

## Hőmérsékleti sugárzók

A természetes fény elsődleges forrásai a nap és az égbolt, másodlagos forrásai a takarás és a terep. A mesterséges fényforrások pedig azok, amelyeket az ember állít elő. Ezek lehetnek az égést felhasználó olyan fényforrások, amelyek gázt, olajat stb. használnak fel. Az előbb említett fényforrásokkal annak ellenére sem foglalkozunk, hogy a közvilágítás napjainkig megmaradt gázlámpáit megtartandónak ítéljük, a gyertya lángjának hangulatteremtő hatását nem vitatjuk. Jegyzetünkben csak azokat a fényforrásokat tárgyaljuk, amelyek a villamos energiát alakítják át fénné.

A mesterséges fény előállítására szolgáló optikai sugárforrás a **lámpa**, vagy **fényforrás** [MSZ 9620-7:1989 (845-07-03)].

A fény mesterséges előállításának alapja az, hogy az adott anyagban az elektronok nagy energiájú állapotból kisebb energiájúba jutnak, miközben az energiakülönbséget sugárzássá alakítják át. A fénykeltés alapvetően háromféle módon valósulhat meg:

- hőmérsékleti sugárzással, ha a szilárd anyagban az elektronok számára megengedett széles energiasávokon belül történik az energiaváltozás,
- lumineszcens sugárzással, ha a gázokban, gőzökben a keskenyebb energiasávokban vagy diszkrét energianívók között történik az elektronok vándorlása.
- szilárd sugárzóban a p-n átmenetek segítségével, rekombinációval ld. LED

Hőmérsékleti sugárzáson alapszik az izzólámpák működése, míg lumineszcens sugárzók a különböző kisülőcsöves fényforrások, a szilárdtestsugárzók fő képviselői a LED-k.

A **fej** a fényforrásnak a hálózathoz történő csatlakozására, a villamos áram bevezetésére szolgáló része. A fényforrások lehetnek egy vagy mindkét végükön fejelték, értelemszerűen ezek kivitele eltérő. Az egy végén fejelt fényforrások – izzólámpák, nagynyomású kisülő lámpák, kompakt fénycsövek – leggyakoribb fej típus az ún Edison fej. Ezt általában háromféle méretben gyártják, jele „E”. Az ún. gyertya foglalat hivatalos elnevezése E14, a normál foglalaté E27, E40 pedig a góliát foglalat.

Az egy végén fejelt fényforrások másik leggyakoribb fej típusa a B jelű ún. bajonett fej. Vannak ún. csapos fejek, mint az adapter nélküli kompaktfénycsőé, vagy a törpe feszültségű halogén izzólámpáé. Ezek jele gyakran G.

A két végén fejelt fényforrások meghatározó csoportja a fénycsöveké, de tartoznak ebbe a csoportba halogén izzólámpák, („ceruza” lámpák) valamint nagynyomású nátriumlámpák, fémhalogénlámpák is.

A LED-k gyakran ún. retrofit formában készülnek, ekkor lehetnek egy végén vagy két végén fejelték, akár E, vagy G fejjel. A LED-k optimálisabb használatát jelenti, ha a panelek fejelés nélkül csatlakozhatnak a tápforráshoz.

A **geometriai méretek** (a fényforrás kubaturája, a fejméret) a választható lámpatestek körét határolja be. A fejméret és az egységteljesítmény között általában van kapcsolat, a nagyobb egységteljesítményhez nagyobb fej tartozik. Fénycsöveknél pedig a nagyobb egységteljesítmény hosszabb fényforrást jelent. A lámpatestgyártók a változó fej méret, illetve kubatura miatt is lámpatest családokat gyártanak, hogy a különböző egységteljesítményhez azonos típusú ajánlhassanak.

A látható sugárzás a világítástechnikai szempontból érdekes fényforrásokban mindig az elektronok energiaállapotának megváltozása révén keletkezik, olyankor, amikor az elektron magasabb energiaszintről alacsonyabb energiaszintre kerül. Az alapállapotnál nagyobb energiájú állapotba az elektronok külső forrásból felvett energia révén kerülhetnek; ezt az energiaközlési folyamatot nevezzük *gerjesztésnek*. Mind a gerjesztés, mind pedig a vele ellentétes folyamat, a *sugárzás*, többféle módon jöhet létre. A következőkben csak a fényforrások szempontjából érdekes folyamatokat foglaljuk össze.

Gerjesztés adott atomon vagy molekulán belül csak meghatározott energiákkal történhet, mivel az elektronok maguk is csak meghatározott (kvantált) energiaszinteket foglalhatnak el az atomok elektronhéjában, ezért a gerjesztett állapotból alacsonyabb energiájú szintre ugráskor vagy az alapállapotba való visszatéréskor a sugárzás frekvenciája (a két állapot közti energiakülönbségben gondolkodva: a kisugárzott foton energiája) is csak meghatározott értéket vehet fel. Emiatt az atomok színeképe vonalas; a molekuláké viszont lehet sávos is, mivel bennük az egyes energiaszintek felhasadhatnak.

Más a helyzet, ha az elektron valamely külső forrásból akkora energiát nyer, amely azt az atomra vagy molekulára jellemző legmagasabb energiaszint fölé képes emelni. Az elektron ilyenkor kiválik az atomkötelékből, és a folyamat eredményeként szabad elektron és pozitív ion keletkezik. Magát a folyamatot *ionizációnak* nevezzük.

### **Termikus fénykeltés**

Az előzőekben láttuk, hogy az atomok rugalmatlan ütközések révén jutnak a sugárzást eredményező gerjesztési energiához, pl. úgy, hogy a kölcsönhatásban részt vevő partnerek nagy hőmérsékletüknek köszönhetik megnövekedett energiájukat.

A nagy hőmérsékletek létrehozásának két alapvető, elterjedten használt módszere: az egzoterm (hőtermelő) kémiai reakció (pl. az égés), vagy a vezetőkön átfolyó villamos árammal történő hevítés. Ezekon kívül más hőkeltési módok is ismeretesek – pl. sugárzás (lézer, UV-, IR-sugárzás, nagyfrekvenciás hevítés, stb.) révén –, ezek azonban az égéssel együtt érdektelenek a villamos fényforrások szempontjából.

A villamos árammal való hevítés a vezetőknek azon a tulajdonságán alapszik, hogy ellenállást tanúsítanak a rájuk kapcsolt feszültség által megindított töltésáramlás kialakulásával szemben. Az Ohm-törvény szerint valamely áramforrás  $U$  feszültsége, az áramforrásra kapcsolt vezető  $R$  ellenállása és az  $U$  feszültség által az ellenálláson áthajtott

áram között az  $I = \frac{U}{R}$  összefüggés áll fenn. Ismeretes továbbá, hogy ha a vezető homogén,

akkor annak  $R$  rezisztenciája (ellenállása) és a vezető anyagjellemzői között az

$$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{q} \quad (3.3)$$

összefüggés áll fenn, ahol  $\sigma$  az anyag konduktivitása (fajlagos vezetőképessége),  $\rho = \sigma^{-1}$  a rezisztenciája (fajlagos ellenállása),  $l$  a vezető hossza,  $q$  pedig annak keresztmetszete.

A tapasztalat szerint az anyagok rezisztenciája függ a hőmérséklettől is, első közelítésben az  $R = R_0(1 + \alpha \cdot t)$  kapcsolat szerint, ahol  $R_0$  a  $0^\circ\text{C}$ -on,  $R$  a  $t$  hőmérsékleten mért

rezisztencia,  $\alpha$  pedig az anyagra jellemző hőmérsékleti együttható. A hőmérsékleti együttható értéke vezetők esetében pozitív, azaz az ilyen anyagok rezisztenciája a hőmérséklettel arányosan nő, míg szigetelők esetében  $\alpha$  negatív, azaz a szigetelők rezisztenciája a hőmérséklet növekedtével csökken. A **3.2. ábrán** megadjuk a volfrám rezisztivitásának a hőmérséklettől való függését, valamint a melegellenállás/hidegellenállás alakulását.

A villamos áram a vezetők árammal szemben tanúsított ellenállása következtében fűti azokat. Az  $R$  rezisztenciájú ellenálláson átfolyó  $I$  áramból hővé alakuló teljesítmény (Joule-hő) értéke  $I^2 R$ . A melegedés során a vezető változó rezisztenciája a (3.3) összefüggés szerint visszahat a rajta adott feszültségkülönbség hatására átfolyó áram nagyságára. Az átfolyó áram hatására a vezető hőmérséklete addig növekszik, amíg a felvett Joule-hő és a vezetőből hővezetés és/vagy sugárzás útján távozó hőmennyiség egyensúlyba nem kerül.

Az elmondottakból és a **3.2 ábra** egybevetéséből következik, hogy pl. egy szoba-hőmérsékletű izzólámpa bekapcsolásakor annak izzótestén nagyságrenddel nagyobb áram folyik, mint a stabil (felmelegedett) üzemmódban. A bekapcsolás és a stabilizálódás közti, minden pillanatban változó paraméterekkel jellemezhető állapotot a lámpa üzeme *tranzien* szakaszának nevezzük. Látni fogjuk, hogy valamilyen tranzien szakasz minden villamos fényforrás bekapcsolásakor fellép, s hogy annak jelentős szerepe van az egyes lámpák élettartama, gyújtáskészsége és más fontos paraméterei szempontjából.

Az árammal való hőkeltés jelensége után idézzük emlékezetünkbe, hogy bármely test bármely hőmérsékleten sugároz elektromágneses energiát. A sugárzott energia hullámhossza (frekvenciája) a hőmérsékleten kívül függ a sugárzó anyagi minőségétől.

A hőmérsékleti sugárzás első kvantitatív törvénye 1860-ból, *Kirchhofftól* származik. Eszerint az emisszióképeség ( $E_v$ ; az 1 cm<sup>2</sup> felületről 1 s alatt egységnyi frekvenciatartományban kisugárzott energia) és az abszorpcióképeség ( $A_v$ ; az elnyelt energia viszonya a teljes beeső energiához, egységnyi frekvenciatartományra vonatkoztatva) hányadosa csak a hőmérsékleti sugárzó sugárzásának frekvenciájától és abszolút hőmérsékletétől függ ((3.4) összefüggés), és független a sugárzó anyagi összetételétől:

$$\frac{E_v}{A_v} = \frac{E'_v}{A'_v} = \frac{c}{8\pi} U_v(T) \quad (3.4)$$

ahol  $U_v$  az egységnyi frekvenciaintervallumra eső energiasűrűség,  $c$  pedig a fénysebesség. Az összefüggésből kiolvasható, hogy valamilyen test, amely képes bármilyen  $\nu$  frekvencia elnyelésére, annak kisugárzására is képes (a *spektrumvonalak megfordíthatósága*).

A termikus fénykeltés vizsgálata szempontjából azt a testet szokás összehasonlítási alapként figyelembe venni, amely minden, rá beérkező sugárzást elnyel ( $A_v = 1$ ). Ez az ún. *feketesugárzó*, amelynek emisszióképeségét az

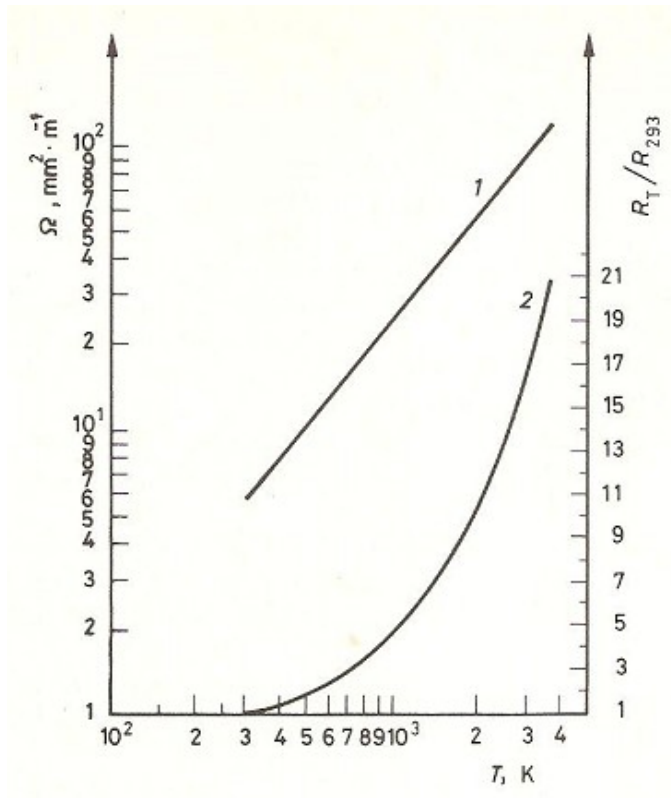
$$E_v = \frac{c}{4\pi} U_v(T) \quad (3.5)$$

egyenlet írja le. Minden más test emisszióképesége kisebb a feketesugárzóénál, s annak nagyságát  $A_v$  és  $U_v$  egyértelműen meghatározza. Az olyan sugárzókat, amelyek esetében

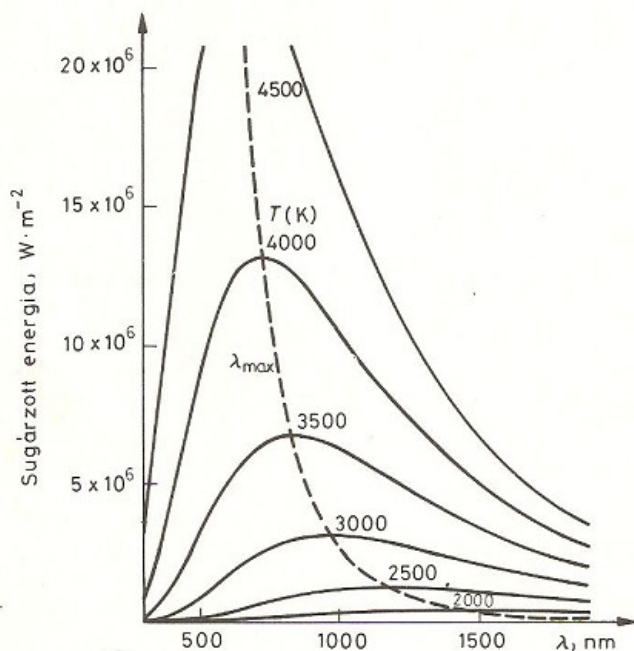
$A_v$  független  $\nu$  értékétől, vagyis abszorpcióképességük minden frekvencián azonos, de egynél kisebb, szürkesugárzónak nevezzük. Az ilyen test emisszióképességének spektrális eloszlása a feketesugárzóéval analóg. A látható színeképtartományban a volfrám is jó közelítéssel szürkesugárzó.

A feketesugárzót jellemző Stefan–Boltzmann-törvény szerint annak sugárzási energiasűrűsége ( $M_e$ ) a hőmérséklet negyedik hatványával arányos:

$$M_e = \sigma T^4 \tag{3.6}$$



**3.2. ábra.** A volfrám rezisztívitásának (fajlagos ellenállásának) ( $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ) hőmérsékletfüggése (1 görbe) és a melegellenállás/hidegellenállás ( $R_T/R_{293}$ ) alakulása a hőmérséklet függvényében (2 görbe).



**3.3. ábra.** A feketesugárzó sugárzásának spektrális eloszlása, a hőmérséklet, mint paramétere függvényében (A Planck-törvény (3.8. összefüggés) szerint).

A szaggatott vonal az egyes hőmérsékleteken a maximális sugárzási energiához tartozó hullámhosszakat köti össze.

A feketetest abszolút hőmérséklete és az adott hőmérsékleten maximális sugárzási teljesítményhez tartozó hullámhossza közt fennálló

$$\lambda_{max} T = C = \text{állandó} \quad (3.7)$$

összefüggést Wien ismerte fel. Ennek értelmében  $\lambda_{max}$  annál kisebb, minél nagyobb  $T$ . Ez a *Wien-féle eltolódási törvény*, amelyet a 3.3. ábrán levő szaggatott görbe szemléltet grafikusan.

Jelenlegi ismereteink szerint *Planck sugárzási törvénye* írja le a tapasztalattal egyezően a hőmérsékleti sugárzást. Eszerint:

$$U_\nu(T) = \frac{8 \pi h}{c^3} \nu^3 \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (3.8)$$

A (3.8) összefüggést a 3.3. ábrán láthatjuk. A (3.8) összefüggésből kiszámíthatók a Stefan–Boltzmann-törvényben – (3.6) összefüggés – és a Wien-féle eltolódási törvényben – (3.7) összefüggés – szereplő állandók:

$$\sigma = 8 \pi^5 k^4 / 15 h^3 c^3, \text{ ill. } C = c \cdot h / 4,965 k \frac{\nu}{T}.$$

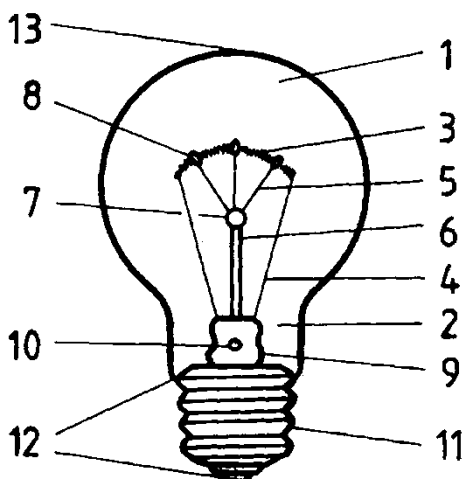
Szilárd testekben és nagyon nagy nyomású (több százezer bar\*) forró gázokban nemcsak a gerjesztett vegyértékelektron sugároz. A fémrácsban és a sűrű gázban az atomok szoros közelségben helyezkednek el. Az atomok és a molekulák erőterében mozgó elektronok a 2.1 fejezetben ismertetett módon fékezési és rekombinációs sugárzásokat is kibocsátanak, ezért a forró fémek (pl. izzó volfrámszál) és a nagyon nagy nyomású forró gázok (pl. a Nap) optikai sugárzásának hullámhossz szerinti megoszlása folytonos. Természetesen nem minden hullámhosszhoz tartozik azonos sugárzási energiasűrűség.

### Az izzólámpa felépítése

Az izzólámpákban villamos árammal hevített, általában egyszeres vagy kétszeres volfrám spirál van. Az üvegbura nemesgázzal töltött. A lámpa felépítését a **6-5. ábra** mutatja.

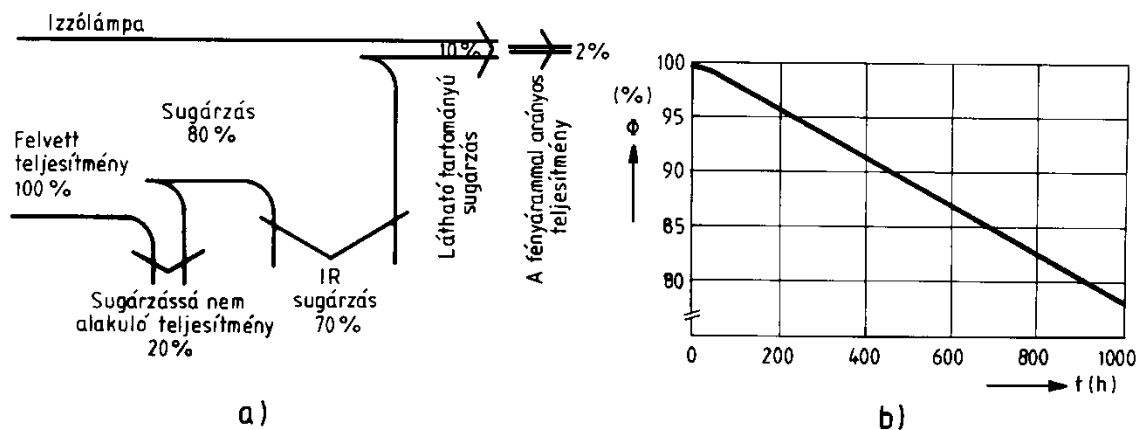
Az izzólámpa energiafolyam ábráját és az élettartam során bekövetkező fényáram változását a **6-6. ábra** mutatja. Ezek szerint a felvett teljesítmény mintegy 70%-a alakul hővé, a látható sugárzás 10%, a fény pedig csak a felvett teljesítmény mintegy 2%-a. Fényhasznosítása ennek megfelelően maximum 20 lm/W. Színhőmérséklete mintegy 2700 K, azaz színhőmérsékleti csoport szempontjából meleg, színvisszaadása kiváló.

Spektrális összetétele a mesterséges fényforrások közül a legkedvezőbb. Az általános világításra használt típusok névleges élettartama 1000 h.



6-5. ábra. Az izzólámpa felépítése

1 – bura; 2 – gáztér; 3 – izzószál; 4 – elektród;  
5 – tartó; 6 – üvegpálca; 7 – lencse; 8 –  
tartógyűrűk; 9 – állvány; 10 – szívócső nyílása;  
11 – fej (Edison); 12 – forrasztás; 13 –  
típusjelölés „bélyegzés”

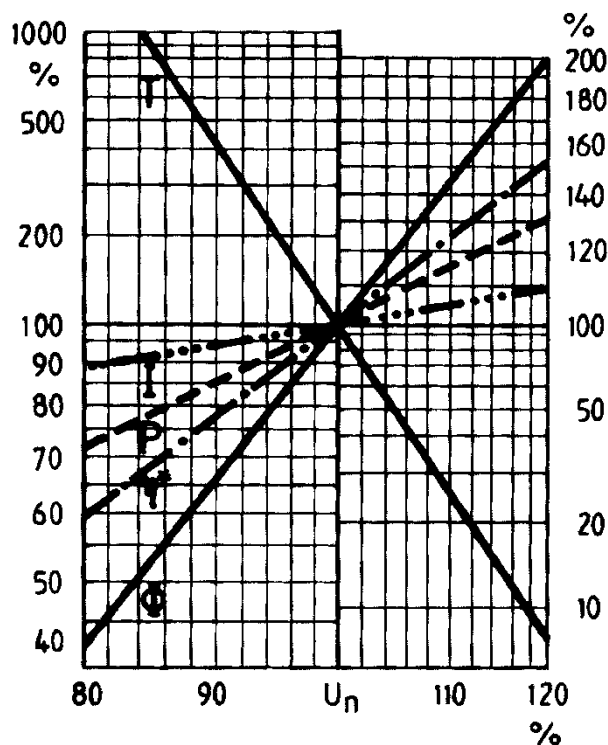


6-6. ábra.

a) Az izzólámpa energiafolyam ábrája

b) fényáramváltozás az élettartam során

A tápfeszültség változásával a fényforrás fénytechnikai adatai a **6-7. ábra** szerint változnak. Az izzólámpa rövid felfutási és újragyújtási idejű fényforrás. Beruházási költsége viszonylag kicsi, üzemeltetési költsége meglehetősen nagy. A fényforrás alakja igen különböző formákat vehetett fel, ezért is tartozott a legkedveltebb fényforrások közé.



6-7. ábra. Az izzólámpa paramétereinek változása a feszültség függvényében

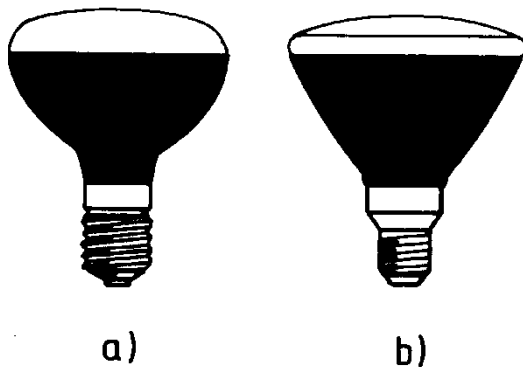
$I$  – lámpaáram  
 $P$  – hálózatról felvett teljesítmény  
 $\Phi$  - fényáram  
 $\eta^*$  - fényhasznosítás  
 $T$  – élettartam

Speciális felhasználásokra készült izzólámpákra, mint pl. közlekedési, forgalomirányító jelzőlámpák, stúdiólámpák, vetítő lámpák nem vonatkozik a korábban jelzett tilalom.

A speciális izzólámpáknál bármelyik paraméter változhat a korábban bemutatottakhoz képest. Ezek közül munkavédelmi és általános világítási szempontból az ún. reflektor lámpák a fontosak.

Ezek, felépítésükben annyiban térnek el a normál izzóktól, hogy az üvegbura a nyaki részen, tükrösített és paraboloid formájú. Emiatt a fényforrás, a fényvetőkhöz hasonlóan egy adott sugárzási szögben világít (**6-8. ábra**).

A TUNGSRAFLEX lámpa burája normál üveg, a PAR lámpáé keményüveg. A lámpa sugárzási szögét a tükör határozza meg. Ennek megfelelően lehet keskenyen sugárzó: spot vagy szélesen sugárzó: flood lámpa.



6-8. ábra. Reflektorlámpák  
a) TUNGSRAFLEX  
b) PAR

**Irodalom:**

Debreczeni-Sinka-Kardos: *Fényforrások*, Bp. Műszaki Könyvkiadó, 1985  
Lantos-Vidovszky: *Világítástechnika jegyzet*, OMKT, 2010. évi módosított