

Hosszú élettartamú fényforrások megbízhatóságának vizsgálata

– Tóth Zoltán –

A cikk bemutatja, hogy tipikusan milyen formában adják meg a gyártók az élettartamgörbéket, ezek különböző fajtáit, hogyan kell értelmezni őket. Kitér néhány felhasználási területre, például az optimális cserestratégia meghatározására. Ismerteti, hogy miért hasonló jellegűek a különböző működési elvű és különböző anyagokból készült fényforrások, például a nagyintenzitású kisülőlámpák és a LED-ek élettartamgörbéi.

1. Bevezetés

A világítástechnika mindennapi életünk részét képezi. Az világításhoz felhasznált energia és a karbantartás emelkedő költségei, a környezetbarát és energiatakarékos rendszerek iránti igény a meglévő termékek folyamatos fejlesztését teszi szükségessé. E fejlesztések egyik központi célja a termékek élettartamának növelése. A fényforrások megbízhatóságának pontos ismerete kiemelt jelentőségű a világítást üzemeltetők számára. A meghibásodások ütemének ismerete teszi ugyanis lehetővé a cserestratégia optimalizálását és a csere költségek tervezését. Az üzemeltetőnél jelentkező közvetlen haszon mellett a hosszabb élettartam azonban környezetvédelmi haszonnal is jár. Minél hosszabb ideig használhatunk egy adott terméket, annál ritkábban kell azt cserélni és annál kevesebb hulladék keletkezik. E hulladékok természetesen az adott lámpára vonatkozó megfelelő visszaforgatási eljárások eshetnek át, mindenképp keletkezik azonban valamekkora mennyiségű nem recikálható hulladék, e hulladékmennyiség csökkentése és az ezáltal elért kisebb környezetterhelés mindannyiunk számára előnyt jelent. Jelen cikk megírását két dolog ösztönözte. Egyfelől folytatja a korábbi évkönyvekben megjelentetett írások sorozatát. A cikksoro-

zat első részében egy általános képet adtunk a nagyintenzitású kisülőlámpák alkalmazási ciklusáról az alap kutatástól az üzemeltetésig [1]. Bemutattuk a legfőbb fejlesztési szempontokat, illetve ezen fejlesztések főbb lépéseit a vevői igények felmérésétől a kifejlesztett termék validálásán keresztül az üzemeltetés során fellépő kérdésekig, röviden említve az alap- és alkalmazott kutatások néhány főbb területét. Egy kapcsolódó cikkben – az Elektrotechnika 2006. évi világitástechnikai célszámában – a fejlesztés anyagtudományi részének fizikai vonatkozásaira térünk ki részletesen [2]. A cikksorozat második része követte ezt a vonalat: folytattuk a konkrét termékfejlesztéshez szükséges kutatások eredményeinek bemutatását, főleg az anyagtudományi részek kemia vonatkozású eredményeit ismertettük, legfőképp a CMH- (Ceramic Metal Halide, kerámia fémhalogén-) lámpában lezajló folyamatokra koncentrálnak [3]. A legutóbbi évkönyv egy konkrét fejlesztési részterület, a CMH-lámpák fénytartásának javítását célzó kutatás részleteibe és eredményeibe nyújtott betekintést. Egy olyan vizsgálati módszert mutatunk be, amellyel a fényáramcsökkenést okozó folyamatok dinamikáját kívánjuk tanulmányozni. Ez a részterület már közvetlenül kapcsolódik a fényforrások megbízhatóságának kérdéséhez, hiszen hiába is lesz akár örök életű egy lámpa, ha a használat során oly mértékben csökken a kezdeti fényárama, hogy az alkalmazását gyakorlatilag lehetlenné teszi a kevés kibocsájtott fény. A másik ösztönző dolog a Társaság III. LED konferenciáján történt. Az egyik előadás során vetődött fel a hosszú élettartamú lámpák, nevezetesen a nagyintenzitású kisülőlámpák és a LED-ek élettartamának meghatározása, az elérhető adatok értelmezése, a gyártók által alkalmazott különbözőnek tűnő formátumok összehasonlítása. A cikk ebben próbál segítséget nyújtani a felhasználók: tervezők

Hosszú élettartamú fényforrások megbízhatóságának vizsgálata

és üzemeltetők részére. Segítséget nyújthat a cikk az üzemeltetők részére a már meglévő installációk meghibásodás adatainak kiértékelésében is.

2. A meghibásodásokat leíró statisztikai módszerek

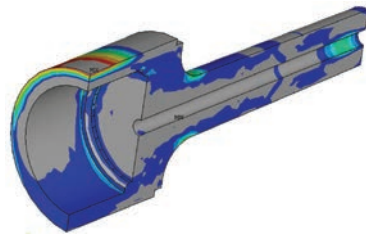
A meghibásodások számának időbeli függését statisztikai eloszlásokkal írhatjuk le. Ennek anyagszerkezeti okai vannak. Tekintsük példaképp a kerámia fémhalogénlámpa fő alkatrészét, az égőtestet képező kerámiát. (A nagyintenzitású kislámpák típusait, illetve ezen típusok felépítését mind a cikk-sorozat egyik előző része [3], mind pedig a Közvilágítási Kézikönyv [5] részletesen ismerteti, így az 1. ábra csak egy tipikus kerámia fémhalogénlámpa fényképét mutatja). A kerámia égőtestek különböző alakúak. Működés közben az égőtest különböző pontjai különböző hőmérsékletűek, emiatt a hőtágulási anizotrópiák következtében az égőtestben hőfeszültségek alakulnak ki. A 2. ábra szemlélteti az égőtest különböző helyein működés közben kialakuló feszültségértékek eloszlását.



1. ábra: ConstantColorTM CMH G8.5 és G12 Kerámia Fémhalogén lámpa. A kvarc külső búrában található az alumínium-oxid kerámiából készült égőtest.

A kerámiák feszültségtűrő képességét vizsgálhatjuk például három-, vagy négyponos törőberendezésekkel [6]. A mérnöki gyakorlatban régóta tudott, hogy a törés mindig

egyedi esemény, körülményeinek pontos megadása csak valószínűségi értelemben történhet. Azonos anyagú és geometriájú próbatestek a látszólagos teljes hasonlóság ellenére különböző terheléseknél törhetnek el. Egy adott terhelésnél tehát nem tudjuk megmondani, hogy az éppen vizsgált próbadarab eltörik-e. Azt tudjuk csak megmondani, hogy az adott terhelésnél az adott próbadarab mekkora valószínűséggel fog eltörni. Ezen valószínűség függését a terhelőerő függvényében nevezzük eloszlásfüggvénynek [7]. Hasonló módon, egy adott lámpánál sem tudjuk megmondani, hogy egy adott használati idő után még működni fog-e. Itt is csak egy valószínűséget tudunk mondani, hogy az adott lámpa mekkora valószínűséggel fog működni az adott égetési körülmények között. (Természetesen az égetési körülmények, a ki-be kapcsolások gyakorisága, a külső hőmérséklet és még megannyi tényező befolyásolja ezt a valószínűséget, de az egyszerűség kedvéért tételezzünk fel – a fenti kerámia törési példához hasonlóan – egy elvileg azonos, „standard” tartósejtési eljárást, például klimatizált és kontrollált páratartalmú szobában, egyedi lámpatestekben, azonos működtető egységekről üzemelő lámpák adott ki-be kapcsolási cikluson üzemeltetve.)



2. ábra: Egy tipikus kerámia fémhalogén lámpa égőtestjében kialakuló feszültségviszonyok végeelem modellezése, relatív egységekben. A maximális húzófeszültség az MX jelű pontban jött létre.

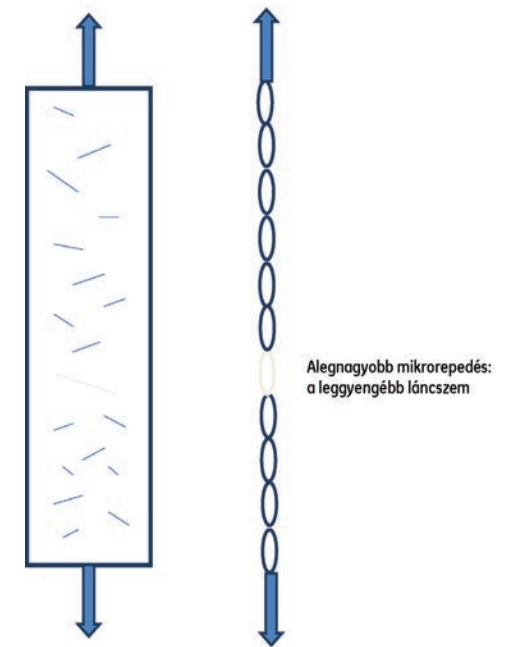
Vizsgáljuk meg a lehetséges eloszlástípusokat. Az első eloszlás, ami mindenkinek az

Hosszú élettartamú fényforrások megbízhatóságának vizsgálata

eszébe jut, a normális- vagy Gauss-eloszlás. Jelentőségét a központi határeloszlás tétel adja. Ez azt mondja ki, hogy ha van megfelelően nagy számú (bizonyos feltételeknek megfelelő) független valószínűségi változóm, akkor ezek átlaga normális eloszlású lesz. Köznapi nyelvre lefordítva ez azt jelenti, hogy ha egy folyamatot több paraméter összege határoz meg, akkor ez a jelenség normális eloszlású lesz. Ezért követ normális eloszlást az élet számos jelensége és folyamata.

Más azonban a helyzet a fent bevezetett kerámia törési problémánál. A kerámiában egy adott térfogatban vannak különböző hosszúságú mikrorepedések, amik a jelen levő mechanikai feszültség miatt idővel addig nőnek, amíg elérnek egy adott hosszúságot, amikor is a kerámia makroszkópiusan megreped és eltörik. Ennek az időtartama, azaz a meghibásodásig eltelt idő függ a repedés kezdeti hosszától. Az alkatrész időtartamát tehát az adott térfogatban lévő leghosszabb kezdeti mikrorepedés határozza meg. Igaz ez az egyszerűsített kerámiatörési vizsgálatunkra is: minél nagyobb ez a kezdeti mikrorepedés, annál kisebb feszültség hatására fog a kerámia eltörni, azaz a töréshez szükséges terhelőerőt itt is a leghosszabb kezdeti mikrorepedés határozza meg, tulajdonképpen függetlenül az összes többi, tőle kisebb repedés hosszától, azok eloszlásától. Nem más ez, mint a leggyengébb láncszem esete: ahogy a lánc is a leggyengébb szemnél fog elszakadni, ha meghúzzuk, a kerámiánk is leghosszabb mikrorepedés mentén fog eltörni. Ha a kerámiánkat egy rúdunk képzeljük, amit húzófeszültségnek vetünk alá, a leggyengébb láncszemnek a leghosszabb mikrorepedést tartalmazó kis térfogatelem fog megfelelni, itt fog a rúdunk eltörni (3. ábra). Egy olyan, úgynevezett szélsőértékeloszlást kell tehát keresni, amivel véletlen változók csoportjának maximumát vagy minimumát modellezhetünk, azaz olyan folyamatok leírására szolgál, ahol a jelenség lefolyását egy meghatározó

paraméter legkisebb vagy legnagyobb eleme határozza meg. Az egyik leggyakrabban használt ilyen eloszlás a Weibull-eloszlás. Az eloszlás jellegéből kifolyóan minden szélsőértékek által meghatározott folyamat leírására alkalmas lehet. Más paraméterek és más fizikai folyamatok játszódnak le a LED-ek esetében is, de a folyamatok időbeli leírásához és a meghibásodások időbeli függéséhez itt is hasonló statisztikai módszereket alkalmazhatunk. Ezért lehet az elvileg teljesen különböző működési elvű és anyagokat tartalmazó fényforrások élettartamgörbéje hasonló jellegű.



3. ábra: A leggyengébb láncszem koncepció a rideg anyagok repedékenységre

A kerámiák feszültség tűrő képességét vizsgálhatjuk például három-, vagy négyponos törőberendezésekkel [6]. A mérnöki gyakorlatban régóta tudott, hogy a törés mindig egyedi esemény, körülményeinek pontos megadása csak valószínűségi értelemben történhet. Azonos anyagú és geometriájú próbatestek a látszólagos teljes ha-

Hosszú élettartamú fényforrások megbízhatóságának vizsgálata

sonlóság ellenére különböző terheléseknél törhetnek el. Egy adott terhelésnél tehát nem tudjuk megmondani, hogy az éppen vizsgált próbadarab eltörik-e. Azt tudjuk csak megmondani, hogy az adott terhelésnél az adott próbadarab mekkora valószínűséggel fog eltörni. Ezen valószínűség függését a terhelőerő függvényében nevezzük eloszlásfüggvénynek [7]. Hasonló módon, egy adott lámpánál sem tudjuk megmondani, hogy egy adott használati idő után még működni fog-e. Itt is csak egy valószínűséget tudunk mondani, hogy az adott lámpa mekkora valószínűséggel fog működni az adott évetési körülmények között. (Természetesen az évetési körülmények, a ki-be kapcsolások gyakorisága, a külső hőmérséklet és még megannyi tényező befolyásolja ezt a valószínűséget, de az egyszerűség kedvéért tételezzünk fel – a fenti kerámia törési példához hasonlóan – egy elvileg azonos, „standard” tartósévetési eljárást, például klimatizált és kontrollált páratartalmú szobában, egyedi lámpatestekben, azonos működtető egységekről üzemelő lámpák adott ki-be kapcsolási cikluson üzemeltetve.)

Vizsgáljuk meg a lehetséges eloszlástípusokat. Az első eloszlás, ami mindenkinek az eszébe jut, a normális- vagy Gauss eloszlás. Jelentőségét a központi határeloszlás tétel adja. Ez azt mondja ki, hogy ha van megfelelően nagy számú (bizonyos feltételeknek megfelelő) független valószínűségi változóm, akkor ezek átlaga normális eloszlású lesz. Köznapi nyelvre lefordítva ez azt jelenti, hogy ha egy folyamatot több paraméter összege határoz meg, akkor ez a jelenség normális eloszlású lesz. Ezért követ normális eloszlást az élet számos jelensége és folyamata.

Más azonban a helyzet a fent bevezetett kerámia törési problémánál. A kerámiában egy adott térfogatban vannak különböző hosszúságú mikrorepedések, amik a jelen levő mechanikai feszültség miatt idővel addig nőnek, amíg elérnek egy adott hosszúságot, amikor is a kerámia makroszkópiusan

megreped és eltörik. Ennek az időtartama, azaz a meghibásodásig eltelt idő függ a repedés kezdeti hosszától. Az alkatrész időtartamát tehát az adott térfogatban lévő leghosszabb kezdeti mikrorepedés határozza meg. Igaz ez az egyszerűsített kerámia törési vizsgálatunkra is: minél nagyobb ez a kezdeti mikrorepedés, annál kisebb feszültség hatására for a kerámia eltörni, azaz a töréshez szükséges terhelőerőt itt is a leghosszabb kezdeti mikrorepedés határozza meg, tulajdonképpen függetlenül a z összesség többi, tőle kisebb repedés hosszától, azok eloszlásától. Nem más ez, mint a leggyengébb láncszem esete: ahogy a lánc is a leggyengébb szemnél fog elszakadni, ha meghúzzuk, a kerámiánk is leghosszabb mikrorepedés mentén fog eltörni. Ha a kerámiánkat egy rúdunk képzeljük, amit húzófeszültségnek vetünk alá, a leggyengébb láncszemnek a leghosszabb mikrorepedést tartalmazó kis térfogatelem fog megfelelni, itt fog a rúdunk eltörni (3. ábra). Egy olyan, úgynevezett szélsőérték eloszlást kell tehát keresni, amivel véletlen változók csoportjának maximumát vagy minimumát modellezhetünk, azaz olyan folyamatok leírására szolgál, ahol a jelenség lefolyását egy meghatározó paraméter legkisebb, vagy legnagyobb eleme határozza meg. Az egyik leggyakrabban használt ilyen eloszlás a Weibull eloszlás. Az eloszlás jellegéből kifolyóan minden szélsőértékek által meghatározott folyamat leírására alkalmas lehet. Más paraméterek és más fizikai folyamatok játszódhatnak le a LED-ek esetében is, de a folyamatok időbeli leírásához és a meghibásodások időbeli függéséhez itt is hasonló statisztikai módszereket alkalmazhatunk. Ezért lehet az elvileg teljesen különböző működési elvű és anyagokat tartalmazó fényforrások élettartam görbéje hasonló jellegű.

3. A Weibull-eloszlás tulajdonságai

Vegyünk egy nagy levegőt és essünk túl a Weibull-eloszlás ismertetésén.

Hosszú élettartamú fényforrások megbízhatóságának vizsgálata

Az eloszlás névadója Waloddi Weibull svéd matematikus, aki 1937-ben fedezte fel az eloszlást, bár egyes források az felfedezést Maurice Fréchet-nek tulajdonítják, és 1933-ban alkalmazta Rosin és Rammler részecskék méretének a leírására (8). Már maga Weibull is oly távol eső példákra alkalmazta, mint az acélok szilárdsága vagy a felnőtt férfiak magassága. Az 50-es években munkáját – mintként oly gyakran a tudományban – merev elutasítás fogadta. Azóta azonban a Weibull-analízis az élettartam elemzések meghatározó módszere (9). Alkalmazási területei a megbízhatóság és a túlélés vizsgálata mellett – a teljesség igénye nélkül – magába foglalja az időjárás-előrejelzést, szélsőbességeloszlásokat, termelési és szállítási idők vizsgálatát, mobilkommunikációnál az áthallások leírását, sőt biztosítási és viszontbiztosítási számításokat is [8].

A Weibull eloszlás eloszlásfüggvénye a következő:

$$P_{\text{meghibásodás}}(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right\} \quad (1)$$

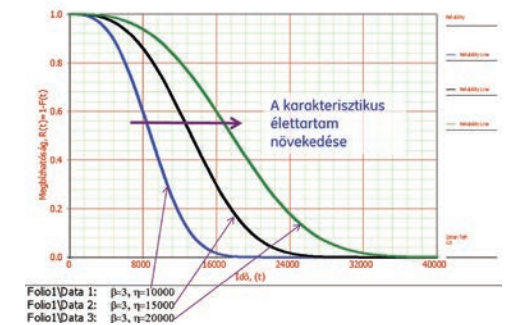
A képlet azt írja le, hogy t használati idő elteltéig mekkora lesz a meghibásodás valószínűsége ($P_{\text{meghibásodás}}$), illetve hogy egy adott, nagyobb darabszámú populáció használata, például egy tétel lámpa évetése során t idő elteltével a lámpák hány százaléka lesz működésképes. (A megfogalmazás szemléletes, de a pontos matematikai definícióért és a szükséges feltételek teljesüléséért a szakirodalomra utalok, például [9]-re, vagy [10]-re). Alternatív formája a túlélés valószínűségét, avagy a megbízhatóságot mutatja:

$$P_{\text{túlélés}}(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right\} \quad (2)$$

Szokásos még a megbízhatóság időfüggését $R(t)$ -vel jelölni (az angol Reliability szóból, míg a meghibásodás függvényét $F(t)$ -vel jelölni (a Failure szóból eredően). A kettő összege mindig 1.

A Weibull eloszlás egyik paramétere az η skálaparaméter, értéke az id_Q , aminél a túlélés esélye $1/e$, azaz 0.37, avagy 37%. (Ez $t = \eta \cdot t$

behelyettesítve (2)-be könnyen ellenőrizhető.) Hívják karakterisztikus élettartamnak is, mivel a termék élettartamára utal. A 4. ábra 3 megbízhatósági görbét mutat, ahol azonos egyéb paraméterek mellett csak a karakterisztikus élettartam változott 10 000, 15 000, illetve 20 000 órára (illtve bármely egységre). Látható, hogy a karakterisztikus időtartam növekedtével hogyan tolódnak el a megbízhatósági görbék a nagyobb használati idők, a nagyobb élettartamok irányába.

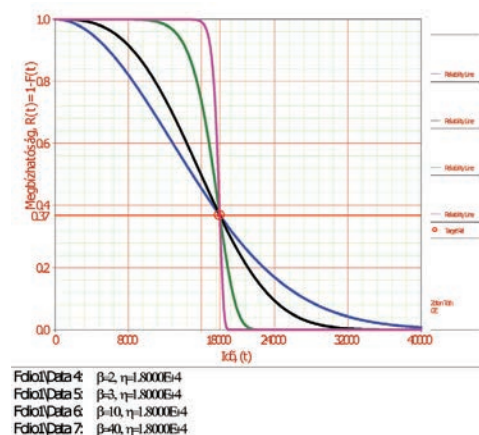


4. ábra: A karakterisztikus élettartam hatása a megbízhatósági görbékre. A karakterisztikus élettartam növekedése a megbízhatósági görbét a vastag nyíl irányában, a nagyobb élettartamok felé tolja el

A statisztika másik paramétere: β , ezt nevezik Weibull-modulusznak vagy alakparaméternek, a ténylegesen várható élettartam-értékek karakterisztikus időtartam körüli szórására utal. Ezt az 5. ábra illusztrálja. Azonos karakterisztikus időtartam (18 000 óra) mellett 4 alakparamétert mutat az ábra. A $\beta = 2$, illetve $\beta = 3$ értékek tipikusnak mondhatóak a nagyintenzitású kisülőlámpák élettartamára vonatkozóan. Már e két értéket összehasonlítva is látszik, hogy a nagyobb érték esetében a görbe meredekebb, és emiatt kisebb az az időtartomány, ahol a lámpák adott százaléka fog várhatóan meghibásodni. Még szemléletesebb a kép a nagyon magas, 40-es alakparaméterű eloszlás esetében. Itt a görbe már majdnem függőleges, a lámpák igen nagy százaléka a karakterisztikus élettartam

Hosszú élettartamú fényforrások megbízhatóságának vizsgálata

körül keskeny idősávban fog elhalálozni. Minél nagyobb tehát az alakparaméter értéke, annál inkább megjósolható a meghibásodás várható időpontja. (A normális eloszlásnál a minél kisebb szórás jelenti a pontosabb meghatározást, a Weibull-eloszlásnál ezzel szemben a minél nagyobb alakparaméter biztosítja ezt.) A meghibásodás folyamatát tekintve az alakparaméter a meghatározó: egy-egy adott meghibásodási mód, a mögötte rejlő fizikai folyamat jellemzője az alakparaméter. Látható még az 5. ábrán, hogy mind a 4 görbe 18 000 óránál metszi egymást. Ennek oka az, hogy mind a négy esetben ekkora volt a karakterisztikus élettartam, a hozzájuk tartozó megbízhatóság is egyforma (a fent említett 0,37). A 6. ábra egy tényleges lámpa megbízhatósági görbéjét, a CMH ConstantColor™ 70W Ultra White adatait mutatja [11].



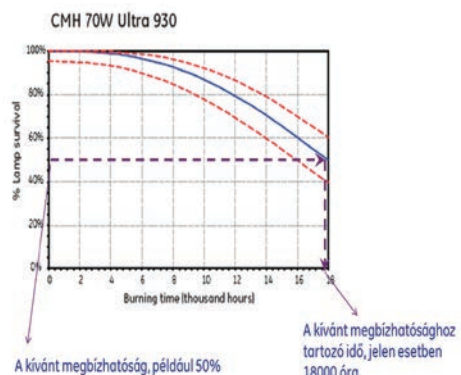
5. ábra: Az alakparaméter hatása a megbízhatósági görbékre. A nagyobb alakparaméter meredekebb görbét, jobban jósolható egyedi élettartamot jelent.

Bár ritkán fordul elő a fényforrások esetében, a teljesség érdekében érdemes megemlíteni a háromparaméteres Weibull-eloszlást. Tesszük ezt azért is, mert a meglévő installációk élettartamainak elemzése során esetlegesen előfordulhat. Míg az eddig tárgyalt, két paraméteres Weibull-eloszlás esetében – a névből adódóan – 2 paraméterről: az alakpa-

raméterről és a karakterisztikus élettartamról beszéltünk, előfordulhat az időtengely eltolása egy harmadik, t_0 helyparaméter segítségével. Az eloszlásfüggvény ekkor így néz ki:

$$P_{\text{meghibásodás}}(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right\} \quad (4)$$

t_0 pozitív értéke esetén van egy meghibásodásmentes időszak. Erre tipikus példa a gördülőcsapágyak esete. Előfordulhat rossz hegesztési anyagválasztásnál is, ha a két anyag idővel képez egy repedékeny intermetallikus fázist: a meghibásodások csak e fázis létrejötte után kezdődnek. t_0 negatív értéke esetén a meghibásodások mintha már a teszt megkezdése előtt elkezdődtek volna. Ez szállítás, tárolás közbeni hibákra utalhat. Ha adataink elemzése során t_0 nem nulla értéke adódik, mindig érdemes utánajárni, mi is okozhatta ezt.



6. ábra: A ConstantColor™ CMH 70W típus megbízhatósági görbéje és a megbízhatósági adatok kinyerése a görbéből

4. A gyártói adatok értelmezése

Elsőként a névleges élettartam fogalmát érdemes tisztázni. Ennek definíciója – [12]-ből idézve – a legtöbb lámpatípus esetében a névleges élettartam egy statisztikailag elegendően nagy számú minta esetében az első használatától kezdve a lámpák 50%-ának meghibásodásáig (működésképtelenségéig)

Hosszú élettartamú fényforrások megbízhatóságának vizsgálata

eltelt időt jelenti [12]. Definiálható a „hasznos élettartam” is, ami azokat a gyakorlati megfontolásokat veszi figyelembe, amikor a lámpát fénytechnikai paramétereit megváltoztatja, például fényáramcsökkenése, vagy színének megváltozása miatt cserélni szükséges. A névleges élettartamot szokták B50-nel is jelölni, míg például a B10 a 10 százalékos meghibásodáshoz (azaz 90%-os megbízhatósághoz) tartozó használati időt jelöli. (Az elnevezés eredete vitatott: jöhet a német Brucheinleitzet szóból (a kezdeti idő a töréshez), vagy az angol bearing (csapágy) szóból [9]). A hasznos élettartamnál tipikusan a fényáramcsökkenésre szokták az L70 elnevezést használni, ami a 70%-os fényáramtartás (tehát a kezdeti fényáram 30%-kal való csökkenésének) idejét adja meg.

Egy tipikus módja az élettartamadatok publikálásának a megbízhatósági görbe megadása. Erre példa az 1. ábrán látható ConstantColor™ CMH 70W Ultra White megbízhatósági görbéje a 6. ábrán. Leolvasható, hogy az 50%-os megbízhatósághoz tartozó élettartam 18 000 óra. A 6. ábrán látható módon bármely használati időtartamhoz meghatározhatjuk a várható megbízhatósági értéket. A névleges megbízhatósági görbe mellett az ábra feltünteti annak konfidencia intervallumát is.

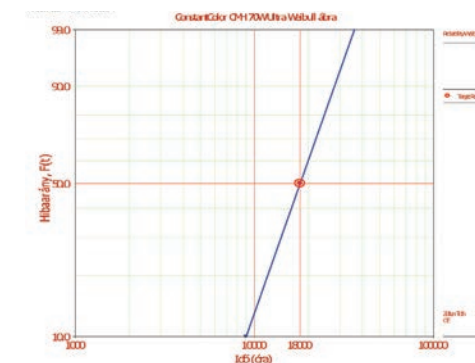
Más gyártók esetében a megbízhatósági görbét egy egyenesként tüntetik fel. Ez azért van, mert jó és hasznos tulajdonsága a Weibull-eloszlásnak, hogy kétszeri logaritmálás után linearizálható, azaz a 6. ábrán látható monoton csökkenő görbe helyett egyenesekkel tudjuk ábrázolni. A kétszeri logaritmálás utáni formula a következő:

$$\ln \ln (1/(1-P_{\text{meghibásodás}})) = \beta \cdot \ln(t) - \beta \cdot \ln(\eta) \quad (3)$$

A 7. ábra mutatja a 6. ábrán szereplő ConstantColor™ CMH 70W Ultra White típus linearizált ábráját. A vízszintes tengely egyszerűen, míg a függőleges tengely kétszeresen logaritmált. (3) alapján az egyenes meredeksége maga az alakparaméter, segítségével a konstans

tagból – szintén (3) alapján – az alakparaméter is meghatározható. A kétfajta ábrázolásmód egyenértékű egymással. Felhasználói szempontból talán az első, direkt ábra a kényelmesebb, mert közvetlenül szolgáltatja a kívánt megbízhatósági értéket. Igen hosszú élettartamoknál azonban a linearizált változat használható az élettartam-eleji megbízhatóság becslésére, ami a közvetlen ábrázolásnál a kezdeti szakaszon gyakorlatilag igen kis meredekséggel esik.

A harmadik lehetséges mód az adatok táblázatos formában történő megadása, például [13]. A táblázatos forma előnye, hogy a megadott időtartamhoz tartozó megbízhatóságok azonnal kiderülnek, al[13]-ban például az, hogy az 50%-os megbízhatósághoz tartozó élettartam 15 000 óra. Ha a későbbi számításokhoz szükségünk van az eloszlás paramétereire, akkor azokat megkaphatjuk például (3) segítségével: elvégezzük az idő és a hozzátartozó megbízhatóság (3) szerinti transzformációit, a kapott pontokra egyenest illesztünk (például Excel segítségével), majd a fent már ismertetett módon az alakparaméter és a karakterisztikus élettartam meghatározható. Használhatunk természetesen valamilyen kimondottan élettartamvizsgálatok kiértékelésére készült célprogramot is, mint például [10] (jelen cikk ábrái is e program felhasználásával készültek) vagy [9].



7. ábra: A ConstantColor™ CMH 70W típus megbízhatósági görbéjének linearizált Weibull ábrája. Az ábra mutatja egy adott megbízhatósághoz tartozó időpont, jelen esetben a B50 meghatározását.

Hosszú élettartamú fényforrások megbízhatóságának vizsgálata

5. Alkalmazási példák

A fejezet célja a lehetséges alkalmazások rövidbemutatása, a teljesség igénye nélkül. A gyakorlati használatukhoz, a bővebb magyarázathoz a szakirodalomra utalok [9].

Az első adandó kérdés egy adott időtartam után várható meghibásodások száma, ha a lámpák különböző ideig égtek. „N” minta esetén, ha az „i” minta t_i ideig volt használatban, a meghibásodások várható száma:

$$\sum_{i=1}^N P_m(t_i), \text{ ahol } P_m(t) \text{ t (1) definiálja.}$$

Kérdéses lehet a t_i idő utáni „u” időben várható meghibásodások száma is, azaz ha most járunk t_i -nél, hány meghibásodás várható az elkövetkező „u” időben. Ezt a

$$\sum_{i=1}^K \frac{P_m(t_i+u) - P_m(t_i)}{1 - P_m(t_i)}$$

formula segítségével határozhatjuk meg, ahol K a még működő egyedek száma.

Érdekes az optimális cserestratégia meghatározása is. Célunk az egységnyi időre jutó költséget minimalizálni. Ha „U” jelöli az egyedi, nem tervezett csere költségét, míg „P” a tervezett (csoportos) csere költségét, akkor az egységnyi időre jutó költséget

$$C(t) = \frac{P \cdot R(t) + U \cdot (1 - R(t))}{\int R(t) dt}$$

alapján lehet meghatározni, ahol $R(t) = P_{\text{túlélés}}(t) - t$ (2) definiálja. A 8. ábra egy képzeletbeli példán keresztül mutatja be a tervezett és nem tervezett csere költségek, valamint az optimum alakulását.

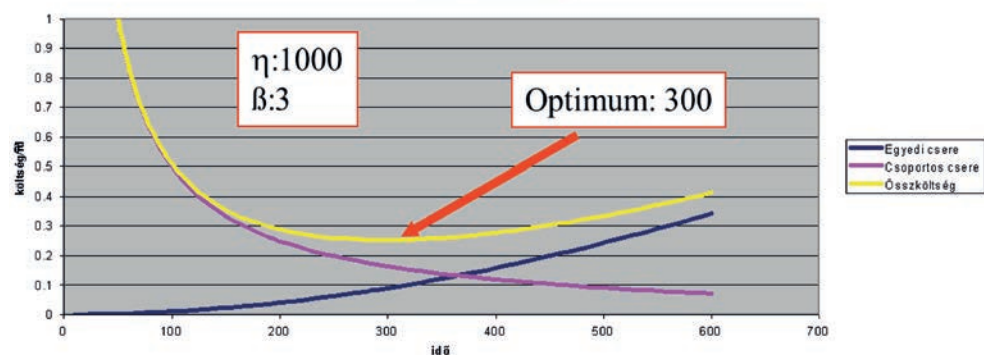
6. Összefoglalás

A cikk ismertette a Weibull-eloszlást mint olyan statisztikai módszert, ami olyan jelenségek leírására kiváló statisztikai eszköz, amelyek a leggyengébb láncszem elven működnek, azaz viselkedésüket a mintasorozat valamely

Hosszú élettartamú fényforrások megbízhatóságának vizsgálata

tulajdonságának legkisebb, vagy legnagyobb eleme határozza meg. Egy tipikus hibamódon keresztül bemutattuk, miért alkalmazható ez a leírás a fényforrásokra. A cikk bemutatta, hogy tipikusan milyen formában adják meg a gyártók az élettartamgörbéket, ezek különböző fajtáit, hogyan kell értelmezni őket.

Optimális cserestratégia



8. ábra: Az optimális cserestratégia alkalmazása az ábrán feltüntetett Weibull-paraméterek, illetve $U=1000$ és $P=50$ értékek mellett. Az egyedi csere költsége folyamatosan növekszik az idővel, hiszen egyre több meghibásodott terméket kell kicserélni. A csoportos csere költsége kezdetben nagy, mert eleinte nagyon gyakran cserélem az egyébként működőképes lámpákat. Az optimum, a minimális egységnyi időre eső összköltség valahol középtájt, az ábrán 300 óra körül van.