

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

Majdnem gömbsugárzó másodlagos optika

tervezése LED fényforráshoz



Czigány Márton [HCPADV] Ipari konzulens: Dr. G. Szabó István Tanszéki konzulens: Dr. Nagy Balázs Vince

2010

NYILATKOZAT

Alulírott Czigány Márton a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a szakdolgozatban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen a forrás megadásával megjelöltem.

Czigány Márton

TARTALOMJEGYZÉK

<u>1</u> BEVEZETÉS	7
2 LED TÍPUSOK, PIACKUTATÁS	8
2.1 POWER LED-EK	8
2.2 VAKU LED-EK	13
2.3 A JÁRMŰIPAR SZÁMÁRA FEJLESZTETT LED-EK	14
2.4 STANDARD POWER SMD LED-EK	15
2.5 LED LÁMPÁK	18
2.6 INFRAVÖRÖS SUGÁRZÓK	18
3 INFRA LED VÁLASZTÁS	19
4 <u>A PIACON FELLELHETŐ, MÁSODLAGOS LED OPTIKÁK</u>	21
4.1 Reflektorok	21
4.2 REFRAKTOROK	22
4.3 TELJES BELSŐ VISSZAVERŐDÉSEN (TIR) ALAPULÓ OPTIKÁK	24
4.4 SPECIÁLIS OPTIKÁK	25
5 <u>A MÁSODLAGOS OPTIKA TERVEZÉSE</u>	29
5.1 AZ OPTIKAI TERVEZŐ ESZKÖZTÁRA	29
5.1.1 ANYAGVÁLASZTÁS	29
5.1.2 GEOMETRIA ÉS FELÜLETEK	29
5.2 SZÁMÍTÓGÉPPEL SEGÍTETT OPTIKAI TERVEZÉS	30
5.3 A SUGÁRFORRÁS MODELLJE	30
5.4 A VIRTUÁLIS KÖRNYEZET, DETEKTOROK ELRENDEZÉSE	31
5.4.1 SPEKTRÁLIS ELOSZLÁS	34
5.5 TERVEZÉS MENETE	34
5.5.1 ELSO KISERLET	34
5.5.2 MASODIK KISERLET	36
5.5.3 HARMADIK KISERLET	37
5.5.4 NEGYEDIK KISERLET	38
5.5.5 UTODIK KISERLET	40
5.5.6 HATODIK KISERLET	41
5.5.7 HETEDIK KISERLET	44
5.5.8 INYOLCADIK KISERLET	46
5.5.9 KILENCEDIK KISERLET	48
5.5.10 TIZEDIK KISERLET	50
5.5.11 ALTERNATIV MEGULDASUK	51
5.0 EREDMENYEK	51
<u>6</u> <u>DISZKUSSZIÓ ÉS A TOVÁBBFEJLESZTÉS LEHETŐSÉGEI</u>	53

54
56
58
59
59 59

1 Bevezetés

"Majdnem gömbsugárzó műanyag optika tervezése LED fényforráshoz"

Szakdolgozatom célja egy olyan infra tartományban sugárzó, dióda alapú rendszer létrehozása, amely egyenletesen szórt sugárzást biztosít a teljes 4π térszögben. Ez azért jelent nagy kihívást, mert az ismert infravörös jeladók, legtöbbje a térben egy meghatározott egyenes szakaszon keresztül juttatja a jelet. A feladatom alapvetően egy piaci igény kielégítésére irányul, mindemellett tanulságos lehet a fény- és világítástechnika iránt érdeklődőknek is. Napjainkban ugyanis ezekben a témákban kutakodva lépten-nyomon LEDes technológiákkal találkozunk, amelyek hétköznapi elterjedését – áruk mellett – a hagyományos izzólámpák kiváltásának nehézségei is korlátozzák. A LED-ek térbeli sugárzási karakterisztikájainak általában jellemző iránya, irányai vannak. Ez a halogén, és hagyományos izzóknál nem minden esetben igaz: példa erre a lámpakörte. Érdekes kérdés lehet tehát, hogy milyen módon, milyen áron vagyunk képesek ezt a pontszerűséget előállítani egy dióda alapú fényforrásból.

A tervezési feladat egy konkrét számítástechnikai eszköz tartozékának, egy háromdimenziós mozgást digitalizáló "egér" jeladójának digitális optikai modellel megalapozott tervezése. Egy 5mm átmérőjű rúd végén elhelyezett 850nm hullámhosszon sugárzó infra LED sugárzását kell úgy szétoszlatni, hogy a rúd kivételével a teljes térszögben a sugárerősség állandó legyen.

Több lényeges kritériumot kell teljesítenie a megtervezett rendszernek, ezek a következők:

- Spektrális eloszlásának csúcsa 850nm-en kell, legyen
- Nagysorozatban olcsón gyártható legyen az optika, fröccsöntéssel
- Az optika legnagyobb átmérője a tartórúdéval megegyezik, azaz 5mm
- Lehetőleg a veszteségek mértéke minimális legyen
- Előnyös, ha az optika terve moduláris, azaz könnyen újratervezhető más LED-re is

2 LED típusok, piackutatás

Habár a tervezendő eszköz a közeli infravörös tartományban sugároz, érdemes megismerkednünk a látható fényt kibocsátó diódákkal is, ugyanis szinte kizárólag ezekhez állnak rendelkezésre szériagyártott, megvásárolható optikák. Az infra sugárzók is általában ezeknek a termékcsaládoknak a tagjai, még, ha egyes gyártók (pl.: Osram) katalógusaiban külön is kezelik őket. A további munka érdekében, és segítségül a 850nm-es sugárzó kiválasztásához, a piacon fellelhető nagyobb gyártók forgalmazott dióda alapú sugárzóit gyűjtöttem össze. Figyelembe vettem az egyes sugárzók hullámhosszait, vagy színeit, méreteit, sugárzási szögeit. A tervezés szempontjából fontos volt még, hogy az adott gyártó támogatja-e a másodlagos optika fejlesztését, a dióda sugárzási fájljával (elsősorban ZEMAXhoz), geometriai modellel (IGS STEP).

Manapság a LED ipar felfelé ívelő pályán tartózkodik, ezzel összefüggésben a fénykibocsátó diódákat előállító vállalatok száma igen nagy. Megemlíthető itt például a Kingbright, Seul Semiconductors, Sharp, GE, Toshiba, Luminus, Nichia, Panasonic, American Bright, de a lista, főleg a távol keleti gyártóknak köszönhetően hosszan folytatható volna. Ezek közül három cég dióda sugárzóit vizsgáltam, melyek kínálata véleményem szerint lefedi a piacon található LED típusok nagy többségét. A vállalatok: Cree [1], OSRAM Opto Semiconductors [2] és Philips Lumileds [3].

Habár a LED-ek alakjának kialakítására még nem jöttek létre nemzetközileg elfogadott szabványok, az egyes gyártók portfóliói nagyon hasonlítanak egymásra. A kategorizálás általában a felhasználás alapján történik.

A sugárzási szögek a sugárzási görbe félértékszélességeként értendők most, és a továbbiakban is.

2.1 Power LED-ek

A legfelkapottabb piaci szegmens a nagy teljesítményű, általános világítástechnikai célokra tervezett LED-eké. Itt a nyilvánosság előtt folyik nagy versengés, hogy éppen ki tudja előállítani a legnagyobb, fényerőt, hőtűrést, fényhatásfokot, legkisebb méretet.

8

LUXEON Rebel White, Color

A power LED-ek kategóriáját a LUMILEDS Luxeon I elnevezésű fényforrása alkotta meg. Ezután gyártottak még II, III és V, majd K2 jelzésű LED-eket, ám ezek fejlesztése mára leállt, utódjuk a Rebel fantázianevű sugárzó. A fényminőség és a fényáram optimális kombinációját adja. A gyártó boltok, lakások, hotelek, irodák, külső terek általános megvilágítására ajánlja.

- 100lm/W fényhatásfok
- Akár 105lm fényáram 350mA árammal meghajtva
- Piacvezető hőkarakterisztika
- Kiemelkedő színvisszaadás (akár CRI 90)
- Nagyon kis méretű fényforrás
- Többféle fehér szín, köztük ANSI szabványnak megfelelők
- Kapható színek: 520nm zöld,490nm ciánkék, 460nm kék, 440nm királykék, 620.4nm vörös, 613.5nm narancsvörös és 587.8nm borostyán
- Optikai támogatottság: LightTools, ASAP, ProSource, SPEOS, ZEMAX, LucidShape, TracePro, ASCII

LUXEON c

Leginkább hűtőkbe, fagyasztókba, mosó- és mosogatógépekbe ajánlja a cég ezt a típust, valamint a hordozható berendezésekben előforduló 10, 40W-os izzók helyettesítésére. Előnye a kis mérete 2.04 x 1.64 x 0.7 mm

- Tipikus fényhasznosítása 82lm/W, és 85lm fényáramot szolgáltat a névleges 350mA árammal meghajtva.
- Maximális meghajtó áram: 500mA
- 5000-6500K korrelált színhőmérsékletű fehér színnel kapható
- A kis méretű rendszer nincs betokozva, ez megkönnyíti az 2. ábra LUXEON c optikai dizájnt
- Lambert-sugárzó
- Optikai támogatottság: LightTools, ASAP, ProSource, ZEMAX, ASCII



1. ábra LUXEON Rebel Phosphor Converted Amber



XLamp XR-C

A Cree belépőszintű "Power LED"-je. Flexibilis alkalmazhatóság, alacsony hőellenállás. Hordozható eszközökbe, belső és kültéri világítási megoldásokhoz ajánlják.

- Látószöge: 90°(fehér), 100°(színes)
- Elérhető színek: hideg fehér, semleges fehér, meleg fehér, királykék, kék, zöld, borostyán, narancsvörös, vörös.
- Akár 93.9lm @ 350mA
- Mérete: 7mm x 9mm
- Optikai támogatottság: ProSource, IES

XLamp XR-E

Napjaink egyik legismertebb nagy fényerejű LED-je. Kimagasló fényesség, fényhatásfok, és fényminőség jellemzi.

- 107lm @ 350mA (hidegfehérben)
- Látószöge: 90°(fehér), 100°(színes)
- Elérhető színek: hideg fehér, semleges fehér, meleg fehér, királykék, kék, zöld,
- Mérete: 7mm x 9mm
- Optikai támogatottság: ProSource, IES

XLamp XP-C

Ez a fényforrás az XR-E kedvező tulajdonságait nyújtja egy jóval kisebb szimmetrikus kialakításban, bár legjobb minimális fényárama 350mA árammal hajtva az említett sugárzóénál kisebb, "csak" 100lm. A gyártó hordozható eszközökbe, háttérvilágításokhoz ajánlja.

- A hőelvezetés elektromosan elszigetelt a diódától.
- Mérete: 3.45mm x 3.45mm
- Látószöge: 115°(fehér), 125°(színes)
- Elérhető színek: hideg fehér, semleges fehér, meleg fehér, királykék, kék, zöld, borostyán, narancsvörös, vörös
- Optikai támogatottság: ProSource, IES







3. ábra XLamp XR-C, (XR-E)

XLamp XP-E

Az XP-C nagyobb fényerejű testvére, akár 122lm minimális fényárammal 350mA-rel meghajtva. Megfelelő lehet például LED-es lámpakörtékbe, építészeti megoldásokhoz, stúdió, színpad, és általános világításokhoz.

- Mérete: 3.45mm x 3.45mm
- Látószöge: 115°(fehér), 130°(színes)
- Elérhető színek: hideg fehér, kültéri fehér, semleges fehér, meleg fehér, királykék, kék, zöld, borostyán, narancsvörös, vörös.
- Optikai támogatottság: ProSource, IES

XLamp XP-G

Az XP család legnagyobb teljesítményű tagja. 1.5A árammal hajtva 493lm fényáramot produkál (hidegfehér színben) 92lm/W fényhasznosítással. Ugyanez a LED 350mA-on 139lm-t szolgáltat.

- Mérete: 3.45mm x 3.45mm
- Látószöge: 125°
- Elérhető színek: hideg fehér, kültéri fehér, semleges fehér, meleg fehér
- Optikai támogatottság: ProSource, IES

XLamp MP-L EasyWhite

A hagyományos fényforrások helyettesítésére alkották ezt a LED-et, amely ennek megfelelő teljesítményt, színkonzisztenciát és fénysűrűséget nyújt. Újdonságnak számít a kiszerelés 12mm x 13mm-es mérete. Alkalmas olyan problémák

megoldására, amelyeket eddig csak több LED felhasználásával oldhattunk meg. Például lakóépületek általános világítása.

- Maximális fényárama 1500lm 250mA árammal hajtva
- Látószöge: 125°
- Színe "EasyWhite" CCT: 2700K, 3000K
- Optikai támogatottság: ProSource



5. ábra XLamp XP-E









7. ábra XLamp MP-L EasyWhite

XLamp MX-6

Tipikusan beltéri világítások megoldására született ez a fényforrás, ennek megfelelő színkonzisztenciával. Alacsony feszültségen üzemelve is nagy fényáramot produkál, így könnyen kihasználható a jó fényhatásfoka.

- 122lm @ 35mA
- Mérete: 6.5mm x 5mm
- Látószöge: 120°
- Elérhető színek: hideg fehér, meleg fehér
- Optikai támogatottság: ProSource, IES

XLamp MC-E

Multi-chip LED azaz 4 chipet tartalmaz, amelyek egyenként címezhetők, kapható csak fehér, és RGB plusz fehér színekben.

- 4 fehér chippel gyártva: akár 430lm @350mA
- Mérete: 7mm x 9mm
- Látószöge: 110°
- Elérhető színek: hideg fehér, semleges fehér, meleg fehér, "EasyWhite"
- Optikai támogatottság: ProSource, IES

OSRAM OSLON

Az Osram kis méretű, nagy teljesítményű "power LED"-je. Háttérvilágításokba (pl. TFT, reklámtáblák), jelzőfényekhez kínálják.

- Fényhasznosítás maximum 921m/W
- Sugárzási szög: 125°
- Színe: CIE 1931 (fehér)
- Mérete: 3.1mm x 3.1mm
- Optikai támogatottság: Eulumdat, IES, ASCII, LightTools, LucidShape, Photopia, ASAP, SPEOS, ZEMAX



8. ábra Xlamp MX-6



9. ábra XLamp MC-E



10. ábraOSLON LUW CNAP

OSRAM DRAGON

Az OSRAM DRAGON név alatt igen széles termékskálát találunk, én kiragadtam a Golden DRAGON Plus típust és ennek adatait közlöm:

- Maximális fényhasznosítás 1421m/W @ 100mA
- Fényárama: 116lm @ 350mA 273lm @1000mA
- Sugárzási szöge 170°
- Optikai támogatottság: Eulumdat, IES, ASCII, LightTools, LucidShape, Photopia, ASAP, SPEOS, ZEMAX

2.2 Vaku LED-ek

Kifejezetten mobiltelefonokhoz, digitális fényképezőgépekhez és kamerákhoz fejlesztett LED-ek. amelyek egy síkot világítanak meg egyenletesen az elsődleges optika segítségével, vagy egy hozzá rendelhető sík fresnel optikával.

LUXEON Flash



11. ábra Golden DRAGON Plus



12. ábra LUXEON Flash 6

Hatékony világítást adnak, akár alacsony megvilágítottságú környezetben is. Megfelelő 5+megapixeles eszközökhöz is.

- Tipikus fényáram: 2051m @ 1A 5500K CCT, vagy 551m @ 500mA 6500CCT
- Optikai támogatottság: nincs

OSRAM CERAMOS

Kerámia kialakítású LED szilikongyanta ablakkal.

- Színe: CIE 1931 (fehér) (5600K)
- Lambert-sugárzó (120°)
- Mérete: 0.8mm x 1.8mm
- Tipikus fényhasznosítás 35lm/W
- Optikai támogatottság: Eulumdat, IES, ASCII, LightTools, LucidShape, Photopia, ASAP, SPEOS, ZEMAX



13. ábra CERAMOS LUW C9SM

OSRAM OSLUX

Ez a termék téglalap alakú sugárzási görbéjével egyenletes megvilágítottságot nyújt a célterületen.

- Látószöge: 56° x 46°
- Színe: CIE 1931 (fehér) (6500K)
- Legfeljebb 280lm @ 900mA.
- 33ms-nál kevesebb ideig meghajtható 2A-ral is.
- Optikai támogatottság: Eulumdat, IES, ASCII, • LightTools, LucidShape, Photopia, ASAP, SPEOS, ZEMAX

2.3 A járműipar számára fejlesztett LED-ek

LUXEON Rebel Automotive

A járművekben például DRL (Daytime Running Light), belső világítás, tolatólámpa, helyzetjelző lámpa alkalmazásokhoz tervezett fényforrások. A Rebel White, és Color termékeknél felsorolt paramétereken kívül kielégíti az autóipari előírásokat (SAE ECE PPAP).

• Színek: 620.5nm narancsvörös, 592nm vörös és autóipari fehér 3800K-6800K CCT



14. ábra OSLUX LUW FQ6N



15. ábra LUXEON Rebel Automotive

Optikai támogatottság: LightTools, ASAP, ProSource, SPEOS, LucidShape, ZEMAX

LUXEON Altilon

Gépjárművek fényszóróihoz tervezett nagy teljesítményű LED-ek.

- 850lm @ 1A •
- Magas hőmérsékletnek is ellenállnak max. 130°C
- Optikai tervezéshez optimalizáltak
- Elsődleges optika nélkül gyártottak
- Könnyű szerelhetőségre csavarkötéssel
- Színük megfelel a SAE, és ECE előírásoknak •
- Lambert sugárzónak tekinthetők ٠



16. ábra LUXEON Altilon

• Optikai támogatottság: LightTools, ASAP, ProSource, SPEOS

OSTAR Headlamp

Ez a sugárzó is kifejezetten autófényszóró alkalmazásokhoz tervezett (tompított fényszóró, fényszóró, ködlámpa). Egyenletes fehér fényt sugároz a legmagasabb fényességi szintjén is (ECE/SAE konform).

- Nincs elsődleges optika.
- Csavarkötéssel rögzíthető
- Látószöge: 120°
- Akár 224lm @ 700mA
- Fénysűrűsége: $4 \cdot 10^7 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$



17. ábra OSTAR Headlamp

• Optikai támogatottság: LightTools, ASAP, ProSource, SPEOS

2.4 Standard Power SMD LED-ek

Az SMT, vagy SMD (surface mounted technology/device) sugárzók egyes típusait az OSRAM Semiconductors katalógusából gyűjtöttem össze. Természetesen a nagy fényerejű LED-ek nagy része is SMT, itt viszont az általános teljesítményűeket mutatom be.

Színek, hullámhosszok, és tipikus fényhatásfokok az OSRAM standard power LED-jei között (a legtöbb típus ezekben a színekben kapható):

- borostyán-615nm-24lm/W, 617nm-85lm/W
- narancssárga-605nm-11lm/W, 606nm-85lm/W
- vörös (hyper-red)-645nm-3lm/W
- vörös (super-red)-628nm-2lm/W, 630nm-5lm/W, 633nm-47lm/W
- vörös (red)-625nm-68lm/W
- citromsárga-587nm-60lm/W 590nm-57lm/W
- zöld (green)-570nm-5lm/W
- zöld (pure green)-560nm-2lm/W
- zöld (true-green)-532nm-8lm/W, 528nm-13lm/W
- zöld (verde)-505nm-10lm/W
- kék-465nm-11m/W, 471nm-21m/W, 470nm-31m/W

 fehér-5600K-CRI:80-6lm/W, 7300K-CRI:80-2lm/W, 6500K-50lm/W 5600K-CRI:80-22,50lm/W

A cég szinte minden sugárzóját támogatja optikai sugárfájlal a következő tervezőszoftverekhez: Eulumdat, IES, ASCII, LightTools, LucidShape, Photopia, ASAP, SPEOS, ZEMAX

TOPLED





19. ábra OSRAM TOPLED lencsével

18. ábra OSRAM TOPLED

Az eszköz széles sugárzási szöge ideális háttérvilágításokhoz, és a fény hullámvezetőbe csatolásához.

- Sugárzási szög: 120° (Lambert sugárzó), vagy 60° (lencsével gyártott)
- Méret:3x3.4x2.1 mm optika nélkül, 3x3.4x3.5mm optikával gyártva

Mini TOPLED



20. ábra OSRAM Mini TOPLED

Hasonló kialakítású LED-ek mint a TOPLED család tagjai, azonban méretük jelentősen kisebb.

- Méret: 2.3x1.3x1.4 mm
- Sugárzási szög: 120°, (Lambert-sugárzó)

PointLED



21. ábra OSRAM PointLED

- Méret:3.5x1.9x0.875mm
- Sugárzási szög: 120°, (Lambert-sugárzó)

SmartLED



22. ábra OSRAM SmartLED

• Méret: 1.7x0.8x0.65mm



23. ábra OSRAM SmartLED diffúz anyagból

Sugárzási szög: 160°, vagy diffúz anyagból gyártva: horizontális irányban 170°, vertikális irányban 130°

CHIPLED





25. ábra OSRAM CHIPLED lencsével

- Méret: 3.2x1.6x1.8mm
- Sugárzási szög: 160° lencsével gyártva 20°

2.5 LED lámpák

A hagyományos 3mm, 4mm, vagy 5mm átmérőjű két "lábú" furatban szerelhető diódák. Alkalmazásuk általában jelzőfényként, reklámtáblák pixeleiként, LCD háttérvilágításoknál történik.

Cree 3mm Round

- Kapható 25°-os, 35°-os és 65°-os sugárzási szöggel. Többféle fehér színben
- Optikai támogatottság: nincs

Cree 5mm Round

- Vörös, zöld, kék, borostyán, fehér színek.
- Sugárzási szög: 15°, 23°, 25°, 30°, 55°, 110°
- Optikai támogatottság: nincs

Cree 4mm Oval

- Színes kijelzőkhöz alkalmazhatók.
- Vörös, zöld, kék színekben.
- Sugárzási szög:100° x 45°, 105° x 45°
- Optikai támogatottság: nincs

Cree 5mm Oval

- Sugárzási szög:110° x 50°, 100° x 35°, 65° x 35°
- Vörös, zöld, kék és borostyán színekben.
- Optikai támogatottság: nincs

2.6 Infravörös sugárzók

Az OSRAM OS katalógusában megtalálhatóak infra LED-ek. 850nm-en sugárzók szinte minden típusban kaphatóak (SMT TOPLED, DRAGON, 3mm, 5mm, OSTAR). 950nm-es csúcsintenzitással, valamivel kisebb kínálatban érhetők el (például 3mm-es nem). 880nm, és 950 nm sugárzással, "power LED" csomagban nem érhetők el, de a közepes teljesítményű kivitelekben igen.

3 Infra LED választás

A sugárzó kiválasztásakor figyelembe kellett venni a legfontosabb paramétereket, amelyek a következők:

- Kis méret: Alapvetően egyik kapható IR sugárzó sem sugároz a fő irányához képest visszafelé, ezért a választott fényforrásnak teljesítenie kell azt a kritériumot, hogy a tengelyére merőleges síkon a legnagyobb mérete kisebb a kiírásban meghatározott 5mm-es átmérőnél (ha nagyobb lenne, nem tudnánk visszafelé vezetni a sugarakat).
- Meghatározott hullámhossz: A rendszernek 850nm hullámhosszon kell sugároznia, ugyanis a végleges alkalmazásban ezt a sugárzást kamerákkal észlelik, amelyeknek érzékenységi görbéje ezen a hullámhosszon éri el maximumát.
- Optikai modell: Olyan sugárzót célszerű választani, amelyhez könnyen elérhető az optikai modell, azaz egy, vagy több ZEMAX sugárzási fájl, általában 100.000, 500.000, 1.000.000, vagy 5.000.000 kibocsájtott sugár adataival. Azok a gyártók, akik ezeket mellékelik, általában elérhetővé teszik a forrás geometriai modelljét is igs, step formátumokban.

A sugárzó teljesítményére, és maximális frekvenciájára a feladat kiírója nem állított kritériumot, mivel a piacon kapható infra LED-ek ezen szempontokból minden bizonnyal felülmúlják az igényeket.

A megmaradt lehetőségek közül érdemes olyan sugárzót választani, amelynek geometriája egyszerű, lehetőleg forgástest, hogy a tervezendő optika is forgásszimmetrikus lehessen legalább részben. Előnyös, ha könnyen rögzíthető a tartókonzolhoz.

Infra sugárzókat például az OSRAM Opto Semiconductors cég katalógusában szinte minden az előző fejezetben bemutatott kivitelben (*SideLED, TOPLED, Golden Dragon*, átm. 3mm, 5mm...) találunk. Majd ugyanilyen kínálatot adódik, ha a 850nm-es sugárzót keresünk. Azzal a kitétellel, hogy a megadott hullámhosszúságon legtöbbször nem a sugárzási karakterisztika csúcsa, hanem annak súlypontja helyezkedik el.

A legtöbb SMD sugárzó, és az átm. 5mm-es LED áthágja a méretkritériumot. Ezzel szemben a 3mm átmérőjű furatszerelhető LED-ek geometriai paraméterei tökéletesek a feladat szempontjából. A lábak kialakítása könnyű rögzítést tesz lehetővé a konzolban, valamint ez a sugárzó a belső felépítést, és a katód oldalán található sík felületet kivéve forgásszimmetrikus. Ezek miatt az erősségek miatt az **OSRAM SFH 4350** típusú sugárzóját (ld.: 1. melléklet) választottam. A sugárzási félértékszélessége 26°.



A LED-hez letölthető optikai modellezést támogató fájlcsomag (ZEMAX szoftverhez) tartalmaz:

- 100.000, 500.000 és 5.000.000 sugár adatait tartalmazó dat fájlokat
- Geometriai modellt igs, sldprt és step formátumban
- A modellek használatát leíró pdf fájlt (2. melléklet)
- Egy példa összeállítást (zmx)



27. ábra SFH 4350 ZEMAX modellje

4 A piacon fellelhető, másodlagos LED optikák

Munkám során szükséges volt egy piackutatást végeznem a kapható polimer előtét optikák terén, egyrészt, ha a szakdolgozat kiírásomnak megfelelőt találtam volna, akkor új feladat után kellett volna néznem, másrészt a témakör szakirodalomban hiányos volta miatt, a létező megoldásokból merített ötletek fontossága megkérdőjelezhetetlen.

Másodlagos optikára akkor van szükség, ha a LED sugárzási karakterisztikáját egy gyakorlati feladat (pl. általános világítás) jobb megoldása érdekében módosítani szeretnénk.

Mivel a dióda alapú sugárzók alaki paraméterei nem egységesek, a rájuk épülő optikák is típusonként, esetleg típuscsoportonként (XLamp XR-E, Luxeon Rebel) egyediek.

A másodlagos optikák fejlesztése szinte kizárólag a világítástechnikai célokat szolgáló nagy teljesítményű LED-ekhez történik. Ezeknek a sugárzóknak a tervezésekor már figyelembe vették, a másodlagos optika fejlesztésének és rögzítésének szempontjait (pl. Luxeon Star, vagy az autóipari LED-ek). A járműipar számára fejlesztett sugárzók nyújtják általában a legjobb alapot az optika tervezéséhez, a rájuk fejlesztett eszközök (pl. egyedi autólámpák) viszont érthető módon nem állnak az egyéni vevők rendelkezésére, így online katalógusokban sem találhatók meg.

A jelentősebb műanyag LED optikát gyártó cégek: Carclo, Khatod, Ledil. Mindhárom cég a legjobban elterjedt nagy teljesítményű LED-ekhez gyárt műanyag optikákat.

Általános világítási célokra tervezett LED-es megoldásoknál a másodlagos optika választását elsősorban az elérni kívánt sugárnyaláb fokokban megadott szélessége határozza meg, természetesen az adott LED típusa mellett [4].



28. ábra Khatod KCLP1278CR

4.1 Reflektorok

Viszonylag széles, legfeljebb 80°-os félértékszélességű sugárzás előállításához optimális megoldás egy reflektor (29. ábra). A reflektor vesztesége alacsony, valamint viszonylag éles határvonallal rendelkező nyalábot ad.



29. ábra: Reflektor elvi vázlata

A reflektorok általában polikarbonátból készülnek, alumínium és védőrétegekkel bevonva.

A forgástest alakú reflektorok gyakoribbak, ám léteznek kivételek is, mint például az Xlamp MC-E-hez kínált Khatod KCLP1278CR (28. ábra), melynek mérete 16mm x 16mm x 10.5mm, a sugárnyaláb vertikális és horizontális látószöge 65°x65°

4.2 Refraktorok

A másodlagos optikában fénytörés megy végbe, egy fénysugáron két alkalommal, amennyiben az optika egy darabból áll.

Ilyen, hagyományos lencsékre emlékeztetnek a Carclo "bubble", azaz buborék optikái [5]. Ilyen jellegű termékek más gyártók katalógusaiban még nem találhatók meg. Törő felületeik általában aszférikusak, amelynek megvalósítása a számítógépes tervezés, és fröccsöntés alkalmazásával nem jelent problémát.

A következő két optikát a cég olyan alkalmazásokhoz ajánlja, ahol egyenletesen és hatékonyan kell megvilágítani nagy felületeket, például vészvilágításoknál, vagy



30. ábra LUXEON Rebel 120° Ultra Wide Bubble Optic



32. ábra LUXEON Rebel 130° Ultra Wide Bubble Optic



31. ábra 2.5m magasan elhelyezett 120°-os optika alatt a talajon mérhető lux/lm



33. ábra 2.5m magasan elhelyezett 130°-os optika alatt a talajon mérhető lux/lm

parkolóházakban. Két és fél méter magasan a 120°-os buborék optika 8m, a 130°-os pedig 10m átmérőjű felületet világít meg egyenletesen. A buborék optikákat a Luxeon Rebel és XLamp XP-E LED-ekre optimalizálták. Megfigyelhető, hogy a 10°-os eltérést az optika belső, valamilyen magasabb fokú egyenlettel leírható felületének módosításával kapták. A szinte egyenletes karakterisztika nem változott.

Ugyancsak frissen megjelent lencse az úgynevezett "downlight" optika. Az előzőekhez képest itt is a belső felület változott. Megfigyelhetjük, hogy eltűntek az inflexiós pontok (ha két dimenzióban figyeljük a metszetet), valamint a karakterisztikus görbék közti különbség meglepően nagy.





34. ábra LUXEON Rebel Downlight Ultra Wide Bubble Optic

35. ábra 2.5m magasan elhelyezett "downlight" optika alatt a talajon mérhető lux/lm

A 36. ábrán látható, "Hemi-spherical" optika egy féltérben kvázi-egyenletes sugárzást ad



36. ábra LUXEON Rebel Hemi-spherical Ultra Wide Bubble Optic



37. ábra "Hemi-spherical" lencse lux/lm görbéje a kibocsátási szög függvényében

4.3 Teljes belső visszaverődésen (TIR) alapuló optikák

Egyenletes, kisebb félértékszögű (~12-35°) nyaláb előállításához érdemes egyszerű TIR optikát választani. Ezeknek az elülső felülete általában sík, amelynek textúrálásával, vagy mattításával módosítható a sugárzás képe. A legnagyobb kínálatot ebben a kategóriában találjuk.

Léteznek egy, három, négy, hét, kilenc LED-re szerelhető optikák is (például a Khatod cég online katalógusában [6]), ezek azonban felfoghatók szimpla optikák összegeként, tehát a fő szempontunkból nem mutatnak újat.



38. ábra: TIR optika elvi vázlata

A Ledil cég kínálatában találunk moduláris felépítésű TIR optikákat, ahol az egyes altípusok a lencsék különböző paramétereit a sugárzás diszperziójáért, vagy alakjának módosításáért (pl. elliptikussá) felelős textúrák adják. A 39. ábrán látható K2S [7] jelzésűeket a Lumileds K2 típusú LED-re tervezték, és optimalizálták, ám használhatók Luxeon I és III fényforrásokkal is. A különböző felületi struktúrájú lencsék más-más félértékszögű karakterisztikát adnak, ez látható a táblázatban.



39. ábra LEDIL K2S lencsék

NAME	ORDERING CODE	FWHM Angle
K2 SQUARE REAL SPOT*	FA10307_K2S-RS	±4°
K2 SQUARE SMOOTH SPOT*	FA10329_K2S-SS	±6°
K2 SQUARE DIFFUSER	FA10308_K2S-D	±9°
K2 SQUARE MEDIUM	FA10309_K2S-M	±15°
K2 SQUARE OVAL	FA10310_K2S-O	±7° x ±22°
K2 SQUARE OVAL TURNED 90°	4FA11129_K2S-O-90	±7° x ±22°
K2 SQUARE WIDE	FA10323_K2S-W	±19°

1. Táblázat LEDIL K2S lencsék sugárzási szögei

4.4 Speciális optikák

Teljes visszaverődés és fénytörés elvét is használja a Carclo Optics következő, 20mm átmérőjű, polikarbonát optikája, amely a LED fényét (*Luxeon Rebel*, vagy *OSRAM Dragon*) egy 0.5 numerikus apertúra értékű 8-12mm átmérőjű optikai szálkötegbe csatolja.



40. ábra Carclo 20.0mm Fibre TIR

A legjobban koncentrált sugárnyaláb előállításához a Carclo Optics az ún. katadioptrikus reflektor optikát ajánlja, amely a teljes, és tükrös felületekről való visszaverődést kihasználva 3°-os félértékszélességű nyalábot hoz létre.



41. ábra: katadioptrikus reflektor elvi vázlata

Speciálisnak mondható még a LED-es háttérvilágításoknál használt 360°-ban körbe sugárzó optika (side emitter optics). Ez az eszköz alkalmas a dióda sugárzását a szabványos 10mm vastag plexi, vagy polikarbonát lemezbe csatolni.



42. ábra "Side emitter optics" elvi vázlata



43. ábra: Side Emitter, a félértékszélesség divergenciája a forgásszög függvényében

A finn Ledil cég katalógusában található Strada jelzésű optikák kerülhettek volna a TIR csoportba, ám látványos alakjuk miatt itt mutatom be őket. A fénysugarak először a középső prizma hatású részen teljes visszaverődést szenvednek, majd a két szélen, összehúzva kilépnek az optika anyagából, így jön létre az utak megvilágításához jól használható sugárzási karakterisztika.



Ez a PMMA (plexi) optika láthatóan új ötleteket 44. ábra LEDIL Strada-DW-XR

igényelt a tervezőktől. Még érdekesebb a Strada-A-GD jelű elem geometriája.





45. ábra LEDIL Strada-A-GD





47. ábra Strada-A-GD vertikális és horizontális relatív intenzitás görbéje

Itt még kevésbé érezhető, hogy a fénysugarak milyen úton jutnak ki az optikából, most én sem kísérlem meg a magyarázatot. Minden esetre az látszik, hogy ez a fényvezető jó ötleteket és nagy számítási teljesítményt igényelt.



48. ábra Másodlagos optika tervezésének folyamatábrája

5 A másodlagos optika tervezése

5.1 Az optikai tervező eszköztára

Az előző fejezetek alapján számba veszem az eszköztárat, amellyel a másodlagos optika karakterisztikáját teremthetem meg.

5.1.1 Anyagválasztás

A fröccsöntött LED optikák túlnyomó többségének anyaga optikai polikarbonát (PC), vagy optikai polimetil-metakrilát (PMMA).

A PC törésmutatója: $n_{PC} = 1.58$ Abbe-száma: $v_{PC} = 30$. A PC-levegő

határszög: $\alpha_{PCh} = \arcsin \frac{1}{1.58} = 39.27^{\circ}$

A PMMA törésmutatója: $n_{PMMA} = 1.49$ Abbe-száma: $v_{PMMA} = 57.4$ A PMMA-levegő határszög: $\alpha_{PMMAh} = \arcsin \frac{1}{1.49} = 42.16^{\circ}$

A tervezés során először polikarbonát használata indokolt, mivel több tervezési szabadságot ad a magasabb törésmutató, így nagyobb valószínűséggel hozható létre alkalmas geometria. Az elkészült polikarbonát anyagú modellt érdemes optimalizálni PMMA felhasználásával is, hátha megfelelő eredményt kapunk, ugyanis a PMMA anyagköltsége alacsonyabb.

Lehetséges a fenti polimerek adalékolásával létrehozott diffúz anyag használata is, ám ebben az esetben jelentős veszteség lépne fel.

5.1.2 Geometria és felületek

Az első benyomásaim alapján egy kupakszerű műanyag optikát vizionáltam, melyet szoros illesztéssel lehet rögzíteni. A külső és belső felületek textúrálása is jó ötletnek tűnt. A fröccsszerszám osztássíkjára merőleges felületekre felvitt mikrolencsék, esetleg nagyobb szórást biztosító struktúra azonban a fröccsönthetőség feltételeit kérdőjelezhetik, illetve szeghetik meg. Ennek ellenére, ahol lehetőség van rá, szükséges lehet diffúz, vagy mikrolencsés felületek alkalmazására, hiszen ezek segítségével könnyen tudjuk eloszlatni a sugársűrűség gócpontjait.

A teljes visszaverődés jelenségét érzésem szerint mindenképpen fel kell használni a tervezés során, hiszen az *SFH 4350* szinte az összes sugárzását előre adja le, amiből hátrafelé, és oldalra is kell vezetni, emellett a tükrös, vagy féligáteresztő felületek lokális alkalmazása

túlzottan drágává, azaz piacképtelenné tenné a végterméket. Teljesen tükrös (reflektor) jellegű optika alkalmazását viszont kizárom, hiszen ez a rendszer mindig produkálna olyan irányokat, amelyekben az intenzitás zérus.

Természetesen a fénytörés jelensége az optikába be és kilépésnél mindvégig jelen lesz a rendszerben, ezen a téren is nagy lehetőségekre lehet számítani.

5.2 Számítógéppel segített optikai tervezés

Amint a folyamatábrán (48. ábra) látható, a tervezés szorosan összekapcsolódik a modellalkotás és az optimalizáció lépéseivel. A modellezéshez és optimalizáláshoz rendelkezésre állt az Optika Mérnökiroda kft. tulajdonában lévő ZEMAX-EE (version June, 24, 2008.) optikai szoftver. A programnak két fő része van: szekvenciális, és nemszekvenciális amelyek közül utóbbi használata volt elengedhetetlen munkám során. Az optikai szoftver alapvetően két funkciót valósít meg:

- A forrás modelljéből kiinduló sugarakat átvezeti az optikai rendszer modelljén, majd a tetszőlegesen elhelyezett virtuális detektorok adatait teszi elérhetővé. Tehát egy adott rendszer optikai karakterisztikáját térképezhetjük fel ezzel a módszerrel.
- A szoftver másik lényeges képessége, hogy modellezhetjük vele az elérni kívánt eredményeket (hibafüggvény), azaz a megvalósítandó, optimális optikai rendszer eredményezte képet is. Ez után a rendszermodellünkben található változók értékét különböző optimalizációs eljárásokkal úgy módosíthatjuk, hogy a rendszerünk kimenete minél jobban hasonlítson az ideális eredményekre.

5.3 A sugárforrás modellje

A tervezési folyamat működését döntően befolyásolja a sugárforrás modellje. A választott SFH 4350 optikai, és geometriai modellje rendelkezésre áll az OSRAM weblapján. következőkben ezeket А fogom használni néhány módosítással. A modellek elsősorban távoltéri а alkalmazást segítik, az esetlegesen a dióda elsődleges optikájába visszatérő sugarakat hibásan kezelik. Nyilvánvalóan a sugárzó



49. ábra SFH 4350 hibrid modellje

belső felépítését sem tartalmazzák, hiszen ez a gyártó érdekeibe ütközne. Lehetséges a letöltött sugárzási fájl – és nem mellékesen komoly kutatómunka – segítségével felépíteni a LED korrekt belső modelljét is [8] ám ez a feladat egy újabb szakdolgozat témája lehetne, ugyanis ekkor a teljes belső szerkezet ismerete volna szükséges, minden egyes felület tulajdonságaival együtt. Végül egy kompromisszumos megoldásnál maradtam, azaz a megadott sugárzási fájlokat alkalmazom, viszont az elsődleges optika geometriáját saját kezűleg vittem be a rendszerbe, valamint egy nyersen modellezett belső résszel bővítettem azt, mely az anódot és a katódot tartalmazza (felületeiket tükrözőnek modelleztem)

5.4 A virtuális környezet, detektorok elrendezése

Bár erre a munkafolyamat elején még nem jöttem rá, nagyon hasznos a különböző modellezett rendszerek összehasonlítása, és értékelése szempontjából az egységes virtuális környezet. Ez alatt azt értem, hogy a detektor felületek, melyekkel a rendszer kimenete figyelhető, minden lényeges információt képesek legyenek megadni, valamint ne legyenek túl bonyolult, vagy zsúfolt elrendezésben, és ami a legfontosabb, a vizsgált rendszereket megegyező környezetben figyeljük. A következőkben bemutatott megoldás valójában tervezés során végig finomodott, ám a dolgozatba bekerülő adatok, képek megalkotásánál már ebbe a végleges környezetbe helyeztem bele a munkafolyamat során keletkezett modelltípusokat, kísérleteket. Az aktuális ZEMAX verzióban már megtalálható a direkt fényés sugárforrások sugárerősségét a teljes térben vizsgáló polar detector [9], ám a rendelkezésre álló szoftverben ez nincs jelen még. A leggyakrabban használt detector rectangle (téglalap alakú érzékelő) viszont alkalmas sugárerősség adatok szolgáltatására. A tengelyre szimmetrikus rendszert jól leképezhetjük, ha a középponttól egyenlő távolságokban, egy kocka három oldalának megfelelően (elől, oldalt, hátul) helyezzük el a négyzet alakú detektorokat. Ugyanilyen módon, de nagyobb távolságokkal elhelyeztem még három detektort. Az előzőek pixelszáma 100x100, oldalélük 40mm, ezeket használom szemléltetésre, az utóbbiak pixelszáma 10x10, oldalélük 50mm, ezeket pedig a hibafüggvény (merit function) megadásához, tehát az optimalizáláshoz. A jobb átláthatóság érdekében alkalmazok egy félgömb alakú érzékelőt is (detector surface). Ennek 60x60=3600 pixele van, amelyek a besugárzott teljesítményt mutatják. A félgömb sugara 200mm.



50. ábra Virtuális detektorok elrendezése

Ide tartozik még a majdani összeállításban szereplő 5mm átmérőjű tartókonzol reprezentálása is. Mivel megengedett, hogy a konzol átmérője az optikai egységhez közeledve kis mértékben lecsökkenjen, ezt a tartót, egy 3.6mm átmérőjű hengerrel modellezem, amelynek felületei elnyelik a becsapódó sugárzás száz százalékát.

A következőkben bemutatom a hibrid modell képét a mérőkörnyezeten 5.000.000 sugár átvezetésével (51-54. ábrák). A rendszerrel mérem az optika hatékonyságát is – bár veszteségként itt csak a konzolban elnyelődő teljesítményt láthatjuk - úgy, hogy a félgömb detektorban elnyelt energia kétszeresét kivonom az összes sugárzott teljesítményből, amit az egyszerűség kedvéért 1W-nak vettem. Értéke itt 0.977. Az 1W teljesítményből $\frac{1}{6}$ részt, azaz 0.167W-ot szeretnénk felfogni az egyes oldalakon.

A detektorokat itt automatikus skálázás üzemmódban hagytam, ezért mutat képet az oldalsó és a hátsó. A félgömb érzékelő ablakában a Z koordináta balra növekszik, azaz balra van "előre".



53. ábra SFH 4350 sugárzása hátulról



54. ábra SFH 4350 sugárzása a félgömb detektoron

5.4.1 Spektrális eloszlás

Az SFH 4350-hez tartozó ZEMAX fájlban nem mellékelik a hullámhosszkarakterisztikát, és mivel a LED-ek által kibocsájtott sugárzás nem azonosítható az intenzitáscsúcs hullámhosszával, ez szükséges a rendszer megfelelő modellezéséhez.

Manuálisan mintavételeztem tehát az eszköz relatív intenzitás-hullámhossz diagramját. Ezután a kapott eredményeket bevittem a ZEMAX rendszerbe.



55. ábra SFH 4350 spektrális eloszlása

\sim	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
λ [nm]	762,5	775,0	787,5	800,0	812,5	825,0	837,5	850,0	862,5	875,0	887,5	900,0	912,5
súly	1,0	1,5	4,0	11,0	25,0	47,5	79,0	100,0	60,0	6,0	3,5	1,5	1,0



5.5 Tervezés menete

5.5.1 Első kísérlet

A tervezés legkirívóbb feladata, hogy az egyenletes eloszláshoz a sugárzás felének irányát több mint 90°-kal kell módosítani. Ezt a korábban említett eszközök közül a teljes visszaverődés alkalmazásával érhetjük el. A választott infra LED $\pm 13^{\circ}$ -ban adja le

teljesítménye nagy részét. Pontszerű forrást feltételezve, ha közvetlenül elé teszünk egy megforgatott 45°-os prizmát (56. ábra), akkor a sugarak nagy része visszafordítható (polikarbonát határszöge 39.26°). A forgástest legnagyobb átmérőjét 5mm-re választottam (ekkor magassága h = $\frac{2.5}{2}$ = 1.25mm). Nézzük:







57. ábra Félgömb detektor képe az első kísérletben

Nem lett meg a várt eredmény, csak a sugárzás 4.1%-a érte el az alsó detektort, és az egész első térfél telítettsége nőtt. Nézzük, mi lehet ennek az oka!



Az 58. ábrán a LED-ünk látható 400 véletlenszerűen választott sugárral. Ez egy térbeli alakzat, két dimenzióban leképezve, tehát egy vízszintesnek látott sugár is zárhat be szöget a sugárzó forgástengelyével, ami kicsit megnehezíti az ábra értelmezését. Ennek ellenére néhány fontos jelenséget csak így tudok bemutatni, amelyek a tervezés menetének megértését segítik. Ezeket az információkat nem tudom bizonyítani, a munkám során összegyűlt tapasztalat részei:

- Az elsődleges optika lencséjét egy hengerre és egy félgömbre oszthatjuk. A félgömb legelöl elhelyezkedő pontjáról azt gondolhatnánk, hogy ott viszonylag nagy a sugársűrűség értéke. Mégis pont a félgömb szimmetriatengelytől legtávolabbi pontjai dominálnak az előrebocsájtott sugárzás terén.
- A henger palástján is lép ki mérhető mennyiségű infra radiáció leginkább 30-45°-ban.
- A félgömb felületének középpontjából szinte merőleges sugarak is indulnak.

Mondhatjuk tehát, hogy a fényforrás ilyen távolságban nem tekinthető pontszerűnek.

Láttuk, hogy az első kísérlet, bár nem hozott átütő sikert, mégis kimutatható energiát mutat a detektor hátsó része. Ennek megfelelően a tervezés során megpróbáltam ésszerű, átgondolt geometriákat alkotni, de a számítógépes optimalizáció megkerülhetetlen tényező dolgozatomban.

5.5.2 Második kísérlet

Az előző pontban említettem, hogy szemből nézve az elsődleges optika körvonalánál a legnagyobb a sugársűrűség. E körvonal elé helyeztem derékszögű prizmákat az 59. ábrán látható módon. A rendszer tartalmazott még két csőszerű elemet, amelyek az optika testét adják. Itt kell megjegyeznem, hogy a ZEMAX non-sequental részébe szinte bármilyen

geometriát be lehet vinni, de mivel az optimalizációhoz szükséges, hogy az egyes felületek egyenletei meghatározhatók legyenek, egyszerűbb, meghatározott építőelemekből kell felépíteni a modellt. Emiatt bonyolultabb alakzatok alkotása nehézkes.



59. ábra 2. kísérlet geometriája



60. ábra A 2. kísérlet eredménye

Az első detektoron mért teljesítmény: $P_e = 0.35W$

Az oldalsó detektoron mért teljesítmény: $P_0 = 0.11W$

A hátsó detektoron mért teljesítmény: $P_{\rm h} = 0.09 W$

A hatásfok: $\eta = 0.88$

Láthatjuk az eredményeken és a félgömb detektor képén, hogy jelentős sugárzás verődött vissza. A sugárzás képe tengelyszimmetrikus maradt, de sávok helyett pontokban koncentrálódott a fény.

Ez az összeállítás véleményem szerint továbbfejleszthető volna, azonban ebben a tervezőprogramban szinte kezelhetetlen az optimalizációja, és a nagy sugárintenzitású részek eloszlatása érdekében teendő lépésekkel még összetettebbé válna.

5.5.3 Harmadik kísérlet

Térjünk vissza a megforgatott háromszög ötletéhez! A szögletes forgástestekből felépített geometria jól kezelhető, könnyen optimalizálható. A 61. ábrán látható alak sugara 3mm és állandó. A magasságának optimumát kerestem meg úgy, hogy a lehető legnagyobb teljesítmény érkezzen az oldalsó érzékelőre. Ez 1.92mm-re esett, az oldalra reflektált teljesítmény pedig $P_0 = 0.11W$.



61. ábra Oldalra szóró optika



62. ábra Oldalra maximalizált optika képe

Ezután az első felület sugarát meghosszabbítottam a maximális 2.5mm értékig, és a rendszer célfüggvényét úgy állítottam be, hogy minél több sugarat vezessen a hátsó detektorra. Optimalizálás után hátrafelé $\pm 13^{\circ}$ -ban sugároz, és teljesítményének 20%-a csapódik be a hátulsó érzékelőn (oldalsón 9%, elsőn 36%, $\eta = 0.94$). Láthatóan eredményt értünk el, mert, ha ki tudjuk vezetni ezt az optika hátsó részén és ott szétoszlatjuk, akkor ott megfelelő állapot alakul ki. Ellenben felfelé az optimális sugárzás több, mint kétszerese vetül. Mivel ezt a testet PMMA-val modelleztem, létrehoztam ugyanazt PC-ből, és optimalizáltam:

 $P_e = 0.36W, P_o = 0.08W, P_h = 0.24W, \eta = 0.96$

Itt látható a két optikai anyag közti különbség. A polikarbonát nagyobb törésmutatója miatt 5%-kal jobb eredményt kapunk.

Mivel az eredmények eléggé ijesztőek voltak, próbát tettem, vajon milyen haladás érhető el a méret kritérium megsértésével, 6mm-es átmérővel.

 $P_{\rm e}=0.30W,\;P_{\rm o}=0.08W,\;P_{\rm h}=0.26W,\;\eta=0.93$

Következmény: nem érdemes túllépni az 5mmes átmérőt, más módszert kell találni.

5.5.4 Negyedik kísérlet

Ezután megépítettem az optika oldalfalát, valamint mivel már képes voltam minimálisan összetett hibafüggvény használatára, kipróbáltam, hogy mit tud a rendszer, ha cél az egyes detektorok pixeleit tekintve a szórások minimalizálása.



63. ábra 4. kísérlet 1. alak, sugarakkal

 $P_e = 0.22W, P_o = 0.11W, P_h = 0.03W, \eta = 0.74$ (63. 64. ábrák)

Az optika legnagyobb átmérője 7.2mm. Ezt a kísérlet érdekében engedélyeztem.



64. ábra 4. kísérlet 1. alak képe

Megjegyzés: a rendszer így természetesen nem optimális, az eredmények, és a detektor képe a tesztkörnyezetbe helyettesítve látható itt is, azonban a geometria készültekor még nem így modelleztem a konzolt.

Láthatjuk, hogy az első térfélen tényleg sokkal egyenletesebb eloszlás található, azonban a hátsó üres.

Hátrafelé sugárzásra optimalizálva:

 $P_{\rm e}=0.25W,\ P_{\rm o}=0.08W,\ P_{\rm h}=0.28W,\ \eta=0.91$

Ezek az eredmények bizakodásra adtak okot, viszont az átmérők maximuma, itt is jóval túllépte a megengedettet.

Következő lépésben megpróbáltam az alul kilépő sugarakat egy homorú, $a z = r^2 \cdot 0.1$, ahol $2.5mm \le r \le 3.36mm$ képlettel leírható felülettel szórni.



65. ábra 4. kísérlet 3. alak

Eredményeim a következők lettek (65. 66. ábrák): $P_e = 0.26W$, $P_o = 0.10W$, $P_h = 0.23W$, $\eta = 0.92$



66. ábra

Ez látható változás, de mivel az optika körvonalai még nem forrottak ki elégséges mértékben, úgy döntöttem, hogy a szögletes felületek függvényekkel való leírásával és abból ZEMAX alakzat (*non-sequential object*) létrehozásával járó munka ideje még nem jött el. Ennek fényében a szögletes modell megvalósítása lett a következő részcélom.

5.5.5 Ötödik kísérlet

A detektor képek, és az átvezetett sugarak mintáinak elemzése nyomán úgy éreztem, hogy az előző kísérletben bemutatott alakzatokban lehetne még tartalék, ha a felületeket képesek lennénk görbíteni, vagy megtörni. Megépítettem egyiküket 12 darabból, és írtam hozzá egy 94 soros hibafüggvényt, amely egyrészt korlátozza az egyes paramétereket, hogy a méretek ne szálljanak el, és a fröccsönthetőség feltétele maradjon meg, másrészt azt a célt adja meg, hogy a három detektor pixelein jelentkező teljesítményekből képzett halmaz szórása a lehető legalacsonyabb legyen.

A 100.000 darabos sugáradatbázis használatával több, mint négy óráig tartott az optimalizáció 2 magos intel core 2 6400 @ 2.13GHz processzorral szerelt számítógépen. Az eredmény alább látható. Sajnos a rendszer a geometria felépítő elemeit csak egy kismértékű hibával tudja kezelni (a mai napig nem jöttem rá ennek az okára), ezért a még kisebb egységek használatát elvetettem. A teljesítmény-megoszlás nem rossz, ám a detektor képén látjuk, hogy a térfelek között nagy a különbség:



67. ábra 5. kísérlet 1. alak

 $P_e = 0.19W, P_o = 0.14W, P_h = 0.09W, \eta = 0.88 (67.68. abrak)$



68. ábra 5. kísérlet 1. alak képe

A hibafüggvény módosításával próbáltam javítani az eredményeket. Már az érzékelőkre eső összes teljesítmények szórását is próbálta csökkenteni a rendszer. Sikertelenül:

 $P_e = 0.17W, P_o = 0.14W, P_h = 0.03W, \eta = 0.82$

5.5.6 Hatodik kísérlet

Újra elővettem a negyedik kísérletben látható alakzatot 3 tagból, PMMA-ból. Ezúttal viszont ügyeltem arra, hogy az 5mm-es átmérőt ne lépjem túl. Az előző pontban is használt hibafüggvényeket aktualizáltam a rendszerre.



69. ábra 6. kísérlet 1. alak, sugarakkal

Elsőként a következőt: 4x4-es detektorok pixeleinek sugársűrűsége legyen egyenlő! $P_e = 0.25W$, $P_o = 0.12W$, $P_h = 0.10W$, $\eta = 0.89$ (69. 70. ábrák)



70. ábra 6. kísérlet 1. alak képe

Tényleg sikerült egyenletesebbé tenni a képet, de most oldalra jut túl kevés sugárzás.

Az előző hibafüggvényhez ugyanakkora súllyal hozzáadtam a 3 detektoron mért teljesítmények egyezését. Optimalizálás után:

 $P_e = 0.23W, P_o = 0.14W, P_h = 0.14W, \eta = 0.96$ (71. 72. ábrák)



71. ábra 6. kísérlet 2. alak sugarakkal



72. ábra 6. kísérlet 2. alak képe

A kapott értéksor az eddigi legjobb, viszont a detektor képe még mindig nem megfelelő. Ez azt jelenti, hogy a három teljesítmény adat nem elég az egyes összeállítások minősítéséhez.

Eddig a kupakszerű modelleknek csak a külső felületeivel operáltam, a sugarak egy 4mm magas henger palástján, a nagy részük pedig a henger egyik alapján jutott be a másodlagos optikába. Korábban arról is szó esett, hogy a LED leginkább a "szélén" sugároz, amely gondolatokból kiindulva a másodlagos optika üregének sarkába egy újabb trapéz (ha egyik oldala majdnem zérus, akkor vehető háromszögnek) keresztmetszetű gyűrűt helyeztem. Így optimalizáltam, azonban az eredmény megtekintésekor nyilvánvalóvá vált számomra, hogy egy mérethatároló



73. ábra 6. kísérlet, 3. alak

operandust kihagytam a hibafüggvényből, ezáltal egy igen érdekes alakzat született:

 $P_e = 0.25W, P_o = 0.14W, P_h = 0.14W, \eta = 0.98$ (73. 74. ábrák)



74. ábra 6. kísérlet, 3. alak képe

Ez a sugárzási kép igen jó továbblépési lehetőséget jelenthetne, például diffúz felületekkel kombinálva, ám a mérete jelentősen túllóg a lehetséges maximum átmérőn.



75. ábra 6. kísérlet, 4. alak

Természetesen az MTF hiányzó sorát pótoltam, de az ezek után kapott rendszer jellemzői nem értek fel a fentiekével:

 $P_e = 0.49W, P_o = 0.09W, P_h = 0.05W, \eta = 0.95$ (75. 76. ábrák)



76. ábra 6. kísérlet, 4. alak képe

5.5.7 Hetedik kísérlet

Megint új hibafüggvényt szerkesztettem, és az anyagot polikarbonátra váltottam. Ezúttal arra a kérdésre kerestem választ, hogy mi a legkevesebb teljesítmény, amelynek az elülső detektoron kell jelentkeznie ebben a konstrukcióban.



77. ábra 7. kísérlet, 1. alak

 $P_e = 0.17W, P_o = 0.19W, P_h = 0.01W, \eta = 0.96 (77.78. abrak)$



78. ábra 7. kísérlet, 1. alak képe

A P_e tényleg az eddigi legalacsonyabb érték lett, valamint a P_o az eddigi legnagyobb. Megfigyelhető a geometrián, hogy a kiinduló ötletként bevezetett megforgatott prizma jelleg elveszett jelentősen átalakult, és megkérdőjeleződött a középső "levegőtüske" indokoltsága. Ezért következő lépésben módosítottam az egyes változók korlátait, hogy eltűnhessen.

Ezen kívül visszatettem az üreg sarkában található elemet, és javítottam a mozgásterét

(változóinak helyes korlátozásával). A hozzá tartozó MTF minden sugarat hátrafelé vezet, valamint új elemként a hatásfok maximalizálásának is adtam súlyt

Így jutottam el az eddigi legígéretesebb geometriához:

$$P_e = 0.28W$$
, $P_o = 0.11W$, $P_h = 0.17W$, $\eta = 0.93$

(79. 80. ábrák)



79. ábra 7. kísérlet, 2. alak



80. ábra 7. kísérlet, 2. alak képe

Ezután még próbálkoztam más hibafüggvényekkel, kevés sikerrel. Úgy véltem, hogy a megadott mérethatáron belül a szögletes TIR optika adta lehetőségeket kiaknáztam.

5.5.8 Nyolcadik kísérlet

Két úton indulhattam tovább. Az egyik valamilyen freeform felületekből álló modell kialakítása. Ilyen felületek a rendelkezésre álló ZEMAX szoftverben nem találhatók (ez a 2009, május 4-i verzióban jelenik meg), esetleg megírható a felület egy külső dll fájlban (*User Defined Object*). Ehelyett inkább a felületek diffúzzá tételével próbálkoztam. Sajnos ezt a *scattering* funkciót nem lehet optimalizálni a Zemax-szal, úgyhogy három féle diffúz felületet használtam (Gauss szórás modell [10]): $\sigma = 0.1$ felületegységre érkező sugárzás nagyjából a felület normálisára 10°-ban oszlik szét, $\sigma = 0.2$ 20°-ban $\sigma = 0.3$ 30°-ban. Ilyen felületek előállíthatók fröccsöntéssel.

Lássunk néhány példát:

A hetedik kísérlet második bemutatott geometriáján az első rész oldalán $\sigma = 0.1$ -es szórást állítottam be:

 $P_e = 0.29W, P_o = 0.12W, P_h = 0.13W, \eta = 0.92$ (81. ábra)



81. ábra 8. kísérlet, 1. modell képe

A kontrasztosabb sávok láthatóan egyenletesebbek lettek, a csúcsérték is csökkent. Látni kell azonban, hogy az alsó detektorról a középsőre, és a felsőre mérhető teljesítmény szivárgott fel.

 $\sigma = 0.2$ -vel:

 $P_e = 0.29W, P_o = 0.12W, P_h = 0.11W, \eta = 0.92$ (82. ábra)



82. ábra 8. kísérlet, 2. modell képe

Hátulsó sáv teljesen eloszlott, és tovább csökkent az oda jutó sugárzás. A besugárzott teljesítmény csúcsértéke ellenben nőtt ($\pm 10^{\circ}$ -ban előre található).

Természetesen próbálkoztam az alsóbb felületek szóróvá tételével is, de arra a következtetésre jutottam, hogy a felső sávok eltüntetése alapvető. Ráadásul, a felső felületek módosítása ugyanúgy hatással van a rajta teljes belső visszaverődést szenvedő sugarakra, ezért az egyenletes sugáreloszláshoz még több teljesítményt szükséges az alsóbb régiókba vezetni TIR optikával.

5.5.9 Kilencedik kísérlet

Elővettem az eddig készült modellek közül a legintenzívebben hátrafelé sugárzót, és a legelöl elhelyezkedő elem belső részét kivéve, az egész külső felületet (83. ábrán pirossal) $\sigma = 0.1, 0.2,$ és 0.3-as szórással láttam el.



83. ábra 9. kísérlet modellje

 $\sigma = 0.1$, $P_e = 0.25W$, $P_o = 0.09W$, $P_h = 0.25W$, $\eta = 0.90$ (84. ábra)





 $\sigma = 0.2$, $P_e = 0.25W$, $P_o = 0.11W$, $P_h = 0.21W$, $\eta = 0.91$ (85. ábra)



85. ábra 9. kísérlet, 2. modell képe

```
\sigma=\textbf{0.3}, \ P_{_{e}}=0.29W, \ P_{_{o}}=0.12W, \ P_{_{h}}=0.11W, \ \eta=0.92 \ (86. \ \text{ábra})
```



86. ábra 9. kísérlet, 3. modell képe

A tendencia alapján, ha Lambert sugárzó felületet tudnánk létrehozni, kis veszteséggel akkor ez a megoldás megfelelő lehetne az egyenletesség feltételének, azonban, ebből a kísérletből kompromisszummentes megoldás nem születhet a 6.72mm-es legnagyobb átmérő miatt.

5.5.10 Tízedik kísérlet

Szerettem volna mégis a megadott mérettel rendelkező megfelelő karakterisztikájú optikát előállítani. Mivel nem volt jobb ötletem, viszont a hibafüggvény generálásban addigra komoly tapasztalataim gyűltek, elővettem az ötödik kísérletben látható 12 elemből álló modellt (69. ábra) és hozzáadtam az üreg sarkába helyezett gyűrűt is, majd megírtam az új MTF-et ügyelve arra, hogy a rendszer átmérőjének csak egy lokális maximuma legyen. Mégis a szoftver átlépte az egyik korlátomat, és a következő alakzatot hozta ki:



87. ábra 10. kísérlet, 1. alak

 $P_e = 0.18W, P_o = 0.14W, P_h = 0.16W, \eta = 0.96$ (87. 88. ábra)



88. ábra 10. kísérlet, 1. alak képe

A 9.6mm-es átmérője egyértelműen kizárja az alkalmazását, de a többi paramétere biztató volna.

Ezután még szigorítottam a hibafüggvényen, és úgy optimalizáltam, de említésre méltó eredményt nem kaptam.

5.5.11 Alternatív megoldások

A tervezési folyamat során több más módszer is látókörömbe került, amelyek a fő cél elérését nagyságrendekkel megkönnyítik, mégsem ajánlhatom őket, mert a leszögezett méret, és gyártástechnológiai korlátokat figyelmen kívül hagyják. Ezek közül kettőt mutatok itt be:



90. ábra féligáteresztő optika képe

Féligáteresztő réteget tartalmaz a fent látható optika $\sigma = 0.3$ -as szórású, elülső felülete. A rendszer nem optimalizált. Méretkritérium betartásával is könnyen megoldást jelenthetne. Hátránya, hogy a réteg létrehozása jelentősen drágítaná a gyártást, ezért nem alkalmazható.

A piacon kapható műanyag optikák között láttuk az ún. *Hemi-spherical Bubble Optic*ot amely 180°-ban közel egyenletesen szórja a Luxeon Rebel LED fényét. Ha ezt sikerülne egy OSRAM Golden Dragon csomagba szerelt 850nm-en sugárzó diódával (pl.: OSRAM SFH 4230) hatékonyan kombinálni, akkor két ilyen rendszert egymás hátának fordítva meg is kaptuk a 4π térszögbe egyenletesen, a megadott hullámhosszon sugárzó rendszert. Ami miatt, nem alkalmazható ez a megoldás, hogy két sugárzó jelentősen drágább egynél, nem beszélve arról, hogy már az optika átmérője is 20mm.

5.6 Eredmények

Az összes kritérium betartásával nem tudok megoldást kínálni, ehhez még további munkafolyamatra lenne szükség. A méret kritérium figyelmen kívül hagyásával a kilencedik kísérletben optimalizált geometriát alkalmasnak tartom a feladatra. A méreten belül maradók közül pedig a hetedik kísérlet harmadik változata (79. ábra) a legjobb, bár ennek fröccsöntése

jóval drágább lenne a két mozdulatból nyitható fröccsszerszám igénye miatt. Ezen okból mégis az 71. ábrán látható kivitelt (hatodik kísérlet második alak) ajánlom.

A szakdolgozat kiírás harmadik pontja szerint egy szakemberrel közösen meg kellene tervezni a fröccsszerszámot. Ez nagy felelősséggel járó munka, valamint a szerszám esetleges gyártása a megrendelő döntése, ezért a tervezés jelen állása mellett nem jöhetett létre a fröccsszerszám tervezés, és a gyártás, tehát a kész termék ellenőrzése sem. **Így a kiírás 3. és 4. pontja teljesíthetetlenné vált.**

6 Diszkusszió és a továbbfejlesztés lehetőségei

Munkám tanulsága szerint a LED optikák tervezéséhez jó ötletek, nagy tapasztalat, rutin, és nem utolsósorban megfelelő technikai, azaz számítási és szoftveres háttér szükséges. Rutin: Az optikai tervezésben ugyanis szinte csak a leképező rendszerekre vonatkozó szakirodalom elérhető. A modern, számítógéppel segített dizájnra szabott, írásos segítséget – még ha egyes cégeknél biztosan alkalmaznak valamiféle ökölszabályokat (Ledil, Carclo) – csak ritkán, és szűk, vagy felületes formában találunk.

Számítási háttér: Az optikai rendszer egy-két változóját tetszésünknek megfelelően állíthatjuk *slider*-ekkel, extrém esetben kézzel, papíron is számolhatjuk. Ez azonban egy bonyolult felületekből álló másodlagos optika esetén –gondoljunk csak a Ledil Strada optikára - kizárt, ugyanis itt akár 10-40 változó is előfordulhat. A 10. kísérletben alkalmazott optimalizáció például 32 darab változót, használt, ezért futott több, mint 13 órán keresztül. Meg kell jegyeznem, hogy talán rutinosabb tervezők kevesebbet használtak volna.

A tervezés során sok nehézséggel szembesültem. Például autodidakta módon tanultam meg a tervezőszoftver használatát a tervezés közben, ami több alkalommal vezetett a fejlesztés tévútra juttatásához, lassításához. Ezzel párhuzamosan a sugárzó modellezésének kérdése is napirenden volt a munkafolyamat több mint feléig. Ugyanígy a folyamatosan fejlesztett, tehát menet közben nem egységes virtuális tesztkörnyezet hátrányosan befolyásolta munka hatékonyságát. A folyamatábrán (48. ábra) szaggatott vonallal rajzoltam az anyagválasztáshoz és a sugárzó választáshoz tartozó visszacsatolást, hiszen ez egy "többváltozós egyenlet" minden függ mindentől. Ennek ellenére azt hiszem, hogy a LED kiválasztásakor a leglényegesebb tényezők közé kellett volna helyezni azt, hogy az adott sugárzó tervezésekor figyelembe vették-e a másodlagos optika fejlesztésének kritériumait. Így, ha a továbbfejlesztés lehetőségeit veszem sorra, akkor első helyre kerül az új sugárzó választása új szempontrendszer bevezetésével. Másodsorban érdemes megpróbálkozni a freeform geometria megalkotásával. Még ekkor sem lenne biztos a siker, azonban egy jól megalkotott hibafüggvénnyel, a geometria lehetőségeit még jobban kiaknázhatnánk. El tudom képzelni, hogy ez a módszer, akár teljes sikerhez is vezethet. Lehetséges, hogy a szóró felületek alkalmazásával optimalizált modellek sikeresek lehetnek (mint az 5. kísérletben, csak egyes felületeket előre scattering-nek állítunk be).

Tartalmi összefoglaló

Szakdolgozat feladatként egy 850nm-en működő infravörös jeladót és legfőképpen annak fröccsöntött polimer optikáját, fejlesztettem. A tervezendő jeladó fő paramétere, hogy szinte a teljes térbe egyenletesen sugároz, valamint, mivel egy ergonómikus termékbe kerül, szigorú méretbeli határ (5mm maximális átmérő) csökkentette a tervezési szabadságot. Ezen kívül jól illeszthetőnek kellett lennie az 5mm átmérőjű tartókonzolra is.

Első lépésként áttekintettem az egyre bővülő LED-piacot (2. fejezet), és feltérképeztem a közeli infra tartományban sugárzó diódák kínálatát is. Ezután mechanikai illeszthetőség, méret, és szoftveres támogatottság alapján kiválasztottam az OSRAM SFH 4350 típusú 3mm átmérőjű sugárzót.

Megvizsgáltam, a nagyobb műanyag, másodlagos optikákat gyártó cégek kínálatát is (3. fejezet). A teljes 4 π térszögbe sugárzót nem találtam egyik vizsgált vállalat katalógusában sem (bármely LED-hez). Kategorizáltam a polimer előtét optikákat, és ötleteket, gyűjtöttem a tervezéshez, kiragadtam néhány inspiráló, előremutató dizájnt. A kapható optikák alapján a saját tervezéshez választható anyagok körét az optikai szintű polikarbonátra (PC) és az optikai polimetil-metakrilátra (PMMA) szűkítettem. Áttekintettem, hogy az alkalmazott optikai jelenségek, eszközök közül, melyek jöhetnek szóba az adott optika tervezésekor (teljes belső visszaverődés, refrakció, szóró felületek).

Következő lépésként megismerkedtem a ZEMAX optikai tervező szoftver nemszekvenciális részével. A dolgozat 5.3. fejezetében ismertetem a fényforrás modellezésének kérdéseit, majd az 5.4.-ben a fejlesztési folyamat végére kialakult virtuális mérőkörnyezetet mutatom be.

Ezután 10 kísérleten keresztül mutatom be a tervezés menetét, amelyeket időrendben közöltem, így megfigyelhető a fejlesztés egyes fázisai mellett, a ZEMAX rendszerben történő elmélyedésem is. Az egyes kísérleteknél ismertetem a kiinduló ötleteket, az elkészült modelleket és az eredményeket. Utóbbi kettőt ábrával szemléltetem. A kísérletek során kialakított modellek egyszerű, szögletes, vagy kevés görbe felületet tartalmazó kupak alakú optikák, esetleg szóró felületekkel. Ezzel a technikával minden megadott kritériumot figyelembe véve megfelelő modellt nem tudtam létrehozni. Ellenben kisebb kompromisszumokat kötve a lehetőségekhez képest egészen jó megoldásokat kaptam (5.6. fejezet). Sikerült az alapvetően ±13°-os félértékszögű sugárzás megfelelő részét hátra vezetni, egyes sávokban egyenletesen szétoszlatni. A legjobb megoldást a 83. és 86. ábrák

54

mutatják (kilencedik kísérlet harmadik modellje) ahol félgömb detektor képe szinte egyenletes. Itt a geometria 6.72mm-es átmérője a kompromisszum.

A fröccsszerszám készítés a fentiek értelmében nem jöhetett létre, hiszen egy valós piaci szereplőnek ezek a megoldások nem adhatóak el. Emiatt az optika továbbfejlesztése szükséges (a 6. fejezetben bemutatott módszerekkel). Ezek után a kész termékről sem volt lehetséges méréseket készíteni természetesen.

Summary

I designed an infrared transmitter application with 850nm wavelength, and especially its plastic, secondary optic, which could be manufactured by injection moulding. The aim of this application is to emit even radiation into the whole 4π sr space, while it would be used in a specifically ergonomic product, so the freedom of my design was limited by a strict criterion of size (5mm diameter maximum). In addition the application should be easily fixed to the end of a dia. 5mm stick, which holds it.

First, I reviewed the rapidly expanding market of LED-s (chapter 2), and researched the supply of near infrared emitters too. After that I chose a dia. 3mm emitter called SFH 4350 by the reason of its easy mechanical fixing, small size, and the availability of ZEMAX source model.

I researched the supply of the significant plastic secondary optics manufacturers too (chapter 3). I did not find an optic, which is able to guide the radiation into the 4π sr space (designed for any LED). I categorized the polymer secondary optics, and collected ideas for the design. I also relieved some inspiring, modern products pointing ahead. On the ground of the LED optics available I restricted the potential materials to optical grade polycarbonate (PC) and optical grade polymethyl methacrylate (PMMA). I reviewed the optical phenomena applied in plastic optics, to see, which are feasible for my design (total internal reflection, refraction, scattering surfaces).

After that, I started learning the non-sequential part of optical design software, ZEMAX. In chapter 5.3, I write about the questions of source modeling, then, in chapter 5.4, I present the virtual measuring environment, which has been developed continually during the design process.

In the next part, the design process is presented through 10 experiments, shown in chronological order, so besides the steps of progression, also my progression with ZEMAX can be seen. At each certain experiment, the base ideas, the models, and the achievements are presented. The last two are demonstrated with illustration. The models developed in the course of the experiments are simple, angular, or with a few curved surfaces, cap-like optics, maybe with scattering surfaces. With this technology I could not design a model, which satisfies all the given criteria. However with smaller compromises made, I got some really suitable solutions (chapter 5.6). I could guide the fitting part of the basically $\pm 13^{\circ}$ forward directed radiation to backward. I dissipated the radiation well in some certain zones too. The best solution is shown on the illustrations no. 83 and 86 (the third model of the ninth

experiment), which made a roughly even irradiance on the hemisphere shaped detector. Here, the 6.72mm diameter maximum of the secondary optic means the trade-off.

According to the above, the tooling process for the injection moulding could not be realized, because these solutions are not sufficient to an existing company to buy. By that reason, further optical development is needed (with methods sketched in chapter 6). Therefore the measurement of the completed product was also impossible.

Irodalomjegyzék

- [1] Cree online katalógusa, http://www.cree.com/products
- [2] OSRAM Opto Semiconductors online katalógusa, http://catalog.osram-os.com/catalogue
- [3] PHILIPS LUMILEDS online katalógusa, http://www.philipslumileds.com/products
- [4] Craclo Optics (2009): Guide to choosing secondary optics, http://www.luxeonstar.com/v/vspfiles/downloadables/carclo-guide.pdf Letöltés dátuma: 2009.09.16.
- [5] Carclo Optics (2009): Lumileds-11-09, http://www.ledsupply.com/docs/Lumileds-11-09.pdf Letöltés dátuma: 2010.04.14.
- [6] Khatod: online katalógus http://www.khatod.com/cms/general_led_lighting___home_page-1237430.html Letöltés dátuma: 2010.03.04
- [7] LEDIL (2009): K2S SQUARE lenses for LUXEON K2 LEDs, http://www.ledil.com/datasheets/DataSheet_K2S.pdf Letöltés dátuma: 2010.03.04.
- [8] Erdei Gábor: személyes konzultáció 2010.03.05.
- [9] Akash Arora (2009): How to Use the Polar Detector and IESNA/EULUMDAT Source Data http://www.zemax.com/kb/articles/267/2/How-to-Use-the-Polar-Detector-and-IESNAEULUMDAT-Source-Data/Page2.html Letöltés dátuma: 2010.02.13
- [10] ZEMAX (2008): User's Guide June 24, 2008

Mellékletek

- 1. SFH 4350 katalógus adatlapja
- 2. SFH 4350 ZEMAX modellhez tartozó adatlapja

IR-Lumineszenzdiode (850 nm) mit hoher Ausgangsleistung High Power Infrared Emitter (850 nm) Lead (Pb) Free Product - RoHS Compliant

SFH 4350

Vorläufige Daten / Preliminary Data

Wesentliche Merkmale

- Infrarot LED mit hoher Ausgangsleistung
- Abstrahlwinkel ± 13°
- Sehr hohe Strahlstärke
- Emissionswellenlänge typ. 850 nm

Anwendungen

- Infrarotbeleuchtung für CMOS Kameras
- Sensorik
- Datenübertragung

Sicherheitshinweise

Je nach Betriebsart emittieren diese Bauteile hochkonzentrierte, nicht sichtbare Infrarot-Strahlung, die gefährlich für das menschliche Auge sein kann. Produkte, die diese Bauteile enthalten, müssen gemäß den Sicherheitsrichtlinien der IEC-Normen 60825-1 und 62471 behandelt werden.

Features

- High Power Infrared LED
- Emission angle ± 13°
- Very high radiant intensity
- Peak wavelength typ. 850 nm

Applications

- Infrared Illumination for CMOS cameras
- Sensor technology
- Data transmission

Safety Advices

Depending on the mode of operation, these devices emit highly concentrated non visible infrared light which can be hazardous to the human eye. Products which incorporate these devices have to follow the safety precautions given in IEC 60825-1 and IEC 62471.

Тур Туре	Bestellnummer Ordering Code	Strahlstärkegruppierung ¹⁾ ($I_F = 100 \text{ mA}, t_p = 20 \text{ ms}$) Radiant Intensity Grouping ¹⁾ $I_e \text{ (mW/sr)}$
SFH 4350	Q65110A2091	≥ 40 (typ. 70)

¹⁾ gemessen bei einem Raumwinkel Ω = 0.01 sr / measured at a solid angle of Ω = 0.01 sr



Opto Semiconductors

ATTENTION - Observe Precautions For Handling - Electrostatic Sensitive Device

2007-03-29



Grenzwerte ($T_A = 25 \text{ °C}$) **Maximum Ratings**

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{ m op}$, $T_{ m stg}$	- 40 + 100	٥C
Sperrspannung Reverse voltage	V _R	5	V
Vorwärtsgleichstrom Forward current	I _F	100	mA
Stoßstrom, $t_p = 10 \ \mu s$, $D = 0$ Surge current	I _{FSM}	1.5	A
Verlustleistung Power dissipation	P _{tot}	180	mW
Wärmewiderstand Sperrschicht - Umgebung bei Montage auf FR4 Platine, Padgröße je 16 mm ² Thermal resistance junction - ambient mounted on PC-board (FR4), padsize 16 mm ² each	R _{thJA}	450	K/W

Kennwerte ($T_A = 25 \text{ °C}$) Characteristics

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Wellenlänge der Strahlung Wavelength at peak emission $I_{\rm F}$ = 100 mA	λ_{peak}	850	nm
Spektrale Bandbreite bei 50% von I_{max} Spectral bandwidth at 50% of I_{max} I_F = 100 mA	Δλ	35	nm
Abstrahlwinkel Half angle	φ	± 13	Grad deg.
Aktive Chipfläche Active chip area	A	0.09	mm ²
Abmessungen der aktiven Chipfläche Dimension of the active chip area	$L \times B \\ L \times W$	0.3 × 0.3	mm²
Schaltzeiten, I _e von 10% auf 90% und von 90% auf 10%, bei $I_{\rm F}$ = 100 mA, $R_{\rm L}$ = 50 Ω Switching times, I _e from 10% to 90% and from 90% to 10%, $I_{\rm F}$ = 100 mA, $R_{\rm L}$ = 50 Ω	<i>t</i> _r , <i>t</i> _f	12	ns

2007-03-29

2



Kennwerte ($T_A = 25 \text{ °C}$) Characteristics (cont'd)

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Durchlassspannung Forward voltage			
$I_{\rm F}$ = 100 mA, $t_{\rm p}$ = 20 ms $I_{\rm F}$ = 1 A, $t_{\rm p}$ = 100 µs	$V_{F} V_{F}$	1.5 (< 1.8) 2.4 (< 3.0)	V V
Sperrstrom Reverse current $V_{\rm R}$ = 5 V	I _R	not designed for reverse operation	μΑ
Gesamtstrahlungsfluss Total radiant flux $I_{\rm F}$ = 100 mA, $t_{\rm p}$ = 20 ms	$\Phi_{ m etyp}$	50	mW
Temperaturkoeffizient von I _e bzw. Φ_e , $I_F = 100 \text{ mA}$ Temperature coefficient of I _e or Φ_e , $I_F = 100 \text{ mA}$	TC	- 0.5	%/K
Temperaturkoeffizient von $V_{\rm F}$, $I_{\rm F}$ = 100 mA Temperature coefficient of $V_{\rm F}$, $I_{\rm F}$ = 100 mA	TC _V	- 0.7	mV/K
Temperaturkoeffizient von λ , $I_{\rm F}$ = 100 mA Temperature coefficient of λ , $I_{\rm F}$ = 100 mA	TC_{λ}	+ 0.2	nm/K

Strahlstärke I_e in Achsrichtung¹⁾ gemessen bei einem Raumwinkel Ω = 0.01 sr Radiant Intensity I_e in Axial Direction at a solid angle of Ω = 0.01 sr

Bezeichnung Parameter	Symbol		Einheit Unit			
		SFH 4350 -U	SFH 4350 -V	SFH 4350 -AW	SFH 4350 -BW	
Strahlstärke Radiant intensity $I_{\rm F}$ = 100 mA, $t_{\rm p}$ = 20 ms	I _{e min} I _{e max}	40 80	63 125	100 200	160 320	mW/sr mW/sr
Strahlstärke Radiant intensity $I_{\rm F}$ = 1 A, $t_{\rm p}$ = 100 µs	I _{e typ}	500	700	900	1100	mW/sr

¹⁾ Nur eine Gruppe in einer Verpackungseinheit (Streuung kleiner 2:1) / Only one group in one packing unit (variation lower 2:1)



Abstrahlcharakteristik

Opto Semiconductors







Forward Current $I_{F} = f(V_{F})$ Single pulse, $t_{p} = 20 \ \mu s$









Permissible Pulse Handling Capability $I_{\rm F} = f(\tau)$, $T_{\rm A} = 25$ °C, duty cycle D = parameter



Max. Permissible Forward Current

 $I_{\rm F} = f(T_{\rm A}), R_{\rm thJA} = 450 \text{ K/W}$



OSRAM

2007-03-29

Opto Semiconductors

Maßzeichnung Package Outlines



Maße in mm (inch) / Dimensions in mm (inch).

Gehäuse / Package	3 mm, klares Gehäuse / 1/10", clear package
Anschlussbelegung	1 = Anode / anode
Pin configuration	2 = Kathode / cathode

Empfohlenes Lötpaddesign Recommended Solder Pad Design

Wellenlöten TTW TTW Soldering



Maße in mm (inch) / Dimensions in mm (inch).

2007-03-29

6



Lötbedingungen Soldering Conditions Wellenlöten (TTW) TTW Soldering

(nach CECC 00802) (acc. to CECC 00802)



Published by OSRAM Opto Semiconductors GmbH Wernerwerkstrasse 2, D-93049 Regensburg www.osram-os.com © All Rights Reserved.

EU RoHS and China RoHS compliant product



此产品符合欧盟 RoHS 指令的要求;

按照中国的相关法规和标准,不含有毒有害物质或元素。

The information describes the type of component and shall not be considered as assured characteristics. Terms of delivery and rights to change design reserved. Due to technical requirements components may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact our Sales Organization. **Packing**

Please use the recycling operators known to you. We can also help you – get in touch with your nearest sales office. By agreement we will take packing material back, if it is sorted. You must bear the costs of transport. For packing material that is returned to us unsorted or which we are not obliged to accept, we shall have to invoice you for any costs incurred.

Components used in life-support devices or systems must be expressly authorized for such purpose! Critical components ¹, may only be used in life-support devices or systems ² with the express written approval of OSRAM OS. ¹ A critical component is a component used in a life-support device or system whose failure can reasonably be expected to cause the failure of that life-support device or system, or to affect its safety or effectiveness of that device or system.

² Life support devices or systems are intended (a) to be implanted in the human body, or (b) to support and/or maintain and sustain human life. If they fail, it is reasonable to assume that the health of the user may be endangered.

2007-03-29

7



Opto Semiconductors

Information for OSRAM rayfile data

SFH 4350, Infrared Emitter



1. Position of global coordinate origin vs. package



The global coordinate origin is at the center of the package 3.17mm below top of lens dome. The CAD model provided with this rayfile package has the same global orientation as the rayfile.



Fig. 1: Orientation of LED

2. General Properties of the Rayfile

- the starting points of the rays need to be in air
- the rays are randomly ordered in the rayfile
- the CAD model provided with this rayfile package is intended for the design of mechanical components and not valid for optical raytracing calculations
- the units used for the coordinates in the rayfile and for the CAD model are mm
- the virtual focus of this rayfile (5M rays) with respect to the above coordinate origin is:
 - x = -0.008 mm
 - y = -0.015 mm
 - z = 0.231 mm

3. Radiant intensity (units: W/sr, LED Radiant flux Φ =50mW)



4. Near field irradiance (units: W/m², LED Radiant flux Φ=50mW, z=3.5mm)



5. Information for Lighttools Users

This rayfile package contains additionally the LED as a Lighttools library element. This provides the following information:

- link to rayfile with 100k rays, the rayfile should be placed in the same folder as the Lighttools file
- CAD model
- rayfile and CAD model are grouped. In case the grouping is resolved, the correct positioning of rayfile vs. CAD model must be ensured
- typical spectrum of the LED

For importing the library element into an existing Lighttools project, please consider the following:

- File → Restore Library... → select path and file
- indicate scaling factor: "1"
- indicate position: e.g. "XYZ 0,0,0"
- indicate z axis direction: e.g. "XYZ 0,0,1"
- indicate y axis direction: e.g. "XYZ 0,1,0"



6. Provided files

file type	file name	
rayfile	rayfile_SFH_4350_[number of rays]_[DDMMYY]_[data format].[extension]	
CAD geometry	SFH_4350_[DDMMYY]_geometry.IGS	
	SFH_4350_[DDMMYY]_geometry.STEP	
	SFH_4350_[DDMMYY]_geometry.SLDPRT	
library elements	SFH_4350_[DDMMYY]_sample_[data format].[extension]	
information (this file)	SFH_4350_[DDMMYY]_info.pdf	

7. Disclaimer and User Agreement

OSRAM assumes neither warranty, nor guarantee nor any other liability of any kind for the contents and correctness of the provided rayfile data. The rayfile data has been generated with highest diligence but the provided data may in reality not represent the complete possible variation range of all component parameters. Therefore, in certain cases a deviation between the real emission characteristic and the emission characteristic which is encoded in the provided rayfile data could occur.

OSRAM reserves the right to undertake technical changes of the component without further notification which could lead to changes in the provided rayfile data.

OSRAM assumes no liability of any kind for the loss of data or any other damage resulting from the usage of the provided rayfile data.

The user agrees to this disclaimer and user agreement with the download or usage of the provided files.

8. Revision History

date	type	code
03.09.2008	rayfiles generated	AL / US
25.05.2009	info file improved, CAD models improved, library elements (Lighttools, Zemax) added	US