

Čočky pro rovnoměrné osvětlení pomocí LED

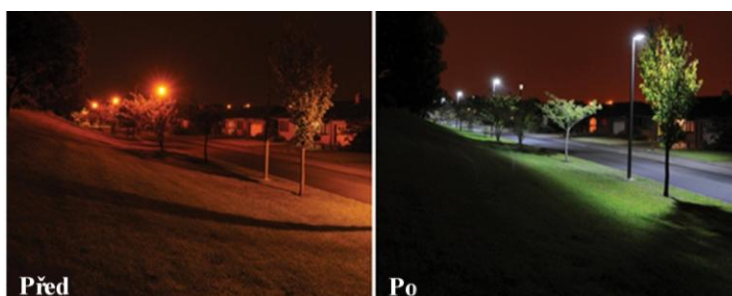
Bc. Michal Šolc, doc. RNDr. Miroslav Šulc, Ph.D.

Abstrakt

Cílem práce je naučit se pracovat s optickým programem OpticStudio 14 od společnosti ZEMAX a pomocí něho navrhnout a simulovat freeform čočku pro rovnoměrné obdélníkové výstupní LED osvětlení. Pro modelování čočky byla použita bikonická Zernikova plocha, která byla pomocí optimalizace a následné simulace vymodelována do potřebovaného tvaru. Na základě této práce bylo možné vyrobit freeform čočku pomocí přesné 3D tiskárny, která osvětluje plochu ohraničeného obdélníku s poměrem stran 10 : 1.

Úvod

Moderní freeform čočky umožňují směřovat paprsky na přesně definované místo. Oproti standardním sférickým čočkám lze tak směřovat světelný tok pouze na pozemní komunikace, přechody či reklamní plochy a zamezit tak úniku světelných paprsků do prostoru, a tím zvýšit účinnost tohoto osvětlení a ušetřit náklady za energii. Jejich použití zároveň omezí světelné znečištění, které vzniká osvětlením nežádoucích ploch pouličními světly a září v okolí reklamních ploch.



Obrázek 1. Příklad moderního osvětlení pomocí freeform čoček.

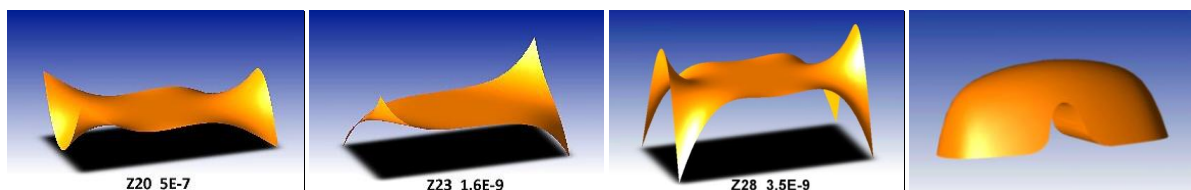
Pro návrh freeform čočky, která bude rovnoměrně osvětlovat obdélníkový prostor, je vhodná rovnice bikonické Zernikovy plochy s využitím Z term kořenů.

$$z = \frac{c_x x^2 + c_y y^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_x)c_x^2 c^2 - (1 - k_y)c_y^2 y^2}} + \sum_{i=1}^{16} \alpha_i x^i + \sum_{i=1}^{16} \beta_i y^i + \sum_{i=1}^{16} A_i Z_i(\rho, \varphi), \quad (1)$$

kde $c_x = \frac{1}{R_x}$, $c_y = \frac{1}{R_y}$, R_x a R_y jsou poloměry zakřivení ve směru y a x , k_x a k_y jsou kónické konstanty v x a y asférických koeficientech, N je počet Zernikových koeficientů v sérii, A_i je koeficient i^{th} Zernikovy radiální souřadnice. Pro návrh freeform čoček je nutné zvolit výkonný software využívající metodu "Ray tracing", jako je například ZEMAX OpticStudio 14, který je určen pro práci s optickými elementy a umožňuje jejich následné simulace a optimalizace pomocí meritní funkce.

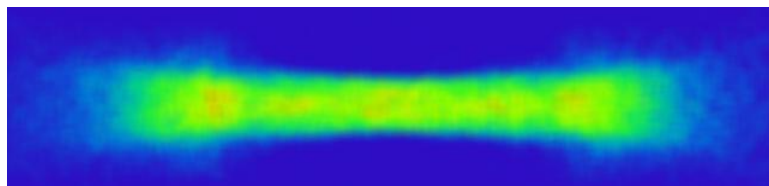
Experiment a metody

V programu OpticStudio 14 umožňuje zvolit mód NCS Roadway Lighting, který je určen pro danou problematiku a usnadňuje postup návrhu osvětlení. Je nutné přesně definovat světelný zdroj LED a dále všechny plochy freeform čočky, které budou směřovat paprsky na detektor. Pro přibližnou představu vlivu jednotlivých Z-termů na plochu jsem nasimuloval přehledné příklady. Složením několika desítek asférických koeficientů a Z-termů lze vytvořit model freeform čočky.



Obrázek 2. Příklad Z-termů a výsledné čočky v OpticStudios 14

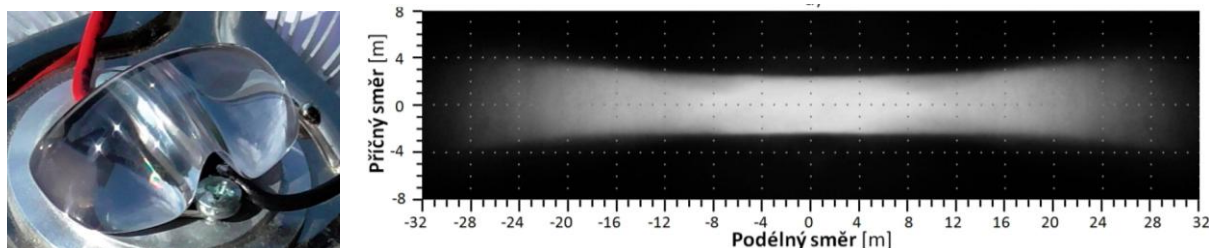
Vytvořenou čočku můžeme protrasovat a zjistit výslednou světelnou mapu. Naprogramováním vhodné nastavené meritní funkce je čočka finálně optimalizována pro rovnoměrné obdélníkové osvětlení.



Obrázek 3. Průběžná simulace dosažených výsledků osvětlení

Výsledky a diskuze

Na základě přesného návrhu freeform čočky bylo možné vyrobit freeform čočku pomocí přesné 3D tiskárny. Rozložení světelné intenzity je velmi dobře homogenní s ostrými okraji, vezmeme-li v úvahu, že se jedná o LED s poměrně velkým 4 mm^2 čipem se světelným tokem 1200 lumen a freeform čočku o rozměrech $34 \times 21 \text{ mm}$ a výškou 12,5 mm. Vyzařovací úhel čočky je $25 \times 140^\circ$ a osvětluje prostor o tvaru obdélníku s poměrem stran 10 : 1.



Obrázek 4. Freeform čočka a výsledná změřená světelná mapa na stínítku

Závěr

Změřená světelná mapa a vyzařovací charakteristiky odpovídají simulacím v OpticStudios 14, což potvrzuje přesnost výroby freeform čočky pomocí 3D tiskárny. Nepatrný vliv na světelnou mapu může mít přesnost 3D tiskárny či preciznost usazení a leštění povrchu čočky. Navržená freeform čočka umožňuje osvětlit pouze požadovanou plochu a ušetřit tak 50 % energie a omezit světelné znečištění.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Doc. RNDr. Miroslavu Šulcovi, Ph.D z TU Liberec a konzultantovi Mgr. Radku Melichovi, Ph.D. z Ústavu fyziky plazmatu AV ČR za poskytování odborných rad, praktických zkušeností a také za jejich ochotu a čas, který mi věnovali.

Reference

- [1] MALÝ, Petr. *Optika*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2008, 361 s. ISBN 978-80-246-1342-0.
- [2] MOISEEV, M. A., DOSKOLOVICH, L. L., *Design of high-efficient freeform LED lens for illumination of elongated rectangular regions*. OPTICS EXPRESS, 9. 5. 2011, Vol. 19, No. S3.
- [3] STARK, T. *Zernike Polynomials* [online]. c2006 StarkEffects [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <<http://www.starkeffects.com/zernikepoly.shtml>>.