

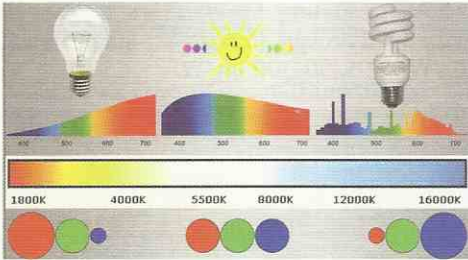
50 év a fényforrások világában

3. rész*

– Várkonyi László –

A korábbi írásomban szó esett arról, hogy a múlt század elején tudatos kutatás indult meg olyan fényforrások iránt, amelyek a bevitt energiának minél nagyobb hányadát a látható tartományban sugározzák ki. Ez az út vezetett az elektromos kisülések „világításra-fogásához”, amely mai világunkban kiváló eredményeket tud felmutatni.

Azonban mielőtt folytatnók ezen fényforráscsalád múltjának és fejlődésének leírását, próbáljuk meg felvázolni a fejlődés, ill. célkitűzések mérföldköveit. Legalábbis amiket mi ma annak ítélünk.



1. ábra Izzólámpa, nappali-fény ill. kompakt fénycső spektruma

Az elsődleges igény maga a fénykeltés volt (független annak módjától). Majd ezt követően a hatásfok (fényhasznosítás) növelése, amelyben nagy szerephez jutottak a kisülőcsövek. Megjelenésükkel azonban előtérbe került a színhűség, a színvisszaadás problémája. A jobb hatásfok érdekében sikerült a spektrum jelentős részét a látható tartomány határai (400–800 nm) közé szorítani. Az addíciós, RGB elven „kikevert” (pl. a háromsávós technika), mérsékeltén jó színvisszaadású fényt adó konstrukciókat majd tovább fejleszteni úgy, hogy a láthatósági határon belüli „foghíjakat” sikerült kitölteni egy kvázi folytonos színekkel (pl. nagynyomású fémhalogén lámpa) miáltal színvisszaadási indexe 95 körüli értékre emelkedett. Ezek igen jelentős eredmények. Ámde újabb kérdőjelek jelentek meg. Most már nem „csupán”

a gazdaságosság és a tárgyak helyes felismerése (szín, kontraszt) a kérdés, hanem az is, hogy miként lehet jellemezni azokat a fényforrásokat ill. spektrumukat, amelyeknek fényénél megvalósul az egyértelmű elfogadottság, az ún. komfortérzet (Wohlbefinden), a hatékony tevékenység, a megvilágítási szint és a színhőmérséklet összefüggése, egyáltalán a fény és az emberi szervezet biológiai kapcsolatának jobb megismerése.

Az 1–8. ábrák a fentiekkel összefüggésben különböző fényforrások spektrumát mutatják be, amelyek jól szemléltetik azok fejlődését.

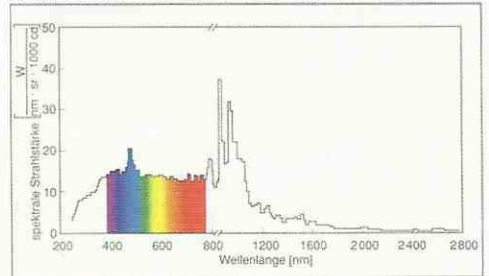
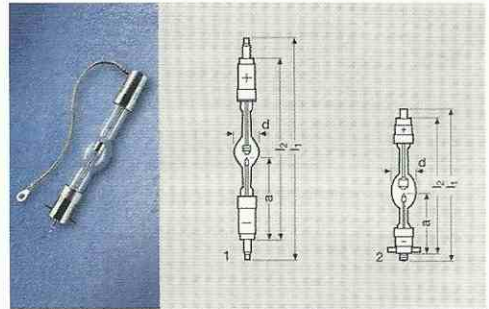
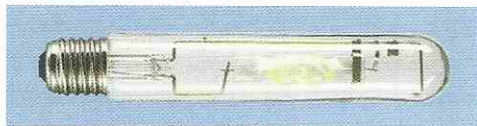


Abb. 1 – 6.10/4: Spektrum einer Xenon-Kurzbogenlampe XBO 450 W

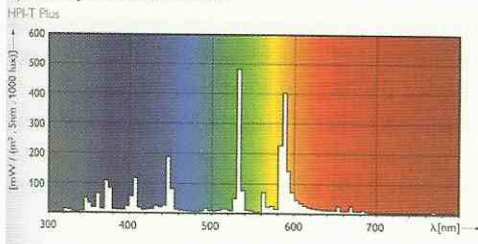
2. ábra Rövidívű xenonlámpa. IR-ben is gazdag összefüggő, kitöltött spektrum ($R_a 95$, 20–50 lm/W)

És ezen kitérő után folytassuk, ha csak nagyvonalakban is, kisülőcsöveink karakterisztikus megismerését, amelyen keresztül áttekintést kaphatunk a fent vázolt fejlődésről.

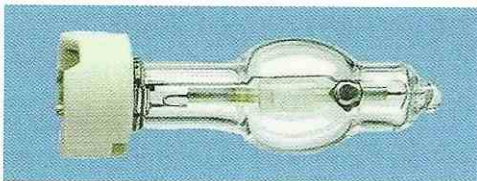
* Az előző részek a korábbi évkönyvekben jelentek meg



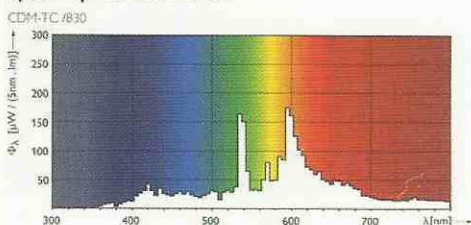
Spectral power distribution



3. ábra Fémhalogén lámpa három-komponens kivitelben. Sávos spektrum (kék, zöld, piros) ($R_a 65$, 60–65 lm/W)



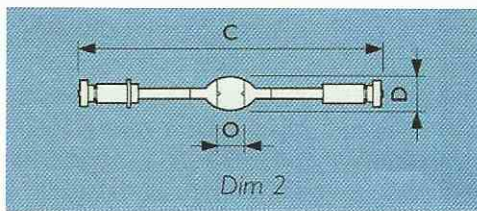
Spectral power distribution



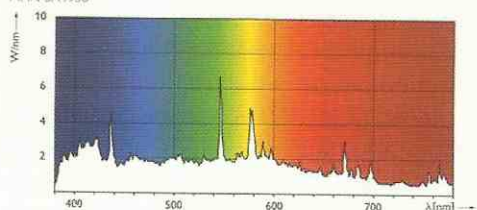
4. ábra Nagy intenzitású fémhalogén lámpa. Összefüggő spektrum, javított színvisz-szaadás és fényhasznosítás ($R_a 86$, 80-95 lm/W)

Nagynyomású gázkisülő csövek

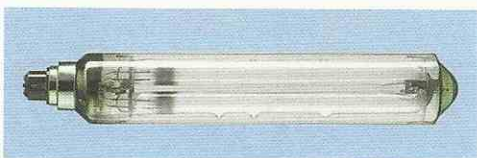
A bevezetőben már szó esett a szén-ív lámpáról, amelynek nagy előnye, hogy a szabad levegőn működhetett s így látszólag könnyen volt megvalósítható. Működtetése annál bonyolultabbnak bizonyult. A továbbfejlesztés során a jó minőségű retortaszén pálcákba bélésként ill. anyagába itatva szín és ív-stabilitás javítása céljából különböző fém-sókat (pl. MgF_2) vittek be.



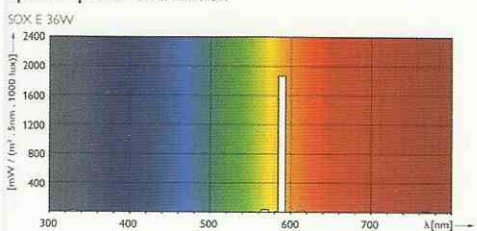
MHN-SA /956



5. ábra Rövidívű fémhalogén lámpa. Kiegészített spektrum, kevesebb IR, magasabb szint a láthatóban, jó színviszsaadás, magas lm/W ($R_a 95$, 90–100 lm/W)



Spectral power distribution

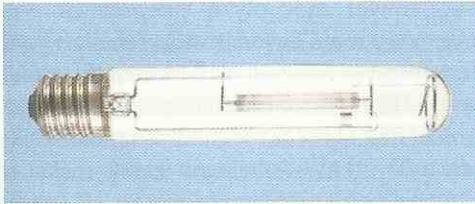


6. ábra Kisnyomású nátriumlámpa. Markánsan jelenik meg a szemérzőkenység függvény maximum közeli Na-D rezonancia vonal, amiből a nagy hatásfok, ill. a rendkívül rossz színviszsaadás egyaránt következik ($R_a 20$, 120–250 lm/W)

Bármilyen bonyolult volt is használata, a maga korában nagy szerepet töltött be a világításban.

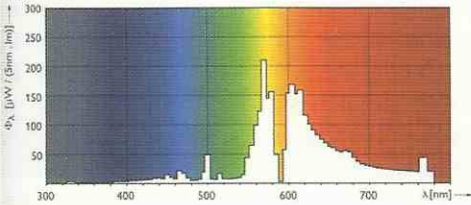
Amit megörököltünk belőle, egyrészt a moziiparban, de főleg a haditechnikában maradt még meg egy ideig. A hatvanas évek-

től kezdve fokozatosan kiszorult a felhasználásból. Éppen a nagynyomású rövidívű xenonlámpa megjelenésével.

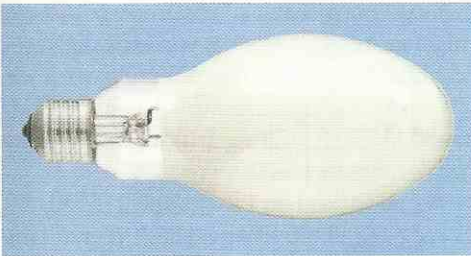


Spectral power distribution

SON-T 250W

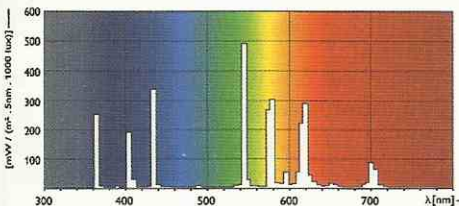


7. ábra Nagynyomású nátriumlámpa. Kitöltött spektrum, viszonylag nagy IR, de kis UV hányad és jó látható a markáns rezonancia vonal önabszorpció miatti „eltűnése”. Mérsékelt színvisszaadás, jó hatásfok (R_a 65, 100 lm/W)



Spectral power distribution

HPL Comfort 250W



8. ábra Nagynyomású higanylámpa fénypor bevonatos burával. Jól észrevehető a sávos megjelenésű spektrum az intenzív UV hányaddal. Mérsékelt színvisszaadás, ill. fényhasznosítás (R_a 58, 35–55 lm/W)

Nagynyomású rövidívű xenonlámpa.

Talán nem is joggal került az élre, mivel a felhasználói igény és a technika mindig kölcsönhatásban van egymással, s erre ez a típus kiváló példa. A világítástechnikának nagy szüksége volt, egy a szén-ívet kiváltó, kétségtelen nagy fényáramú és pontoszerű fényforrásra, amely kevesebb gonddal üzemeltethető. Minden bizonnyal egy zártterű ívkisülés jöhetett csak szóba, olyan külső (bura) méretekkel, amely lehetővé teszi a megkívánt optikai elemek közötti elhelyezését. A burának is meg az ívnek is („pontoszerűség”) a lehető legkisebbnek kellett lennie.

Olyan buraanyagot kellett tehát választani, amely elviseli az ív közelségéből adódó nagy hőterhelést, valamint az üzemeléskor fellépő nagy nyomást. A kvarc bizonyult erre megfelelőnek a célszerű alakra formálás után. Megoldandó feladat maradt még az ívkisüléssel együtt járó nagy lámpaáram megbízható bevezetése.

A halogénlámpáknál használt molibdén-fóliás megoldás a lényegesen nagyobb áramterhelés miatt nem megfelelő. Bevezetőként ezért volframpálcát alkalmaznak. A volfram és kvarc közötti egy nagyságrendnyi hőtágulási különbséget átmeneti üvegek közbeiktatásával hidalják át. Az anód szintén volfram „formatest”. A katód néhány % tóriumot tartalmazó volfram. A lámpát ún. kifagyasztásos technikával 8–20 bar hidegnyomásra töltik, amely üzemeléskor eléri a 20–60 bart. Az elektródák távolsága 1–5 mm. (Ezek típusfüggő adatok.) Az elektródák között létesített ív hőmérséklete kb. 7000 °C, ezért kell a burát optimális méretűre és körte alakúra bővíteni, valamint elegetően hosszúvá választani a nyakrészt, hogy csökkentsék a fej hőterhelését. Az ív színhőmérséklete 6300 K ezáltal a legjobban közelíti meg a természetes nappali fény színét.

A volfram párolgásával itt is számolni kell, ami a burára kondenzálva csökkenti a fényáramot. Ezt halogénadalék bevitelével

vel lehet mérsekélni, ami az izzólámpáknál megismert körfolyamat révén szállítja vissza a volfrámot az elektródákra.

Az üzemeltetéshez megfelelő ív-stabilitást biztosító nagy áramú, viszonylag kis (30–50 V) feszültségű egyenáramú tápegységre van szükség, amely szolgáltatni tudja a mintegy 25–65 kV-os gyújtófeszültséget is.

A gyakorlat során igényként jelentkezett az intenzív ózonképződés megszüntetése, az ún. „ózonmentes” kivitel megvalósítása. Ma már a legtöbb típus így készül. A másik felhasználói igény a vetítési hatások növelése érdekében a vízszintes, pontosabban a vetítő optikájával koaxiálisan behelyezhető lámpa megvalósítása. Ehhez egy rövidebb „száru” változat kifejlesztése kellett. (2. ábra)

(A legkisebb típus 50 W-os (tükörrel egybeépítve is), a legnagyobb típus teljesítménye 19600 W)

Mivel kicsi az ívhosszuk, fényüket nagyon jól lehet „nyalábolni”, vagyis igen kis szögben irányítani. A kisebb típusok, pl. 50 W-os, elliptikus tükörrel egybeépítve, kisebb vetítő egységekben nyernek felhasználást. A nagyobbakat alkalmazzák a filmtechnikai iparban, kis- és nagyteljesítményű filmvetítőkben, óriásképek háttér vetítésére, valamint nagy teljesítményű kereső fényszórók, „tűfények”, világítótornyok, jelzőfények stb. fényforrásoként. A típusválaszték széles skálán mozog az optikai alkalmazhatósága miatt.

Érdekességként említem meg, hogy a haditechnikában jelentős szerephez jutott úgy is mint infravörös sugárforrás.

Ez első pillanatban kissé ellentmondásosnak látszik, hiszen a legnagyobb színhőmérsékletű fényforrás. Érthetővé válik azonban, ha a spektrumára pillantunk, hiszen az egy igen intenzív infra mezővel is rendelkezik, amiről hajlamosak vagyunk megfeledkezni. (Ma már a passzív noktovizorokat használják az „életveszélyes” aktív technika helyett!)

Hosszúívű xenonlámpa

Eme közvilágításra szánt típuscsalád kifejlesztésével azokban az években foglalkoztak, amikor még olyan elképzelések voltak, hogy majd egyetlen nagyteljesítményű fényforrással világítanak be kiterjedt területeket. (Pl. rendező-pályaúdvarkok, terek, parkolók stb.) Ebből a megfontolásból készítették a 10–20 kW-os halogén izzólámpákat is ugyanebben az időben!

Méretei alapján a terjedelmes fényforrások közé tartozik. Burája kvarccsőből készül, amelynek átmérője 20–40 mm, a hosszát pedig méterben lehet kifejezni. Egy 20 kW-os lámpa hossza pl.: 1,5 m. Itt is közvetlenül a plazmát használják fénykeltésre, ezért érthető a nagy hossz méret. Elektródái tóriumos volfrámból készülnek. A gáz nyomása viszonylag kicsi, üzem közben sem haladja meg a 100 kPa-t (1 atm). Ennek ellenére fényemissziójának jellege alapján szokás a nagynyomásúak közé sorolni. Spektruma alapján megállapítható, hogy fényének nagy része a rekombinációs sugárzásból ered, azonban megjelenik a kékben egy gyenge, míg a az infrában egy nagyon erős sugárzás.

Működtetése váltakozó feszültségről történik, előtét alkalmazásával. A begyújtáshoz 15–50 kV-os feszültség szükséges. Az elektródák nincsenek előfűtve.

Az adott korban készítettek 1, 5, 10, 20, és még 60, ill. 75 kW-os teljesítményű lámpákat is. Az utóbbiak, rossz nyelvek szerint, inkább csak versengés termékei voltak, mivel 20 kW fölött többnyire csak problémát okoztak.

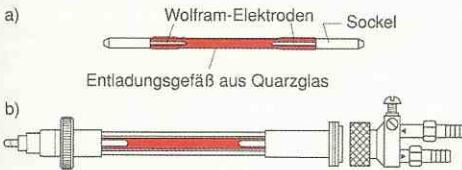
Nagy hátrányuk volt, hogy szakszerű alkalmazásukhoz igencsak magas oszlopra lett volna szükség, másrészt pedig a mindössze 25 lm/W-os fényhasznosításukkal nem tartoztak a gazdaságos fényforrások közé. A 10 és 20 kW-os halogénizzók is 20–25 lm/W-t tudtak teljesíteni!

Kútba esett hát az elképzelés, hogy „nap-pali fénnel legyen kivilágítva egy egész lakónegyed”.

A túlélő kisebb teljesítményű típusok felhasználási területe is visszaszorult a nappali fény pótlását igénylő helyekre.

Nagynyomású hosszúívű xenonlámpa.

Nagy intenzitású kisülőcső, amely egy, a vízhűtésre szolgáló külső kvarc burában helyezkedik el. Ívhossza mintegy 1870 mm, a legnagyobb típus teljesítményfelvétele 11000 W, amiből következik az intenzív hűtés szükségessége. (9. ábra)



9. ábra Hosszúívű, nagynyomású, vízhűtő xenonlámpa felépítése

A nappali fényhez közel álló intenzív spektruma okán nagyon alkalmas anyagok öregedés vizsgálatára, technológiai és biológiai kutatásokra és minden olyan területen jól alkalmazható ahol a napfényt kell szimulálni. (10. ábra)

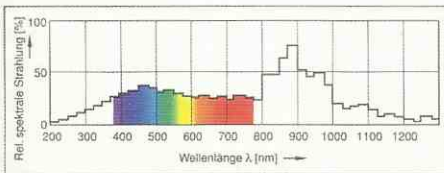
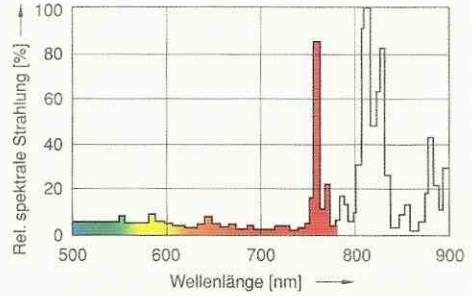


Abb. 1 – 6.10/9: Spektrum einer Xenon-Longbogenlampe XBF

10. ábra Hosszúívű, nagynyomású, vízhűtő xenonlámpa spektruma

Nagynyomású hosszú-ívű kripton töltésű lámpa

Felépítése gyakorlatilag megegyezik a xenonlámpáéval. (2500, 3500, 5000 W-os kivitelben készül.) Spektrumára jellemzően erős sugárzása van az infra-A (IR-A) tartományban (700–1000 nm). Ezért különösen alkalmasak pl. Neodymglas- és Neodyn-YAG-lézerek gerjesztésére. (11. ábra)



11. ábra Kripton töltésű (azonos alakú) cső spektruma. Intenzív IR sávja miatt YAG-laser gerjesztésre alkalmas.

Nagynyomású fémgőz lámpák.

Higanylámpa /higanygőz lámpa/

Joggal mondhatjuk, hogy a „nagy túlélő” izzólámpa után a legnagyobb múlttal bíró és a folyamatos érdeklődés, ill. fejlesztést magán viselő fényforrásunk. Azt is elmondhatjuk róla, hogy kiindulási alapjául szolgált a legtöbb, nagy „karriert” megélt nagy hatásfokú kisülőcsőnek. És bár tudjuk, hogy már nem tartozik az „élbolyba”, mégis talán valami tiszteletfélét érzünk iránta. (Én magam legalább is így vagyok vele.)

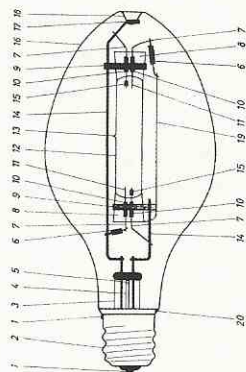
A XX. sz. első harmadában indul nehéz, de ígéretes útjára.

Az iparszerű kvarccső gyártás, a Mo-fólia, majd az élezett szélű Mo-fólia, „rászívás” helyett a lapítással történő védőgázcsőlezárás, amikor már üvegtechnikusi „bűvészmutatványon” is túlfejlődött az előállítás. Vagyis kialakult a ma is élő gyártástechnológia, amiről érdemes néhány szót ejtenünk.

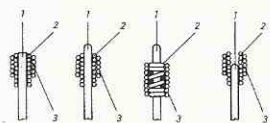
Működés szempontjából az ívkisülés tartományában üzemelő csőről van szó, ami meghatározza az anyagokat és konstrukciót. Az ív nagy hőmérséklete miatt buraként csak a jó minőségű (max. 2–4 ppm OH) kvarccső jöhet szóba. A kvarcszerű VYCOR, még inkább a halogén izzóknál bevált boroszilikát üveg egyáltalán nem.

Fontos a csőátmérő kis szórása, mivel a higany mennyiségét a belső tér űrtartalmanak megfelelően kell adagolni, mind a spektrum, mind pedig az elektromos értékek beállítása érdekében. A cső ugyanis telítetlen fázisú Hg-gőzzel üzemel, így nyomása függvénye a bevitt anyagmennyiség és térfogat arányának.

Az üzemi hőmérsékleten kialakuló nagy gőznyomás következtében, a fénykeltés áttolódik a látható tartományba az itt megjelenő, sávokká terebélyesedő rekombinációs sugárzás eredményeként. Lényegesen legyengül viszont az UV-ban kisugárzott energiaszint. Ezért és így vált alkalmassá a higanylámpa közvetlen világításra. A kékes fénye, a színvisszaadása azonban kívánni valót hagyott maga után, amit korrigálni kellett. De még vissza kell térnünk a meghatározó technológiai lépésekhez. (12. ábra)



7.6. ábra. Nagynyomású higanylámpa felépítése
1 áramvezető huzal forrasztási helye; 2 lámpafej; 3 állvány; 4 a bura szivócsőve; 5 a bura szivócsővének nyílása; 6 gyújtóellenállás; 7 molibdén huzal; 8 lapátja; 9 Ni rögzítőszalag; 10 molibdén fólia; 11 molibdén segédelektrodák; 12 kvarcívog kisülőső; 13 a kisülőső szivócsővének lezárási helye; 14 nikkel áramvezető és tartó; 15 volfrám főelektrodák emissziós bevonattal; 16 szénporral bevont külső bura; 17 támasztógyűrű; 18 a bura belső dőnője; 19 nikkel áramvezető; 20 fejrögzítő kötőanyag (kitt)



7.7. ábra. Különböző főelektrodák-kivételű nagynyomású higanylámpákhoz
1 magfém; 2 W spirál; 3 emissziós anyag

12. ábra Nagynyomású higanylámpa felépítése.

Tekintsük kiinduló alkatrésznek az ismert átmérőjű és meghatározott hosszra vágott, a közepén szivócsővel ellátott kvarcburát (testcső). A testcső két végébe kerülnek az elektrodák molibdénfóliás, lapításos technológia alkalmazásával.

Az ábra bemutatja a ún. hajtűre szerelt fő-ill. mellélektrodás szerelvényt, amelyekhez Mo-fólia biztosítja az árambevezetést. A fő- és mellélektrodák közti távolság méretének nagy szerepe van a gyújtáskészség szempontjából. Minden gázfajtához és nyomáshoz (p) tartozik ugyanis egy optimális távolság (d), amelynél minimuma van a gyújtási feszültségnek (U_{\min}). Ezeket az értékeket a Paschen-görbék adják meg [$U_{\min} = k(pd)$]. A főelektrodát volframpálcára zsugorított speciálisan tekercselt ugyancsak W-huzal alkotja, amelyet a kilépési-munka csökkentésére földalkáli-oxidok bevonatával látnak el. A hozzá tartozó Mo méretét a teljesítmény határozza meg. A segédelektroda mérete lehet kicsi, mivel ezen csupán a gyújtás fázisában folyik át a glimmkisülés árama. A testcső végébe helyezett elektroda-együttes (szerelvény) fóliás részére „lapító” pofákkal rápréselik a meglágyított kvarcot. Ez egy kényes művelet, mivel a Mo 300°C-tól erősen oxidálódik és vagy „elfüstöl” vagy jó esetben csak „húzó” lesz a cső a keletkezett réteg miatt. Márpedig a kvarcot 1400°C-ra kell hevíteni, hogy megmunkálható legyen. Ezért kisnyomással védőgázt (pl. nitrogén, vagy argon) kell átáramoltatni a csővön ami megóvjaa a fóliát az oxidációtól és kissé hűti is. (Ugyanakkor nem szabad vele lehűteni a kvarc belső felületét!) A fólia élezett kell legyen, hogy ne alakulhasson ki csatorna a széleinel. A végék lezárása után a testcső vákuumtechnikai kezelése, kiizzítás, szivattyúzás, az űrméret szerinti Hg-adagolás, indítógáz töltés után végül a szivócső beolvasztásával („leszúrás”) megtörténik a cső lezárása és a szivattyúról való leválasztása. Levágják a hajtűk íveit ezután következhet a működés ellenőrzés. A jónak minősülő csövek kerülhetnek beépítésre a külső burába.

A testcsövet egy nagyobb teljesítményű izzólámpáéhoz hasonló állványra szerelik. Ennek folyamán kerül sor a segédelektrodák és a szemközti főelektrodák ellenállás (20kΩ) közbeiktatásával történő összekö-

tésére, valamint a viszonylag nagy tömegű cső kellő szilárdsággal történő rögzítésére, kitámasztó felszerelésére. Az így nyert szerelt állványokat általában ovális alakú burába forrasztják be.

A szivattyúzás során a külső bura nitrogén, vagy nemesgáz töltést kap, amelynek nyomása és összetétele a kisülőcső optimális üzemeltetésének a függvénye. A külső bura további szerepe a Mo-bevezetők védelme. A kisülőcső 1000°C körüli hőmérsékleten üzemel, így a lapításban lévő fóliák hőfoka sem sokkal alacsonyabb. S mivel a Mo 350°C felett hevesen oxidálódik, ami 28%-os térfogatnövekedéssel jár, a lapítás szétrepesztené, felrobbanna a cső. A bura további haszna, hogy megakadályozza az UV sugárzás lámpából való kijutását. Ugyanakkor alkalmas megfelelő fényporral való bevonásra, amit éppen a nagy intenzitású UV-sugárzás gerjeszt és a láthatóba transzformálja azt. Lehetőséget adott arra is, hogy ugyanabban a lámpatérben volframspirál is működtethető legyen, mégpedig a kisülőcsővel sorba kötve, mint annak az áramkorlátozó ellenállása. Ezt a változatot nevezik kevertfényű lámpának. Előnye, hogy minden további nélkül becsavarható az izzólámpa helyére, valamint, hogy az izzó vörösben gazdag fénye javít az igen gyenge színvisszaadásán. Hátránya, hogy az izzó kisebb fényhasznosítása (10 lm/W) összességében egy mérsékelt, 20–23 lm/W értéket eredményez, továbbá, hogy az izzó lényegesen rövidebb élettartama (1000 v. 2000 óra) határozza meg az üzemidőt.

Történelmi sorrendbe állítva a fentieket

A nagynyomású cső kültéri felhasználásra történt kidolgozása szükségszerűen egyet jelentett a külső burás kivitel megjelenésével. Ez hozta magával a beépíthető áramkorlátozó izzó fentiek szerinti felhasználását, de a kis hatások sürgetővé tette az induktív előtétes áramkorlátozást. Szükségszerű igény-

ként jelentkezett a vörös-hányad növelése, amit az izzószál csak nagy veszteségek árán tudott hozni. A szín és hatások javítására a nagy burahőfok miatt csak hőtűrő valamint 312 és 365 nm hullámhosszokon nagy intenzitással gerjeszthető fénypor jöhetett szóba (ilyen pl. az europiummal aktivált ittriumvanadát). Az is lényeges, hogy a látható tartományban kicsi legyen az abszorpciója, mivel itt a nagy nyomás miatt magának a csőnek van intenzív rekombinációs sugárzása.

Reflektorburás kivitelben is gyártanak kevertfényű lámpát általában „Napfénylámpa” néven, aminek az a lényege, hogy a tükrös reflektorbura anyaga UV A-t áteresztő üvegből készül s így valóban melegítő és egyben barnító hatással bír. (Ma inkább a fémhalogén lámpák jöhetnek itt is szóba.)

A működtetésről:

A higanylámpa „begyújtása” nem igényel külső segítséget. Bekapcsoláskor a hálózati feszültség megjelenik mind a főelektródák, mind a fő- és a közelében lévő segédelektrodák között. Ez elegendő térerőt létesít ahhoz, hogy a fő és a hozzá optimálisan kis távolságban lévő segédelektroda között az indítógázban (Ar) parázfénykislülés jöjjön létre. Hatására elegendő töltéshordozó és hő termelődik ahhoz, hogy a kislülést átvegye a két főelektróda, ill. az időközben elpárolgott higany gőze. Több percet vesz igénybe mire az egész higany mennyiség elpárolog és beáll az üzemi nyomás, vele a teljes fény és végleges szín. Egyébként az igen kis higanygőz-nyomás miatt nem tudna megindulni a kislülés. Megjegyzendő, hogy a kisebb teljesítményeknél elegendő egy segédelektroda.

Felhasználásra elsősorban a közterületeken került, és érdekes módon egy időben vetélytársaként jelent meg a jobb hatásokú, de nagy lámpatesteket igénylő fénycső.

A kültéri lámpatestek és előtéték hazai gyártása folyamatosan fejlődött és nem túlzás kijelenteni, vele együtt városaink esti arculata is.

Ezt az állapotot váltotta fel a fémhalogén, ill. a nagynyomású nátriumlámpa.

Különleges higanylámpák.

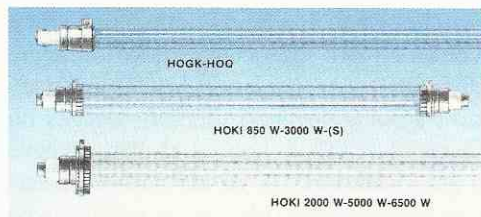
Talán ez a megjelölés jellemző leginkább a típuscsalád még nem tárgyalt csoportjára.

Az általános világításban már nem juthatnak szerephez, de még néhány speciális kivitel is kiváltott a fémhalogén lámpa. Annál nagyobb körben alkalmazzák viszont azokon a helyeken, ahol az intenzív UV spektrumra van szükség. Ezek közül mutatunk be néhányat.

A legszembetűnőbbek a nyomdaiparban alkalmazott nagy méretű és ennek megfelelően nagyobb feszültséggel üzemelő típusok. A legkisebb pl. 700 W, 70 cm hosszú, 190 V kapocs feszültséggel, a legnagyobb 6500 W, 150 cm és 1800 V-on működik. A külső burra az ózonmentesítést szolgálja. (13–16. ábra)



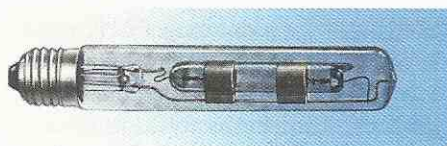
13. ábra Nyomdai higanylámpák



14. ábra Ipari higanylámpák



15. ábra Szelektív higanylámpák



16. ábra Spektrál higanylámpák

Még nagyobb teljesítményű a fotó-szenzitív anyagok (lakkok) kezeléséhez (polimerizálás) és egyéb kémiai eljárásokhoz használatos 11000 W, 140 cm hosszú, 1870 V-on üzemelő nagyteljesítményű, nagynyomású UV-sugár forrás.

Kisebb méretekkel bír az ún. közepesnyomású a 285–315 nm tartományban sugárzó, szelektív abszorpciós kvarccal készült 250 W, 230 V, 100 mm-es cső-lámpa.

Hasonló méretekkel rendelkezik, de külső burában van E27 fejjel pl. a 12 W-os tudományos célokat szolgáló kisnyomású spektrál lámpa.

A leglátványosabb az igen nagynyomású (super-high-pressure) rövidívű, tükrrel ellátott vízhűtéses kivitel. Alkalmazzák precíziós optikákban, filmiparban, fotókémiai eljárásoknál stb. Impulzus üzemben működtethető pl. az 1000 W-os típus 1100 V gyújtófeszültséggel.

Az adott kor érdekességeként említem meg azt az autólámpa alakú /Ba 20-d fejű/, repülőgép műszervilágító, fényporos burájú, 28 V-ról működő UV-A-ban sugárzó higanylámpát, amely a fluoreszkáló fedélzeti műszerek „gerjesztésére” szolgált. A spirál izzása elpárologtatta a higanyt és ugyanezre a hőhatásra egy beépített bimetal megszakította az izzó áramkörét, ettől kezdve megindult egy kisülés a spirál és a beépített harmadik elektród (katód) között.

Fémhalogén lámpák.

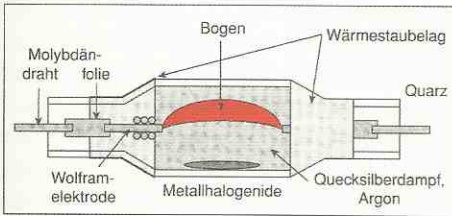
Fémhalogén lámpának (MHD, metal halide-discharge) nevezték el a nagynyomású higanygőz technológiára épített új típuscsaládot.

A higanylámpa a viszonylag jó hatásfokával és a kedvezőbb méreteinél fogva nagy előrelépést jelentett. A színvisszaadás tekintetében azonban a vörös-hányadot javító fénypor bevonat ellenére is, lényegesen elmaradt a kívánalmaktól.

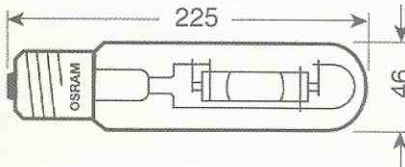
50 év a fényforrások világában

De a gyártása során kialakult kvarccső előállítás és az üzemi technológiák megbízható alapot biztosítottak a továbblépéshez, a laboratóriumi ismeretek gyakorlati felhasználásához.

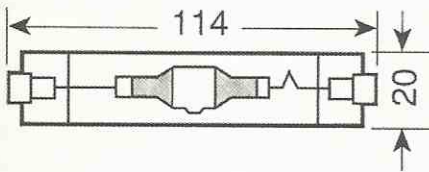
Első közelítésben azt is mondhatnánk, hogy nem más, mint egy halogenid adalékos nagynyomású higanylámpa. De éppen ezen adalékok teszik a gyártását, ill. fény- és elektromos stabilitását bonyolultabbá. (17–20. ábra)



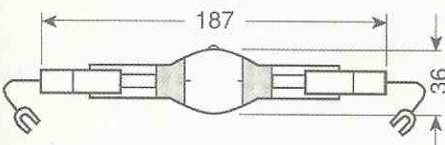
17. ábra Fémhalogén lámpa felépítése



18. ábra Külső burás (közvilágítási) fémhalogén lámpa felépítése



19. ábra Rövidívvű kvarcburába szerelt (szofitta) fémhalogén lámpa



20. ábra Nagy intenzitású fémhalogénlámpa, a nagy falterhelés miatt külső bura nélkül. A bevezetők túlmelegedését a hosszított nyakrész akadályozza meg.

A fém-halogenideknek a fémekénél nagyobb a gőznyomása, és mint ismert, ez fontos a sávok spektrum kialakulásának szempontjából.

A kisülő térbe adagolt fém-halogenidek az ívkisülésben disszociálnak és a fémek a rájuk jellemző spektrumot sugározzák. Célszerűen megválasztott mennyiségük és arányaik révén lehetővé válik a higany-kisülés spektrumában megjelenő „foghíjak” kitöltése. Így „összefüggőbb”, jobb színvisszaadású és jobb hatásfokú fényforráshoz juthatunk.

A hatvanas években kifejlesztett első lámpák (Na) nátrium, (Tl) tallium, és (In) indium fémek jodidjaival készültek. Mivel ezek a vegyületek nedvszívók, a nedvességtől/levegőtől elzárt módon kellett tartani, ill. beadagolni a kisülőcsőbe. Ez jelentette az elsőszámú technológiai kihívást.

Az adalékfémek halogenid /adott esetben jodid/ formájában történő bevitelének másik előnye a kvarcüveg kisülőcső falának védelme az elemi fémgőzök agresszív hatása ellen.

A nátrium, tallium és indium rezonancia-sugárzók, azaz spektrumukat kis számú intenzív vonal jellemzi, amelyek a nagynyomású kisülésben sávvá szélesednek.

A később alkalmazásra került a szkandium (Sc) és gyakorlatilag valamennyi ritka földfém.

A sokvonalas adalékok közé tartozik a tallium (Tl), a holmium (Ho) és a diszprózium (Dy). Ez utóbbi spektruma a nagynyomású kisülésben az ott fellépő „hullámhossz-módosító” kölcsönhatások következtében gyakorlatilag folytonos.

Ezen fémek, ill. jodidjaik gőznyomása azonban viszonylag nem nagy, ezért a parciális nyomás növelése érdekében emelni kell a rendszer hőmérsékletét, hogy a komponensek kellő számú atomja vegyen részt a kisülésben, a kívánt intenzitás érdekében.

(És ezen a ponton szükségszerűen elválik a konstrukció jellege a higanylámpától.)

A célt a hőveszteség csökkentésével lehet elérni. Ennek céljából a külső burában nagyvákuumot kell létesíteni. A kisülőcső alakját és méreteit pedig úgy kell kialakítani, hogy annak belső felülete izoterm, de legalább is a legkisebb hőmérsékleti pontja az ún. hidegkamra is nagyobb hőmérsékletű legyen, mint a halogénidek kondenzációs hőmérséklete. A hidegkamra elsősorban az elektrodák mögötti részen tud kialakulni és megfelelő hőmérsékleten tartása céljából, a lapítás-közeli részt a lehető legrövidebbre és kúposra, vagy „elliptikusra” alakítják, amelyet még hőviszaverő anyaggal vonnak be.

A korszerű fémhalogén lámpák gyártásánál a komplex vegyületek alkalmazása került előtérbe, a cső anyagaként pedig a nagyobb hőmérsékleten működtethető, és így nagyobb parciális nyomást eredményező, valamint a lényegesen kevésbé korrozív Al-oxid kerámia.

A fémhalogén lámpa dióhéjba szorított múltjából érzékelhető bonyolultsága és egyben fejlődése is.

(A témára vonatkozóan a ma aktuális kutató/fejlesztő tevékenységekről, a két előző és jelen évkönyvben Tóth Zoltán kollégánktól jelent meg tanulmány szintű tájékoztató.)

Még néhány gondolat

A kezdeti három komponensű változattal (sárga-Na, zöld-Tl, kék-In) megfelelő arányok esetén előállt ugyan (additív) módon az elfogadható színhőmérsékletű lámpa, de az üzemeltetés közben kialakult „nátriumszökés”, kidiffundálás a kvarccsővön át, az összes paraméter megváltozásához vezetett.

Ugyanakkor szinte kínálta a színes (kék, zöld) színes fényt adó lámpák létrehozását, amelyet a megfelelő adalékolással lehet elérni.

A hatvanas-hetvenes években még nagy súlyt fektettek a gyújtóelektrodás kivitelre, hogy a higanylámpákat „közvetlenül” lehessen kiváltani. A segédelektrodákat begyújtás

után különböző trükkökkel, pl. bimetállal átkapcsolták a melléte lévő fő-elektrodához, vagy csak egyszerűen kiiktatták. De problémát jelentettek a beépített elektrodák éppen úgy mint a kapcsoló szerkezetek megbízhatósága. Az elektronika gyors fejlődésével együtt haladva kialakult az egyértelműen gyújtóval induló konstrukciós irányzat.

A 4-5kV gyújtófeszültséget igénylő hideggyújtású lámpa, a melegen visszagyújtó 25–60 kV feszültséggel működő típus változata. (A lényegesen nagyobb gyújtófeszültségre a meleg csőben uralkodó nagynyomásból adódó nagyobb átütési szilárdság miatt van szükség.) Ilyenek kellenek, pl. a sportpályákon ill. mindenütt, ahol nem várható meg a csövek lehűlése. A nagy gyújtófeszültség alkalmazása szükségszerű konstrukció változást követelt, mivel a használatos E27 ill. E40 lámpafejek átütési-szilárdsága ehhez kevésnek bizonyult. A visszagyújtós típusok elektromos csatlakozásai (bevezetői ill. fejei) a lámpa két végén helyezkednek el.

Ha az eddigiek alapján mérlegeljük, hogy az eredeti célkitűzésből a fémhalogén lámpával mennyit valósítottunk meg, a következőt lehet megfogalmazni:

- Hatásfok tekintetében már a kezdeti három adalékkal jelentős hatásfok növelés (60–70 lm/W) valósult meg.
- A szín (színhőmérséklet) az élettartam során nem volt konstans a Na kidiffundálása miatt. A lámpák „bezöldültek”, ami zavaró volt, pl. a TV-felvételeknél. Mindezzel együtt járt az elektromos paraméterek megváltozása is.
- A hasznos élettartam a fentiek miatt kisebb vitathatóan 4–6000 óra.

Mégis kimondható, hogy már ezek a konstrukciók is nagyrészt megvalósították az eredeti célkitűzéseket.

A legnagyobb problémákat elsősorban a diszprózium, ill. a komplex vegyületek alkalmazásával sikerült javítani.

A további lényegi javulást az Al-oxid kerámiacsövek bevezetése jelentette, ami le-

hetővé tette/teszi a nagyobb üzemi hőmérsékletet, valamint nagymértékben lecsökkentette a Na „megszökését”.

Alkalmazás:

Az MHD lámpákat kedvező hatásfokuk, színhőmérsékletük és élettartamuk révén széles körben alkalmazzák. Speciális és rövidívű, nagy fénysűrűségű változataik szinte egyeduralkodói lettek az optikai (vetítők, stúdiók, TV, stb.) és tudományos célú eszközökben.

Gépkocsi lámpa

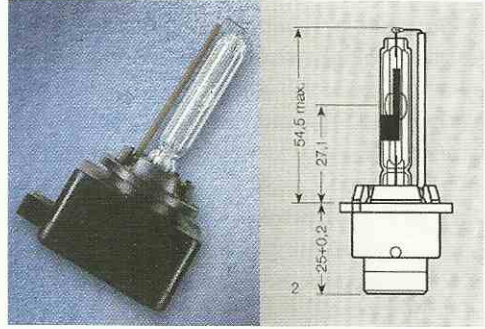
A sorban utolsónak említtem a gépkocsi-reflektor lámpát, amely talán a legnagyobb kihívást jelentette az alkotók számára. Létrehozni egy miniatűr (5 mm ívű) ívkisülő csövet!

Mint igény szerephez jutott szükségse-
rűen a kisülőcső a járművilágítás folyamatos megújulásában is. Ezt láthattuk, már a neon féklámpa megjelenésében.

Röviden, mi is volt ez a folyamat, ami a forgalom, ill. a sebesség növekedéséből fakadt?

A harmincas évekből megörököltük a „duolux” lámpát, amely már kétfonalú volt és a mellékfonala „sapkával” árnyékolta, ami megakadályozta a szemben autózó elvakítását. Mert már jelentkezett a szembeforgalom! Az ötvenes években jött a (ECE szerinti) szabványosított szimmetrikus, majd a hetvenes években az aszimmetrikus változat, amely a jobboldalt nagyobb távolságban világította meg, majd pedig a halogén (H4) aszimmetrikus. Ez ugyan nagyobb megvilágítási értékeket tett lehetővé, de oldalirányban nem tudott többet nyújtani. (21. ábra)

A mindössze 35 W-os miniatűrnek nevezhető kisülőcső a lényegesen nagyobb (80 ill. 90 lm/W) fényhasznosítása révén oldalirányban is nagyobb területet tudhat megvilágítani. Ennél azonban nincs „két-fonál”, ill. belső takaró „sapka”, ezért a tompított fénynél megkövetelt fényeloszlást a bura külső felületén kialakított maszkolással, ill. speciális reflektor felülettel kell létrehozni.



21. ábra Gépkocsi lámpa

Színhőmérséklete 4250 K szemben a halogén izzó 3200 K színhőmérsékletével, ami javítja az ún. kontrasztlátást.

Az élettartama 2000 óra, szemben a halogén izzó 500 órájával. Kiszolgálja az autót egész élete során.

A működtetés alapvető kritériuma a meleg lámpa azonnali újragyújtása, a rázászsilárdtság és csak járulékos „feladat”-ként a működtetéshez alkalmazott nagyfrekvencia (20 kHz) zajszűrése. Mindezt egy kisteljesítményű cső esetében, ahol az üzemi feltételek beállítása, úgy mint a hővezetés, nyomásviszonyok, szín- és áramstabilitás szűk határok között kezelhető csak. Szigorú és fejlett technológiát igényel.

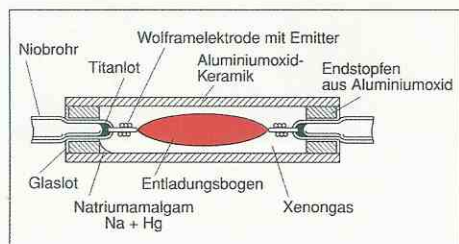
Nagynyomású nátriumlámpa.

A nagynyomású nátriumlámpa jó hatásfoka miatt mindenütt előnyösen alkalmazható, ahol a színvisszaadás nem meghatározó: utcák, szabad terek stb. Sárga fénye miatt színvisszaadási indexe, R_a 20 körüli, amit a nyomás fokozásával a hatásfok rovására lehet növelni.

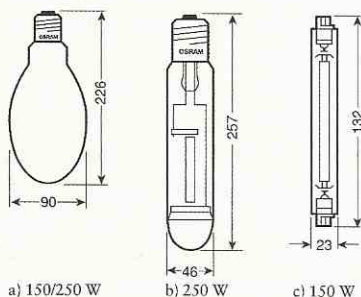
Érthető, hogy a jó hatásfok inspirálta a kutatókat a nagynyomású lámpa megvalósítására, de mivel a nátrium az adott körülmények mellett a kvarccal nem kívánatos módon reakcióba lép, kvarctechnológia itt nem alkalmazható.

A megvalósítás kulcsát a transzlucens polikristályos alumínium-oxid (PCA) kerámiacső jelentette. A mikrohullámú cső-

vekhez, ill. a rakétechnikához kifejlesztett technológiát elsőként a GE alkalmazta és a vele készített lámpákat „Lucalox” név alatt szabadalmaztatta és hozta forgalomba. (22–23. ábra)



22. ábra Nagynyomású nátrium lámpa felépítése



23. ábra Nagynyomású nátriumlámpa (a), közvilágítási csőburás (b), szoffitta kivitel (c)

Árambevezetőnek nióbiumot /cső, drót/ kell használni, mert az adott hőmérsékleti tartományban csak ennek a fémnek egyezik meg a hőtágulási együtthatója a PCA-éval. A volfrám elektródokat titán forrasztóanyaggal rögzítik a niób-hoz vagy hegesztik (pl. lézerrel).

A niób bevezetőt ill. csövet egy speciális, fémoxidokból összeállított „forrasztó-üveg” közbeiktatásával nagy hőmérsékleten össze-forrasztják, szinterelik a PCA-val.

Egy másik technológia szerint a végzáró dugókba eleve rögzítik a bevezetőket, az egyik végen le is zárják a csövet, majd egy megfelelő vákuumtechnikai ún. Box-rendszerben a megfelelő nyomású Xe-gáz környezetben – amely most mint védőgáz, majd mint indító-gáz funkcionál –, a szükséges

mennyiségű Na/Hg amalgám bevitelét követően a „szabad” dugót a testsőhöz forrasztják. Az ellipszoid vagy csőformájú külső burát a hővesztesség csökkentésére vákuumra szívják.

A lámpa fényhasznosítása 130 lm/W körüli értéket is elér, bár a Na rezonanciavonalai önabszorpció miatt eltűnnek, de kialakul oldal irányban, a szemérzékenységi maximum közelében a rekombinációs sugárzásra jellemző sávossá vált színek, ami növeli a színvisszaadási indexet.

Összefoglalva:

Ha értékelni akarjuk eredményeinket a bevezetőben felvetett célok szerint, a következőket mondhatjuk:

A fénykeltés hatásfokát alaposan megjavítottuk hiszen a nagynyomású kisülőlámpák vonatkozásában már a 140 lm/W értéknél tartunk. Sikertült ugyanis elérni, hogy a fénykeltő eszközünkbe táplált energiának nagy része a látható tartományon belül hasznosul, annál nagyobb mértékben minél inkább követi szemünk érzékelési görbéjét, vagy éppen annak maximumának közelében van, mint pl. a Na-lámpa D vonala. De még így is messze vagyunk az elméleti maximális fényhasznosítástól, még a hővesztések miatt 250 lm/W-ra redukált hasznosítástól is.

Ha a színvisszaadást is bevonjuk az értékelésbe mérsékeltebb hatásfok adódik.

Megállapítható, hogy az elmúlt 50 év során a kisülőlámpák fényhasznosítása a 30–40 lm/W-ról 100 lm/W fölértékre emelkedett, színvisszaadásuk pedig elérte az R_a 95-ös szintet. A normál izzólámpához képest a tízszeres, az átlagos halogén izzóhoz viszonyítva pedig kb. ötszörös fényhasznosítási értéket értük el.

Tekintsük tehát úgy, hogy maga a fénykeltés technikája jól fejlődik és talán jó úton is jár. Célszerűen szolgálja látásunkat, hogy tevékenységünket a napfény hiányában is jól végezhessük.

Úgy gondolom nem elsősorban evolúciós kérdés, hanem tény, hogy mi emberek, földi élőlények a mi csillagunktól, a Napunktól kapunk/ kaptunk minden energiát, tőle függünk, szervezetünk hozzá „adaptálódott”. Spektruma alapján ismerjük fel színvilágunkat és keressük az ennek megfelelő „hasonmás” színeket fényforrásokban, mert csak akkor kapjuk vissza az igazi színét környezetünknek, ha a fény, amivel megvilágítottuk azt teljes, „napszerű” spektrummal bír. De ha hiányos, még inkább „foghíjas” vagy intenzitásbeli eltérések mutatkoznak a Napéhoz képest, ne várjuk a tökéletes színvisz-szaadást, mert, ami hiányzik belőle az a visz-szavert fény spektrumából is hiányozni fog. Ezért lesz kisebb 100-nál az R_a index. (Persze megfogalmazható ez egzaktabban is!)

Az pedig, hogy miért olyan magas (R_a 100) az izzólámpa fényének színvisz-szaadási indexe, minden bizonnyal evolúciós kérdés. A mesterséges fény az emberi meg-tapasztalás alapján egyet jelentett az un. hő-mérsékleti sugárforrás fényével. (Már a bar-langban is ez volt – szokták mondani.)

Kérdés azonban, hogy a láthatósági gör-be által jól definiált elektromágneses en-ergia spektrumon túl még mire van szüksége a szervezetnek? Vagy másképen fogalmaz-va: ezek hiányát hogyan reagáljuk le tudatunkon kívül?

A kérdés humán-kutatások alapján már kezd megfogalmazódni és amiket el kell majd fogadni és meg is kell válaszolni. Ha ezek azt mondják ki, hogy pl. bizonyos, a lát-hatón kívüli hullámhosszúság tartományra/ tartományokra, ilyen vagy olyan okokból biológiailag szüksége van a szervezetnek, vajon majd áldozunk-e a látható fénykeltés hatásfokából? Mert esetleg köze lehet ah-hoz a „jelenséghez”, hogy jól érzem-e ma-gamat abban a jó hatásfokú „műfénnyben”? Azaz ne csak a pénztárcánk, hanem mi ma-gunk is jól érezzük magunkat lámpánk fé-nyénél!

Záradék:

A három részes írássomat nem értekezés-nek szántam. Csupán emlékképek során kí-vántam bemutatni az elmúlt évtizedek fény-forrásainak fejlődését, az igény, ill. alkalm-azástechnika és a kutatások, valamint a tech-nológia fejlődésének szoros kapcsolódását. Azért is, hogy segítsék eligazodni egykori és jelenlegi eszközeink bonyolult világában.

Szeretném remélni, hogy a szerintem kis-sé technokrata szemléletű fényforrás-fejlesz-tés, ill. világítástechnika egyre inkább az ember-központú szemléletet helyezi előtérbe a „deklarált” minőségi mutatók helyett.

Tudomásul kell venni, hogy a mi csilla-gunktól, Napunktól nem csupán a „világi-tást” kapjuk.

Én magam hálás vagyok jóssorsomnak, hogy fél évszázadon át részese lehettem eme nagyszerű alkotó munkának, amely a fényforrásgyártás és alkalmazástechnika bá-mulatra méltó eredményeit hozta.

De hálás vagyok azért is, hogy időt fordít-tottak e sorok elolvasására. Köszönöm!

IRODALOM

1. *Handbuch für Beleuchtung*, Lange 2008, Köln
2. DEBRECZENI-KARDOS-SINKA: *Fényforrás-ok*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1985
3. Dr. BORSÁNYI-VÁRKONYI: *Világítástechni-kai eszközök és rendszerek II*, KKVMF jegyzet, Műszaki Kiadó 1993
4. PHILIPS: *Compact Lighting Catalogue* 1981
5. Osram: *Lightprogram* 2008
6. Alexander WUNCH: *Glühlampenlicht und Gesundheit*, Light 2007/11-12
7. ELENBAAS, W.: *The high pressure mercury vapour discharge*, Nord-Holland Pobl. Comp., 1951.
8. DOBRUSSKIN, A.: *Handbuch der Vakuum-Elektronik*. Oldenburg Vlg. München/ Wien, 1989.