket nem elemi formában, hanem kémiaileg sokkal semlegesebb vegyületként alkalmazták. Az így létrejövő ún. fém-halogénlámpák igen jó hatásfokúak, teljesítménytől függően 60-100 lm/W közötti a fényhasznosításuk, és az élettartamuk is imponáló: 10-20 000 óra. A gazdaságosság azonban csak magas teljesítmények mellett jelentkezik, valamint a

technológia igen robusztus, így csak ipari, közvilágítási céllal alkalmazzák az ilyen, egyébként meglehetősen drága eszközöket. Ez alól a xenonlámpák jelentik az egyetlen kivételt. Ezek színvisszaadása igen jó, és bár hatásfokukban elmaradnak a többi nagynyomású gázkisüléssel lámpától, ugyanakkor komoly előnyük, hogy azokkal ellentétben szinte azonnal gyújtanak (a xenon-technológiával villanófényeket is gyártanak). Sajnos a xenonlámpák gyártástechnológiája is nagyon költséges, ezért jobbára csak a prémium-kategóriás gépjárműveket szerelték ilyen típusú fényszórókkal, ahonnan napjainkban szorítja ki őket a LED.

A halogének roncsoló hatásának korlátozására egy másik megoldás, hogy a kvarcüveget olyan anyagra cserélik, amelyik képes ellenállni a fémgőzöknek. A fémgőzök közül a legjobb hatásfokot egyébként a nátrium adja, ugyanakkor ez a legagresszívabb, leginkább veszélyes halogén. A maró hatásnak ellenálló burával készülő nátriumlámpák színvisszaadása nem a legjobb, a sárgás fényük jellegzetessé teszi őket, azonban a hatásfokuk rendkívül nagy, akár a 200 lumen/W-ot is elérheti. Azt sajnos mondani sem kell, hogy a speciális üvegek nem olcsók, ezért a nátriumlámpák alkalmazási köre is az iparra és a közvilágításra szűkül. Más célú alkalmazásuk már csak azért sem valószínű, mert a bekapcsolástól számítva 10-15 vagy akár 20 perc is lehet, mire eléri a teljes fényerejét.

A gázkisüléssel lámpák utolsó generációja az indukciós lámpa, amelyet 1991-ben szabadalmaztattak. Forradalmi újdonsága, hogy nincs benne elektróda, az üvegben található higanyatomok nem az emittált elektronokkal való ütközés miatt kerülnek magasabb energiaszintre, hanem a mesterségesen létrehozott nagy térerő következtében.

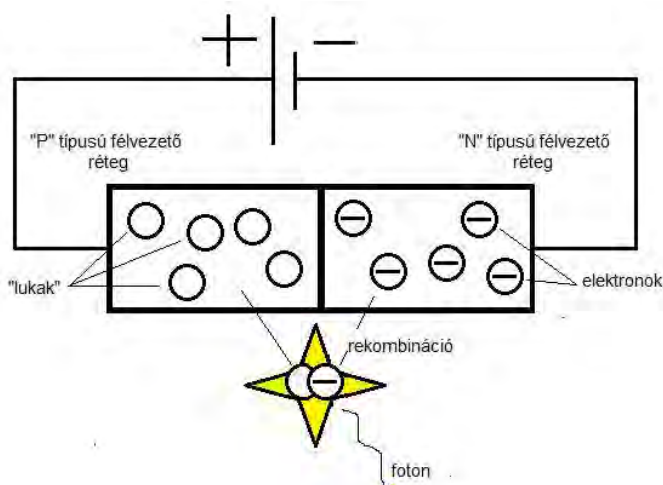
Az ilyen lámpák egyik paramétere sem kiemelkedő önmagában, de vannak igen kedvező tulajdonságaik is. A fényhasznosításuk a ferritmagos tekercsek kb. 10%-os veszteségével együtt 80-90 lumen/W, a színvisszaadásuk 80-as körüli, míg az élettartamukat az elektronika élettartama korlátozza a gyakorlatban kb. 15 000 órára (bár egyes újabb típusok élettartamát a gyártó már 100 000 órára becsüli).

Legfőbb előnyük, hogy a fém-halogénekénél és a nátriumos típusoknál lényegesen olcsóbban gyárthatóak, mindeközben az elődökénél komolyabb fejlesztési potenciál is rejtőzik bennük. A technológia alapvető jellemzői miatt ugyanakkor nem várható, hogy az iparon, térvilágításon kívül más szegmensekben is teret nyerjen.

## 5. A LED-ek

### 5.1. A LED-ek működési elve és fejlődésük története

A félvezető-átmeneteknél jelentkező fényhatást először a harmincas években dolgozó szovjet tudós, **Oleg Losev** írta le, de felfedezése csaknem negyedszázaddal az első tranzistorok születése előtt még nem keltett nagy visszhangot. Az 50-es, 60-as években aztán a híradástechnikában tömegesen megjelenő egyenirányító félvezető-diódák üvegburája alatt az amerikai **Nick Holonyak** fedezte fel újra a jelenséget. Ennek a tulajdonképpeni elektronlumineszcenciának az oka, hogy a diódát alkotó pozitív és negatív szennyezettségű félvezető réteg között – ha a megfelelő feszültségre kapcsolják – megindul az elektronok és a pozitív töltésű lyukak (hole) spontán rekombinációja, egyesülése. A rekombináció során keletkező töltés nélküli részecske energiája kisebb, mint a két töltött részecske együttes energiája, a különbség pedig szerencsés esetben (de sajnos nem mindig) foton formájában távozik. A LED-ek voltaképp a félvezető diódák működésének egy nem kívánt jellemzőjéből fejlődtek ki. Ennek a jelenségnek a felhasználása forradalmi, de általában kevesen gondolnak bele, pedig jelentős technikatörténeti lépcső, ugyanis ez az emberiség történetében az első (és mindeddig egyetlen) fényforrás, ahol a fényhatás direkt elektronlumineszcenciaként áll elő és nem valamilyen magas hőmérsékletű égés, izzás vagy kisülés melléktermékeként.



3. ábra. A LED-ek működési elve

Az 50-es évek végétől többen is kísérleteztek különféle félvezetőkkel, míg az első kereskedelmi forgalomban is kapható LED, vagyis fényemittáló dióda (Light Emitting Diode) 1962-ben jelent meg. Ez még nem a látható, hanem az infravörös tartományban működött, és fényereje olyan csekély volt, hogy csak száloptikai berendezésekben, esetleg galvanikus leválasztásra tudták használni. Az első látható fényű példány alig fél évvel ezt követően jelent meg, de az alkalmazási köre azonos volt. A technika a 70-es évekre jutott el odáig, hogy már olcsón és nagy tömegben tudott piros, zöld és sárga színekben ilyen kicsi világítóeszközöket előállítani. Ezek fénye még általános világításra elégtelen volt, de a kontrollcélokra (jelzőfény) korábban használt apró izzólámpákat drámai gyorsasággal szorították ki, mivel energiaigényük a töredéke, míg élettartamuk a sokszorosa volt azokénak, ráadásul alig termeltek hőt.

A nagy áttörés 1994-ben következett be, amikor az **Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Shuji Nakamura** japán kutató-triónak sikerült kék fényt kibocsátó LED-et készíteni. Ennek jelentősége abban keresendő, hogy így az alapszínek kombinációjával már lehetségessé vált egy általános világítási célra is alkalmas fehér fényt kibocsátó eszköz megalkotása. Újabban ezt a bizonyos három alapszínen alapuló (Red-Green-Blue, azaz vörös-zöld-kék) RGB technikát már csak ott alkalmazzák, ahol kívánt cél a szín változtathatósága (pl. projektoroknál), mert az eltérő színek mögött más-más félvezető és eltérő nyitófeszültség rejtőzik, ami bonyolulttá és költségessé teszi a gyártást. Így is tagadhatatlan viszont, hogy a nagy fényerejű LED-ek technológiája teljes egészében a kék LED-eken alapul. E felfedezés fontosságát az is bizonyítja, hogy a három japán tudós 2014-ben a Nobel-díjat is átvehette munkásságáért.

Manapság a fehér fényt adó LED-ek alapja az Indium-Gallium-Nitride (InGaN) félvezető-ötívzet. Ez alapesetben az UV-hez közeli, de még a látható tartományba eső kb. 450 nm-es kék fényt bocsát ki, a kívánt fehér fényt a diódák felszínére felvitt foszforos réteggel érik el. Érdemes megemlíteni, hogy ez a félvezető az ellenkező célú ún. fotovoltatikus eszközöknél is az egyik legfontosabb alapanyag, mert adott mennyiségű fényből jelenleg az InGaN napelemek állítják elő az egyik legtöbb áramot. Az ilyen típusú félvezetők előállítása viszonylag olcsó, így a legkorszerűbb LED-ek már jelenleg is versenyképes áron készülnek, ami a tömeges elterjedéssel párhuzamosan várhatóan további költségcsökkenést fog okozni.

## 5.2. A LED-ek jellemzői

Fontos hangsúlyozni, hogy a fény magában a félvezető anyagban keletkezik, ezért a LED-eket szilárdtest fényforrásoknak is nevezik. A technológia előnyei többé-kevésbé bárki számára nyilvánvalóak, de azért érdemes őket számba venni. A jelenleg kapható fényemittáló diódák fényhasznosítása meghaladja a 100 lumen/W-ot, és ami egyedülálló, hogy ehhez a hatékonysághoz nem szükséges az ipari, közvilágítási dimenzió, már az 1-2 W-os elemi félvezető chippek is hozzák ezt az értéket. Egy LED, amint rákapcsolják a szükséges feszültséget, mindenféle bemelegedési idő nélkül, azonnal teljes erővel világít, és ha kikapcsolják, azonnal kialszik. Bár van saját hőtermelése, az minimális, így nincs számottevő hőtágulása sem.

A jelenlegi LED-ek várható élettartama meghaladja az 50 000 órát (egyes típusoknál akár a 100 000 órát!), amely értéket a kibekapcsolások száma egyáltalán nem befolyásol. Élettartamuk alatt öregsznek, azaz veszítenek a fényteljesítményükből. Ez a jelenség az első generációs, de már világítási célra gyártott LED-eknél még elég aggasztó volt, akár a kezdeti fényáram 50%-át is elveszthették az első 15 000 órában. A jelenleg kapható típusok szerencsére már lényegesen jobb paraméterekkel bírnak e téren. Egy 50 000 órás élettartamot ígérő LED-es eszköz az elvi élettartama végére kb. 20%-ot halványul. Ez az érték nagyjából megegyezik a fénycsövekével, bár azok élettartama csak kb. harmada a LED-ének. A félvezető eszközök fényereje is függ a környezeti hőmérséklettől, de ez normál klimatikus viszonyok között legfeljebb 1-2% változást okozhat. A mechanikus behatásokra a félvezető chip gyakorlatilag szinte teljesen érzéketlen. Akár 100 g gyorsulást is elvisel, és egy véletlen ejtéstől sem törik azonnal össze, ami igen fontos tényező az alkalmazhatóság vonatkozásában. E tekintetben inkább a hordozóanyag a szűk keresztmetszet, nem maga a LED.

A legelső félvezető diódás világítóeszközöknél a kész, üvegburával, vezetékkel gyártott LED-eket applikálták a tartószerkezetre (ilyen típusokat a Távol-Keleten még most is gyártanak), de a korszerű eszközök ma már jobbra SMD<sup>3</sup> vagy a még korszerűbb COB<sup>4</sup> technológiával készülnek. A LED-ek tömege rendkívül csekély, és a chi-

---

<sup>3</sup> Surface Mounted Device. Felületszerelt eszköz. A félvezető elemeket ennél a technológiánál nem látják el tokozással, hanem a gyártás legelső lehetséges fázisában rögzítik a hordozófelületre.

<sup>4</sup> Chip on Board. Ennél a technológiánál a félvezető réteg már magán a hordozórétegen kerül kialakításra.



pek igen aprók, még a legnagyobbak is csak 1 cm<sup>2</sup> körüliek. Megemlítendő, hogy nagyobb teljesítményű lámpatestekhez olyan sok elemi chip kellhet, hogy azok fizikai elhelyezése szűkösebb helyeken már problémás lehet. A LED-ek UV és rádiófrekvenciás sugárzása elhanyagolható, működés közben nem adnak ki hangot. A LED-ek színvisszaadása alapesetben viszonylag gyenge, de ez a foszforos befoinat megfelelő összetételével egyszerűen (jóval egyszerűbben, mint bármely más elvű fényforrásnál) kompenzálható, mint ahogy gyakorlatilag tetszés szerinti módosítható a színhőmérsékletük is.



*4. ábra. Egy SMD-technológiás és egy diszkrét diódákból felépített GU-10-es fényforrás*

A legtöbb vetélytárs-technológia pontszerű fényforrást hoz létre, vagy pl. egy hengerpalást mentén sugároz, amit csak a mechanikus tartóelemek korlátoznak. Ezzel szemben a LED-ek csak egy kb. 60-120°-os szögben bocsátanak ki fényt. Ez bizonyos alkalmazásoknál lehet hátrány is, de általában inkább előny, mert így reflektorok nélkül is könnyen kialakítható bármilyen fényeloszlás pusztán a chippek megfelelő geometriai elrendezése segítségével. Erre jó példa a ma még csak luxusautókban alkalmazott adaptív LED-technológia, ahol a reflektor geometriáját a forgalom függvényében változtatják az elemi LED-ek ki-be kapcsolásával. Fontos az is, hogy az elemi chippek fényárama önmagában csekély, ezért a nagyobb fénytjeljesítmény elérése

érdekében (pl. közvilágítás) azok összeépítése már csak igen komoly fizikai kiterjedtség mellett lehetséges.

Az elemi fényemittáló diódák törpe egyenfeszültséggel működnek. A bekapcsolt állapotnak megfelelő nyitófeszültség - a félvezető anyagtól függően - a látható fényű LED-ek esetében 1,5 V és 4 V között változik, **ideális áram mellett**. A nagyobb feszültségeket nem tolerálja a félvezető-test, 4,5-5 V-os feszültséggel már gyakorlatilag bármelyik LED károsodhat. Ezt a veszélyt egy előtét elektronikával igyekeznek kivédeni, amelynek jelenléte egyébként is triviális minden nem 3,5 V körüli feszültségre méretezett eszköznél, így a 12 V-os fedélzeti villamossággal rendelkező gépjárműbe szánt vagy a 230 V váltakozó feszültséghez készített lámpáknál is. Szerencsére az elektronika napjainkban igen olcsó, és akár azt is lehetővé teszi, hogy pl. egy LED lámpa 110 és 240 V között bármilyen hálózati feszültségről egyformán működjön, sőt léteznek dimmelhető típusok is.

Egyes feltételezések szerint a jelenlegi legfontosabb, a LED-ek gyártásához használt félvezető, a már említett InGaN mérgező, de ez nem bizonyított. A gyártáskor keletkező por valóban irritálja a szemet és a nyálkahártyát, de ez inkább a méretéből, semmint az összetételéből következik. Az egyéb élettani összefüggései még nem ismertek, de ha vannak is káros hatásai az élő szervezetekre, az valószínűsíthetően még mindig elhanyagolható kockázatot jelent a higanyhoz képest. A fehér színű LED-ek fényét, a korábban ismertetett módon, lényegében kék színű diódákkal állítják elő, amely kék fény (460-480 nm körüli) viszont komoly hatással van az alvás-ébrenlét szabályozásáért felelős melatonin nevű hormon termelődésére. Kísérletileg igazolt, hogy LED-es világítással közvetlenül befolyásolni lehet az alvást, közvetetten pedig a teljes anyagcserét.

### 5.3. A LED-ek jövője

Amint az jól látszik, egyes paramétereiben a LED alulmaradhat a más működési elvű fényforrásokkal szemben, de összességében olyan kiegyensúlyozott teljesítményt nyújt, ami ideálissá teszi a legtöbb hétköznapi feladatra. Mellette minden egyéb technológiának csak nagyon speciális igények mellett lehet hosszabb távon létjogosultsága. A LED-ek szinte teljes világítástechnikai egyeduralmának jelenleg még gátat szab az előállításuk költsége, viszont ez a terjedésükkel párhuzamosan egyre csökken, míg a legtöbb konkurens fény-

forrás esetében a gyártási költség már nem mérsékelhető számottevő módon. A legnagyobb fényforrásokat gyártó cégek felemás helyzetben vannak. A verseny mindenképp a szilárdtest fényforrások fejlesztésére ösztönzi őket, miközben furcsa módon igyekeznek is lassítani a térnyerésüket. Ennek oka, hogy a 90-es évektől elképesztő összegeket költöttek a kompakt fénycsövek fejlesztésére és a gyártási kapacitások kiépítésére, amit egy túl gyors generáció-váltás miatt kénytelenek lennének veszteségként elkönyvelni.

Az idő mindenképpen a félvezető diódáknak dolgozik. Nem csupán a gyártási költségek csökkenése miatt, hanem azért is, mert a LED-ekben még mindig komoly fejlesztési potenciál rejtőzik, ami a versenytárs-technológiák esetében nem igaz. A hagyományos izzókban rejtőző innovációs potenciál gyakorlatilag nulla, a kisüléses lámpáknál – talán az indukciós lámpáktól eltekintve – pedig csekély. Ezzel szemben a LED-eknél még rengeteg mód van a fejlesztésre. A már jelenleg is igen jónak tekinthető határfokuk várhatóan folyamatosan növekedni fog az elkövetkezendő időszakban, mert a LED-ek működését jelentő, korábban említett spontán rekombinációknak a technika jelen szintjén még csak 1-2%-a jár fotonlesugárással, a többi a LED saját hőtermeléséért felelős. Látható, hogy itt még rengeteg a tartalék, egyes kutatók hosszabb távon nem tartják elképzelhetetlennek a 60-80%-os - vagy ezt meghaladó - határfokot sem, ami jóval 400 lumen/W feletti fényhasznosítást jelentene. Fontos megemlíteni, hogy - technológiától függetlenül - minden elektromos világítóeszköz hatékonyságának elvi határa a látható fénytartományban 683 lumen/W. A jelenlegi rekordot 2014 márciusában állították be egy COB LED-del. A prototípus a mérések szerint 303<sup>5</sup> lumen/W-ra volt képes (a LED-ek fejlődésének ütemére jellemző, hogy 2010-ben még csak 208 lumen/W-nál tartottak). Ezt az értéket más technológiákkal korábban még megközelíteni sem tudták.

## 6. A LED-ek katonai alkalmazása

A LED-es világító eszközök katonai alkalmazását tekintve célszerű két fő vizsgálati terület elkülönítése. Ezek: a „béke”- időszak – ideértve a védelmi tárca és háttérintézményei, valamint a honvédelmi szervezetek normális működési rendjét -, illetve a „harci”- időszak. Ez

---

<sup>5</sup> <http://www.cree.com/News-and-Events/Cree-News/Press-Releases/2014/March/300LPW-LED-barrier>

utóbbi alatt kerül tárgyalásra minden olyan eset (háborús helyzet, missziós tevékenység, gyakorlatok, illetve katasztrófavédelem), ahol általában a világító eszközökkel szemben speciális, a civil szférában nem jellemző igények is felmerülhetnek.

## **6.1. A LED-ek „béke”- időszak felhasználása**

A LED-ek „béke”- időszakban történő alkalmazása nem tekinthető elsődlegesen katonai logisztikai kérdésnek. Az egyes főbb alkalmazási területeket sorra véve, úgymint épületek, létesítmények, járművek világítása, őrzés-védelem, nem támasztanak olyan követelményeket, amik markánsan eltérnek a civil szféra igényeitől. Az alkalmazott eszközök teljes egészében kereskedelmi forgalomban szabadon beszerezhető termékek, a felhasználásuk elsősorban pénzügyi, költségvetési, részben környezetvédelmi kérdés. Természetesen nem lehet elmenni ezek mellett sem szó nélkül.

### **6.1.1. LED-ek felhasználása az infrastrukturális területen**

A csarnokok és egyéb nagyobb létesítmények világításában, illetve a **közvilágításban** napjainkban már a gázkisüléses és a LED-es fényforrások dominálnak, hagyományos izzókat csak a nagyon régi rendszerekben használnak, korszerűsítés esetén pedig már szóba sem jöhetnek. Mivel a színvisszaadás ezen a területen nem túl fontos, jelenleg e két technológia közel azonos szintet képvisel. Mindkét esetben igen jó a fényhasznosítás ( $> 100$  lumen/W) és az élettartam (minimum 50 000 óra), aminek okán a kivitelezők jellemzően legalább 3 év cseregaranciát is vállalnak a telepített fényforrásokra. Mivel ez a terület teljesen analóg az önkormányzatok által üzemeltetett közvilágítással, a megtérülési idő tekintetében nyugodtan tekinthető irányadónak az ott általánosan elfogadott 5-6 év. Ez egy olyan időintervallum, amelyen belül már megéri a korszerűsítés, bár annak egyszeri beruházási költsége olykor riasztóan nagy lehet. Egyedül a technológiában rejlő tartalékok miatt mégis jobbnak tekinthető a LED-ek pozíciója ebben a szegmensben. A gázkisüléses fényforrások esetében nem csak azok paraméterei tekintetében nem várható áttörés, de a gyártástechnológia vonatkozásában sem prognosztizálható jelentős költségcsökkenés, így előreláthatóan – az extrém nagy ( $> 1000$  W) teljesítményű berendezések kivételével – ezen a területen is kiszorítják konkurensüket a LED-ek.

A honvédségi tulajdonú irodaházak, lakóhelyiségek, egyéb kisebb helyiségek világításigénye jó közelítéssel megfeleltethető a civil szfé-

ra háztartási világításigényének. A **helyiségvilágítás** terén már komoly előnnyel bírnak a LED-es fényforrások. Elvégezve egy megtérülési-idő számítást – például a 75 W-os névleges teljesítményű hagyományos E27-es foglalatú „villanykörte” lehetséges kiváltására -, több összetevőt kell figyelembe venni, úgymint a lehetséges világítótestek típusa, energiadíj, várható élettartam és egyéb. A fényforrások beszerzési áráként a hazai üzletekben alkalmazott bruttó kiskereskedelmi ár, a villamos energia áránál a nem lakossági fogyasztók kedvezményeinek nélküli, 2015. évben érvényes kb. 21,5 Ft/kWh ár került figyelembe vételre. Az izzókra nincs garancia, a kompakt fénycsőre 1 év, míg a LED-re 3 év cseregarancia van. Az évi 1000 órás mesterséges fényigény a vonatkozó számításoknál egy átlagos iroda-helyiség 1 éves világítási igényének lett általánosan elfogadva. A kiváltásra szánt eszközök gyárilag az E27-es csavarmenetes foglalathoz lettek tervezve, így a csere nem jár egyéb költségekkel.

Hagyományos izzó és alternatív fényforrások 1 éves költsége

2. táblázat.

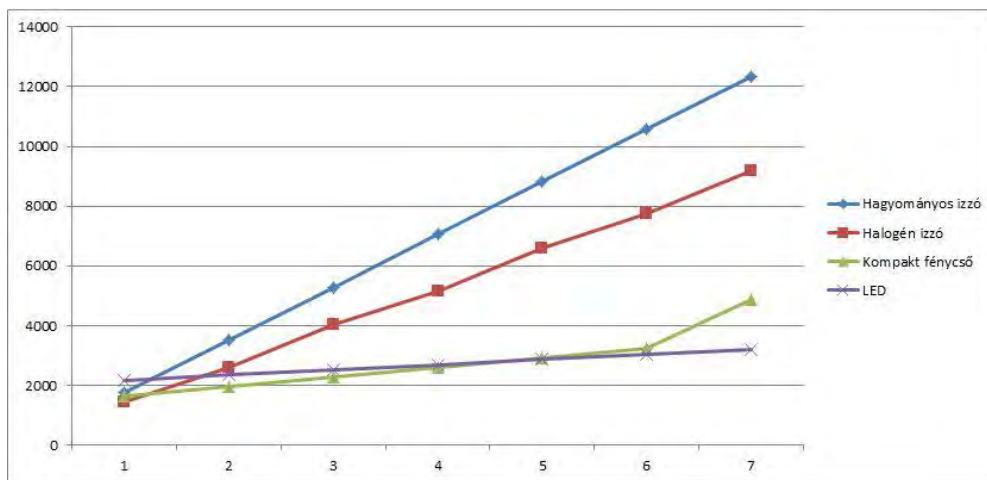
fényforrás típusa	villamos teljesítmény (W)	fényáram (lm)	élettartam (óra)	ár (Ft/db)	1000 órás (kb. 1 éves) energia	
					meny-nyisége (kWh)	ára (Ft)
hagyományos izzó	75	840	1 000	150	75	1 612,5
halogén izzó	63	820	2 000	300	53	1 139,5
kompakt fénycső	15	800	6 000	1 300	15	322,5
LED	8	850	50 000	2 000	8	172

Az 5. számú ábrán rögtön szembetűnik, hogy a halogén izzó felhasználása csökkenti a költségeket, de nem szignifikáns módon. A jelentősebb bekerülési költség ellenére a kompakt fénycső és a LED-es lámpa üzemeltetése már a második évben megtérül, majd a továbbiakban a világítási költségek jelentős csökkenését eredményezi.

A kompakt fénycső kb. 5-6 évig versenyképes alternatíva a LED-el szemben, annak előnye csak hosszú évek után válik szignifikánssá.

Természetesen, az 1000 órát meghaladó éves világítási igény vagy a villamos energia árának jelentősebb emelkedése kedvező háttérrel van a LED-es lámpa megtérülési idejére, akárcsak a beszerzési költségeinek (egyébként prognosztizálható) csökkenése.

A más teljesítményekre végzett számításoknál figyelembe kell venni, hogy az 1000 lument meghaladó fényáram előállítására képes LED-es eszközök jelenleg még aránytalanul drágák, ezért egy 100 W-os hagyományos izzó kiváltására a cikk írásakor még jobb választásnak tűnik a kompakt fénycső. A kisebb teljesítmények esetében ugyanakkor már egyértelmű a félvezető diódás technológia fölénye. Mivel a fénycsövek fajlagos fényhasznosítása a teljesítmény csökkenésével romlik, addig a LED-é azonos szinten marad, miközben egyik eszköz beszerzési ára sem sokban marad el a 75 W ekvivalens teljesítményű modellektől. Egy 25 W-os hagyományos izzó kiváltásánál a LED így már a harmadik évtől olcsóbb, mint a kompakt fénycső.



5. ábra. Fényforrások költségei az évek során (800 lumen)

Az E14-es (mignon) csavarmenetes izzók kiváltásánál gyakorlatilag ugyanilyen eredményt hozna a számítás, de van két általánosan elterjedt épületvilágítási rendszer, ahol teljesen más a helyzet. A főleg helyi világításra alkalmazott GU-10-es bajonettzáras 230 V-os, illetve a Gu-5 típusú, 3-as tüskés 12 V-os egyenfeszültségű reflektoros halogén spotlámpák helyére a fizikai méretek miatt nem lehet (legalábbis elfogadható esztétikumú) kompakt fénycsövet behelyezni. Ráadásul maguk a halogén izzók is viszonylag drágák, így a LED, mint

egyedüli alternatíva, ára már az első évben megtérülhet. A még mindig számos helyen megtalálható, hagyományos fénycsövek esetleges kiváltásakor viszont a foglalatokat is cserélni kellene, ezért a LED-ek várható megtérülése jelenleg még kívül esik a tervezhető 10-15 éves időintervallumon.

Fontos megemlíteni, hogy a félvezető diódákat már valóban tömegesen állítják elő. A chipok gyártásához ugyan komoly ipari háttérre van szükség, de az elemi chipeket gyakorlatilag bárki megvásárolhatja, és azokból egy látszólag piacképes terméket össze lehet állítani. A gyártók az olcsóbb szegmensben gyakran elfeledkeznek arról például, hogy bár a LED-ek saját hőtermelése kicsi, de azért nem nulla. Ez egy rosszul szellőző zárt burában még okozhat gondokat. Ha tehát a jó minőségű félvezetőt olyan műanyag mechanikára implementálják, amelynek a ragasztásához 60°C-on olvadó ragasztóanyagot használnak, annak lehetnek kellemetlen következményei (lásd: 6. ábra). Fontos dolog, hogy a közbeszerzés indításánál célszerű a jó nevű gyártók termékeit preferálni, ami évek során sem okoz teljesítménybeli csaldást, mert csak így éri meg igazán a fejlesztés.

A hagyományos izzók helyére becsavarható LED-es fényforrások alkalmazása terén – amíg azok ára nem lesz szokványos – számolni kell a gyakori hiánypótlással is.



*6. ábra. A hőelvezetés hiánya miatt megégett E27-es "kukorica" LED-lámpa*

Új épületek építéskor vagy felújításkor ugyanakkor már mindenképpen meg kell fontolni, hogy a világítási rendszert eleve LED-ekkel tervezzék-e megvalósítani. Kaphatóak olyan világító eszközök, ahol a fényforrás egybe van építve a foglalattal és a burával. Ezek annyi további előnnyel is bírnak, hogy az elemi LED-ek megfelelő geometriai elrendezésével, a fény a hagyományos izzóknál alkalmazott tükröző felületek nélkül is a kívánt helyre koncentrálható (a mennyezeti világítótest LED-jei pl. mind lefelé néznek). Meghibásodás esetén ugyan a teljes lámpatestet cserélni kell, de szerencsére a várható élettartamuk többnyire meghaladja a helyiségek következő építészeti felújításáig számított időt.

Összegzésképpen elmondható, hogy honvédelmi célú csarnokok, hangárok, illetve terek építése, felújítása esetén javasolt a műszaki követelmény részévé tenni a LED-es világítás kiépítését, mivel ennek többletköltsége a teljes beruházáshoz képest elenyésző, ugyanakkor a fenntartási költségek azonnal számottevően csökkennek. Meglévő létesítmények esetében a világítás cseréje a 2-5 éves megtérülés ellenére is olyan költségekkel jár, hogy a tömeges megvalósításnak jelenleg nincs realitása. Megfontolásra érdemes a honvédelmi szervezetek számára is nyitott energiahatékonysági pályázatokon történő folyamatos részvétel, illetve akár teljes egészében a tárca finanszírozásával egy-két létesítmény ilyen jellegű korszerűsítése. Ezek a mintaberuházások igazolhatnák a megtérülést, és ha a megtakarított pénzt egy alapban elkülönítve lehetne kezelni, az forrása lehetne újabb korszerűsítéseknek, így a rendszer hosszabb távon akár önffinanszírozóvá is válhatna.

A helyiségek építése vagy felújítása esetében szintén javasolt a LED-es világítás preferálása, mivel a többletköltség itt is elhanyagolható a teljes volumenben. Építészeti beruházás nélkül, önálló energetikai beruházásként is érdemes megfontolni a félvezető diódás rendszerekre történő átállást a legkorszerűtlenebb meglévő világítási architektúrák (halogénes mennyezetvilágítás, tömegesen szerelt kis teljesítményű 25-40 W-os hagyományos izzók) esetében.

### **6.1.2. LED-ek alkalmazása a közlekedésben**

A LED-ek **gépjárművek**ben történő alkalmazásánál meg kell említeni, hogy a jogi háttér még nem kellően kidolgozott. A közúti járművek forgalomba helyezésének és forgalomban tartásának műszaki feltételeiről szóló 6/1990. KöHÉM-rendelet nem tesz említést LED-ekről, minden esetben „jóváhagyási jellel ellátott” világító- és fényjelző



berendezésekről beszél. Ez a gyárilag – részben vagy egészben – LED-es világítással szerelt gépjárművek esetében nem okozhat problémát, de az utólagos beépítések esetén a gyakorlatban a műszaki vizsgaállomások józan belátására bízva a kérdést.

A LED-ek **közlekedéstechnikában** történő felhasználása nyilvánvaló előnyöket kínál. A megfelelően alkalmazott szilárdtest fényforrásokkal gyakorlatilag teljesen meg lehet szabadítani a gépjárművek fenntartóit az izzócsere gyakori és bonyolult műveletétől, mivel élettartamuk nagyságrendileg meghaladja az izzókét, és kevésbé érzékenyek a mechanikus viszontagságokra. Az a tény, hogy lényegesen kevesebb energiát fogyasztanak, ebben a kontextusban nem bír nagy jelentőséggel, mivel a gépjárművek teljes tüzelőanyag-fogyasztásának csak töredékét teszi ki az a villamos energia, amit a generátor a világítóberendezések részére állít elő. Ugyanakkor az igen előnyös tulajdonság, hogy a LED fénye a féklámpában pl. közel egy másodperccel megelőzi az izzót.

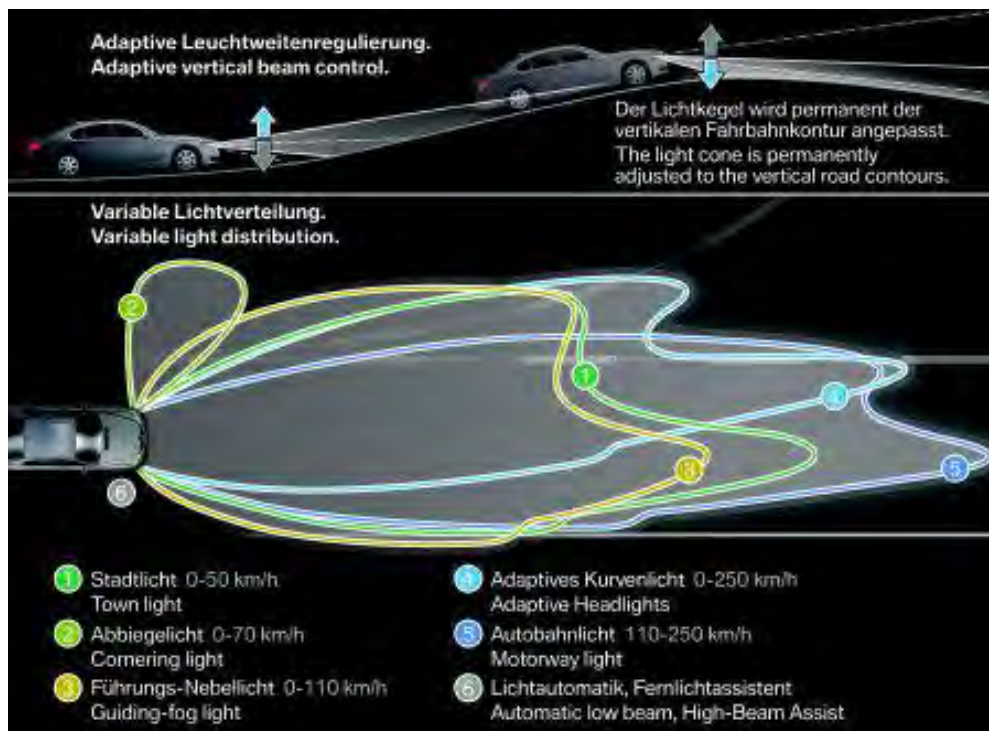
A világ vezető autógyártói természetesen felismerték ezt a lehetőséget, és ma már tömegesen alkalmaznak ilyen eszközöket. Először a közlekedés biztonságára indifferens belső térben szereltek fel LED-es világítást, majd a komplett hátsó lámpaburát és az irányjelzőket cserélték egyre több modellben ilyenekre. A prémium kategóriában ma már a fényszórókat is LED-ekkel alakítják ki, és ez a trend egy évtizeden belül várhatóan teljesen kiszorítja a halogén és xenon izzókat a gépjárműtechnikából. A fényszórók LED-es kialakítása ma még lényegesen drágább, mint a hagyományos izzó + reflektor kombináció, de kínál egy olyan lehetőséget, ami korábban elképzelhetetlen volt. Mivel a LED-es fényszóró sok elemi félvezető chipből épül fel, és ezek természetesen külön-külön is kapcsolhatóak, a rendszert megfelelő szenzorokkal és vezérlő elektronikával alkalmassá lehet tenni arra, hogy a fényszóró csóváját adaptívan<sup>6</sup>, mindig a pillanatnyi közlekedési helyzetnek megfelelően változtassa.

A hagyományos izzókhöz tervezett világítóberendezéssel szerelt autók utólagos „LED-esítése” már számos problémát felvet. Az utastérben és a csomagterben használt T5-ös, T10-es és „szofita” izzók lecserélése LED-ekre teljesen kézenfekvő. Az akkumulátort csak minimálisan terhelik (a bekapcsolva felejtett belső világítás nem meríti le az akkumulátort), de látványosan több fényt adnak. A beruházás

---

<sup>6</sup> Irányadó rendelkezés az (ENSZ-EGB 123. Előírás) „Egységes feltételek gépjárművek alkalmazkodó első világítási rendszereihez (AFS)” *Nemzeti Közlekedési Hatóság Budapest, 2012. Felülvizsgált szövegváltozat.*)

anyagilag is hamar megtérülhet mivel a jó minőségű, speciális rázkódásvédelemmel ellátott gépjárműizzók meglehetősen drágák.

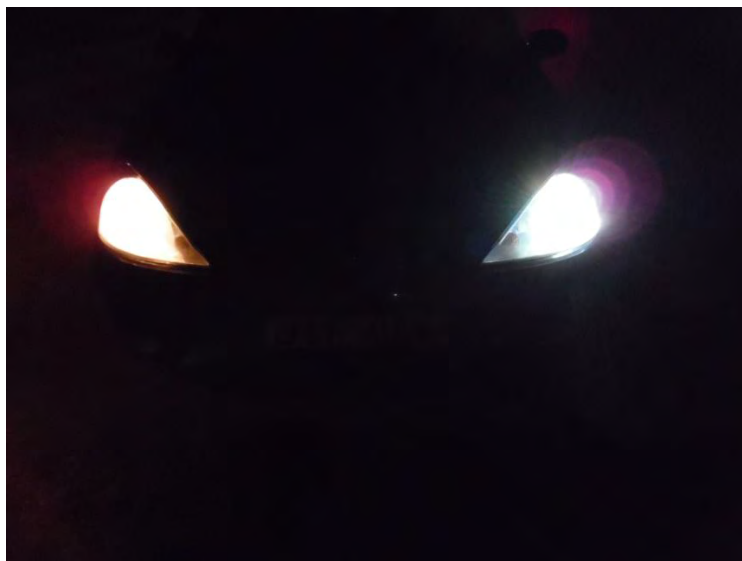


7. ábra. Adaptív LED-es világítás lehetséges nyalábsémái (forrás: <http://www.bmw.com>)

Nem rejt biztonsági kockázatot a helyzetjelzők, irányjelző- és féklámpák megfelelő minőségű LED-es fényforrásokra történő cseréje sem. Ezek ugyanis a már korábban említett előnyök mellett minden esetben jobb láthatóságot is biztosítanak. A fényszórók izzóinak LED-es cseréje jelenleg még nem csak tilos, de valóban veszélyes is. Természetesen beszerezhetőek minden foglalathoz kompatibilis LED-es lámpák, de még ha azok papíron hozzá is a megfelelő paramétereket, a reflektor fénye biztosan nem fog megfelelni az előírásoknak, mivel a szilárdtest fényforrások fényeloszlása eltér a hagyományos izzóétól.

Fontos tudni, hogy a gépjárművek irányjelzőinek villogását biztosító fedélzeti elektronika (régebbi autóknál az „indexmegszakító”) a szabványos 21 W-os izzók átfolyó áramára van méretezve. Miután a LED-ek fogyasztása (áramfelvétele) lényegesen kisebb, az irányjelző villogása sokkal gyorsabb lesz a megengedettnél, amit korrigálni kell. Azt is meg kell említeni, hogy a hagyományos izzókra tervezett gép-

kocsik világítási áramköreinek feszültsége nem szabályozott, mivel a motor leállásakor vagy indítózásakor létrejövő nagy feszültség-ingadozásokra az izzók nem érzékenyek. Ezek a lökések a LED-et viszont könnyen tönkreteszik. A megoldás a megfelelő védőelektronika alkalmazása.



*8. ábra. Menetirány szerinti jobb oldalon egy 5 W-os T10-es halogén izzó, a balon egy 1 W-os CREE LED a Ford Focusban*

A vízi- és légi járművek esetét nem érdemes külön tárgyalni. A fényemittáló diódák nyilvánvaló előnyei miatt az új típusoknál (illetve a gyári felújítások során) már eleve ilyeneket alkalmaznak, míg a régebbi gyártmányok esetében az ilyen jellegű korszerűsítés önmagában nem növeli meg jelentősen a járművek használati értékét, mivel a világítóberendezések tömege és energiafogyasztása ezrelékes nagyságrend csupán a teljes viszonylatban.

Összességében, a honvédelmi tárca tulajdonát képező közúti gépjárművek LED-es világítással való korszerűsítése jelenleg semmilyen realitással nem bír. A jogi szabályozatlanság miatt csak a gyári berendezések használhatóak teljesen legálisan, ám a gyártók a régebbi típusokhoz (néhány kivételtől eltekintve) nem forgalmazznak ilyeneket.

Új gépjárművek beszerzése esetében sem célszerű a LED-ek alkalmazását követelményként megszabni, hiszen ezek önmagukban nem javítják érzékelhető mértékben egy gépkocsi használati értékét, és esetleg kieshetnek a versenyből olyan típusok, amelyek egyébként összességében tökéletesen megfelelnek az adott alkalmazási

területen. Az autógyárak a saját érdekeiktől vezérelve lassan így is átállnak a félvezető diódák egyre több berendezésben való alkalmazására, és egy évtized múlva valószínűleg már csak elvétve lehet új autót hagyományos világítással vásárolni.

Azokban az esetekben, amikor a Honvédelmi Minisztérium finanszírozásával folyik - pl. kutatás-fejlesztési tevékenység révén - gépjármű, gépjármű-felépítmény vagy vontatmány gyártása, ott természetesen indokolt a LED-es világítóberendezések alkalmazását megkövetelni. Ez alól jelenleg még kivételt jelentenek a reflektorok és ködlámpák, mivel ezek költsége már a teljes projektköltségen is nyomot hagy. Általában a szilárdtest fényforrások legfőbb előnye valószínűleg az élettartam, és mivel a világítóberendezések ára (az említett kivételekkel) elhanyagolható a teljes projektköltséghez képest, indokolatlan a korszerűtlen, szervizigényes megoldásokhoz ragaszkodni.

### **6.1.3. LED-ek alkalmazása egyéb területeken**

Ahol mesterséges fényre van szükség, ott szinte mindenhol várható, hogy a diódák nagyrészt vagy teljes egészében kiszorítják a többi világítási megoldást. Izzószálas kontroll-lámpát talán már nem is gyártanak, a folyadékkristályos kijelzők háttérvilágítása – a mobiltelefontól a házimozsi rendszerekig – kivétel nélkül LED-es. Az, hogy egyes háztartási eszközöket, pl. hűtőgépeket, sütőket még lehet vásárolni hagyományos izzókkal, csak a gyártmányfejlesztés tehetetlenségéből adódik.

A honvédelmi célú eszközbeszerzések alkalmával - néhány kivételtől eltekintve - nem indokolt a LED-technológia felhasználásának előírása, mivel az általa kínált előnyök nem befolyásolják érdemben a termékek többségének felhasználhatóságát, hiszen azok funkcionalitásának általában csak töredéke a világítás. A gyártók idővel maguktól is áttérnek a korszerűbb technológia alkalmazására. Meglévő eszközök korszerűsítésénél, hasonló okok miatt, szintén csak elvétve található olyan eset, amikor számottevő az ily módon nyerhető műszaki többlet.

Az egyetlen terület, ahol a szerző véleménye szerint érdemes számba venni az alkalmazott világítástechnikai eszközöket, és megfontolni azok cseréjét, az az őrzés-védelem. A mozgásérzékelős lámpák többsége ma még hagyományos izzót használ, holott a LED-es fényvetők minden szempontból alkalmasabbak a feladatra, és kedve-

ző áron hozzáférhetőek. A cikk írásakor a 10 W-os, IP65-ös kivitelű, kb. 800 lumen fényáramot produkáló COB LED-es fényvető már elfogadható áron beszerezhető a hazai kiskereskedelmi forgalomban, várható élettartama pedig meghaladja az 50 000 órát.

Még ma is sok helyen használnak az őrsegek hagyományos izzós elemlámpákat a járőr feladatok során, pedig az ezek kiváltására alkalmas LED-es lámpák már igen olcsón beszerezhetőek. A LED-ek jobb tulajdonságai valószínűleg a zseblámpák és hasonló eszközök terén érvényesülnek a legjobban. A hagyományos izzók hatásfoka a teljesítmény csökkenésével drasztikus mértékben romlik. Egy kerékpárokban és zseblámpákban általánosan használt, törpefeszültséghez (max. 6 V) tervezett 3 W-os halogén izzó mindössze kb. 15-20 lumenes fényáramot produkál, a fényhasznosítás alig fele-harmada a nagyobb teljesítményű hagyományos izzókénak. Ez a csekély fény a gyakorlatban csak pár méterre ér el. Az ilyen izzót használó, még ma is kapható klasszikus zseblámpa három D típusú (góliát) elemmel ugyan elég sokáig üzemképes marad, de tömege meghaladja a fél kilogrammot, és az izzót is sűrűn kell benne cserélni.

Gázkisüléses lámpa elvben ugyan gyártható lenne ilyen kis méretben is, de kis teljesítményeknél ennek is rossz a hatásfoka, ráadásul törpe egyenfeszültségről történő üzeméhez (és gyújtásához) komoly elektronikára volna szükség, gyártásáról és forgalmazásáról nincs információ.



9. ábra. Nagyteljesítményű LED-es zseblámpa

Világító diódás alternatívaként a piacon forgalmaznak olyan kiváló paraméterekkel rendelkező zseblámpákat, amelyek teljesen alumíniumból készülnek és vízállóak. Befoglaló méreteik kényelmes fogást biztosítanak: pl. az átmérőjük 25-30 mm a legvastagabb ponton, a

hosszuk 90-100 mm, tömegük (telep nélkül) kb. 200-250 g. A fény forrása például egy Q5-ös CREE<sup>7</sup> LED, ami a 7 W-os teljesítményével kb. 450-500 lumenes fényáramot állít elő. Energiaforrása lehet egy 2200 mAh Li-ion akkumulátor, amely több mint 2,5 órás folyamatos üzemidőt biztosít maximális fényvel. Fénynyalábjuk fókuszálható, fényerejük felezhető, és egyéb funkcióik is lehetnek. Az árak elfogadható mértékű, 3000-3500 Ft-ért már beszerezhetőek.

## **6.2. A LED-ek katonai felhasználása „harci”- időszakban**

A LED-ek katonai alkalmazásánál az összes olyan példát számba kell venni, amikor egy vagy több előnyös tulajdonságuk miatt valamilyen kimondottan katonai célú eszközbe vagy harceszközbe kerülnek beépítésre. Az ilyen jellegű alkalmazásoknak fontos jellemzője, hogy általuk a felhasználó katonának, harcoló alakulatnak vagy harci eszköznek az alkalmazási lehetőségei szélesebbek lesznek vagy akár új képességekre is szert tehetnek.

### **6.2.1. LED-ek alkalmazása a tábori világítás területén**

A világító diódák minden olyan tulajdonsága igen hasznos tábori körülmények között is, amelyek alapján a béke infrastrukturális alkalmazásuk is előnyös. A tábori térvilágítás teljesen analóg a polgári közvilágítással, annyi különbséggel, hogy az alkalmazott kandeláberrek mobilak. Csaknem minden esetben összecusukthatók, a leggyakrabban utánfutóra telepítik őket, és nem ritkán saját dízel áramfejlesztővel is el vannak látva. A helyiségvilágítási analógia tábori elhelyezési körülmények között felhasznált sátrak és konténerek esetén nem teljesen állja meg a helyét, de a helyiségvilágítás vizsgálata során feltárt előnyök itt is jelentkeznek.

Rendkívül szerencsés, hogy a LED-ek alapvetően jól viselik a mostoha bánásmódot, nem érzékenyek a mechanikus behatásokra. Valódi harci körülmények között a táborok települése nem mindig zökkenőmentes, de pl. a szerelés közben bekövetkező esetleges véletlen ejtés az esetek többségében nem okoz sérülést egy megfelelően kialakított LED-es eszközben. Az elemi chippek geometriai elhelyezésének variálhatósága, illetve a csekély hőtermelés minden korábbinál alkalmasabbá teszi az ilyen fényforrások sátrakban történő felszerelését. A napjainkban kapható katonai célú vagy katonai célra is al-

---

<sup>7</sup> A CREE Inc. egy 1987-ben az Észak-Karolinai Durhamban alakult cég, amelynek a neve egybeforrta a nagyteljesítményű LED-ekkel. Jelentős gyártó kapacitással is rendelkezik és élenjár a fejlesztések terén.

kalmas konténerekben már szinte mindig LED-es világítás található, és a sátrakhoz alkalmas világítási rendszerek többsége is ilyen. Mivel a félvezető diódák törpe egyenfeszültséggel működnek, megfontolandó a hálózati működéshez szükséges elektronika központi kialakítása, így a sátrakon belül a világítás vezetékeivel kapcsolatos áramütés veszélye teljesen kizárható.

A LED kiemelkedő fényhasznosítása tábori körülmények között hozzájárulhat a túlélőképesség növeléséhez is. Egy katonai tábor missziós vagy háborús helyzetben, esetleg súlyos természeti vagy ipari katasztrófa esetén gyakran olyan helyre települ, ahol nincs polgári áramszolgáltatás vagy az nem megbízható, esetleg elégtelen a kapacitása, tehát a tábor villamos energia ellátása lényegében a dízel áramfejlesztőktől függ. A tábor jellegétől függően a teljes villamos energia-fogyasztásának 10-30%-a is a világítás számlájára írható, így egyáltalán nem mellékes kérdés, hogy mennyi üzemanyag felhasználását igényli a működtetés, milyen teljesítményű áramfejlesztők szükségesek.



*10. ábra. Teleszkópos tornyon elhelyezett 4x150W teljesítményű (kb. 50 000 lumen) LED-es lámpa, saját aggregátorral az utánfutóján  
(forrás: <http://www.larsonelectronics.com>)*

### **6.2.2. LED-ek alkalmazása katonai gépjárművekben, harcjárművekben**

Általánosságban elmondható, hogy a LED-ek ilyen területen történő alkalmazása nagyjából ugyanolyan előnyökkel jár, mint a polgári célú személygépkocsinál. Hangsúlyossá válik viszont az a tény, hogy mechanikusan rendkívül „strapabíróak”, illetve hogy akár a harcjárművek teljes élettartamát kiszolgálhatják csere nélkül. Ismert tény, hogy egyes jól sikerült konstrukciókat (pl. az amerikai M-60 vagy az orosz T-72 harckocsi) akár 40-50 évig is hadrendben tartanak, de ez csalóka adat, mert átlagosan 10 évente teljes ipari nagyjavításon, illetve korszerűsítésen is átesnek szolgálati idejük alatt.

A harcjárművek funkciójából adódóan a világítóberendezések mindig fokozott sérülésveszélynek voltak kitéve, ugyanakkor elsősorban a javíthatóság miatt szinte sohasem integrálták őket a páncéltestbe, hanem azon kívül helyezték el őket. Ezen a gyakorlaton változtathat a LED-ek megjelenése, és várható, hogy a következő generációs harcjárművek „áramvonalasabbak” lesznek elődeiknél. Ez a folyamat ugyanakkor igen sokáig eltarthat, mivel pl. egy teljesen új harckocsi kifejlesztése és hadrendbe állítása akár egy évtizedig is eltarthat.

Jó példa erre, hogy a világszerte az utolsók között, 2010-ben rendszeresített japán Type-10 harckocsin még hagyományos fényszórók kerültek elhelyezésre, de a 2013-as dél-koreai Fekete Párduc (ROTEM K2) fényszórói már LED-esek. A modernizációk során is lassan, de biztosan teret nyernek a világító diódák. Az egyébként 1963 óta gyártott amerikai M-109 önjáró tarack utolsó, A6-os (Paladin) modifikációján a zárófény pl. már LED-es. A harcjárművek fejlődése napjainkban viszonylag lassú folyamat, így sok időbe telhet, míg a LED-ek itt is átveszik a hagyományos izzók szerepét, ugyanakkor erre már most is egyértelmű az igény. Ennek ékes példája, hogy már a technikailag nehezen megvalósítható LED-es fényszórónak is létezik sorozatban előállított katonai kivitelű változata. Az amerikai Truck-Lite cég gyárt olyan fényszórót, amivel könnyen lecserélhető a tengeregentúlon leginkább elterjedt 7 inch átmérőjű szabvány gépkocsi-reflektor.

A katonai gépjárművek döntő többsége valamilyen polgári célú teherjáró vagy tehergépjármű bázisán épül, így a LED-ek elterjedésére már a közeli jövőben lehet számítani, mert a nagy autógyárak a piaci igényeknek megfelelően ebben a szegmensben is elkezdik azokat beépíteni.



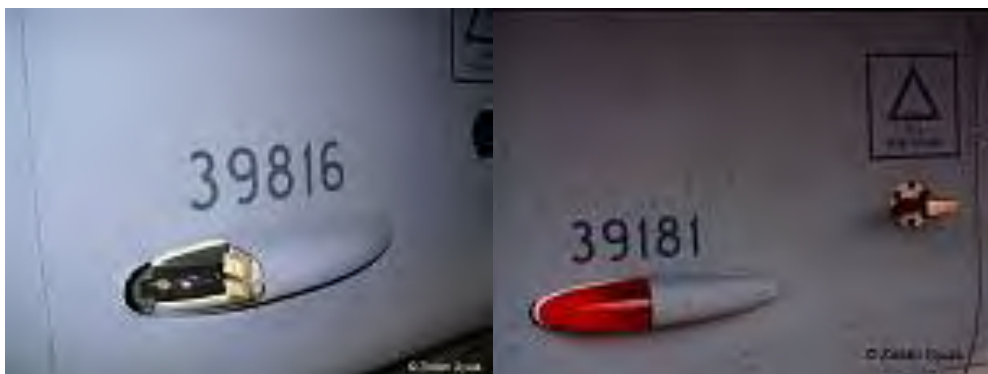


11. ábra. A dél-koreai ROTEM K2 (Fekete Párduc) harckocsi már LED-es reflektorral van felszerelve  
(forrás: <http://www.koreatimes.co.uk>)

### **6.2.3. LED-ek alkalmazása harci repülőgépekben, helikopterekben**

A LED-ek légi járművekben történő alkalmazása többé-kevésbé azokkal az előnyökkel jár, mint a katonai gépjárműveknél, de az itt már határozottabb előny, hogy az izzókkal szemben a félvezető chip-ek esetében nem kell semmilyen költséges gyártástechnikai megoldás ahhoz, hogy a világítóberendezés akár 10 g-s gyorsulás mellett is üzemképes maradjon. Az is igaz továbbá, hogy a modern harci repülőgépek vagy helikopterek tömegének és energiaigényének csak elhanyagolható részéért felelős a világítás, de a csúcstechnológiás gépeknél már olyan kiélezett küzdelem folyik minden grammért és mW-ért, hogy a LED-ek teljes penetrációja ezen a területen valószínűleg néhány éven belül megvalósul.

Példának okán az amerikai F-16 Fighting Falcon harci repülőgépek esetében már a Block 50/52 modifikáció, illetve természetesen az újabbak fedélzeti fényei teljes egészében világító diódákkal lettek megvalósítva. A svéd JAS-39 Gripen A és kétüléses B változatának navigációs fényei még színes lencsékkel kerültek kialakításra, de az exportra (így hazánkba) is szállított C és D változatok már RGB technológiás LED-eket kaptak. Ennél a változatnál LED-esek a szárny és a függőleges vezérsík fényei is, bár a leszálló fényoszóró még halogén izzós.



12. ábra. A svéd JAS-39 Gripen régi és új változatának navigációs fényei

(forrás: <http://www.gripenblogs.com>)

#### 6.2.4. LED-ek alkalmazása az egyéni felszerelésekben

A modern hadseregek lövészkatonái esetében az alkalmazhatóság egyik legfontosabb időbeni korlátja, hogy az alapfelszerelésen (ruházat, fegyver, védőfelszerelés, stb.) málhaként legfeljebb három napra elegendő ellátmányt (lőszer, élelmiszer, stb.) képesek magukkal vinni. Ennek a kicsit több mint 40 kg-nak a cipelése a végsőkéig próbára teszi a katonák fizikai erejét és kitartását, ezért különösen fontos minden olyan innováció, ami valamelyest is képes enyhíteni ezen a terhen.

A LED-ek már kis teljesítményeknél is megvalósuló rendkívül jó fényhasznosítása miatt jóval kevesebb energiát, következésképpen kisebb tömegű akkumulátort igényelnek, mint a hasonló képességű izzólámpák. Ennek megfelelően a katonák személyi felszereléséhez tartozó zseblámpa, illetve taktikai sisaklámpa már szinte minden hadseregben kötelezően LED-es.

A fényemittáló diódák szinte összes jó tulajdonságát kihasználja a brit Metaliteaviation cég TALKIT nevű készlete. A Tactical Airfield Lightning KIT (taktikai reptéri fényjelző készlet) tulajdonképpen egy mobil leszálló-világítás, elsősorban helikopterek számára. Korábban egy ideiglenes helikopter-leszállóhely kijelölése a harctéren csak korlátozott vizuális jelzésekkel volt lehetséges. A karlengetés, lámpával történő körzés mellett a világító fáklyák voltak csupán a lehetséges jelzési módok. Ez utóbbiak ugyan viszonylag jól alkalmazhatóak, de az égési idejük korlátozott, és csak egyszer lehet őket használni. Ezekhez képest a TALKIT sokrétűsége nagyságrendileg teszi biztonságosabbá a helikopterek egyébként nem kevés kockázatot rejtő leszállását egy ismeretlen terepen ideiglenesen kijelölt leszállóhelyre.

A készlet lényegében egy igen masszív, közel 25 kg-os bőrönd, ám ennek csaknem fele maga a rendkívül ellenálló bőrönd és a beépített akkumulátortöltő. A készlet összes tartozéka a bőröndben elhelyezve, szállításra kész állapotban is tölthető. A készlet lelke az a 8 db fényelem, amelyek egyenként már csak 0,8 kg-ot nyomnak. Ezeket a talajba lehet szúrni, vagy egy, betonra is rögzíthető háromlábú állványra lehet elhelyezni, így igény szerint különféle alakzatok rakhatók ki belőlük (pl. kereszt, kör). A fényelemekből csoportokat is alkothatnak (maximum 4-et). A biztonságos üzemeltetés érdekében a fényelemek egyenként, csoportokban vagy mind együtt rádiótávvezérelhetőek.



*12. ábra. A TALKIT teljes készlete a bőröndben töltődik, egy fényelem kiemelve, a saját tripodján önállóan működtetve*

Mindegyik fényelem képes vörös, zöld, illetve nagy fényerejű fehér, továbbá infravörös fényt is kibocsátani, és természetesen képes ezeknek a kombinálására vagy egy-egy program szerinti folyamatos változtatására. A gyári specifikáció szerint egy teljesen feltöltött fényelem 8 órán keresztül tud üzemelni a legtöbb energiát igénylő folyamatos fehér fényű üzemmódjában. A szerzőnél járt készlet fényelemei – valószínűsíthetően az akkumulátorok életkora miatt – csak 7,5 órát tudtak teljesíteni, de ez még így is feltűnően komoly eredmény egy ilyen, nem túl nagy akkumulátorral szerelt eszköz esetében.



*13. ábra. Egy fényelem leszerelt üvegburával. Az alumíniumház 80%-át az akkumulátor foglalja el. A több eltérő szín miatt a LED-csoport diszkrét fénydiódákból van felépítve. Legfelül található a rádióvezérlés vevőantennája*

## **Összegzés**

A LED-ek felhasználása a védelmi szférában egyrészt elkerülhetetlen, hiszen a háttérpar folyamatosan áll át a tömeges alkalmazásra, másrészt szükséges is, mivel a honvédelem nem nélkülözheti azokat az előnyöket, amelyeket ezek a korszerű fényforrások biztosítanak. A szilárdtest fényforrások belátható időn belül a világítási igények területének nagy részéről kiszorítják a konkurens technológiák többségét, azok jelentősége folyamatosan csökken, számos közülük hamarosan marginálissá válik.

Az alkalmazott félvezető-technika még messze nem érte el lehetőségének határait, így várható, hogy bár forradalmi áttörések nélkül, de folyamatosan egyre korszerűbb LED-ek hagyják el a gyártósorokat. Miközben tulajdonságaik tovább javulnak, a tömegtermelésnek köszönhetően valóban filléres eszközökké válnak, így reális esély van rá, hogy a következő generációk már csak technikatörténeti kuriózumként találkozhatnak volfrámszálas izzólámpával.

A világítástechnika evolúciójának a honvédelemben is meg kell történnie. A nyugati világ egyre inkább olyan elvárásokat támaszt a korszerű fegyveres erőkkel szemben, amelyeknek muszáj figyelmet fordítaniuk a környezetvédelemre és az energiahatékonyságra. A folyamat részeként a Honvédelmi Minisztériumnak és a Magyar Honvédségnek is meg kell alkotnia saját energia-politikáját, amelyekben biztosan helyet kapnak a fényemittáló diódák. Ezek a gazdaságossági és ökológiai kérdések az élet szinte valamennyi területén jelen vannak, de a LED-ek a védelmi szektornak olyan előnyöket is kínálnak, amelyek nem mérhetőek pusztán forintokban. Katonák testi épsége, küldetéseik sikere múlhat azon, hogy minden körülmények között az elérhető legjobb harctéri technikát használják, amely a világítástechnika esetében vitán felül a LED.

### **Felhasznált irodalom:**

- [1] Klipstein, Donald L.: The Great Internet Light Bulb Book, Part I. (1996)  
<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/The%20Great%20Internet%20Light%20Bulb%20Book.pdf>
- [2] The History of the Light Bulb <http://energy.gov/articles/history-light-bulb>
- [3] The History of the Light Bulb <http://www.thehistoryof.net/the-history-of-the-light-bulb.html>
- [4] Israel, Paul: Edison: a Life of Invention (Wiley, San Francisco 1998)
- [5] A Tungsram Rt. története 1896-1996  
<http://mek.oszk.hu/08700/08736/08736.pdf>
- [6] A világítástechnika története  
[http://epa.oszk.hu/00200/00220/00014/pdf/firka\\_EPA00220\\_2000\\_2001\\_06\\_227-235.pdf](http://epa.oszk.hu/00200/00220/00014/pdf/firka_EPA00220_2000_2001_06_227-235.pdf)

- [7] [Lightning Technologies: A Guide to Energy-Efficient Illumination (Energy Star, Washington 2013)
- [8] Dr. Kutor László: Fejezetek az Információ-technológia Kultúrtörténetéből <http://web.ift.njszt.hu/23r4r23r/uploads/2012/FIKT/ITK-2012-5.pdf>
- [9] Poppe Kornélné - Dr. Borsányi János: Világítástechnika I. (BMF KVK 2024, Budapest 2005)
- [10] Compact Fluorescent Light Bulbs (Energy Star, Washington 2010)
- [11] CFL Bulbs Have One Hitch: Toxic Mercury (National Public Radio, Washington 2007)
- [12] Masamitsu, Emily: The Best CFL Bulbs (Popular Mechanics, New York 2007)
- [13] Agnelle, Amber: Will LED Light Bulbs Best Your CFLs and Incandescents? (Popular Mechanics, New York 2011)
- [14] Bellis, Mary: The History of Fluorescent Lights (Aout.com: 2008)
- [15] Laughton, M. A.: Electrical Engineer's Reference Book, Newnes, 2003)
- [16] [http://www.osram.com/osram\\_com/news-and-knowledge/compact-fluorescent-lamps/compact-fluorescent-lamps-pin-base/professional-knowledge/amalgam-technology/index.jsp](http://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/compact-fluorescent-lamps/compact-fluorescent-lamps-pin-base/professional-knowledge/amalgam-technology/index.jsp)
- [17] Moreno, Ivan – Avenado-Alejo, Maximino – Tzonchev, Rumen I.: Designing light-emitting diode arrays for uniform near-field irradiance (Applied Optics, Sanford 2006)
- [18] Moreno, Ivan – Contreras Ulises: Color distribution from multicolor LED arrays (Optics Express, West Lafayette 2007)
- [19] Lonsdale, Sarah: Green property: energy-efficient bulbs (The Daily Telegraph, London 2011)
- [20] Efremov, A. A. - Bochkareva, N. I. - Gorbunov, R. I. - Lavrinovich, D. A.; Rebane, Y. T. - Tarkhin, D. V. - Shreter, Y. G.: Effect of the joule heating on the quantum efficiency and choice of thermal conditions for high-power blue InGaN/GaN LEDs (Pleiades Publishing, Moscow 2006)
- [21] Zhedulev, N.: The life and times of the LED: a 100-year history (Nature Photonics, London 2007)

- [22] <http://www.edisontechcenter.org/LED.html>
- [23] Truck Lite katalógus <http://www.truck-lite.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?storeId=10001&productId=106527>
- [24] Dolin, P. J.: Ultraviolet radiation and cataract: a review of the epidemiological evidence (British Journal of Ophthalmology, London 1994)
- [25] Mariana, G. Figueiro, Mark S. Rea: The Effects of Red and Blue Lights on Circadian Variations in Cortisol, Alpha Amylase, and Melatonin (International Journal of Endocrinology, New York 2010)