

3x3 UV LED MODUL NUMERIKUS OPTIMÁLÁSA

NUMERICAL OPTIMIZATION OF A 3x3 UV LED MODULE

Varga Zoltán^{*}, Dr. Kalmár László^{**}, Dr. Jármay Károly^{***}

ABSTRACT

This paper describes heat engineering optimization of a UV LED (Light Emitting Diode) module. The CFD numerical simulation of UV LED module is coupled with different numerical optimisation methods. The theoretical and experimental investigations of UV LED module are a common scientific project carried out by University of Miskolc and Applied Science University of Aschaffenburg together. By applying the result of these investigations some article and diploma tasks have been prepared [1] [2] [3]. In the first part of the paper the main elements of UV LED module are shown, after that main steps of numerical simulation (producing the numerical model, developing the geometry, selecting the boundary conditions), then the main characteristics of optimization methods, and finally the result of optimization are presented.

1. BEVEZETÉS

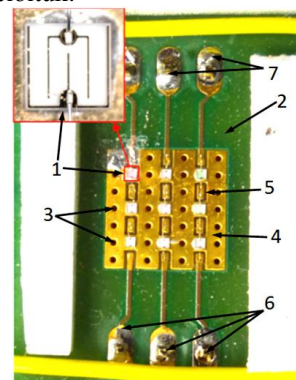
A cikk egy nagyteljesítményű UV LED modul hőtechnikai numerikus optimalásának számított eredményeit mutatja be. A számítási eredmények előállításához szükséges feladat valójában egy CFD numerikus szimulációval egybekötött numerikus optimalás végrehajtása volt. Az UV LED modulban kialakuló hőátviteli folyamat elméleti és kísérleti vizsgálatára a University of Applied Science, Aschaffenburg és a Miskolci Egyetem közös oktatási/kutatási projektjének keretében került sor, amelynek eredményeként több tudományos folyóirat cikk és szakdolgozat kidolgozása valósult meg [1], [2], [3]. A cikkben először UV LED modul szerkezeti felépítése kerül bemutatásra. Ezt követően a numerikus szimuláció főbb lépéseit (a modellalkotást, a geometria kidolgozását és a peremfeltételek megválasztását), továbbá a numerikus optimalás főbb jellemzőit és legvégül az optimalás számítási eredményeit ismertetjük.

2. MODUL BEMUTATÁSA

A cikkben bemutatásra kerülő UV LED modul több főbb részből épül fel, amelynek felülnézeti fényképe az 1. ábrán látható. Az ábrán 1-es számmal jelöltünk egy nagyteljesítményű UV LED-et, amelyből összesen 9 db (3x3 mátrix) elrendezésben került beépítésre a modulba. Az ábra bal felső sarkában a nagyteljesítményű UV LED jelentősen kinagyított fényképe látható. Az ábrán 2-es szám jelöli az FR-4 anyagú nyomtatott áramköri (a továbbiakban NYÁK) lapot, mely dielektrikumként is szolgál.

^{*}okleveles Gépészmérnök, ^{**}egyetemi docens, ^{***}egyetemi tanár
Miskolci Egyetem

Az ábrán 4-es számmal a NYÁK lap felső részén kialakított rézréteget jelöltük, amellyel azonos kialakítású rézlemez a NYÁK lap – fényképen nem látható – túloldalán szintén megtalálható. A két rézlemez közötti intenzív hőcsere az ábrán 3-as számmal jelölt ún. „thermal via”-ák (más szóval „hő-csövek”) segítségével valósul meg, amelyek a képen „sötét színű kis sugarú körök” formájában láthatók. A „thermal via”-ák lényegében állandó falvastagságú rézcsövek, amelyek több helyen a felső és alsó rézréteget fémesen összekötik. A cikkben bemutatásra kerülő numerikus optimaló eljárásban ún. hő-csövek helyzetének termikus szempontból tekintett (esetünkben a kialakuló legkisebb maximális hőmérséklethez tartozó) optimális értékei kerülnek meghatározásra. A fényképen látható felső rézlemez – elektrotechnikai okokból – téglalap alakú bevágások kerültek kialakításra, amelyek a diódák között függőlegesen helyezkednek el. Ezek közül az egyiket az ábrán 5-ös számmal jelöltük.



1. ábra. A modul felülnézeti fényképe

További fontos eleme a modulnak még a 6 és 7-es számmal megjelölt rész, ahol a modulba épített LED-ek üzemszerű működtetéséhez szükséges elektromos áram kerül bevezetésre. Működtetés során az UV LED-ek által a modulba bevitt hőenergia eltávolítása érdekében a NYÁK alsó oldalán egy aktív léghűtést alkalmaztunk. A hűtőrendszer egy alumínium testből és egy ehhez csatlakoztatott – a számítástechnikai iparban is gyakran használt – ventilátorból épül fel.

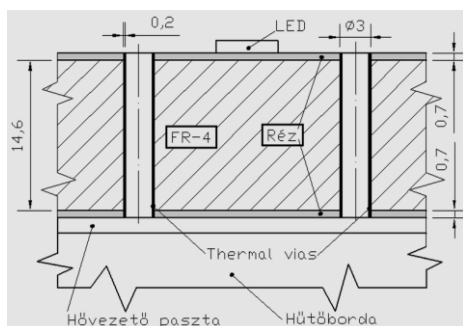
2.1. Nagyteljesítményű UV LED-ek

A nagyteljesítményű UV LED-ek üzemeltetés közbeni hőmérsékletének kiemelt szerepe van az előállított UV fényteljesítmény és az UV LED működtetése során elkerülhetetlenül keletkező nagymértékű hőteljesítmény arányának alakulásában. A beültetett UV LED-ek üzemeltetése során egyenként 390 mW bemenő – felvett –

teljesítményre van szükségük. Ebből a teljesítmény értékből a fényforrást elhagyó – vagyis a hasznos – fényteli teljesítmény összesen csak 30 mW. A két teljesítmény érték különbsége a veszteségteljesítmény UV LED-eként kb. 360 mW fűtő teljesítményt jelent. A közölt adatokból jól látható, hogy a LED-ek ezen típusa meglehetősen rossz hatásfokkal működik, aminek az eredménye a keletkezett – fajlagosan – nagy mennyiségű hő. A diódák egy további nem kedvező tulajdonsága az, hogy kb. 50 °C hőmérséklet felett a hasznos teljesítményük csökkenő tendenciát mutat annak ellenére, hogy a felvett teljesítmény közel állandó. Ezért fontos a LED-ek, illetve az UV LED modul üzemeltetés közben megfelelő hűtéséről gondoskodni és az UV LED-ek üzemeltetés közbeni hőmérsékletét a lehető legalacsonyabb értéken tartani.

2.2. A modul szerkezete

A modul keresztmetszeti rajza a 2. ábrán látható, amely jól szemlélteti a modul réteges szerkezetét.



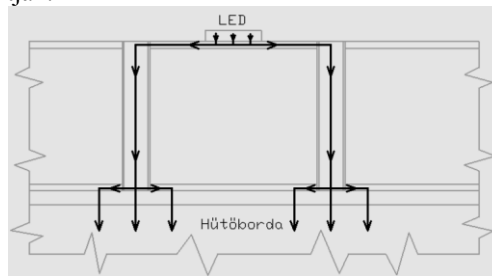
2. ábra. A modul keresztmetszeti rajza

A 2. ábra felső részén látható egy dióda képe is. Az ábrán a NYÁK felső és alsó felületén látható szürke színnel kitöltött részek a 0,7 mm vastag rézrétegeket jelölik, amelyek a NYÁK-lap mindkét oldalán egyaránt megtalálhatók. A két rézréteg között pedig a dielektrikum található, melynek anyaga FR-4. A 2. ábrán az is jól látható, hogy a rézrétegeket 0,2 mm falvastagságú és 3 mm külső átmérőjű rézcsövek, az ún. „thermal via”-k hogyan kötik össze. A 2. ábra legalján az aktív hűtő látható, amelynek egyik eleme – jó hővezető képesség biztosítása érdekében – alumíniumból készült hűtőborda. A hűtőborda és a NYÁK-lap közé összeszerelésük során hővezető pasztát helyeztünk el. Ennek jelenléte javítja a két elem közötti hőátvitelt, vagyis a hővezető paszta használatával nagyobb hőmennyiség tud a bordán keresztül a környezeti levegőbe távozni.

2.3. Hőcsatorna

Hőtechnikai szempontból történő optimalálás végrehajtása során fontos ismernünk, hogy a diódában keletkező hőmennyiség jelentős része a modulon belül milyen útvonalon tud távozni a környezetbe. A dielektrikum egy rossz hővezető képességű ún. FR-4 jelű anyagból készült, amelynek a hővezetési tényezője kb. ezred része a rézének. Ennek köszönhetően a modulban üzem közben keletkezett hőmennyiség kb. 80 %-a a 3. ábrán berajzolt nyílfolynak megfelelő úton az modulelemek alábbi

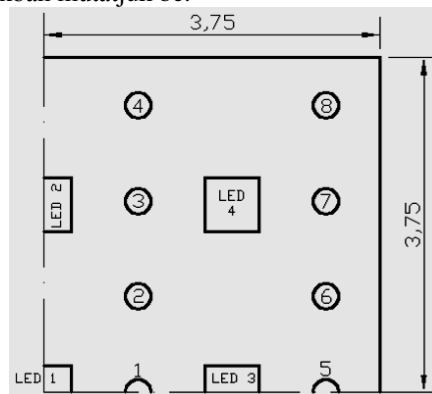
sorrendjében távozik a modul alsó oldala felé: LED-ek – felső rézréteg – thermal via-k – alsó rézréteg – hővezető paszta – hűtőborda – környezeti levegő. Ezt az állítást a [2]-ben bemutatott szimulációs eredmények is alátámasztják.



3. ábra. A keletkezett hőenergia eltávozásának útvonala

3. 2D-S MODELL

A modul előző részben bemutatott komplex geometriáját a CFD-vel összekötött optimalálás végrehajtása során kénytelenek voltunk leegyszerűsíteni és 2D-s számítási modellt kidolgozni. Ezen felül arra az elhatározásra jutottunk, hogy az optimalálás végrehajtása során a „thermal via”-k középpontjainak optimális helyzeteit úgy határozzuk meg, hogy az UV LED modul működtetése során a modulban üzem közben kialakuló hőmérséklet eloszlásban a maximális hőmérséklet értéke a lehető legkisebb legyen. Ennek a szempontnak a figyelembevételével kialakított kétdimenziós modellt az alábbiakban mutatjuk be.



4. ábra. Az optimalálás során is alkalmazott kétdimenziós modell

A 4. ábrán a numerikus optimalálás során alkalmazott 2D-s modell látható. Szimmetria tulajdonságokat is figyelembe véve a számítási modell csak ún. felső (vagyis a LED-ek alatti) rézréteg negyedét tartalmazza, amelyen a diódák körvonalainak megfelelő négyzet keresztmetszeteket (mint hőforrást) és a „thermal via”-nak megfelelő kissugarú kör-keresztmetszeteket pedig (mint hőnyelőket) tekintjük.

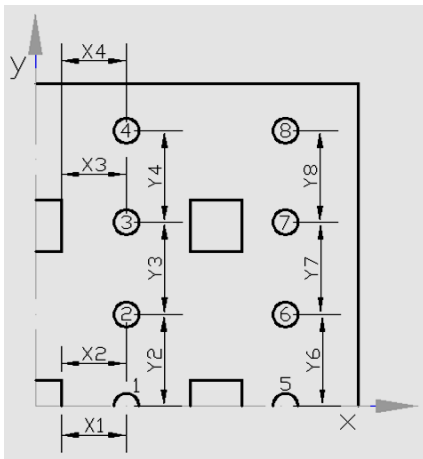
4. OPTIMÁLÁS

Az így kialakított számítási modul felhasználásával a CFD szimulációt az ANSYS v13 szoftvercsomagban található Fluent véges térfogatok elvén alapuló kereskedelmi szoftverrel végeztük el, ami közvetlenül a hőmér-

séklet eloszlások meghatározását tette lehetővé. A szoftvercsomagba beépített *Goal Driven Optimization* modult pedig a kidolgozott célfüggvények szélsőértékeinek meghatározására használtuk.

4.1. Optimálás kiválasztott változói

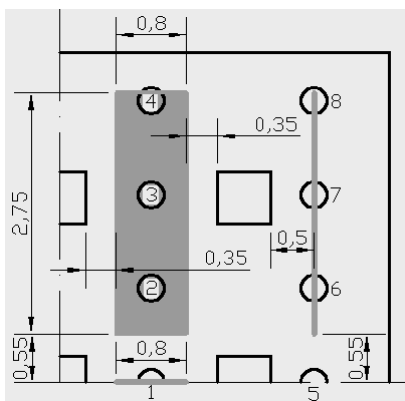
A kialakított kétdimenziós modellben – szimmetria viszonyokat is kihasználva – összesen 8 db „*thermal via*” található, amelyek a 4. ábrán felülnézetben kör alakúak és helyzetük 8 db különböző középponttal adható meg. Ezeknek a középpontoknak keressük az optimálás célfüggvényének legjobban megfelelő helyzetét. Egy kör középpontjának – mivel a modell kétdimenziós – két koordinátája van, ami összesen 16 db változót jelent. A geometriai viszonyok, gyárthatósági és egyéb más indokok miatt azonban végül összesen csak 10 db koordináta változását engedték meg. Vagyis az optimálás során 10 db ($X_1, X_2, X_3, X_4, Y_2, Y_3, Y_4, Y_6, Y_7$ és Y_8) jelű változót használtunk, amelyek elhelyezkedése az 5. ábrán látható.



5. ábra. Optimálás változói

4.2. Optimálás kiválasztott változóinak határai

A változók értékei optimálás végrehajtása során csak adott alsó és felső határ között mozoghatnak. Ezeket a tartományokat a 6. ábrán grafikusan megjelöltük, vagyis az ábrán szürkével megjelölt területek jelentik az adott változó(k) mozgástereit.



6. ábra. A változók mozgásterei szürke színnel jelölve

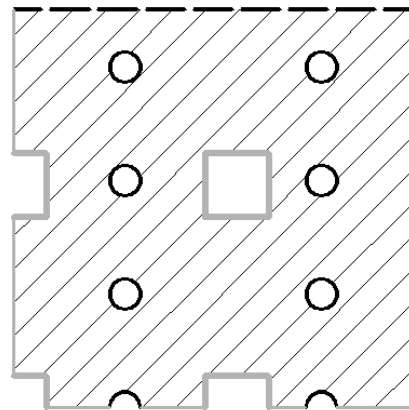
4.3. Optimálás során alkalmazott háló

Minden numerikus szimulációnál nagyon fontos az alkalmazott numerikus háló nagysága és minősége. A nagyság a futtatás számítási szükségletével arányos, míg utóbbi – a minőség – a kapott megoldás elfogadhatóságáért és a megoldás konvergenciájáért felel. Az optimálás során a megoldó minden lépésben újrakészítette a megfelelő geometriát, így olyan feltételeket kellett megadni a hálózásra, mely bármely geometriai variációnál minden szempontból megfelelő legyen. Ezért a megoldás során végül sűrítés nélküli háromszög elemeket összesen kb. 9000 db-ot alkalmaztunk.

4.3. A numerikus szimuláció peremfeltételei

A szimuláció elméleti alapját jelentő differenciál egyenlet rendszerek megoldásához szükség van a kezdeti- és peremfeltételek megválasztására is. A számítások minden esetben időben állandó esetre vonatkoztak. A kezdeti hőmérsékletet a teljes számítási tartományon belül 300 K értékre választottuk.

A peremfeltételi előírásokat a könnyebb áttekinthetőség érdekében a 7. ábra segítségével mutatjuk be.



7. ábra. Peremfeltételek

Az ábrán vastag szürke vonallal rajzolt négyzetek a LED-ek körvonalait jelentik, amelyek a modellünkben a hőforrások elhelyezkedését jelölik. Fekete vastag körökkel a *thermal via*-k láthatók, amelyek a szimulációban hőnyelőként funkcionálnak. Az ábrán a beszaftozott rész jelenti a számítási tartományt. A 7. ábra bal és alsó oldalán látható vékony szürke vonallal a szimmetria peremfeltétel helyét jelöltük, továbbá az ábra felső és jobb oldalán található vastag szaggatott vonal a tartomány határát jelenti (ahol nincs semmilyen hőátadás).

Fontos megjegyeznünk, hogy az optimálás során készülő szimulációkban a számítási tartomány anyaga nem réz volt hanem, egy annál rosszabb hővezetési tényezővel rendelkező anyag. Ennek az elhatározásnak az volt az oka, hogy a kialakuló nagyobb hőmérsékleti különbségek a végeredményekbe jobban megjeleníthetők és így az kapott eredmények jobban kiértékelhetők lettek.

4.4. Célfüggvények

A feladat megoldása során két célfüggvénnyel és két különböző numerikus optimálási eljárással dolgoztunk. A [3]-ben ezek leírása és az eredmények részletes bemutatása megtalálható. Itt terjedelmi okok miatt csak

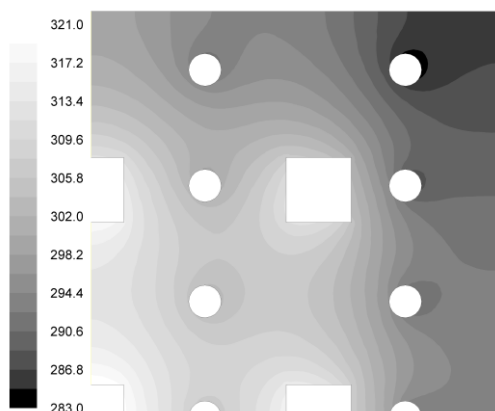
egy célfüggvény alkalmazása esetében kapott számítási eredményeinket mutatjuk be.

Az egyik legfontosabb feladat az UV LED modul üzemeltetése során a modul üzemi körülmények során kialakuló hőmérsékletének csökkentése. Az előzőekben bemutatott 3x3 UV LED modul esetében a beépített alkatrészek anyaga és azok darabszáma adott volt. A diódák 3x3 mátrix elrendezése miatt belátható, hogy a középső helyen lévő melegszik a legjobban, így ennek a hőmérsékletét kellett leginkább csökkenteni.

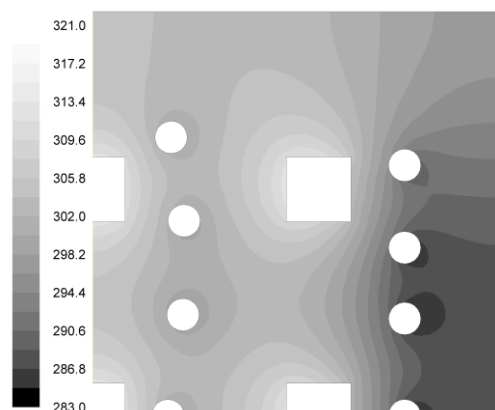
Az előbbi feltételnek megfelelően az alábbi célfüggvényt használtuk: a maximális hőmérséklet legkisebb értéke akkor alakul ki, amikor a LED-eket határoló kerületek átlaghőmérsékletei közel azonosak. A vizsgálat során az ANSYS szoftvercsomag beépített *Goal Driven Optimization* csomagjában található *Screening* eljárással vizsgáltuk.

Végül bemutatunk néhány számítási eredményt:

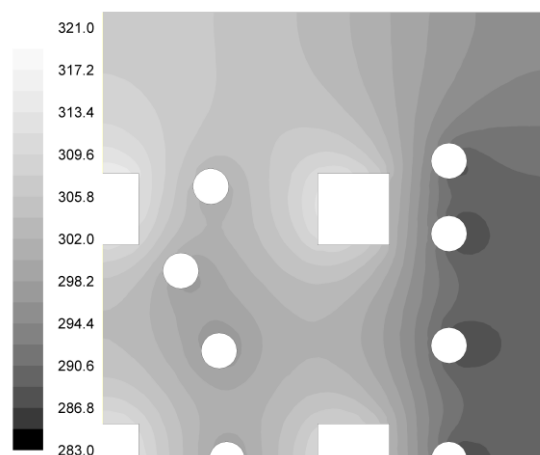
Az UV LED modul vázolt alaphelyzetéhez (lásd az 1. és az 5. ábrát) tartozóan meghatározott abszolút hőmérséklet eloszlását a 8. ábrán láthatjuk. A 9. és a 10. ábrán az optimalizálás első és második kapott számítási eredményét mutatjuk be. A könnyebb összehasonlíthatóság érdekében mind a 8, 9 és 10. ábrákon azonos hőmérsékleti skálát alkalmaztunk.



8. ábra. Abszolút hőmérséklet eloszlása alaphelyzetben



9. ábra. Az optimalizálás első eredménye, abszolút hőmérséklet eloszlása



10. ábra. Az optimalizálás második eredménye, abszolút hőmérséklet eloszlása

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az optimalizálás alkalmazásával sikerült elérni az a kívánt célt, hogy a *thermal via*-k helyzetének optimális megválasztásával a diódák maximális hőmérséklet kisebb legyen.

Ezt az alábbi számértékek összevetésével tudjuk szemléltetni. Az UV LED modul alapesetére elvégzett szimuláció eredményeként kapott hőmérséklet eloszlás ismeretében a középső (4. ábrán 1-jelű LED) abszolút hőmérséklete a fent ismertetett peremfeltételek mellett 319,4 K adódott. Az optimalizálás első (legjobb) eredményeként kapott hőmérséklet eloszlás alapján pedig a középső LED hőmérséklete csak 310,5 K értékű volt. Ha figyelembe vesszük a kezdeti hőmérséklet eloszlásra az előírt állandó 300 K kezdeti feltételt, akkor láthatjuk, hogy ez kb. 46 % termikus ellenállás csökkenést jelent, annak ellenére, hogy a szélső LED (4. ábrán, a 4-es jelű LED) hőmérséklete csak 1,1 K-al emelkedett.

Jövőbeli terveink között szerepel, hogy a németországi társeggyetemmel további közös kutatási feladatokat oldjunk meg.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. IRODALOM

- [1] Johannes Glaab: *Development of UV LED Modules for production technology and water purification*, MSc diplomatervezés, Aschaffenburg, 2010
- [2] Varga Zoltán Dénes: *Numerical Simulation of Heat Transfer Procedure in High Power LED Modules*, BSc szakdolgozat, Aschaffenburg-Miskolc, 2010
- [3] Varga Zoltán Dénes: *Nagyteljesítményű UV-LED Modulban kialakuló hőátviteli folyamat CFD szimulációja*, MSc diplomatervezés, Aschaffenburg-Miskolc, 2012