



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
www.tul.cz

# Užití systému Matlab při optimalizaci intenzity tepelného záření na povrchu formy

Radek Srb<sup>1)</sup>

Jaroslav Mlýnek<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

<sup>2)</sup> Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická

# Obsah

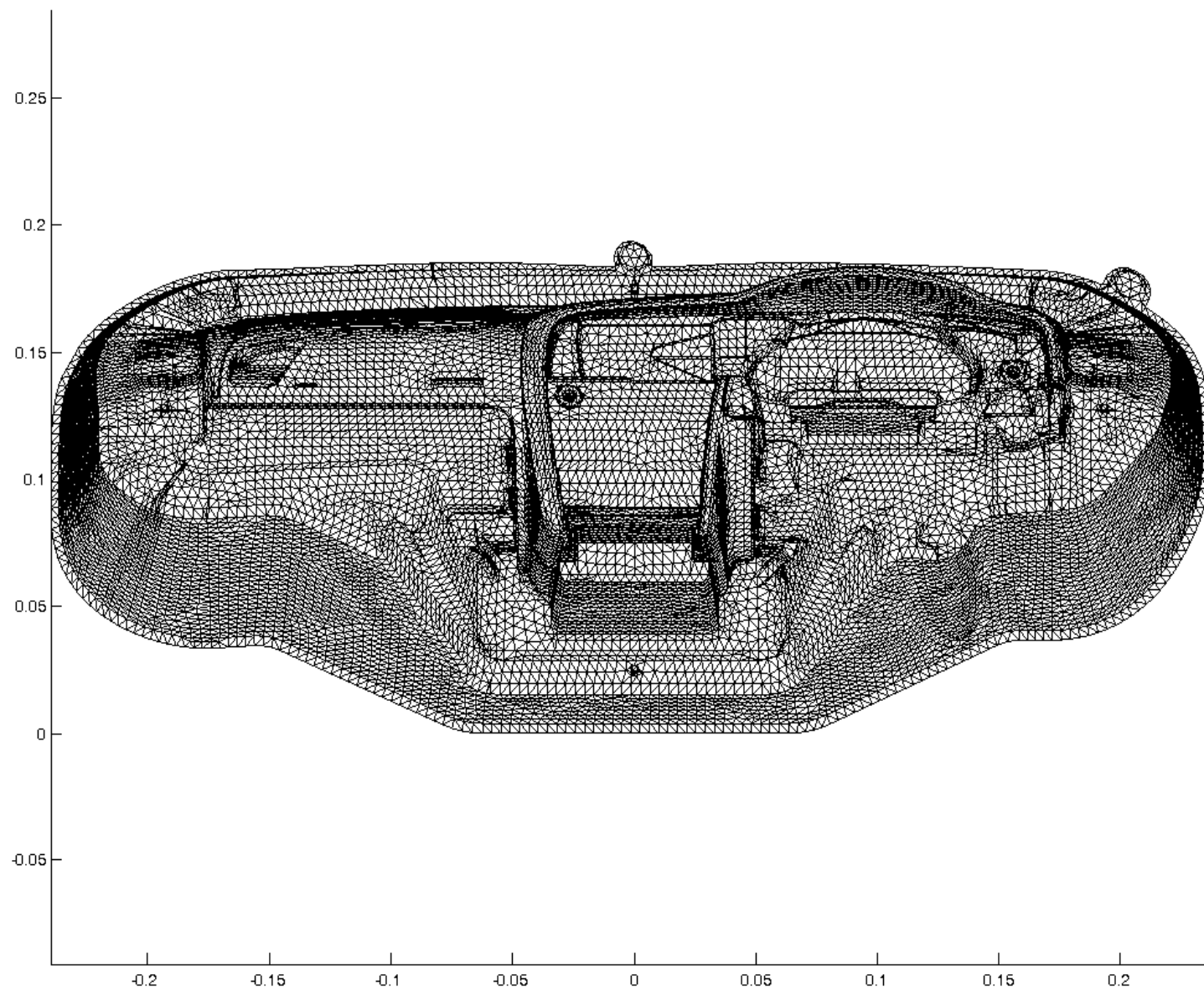
- **Řešená problematika** – zahřívání hliníkové formy na výrobu umělých kůží v automobilovém průmyslu, k zahřívání užity infrazářiče, požadavek rovnoměrné intenzity záření na celém povrchu formy.
- **Sestavení modelu tepelného záření** – reprezentace formy a infrazářičů ve 3-dimensionálním Euklidovském prostoru  $E_3$ , popis formy, popis infrazářiče.
- **Optimalizace nastavení infrazářičů nad formou** – použití genetického algoritmu, úloha naprogramována v systému Matlab (včetně knihovny Global Optimization Toolbox).
- **Obdržené výsledky optimalizace**

# Forma

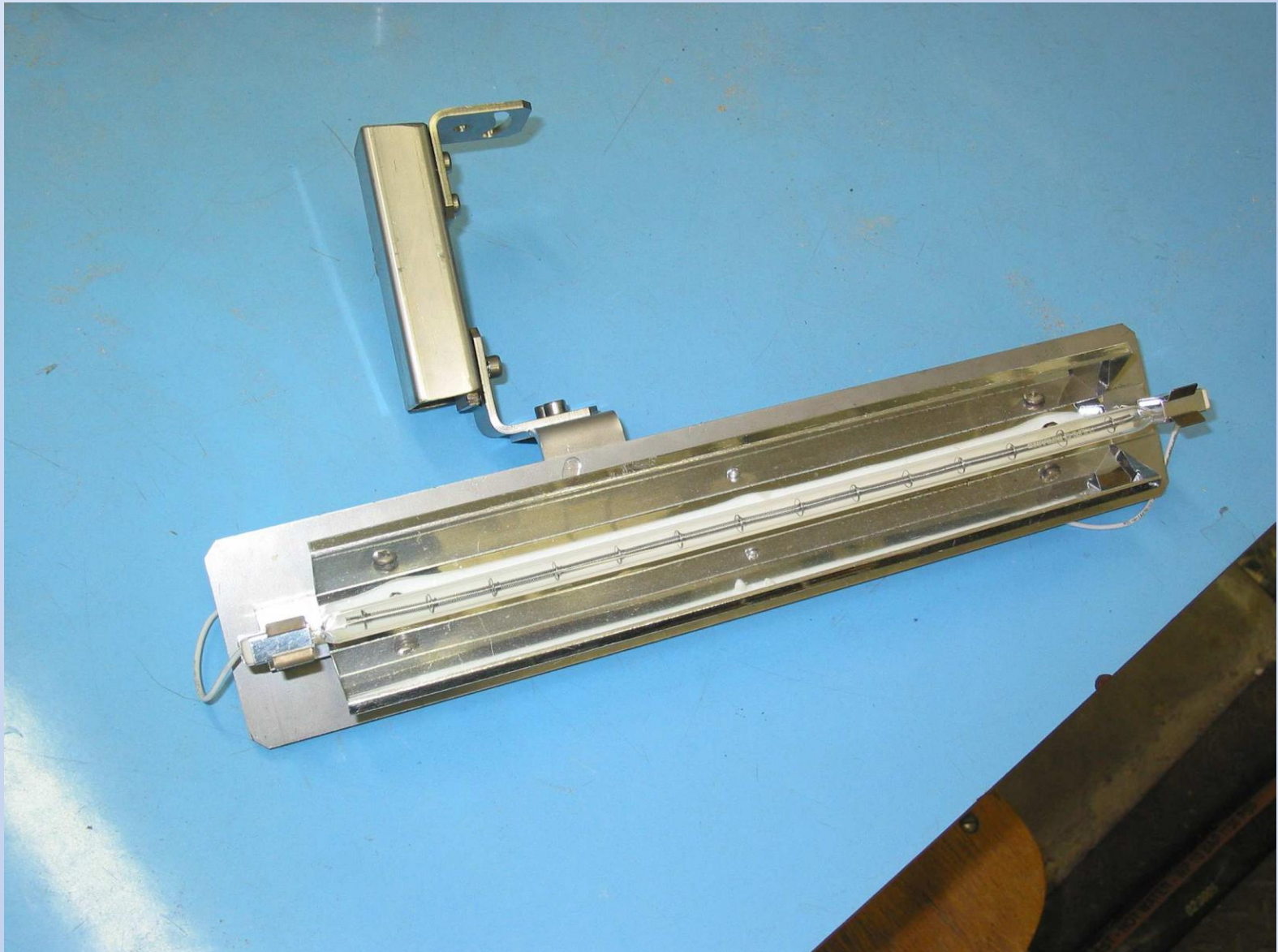
- Forma zadána pomocí elementárních ploch, každá elementární plocha definována pomocí následujících parametrů: těžiště, vektor vnější normály v těžišti, obsah elementární plochy.
- Každá elementární plocha jednoznačně určena 6-ti parametry.
- Používají se formy z hliníku nebo niklu.

# Zářič

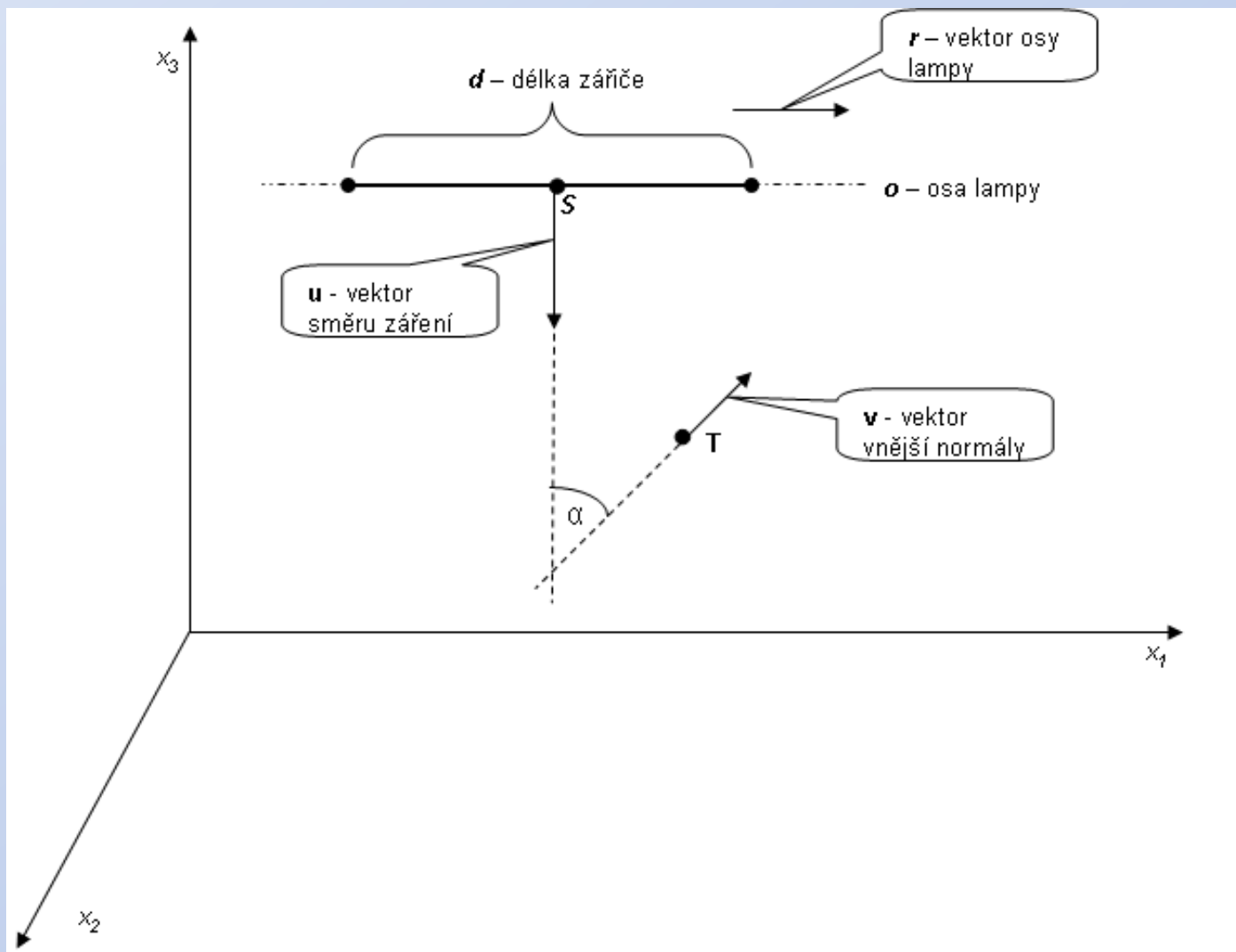
- Poloha infrazářiče je určena následujícími parametry: souřadnice středu infrazářiče, vektor směru záření, vektor osy zářiče.
- Poloha zářiče je jednoznačně definována pomocí 6-ti parametrů
- Předpokládáme, že všechny použité zářiče jsou stejného typu.



Obr. 1 – Niklová forma pro výrobu umělých kůží ( $1,5 \times 0,5 \times 0,3 \text{ [m}^3\text{]}$ )



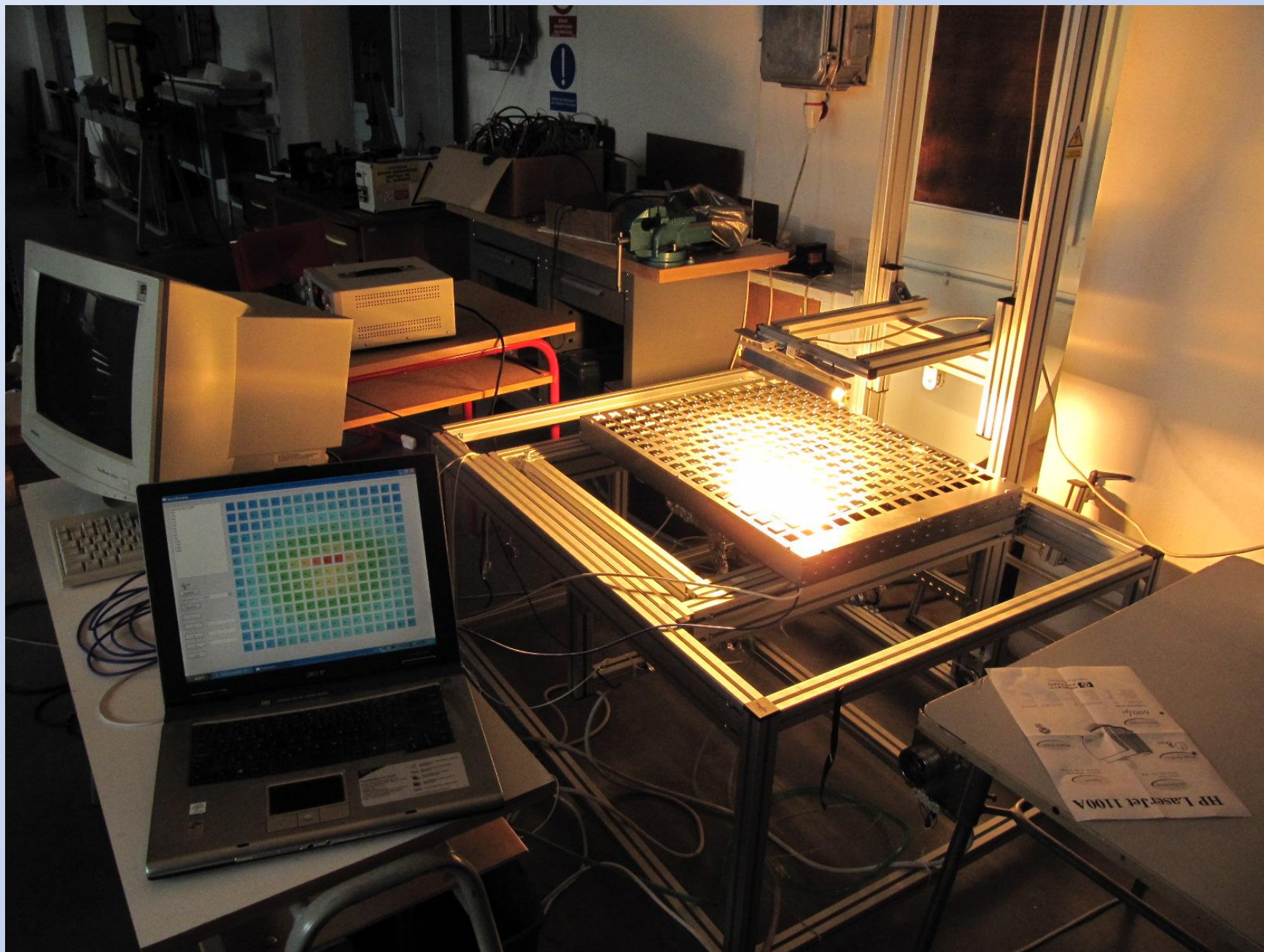
Obr. 2 – Infrazářič Philips o výkonu 1000W, délka 30 cm



Obr. 3 – Reprezentace zářiče v použitém matematickém modelu

# Intenzita záření v okolí zářiče

- Od výrobce zářičů není známa distribuční funkce intenzity záření v okolí zářiče.
- Pro intenzitu záření infrazářiče na elementární plochu je podstatná nejen vzdálenost elementární plochy od infrazářiče, ale i směr vnější normály v těžišti elementární plochy.
- Pro zadaný typ zářiče byla provedena experimentální měření intenzity záření pro vybrané body v okolí zářiče a pro různé polohy vnější normály (k pomyslné elementární ploše).
- Měření byla prováděna pomocí čidla.
- Pro stanovení intenzity záření v libovolném těžišti elementární plochy v okolí infrazářiče byla užitá lineární interpolace (funkce 5-ti proměnných) využívající naměřené hodnoty intenzity záření.
- Při výpočtu intenzity záření infrazářiče na elementární plochu při obecné poloze infrazářiče se nejdříve provádí transformace kartézského souřadného systému a úloha se převede na polohu zářiče, pro níž byla provedena měření.



Obr. 4 – Experimentální měření intenzity záření v okolí infrazářiče



# Výpočet intenzity záření

- Označme  $L_k$  množinu všech zářičů, které při daném nastavení zářičů svítí na  $k$ -tou elementární plochu. Celkem uvažujeme  $N$  elementárních ploch definujících povrch formy, obsah  $k$ -té elementární plochy značíme  $s_k$ .
- Dále označme  $I_{kl}$  [W/m<sup>2</sup>] intenzitu záření  $l$ -tého zářiče na  $k$ -tou elementární plochu a  $I_{opt}$  doporučenou intenzitu záření na povrch formy výrobcem.
- Pak celková intenzita záření  $I_k$  na  $k$ -tou elementární plochu, odchylka  $F_k$  intenzity záření na  $k$ -tou elementární plochu od optimální intenzity záření  $I_{opt}$  a průměrná odchylka záření  $F$  na povrch formy jsou dány vztahy

$$I_k = \sum_{l \in L_k} I_{kl}, \quad F_k = |I_k - I_{opt}|, \quad F = \frac{\sum_{k=1}^N F_k s_k}{\sum_{k'=1}^N s_k}.$$

- Naším cílem je nalézt takové nastavení infrazářičů, aby funkce  $F$  nabývala minimální hodnoty.

# Užití genetického algoritmu při optimalizaci nastavení zářičů

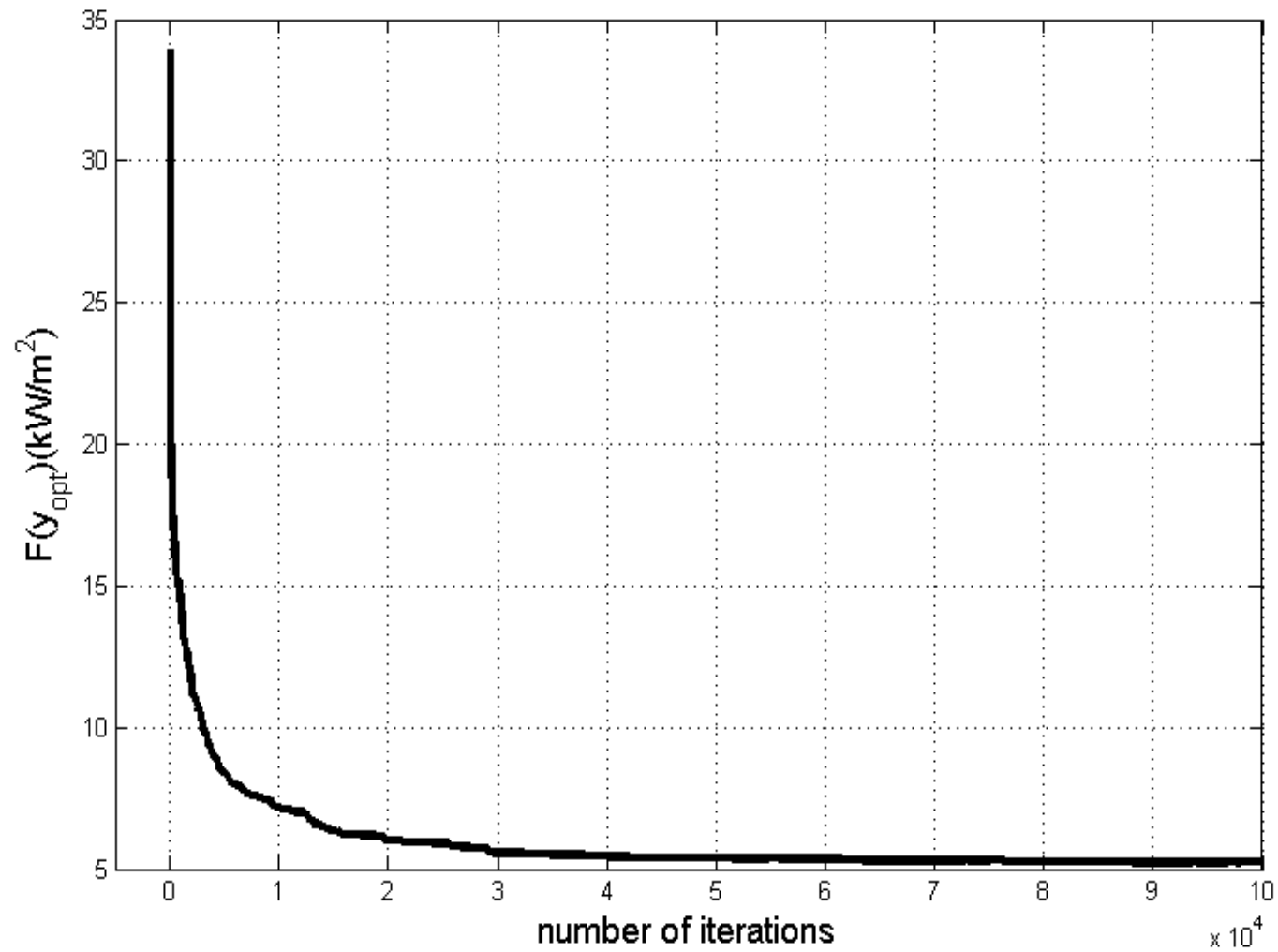
- K optimalizaci byl v Matlabu implementován vlastní algoritmus.
- Celkem uvažujeme  $M$  zářičů, které svítí na povrch formy. Poloha každého zářiče definována 6-ti parametry, celkem tedy poloha všech zářičů popsána  $6M$  parametry.
- Uvažovaný jedinec v rámci genetického algoritmu je jedno z možných nastavení zářičů, jedinec je tedy určen  $6M$  geny.
- Výchozí jedinec (specimen) – hodnoty jednotlivých genů odpovídají umístění zářičů nad povrchem formy v dané vzdálenosti, zářiče svítí kolmo dolů a osa zářiče je rovnoběžná s osou  $x_1$  kartézského souřadného systému (viz Obr. 6).
- Cílem optimalizace je minimalizovat průměrnou odchylku záření  $F$  na povrch formy.
- Při výpočtu bylo 30 jedinců v populaci, byly užity operace křížení a mutace, při každé iteraci byli vygenerováni 2 jedinci.

# Možné kolize mezi zářiči a mezi zářičem a povrchem formy

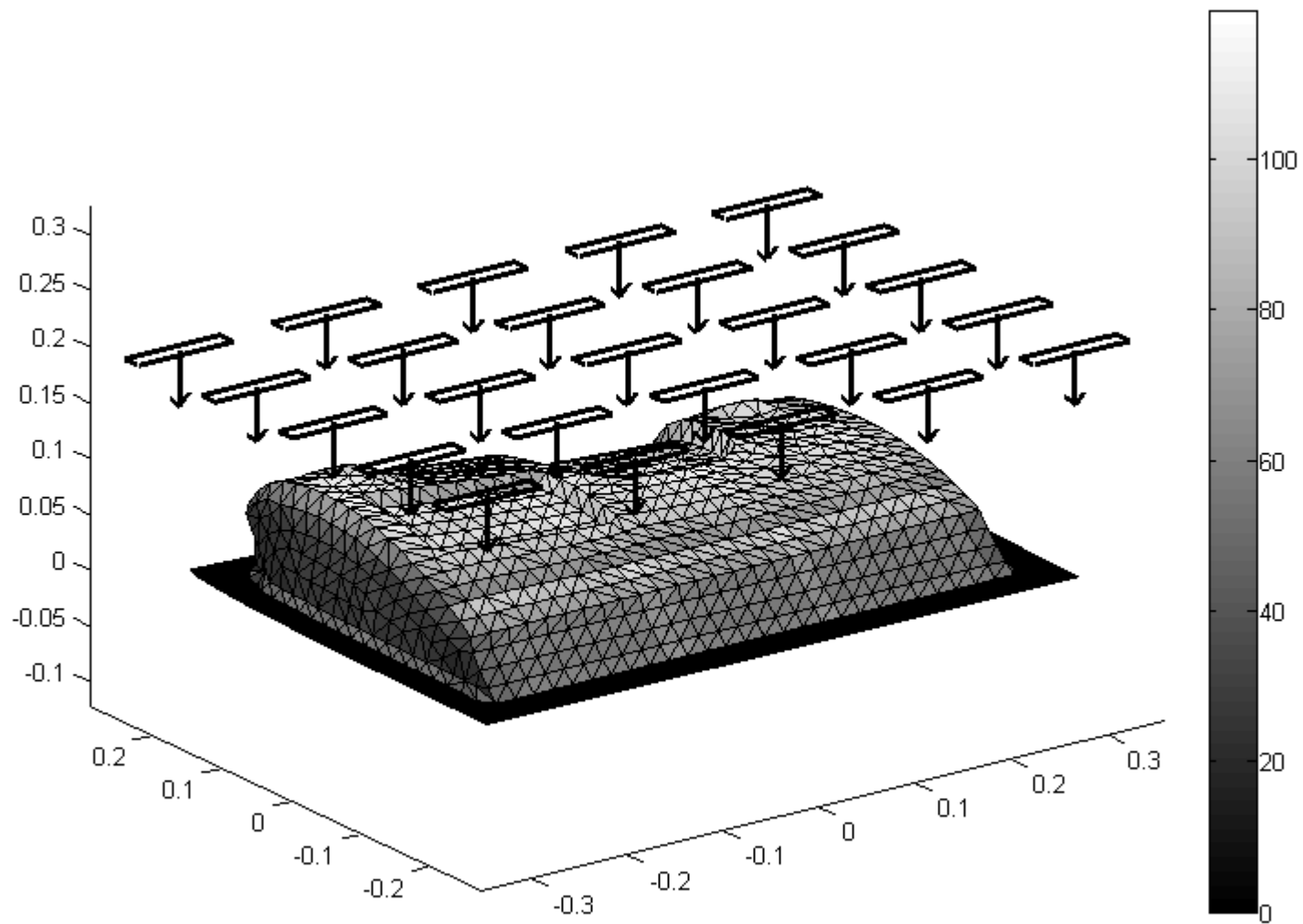
- Při optimalizaci nastavení infrazářičů za účelem zajištění rovnoměrné intenzity záření na povrchu formy je průběžně testováno, zda-li nedochází ke kolizi.
- **Případné kolize mezi dvěma zářiči:**
  - Daný zářič svítí na druhý zářič s vyšší intenzitou, než je zadaný limit.
  - Zářič se dotýká jiného zářiče nebo není od jiného zářiče dostatečně vzdálen.
- **Kolize mezi zářičem a formou:**
  - Zářič se dotýká povrchu formy nebo není dostatečně vzdálen od povrchu formy.

# Praktický příklad

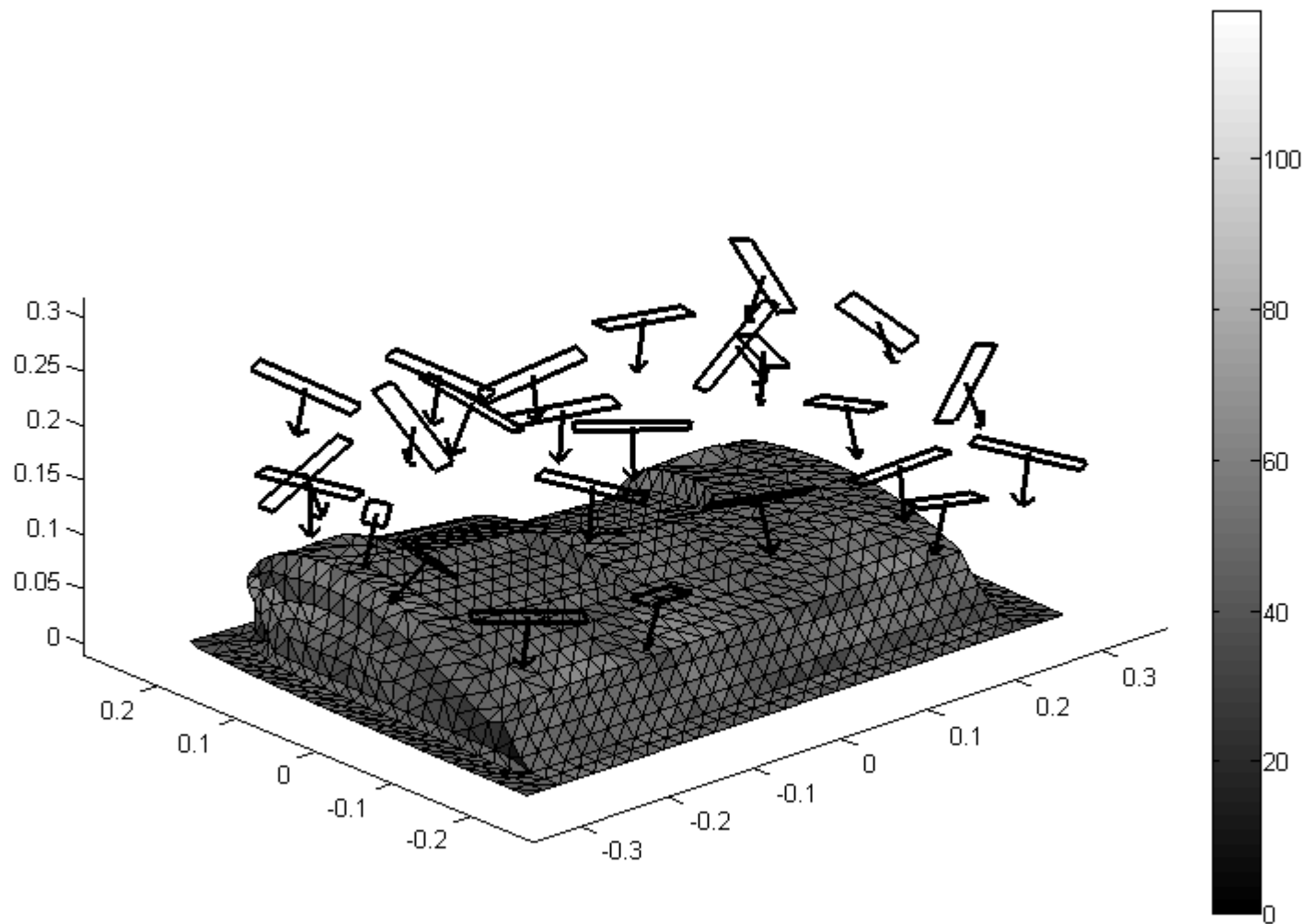
- Pro hliníkovou formu znázorněnou na Obr. 6 (rozměry 0,6x0,4x0,12[m<sup>3</sup>]) byla provedena optimalizace nastavení infrazářičů.
- K zahřívání formy bylo užito 25 infrazářičů, každý o výkonu 1600[W], doporučená hodnota intenzity záření  $I_{opt}=50[\text{kW}/\text{m}^2]$ .
- Při počátečním nastavení zářičů byla hodnota průměrné odchylky záření  $F$  na povrch formy  $F=34,25[\text{kW}/\text{m}^3]$ , po provedení 100 000 iterací byla hodnota  $F$  pro optimalizované nastavení zářičů  $F=5,11[\text{kW}/\text{m}^3]$ .
- Na Obr. 5 je graficky znázorněna hodnota funkce  $F$  v závislosti na počtu provedených iterací genetického algoritmu.



Obr. 5 – Závislost hodnoty funkce  $F$  na počtu iterací genetického algoritmu



Obr. 6 – Výchozí nastavení zářičů



Obr. 7 – Optimalizované nastavení zářičů

# Použitá literatura

- H. M. Antia, *Numerical Methods for Scientists and Engineers*. Birkhäuser Verlag. Berlin, 2002.
- M. Affenzeller, S. Winkler, S. Wagner, A. Beham, *Genetic Algorithms and Genetic Programming*. Chapman & Hall/CRC, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2009.
- C. R. Reeves, J. E. Rowe, *Genetic Algorithms: Principles and Perspectives*. Kluwer Academic Publisher Group, AH Dordrecht, 2003.
- B. Budinský, *Analytická a diferenciální geometrie*. SNTL, Praha, 1983.
- J. Mlýnek, R. Srb, *Optimization of a Heat Radiation Intensity on a Mould Surface in the Car Industry*. Proc. of the Internat. Conf. Mechatronics 2011, Springer-Verlag, Berlin, 2011.