

# A mikrohullámmal gerjesztett fény

## Bevezetés

A kisüléssel fényforrások területén az utóbbi évtizedben a figyelem egyre inkább az elektród nélküli lámpák felé fordult. Ez nem véletlen, hiszen az elektródok működésével járó folyamatok – az emittáló anyag párolgása, porlódása, öregedése – szükségszerűen elsődleges meghatározói a lámpa élettartamának. Ezekhez társulnak olyan tényezők, mint a kritikus fém-üveg kötés optimális megoldásának kényszere, az aktív anyag kiválása a burafalra, vagy a lámpa terének a párolgás okozta szennyeződése. Az elektród nélküli lámpák egyik – ma már szakmai körökben jól ismert – megoldási lehetősége az *indukciós lámpa* (az egyes világítási cégek által gyártott típusok QL-lámpa, Genura, Endura stb... néven váltak ismertté.)

A másik lehetőség a *mikrohullámmal* történő fénygerjesztés.

A mikrohullámok is elektromágneses hullámok, hullámhosszuk a rádióhullámok és az infravörös sugárzás hullámhossza közé esik (1 mm–30 cm). Mivel a hullámhossz a terjedési sebességhez hasonlóan közegfüggő, célszerűbb a frekvenciával jellemezni, amely 1 és 300 GHz közé eshet. A mikrohullámokban rejlő energia hasznosításával kapcsolatban elég a népszerű sütőkre emlékeztetnem, ahol egy nyilvánvalóan elektród nélküli térben a kicsatolt mikrohullámú energia hőhatását használják fel. A kérdés kézenfekvő volt: nem lehetne-e ezt az energiát

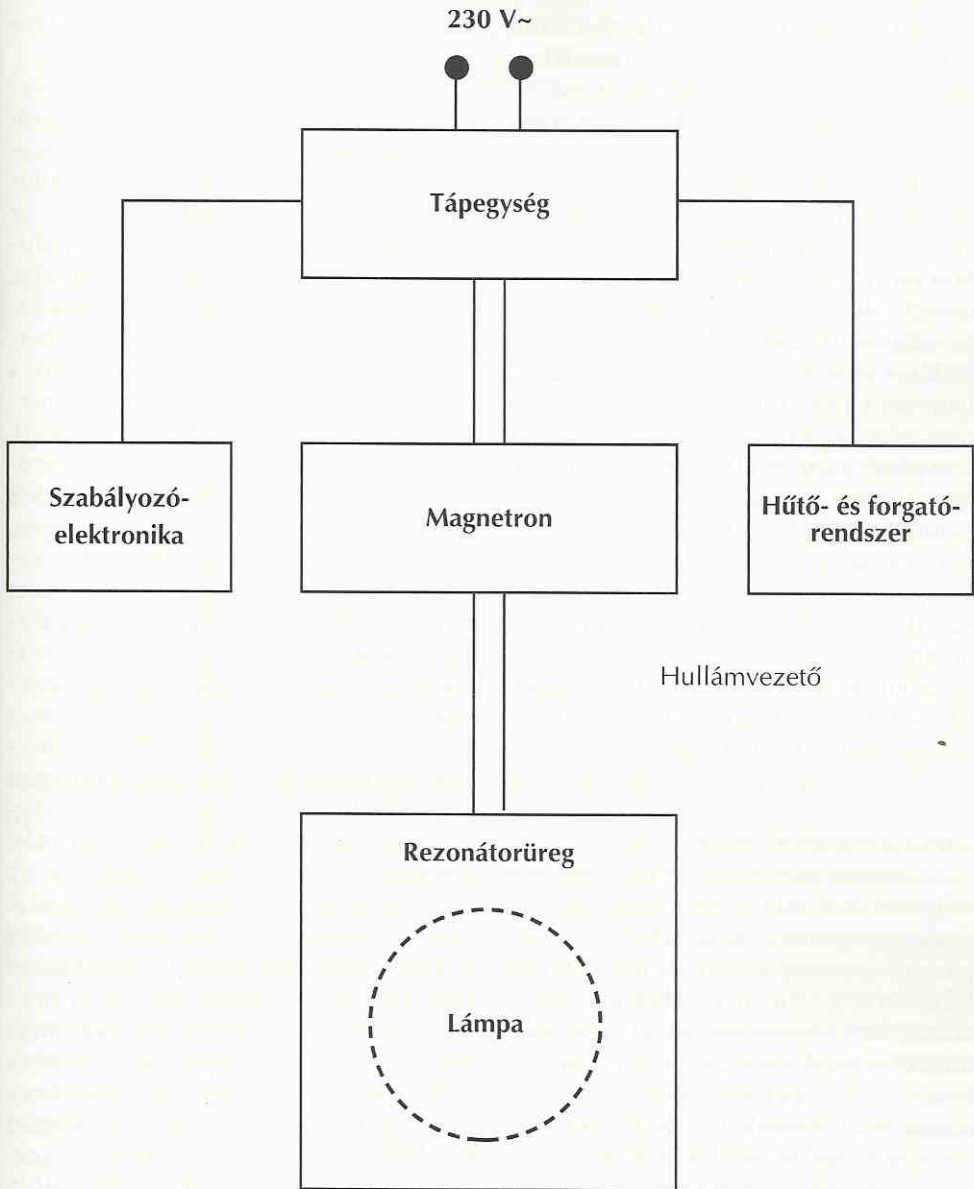
– legalábbis részben – fénygerjesztésre fordítani, és így egy újabb elektród nélküli fényforrást előállítani?

A mikrohullám frekvenciájának alsó határa is kb. 3 nagyságrenddel nagyobb, mint az indukciós lámpában alkalmazott 2,65 MHz. A disszipáló térbe mp-ként juttatott és térfogategységre eső energia (teljesítménysűrűség) pedig – többek között – az elektromos térerősség effektív értékének négyzetével és a frekvenciával egyenesen arányos! Így igen nagy teljesítménysűrűség érhető el. A frekvencianövelésnek – amellet, hogy csak bizonyos kijelölt frekvenciákon engedélyezett a működtetés – határt szab a szkinhatás, amely abban áll, hogy minél nagyobb a frekvencia, annál inkább kiszorul az energia terjedése a térből a felület irányában egy egyre vékonyodó rétegre („skin”) korlátozódva. A szkinmélységnek, vagyis annak a felülettől mért távolságnak az értéke, amelyen a teljesítménysűrűség az  $1/e$ -d részére csökken, döntő szerepet játszik a tér (kisülőközeg) hőmérséklet-eloszlásának és ennél fogva gerjesztési körülményeinek alakulásában. [2]

A mikrohullámmal gerjesztett plazmák matematikai leírását Offermanns kutatásaiból [2] ismerhetjük meg.

Az utóbbi 2-3 évben magyarul is megjelent közlemények alapján tudjuk, hogy a mikrohullámban rejlő energiát sikerült világítási célra alkalmazni. Az amerikai egyesült államokbeli Fusion Lighting 1994-ben publikálta azt a

## Mikrohullámmal gerjesztett világítási berendezés



1. ábra. A lámpa felépítésének blokkvázlata

cikket, amely már megvalósított világítási berendezést ismert. Ehhez természetesen meg kellett találni azt az anyagot (kisülő közeget), amely mikrohullámmal gerjesztve világítási eszköz

céljára mind a kibocsátott fényáram, mind a spektrális összetétel tekintetében megfelelőnek mutatkozott. A megtalált és azóta is alkalmazott anyag a *kén*.

## Miért éppen a kén?

Mielőtt válaszolnánk a kérdésre, tekintsük át röviden, milyen anyagokban megy végbe a fénygerjesztés a ma elterjedt és hagyományos kisülésses fényforrásokban.

A felsorolás a higanyt, a nátriumot, a fémhalogénlámpák esetében egyes erre alkalmas egyéb fémeket (diszprózium, holmium, indium stb.), valamint a nemesgázokat foglalhatja magában. Ezekre valamennyiükre jellemző, hogy gőzeikben *atomok* vannak. Ez köszönhető vagy az eleve atomos felépítésnek (nemes gázok), vagy mert az elpárolgott fém gőzét atomok alkotják (nátrium, higany), vagy pedig azért, mert a halogénidvegyület termikus disszociációval fém- és halogénatomokra bomlik (fémhalogének). Az atomoknak *atomi* színképük van, vagyis gerjesztés hatására olyan „*f*” frekvenciájú sugárzást bocsátanak ki, amely megfelel egy elektron adott  $E_1$  energiaszintről adott  $E_2$  energiaszintre történő átlépésének:

$$E_1 - E_2 = h \cdot f$$

ahol  $h$  a Planck-állandó

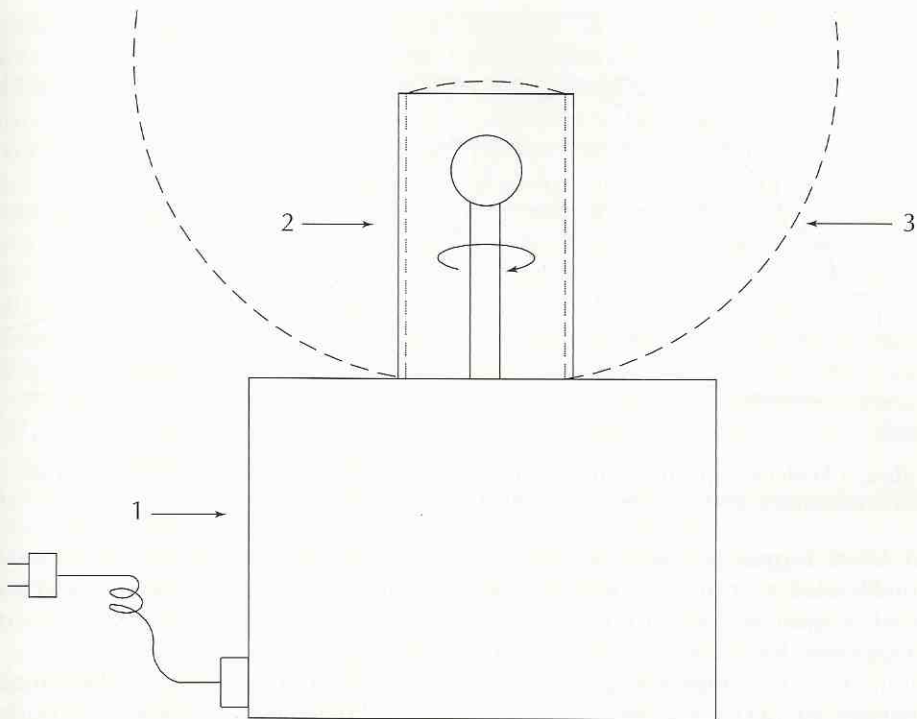
$f$  a látható tartományon belül kb. 400 billió és 800 billió Hz között van, és értéke meghatározza a kibocsátott sugárzás (színképvonal) színét. Minél több energiaátmenet lehetséges egy adott elem atomjában, annál vonalgazdagabb a színképe – és ami ebből következik, annál kedvezőbb a színvisszaadása. (Gondoljunk a ritkaföldfém-adalékokra a fémhalogénlámpákban).

Logikus tehát a törekvés, hogy olyan anyagok gerjesztését valósítsuk meg kisüléskor, amelyek színképében igen sok a vonal, sőt olyannyira közel vannak frekvenciában (és hullámhosszban) egymáshoz, hogy már-már összefüggő, azaz folytonos színképet szolgáltatnak. Ezzel megközelítenék színvisszaadás

szempontjából az izzólámpát, amely színképe – hőmérsékleti sugárzó lévén – folytonos, tehát színvisszaadási indexe 100.

A spektroszkópai kutatások már régóta arra a felismerésre vezették a kutatókat, hogy ha nem atomos, hanem molekuláris szerkezetű anyag színképét állítják elő, az sokkal vonalgazdagabb, az egymáshoz igen közeli vonalak együttesen sávokat szolgáltatnak. Ennek oka, hogy a molekulákban energiaközlés hatására nem csak egyes elektronok energiája változhat meg, hanem magának a molekulának a rezgési és forgási energiája is. Ehhez tudnunk kell, hogy pl. egy kétatomos molekula – leegyszerűsítve a kérdést – rugóval összekötött két golyóhoz hasonlóan – rezgéseket végez, valamint tömegközéppontja körül forogni is képes. Ez számunkra azért fontos, mert mind a rezgési, mind a forgási energia – az elektronátmenet energiájához hasonlóan – csak diszkrét értékeket vehet fel, és energiaváltozás esetén az energiakülönbséget  $h \cdot f$  kvantumok formájában kisugározza. A rezgési energiaváltozások kb. egy nagyságrenddel kisebbek, mint az elektronátmenethez tartozók, így színképük az infravörös tartományban jelentkeznek. A forgási átmenetek még egy további nagyságrendcsökkenéssel jellemezhetőek, tehát a távoli infravörös, ill. a mikrohullámú tartománynak felelnek meg. Ez a három színképtípus egymásra épül, oly módon, hogy az elektronátmenetek mind a rezgési, mind a forgási színképet a láthatóba hozzák át, s a rezgési színképet annyiszor megismétlik, ahány vonala van az elektronszínképnek, s a forgási színképet is annyiszor megismétlik, ahány vonala van a rezgési színképnek.

„Önállóan” egy rezgési átmenet infravörös sugárzással, egy forgási átmenet mikrohullámmal gerjeszthető. Ilyenkor



1. Lámpaház (tápegység, magnetron, forgatómotor-hűtő rendszer)
2. Rezonátorüreg a lámpával és MW védőréteggel
3. Fényvisszaverő réteggel ellátott kónusz (spotlámpa esetében)

2. ábra. A mikrohullámú kénlámpa egy lehetséges elrendezése

a molekula a közölt energiát elnyeli, és az elnyelt  $h \cdot f$  kvantumnak megfelelő abszorpciós rezgési, ill. forgási színkép-vonalat produkál. Esetünkben viszont fényt emittáló rendszerre van szükség, tehát az előző eset fordítottját, emissziós színképet kell előállítani.

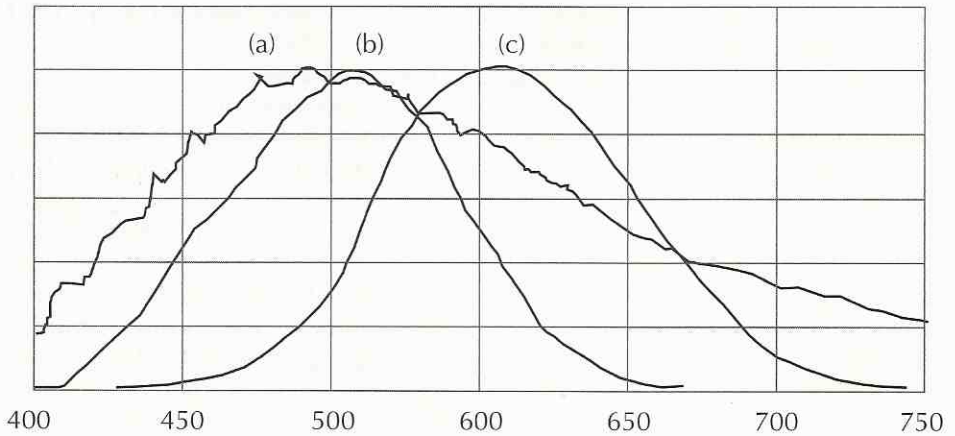
Molekulaszínképe molekuláris szerkezetű anyagnak lehet csak, tehát olyan anyagot kellett keresni, amely nemcsak hogy közönséges körülmények között molekuláris felépítésű, hanem gőzállapotban is az marad (gerjesztéskor nem esik szét atomokra).

Ilyen anyag (többek között) a periódusos rendszer VI. oszlopában levő kén (S, sulfur).

A mindnyájunk által ismert sárga kén közönséges körülmények között rom-

bos rendszerű molekulárcsós kristály. Hevítve előbb monoklin kristályszerkezetűvé alakul, majd 115 °C-on megolvad, az olvadékot viszonylag nagy atomszámú gyűrűk és láncszerű molekulák alkotják. 444 °C-on következik be a forrás, a molekulák nagyrészt szétesnek és a gőz zömében  $S_2$  összetételű, kétatomos molkulából áll.

Ebben a túlnyomórészt kétatomos kénmolekulákból álló rendszerben jön létre a mikrohullámú energia hatására a fénygerjesztés. A folyamat annak köszönhető, hogy a kétatomos (dimér) kénmolekula elektronszerkezetében az energiafelvétel során úgynevezett  $B^3\Sigma$  gerjesztett állapot jön létre, amely igen rövid idő múlva a kisebb energiájú  $X^3\Sigma$  állapottá alakulva az energiakülönbsé-



3. ábra. A kénlámpa spektrális energiaeloszlása (a) a fotopos (b) és a szkotopos (c) látás szemérzékenységi görbéivel összehasonlítva

get foton formájában kisugározza – a fentebb írtak szerint a színeképp megváltozott rezgési és forgási energia miatt sávszerűen kiszélesedő spektrumban. Tekintettel arra, hogy esetünkben nem kisnyomású gáz, hanem viszonylag nagynyomású gőz van jelen, a spektrumvonalaknak még fokozottabb kiszélesedése következik be.

A nyomás a mikrohullámú lámpákban  $10^5$ – $10^6$  Pa között van, tehát néhány-szorosa a külső légnyomásnak. A bevezetett teljesítmény és a lámpaméret függvényében a teljesítménysűrűség  $100$ – $300$  W/cm<sup>3</sup>.

A jelenlevő argon itt is „starter gázként” funkcionál, felmelegszik és kis mértékben ionizálódik a mikrohullámú tér hatására, elindítva a közben elpárolgó kénben a gerjesztési folyamatot. [5]

Meg kell jegyezni, hogy mikrohullámmal gerjesztendő és molekulaszínképet szolgáltató plazma céljára a kénen kívül egyéb elem (pl. szelén, foszfor) és számos vegyület is alkalmas. Ezek közül elsősorban említésre méltóak a ritkaföldfém-halogenidek. A fő kritérium annak az optimális közepes hőmérsékletnek a megvalósíthatósága, amely alatt a molekulaszínkép vonalai a gyen-

ge emisszió miatt még kis intenzitásúak, s amely felett a molekulák már szétbomlanak, tehát molekulaszínkép sem tud keletkezni.

A mikrohullámú kisülésekkel foglalkozó közlemények szerzői elsősorban higanygőzben lejátszódó gerjesztési folyamatokat ismertetnek – természetesen a „hagyományos” atomi színeképp keletkezése mellett. (2,5)

## A lámpa felépítése

Mivel a fénygerjesztéshez az energiát mikrohullám szolgáltatja, szükség van egy mikrohullámokat előállító generátorra, ún. magnetronra. A magnetron lényegében speciális elektroncső, amelyből esetünkben koaxiális hullámvezető segítségével jut el a mikrohullámú energia a rezonátorba. A rezonátort megfelelően kell méretezni, hogy a csatolás a generátor és közte optimális legyen.

A rezonátorban – vagyis abban a térben, ahol a mikrohullámok energiája felhasználást nyer, helyezkedik el egy  $25$ – $38$  mm átmérőjű gömb alakú üvegbura formájában maga a lámpa, amelyben néhány mg kénpor és kb.  $10^3$  Pa

nyomású nemesgáztöltés van. A kénpor a mikrohullám hőtartalmának köszönhetően folyadék- majd gőz halmazállapotúvá alakul, s többségében felveszi az  $S_2$  molekulaszervezetet (a vegyértékhéjon 4 kötő és 2 lazító elektronnal), a nemesgáz pedig részben ionizálódik, tehát a térben töltéshordozók termelődnek. A fejlődött hő nagyságát a mikrohullám adatain kívül (elektromos térerősség, frekvencia) a lámpatérben levő anyagok minősége (relatív permittivitása) szabja meg.

A fentiek alapján a mikrohullámú kénlámpa – kiszolgáló egységeivel együtt – alapvetően a következő fő részekből áll:

1. Nagyfeszültségű tápegység a magnetron működtetéséhez.
2. Mikrohullámú generátor (magnetron).
3. Koaxiális hullámvezető, amely mikrohullámok formájában juttatja el az energiát a lámpához.
4. A gömb alakú kvarcbura a kén- és nemesgáztöltettel.
5. Motor a bura forgatására.
6. Hűtőberendezés (amennyiben szükséges).

A kezdetben kifejlesztett, nagyobb teljesítményű (3,4 kW) és kisebb méretű (28 mm átm.) burát légárammal folyamatosan hűteni is kellett, ugyanis a nagy fajlagos teljesítmény miatt a burafal túlságosan felmelegedett volna (925 °C a kvarcbura megengedett maximális hőmérséklete). A kisebb teljesítményű kénlámpák (Solar 1000™ és Light Drive 1000) hőmérsékleti viszonyai nem teszik szükségessé a mesterséges hűtést.

A stabil működéshez a bura forgatni kell. A térben ugyanis nemcsak  $S_2$ , hanem nagyobb molekulatömegű ( $S_4$ ,  $S_6$ ,  $S_8$ ) molekulák is vannak jelen, és ezek a burában kialakult hőmérséklet-gradiensnek megfelelően szeparálódnak egymástól, inhomogenitást és ezzel együtt egyenlőtlen energiaabszorpciót

okozva. A forgatás homogenizálja a plazmát, és némiképp a mesterséges hűtést is pótolja.

A lámpa ellenállás-karakterisztikája pozitív, áramkorlátozó előtétre nincs szükség. (Elektródok és termikus emisszió nem lévén, nem érvényesül az ívkisülésre jellemző áramerősség-növelő hatás.) Itt az áram (és az elektronsűrűség) növekedésével csökken a skinmélység, ez viszont a plazma felületén az elektromos térerősségnek a növekedésével jár együtt, hogy a kisugárzott energiát a tér folyamatosan pótolni tudja. [6]

Gyakorlatban a kénlámpát kétféle módon alkalmazzák.

1. Fényvisszaverő réteggel látják el és eléje védőüveglemezt helyeznek. Ez utóbbinak a mikrohullámoktól való védelem a célja, a CE EMC követelmények betartása (spotlámpa).

2. Tekintettel a nagy fénysűrűsége, a fényt célszerű nagyobb felületen kisugározatni, fényvezető csöveket („light pipe”-t) alkalmazni. Ennek gyakorlati megvalósításáról, a 3M Company által kifejlesztett fényvezetőrendszerrel nem kívánok bővebben írni; erre vonatkozóan az Elektrotechnika 1998. 8. számában olvashattunk ismertetést (Jáni Józsefné-Kosztolicz István: Fények Hannoterből). Ez a cikk foglalkozik a kénlámpás-fényvezetőszálas világítás javasolt alkalmazási területeivel is.

## A mikrohullámú kénlámpa fontosabb tulajdonságai

Az alábbiakban a Fusion Lighting által szabadalmaztatott Solar 1000™ elnevezésű fényforrás adatai olvashatók: [3]

Betáplált teljesítmény	1,4 kW
Teljesítménytényező	0,99
Kibocsátott teljes fényáram	~140 klm
Fényhasznosítás	~100 lm/W
Korrelált színhőmérséklet	6000 K

SzínviSSzaadási index	~80
Átlagos fénySűrűség	$1,9 \cdot 10^7$ cd/m <sup>2</sup>
Tömeg	6,2 kg
Élettartam (lámpa)	60 000 h
Élettartam (magnetron)	15–20 000 h

A kibocsátott fény spektrális energiaeloszlását az alábbi ábra szemlélteti.

Az ábrán látható, hogy a molekulaszínkép jellege és a működési körülmények miatt folytonosnak tekinthető spektrum közel áll a sötétre adaptált szem láthatósági függvényéhez, a kilépő fény kb. 30%-a a 495 és 565 nm közötti zöld tartományba esik.

A fentiek alapján foglaljuk össze a mikrohullámmal gerjesztett kénlámpa előnyös tulajdonságait:

1. Elektrod nélküli működés.
2. Kis IR és UV-sugárzashányad.
3. Nagy fénySűrűség miatt jó optikai kezelhetőség, irányíthatóság.
4. Nagy fényhasznosítás, amely az élettartam során csak igen kis mértékben csökken.
5. Folytonosnak tekinthető színkép, jó színviSSzaadás.
6. Nagyfokú színtabilitás.
7. Hosszú élettartam.
8. Viszonylag kis felfutási idő.

9. Szabályozhatóság a kezdeti fényáram 20%-áig.

10. Nem tartalmaz higanyt, a kén gőz nem támadja meg a burafalat.

A lámpa a szükséges tartozékokkal együtt teljesen zárt rendszert képez, tehát a mikrohullámmal történő működtetés ugyanúgy nem ártalmas, mint a háztartásokban használt sütőkék.

**Dr. Borsányi János**

#### IRODALOM

- [1] B. P. Turner–M. G. Ury–Y. Lenfg–W.G. Love: Sulfur Lamps – Supress in Their Development. Journal of the Illuminating Engineering Society.
- [2] Stephan Offermanns. Electrodeless high-pressure microwave discharges Journal of Applied Physics. 67 (1) January 1990.
- [3] IKL Celsius George SOLAR 1000™ type 1400-E 2/1 Description, Installation and Operating Manual, 1997.
- [4] M. diChristina: Lighting: Bright Light, Small Bulb, Popular Science, February 1995
- [5] J. Waymonth: Application of Microwave Discharges to High-Power Light Sources. Series B. Physics Vol. 302, Edited by C.M. Ferreira–M. Moisan. 1993. New York.
- [6] Jáni Józsefné–Kosztolicz István: Fények Hannoverből. Elektrotechnika. 1998. 8. sz.