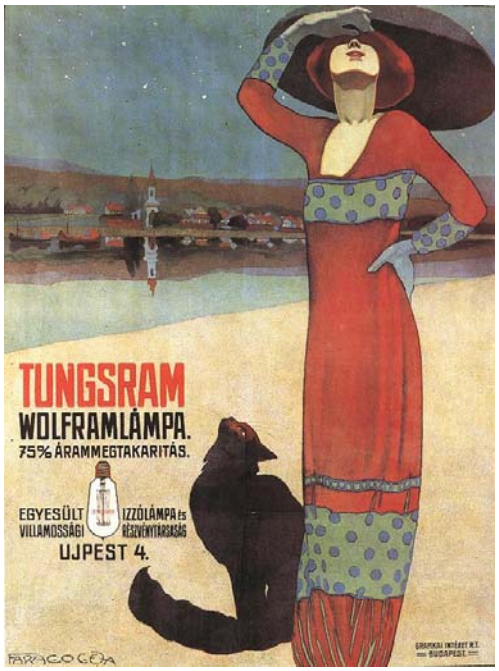
1. Célkitűzések

A világításra, mint szolgáltatásra már hosszú ideje mint az életünk természetes velejárójára tekintünk. Megléte fel sem tűnik, hiányát, vagy nem az általunk elvárt hatását azonban azonnal észrevesszük.

A mesterséges világítás története egészen az őskorig nyúlik vissza. A villámcsapástól kigyulladt fa tüzét tovább táplálva elődeink meleget és világosságot tudtak varázsolni a lakhelyükként szolgáló barlangjukba akkor is, amikor a Nap fénye már nem volt látható. Egészen sokáig, a XIX. század végéig a mesterséges világítás elve nem változott, egyet jelentett az éghető anyagok (fa, gyertya, olaj vagy gáz) égetésével. Itt kell megemlíteni, hogy már a sötétnek tartott középkorban elkezdett kialakulni a közvilágítás, mint egyes emberek otthonában történő, adott tevékenység elvégzéséhez szükséges világítás melletti valódi közszolgáltatás.

Igazi fejlődésnek a világítástechnika az elektromosság felfedezésével indult meg [Borsányi 2006]. Az izzólámpa fogalmát talán mindenki a General Electric vállalat alapítójához, *Thomas Alva Edisonhoz* köti, aki tökéletesítette és kereskedelmi forgalomba hozható minőségűre fejlesztette a szénszálas izzólámpát. Joggal lehetünk azonban büszkék magyar fejlesztőmérnökök által elért kutatási és fejlesztési eredményekre is! Nem véletlen a korábbi Tungsram márkanév, hiszen itt alkalmaztak először volfrám drótot izzószálként (A név az angol tungsten és a német wolfram szavak összeolvasztásából született) [Ilonka 2006], 1.1. ábra. *Just Sándor* és *Hanaman Ferenc* szabadalma szerint a szénszálra szuszpenzió forrmájában vitték fel a volframot, majd izzítással a szén magot eltávolították. Később áttértek a porkohászati és fémhúzási műveletekre alapozott technológiára, amely – többszörösen tökéletesítve - az izzószál gyártásnak még ma is az alapját képezi. Itt fejlesztette ki *Millner Tivadar* és *Túry Pál* a nagykristályos (grosse krystall, GK), kiváló mechanikai tulajdonsággal bíró volfrámszálat. Ez tette lehetővé a lámpák megbízhatóságát és fényhasznosítását jelentősen növelő duplaspirálos izzószálkonstrukció kifejlesztését. Itt került kifejlesztésre a nagyobb fényhasznosítású kriptontöltésű izzólámpa is (*Bródy Imre*, 1930-as évek). A közvetlen fényforrás kutatás-fejlesztés mellett más irányú tevékenységek is folytak a Tungsramban. Elég megemlíteni *Bay Zoltán* holdradar kísérletét. Az *Aschner Lipót*

alapította és *Pfeifer Ignác* által vezetett ipari kutatóintézetben kialakult kutatási bázis szolgáltatta több korábban működő kutató intézet (TÁKI, HIKI, MFKI) alapjait is (és ide sorolhatjuk a Pfeifer által alapított Műegyetemi Atomfizika Tanszéket is). Elmondhatjuk, hogy a Tungsram és elődei mind önálló vállalatként, mind pedig 1990 óta a *General Electric* cég részeként a kezdetektől fogva a fényforrás iparág élmezőnyébe tartozik (két nagy versenytársunk: a *Philips* és az *Osram* mellett).



1.1. ábra. Karcsú nő macskával lámpafényben (Tungsram plakát), 1913
Faragó Géza (1877 - 1928), Kecskeméti Képtár, Kecskemét

A fényforrások tervezésének legelső lépése annak meghatározása, hogy mit is takar az első bekezdésben említett elvárt működés, azaz a vevői igények felmérése. Bár ezen igények alkalmazásról alkalmazásra eltérhetnek, a legfontosabbak követelmények azonban azonosak. A fejlesztések eredménye olyan hosszú élettartamú, javított fényhasznosítású lámpacsaládok létrehozása kell legyen, melyek nemcsak nélkülözhetetlenek a jelenlegi piaci pozíciók megtartásához, hanem joggal várható a világpiaci részesedés növelése is a részben, vagy teljes egészében Magyarországon gyártott termékek esetében. (A fejezetben említett fénytechnikai mennyiségek bemutatása és kifejtése a 2. fejezetben található.) Figyelembe kell venni az energiatermelés környezetkárosító hatásait is. A növelt fényhasznosítású lámpa adott megvilágítás

eléréséhez kevesebb villamos energiát használ, s ily módon környezetbarát is. A környezetbarát jelleget erősíti a káros anyagokat (pl. higanyt, ólmot) nem tartalmazó, a vonatkozó európai direktíváknak megfelelő termékek kifejlesztése is. Nem szabad természetesen megfeledkeznünk a lámpára és lámpatestekre vonatkozó szabványok (geometriai, elektromos, termikus, stb.) teljesítéséről sem. A hosszabb élettartamú, megbízható, minimális számú korai meghibásodással rendelkező fényforrások pedig nemcsak a közvilágításban egyre inkább elterjedő csoportos csere miatt fontosak, hanem a lámpák életciklusának meghosszabbítása kevesebb időegységre eső visszaforgatandó hulladékkal, így kisebb környezetterheléssel jár. A fényhasznosítással és a megbízhatósággal egyenértékű követelmény, hogy jól és biztonságban érezzük magunkat a környezetünkben, a közvilágítás esetében például a megvilágított úton vagy utcán. A fényforrás spektruma, a környezet minél szebb megvilágítása esztétikai szempontok mellett a közlekedésbiztonságra is jelentős hatással van: a gépkocsiban utazó számára jó látást és gyors akadály-felismerést látszik biztosítani a reakcióidő minimumára optimalizált láthatósági görbe [Schanda 1996]. Emellett az idézett publikáció a szokásos nappali (fotopos) fénysűrűség mellett az úgynevezett szürkületi (mezopos) látáshoz jobban illeszkedő fényáramszámítási módszerek fontosságára és az ehhez köthető energiamegtakarításra hívja fel a figyelmet, mely követelményt a fényforrás tervezésekor – figyelembe véve a lámpa felhasználási területeit – szintén számításba kell venni. Más alkalmazásoknál az adott igényeknek megfelelően módosítjuk a lámpa spektrumát. Növényházi felhasználásnál például a minél több és szebb virág vagy zöldség termesztése, míg kirakatvilágításnál a vásárló figyelmének felkeltése és az értékesíteni kívánt termék kiemelése, vonzóvá tétele a cél. Végül, de korántsem utolsó sorban gondolnunk kell a termék előállítási költségére is, hiszen –egy kiélezett piaci helyzet esetén – a vásárló egyik fő szempontja a kezdeti költség, azaz a termék vételára lesz.

Nem könnyű megfelelni az előzőekben bemutatott szerteágazó és gyakran egymásnak ellentmondó követelményrendszernek. A fenti igényeket kielégítő termékfejlesztési tevékenység elképzelhetetlen magas színvonalú alap és alkalmazott kutatási háttér nélkül. A fejlesztési tevékenység során a legújabb anyagtudományi kutatásokra, anyagvizsgálati módszerekre, analitikai technikákra és modellezési eljárásokra kell támaszkodnunk. Különösen igaz ez egy olyan éles piaci

versenyhelyzetben működő iparágra, mint a fényforrásgyártás, hiszen versenytársaink is hasonló erőfeszítéseket tesznek termékpalettájuk tökéletesítésére, illetve új termékcsaládok kifejlesztésére. A jelen dolgozatban ismertetett munka is a konkrét termékfejlesztési tevékenység során felmerült problémák megoldásához végzett alkalmazott kutatási eredményeket ismerteti.

A lámpák élettartamának növeléséhez a meghibásodás okainak feltárása, az odavezető folyamatok megismerése, és ezek alapján a termékfejlesztés optimalizálása a kiemelt feladat. A dolgozatban a taglalt nagyintenzitású kisülőlámpák meghibásodásának okai közt az egyik leggyakoribb a később résztesen ismertetésre kerülő kerámia égőtest és a fém árambevezető közötti kötés lyukadása. Ez a kötés egy speciális összetételű fémoxid keverék megolvadása és megszilárdulása révén jön létre. A megszilárdulás folyamán különböző fázisok alakulnak ki az ipari gyakorlatban "zománc"-nak nevezett kerámiaanyagban. A kilyukadás folyamatát közvetlenül megfigyelni lehetetlen, okaira a hiba bekövetkezése után végzett anyagvizsgálatból következtethetünk. A feladat nem egyszerű, mert szinte minden feltárt hiba más. Olyan egyedi, véletlenszerűen fellépő eseményt kell tehát vizsgálni, amit nagyon sok külső-belső körülmény együttes hatása befolyásolhat. Ezek közül kell megkeresni a dominánsakat. A munka indulásakor feltételeztük, hogy a zománc kilyukadásában döntő szerepe lehet az anyagban lévő mikrorepedéseknek. E mikrorepedések akár már a zománc megszilárdulása során képződhetnek, vagy a lámpa üzemelése során keletkeznek. A repedések kialakulása és a már kialakult repedések kiterjedése az anyagban ébredő lokális húzófeszültségek eredménye. Ilyen feszültségek forrása a lámpában tipikusan a hőtágulás. A makroszkopikus hőtágulás a zománc inhomogén mikroszerkezete miatt igen különböző lokális feszültségértékeket eredményezhet. A problémát tovább nehezíti, hogy a bonyolult összetételű többfázisú zománc mikroszerkezete a lámpa üzemelése is során változhat. Ez a változás a lokális feszültségeket is változtathatja.

A zománc lyukadásához vezető hatások, mikrofolyamatok vizsgálata fontos feladat a lámpafejlesztés szempontjából, de általános anyagtudományi szempontból is érdekes. Doktori munkám során döntően ez utóbbi megközelítésre koncentráltam.

A munka fontos része a problémához illeszkedő vizsgálati módszerek megtalálása és egyéni alkalmazása, továbbfejlesztése. A zománc lyukadásának bonyolult problémája

ugyanis speciális módszereket kíván, mivel a vizsgálandó zománc vastagsága a kerámia égőtest és az árambevezető fém közt tipikusan 80-100 mikrométer, és anyagösszetételében, tulajdonságaiban ezen a kis területen is nagy változékonyságot mutat. A minták ilyen speciális volta miatt a fizikai anyagvizsgálat klasszikus mérési módszerei (például röntgendiffrakció, kalorimetria, dilatomeria, a törésmechanikában használatos három-, vagy négypontos hajlító vizsgálatok) nem alkalmazhatóak. Az alkalmazandó módszer kifejlesztésének részéül tűztük ki, hogy teszteljük egy, a lámpa beforrasztásánál lényegesen egyszerűbb, legalább síkban homogén rendszerben is.

A mechanikai tulajdonságok mellett figyelmet kell szentelnünk a működés során a beforrasztásban lezajlódó kémiai reakciókra, a fém árambevezető és a zománc anyaga között létrejövő kötésekre is, illetve érdemes megvizsgálni a zománc fénytartásra vonatkozó aspektusait is.

A kitűzött cél tehát kettős: termékfejlesztés és hozzá kapcsolódó, azt támogató alkalmazott kutatás. Az említettek alapján a dolgozat felépítése a következő: a 2. fejezetben részletesen ismertetem a nagyintenzitású kisülőlámpák felépítését és alkalmazási területeit, valamint betekintést nyújtok a többi lámpacsaláddal való összehasonlításukba. A konstrukció elemeinek ismertetése során röviden bemutatjuk az adott elemhez kötődő aktuális kutatási témákat is. A 3. fejezet mutatja be a feszültségek vizsgálatához kifejlesztett módszert, a repedésstatisztika módszerét és alkalmazását homogén mintába történő irányított feszültségbevitel esetén. A 4. fejezet ismerteti a beforrasztások szerkezetét a nagyintenzitású kisülőlámpákban és bemutatja ezek mechanikai tulajdonságait, illetve ezek változását a lámpa használata során. A beforrasztásnak a lámpa megbízhatóságára és fénytartására vonatkozó egyéb hatásaival a foglalkozik az 5. fejezet. A beforrasztásban létrejövő kötésállapotokat, illetve a zománcanyag párolgását vizsgáljuk. A 6. fejezet pedig a munka legfontosabb részét, egy konkrét termékfejlesztést: a növényházi alkalmazásra kifejlesztett PSL márkanevű termékcsalád fejlesztését és eredményeit mutatja be.