

# Fotometria – 75 évvel ezelőtt és ma

## Bevezetés

A világítástechnikát különösen vonzóvá teszi az a tény, hogy egyszerre mérnöki tudomány és művészeti szakma. Világítástechnikai létesítményt tervezni, a megvalósult berendezésen méréseket végezni mérnöki munka, mely azonban nem nélkülözheti a tervező intuícióját. A tervbe az alkotónak bele kell látnia, hogy miként fog az hatni a szemlélőre, s ez művészi teljesítmény.

Míg a világítástechnika – s itt elsősorban a mesterséges világítás technikáját értjük alatta – kezdeti évtizedeiben a mérnöki kérdések álltak a vizsgálatok előterében, napjainkban egyre fontosabb szerepet kap a művészi összetevő számszerűsítése is.

Mérnöki munka elképzelhetetlen számszerű tervezés és a megvalósított berendezésen a tervezett értékek ellenőrzése nélkül. A világítástechnika számára ezt a számszerűsíthető fogalmi háttérrel a fotometria nyújtja.

Amióta többé-kevésbé reprodukálható fényforrásokat tudott az ember előállítani, felmerült annak az igénye, hogy ezen fényforrások által nyújtott teljesítményt meghatározza, a különböző világítástechnikai helyzetekben fellépő mennyiségeket elnevezze, megmérje.

A fotometria fejlődésének egy meghatározó mozzanata zajlott le 75 évvel ezelőtt, amikor a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (CIE) genfi ülésén jóváhagyta a mai napig szinte változatlanul használt fotometriai rendszert. Ez a

75 éves jubileum jó alkalom arra, hogy egyrészt megvizsgáljuk, hogyan született a világítástechnikai tervezéseink és méréseink alapját képező fotometria, milyen változásokon, kiegészítéseken ment át az elmúlt háromnegyed évszázad alatt, s milyen új gondolatokat, mérési eljárásokat várhatunk a közeljövőben.

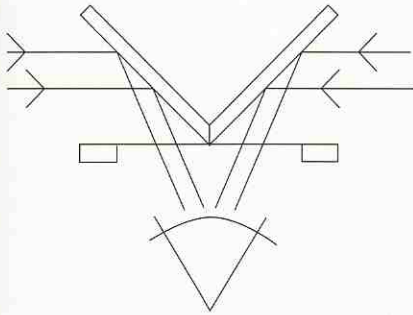
A CIE felkérésére a Magyar Nemzeti Bizottság ez év szeptember 30. és október 2. között az MTA Székházában háromnapos nemzetközi szimpózium keretében fogja ezen kérdéseket megvitatni. Jelen helyen a rendezvény végkövetkeztetéseit természetesen nem tudjuk megjósolni, csak a hazai világítástechnikusok figyelmét tudjuk a szakmájuk mérnöki alapjait nyújtó fotometria kérdéseire ráirányítani.

## Történelmi áttekintés

### Korai fotométerek

A mesterséges fényforrások szolgáltatott fény mennyiségek összehasonlítása egyidős a fényforrások, mécsesek, gyertyák, olaj- és gázégők, majd elektromos árammal működő fényforrások kidolgozásával.

Bouguer<sup>1</sup> már 1760-ban ismertetett egy „fotométert”, melyben két áttetsző papírt világított meg a két összehasonlítandó fényforrás, s a fényforrásokat közelítve-távolítva a papírmintáktól kellett a két papír megvilágításának egyenlőségét beállítani. Nagyon hasonló elven működött Rumford fotométere is



1. ábra. A Richi fotométer elvi felépítése

(1773)<sup>2</sup>. Ezen műszerek, s a később kidolgozott különböző, szemmel történő összehasonlításra alapuló (ún. vizuális) fotométerek mind kihasználták a világitástechnikai tervezésünknek azóta is sarkalatos megállapítását: Pontszerű fényforrások esetén a megvilágítás a fényforrás és az érzékelő közötti távolság négyzetével fordítva arányos.

Két fényforrás által létrehozott megvilágítás pontosabb összehasonlításának lehetőségét a XIX. században tett felismerés hozta meg: Ha két megvilágított felület közvetlenül egymás mellett látunk, akkor a kettőt elválasztó határvonal élessége függ a két felület megvilágításától. Amikor a két felület megvilágítása azonos, a határvonal majdnem teljesen eltűnik

Ezen elv legegyszerűbb alkalmazására találunk példát Richi (1826)<sup>3</sup> fotométerében, ahol két matt fehér felületet világít meg a két vizsgálandó fényforrás, és a két felület egy éket alkot (lásd 1. ábra).

Ezt az elvet fejlesztette tovább Bunsen (1843)<sup>4</sup>, aki már „fotométerfejet” is szerkesztett, lásd 2. ábra. A Bunsen-fotométer kiküszöböli sok modernebb vizuális fotométernek azt a hibáját, hogy ha a felület a beérkező sugárzásra nem merőlegesen áll, mint pl. a Richi-fotométernél, a lemez megvilágítása egyenlőtlen lesz, ezzel szemben a matt felület fénysűrűsége oldalirányból rátekintve állandó.

A vizuális fotometria legérzékenyebb,

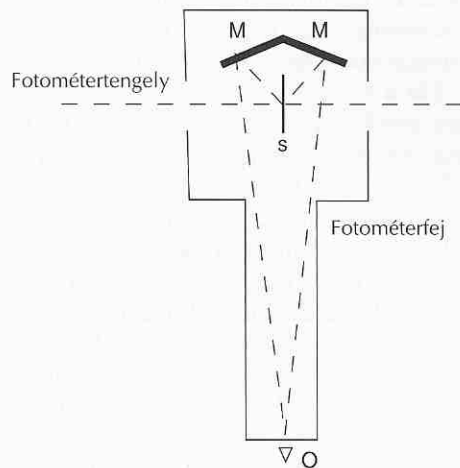
a legpontosabb fény-összehasonlítást lehetővé tevő eszköze a Bunsen-fotométer továbbfejlesztése, a Lummer–Brodhun fotométer (1889)<sup>5</sup>.

A 3. ábrán bemutatott „kontraszt” fotométernél a látótér egyik felét az egyik, másik felét a másik fényforrás világítja meg. A fotométer lényegét képező „Lummer–Brodhun-féle kocka” az első fényforrás fényéből vetíti a második látómezőben levő trapéz alakú felületre fényt és vizont. A fényforrások által létrehozott megvilágítást akkor tekintjük azonosnak, amikor egyrészt a két nagyobb felület közötti határvonal eltűnni látszik, továbbá a látótérekben lévő félkör alakú foltok és az azokban látszó trapéz alakú felületek kontrasztja azonos.

### Villogásos fotometria

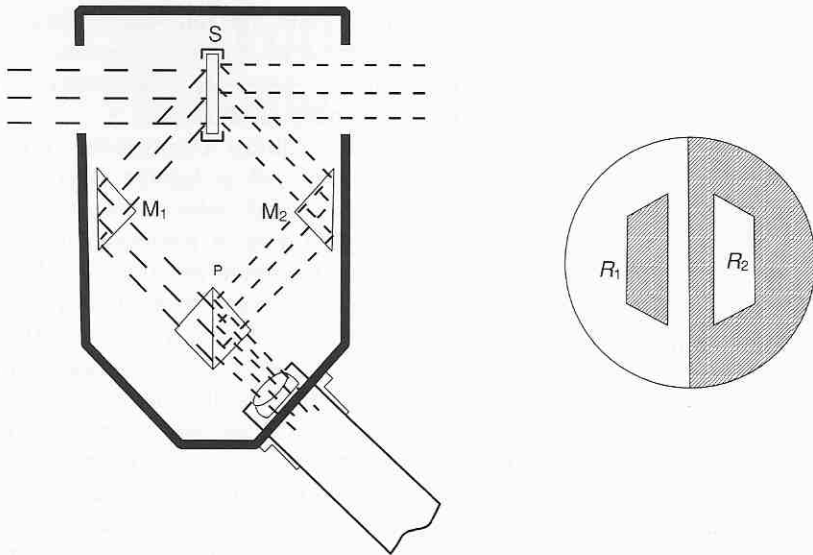
A különböző elven működő fényforrások színe eltérő. Még a legkifinomultabb vizuális fotométer használata esetén is bizonytalanná válik a különböző színű fényforrások összehasonlítása.

Különböző színű fények intenzitásának összehasonlítására van azonban egy másik módszer<sup>6</sup>, a villogásos fotometria: Ha két fénynyalábot felváltva vetítünk szemünkbe, és a két fénynya-



2. ábra. A Bunsen fotométer elvi felépítése





3. ábra. Lummer-Brodhun kontrasztfotométer

láb mind intenzitásban, mind színben eltérő, úgy a váltási frekvenciát növelve azt tapasztaljuk, hogy kis frekvencia esetén ( $< 10$  Hz) mind az intenzitásbeli lüktetést, mind a színi változást észleljük. A váltási frekvenciát növelve – a szemünket érő besugárzás szintjétől függően, 15 Hz–20 Hz tájékán, már nem érzékeljük a kétféle szín váltását, csak az intenzitás lüktetést. Még nagyobb frekvencián az intenzitáskülönbség okozta lüktetésérzés is megszűnik, szemünk az átlagos világosságot érzékeli.

Ha a váltási frekvenciát arra a közepes értékre állítjuk, melynél színlüktetést már nem érzékelünk, de intenzitáslüktetést még igen, s a két megvilágító fényforrás relatív távolságát változtatjuk, lüktetési minimumot tudunk beállítani. Ekkor mondjuk, hogy a két fényforrás által létrehozott villogási megvilágítás azonos. Ez a módszer jól használható különböző színű sugárzások okozta megvilágítások összehasonlítására.

A XX. század tízes éveiben részletesen vizsgálták a különböző hullámhosszúságú monokromatikus sugárzá-

sok által keltett „világosság”-érzetet mind a heterochromatikus közvetlen összehasonlítás módszerével, mind a villogásos fotometria eljárásával<sup>7, 8</sup>.

A különböző módszerekkel végzett vizsgálatok eredményét tekintette át a CIE 1924-ben, és hozta meg korszakos döntéseit.

### A modern fotometria születése

1924-ben a CIE genfi 6. kongresszusán az USA nemzeti bizottsága javaslatot terjesztett be, mely megalapozta a fotometria új, egységes rendszerét<sup>9</sup>.

A jelentés részletesen beszámolt arról, hogy mely színképtartományban, hány észlelővel végezték el a kísérletet (alig több, mint 50 észlelővel, a legtöbb esetben csak 490 nm és 680 nm közt mértek). Összevetették eredményeiket más szerzők adataival is. Az összes mérés eredményét feltüntető grafikont az eredeti közlemény alapján, a 4. ábrán tüntettük fel. Ugyanezen közleményből származik az 5. ábra, mely az eredmények táblázatos összefoglalását tartalmazza. Itt látható két közvetlen összehasonlításos módszerrel és két, a

villogásos fotometria módszerével mért kísérleti adatsor, az USA-ban korábban használt láthatósági színekép (I.E.S. 1918), valamint az új ajánlásnak megfelelő adatsor (Proposed...). A közvetlen kísérleti adatokat 400 nm-ig és 760 nm-ig extrapolálták.

A CIE az 1924-es ülésén a láthatósági görbe táblázatát az 5. ábrán javasolt formában hagyta jóvá<sup>10</sup>. Érdeemes ezzel kapcsolatban a vonatkozó (4.) határozat szöveges részét idézni:

„(4) A Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság általános használatra javasolja, hogy az alábbi adatokat, mint ideiglenes adatokat használják láthatósági faktorokként.”

A bizottsági ülésen a „javasolja” szó körül vita alakult ki, míg franciában a „recommends” csak gyenge, az angolban határozottabb javaslat. A bizottság csak a gyengébb értelemben, mintegy „kipróbálásra javasolja” értelemben, kívánta használni a kifejezést.

A másik lényeges megállapítás, hogy

„comme valeurs provisoires”, azaz „mint ideiglenes adatokat” javasolta a bizottság a táblázat adatait. Az I. táblázatban feltüntettük az 1924-es adatokat és a CIE által jelenleg javasolt értékeket<sup>11</sup>.

Az 1991-es adatok 360 nm és 830 nm között 1 nm-es lépésközzel rögzítik a görbét. A táblázatban ebből tüntettük fel a kerek 10 nm-es lépésközhöz tartozó értékeket a manapság leginkább használt 380 nm–780 nm közötti tartományban. Mint látható, az „ideiglenes” adatok igen jól átvészelték a háromnegyed évszázadot, eltérések csak a sokadik tizedesben vannak, azok is csak a görbék pontosabb interpolálása során keletkeztek.

Az 1924-es kongresszus nem csupán a láthatósági függvényt rögzítette, de megtette az első lépéseket a világítás-technika egységes szóhasználata és egy-ségrendszere érdekében is.

Meghatározták az olyan fogalmakat, és egységes jelölésüket, mint a fényáram ( $F$ ), a fényerősség ( $I$ ), a megvilágítás ( $E$ ) stb.

Mivel a későbbiekben a  $V(\lambda)$ -görbe je-

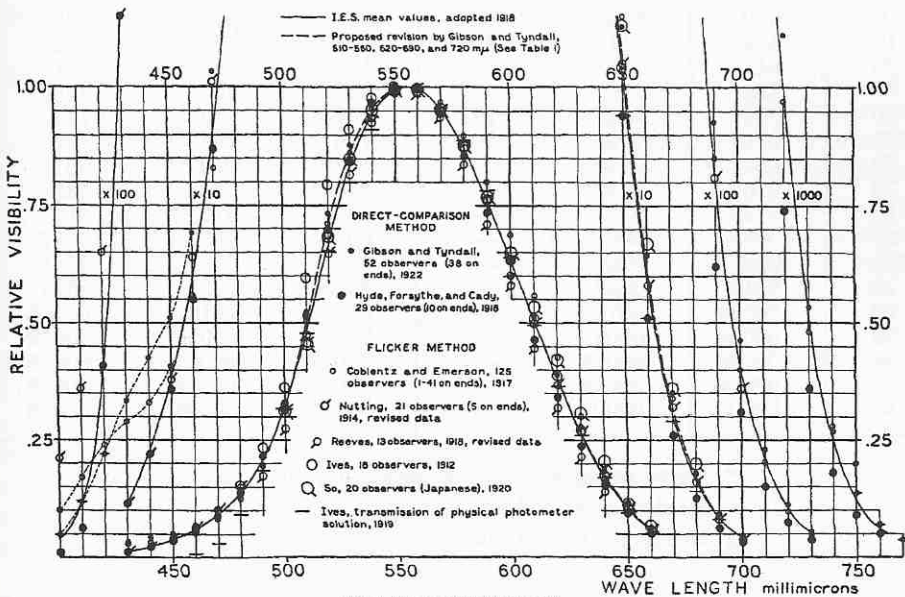


Fig. 1. Value of Relative Visibility.

4. ábra. A láthatósági faktorok mérési eredményeinek facsimile grafikonja (lásd<sup>9</sup>).



Table I. *Values of Relative Visibility\**

Wave length in millimicrons	Experimental data				Average data	
	Direct-comparison method		Flicker method		I.E.S. adopted mean values 1918†	Proposed revision of I.E.S. values by Gibson and Tyndall‡
	Hyde, Forsythe and Cady	Gibson and Tyndall	Average Ives-Nutting	Coblentz and Emerson		
400	0-00009	0-005	—	0-010	0-0004	0-0004
10	00062	012	—	017	0012	0012
20	0041	022	—	024	0040	0040
30	0115	033	—	029	0116	0116
40	022	043	—	033	023	023
450	036	051	—	041	038	038
60	055	069	—	056	060	060
70	087	103	—	083	091	091
80	138	143	0-152	125	139	139
90	216	196	225	194	208	208
500	328	318	339	316	323	323
10	515	523	527	503	484	503
20	698	732	721	710	670	710
30	847	878	865	862	836	862
40	968	964	953	954	942	954
550	996	998	995	994	993	995
60	995	991	994	998	996	995
70	944	947	950	968	952	952
80	855	863	875	898	870	870
90	735	754	764	800	757	757
600	600	634	636	687	631	631
10	464	511	505	557	503	503
20	341	389	378	427	380	381
30	238	279	271	302	262	265
40	154	184	171	194	170	175
650	094	1125	105	115	103	107
60	051	0642	—	0645	059	061
70	026	0349	—	0338	030	032
80	0125	0178	—	0178	016	017
90	0062	0092	—	0085	0081	0082
700	0031	0045	—	0040	0041	0041
10	0015	0022	—	00203	0021	0021
20	00074	00108	—	00097	0010	00105
30	00036	00061	—	00048	00052	00052
40	00018	00026	—	00028	00025	00025
750	00009	00014	—	00020	00012	00012
60	00005	00007	—	—	00006	00006

\* Unity at wave length of maximum visibility.

† Maximum at 556 m $\mu$ .

‡ Maximum at 555 m $\mu$ .

5. ábra. Az 1924-ben jóváhagyott  $V(\lambda)$  láthatósági értékek eredeti táblázatos formája (lásd <sup>10</sup>)

A láthatósági függvény eredeti (1924-ben jóváhagyott<sup>10</sup>) és jelenleg javasolt (1991-es ajánlás<sup>11</sup>) adatai

Hullámh. nm	Láthatósági érték		Hullámh. nm	Láthatósági érték		Hullámh. nm	Láthatósági érték	
	1924	1991		1924	1991		1924	1991
380	–	0,000 039	520	0,710	0,710 000	660	0,061	0,061 000
390	–	0,000 120	530	0,862	0,862 000	670	0,032	0,032 000
400	0,0004	0,000 396	540	0,954	0,954 000	680	0,017	0,017 000
410	0,0012	0,001 210	550	0,995	0,994 950	690	0,0082	0,008 210
420	0,0040	0,004 000	560	0,995	0,995 000	700	0,0041	0,004 102
430	0,0116	0,011 600	570	0,952	0,952 000	710	0,0021	0,002 091
440	0,023	0,023 000	580	0,870	0,870 000	720	0,00105	0,001 047
450	0,038	0,038 000	590	0,757	0,757 000	730	0,00052	0,000 520
460	0,060	0,060 000	600	0,631	0,631 000	740	0,00025	0,000 2492
470	0,091	0,090 980	610	0,503	0,503 000	750	0,00012	0,000 120
480	0,139	0,139 020	620	0,381	0,381 000	760	0,00006	0,000 060
490	0,208	0,208 020	630	0,265	0,265 000	770	–	0,000 030
500	0,323	0,323 000	640	0,175	0,175 000	780	–	0,000 014 990
510	0,503	0,503 000	650	0,107	0,107 000			

löntőségével még részletesen fogunk foglalkozni, érdemes ezen táblázatba foglalt értéksor fogalmának változására rámutatnunk.

1924-ben a „*facteur de visibilité*” definíciójaként a következőket találjuk:

„monokromikus sugárzás *láthatósági értéke* az adott sugárzás fényáramának és sugárzott teljesítményének hányadosa.” A *relatív láthatósági érték* a láthatósági faktor maximális értékéhez viszonyított érték.

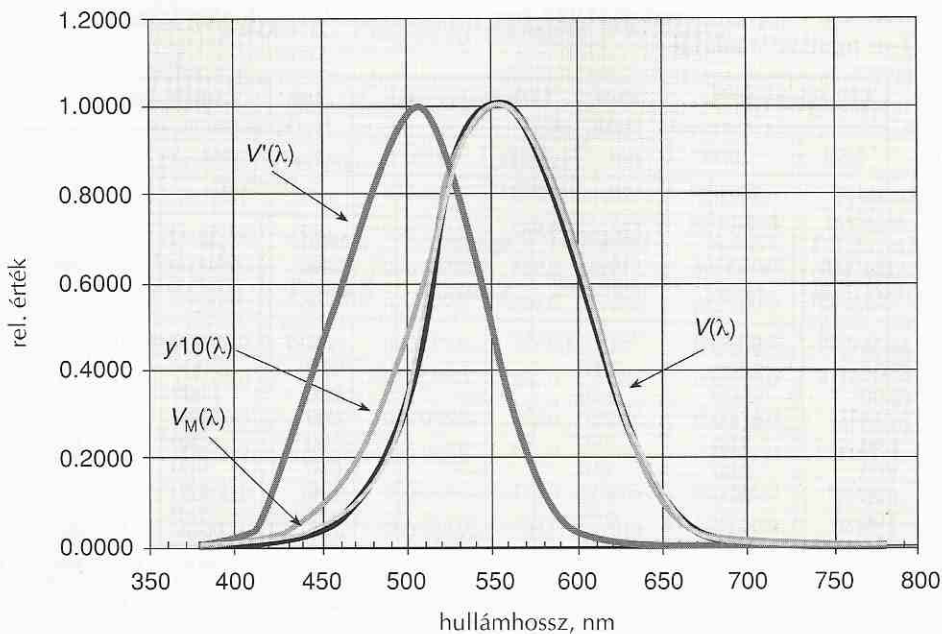
1983-ban amikor a fizikai fotometria ma is érvényes megfogalmazása készült<sup>12</sup>, már árnyaltabban „*efficacité lumineuse relative spectrale*” vagy „*spectral luminous efficiency function*”-ról beszél a jelentés. Ezt a meghatározást rögzíti a Nemzetközi Világítástechnikai szótár<sup>13</sup> és annak alapján a magyar szabvány<sup>14</sup> is.

„845-01-22 *Spektrális fényhatásfok; láthatósági függvény* (egy  $\lambda$  hullám-

hosszú monokromatikus sugárzásra vonatkozó) [ $V(\lambda)$  fotopos (világosban) látás;  $V'(\lambda)$  szkotopos (sötétben) látás].

A  $\lambda_m$  hullámhosszon sugárzott teljesítmény osztva a  $\lambda$  hullámhosszon sugárzott teljesítménnyel úgy, hogy meghatározott fotometriai feltételek között mindkettő egyforma fényészlelést hoz létre, és a  $\lambda_m$  hullámhosszat úgy választják, hogy az arány legnagyobb értéke 1 legyen.”

A meghatározások legfőbb problémája, hogy 1924-ben a „visibilité” = „láthatóság” és 1983-ban a „luminous sensation” = „fényérzékelés” fogalmát nem definiálták. Ezért sok esetben a világosságérzet pszichofizikai megfelelőjeként értelmezik a  $V(\lambda)$  függvény szerint súlyozott sugárzott teljesítményt. Ez azonban színes sugárzás esetén helytelen (lásd 3. fejezet).



6. ábra. A  $V(\lambda)$ ,  $V_M(\lambda)$  és  $V'(\lambda)$  és az  $y_{10}(\lambda)$  görbe spektrális menete

### A fotometriai alapfogalmak fejlődése az elmúlt 75 év során

Az 1924-es határozatok után a CIE figyelme egyrészt a fotometria különböző alkalmazásai felé fordult, másrészt újabb területekre, elsősorban a színtan területére irányult. A fotometriában a fejlődést a nagyobb fénysűrűségek esetén érvényes  $V(\lambda)$  görbe mellett a „sötétben látás” körülményei közt használható szkotopos  $V'(\lambda)$  görbe rögzítése jelentette. Bár a Purkinje-jelenség, a láthatósági görbének a fénysűrűség csökkenésével a rövidebb hullámhosszak felé való eltolódása már az 1924-es határozatok előtt egy évszázaddal ismert volt, a szkotopos láthatósági görbét csak 1951-ben szabványosította a CIE<sup>15</sup>.

Ugyanezen az ülésen a színmérési bizottság felvetette a színegyeztető függvények korrigálásának szükségességét<sup>16</sup>, mert az  $\bar{y}(\lambda)$  függvény, mely definíció szerint a  $V(\lambda)$  függvénnyel azonos, a kék színek tartományban kisebb érté-

ket vesz fel, mint az a vizuális észleletek szerint helyes lenne. Ezt a javaslatot 1951-ben a CIE elvetette, és csak 1988-ban szabványosított egy kiegészítő fotopos érzékelőt, mely a kék színek tartományban is helyesebben írja le a láthatósági görbét<sup>17</sup>. A 6. ábra ezt a  $V_M(\lambda)$  görbét szemlélteti az 1924-es szabványnak megfelelő  $V(\lambda)$  és az 1951-es szkotopos  $V'(\lambda)$  görbével együtt. Ugyanitt feltűntettük a  $10^\circ$ -os látómezőre szabványosított színegyeztető függvényt<sup>20</sup> is, melyet bár nem szabványosítottak fotometriai célra, de sok közleményben használják.

A fotopos és szkotopos láthatósági görbék rögzítésével természetesen felmerült az igény, hogy a közbenső fénysűrűség-tartomány, az ún. mezopos tartomány számára is készüljön fotometriai rendszer. Ennek nagy lenne a jelentősége, mivel az útvilágítás látási feladatai zömme a mezopos tartományban fekszenek. A CIE az elmúlt 50 évben több nekifutásban is próbálkozott a kér-



dés megoldásával, de napjainkig sikertelenül. Az 1988-ig végzett kísérleti munka összefoglalását egy technikai jelentésben találjuk meg<sup>18</sup>, az azóta folyó kutatómunka azonban még csak a technikai bizottságok belső jelentéseiben szerepel. Az egységes szkotopos–mezopos–fotopos fotometria kidolgozása a jövő nagy kihívását jelenti.

## A láthatósági függvény: világosság és fényűrűség

Végezzük el a következő gondolkísérletet: Válasszunk egy kékeszöld és egy vörös színigert, majd egyeztessük ezeket villogásos fotometria segítségével. Vegyük ezek után az így meghatározott, azonosnak ítélt két inger additív összegét, azaz ejtsük a két fénynyalábot a felfogó ernyő azonos területére. A szomszédos felfogóernyő-területre vetítsük az egyik inger (pl. a vörös) kétszeres intenzitását. Azt fogjuk tapasztalni, hogy a telített vörös színiger sokkal világosabbnak tűnik, mint a két kiinduló (kékeszöld és vörös) színiger additív eredőjeként látott halványzöld árnyalatú fényfolt. Ellenőrzésként az utóbbi kísérlet két ingerét villogásos fotométerrel összehasonlíthatjuk, akkor azt fogjuk tapasztalni, hogy a két inger által kiváltott érzet azonos, a beállított értéknél villogásos minimumot kapunk.

Azt a jelenséget, hogy villogásos fotometriával azonos értékűnek talált ingerek közül az erősen telített világosabbnak tűnik, vagy Helmholtz–Kohlrusch hatásnak, vagy világosság–fényűrűség eltérésnek (diszkrepanciának) hívjuk.

A  $V(\lambda)$  láthatósági függvény megalkotásakor, miként arra a 2.3 fejezetben rámutattunk, a fogalmazásban gondosan kerülték a „világosság” kifejezést. A későbbi, pontosabb meghatározás sem használja ezt a megnevezést. Azonban 1931-ben a CIE megalkotta színmé-

resi rendszerét, mely éppoly sikeresnek bizonyult, mint az 1924-es fotometriai rendszer<sup>19, 20</sup>. A CIE-XYZ rendszerben az  $\bar{y}(\lambda)$  színösszetevő függvényt a  $V(\lambda)$  függvénnyel azonosnak választották.

A későbbi fejlesztések során a „világosság”-érzet pszichofizikai (inger) korrelátumaként a  $Y$  színösszetevőt, vagy annak nem-lineáris transzformáltját tekintették. Így pl. a CIELAB színtér leírásában az  $L^*$  neve 'CIE 1976 világossági tényező' (CIE 1976 lightness). Mai ismereteink tükrében ez szerencsétlen szóhasználat volt, mert a Helmholtz–Kohlrusch hatás következtében a fotometriailag meghatározható „fényűrűség” és a vizuális „világosság” közötti összefüggés bonyolultabb, a világosság korrelátumának meghatározásában a minta mindhárom színösszetevőjére, sőt a környezet színjellemzőire is szükség van. A CIE kipróbálásra javasolt egy eljárást<sup>21</sup>, mely használható a világosság–fényűrűség arány meghatározására, de ez csak arra vonatkozik, hogy megállapítsuk, két minta közül melyik látszik világosabbnak. A módszer nem határoz meg világossággal korreláló skálát. Ilyet fotometriai eljárás nem tartalmaz, a szín megjelenítési modellek próbálkoznak pszichometriai világosságskálák létrehozásával<sup>22, 23</sup>.

A fényűrűség fogalmát és mérőszámát, a  $\text{cd}/\text{m}^2\text{-t}$ , igen jól tudta a világítás-technika használni, ezért keresték a világosság mellett azt a másik érzetet, melyel jobban korrelál a fényűrűség. A biológiai-fiziológiai vizsgálatok meg is találták ezen látszólagos ellentmondás feloldását. Az emberi látásmechanizmus összetett folyamat. Mai ismereteink szerint – kissé leegyszerűsítve – úgy képzelhetjük el a színlátás mechanizmusát, hogy a háromféle csap-pigmens a látható színkép hosszú, közepes és rövid hullámhosszúságú tartományában keletkező gerjesztés hatására hoz létre elektroké-



miai változást, s e jelek – elektrokémiai potenciálváltozások – a retina szintjén további idegingerületekké alakulnak. Ennek során az egyik mechanizmus a hosszú és közepes hullámhossztartományban érzékeny csapok jeleit kis területen összegzi és a körülötte elhelyezkedő területekről származó hasonlóan összegzett jelhez hasonlítja. Ezáltal olyan jel keletkezik, mely a látott pont és környezete gerjesztésének különbségére (vagy viszonyára) reagál. A retinában az úgynevezett ganglion sejtek végzik el ezt a feldolgozást. A primer analóg (növekvő-csökkenő intenzitással arányos) jelből impulzuskódolt jelet alkotnak s küldenek további feldolgozásra az agyba: a ganglion sejtek továbbítják az információt a látóidegekhez, melyeken nyugalmi állapotban is bizonyos átlagos gyakorisággal létrejönnek kisülések. Ha most a retina adott helyét nagyobb és a környezetét kisebb inger éri, úgy ennek hatására adott idegeken megnő a tüzelési gyakoriság, másokon éppen lecsökken a nyugalmi tüzelési gyakoriság értéke alá. Ez kontraszt jellegű információt küld az agyba, s ott a térben lévő finom szerkezetek (pl. írás) felismerését teszi lehetővé.

Kísérletek kimutatták<sup>24</sup>, hogy a finom részletek felismerését lehetővé tevő fiziológiai csatornának a színeképi érzékenysége gyakorlatilag megegyezik a villogásos fotometriával mért láthatósági görbe színeképi menetével. Így azt mondhatjuk, hogy a fénysűrűség pszichofizikai ingerének megtaláltuk az érzékleti, fiziológiai-biológiai megfelelőjét. A munkavégzés során oly fontos részletfelismerés a világítástechnika fénysűrűség-mennyiségével áll kapcsolatban.

A világosságérzet kialakítása bonyolultabb, abban nem csupán a közepes és hosszú hullámhosszú csap – gerjesztések additív összegének a megfigyelt pont és annak környezete közti kontraszt – jele vesz részt. Kialakulásához

mindhárom csaptípus (rövid-, közepes- és hosszúhullámú színeképtartományban érzékeny csap) hozzájárul. A színes látás világosságérzetének pszichofizikai leírására az „*equivaleus fénysűrűség*” fogalmát vezették be<sup>25</sup>, mely a vizsgált minta érzékelt világosságának mérőszámaként egy azonos világosságúnak érzékelt összehasonlító minta fénysűrűségét definiálja. Régebben fehér felület fénysűrűségét használták erre a célra. Újabban – mivel a teljes fotometriai rendszert az 555 nm-es monokromatikus sugárzás teljesítményének meghatározására vezetik vissza – az *equivaleus fénysűrűség* definíciójában is az 555 nm-es monokromatikus világító mező fénysűrűségét tekintik összehasonlító mezőnek<sup>26</sup>.

### **Pálcikalátás szerepe a világítás megítélésében**

A legkisebb fénysűrűségek tartományában (kb.  $10^{-3}$  cd/m<sup>2</sup> alatt) a csapocskák már érzéketlenek, látásunkat teljes egészében a pálcikák közvetítik. Ez a 'sötétben' (szkotopos) látás tartománya. Mivel a pálcikák „színavakok”, ilyen körülmények között a  $V'(\lambda)$  láthatósági görbével felépített fotometriai rendszer<sup>27</sup> az adott körülmények között érzékelt világosság pszichofizikai leírására alkalmas. Ez lényeges különbség az előző fejezetben tárgyalt 'nappali' (fotopos) látás világosság/fénysűrűség eltéréséhez képest.

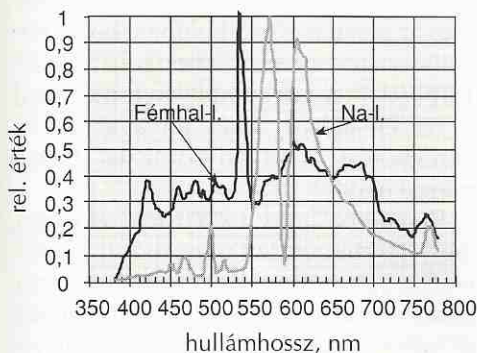
### **A mezopos látás fotometriája**

A klasszikus fotometria gondolatvilágában a pálcikáknak a nappali látás fénysűrűség-tartományában (kb. 3 cd/m<sup>2</sup> fölött) már nincsen szerepük. A 3 cd/m<sup>2</sup> és  $10^{-3}$  cd/m<sup>2</sup> között (mezopos vagy alkonyi látás) mind a csap-, mind a pálcikamechanizmus működik, a fénysűrűség csökkenésével csökken a csapocskák

kák közvetítésével létrejövő érzet és nő a pálcikalátás szerepe.

A mezopos fotometria számára ezen feltételezéssel készültek fotometriai modellek<sup>28</sup>, melyek közül egyiket sem ismerték el nemzetközileg. Ennek egyik oka talán az is, hogy – mai ismereteink szerint – a fotopos és a szkotopos látás tartományában más-más látási feladatot modellez a pszichofizikai leírás: a fotopos tartományban a fénysűrűség a finom részletek és a gyors változások (villogás, lüktetés) felismerésének inger szintű leírása, a szkotopos fénysűrűség pedig 'világosság' korrelátum. Az átmeneti tartományban nemcsak a látásmechanizmus tevődik át a  $V(\lambda)$  görbével jellemzett fotometriáról a  $V'(\lambda)$  görbével meghatározottra, de változik a látási kritérium is, melyet az egyik, illetve másik rendszer leír. A fotopos fotometria a részletfelismeréshez nyújt mérőszámot, a szkotopos fotometria a világosság leírására alkalmas.

A mezopos fotometria a közlekedés-világításban játszik nagy szerepet, mivel a legjobban világított utaktól eltekintve az útvilágítás ebbe a fénysűrűségi tartományba esik. Napjainkban a közvilágításban két nagy fényhasznosítású fényforráscsalád közt választhat a tervező: nagynyomású Na-lámpa és nagynyomású fémhalogénlámpa közt. A 7. ábrán a két lámpatípus egy-egy jel-



7. ábra. Tipikus fémhalogén-lámpa és nagynyomású Na-lámpa színképe

legzetes képviselőjének színképét láthatjuk. Rátéekintve az ábrára azt a következtetést vonná le az ember, hogy ha azonos fotopos fénysűrűséget hoztak létre a Na-lámpás és a fémhalogénlámpás rendszerrel, úgy a fénysűrűséget csökkentve, azaz a  $V(\lambda)$  görbével jellemzett látásból a  $V'(\lambda)$ -val jellemzett felé haladva, a fémhalogénlámpás rendszer szolgáltatta „látás” érzet lassabban csökken majd, mint a Na-lámpás rendszer segítségével létrehozott érzet.

Kísérletek<sup>29, 30</sup> azt mutatták, hogy részletek felismerése, hirtelen felbukkanó apróbb tárgyak érzékelése a mezopos látás tartományában is a csapocskalátás „fénysűrűség-kontraszt” érzékelése útján jut el a tudatunkba, ezért útvilágítási tervezési feladatoknál, még ha a világítási szint a mezopos tartományba esik is, a fotopos látásra kidolgozott fotometriát célszerű használni.

### Pálcikalátás a fotopos fénysűrűségi tartományban

A jelenleg használt fotometriai rendszerben a pálcika-kölcsönhatást figyelmen kívül hagyják. A hagyományos fotometria számára kihívást jelentettek Berman és munkatársai<sup>31, 32</sup> munkái, akik kimutatták, hogy a nappali látás körülményei között is fontos szerep jut a pálcikák közvetítette látásnak, mivel a retinán, a legélesebb látást biztosító foveától távolodva a pálcikakonzentráció nő, oldalirányból érkező információk feldolgozásában a pálcikalátás szerepe nem elhanyagolható. Így például a szem pupillájának összehúzódását a periferiálisan érkező inger befolyásolja.

Különböző színképi teljesítményeloszlású fényforrások segítségével végzett kísérletekből szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy a munkavégzéshez optimalizált világítás számszerű leírásához nem elegendő a fotopos fénysűrűség: a pálcika-kölcsönhatást is fi-



gyelemben kell venni, ezért olyan fotometriai leírást javasoltak, mely  $V(\lambda)$  és  $V'(\lambda)$  szerint érzékelő két jelből állít elő új fotometriai jellemzőt.

### Teljes színkép / kritikus hullámhosszokon való világítás

Az előzőekben tárgyalt jelenségek gyökeresen más értelmezését adják – a részben egymásnak is ellentmondó – azon közlemények, melyek egyik oldaláról azt propagálják, hogy világításra olyan fényforrást használjunk, mely a látható színkép minden tartományában sugároz<sup>33</sup> (ez még kapcsolatba hozható lenne a pálcikamechanizmussal is ingerlő 505 nm körüli emisszió szükségességével, noha más megfigyelések szerint ezen hullámhossztartományban való emisszió a jó látás – és színfelismerés – szempontjából káros). Másik oldalról a „tisztá látás”, jó szín- és részletfelismerés, optimális energiahasznosítás számára Thornton és munkatársai (lásd pl.<sup>34, 35</sup>) azt javasolják, hogy a világítást a 450 nm, 533 nm és 611 nm-en sugárzó keskenysávú emisszióval hozzuk létre. Úgy tűnik, hogy ilyen világítás esetén optimális a színállandóság érzékelése, azaz hogy ezen keskenysávú emissziókkal létrehozott különböző színhőmérsékletű megvilágítások esetén adott színeket azonosnak érzékeljük (pl. emberi arc színe, fűzöld stb.).

Mindezen jelenségeket a mai fotometriai rendszer nem veszi figyelembe. Továbbfejlesztése során egyik lehetséges irány olyan többérzékelős rendszer kidolgozása, mely a világítás színképi összetételéből, és térbeli eloszlásából, bonyolultabb, a világítás kvalitatív jellemzőire (lásd minőségi világítás<sup>36</sup>) is képes következtetést levonni.

### CIE fotometriai szimpózium

Miként azt a dolgozat egyes fejezeteiben igyekeztünk bemutatni, annak ellenére,

hogy 75 éve eredményesen használjuk a CIE fotometriai rendszerét, számos területen várható annak továbbfejlesztése.

Az elmúlt 75 év eredményeinek összefoglalására és a nyitott kérdések áttekintésére a CIE 1999. szeptember 30. és október 2. között Budapesten szimpóziumot szervez. Ezen rendezvényen számos külföldi és hazai szakember foglalkoztatási eredményeiről beszámolni.

A szimpóziumon megbeszélésre kerülő fontosabb tématerületek egy-egy felkért előadáshoz kapcsolódnak:

- Prof. Valberg (Norvégia): A fotometria látásfiziológiai alapjai;
- Dr. Blevin (Ausztrália): A CIE fotometriai rendszerei és a Méteregyezmény szabványos fotometriai egységei;
- Dr. McGowan (USA): A fényforrásgyártók fotometriai szempontjai;
- Dr. Rea (USA): Az alkalmazott világítástechnika fotometriai elvárásai;
- Dr. Veitch (Kanada): A minőségi világítás leírásához szükséges fotometriai fogalmak.

A bevezető előadást Dr. Hengstberger (Dél-Afrika), a CIE Méréstechnikai osztályának vezetője, a záró előadást Dr. Sagawa (Japán), a CIE Látás és szín osztályának vezetője tartja.

A felkért előadásokhoz csatlakozóan az egyes aktuális kérdéseket részletesen tárgyaló rövid előadások és posztterek kapcsolódnak. A szimpózium programja és az előadás rövid kivonata hozzáférhető lesz a konferencia honlapján:

<http://cie.kee.hu/symp99/symp99.html>

Az előadások teljes anyagát a CIE konferencia kiadványsorozata tartalmazza majd.

Reméljük, hogy ez a rövid előzetes, mely természetesen nem tudott a fotometria összes aktuális kérdésére kitérni, felkeltette a hazai érdeklődők figyelmét, és számos magyar résztvevőt is üdvözölhetünk a rendezvényen.

**Dr. Schanda János**