

Tisztelt Olvasók!

A közelmúltban – a következő cikk irodalomjegyzékében is felsorolt – több dolgozat foglalkozott a “fehér fény” kérdésével a közvilágítási alkalmazások kapcsán. Meg kívánjuk jegyezni, hogy az optimális közvilágítási fényforrásszín még messze nincsen meghatározva. A dolgozatokban több helyen is keveredik a gépkocsikkal való közlekedés számára való optimális világítás kérdése a gyalogosok számára legkedvezőbbnek talált fényszínnel. A kérdést tovább bonyolítja, hogy a különböző fényforrások geometriai mérete szintén eltérő, s ez a lámpatest-hatásfokokat befolyásolhatja. A dolgozatok alapján megállapítható, hogy vannak olyan alapvetési - egyelőre még laboratóriumi - kísérletek, amelyek az akadály időben történő felismerése szempontjából a rövidebb hullámhosszon sugárzó fényforrást kis fénysűrűségeknél (néhány tized cd/m^2) előnyösebbnek mutatják, mint a csak hosszabb hullámhosszon sugárzót. Ez azt jelenti, hogy fémhalogénlámpás világítás esetén ilyen körülmények között a gépkocsivezető reakcióideje rövidebb, mint nagynyomású nátriumlámpás világítás esetén, amennyiben azonos a mért fotopos fénysűrűség.

További szempont, hogy a gyalogos kellemesebbnek ítéli meg az olyan világítást, amely mellett a színfelismerése jobb. Ez a szempont is a nagynyomású nátriumlámpa ellen szól a fémhalogénlámpás, és esetleg a kompakt fénycsöves világítással szemben. Itt azonban a pszichológiai hatásokról van szó, amelyek csak kérdőíves felmérésekkel számszerűsíthetők. Valószínűsíthető, hogy ilyen helyzetekben a színvisszaadásnak nagyobb szerepe van, mint a fényszínnel. Amíg a reakcióidő szempontjából optimális hullámhosszon (kékeszöld színképtartomány) sugárzó fényforrás az előnyös, ezt a gyalogos éppen úgy nem fogadná el, mint a kisnyomású nátriumlámpa monokromatikus sárga fényét.

A lámpatest-konstrukció témakörébe tartozik a rendelkezésre álló fényforrások segítségével az optimális fényeloszlás létrehozása. Hasznos lenne, hogy a különböző teljesítményű fémhalogénlámpás világítást a hasonló teljesítményű kompakt fénycsöves világítással összehasonlítsák, mert - elsősorban a nagyobb teljesítményű - kompakt fénycsöves lámpatestének mérete teljesen más lámpatest-konstrukció igényel, mint a közel pontszerű fémhalogénlámpáé. A kétféle lámpatest hatásfoka, fényeloszlása, káprázási szögei, a hőmérsékleti hatások mind-mind figyelembe veendő paraméterek. Reméljük, hogy ezzel a kérdéssel is foglalkoznak a közeljövőben tudományos cikkek.

Az *Elektrotechnika* a 2002/9. számában beszámolt a kalocsai Közvilágítási Anketon - e tárgyban is - elhangzott előadásokról, a 2002/11. számában pedig közölte *Schwarz Péter* hasonló című cikkét: “Fehér fény” a közvilágításban.

Dr. Schanda János gondolatai alapján összeállította a Szerkesztőség

A “fehér fény” és a közvilágítás

DR. SCHANDA JÁNOS professor emeritus, Veszprémi Egyetem

N. VIDOVSZKY ÁGNES DR. okl. villamosmérnök, Központi Közlekedési Felügyelet Vasúti Felügyelet

Bevezetés

A 2002. évi Közvilágítási Anketon több előadás foglalkozott az a kérdéssel, hogy a fényszín miképpen befolyásolja felismerőképességünket, a környezetünk világosságáról alkotott észleletünket. Mindezen előadások azonban a fényszín és a színképi teljesítményeloszlásnak csak egy-egy részletkérdését tárgyalták, s ezek alapján még nem lehet meghatározni, hogy mi lenne a legcélszerűbb világítási megoldás a különböző rangú közutakon. Jelen cikkben a különböző műszaki paramétereket vizsgáljuk meg, hogy ezek alapján mi ajánlható adott útburkolati fénysűrűség és kontraszt létrehozásához, de nem foglalkozunk a kérdés hálózatiépítési és gazdasági kérdéseivel.

A napjainkban használt fotometriai rendszer alapjait több mint 75 évvel ezelőtt fektették le. Három legfőbb jellemzője hogy

- a fotometriát visszavezette az optikai sugárzásmérésre, a radiometriára,
- a fényérzet értékelésére bevezette a láthatósági függvényt (spektrális fényhatásfokot, vagy $V(\lambda)$ függvényt),
- a különböző hullámhosszúságú sugárzások együttes hatására feltételezte az összegezetőséget (az additivitást, vagy *Abney* törvényének érvényességét).

E fotometriai rendszer két meghatározó eleme, a $V(\lambda)$ görbe és az additivitás érvényessége, csak közelítés, s attól az egyes gyakorlati esetekben kisebb-nagyobb eltérések léphetnek fel. A következőkben először ezzel a két kérdéssel foglalkozunk, majd áttekintjük a számításba jövő fényforrások főbb jellemzőit, végül pedig következtetéseket vonunk le arra vonatkozóan, hogy jelen ismereteink alapján milyen fényforrás- és lámpatestrendszereket

javasolhatunk közvilágítási célra, és hogy mely területeken van még további kutatómunkára szükség.

További szempont, amelyet közvilágítási létesítmény tervezésénél figyelembe kell venni, a gyalogos közlekedők komfortérzete. Bevásárló utcákban, lakónegyedekben a közvilágítás tervezésénél a vertikális megvilágítás hányadra is figyelemmel kell lenni. Ebben a kirakatvilágítás is jelentős szerephez juthat.

1. A fotometriai törvények érvényessége

A fotometriai mennyiségeink meghatározására a radiometriai F_e és a fotometriai F_v mennyiségek közötti következő összefüggést használjuk:

$$\Phi_v = K_m \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (1)$$

ahol K_m a fényhasznosítás maximális értéke, 683 lm/W , $V(\lambda)$ pedig a spektrális fényhatásfok. Ez az egyenlet egyrészt tartalmazza azt a megfigyelést, hogy a különböző hullámhosszúságú sugárzás a látószervünkben különböző hatékonysággal hoz létre fényérzetet [$V(\lambda)$]. Másrészt azon alapul, hogy a $F_e(\lambda)$ radiometriai mennyiséget az egyes monokromatikus összetevőire felbontva tekinthetjük úgy, hogy minden egyes monokromatikus összetevő külön-külön hat a látószervünkre, s az érzet a monokromatikus összetevők hatásának összegével írható le. Az egyes monokromatikus összetevőkre érvényes az összegezetőség és az arányosság.

A $V(\lambda)$ függvényt ún. villogásos fotometriai módszerrel határozták meg. E módszer lényege, hogy az állandó radiometriai

erősségű, különböző hullámhosszúságú vizsgálandó monokromatikus sugárzást az összehasonlító sugárzással felváltva ejtjük egy megfigyelő felületre. A két sugárnyaláb váltását olyan sebességgel végezzük, hogy a szemünk már ne tudja megkülönböztetni a kétféle színérzetet, de még érzékelje, ha a két sugárnyaláb erőssége eltérő. A megfigyelő feladata, hogy az összehasonlító sugárnyaláb erősségének állításával a megmaradó villogási érzet minimumát keresse meg. Ez a meghatározási eljárás azon a felismerésen alapul, hogy egy adott váltási frekvencia felett (kb. 15 Hz) eltérő színű sugárzás esetén sem érzékeljük a színességi különbséget, hanem csak az intenzitáseltérést.

Ma már tudjuk: ez annak a következménye, hogy szemünkben a színes látásért felelős csapocskák jeleit az agyba kétféle idegpálya közvetíti: nagyon leegyszerűsítve a magnocelluláris idegpálya által közvetített jel gyorsabb változásokat érzékel, finomabb részletek felismerésére alkalmas. A parvocelluláris idegpályák a színességgel kapcsolatos jeleket továbbítanak, mintegy azt "látjuk" segítségükkel, hogy a tárgy vöröses vagy zöldes, illetve sárgás vagy kékes. A villogásos fotometriával a gyorsabb működésű magnocelluláris idegrostokat ingereljük, a $V(\lambda)$ függvény ennek a látórendszernek a színképi érzékenysége jellemző. A fotometriai fénysűrűséget a radiometriai sugársűrűségből az (1) egyenlet alapján számoljuk. Kísérletek azt is kimutatták, hogy az (1) egyenlet által szolgáltatott fotometriai mennyiség jól leírja az éleslátást, finom részletek és gyors jelenségek felismerését biztosító látási jelenségeket. Ha különböző színképi teljesítményeloszlású sugárzásokat használva az (1) egyenlet szerint azonos jel- és háttér-fénysűrűségeket hozunk létre, az olvasás, az akadályok felismeréséhez szükséges reakcióidők stb. azonos értéket fognak eredményezni. Azaz mondhatjuk, hogy a magnocelluláris idegpályák "vizuális fénysűrűség"-et közvetítenek, a szolgáltatott információra fenn áll az arányosság és az összegezhetőség.

Nagyobb felület színi információjának, azaz világosságának, színérzetének és telítettségének észlelésében a parvocelluláris idegpályák is részt vesznek. Ez a látómechanizmus nem additív, ezért a felület világosságát nem tudjuk az (1) egyenlethez hasonló egyszerű formában leírni. Ezt a tényt ismételt hangsúlyozni kell, mert a fotometriai rendszer bevezetését követően elterjedt az a téves nézet, hogy a fénysűrűség az észlelt világosság pszichofizikai megfelelője. Ma már tudjuk, hogy ez nem áll fenn, csak szintelen (akromatikus) felületek összehasonlításánál használható ez a közelítés. Ezzel szemben van a látórendszerben olyan mechanizmus, amely a fénysűrűséggel jól leírható: részletfelismerés, reakcióidő. Az észlelet ezen részére vezettük be a vizuális fénysűrűség fogalmát.

2. Nagylátószögű fotometria

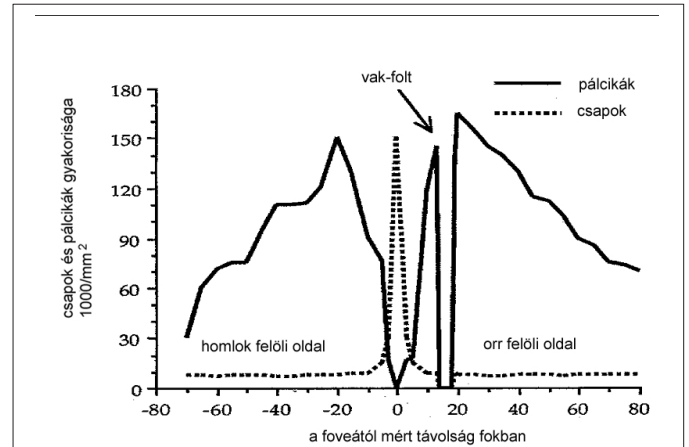
Szemünk felépítését közelebről megvizsgálva megállapították, hogy a foveát, a szem legérzékenyebb területét (kb. 4°-os tartomány) sárgás pigmentációjú felület takarja le (sárga folt, macula lutea), ezen a részen pálcikákat nem találunk. A foveától távolodva nő a pálcikák sűrűsége. 10°-os tartományban a pálcika-arányszám még elég kicsiny, ugyanakkor a kb. 6 - 10° közötti gyűrű alakú tartományt a sárga folt már nem takarja. E tartomány színképi érzékenységet meghatározva a csapocskák hatása tanulmányozható. Elsősorban színinger-mérések segítségével meghatározták a 10°-os látómezőre érvényes színinger-megfeleltető függvényeket, s ezekből – villogásos fotometria segítségével) létrehoztak egy $V_{10}(\lambda)$ -görbét is. Napjainkig ezt a görbét nem szabványosították, mert a pálcika-kölcsönhatások miatt additivitástól való eltéréseket figyeltek meg.

Miként említettük, a szabványosítás kérdése még nincs lezárva, de nagy valószínűséggel állíthatjuk, hogy minden olyan esetben, amikor a foveális látástól 10° - 20°-kal eltérő irányból érkező

sugárzást kell a gyors jelfelismerés érdekében értékelni, akkor a $V_{10}(\lambda)$ -görbét használhatjuk.

3. Csap + pálcika látás

A foveától távolabb fekvő retinális területeket vizsgálva, a pálcika/csap arányszám fokozatosan nő. Az 1. ábra a csap- és pálcika-eloszlást mutatja a bal szem horizontális metszetében.

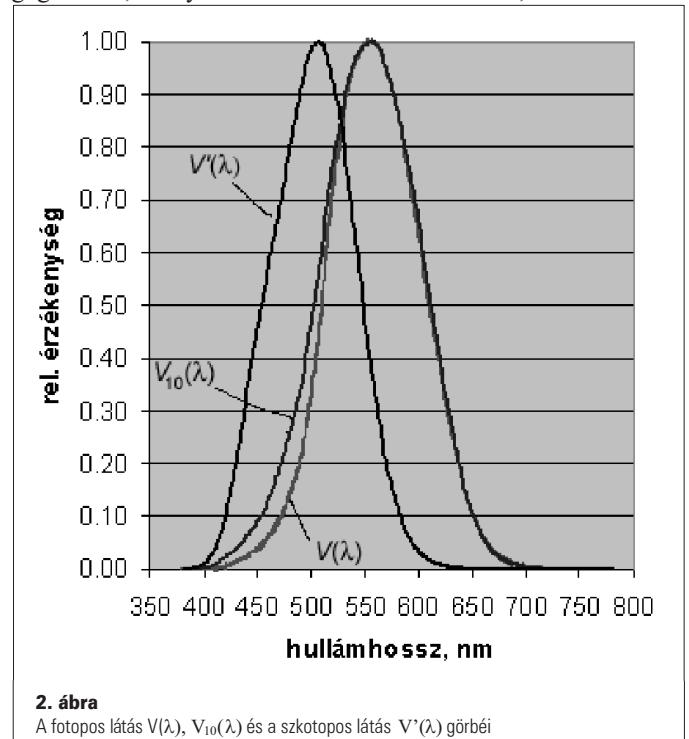


1. ábra

A csap- és pálcika-eloszlás a retinában

A pálcikák egyrészt az oldalirányú, perifériális látásért felelősek, másrészt sokkal érzékenyebbek, mint a csapok, ezért az alkonyi és az éjszakai (szkotopos) látást biztosítják. A pálcikák azonban színvakok.

A sötétben látás $V'(\lambda)$ -görbéjének maximuma kb. 507 nm-nél található, szemben a világosban látásért felelős $V(\lambda)$ csap érzékenységi görbével, amelynek maximuma 555 nm-nél van, 2. ábra.¹



2. ábra

A fotopos látás $V(\lambda)$, $V_{10}(\lambda)$ és a szkotopos látás $V'(\lambda)$ görbéi

A pálcikalátás $V'(\lambda)$ görbéjét, a jelenségek lassúbb lefutása miatt, nem lehet villogásos fotometriai módszerekkel meghatározni, de erre nincs is szükség, hiszen a pálcikák "színvaksága" miatt az egymás mellé helyezett különböző színképű felületek színességét

¹ Kísérletek azt mutatták, hogy a szabványos $V(\lambda)$ görbe a kék színképtartományban eltér az átlagos emberi szem színképi érzékenységtől. A CIE közölt egy módosított $V_{01}(\lambda)$ görbét [12], amelyet azonban nemzetközileg nem szabványosítottak, mivel a legtöbb fényforrás esetén a két görbe szerint számított fényáram között elhanyagolhatóan kicsi a különbség

szkotopos látás körülményei között szemünk nem tudja megkülönböztetni. Jó közelítésben azt állíthatjuk, hogy foveális látás esetén 3 cd/m^2 felett szemünk csapjaival látunk (fotopos fénysűrűség tartománya), 10^{-3} cd/m^2 alatt szemünk a szkotopos látás tartományában dolgozik. A két látási tartomány között helyezkedik el a mezopos látás tartománya. Ennek nagyobb fénysűrűségű része ($>0,1 \text{ cd/m}^2$) a közvilágítási tartomány.

A mezopos látás számára még nem szabványosítottak spektrális fényhatásfok görbét (görbék), mivel várható, hogy a görbe alakja a fénysűrűségtől függeni fog, de számos kísérletet ismertettek már az irodalomban. A legtöbb vizsgálatot a világosság meghatározásra végezték. A közlekedésbiztonság számára azonban a felületek világossága kevésbé fontos, lényegesebb, hogy milyen gyorsan ismerjük fel az akadályokat. Miként az 1. fejezetben kifejtettük, a gyors felismerést a magnocelluláris idegpályák közvetítik, ezért a mezopos látás számára a fénysűrűség-észlelésből kell kiindulni.

4. Mezopos fotometria a közlekedés számára

A fotometria háromnegyed évszázadon át egyetlen nyomon haladt, minden kísérleti körülmény között ugyanazon paramétereket és jellemző függvényeket használta. Közben többször is ismertettek olyan jelenségeket, amelyeknél a fotometriai leírás nem fedte a vizuális élményt. Ezt általában a fotometria egészének hiányosságaként értékelték, s csak a közelmúltban jutott a látásmechanizmusunk megismerése olyan fokra, hogy megértsük: különböző jelenségek leírásához eltérő paraméterekre és hatásfokfüggvényekre van szükség. Ennek megfelelően eltérő leírása lehet a felületek világosságának és a közlekedésbiztonság számára lényeges akadályfelismerésnek. Az egyes körülmények között a jelenséget az "egyenértékű fénysűrűség" fogalmával jellemezzük:

egyenértékű fénysűrűség²: Meghatározott fotometriai körülmények mellett azon $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ frekvenciájú monokromatikus összehasonlító mező fénysűrűsége, amelynek világossága megegyezik a figyelembe vett mezőével; az összehasonlító mező meghatározott méretű és alakú legyen, amely azonban eltérhet a figyelembe vett mező méretétől és alakjától. Egysége: $\text{cd} \times \text{m}^2$.

4.1 A reakcióidő mint közlekedési világitási jellemző

A közlekedésbiztonság számára a mezopos egyenértékű fénysűrűséget valamely akadály vagy jel megjelenése és annak felismerése közötti idővel jellemezhetjük. 50 km/h sebességű gépjármű 1 s alatt 14 m utat tesz meg, féktávolsága, jó útviszonyok esetén kb. 28 m. Ezt kell összevetnünk a 3. ábrával, ahol azt szemléltetjük, hogy a fénysűrűség változásával hogyan változik adott kísérlet esetén a reakcióidő, ha különböző fényforrásokat használunk [3]. E szerint, bár minden fényforrás esetén nő a reakcióidő, ha csökkentjük a fénysűrűséget, ez a növekedés lényegesen nagyobb a sárgás fényszínű nátriumlámpák esetén, mint amit "fehér" fényszínű lámpáknál mértek. $0,1 \text{ cd/m}^2$ legkisebb értéket figyelembe véve, kisnyomású nátriumlámpa esetén a fotopos tartományhoz képest megkétszereződik a reakcióidő, ez azt okozhatja, hogy a gépkocsi 7–8 m-rel később fog megállni. Még nagyobb különbség adódik, ha a gyakorlatban sajnos sokszor előforduló, – nem szabványos – $0,1 \text{ cd/m}^2$ -nél kisebb fénysűrűségek érik a szemet. Természetesen ilyen módszerrel csak meglévő lámpákat lehet összehasonlítani, a lámpa spektrumának tervezéséhez ez nem ad elég támpontot.

Közelebb jutunk a megoldáshoz, ha meghatározzuk a különböző fénysűrűségek esetén a szem szinképi érzékenységét. Erre vonatkozó próbálkozás eredménye szerepel a 4. ábrán, amely azt

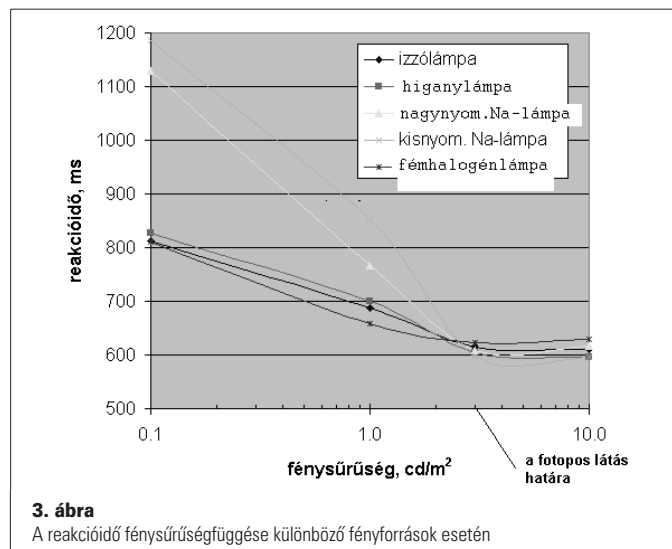
mutatja, hogy különböző fotopos fénysűrűségek esetén hogyan változik a reakcióidő a megvilágító sugárzás hullámhosszával. 30 troland esetén a görbe jól egyezik a módosított $V_M(\lambda)$ görbével. A környezeti fénysűrűség csökkentésével a görbe maximuma rövidebb hullámhosszak felé tolódik el. He és munkatársai a mérési pontokra görbék is illesztettek, amelyeket a $V(\lambda)$ és $V'(\lambda)$ görbékől a következő egyenlet segítségével származtattak:

$$V^*(\lambda, T) = k(T) \{x(T)V(\lambda) + [1-x(T)]V'(\lambda)\}, \quad (2)$$

ahol

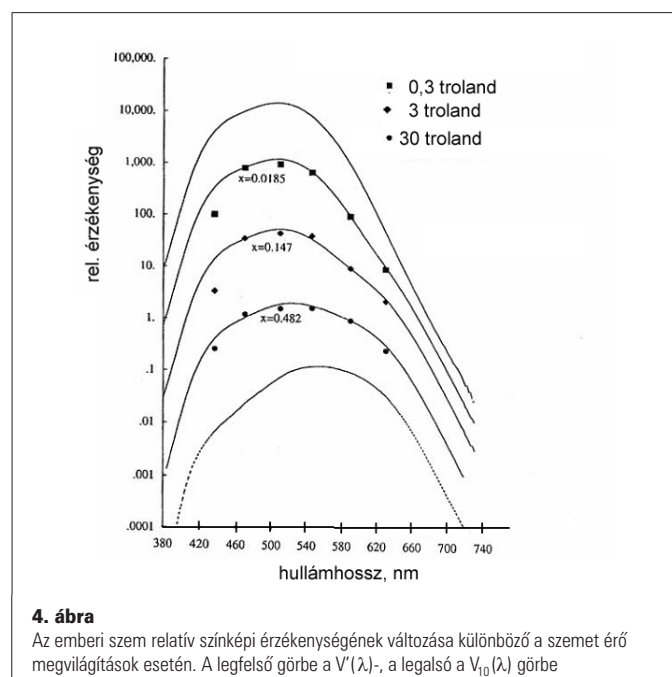
T a trolandban mért retinális megvilágítás,

x adaptációs paraméter, lásd 1. táblázat.



3. ábra

A reakcióidő fénysűrűségfüggése különböző fényforrások esetén



4. ábra

Az emberi szem relatív szinképi érzékenységének változása különböző a szemet érő megvilágítások esetén. A legfelső görbe a $V'(\lambda)$, a legalsó a $V_{10}(\lambda)$ görbe

1. táblázat.

A $V^*(\lambda)$ képletben használt adaptációs paraméter értéke a retinális megvilágítás függvényében

T	x
troland	adaptációs paraméter
0,3	0,0185
3	0,147
30	0,482

Hangsúlyozni kell, hogy egyetlen reakcióidő-mérésen alapuló kísérletorsorozat eredménye alapján határozták meg a (2) egyenletet. Mielőtt ennek felhasználásával közvilágítási célra optimalizált

2 Az egyenértékű fénysűrűség itt közölt meghatározása a CIE 2. Szakbizottsága által kidolgozott javaslat. Előre láthatóan a Nemzetközi Világítástechnikai Szótár következő kiadásában már ez fog szerepelni.

fényforrásszinképet lehetne tervezni, igazolni kell, hogy egyrészt a reakcióidő valóban jól jellemzi-e a közlekedési világítási igényt, másrészt számos további szempontot is vizsgálni kell. A 3. ábrában az egyes lámpafajták segítségével létrehozott fénysűrűség függvényében tüntettük fel a reakcióidőt. Az egyes lámpafajták fényhasznosítása nagyon eltérő, ezért azonos fénysűrűség létrehozásához pl. izzólámpával sokkal nagyobb teljesítményre van szükség, mint a különböző kisülőlámpák esetén. Itt is fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a közvilágítás létesítésére vonatkozó szabvány 50 lm/W-nál kisebb fényhasznosítású fényforrás alkalmazását nem engedi.

1.1 Látóélesség a közúton

Az akadály gyors felismerése mellett a második legfontosabb szempont, hogy kellő távolságból tisztán fel tudjuk ismerni az akadályt. Az előző pontban tárgyalt kísérleteket laboratóriumi körülmények között folytatták. A közúton ködös időben is látnunk kell. Jól ismert, hogy a köd fényt szóró hatása a rövidebb hullámhosszak felé nő, különösen, ha a köd még igen kis mértékű, és a vízcseppek mérete ennek megfelelően kicsiny. Ezért kétszínű pl. sárga fényű "ködlámpát".

Fontosabb szerepe lehet azonban a látóélesség fiziológiai összetevőjének. Szemünk optikai rendszere nem akromatikus, azaz látóélességünk monokromatikus sugárzás esetén nagyobb, mint fehér fény esetén. *De Boer* kis- és nagynyomású nátriumlámpával és nagynyomású higanylámpával megvilágított különböző kontrasztú Landolt C gyűrűk láthatóságát hasonlította össze. A 0,2 cd/m² és 5 cd/m² adaptációs fénysűrűség tartományban a legjobb látóélességet a kisnyomású nátriumlámpa esetén mérte. Ezt követte a nagynyomású nátriumlámpa, s a legrosszabb látóélességet a higanylámpa esetében kapta. *Van Bommel* és *de Boer* útvilágítással foglalkozó könyve számos további kísérletet is említ, amelyek hasonló eredményre vezettek.

Az akadály észlelését valószínűleg jellemzi a reakcióidő, de az akadály részleteinek felismerésében a látóélességnek is szerepe van, így ezt sem szabad figyelmen kívül hagyni akkor, amikor a közvilágítás számára fényforrást választunk.

5. A létrehozott optikai sugárzás hasznosítása

Különböző szerkezeti felépítésű fényforrások kisülőlámpák mérete, alakja különböző. Nem minden világítótest sugárzását lehet azonos hatásokkal a megkívánt világítási irányokba terelni. Ezen eszmeifuttatás keretében nem tudunk a közúti megvilágítás – fénysűrűség technika – láthatósági index meghatározás fejlődési lánkra kitérni. Csúpn arra szeretnénk a figyelmet felhívni, hogy nem elegendő egy fényforrás fényhasznosítását, a mezopos tartomány számára a $V(\lambda)$ görbétől eltérő függvénnyel meghatározni, hanem figyelembe kell venni azt is, hogy az összehasonlított fényforrásoknak milyen a fényeloszlása, mennyiben tekinthetők pontszerűnek (a lámpatest méreteihez képest), és ennek következtében mi lesz a hasznos fényáramuk a vizsgált világítási irányban.

Amikor a fénycsőves utcavilágításról áttértek a nagynyomású higanylámpás világítási rendszerekre, a fenti gondolatmenet alapján hozták meg a döntést. Bár erre is láthatunk ellenpéldákat: Bécsben még számos fénycsőves közvilágítási berendezést találhatunk, s napjainkban is szerelnek ilyeneket, mert szakembereik szerint ez tud az adott lámpatest-elrendezés és világítási igény esetén (útközepes elrendezés) optimális megvilágítás vagy fénysűrűségeloszlást és energiatakarékos világítást biztosítani.

6. Fényforrások összehasonlítása

Ahhoz, hogy a közvilágításban használható fényforrások közt érdemben választani tudjunk, az előző fejezetekben felvetett kérdé-

sek alapján kell megvizsgálnunk a rendelkezésre álló fényforrásokat. A különböző útkategóriák megvilágítása különböző egyérteljesítményű fényforrásokat igényel. Sok esetben a szerelési magasság, lámpatestek egymástól való távolsága stb. segítségével egyazon úton is különböző fényforrásokkal tudjuk a megkívánt világítást biztosítani. Ekkor gazdasági kérdések alapján ki-sérleljük meg a döntést. E cikkben csak a műszaki kérdésekre kívánunk rámutatni.

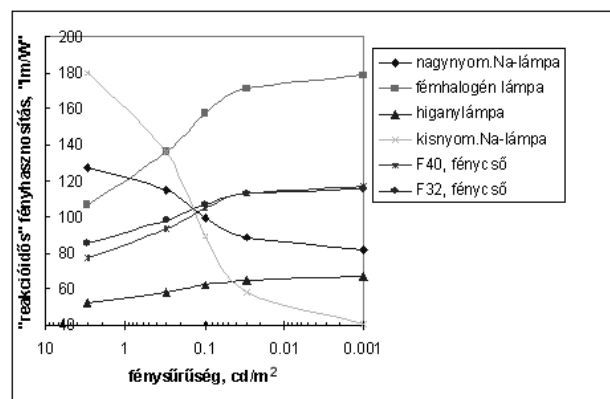
Előre bocsátva, hogy a reakcióidő-méréseken alapuló mezopos spektrális fényhatásfok-számítás (2) képlete még csak egy első próbálkozás arra, hogy a mezopos tartomány számára különböző lámpafajták fényhasznosítási értékeinek változását megbecsüljük, érdekes összehasonlítást mutat az 5. ábra. Itt a (2) képlet alapján számított $V^*(\lambda)$ segítségével meghatározott, a különböző adaptációs fénysűrűségekhez tartozó "mezopos" fényáramok alapján számított fényhasznosításokat mutatjuk a fotopos látás adaptációs fénysűrűségeinek függvényében. 1 cd/m² fölött a legjobb fényhasznosítást a kisnyomású nátriumlámpa nyújtja. Kb. 0,3 cd/m² körül a kisnyomású nátriumlámpa és a fémhalogénlámpa fényhasznosítása azonos. Kiseb fénysűrűségeknél a fémhalogénlámpa mellett még a különböző fénycsövek tűnnek előnyösnek. Kb. 0,1 cd/m² alatt a fénycsövek reakcióidőn alapuló mezopos fényhasznosítása már nagyobb, mint a nagynyomású nátriumlámpaé. Ezzel kapcsolatban fel kell azonban hívni a figyelmet, hogy a magyar szabvány előírásai a 2. táblázat szerinti.

2. táblázat.

Különböző útkategóriák számára előírt fénysűrűségértékek

Útkategória	L , cd/m ²
M1	2
M2	1,5
M3	1,0
M4	0,6
M5	0,3

Így reakcióidő alapján csak az alárendelt utakon látszik előnyösnek a fénycső a nagynyomású nátriumlámpával szemben. Figyelembe kell azonban azt is venni, hogy pl. kompakt fénycsövek kisebb teljesítménynél érik el a legjobb hatásfokot, mint a nagynyomású nátriumlámpák. (Az ábrában a szerzők az ábra balszélén megadott fényhasznosításokat vették figyelembe; a 3 cd/m²-nél a reakcióidős fényhasznosítás és a hagyományos fotopos fényhasznosítás értéke azonos.) Az ábra szerint nagyobb adaptációs fénysűrűségeknél még a fénycsőfajták között is mutatkozik egy kis különbség. Ismételt hangsúlyoznunk kell azonban, hogy a reakcióidő még nem vesz figyelembe minden látásfiziológiai té-



5. ábra

A reakcióidő alapján számolt fényhasznosítás változása a mezopos tartományban, különböző fényforrások esetén, a fotopos fénysűrűség függvényében

3. táblázat.

Közvilágításban használatos fényforrástípusok

Fényforrás típusa	A szabvány szerinti teljesítménytartomány, W	Megjegyzés
Kompakt fénycső	18-55	1. A kisebb teljesítmények fényhasznosítás szempontjából ugyan megfelelnek, de fényáramuk olyan kicsi, hogy értelmetlenül nem alkalmazhatók. 2. A nem amalgámos típusúak fényárama nagy mértékben hőmérsékletfüggő.
Standard fénycső	18, 36	A 36 W-os méretei miatt nem kívánatos, de pl. Ausztriában előszeretettel alkalmazzák.
Higanylámpa	(125), 250, 400	A 125 W-os típus fényhasznosítása kisebb, azt a szabvány már nem engedélyezi.
Nagynyomású nátriumlámpa	50-400	A 70 W-nál kisebb teljesítményűek paraméterei rosszabbak.
Kisnyomású nátriumlámpa	18-180	A 90 W-nál nagyobb teljesítmény méretei már nem kívánatosak.
Fémhalogénlámpa	250, 400	Csak a ma szokványos teljesítményeket tüntettünk fel, ez a terület gyorsan fejlődik, kisebb teljesítmények használata terjed.

4. táblázat.

Tipikus fényforrásadatok [16, 17, 18]

A vizsgált fényforrás	Teljesítmény, W	Fényhasznosítás ¹ , m/W	Élettartam, kh	Felfutási idő, min
Kompakt fénycső	18	70	10	1
Kompakt fénycső	38	87	20	1
Fénycső, halofoszfát fénypor	18	66	20	0
Fénycső, háromsávós fénypor	18	78	20	0
Fénycső, halofoszfát fénypor	36	86	20	0
Fénycső, háromsávós fénypor	36	96	20	0
Higanylámpa	125	45	24	<10
Higanylámpa	250	52	24	<10
Nagynyomású nátriumlámpa	70	90	24	<5
Nagynyomású nátriumlámpa	250	125	24	<5
Kisnyomású nátriumlámpa	35	130	12	<15
Kisnyomású nátriumlámpa	180	198	12	<15
Fémhalogénlámpa	100	81	10	<5
Fémhalogénlámpa	400	90	20	<10

¹előtétvesztés nélkül

nyezőt. További kísérletekre van szükség jobban megalapozott mezopos $V^*(\lambda)$ függvények meghatározásához.

A továbbiakban áttekintjük a közvilágítás számára számításba jövő fényforrástípusok főbb jellemzőit. Az 3. táblázatban az egyes fényforrástípusokat tüntettük fel, a közvilágításban használatos teljesítményekkel, és néhány hozzájuk fűzött megjegyzéssel, a 4. táblázatban pedig feltüntettük az egyes típusok teljesítményéhez tartozó fényhasznosítás-értékeket. Ezzel kapcsolatban emlékeztetni szeretnénk arra, hogy a szabvány nem engedélyezi az 50 lm/W fényhasznosításnál kisebb fényhasznosítású fényforrások használatát. Ez pl. 125 W-os higanylámpák használatát már megtiltja. Ugyanakkor bemutattuk az 5. ábrán, hogy pl. a reakcióidő alapján számított fényhasznosítása 0,03 cd/m² esetén nagyobb, mint a kisnyomású nátriumlámpáé. Persze kérdéses, hogy közvilágítás által létrehozott 0,03 cd/m² fényssűrűségnek van-e még értelme. Ilyen körülmények között a jármű reflektorával történik az akadály megvilágítása, és a hosszú reakcióidő csak igen lassú biztonságos haladást tesz lehetővé.

A 4. táblázatban még néhány további, a fényforrás kiválasztása szempontjából számításba veendő adatot is feltüntetünk: a várható élettartam a fényforrascseré szempontjából fontos adat.

További szempont kell, hogy legyen a fényforrás kiválasztásánál a kontrasztviszonyok figyelembevétele, a lámpatesttel való "együtműködés" kérdése, és az elhelyezés, azaz, hogy mennyire sikerül a fényforrás fényét oda vetíteni, ahol arra szükség van. Mindezen kérdések messze túlvezetnek a jelen cikk célkitűzésein.

Csupán egyetlen kérdésre szeretnénk még rámutatni: A fémhalogénlámpás közvilágítást kezdetben olyan területeken propagálták, ahol viszonylag nagy megvilágításokra volt szükség, mint pl. bevásárló utcák, ahol a fémhalogénlámpa jó színvisszaadása lényeges szempont volt. A mezopos látás jobb megismerése újabb szempontot adott a fémhalogénlámpa-kedvelők fegyvertárába: a reakcióidő-vizsgálatok alapján 0,3 cd/m²-nél kisebb fényssűrűségek esetén a fémhalogénlámpa kedvezőbb, mint a kisnyomású nátriumlámpa. Ez döntő érv lehet a kisnyomású nátriumlámpa ellen. Jó fényhasznosítását csak a kb. 1 cd/m² és a 0,3 cd/m² közötti tartományban lehet kihasználni.

A kis teljesítményű nagynyomású nátriumlámpa - úgy tűnik - szintén vesztes a fémhalogénlámpával szemben, ha valóban sikerül a gyártóknak a színvándorlás- és élettartamkérdéseket megoldani, és a fényforrások árát is mérsékelni tudják. Napjainkban a kis teljesítményű higanylámpákat előszeretettel cserélik ki (kompakt) fénycsővekre. Itt természetesen a lámpatestekkel kapcsolatban nőnek meg az elvárások. Egyrészt a fényforrások hőmérsékletérzékenysége nagy, ezért a alkalmas hidegpont hőmérsékletet a lámpatest megfelelő kialakításával biztosítani kell. Másrészt a kompakt fénycső sugárzó felülete nagyon eltér egy nagynyomású gázkisülőlámpa sugárzó felületétől. A jó végső határfokhoz a lámpatest tükreinek precíz kialakítása elengedhetetlen. Sokszor találkozunk azzal a megoldással, hogy káprázáscsökkentés érdekében árnyékolják a gázkisülőt. Ha ezt nem gondosan tervezik, a beépített árnyékolók nagyon leronthatják a határfokot.

7. Összefoglalás

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a közvilágítás területén még lényeges energiamegtakarításokkal számolhatunk, ha a szokásos fotopos fénysűrűség helyett a mezopos látáshoz jobban illeszkedő számítási módszereket vezetünk be. Napjainkban még nem alakult ki a legmegfelelőbb láthatósági görbe meghatározásának módszere. Amíg ezen kutatások be nem érnek, nem tudnak a fényforrágyártók a közvilágítás különböző fénysűrűségigényeihez alkalmazkodó optimális sugárzáseloszlású fényforrásokot kidolgozni.

A gépkocsiban utazó számára jó látást és gyors akadályfelismerést látszik biztosítani a reakcióidő minimumára optimalizált láthatósági görbe. Ezt alapul véve a kisnyomású nátriumlámpa alkalmazásának területe beszűkül, a fémhalogénlámpa a nagy (néhány cd/m^2) fénysűrűségű és jó színvisszaadási igénytel rendelkező közvilágítási alkalmazások mellett a néhány tized cd/m^2 fénysűrűség tartományban is teret hódít.

A higanylámpa egyértelműen háttérbe szorul, de amíg korábban elsősorban kis egységjelzőanyagú nagynyomású nátriumlámpákkal váltották fel, a fénycsövek különböző típusai (kompakt és más elrendezések) látásfiziológiai indokok alapján is számításba veendő fényforrások lettek. Ezen a téren csak az eltérő termikus tulajdonságokra és a kisüléscső nagyobb méretére kell a lámpatest tervezőjének figyelemmel lennie.

A más területeken már terjedő világítódiodák a közvilágításban még nem tudtak elterjedni, fényhasznosításuk még túlzottan kicsi (csak laboratóriumi minták fényhasznosítása haladja meg az $50 \text{ lm}/\text{W}$ -os küszöböt), és a rendelkezésre álló egységjelzőanyagok (max. 5 W) sem érik el azt az értéket, amelyet általános közvilágításhoz megkövetelünk. Speciális területeken (pl. gyalogjárók, figyelemfelkeltő világítások stb.) azonban már ma is számításba kell ezeket a fényforrásokat venni. A világítódiodák esetén még nagyobb jelentősége lenne a mezopos látáshoz jobban igazodó láthatósági görbe kidolgozásának, és a számításokba való bevezetésének. A világítódiodák színképét figyelembe véve több száz százalékos különbség is várható a hagyományos fotopos láthatósági görbére alapított fénysűrűségek és a mezopos látáshoz igazított láthatósági görbét figyelembe vevő számítás eredményei között.

Mindez azt mutatja, hogy a világítástechnika egy új forradalmi átalakulása előtt állunk, amely jobb hatásfokú és gazdaságosabb világítást, biztonságosabb közlekedést, és a közlekedésben résztvevők számára jobb közérzetet ígér.

Irodalom

- [1] *Schwarz P.*: A közvilágítás új iránya, *MEE-VTT XXXIII. Közvil. Ankét*, Kalocsa, 2002.
- [2] *Schanda J.*: Nemzetközi kísérletek a közvilágítási fényforrások színképének optimalizálására a mezopos látás tartományában, *MEE-VTT XXXIII. Közvil. Ankét*, Kalocsa, 2002.
- [3] *Schanda J.*: Fotometria - 75 évvel ezelőtt és ma, *Világítástechnikai Évkönyv 1999-2000*, 10-21, MEE-VTT
- [4] *Abney W. deW.*: Researches in Colour Vision and the Trichromatic Theory, published by *Longman, Green & Co.* in 1913.
- [5] *Stiles WS., Burch JM.*: N.P.L. colour-matching investigation: Final report (1958). *Optica Acta* **6** 1-26 1959.
- [6] *Schanda J., Morren L., Rea M., Ronchi L., Walraven P.*: Does lighting need more photopic luminous efficiency functions? *Lighting Res. Technol.* **34**/1 69-78 2002.
- [7] CIE TC 1-59: Standard photometric 10 degree observer, lásd: www.cie.co.at/cie/.
- [8] Commission Internationale de l'Eclairage, Mesopic photometry: History, special problems and practical solutions, *CIE* **81**:1989.
- [9] CIE TC 1-58: Visual performance in the mesopic range, lásd: www.cie.co.at/cie/.
- [10] *Lewin I.*: Visibility Factors in Outdoor Lighting Design (Part 2). *The Lighting Journal* 34 - 39 Jan/Febr. 2000.
- [11] *He Y., Bierman A., Rea MS.*: A system of mesopic photometry, *Lighting Res. & Technol.* **30**/4 175-181 1998.
- [12] Commission Internationale de l'Eclairage, CIE 1988 2° spectral luminous efficiency function for photopic vision, *CIE* **86**:1990.
- [13] MSZ 20194:2000.: Közforgalmú területek mesterséges világítása
 - 1: Meghatározások, alapelvek
 - 2: Világítástechnikai előírások
 - 3: Különleges világítási esetek
 - 4: A világítási jellemzők ellenőrzése
- [14] *Boer JB de.*: Modern light sources for highways, *J. of IES* **3** 142 1974.
- [15] *Van Bommel Ir. WJM, Boer JB de.*: Road lighting, Philips Techn. Library, Kluwer Techn. Boeken BV, Deventer – Antwerpen.
- [16] Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft, Handbuch für Beleuchtung, *ecomed*, 1992.
- [17] Lamps and Lighting, 4th ed. Ed.: Coaton JR, Marsden AM, *Arnold*, 1997.
- [18] The IESNA Lighting Handbook, 9th edition, ed.: Rea MS, Illum. Engng. Soc. of NA, New York, 2000.

SZERZŐK



Dr. Schanda János professor emeritus a Veszprémi Egyetemen, ahol radiometriai, fotometriai és színmérési kérdésekkel foglalkozik, elsősorban informatikai felhasználás céljából. Fizikus diplomát az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerzett. Korábbi munkahelyei voltak az Országos Mérésügyi Hivatal, az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete és a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (CIE) Központi Titkársága. A MEE, ill. a MEE-VTT tagja. schanda@vision.vein.hu



Némethné Vidovszky Ágnes dr. a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán kapott erősáramú villamosmérnöki oklevelet 1978-ban. 1993-ban az egyetem Közlekedésmérnöki Karán gazdasági mérnöki oklevelet, 1996-ban egyetemi doktori címet szerzett. 1978-1984 között a MÁV Tervező Intézetben, majd 1984-től – átszervezések ellenére jelenleg is - a Központi Közlekedési Felügyelet Vasúti Felügyeleten dolgozik. 1983-tól tagja a MEE-nek, ill. a MEE-VTT-nek. anemethne@vasut.kff.hu

Szakmai lektor: *Poppe Kornélné* okl. fizikus, a MEE-VTT Tanácsadó Testület tagja

C+D sáv, vagy ALAPÍTVÁNYI