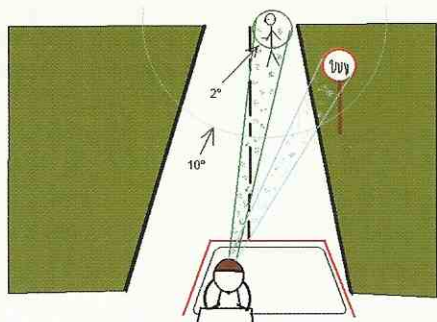


Szilárdtest fényforrások alkalmazása a közvilágításban, látásfizikai alapok

gyeznünk, hogy ebben a tartományban – a világosban látáshoz hasonlóan – a fénysűrűség jellegű mennyiség leírásához a $V(\lambda)$ és a $V'(\lambda)$ görbéből indulhatunk ki. Ez ad felvilágosítást arra vonatkozóan, hogy milyen gyorsan látjuk meg az akadályt az úton, s látjuk-e az akadály (pl. a járdáról lelépő gyalogos) részleteit. A világosság érzet kialakításában mind a három csap típus részt vesz, s ez fontos lehet gyalogos-, sétáló utcák világításához kiválasztandó LED színeképek meghatározásánál. Ez azonban a jelen eszme-futtatásnál tovább vezet, és további megfontolásokat tesz szükségessé.

További fontos látásfiziológiai felismerés, mely meghatározza, hogy milyen színképi érzékenységgel számoljunk a közvilágítási feladatok megoldásánál az, hogy az emberi foveában, azaz a szemünk legérzékenyebb területén, nincsenek pálcikák, azaz mezopos látási körülmények között is olyan a színképi érzékenység, mint világosban látáskor (a $V(\lambda)$ görbével számolt fénysűrűségek a mérvadók).



4. ábra A gépkocsivezető látómezeje és abban a megfigyelendő látási feladat elhelyezkedése

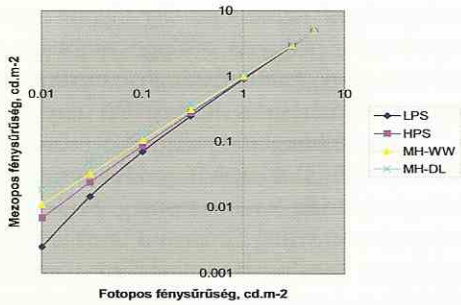
A 4. ábra szemlélteti a gépkocsivezető látómezejét és abban két fontos látási feladatot: vezetés közben elsősorban a gépkocsi előtti útszakaszt figyeli a vezető, azaz foveális látása az útra irányul, az ott látható akadályok felismerése a $V(\lambda)$ görbe szerinti látással történik mezopos körülmények

között is. Az út szélén elhelyezett jelzőtáblákat (vagy a gyalogjárón várakozó gyalogost) perifériálisan látja a gépkocsivezető, ezen esetben a pálcikák szolgáltatták a jel hozzájárul a látáshoz, fontos, hogy a közvilágítás ezek jó felismerését is lehetővé tegye.

Remélhető, hogy mire ez a közlemény megjelenik, a CIE közreadja a mezopos fénysűrűség meghatározására vonatkozó ajánlását. Ennek lényege, hogy ha ismerjük az adott látási feladat világosban látásra (fotopos látás) vonatkozó, hagyományos, fénysűrűségét és a megvilágítást létrehozó fény színképi teljesítményeloszlását, illetve a fotopos fénysűrűség mellett a szkotopos fénysűrűséget is, úgy számítani tudjuk a mért fotopos fénysűrűséghez tartozó mezopos fénysűrűséget, mely tehát a fotopos fénysűrűség mellett függ a megvilágító fényforrás relatív színképi teljesítményeloszlásától.

Az 5. ábra azt mutatja, hogy a fotopos fénysűrűség csökkenésével a hideg fehér fémhalogénlámpa (MH-DL) mezopos fénysűrűsége lassan csökken, $0,01 \text{ cd/m}^2$ fotopos fénysűrűségnél értéke még kb. $0,02 \text{ cd/m}^2$. Ezzel szemben a kisnyomású Na-lámpa ugyanakkor csupán kb. $0,005 \text{ cd/m}^2$ fénysűrűségű, azaz a fényhasznosítás több mint egy nagyságrenddel csökkent a fémhalogénlámpáéhoz képest. Természetesen nem szabad elfelejtenünk, hogy közutak világításánál $0,01 \text{ cd/m}^2$ fénysűrűség nem lép fel, egy nagyságrenddel nagyobb fotopos fénysűrűségnél az eltérés már csupán kb. háromszoros, amit a Na-lámpa nagyobb fényhasznosítás részben kompenzál. LED-es világításra még nem rendelkezünk megbízható elemzéssel, mivel a LED-es világításnál napról napra újabb színképeket dolgoznak ki a gyártók és a fényhasznosítási értékek is folyamatosan javulnak. Egyértelmű azonban, hogy ez az összefüggés a hidegebb fehér LED-ek számára jelent előnyt, hiszen a gázkisülő lámpákkal szemben már fotopos körülmények között is a CW LED fényhasznosítása jobb, mint a WW-é.

Szilárdtest fényforrások alkalmazása a közvilágításban, látásfizikai alapok



5. ábra A pálcikás látás $V(\lambda)$, valamint a világosban látásért felelős $V(\lambda)$ színeképi érzékenység.

2.2 A megfigyelő életkorának hatása

A fotometriai rendszer megalkotásakor elsősorban fiatal észlelőkkel végeztek kísérleteket. Ismeretes azonban, hogy az életkor előrehaladtával a szemlencse átérésztése a rövidebb hullámhosszak felé rohamosan csökken. 450 nm-nél (a kék csipp emissziós maximuma) a 65 éves átlagos megfigyelő szemlencséje 50 %-al kevesebb fényt ereszt át, mint a 25 éves megfigyelő szemlencséje. Annak ellenőrzésére, hogy ennek valóban van-e hatása a finom részletek felismerésére mezopos látási körülmények között, kísérletet végeztünk CW és WW p-LED-ekkel, valamint nagynyomású Na-lámpával. A kísérletek azt mutatták, hogy fiatal észlelő ki tudja használni a hidegebb fehér fény nyújtotta nagyobb mezopos fényssűrűség előnyét, de idősebb megfigyelő nem. Ezt az új mezopos fényssűrűség ajánlásoknál figyelembe kell majd venni.

2.3 Mezopos fényssűrűség és világosság

A CIE 1924-ben, amikor a fotometriai rendszert megalkotta, a $V(\lambda)$ függvényt látathatósági függvénynek (visibility function) keresztelte el, ma spektrális fényhatásfok a hivatalos neve, mivel az évtizedek során felismerték, hogy a fényssűrűség fontos jellemző a látást igénylő munkavégzés során, de

nem írja le a világosság (láthatóság?) érzést. Számos közlemény foglalkozott világosság és fényssűrűség viszony kérdésével, első sorban színes fények esetén. A közelmúltban a kutatók érdeklődése a közel fehér fények világosságának leírása felé fordult, mert mind fotopos, mind mezopos fényssűrűségeknél azt tapasztalták, hogy a kékesebb fehér fényeket világosabbnak érzékeljük.

Hideg fehér LED-ekkel megvilágított közutakat pl. nagynyomású Na-lámpákkal megvilágított utakkal összehasonlítva a megfigyelő benyomása az, hogy azonos fotopos fényssűrűség esetén ($V(\lambda)$ -hoz igazított mérőműszerrel mérve) a CW-LED-del megvilágított út világosabb, s ez könnyen ahhoz a következtetéshez vezet, hogy ott jobbak a látási feltételek. Egyes országokban ezen szubjektív érzés alapján odáig mentek, hogy engedélyezték, hogy hideg fehér fényű fényforrásokat alkalmazva egy útkategóriával kisebb megvilágítást valósítsanak meg, mint sárgás-fehér (nagynyomású Na-lámpa) fény alkalmazása esetén.

Ezen megfontolások azonban néhány további kérdést nem vesznek figyelembe:

- A világosság érzet nem azonos a részletek gyors felismerésének képességével. Kísérleteink igazolták, hogy a világosság érzet nem korrelál a gyors reakcióképességgel. A gyors foveális felismerés a CW és a WW fény esetén is jobban egyezik a fotopos fényssűrűséggel, mint valamely világosság metrikával.
- A kékesebb fehér fényvel megvilágított vöröses színű felületek – mezopos fényssűrűségek esetén – a Purkinje hatás következtében gyorsabban veszítenek világosságukból, mint a kék színek. Ez fontos lehet az út mentén elhelyezett jelzőtábla, pl. piros színű behajtani tilos tábla, felismerésénél. Az 1. ábra szerinti CW p-LED alkalmazásával már a világosban látás fényssűrűségi szinteken is viszonylag sötét lesz a tiltó tábla vörös felülete, mezopos

Szilárdtest fényforrások alkalmazása a közvilágításban, látásfizikai alapok

körülmények között ennek világossága már könnyen beleolvadna a környezet világosságába, a szint nem látnánk jól.

- Egyes vizsgálatok szerint mezopos fény-sűrűségi viszonyok között is lényeges szerepe van a jó színvisszaadásnak – vagy talán a jó szín-felismerésnek – ahhoz, hogy a vizsgált környezetet világosnak, komfortosnak érezzük.

További vizsgálatokra lesz szükség ahhoz, hogy számszerűsíteni lehessen a kidolgozás alatt álló új mezopos fotometria összefüggéseit a gyors felismerés, a részletek tiszta megkülönböztethetősége és a világosság érzet kialakulása érdekében.

2.4 Látóélesség, kontraszt, káprázás

Az optimális fényforrás színkép meghatározásához még számos további kérdést is tisztázni kell:

Szemünk optikája nem tökéletes, ismert a kromatikus aberrációja, azaz, hogy nem képes egyidőben fókuszálni a rövidebb és hosszabb hullámhosszakra. Amikor a nagy nyomású higanylámpák helyett a nagynyomású nátriumlámpák bevezetésre kerültek, számos megfigyelés látott napvilágot, hogy a monokromatikusabb Na-fényben „tisztább” a látás. Ezt a kromatikus aberráció okozta életlenedés elmaradásának tulajdonították. CW és WW LED-ekkel végzett hasonló vizsgálatokról nem tudunk.

Ismert, hogy az emberi szem rontó káprázás érzékenysége ugyancsak változik a fény hullámhosszával, de függ pl. a szem íriszének színétől is: a kék-szeműeknél nagyobb a kialakuló fátyol-fénysűrűség, és valószínűsíthető, hogy a CW p-LED nagyobb kék sugárzása nagyobb fokú káprázást okoz majd, de ez is még alaposabb vizsgálatra vár.

Szemünk kontrasztérzékenysége is változik a fény színképével. A legkisebb megkülönböztethető kontraszt (kontraszt határérzékenység) fehér fény esetén a 2°–3° tájékán van, de finomabb szerkezete (hideg-meleg fehér fény) további vizsgálatokat igényelne.

Fentiekben túlmenően figyelembe kell venni azt is, hogy a gyalogos számára a szembe jövő másik gyalogos arcvonásainak a felismerése is fontos. Ezt egyrészt a félcilindrikus megvilágítás értékeivel számszerűsítjük, s ezt a fényeloszlás megfelelő geometriája határozza meg. Szükséges azonban a jó szín-felismerés is, amit a színvisszaadás fogalmával jellemezünk. Ismeretes, hogy a szilárdtest fényforrások megjelenése – épp ezen fényforrásoknak a szokásostól eltérő színképe miatt – kérdéseket vetett fel a színvisszaadási index meghatározásával kapcsolatban is. Nemzetközileg ezt a kérdést még nem zárták le, mai ismereteink szerint a jó színvisszaadásnak jelentős szerepe lehet az általános világosság érzet kialakításában, és a másik járókelő felismerésében is. A jelenleg használt rendszert figyelembe véve az $R_a > 80$ -at célszerű betartani, és külön figyelmet fordítani az R_g indexre, mely a vörös színű felületek színének visszaadását írja le, s ez az érték legyen nagyobb mint 50.

3. Következtetések és összefoglalás

Mint láthattuk, ha csupán a mezopos látás színképi érzékenységet vesszük figyelembe, úgy a hidegebb fehér fénytől a közvilágításban szokásos fénysűrűségek esetén jobb látást remélhetnénk, illetve csökkenthetnénk a megvilágítást azonos látási körülmények elérése érdekében, s ez energia-megtakarításhoz vezethetne. Ez valóban fenn áll, ha csak a környezet világosságát tekintjük. A gépjárművezető feladata azonban elsősorban az, hogy a gépkocsi előtt lévő akadályokat időben felismerje, a gépkocsit megfelelően irányítsa. Ehhez jó foveális látásra van szüksége, s ezt a hagyományos fotometriai rendszer alapján méretezhetjük.

A fentieknek megfelelően tehát, ha az eddigi közvilágítási előírások a megvilágítandó úttest számára a forgalom és egyéb mutatók alapján meghatározott fénysűrű-

Szilárdtest fényforrások alkalmazása a közvilágításban, látásfizikai alapok

séget (vagy megvilágítást) írtak elő, úgy azt a mezopos fénysűrűség új mérőrendszerére áttérve nem értelmezhetjük egyszerűen azonos megkövetelt számértékű mezopos fénysűrűségként/megvilágításként.

Ugyanakkor a hidegebb fehér fény alkalmazásával – megtartva az úttesten az előírt (fotopos) fénysűrűséget – növelhetjük a környezet érzékelt világosságát, így látszólag „jobb” világítást biztosíthatunk. Nem tehetjük ezt azonban minden határon túl: ha nagyon magas korrelált színhőmérsékletű fényforrást választunk (pl. 6500 K fölött), úgy csökken a környezetben lévő vörös tárgyak láthatósága, ami adott útjelzések felismerését nehezítheti.

Hasonló eredményre jutunk, ha figyelembe vesszük a közutakat használók életkorát: ha csupán a közúton lévő akadály felismerését tekintjük a megvalósítandó világítás értékének kritériumaként, és fiatal megfigyelőkkel dolgozunk, akkor hideg-fehér fényt alkalmazva csökkenthetnénk a megvilágítást. De akkor az idős megfigyelő az adott akadályt már rosszabbul látná, mint meleg-fehér világítás esetén. Tehát az eddigi (meleg-fehér világításhoz készített) előírásokból nem engedhetünk, mivel a hideg-fehér fény alkalmazásával az idős megfigyelő számára nem mutatkozik előny.

Mindezeket összevetve a jelen ismeretek alapján azt javasolhatjuk, hogy kb. 4000 K-es korrelált színhőmérsékletet válasszunk a közvilágítási lámpatestek fényforrásai számára. Ha az adott területen fontos a gyakorlatos vizuális komfortja is, úgy célszerű a fényforrás színvisszaadási indexét is figyelembe venni. $R_a > 80$ és $R_g > 50$ célszerű értékek.

Köszönetnyilvánítás

Szerző köszönetet szeretne mondani a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatalnak, mely a Jedlik Ányos program keretében anyagi segítséget nyújtott az egyes kutatási feladatok megoldásában, valamint a Pannon Egyetem Műszaki Informatikai Kara Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszéke Virtuális Környezetek és Fénytani Laboratóriuma dolgozóinak, akik értékes megjegyzéseikkel és tanácsaikkal hozzájárultak a cikk megírásához.