

Technická univerzita v Liberci

STUDENTSKÁ KONFERENCE FAKULTY MECHATRONIKY, INFORMATIKY A MEZIOBOROVÝCH STUDIÍ

2. červen 2015, Liberec, Česká republika

Freeform čočky pro rovnoměrné osvětlení pomocí LED

Bc. Michal Šolc, doc. RNDr. Miroslav Šulc, Ph.D., Ústav mechatroniky a technické informatiky

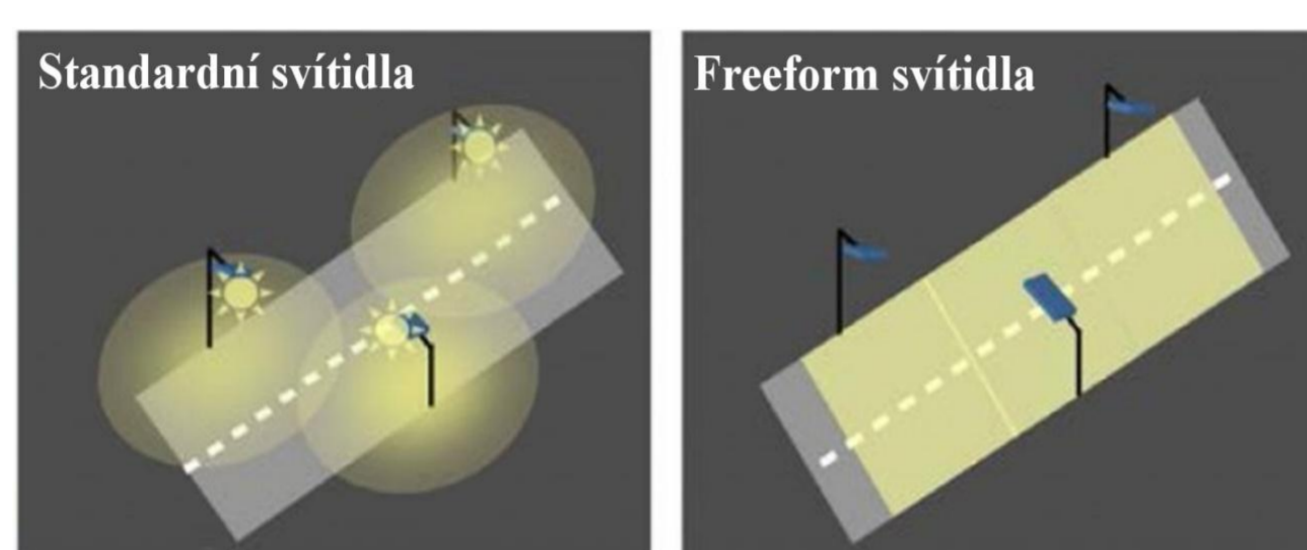
ABSTRAKT

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 Zernikeho plocha, která byla pomocí optimalizace a následné simulace vymodelována do potřebného tvaru. Potom byla nastavena meritní funkce, podle které byla čočka finálně optimalizována pro rovnoměrné obdélníkové osvětlení.

Na základě této práce bylo možné vyrobit freeform čočku pomocí přesné 3D tiskárny, která osvětluje plochu ohraničeného obdélníku s poměrem stran 10 : 1. Freeform čočka má rozměry 34 × 21 mm s výškou 12,5 mm a vyzařovací úhel 25 × 140°. Výsledné změřené parametry se shodují s parametry, které byly simulovány v OpticStudio 14, což potvrzuje správný návrh a výrobu freeform čočky.

Problematika freeform čoček

- 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.
- Cílem práce je naučit se pracovat v prostředí programu OpticStudio 14, navrhnout freeform čočku pro LED a realizovat prototyp čočky.

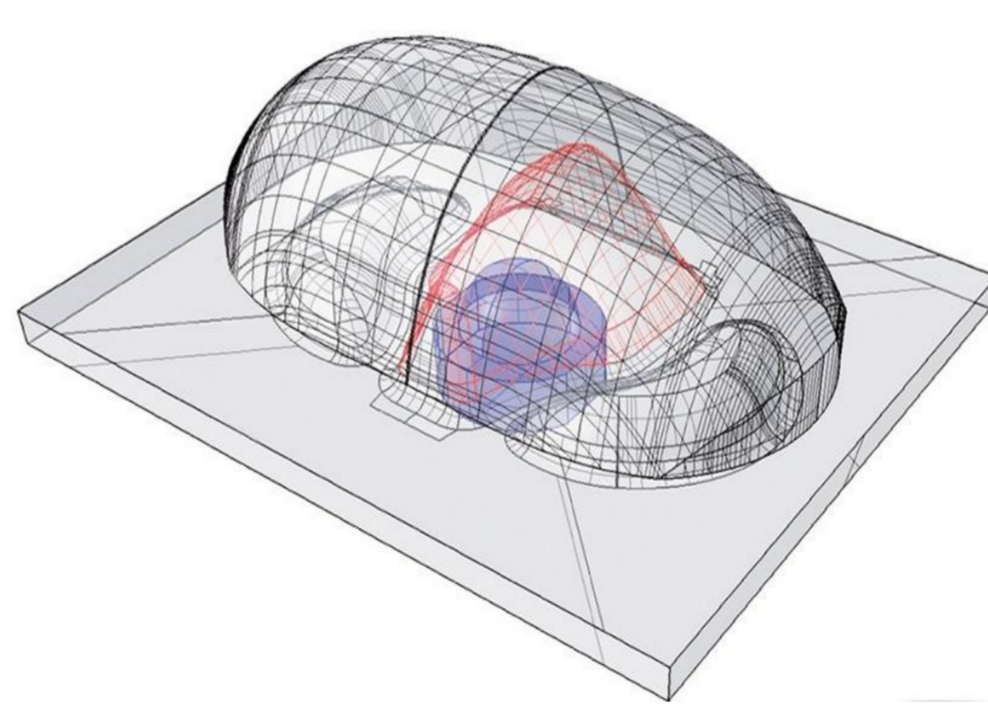
Matematická analýza

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

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

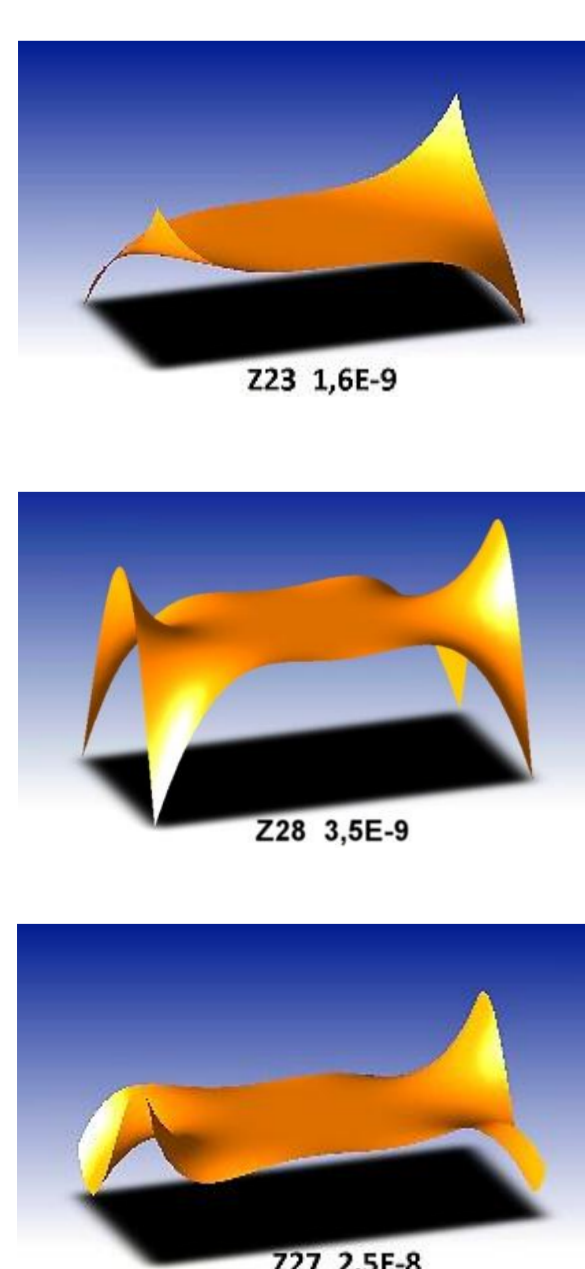
kde R_x a R_y jsou poloměry zakřivení ve směru y a x , k_x a k_y jsou kónické konstanty v x a y asférických koeficientech, N je počet Z-termů, A_i je koeficient i^{th} Zernikeho radiální souřadnice.

- 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.

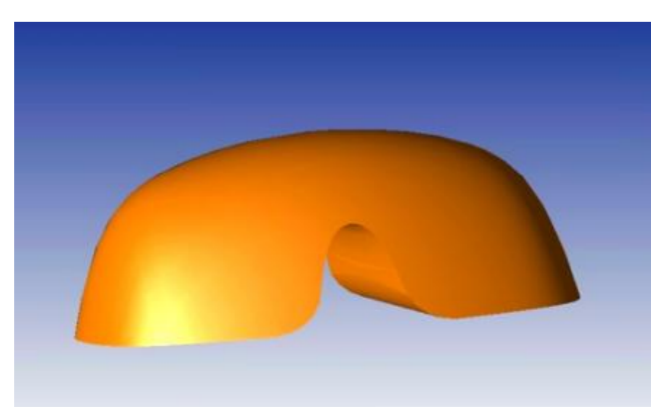


Simulace a optimalizace v ZEMAX OpticStudio 14

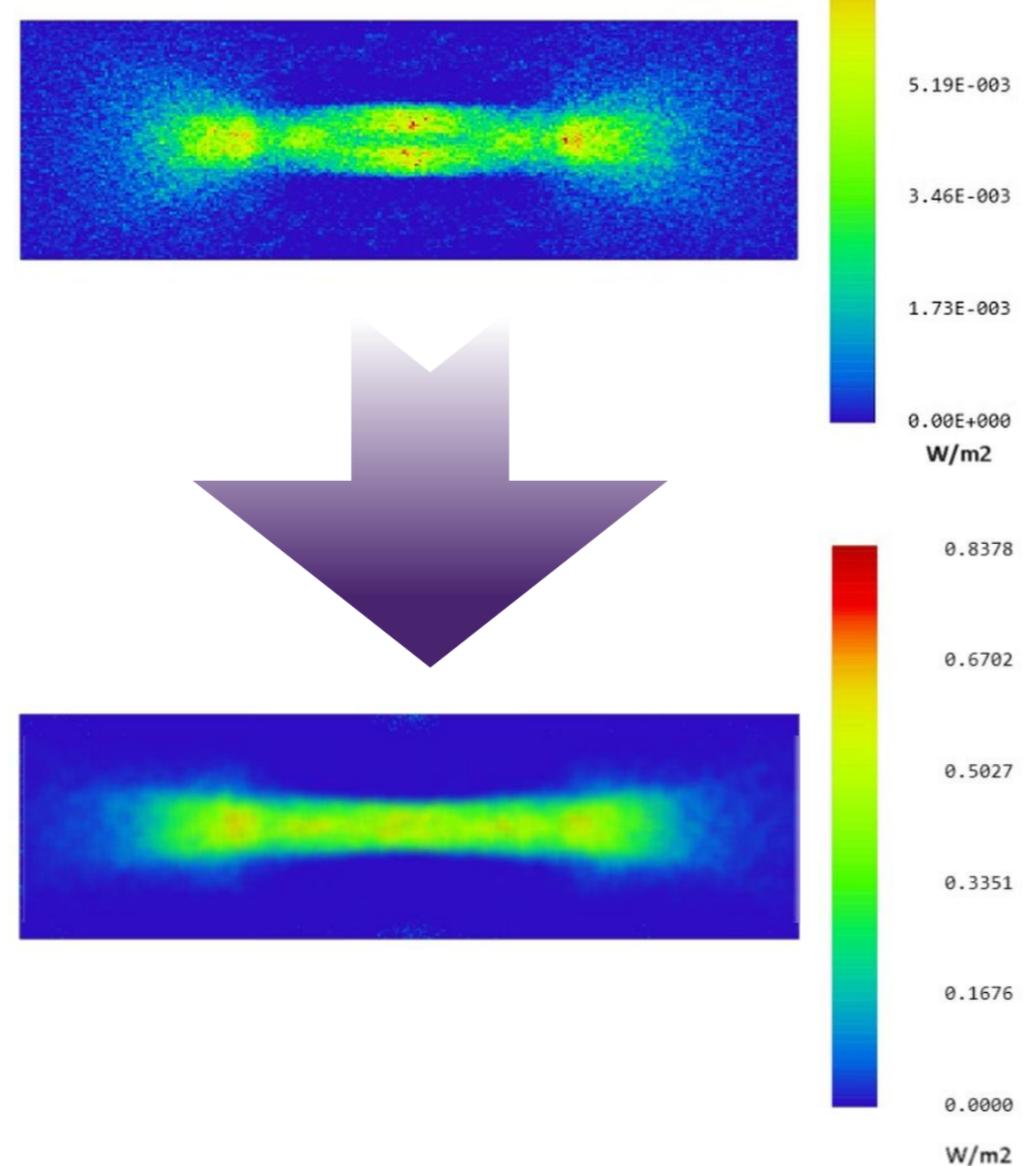
- Pro přibližnou představu vlivu jednotlivých Z-termů na plochu jsem nasimuloval přehledné příklady.
- Složením několika desítek asférických koeficientů a Z-termů lze vytvořit model freeform čočky.
- Vytvořenou čočku můžeme protarasovat a zjistit výslednou světelnou mapu.
- Naprogramováním vhodně nastavené meritní funkce je čočka finálně optimalizována pro rovnoměrné obdélníkové osvětlení.



Modelování

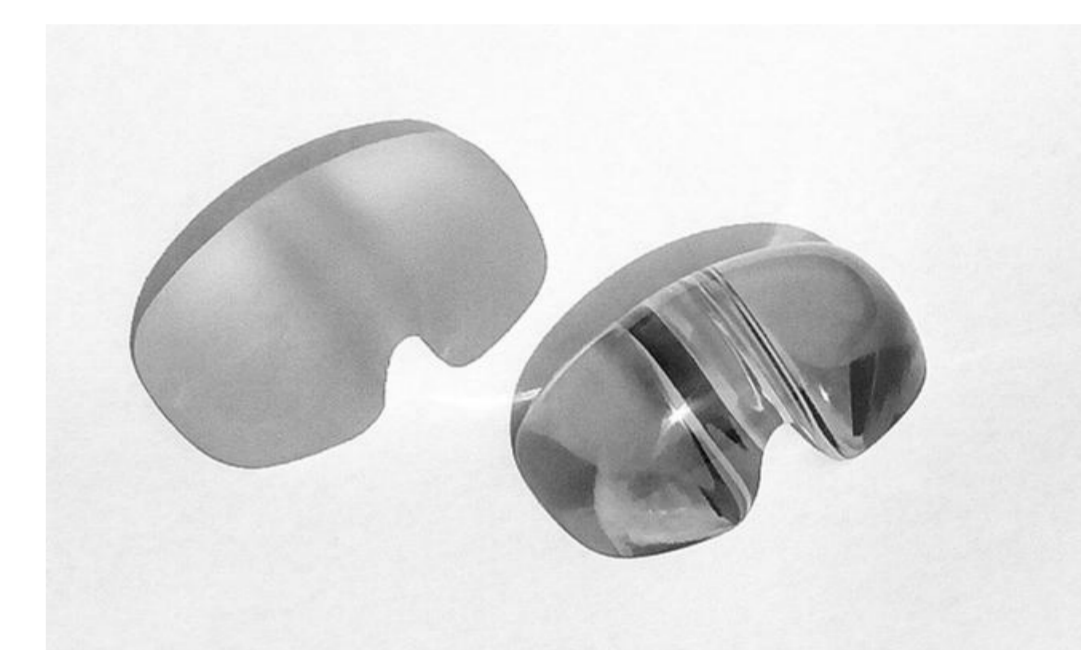
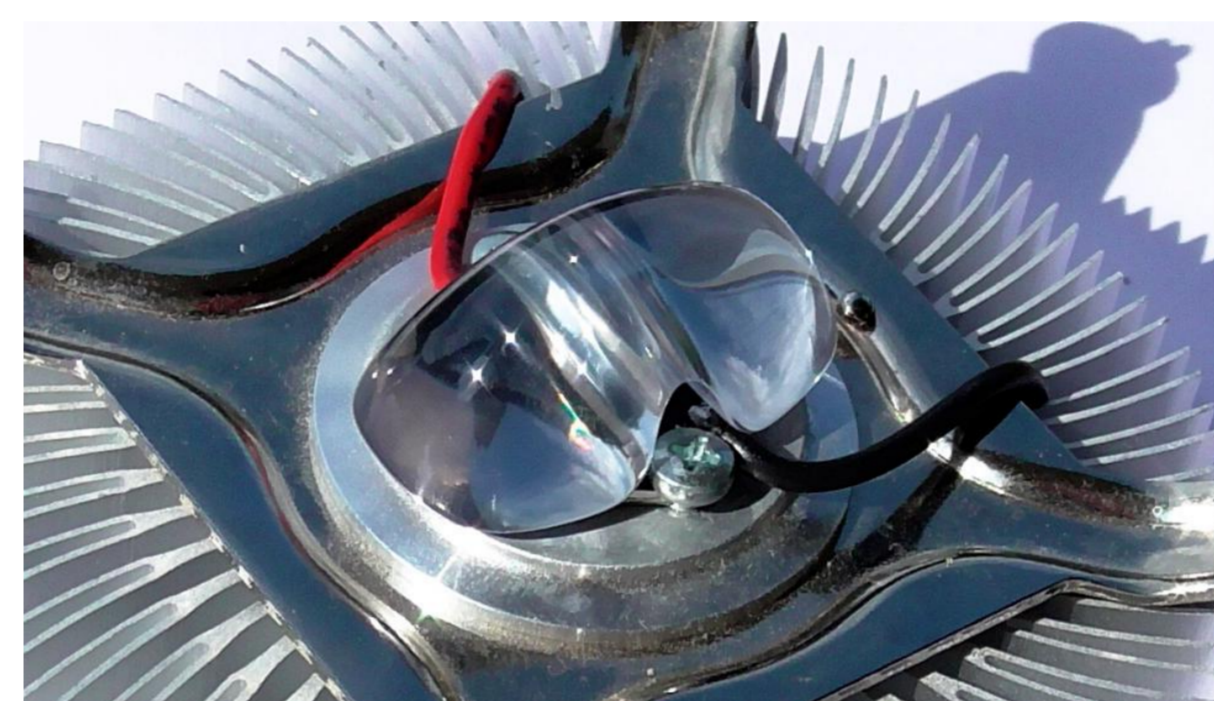


Optimalizace



Výroba pomocí 3D tiskárny

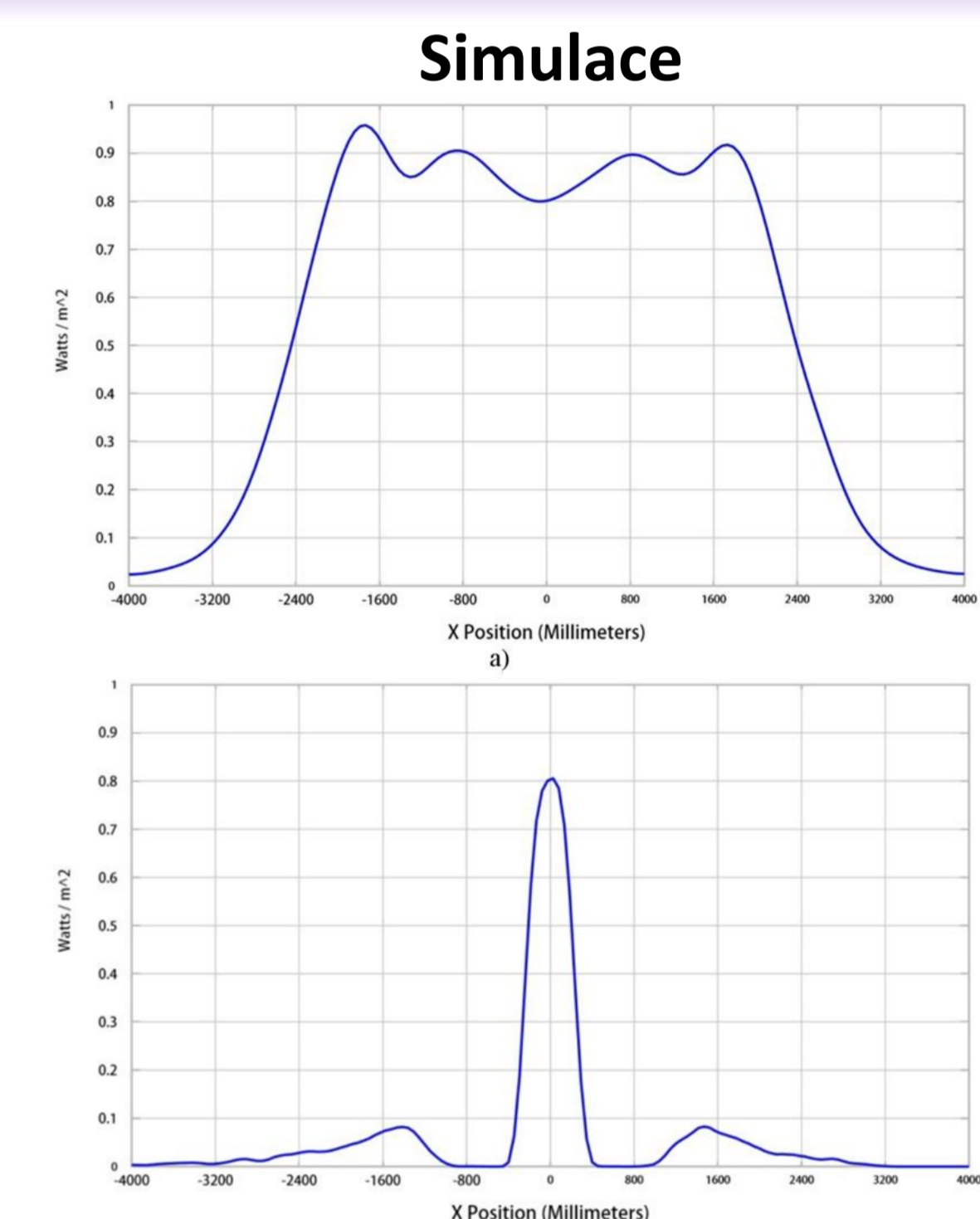
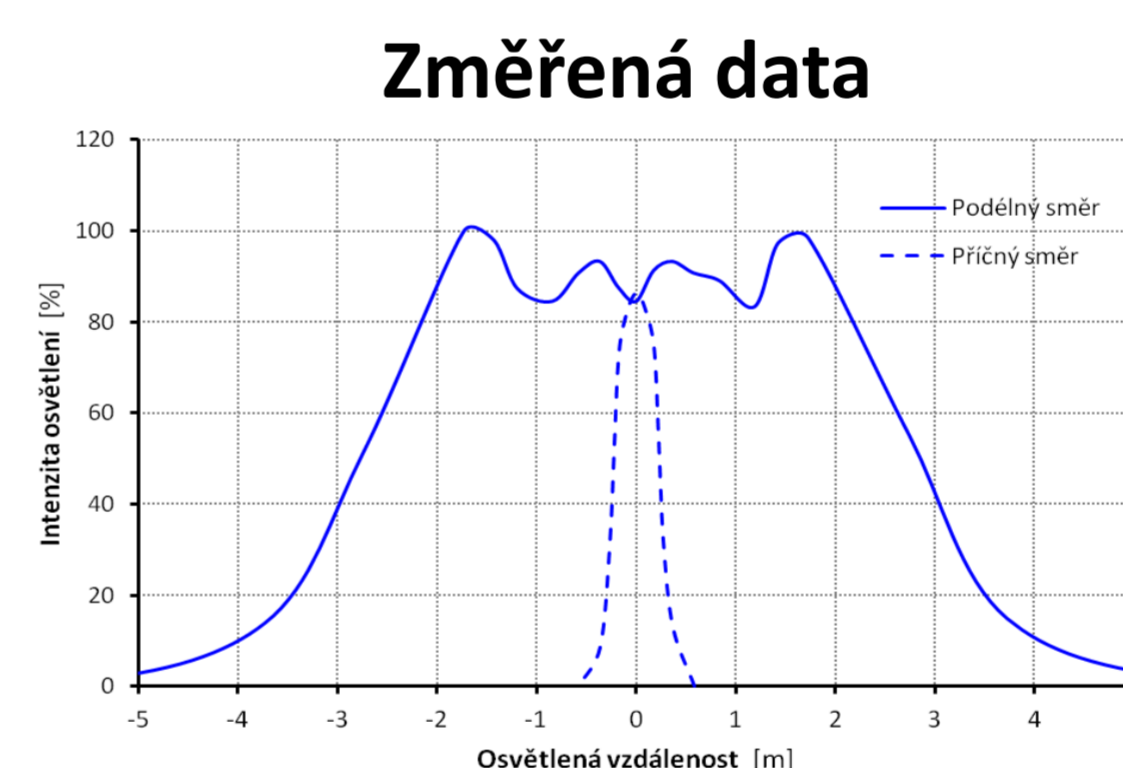
- Na základě přesného návrhu freeform čočky ji bylo možné vyrobit pomocí přesné 3D tiskárny CONNEX 500.
- Dále byla čočka po vytisknutí vyleštěna.
- Výsledná freeform čočka má rozměry 34 × 21 mm a výšku 12,5 mm.



- Pro simulace i měření byla zvolena LED Cree XM-L2 s poměrně velkým 4 mm² čipem a se světelným tokem 1200 lumen.
- Při měření byla čočka umístěna na LED s chladičem a napájena konstantním proudem 3 A.

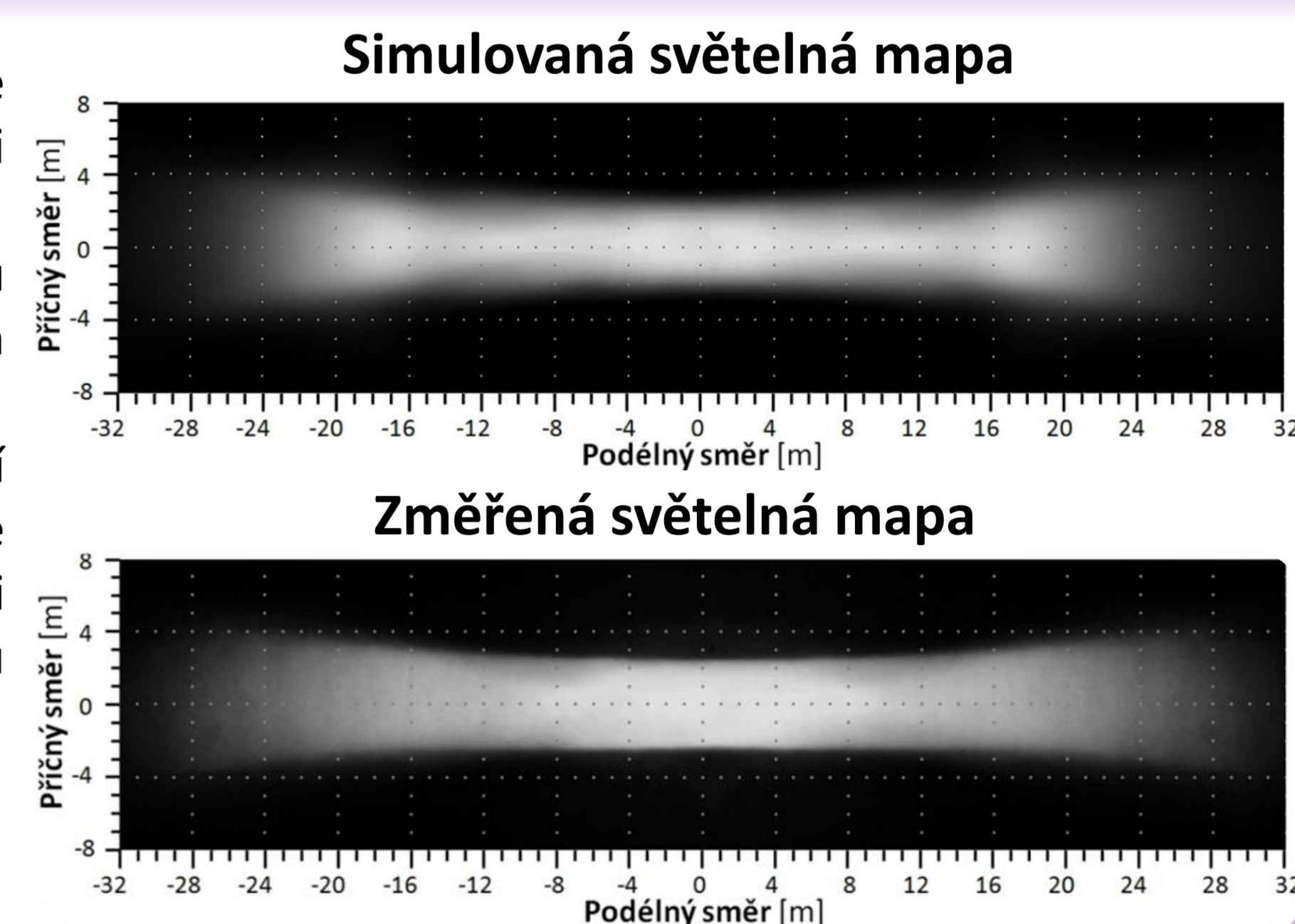
Měření vyzařovací charakteristiky

- Vyzařovací charakteristiky byly změřeny v podélném a příčném směru.
- Data byla sbírána pomocí sondy Spektrometru AvaSpec - 128 připojeného přes rozhraní USB2 k PC.
- Měření freeform čočky probíhalo v zatemněné místnosti, kvůli potlačení rušivého okolního světla.



Porovnání světelných map

- Rozložení světelné intenzity je velmi dobře homogenní s ostrými okraji.
- Čočka osvětluje plochu ve tvaru obdélníku o rozměrech 58 × 5 m z výšky 10 metrů.
- Nepatrný vliv na rozložení intenzity ve světelné mapě může mít přesnost 3D tiskárny či preciznost usazení a leštění povrchu čočky.



Závěr

Podařilo se vyrobit freeform čočku s velmi protáhlou světelnou mapou. Změřená světelná mapa a vyzařovací charakteristiky odpovídají simulacím v OpticStudio 14, což potvrzuje přesnost výroby freeform čočky pomocí 3D tiskárny. Freeform čočka je vhodná zejména pro osvětlení cyklostezky či pozemních komunikací, ušetřit tak 50 % energie a omezit světelné znečištění. Umožňuje nahradit standardní sodíková svítidla, která jsou umístěna dál od sebe a intenzita osvětlení komunikace mezi jednotlivými svítidly je prakticky nulová. Pomocí freeform čoček lze vytvořit rovnoměrné osvětlení této komunikace. Dále umožňuje instalaci nového osvětlení s většími rozestupy stožárů, čímž šetří náklady na vybudování nového osvětlení.

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., KAZANSKIY, N. 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 StarEffects [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.stareffects.com/zernikepoly.shtml>.

Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2015.