

Pokročilá technologie výroby uniformních vrstev na zakřivených optických prvcích pro polovodičový průmysl

Jiří Ryppl

Ústav fyzikálního inženýrství

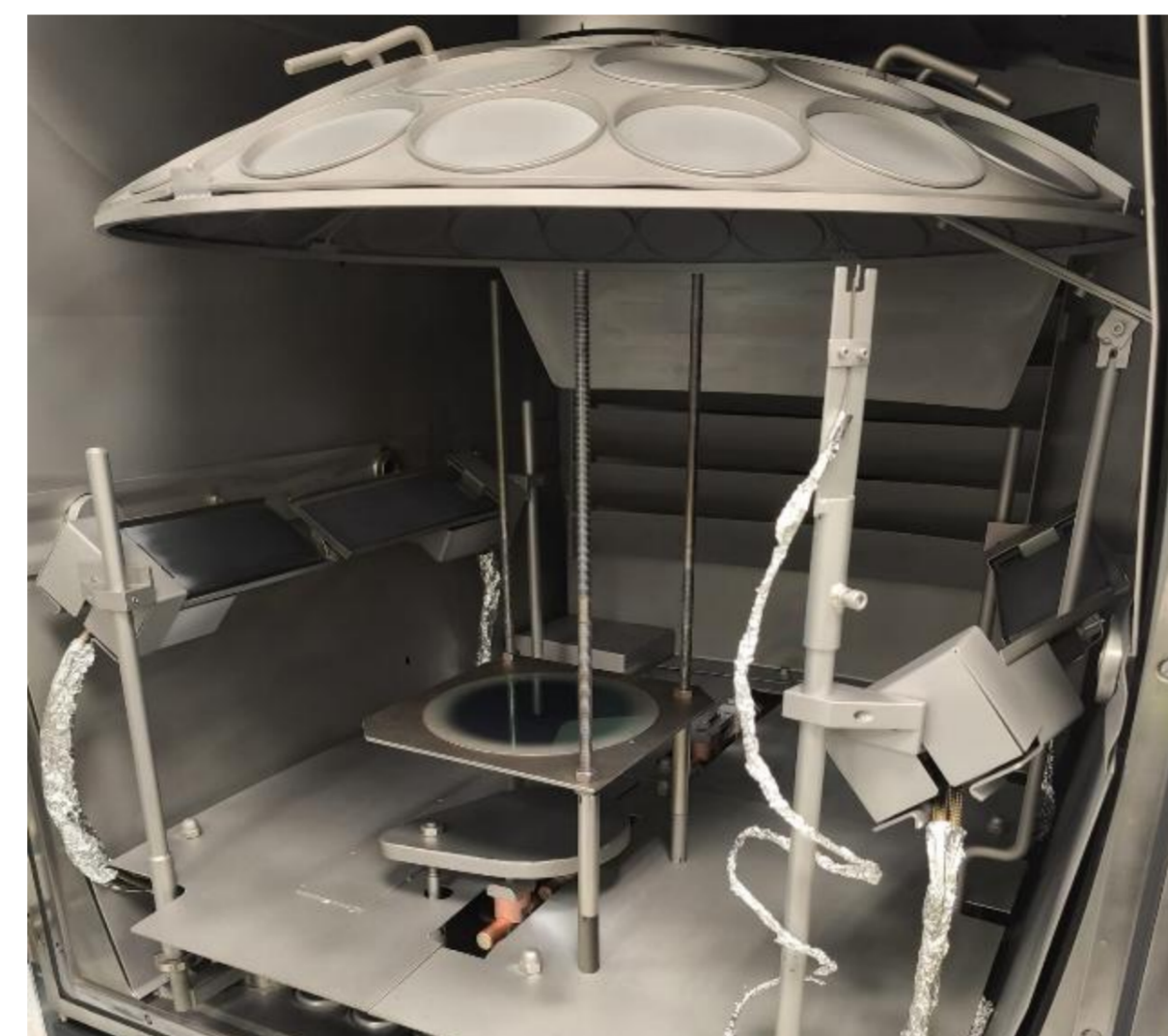


MOTIVACE A CÍLE PRÁCE



- Spolupráce se společností Meopta s cílem zdokonalit výrobu tenkých vrstev v reakci na požadavky společnosti ASML
- Vytvořit matematicko-fyzikální model depozice tenkých vrstev na zakřivené substráty
- Kalibrace zdrojů na základě experimentálních dat a implementace do kódového prostředí

Depoziční komora



SUBSTRÁTY – TROJÚHELNÍKOVÉ SÍTĚ

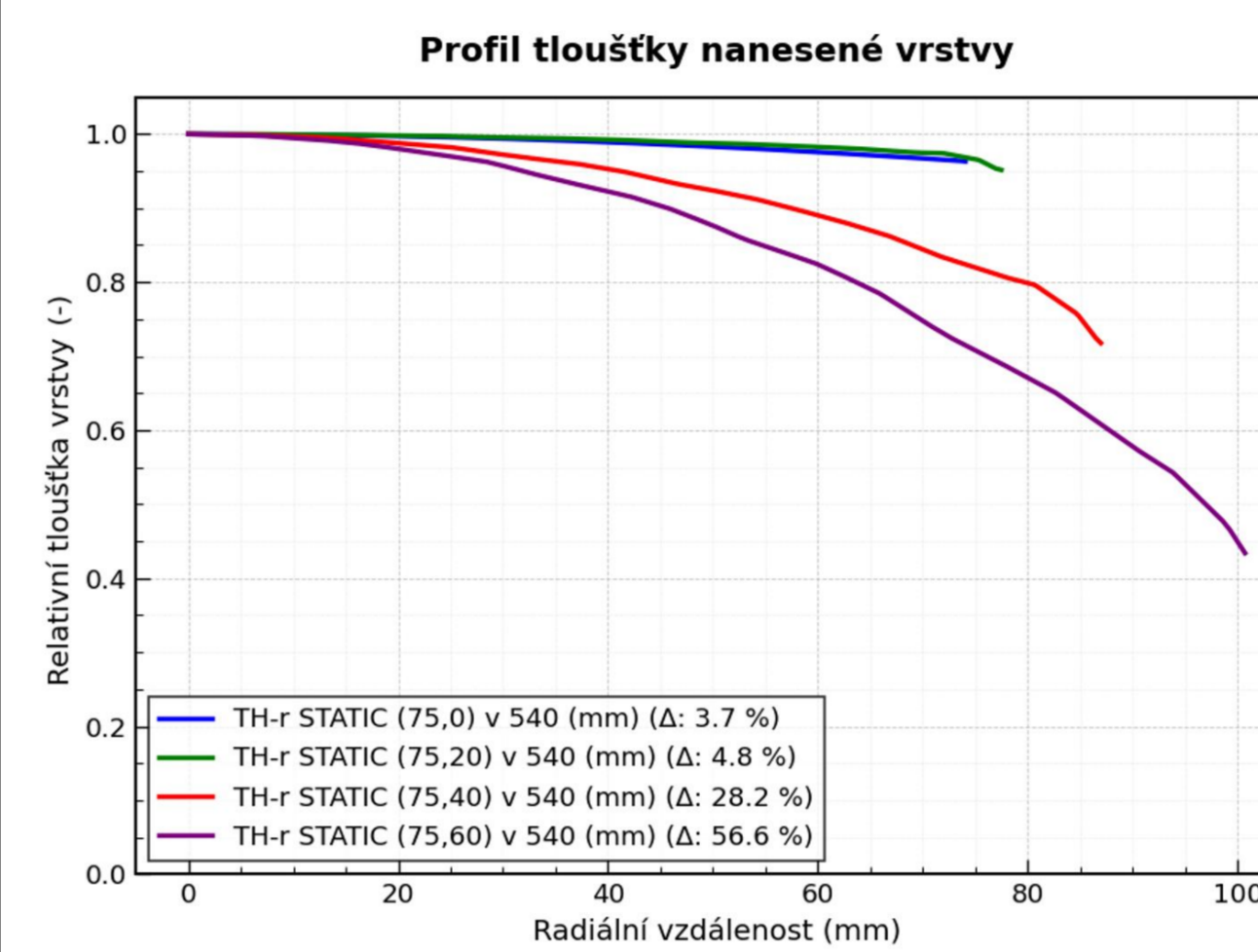
- Fibonacciho posloupnost – rozmístění bodů na sféře pomocí zlatého úhlu
- Delaunayova triangulace - zesíťování
- Vliv zakřivení substrátů na uniformitu

Fibonacciho spirála

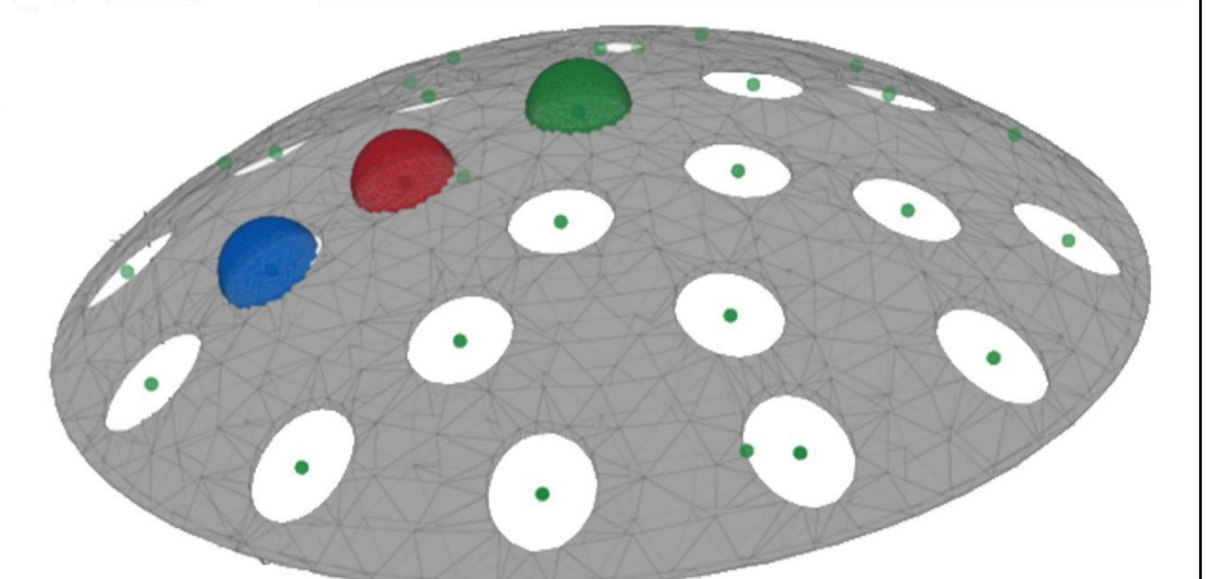
Fibonacciho mřížka

$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} \rightarrow \varphi = \frac{a}{b} \rightarrow 2\pi(2-\varphi) \approx 137,5^\circ$$

Zlatý úhel

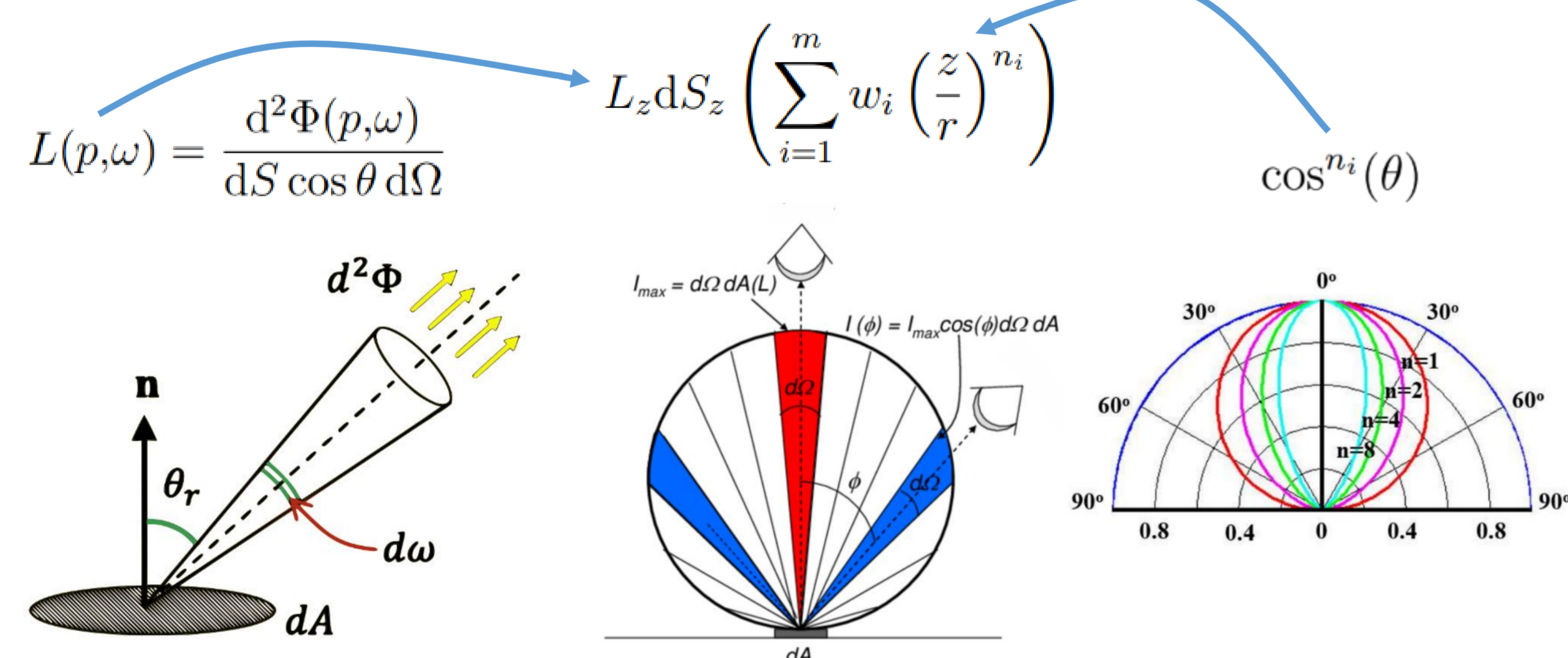
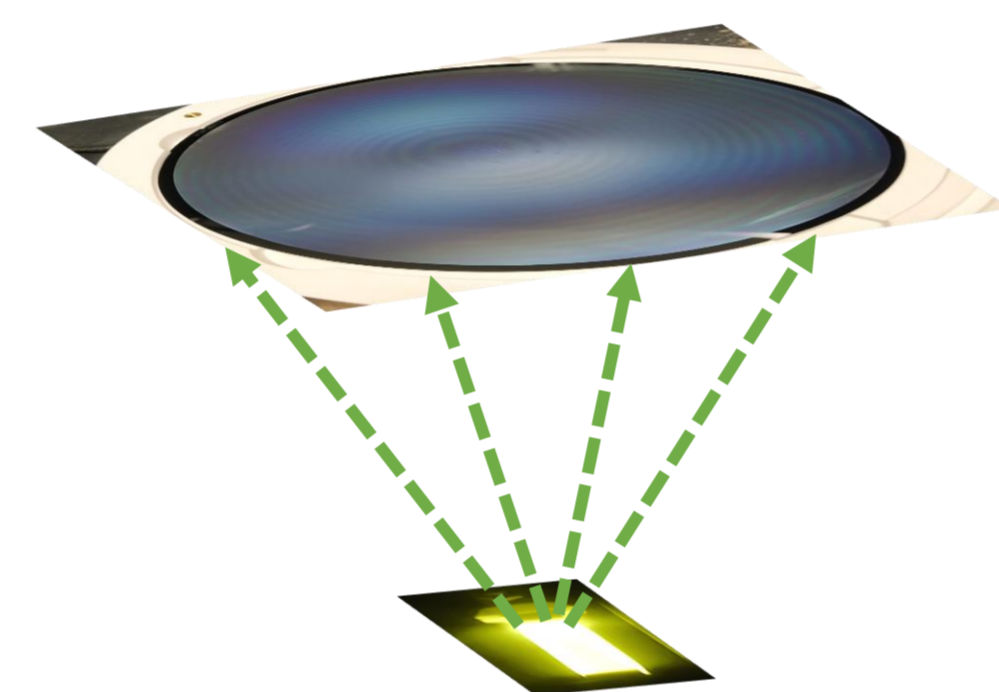


Model unášeče pro umísťování substrátů



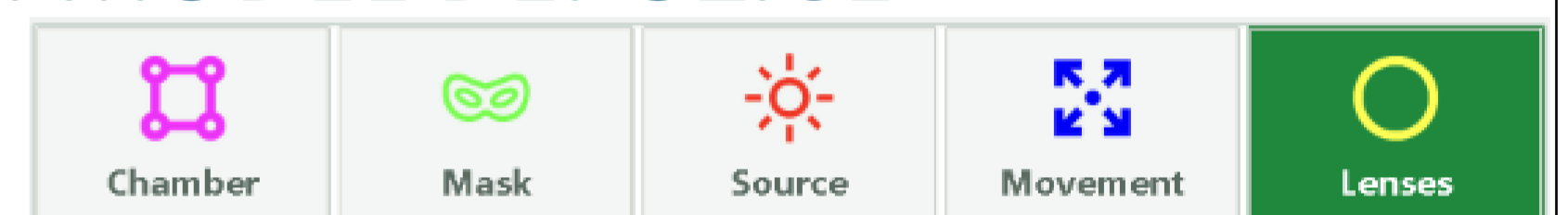
VYZAŘOVÁNÍ ZDROJE

- Plošná hustota emise zdroje (radiance)
- Vyzařovací charakteristika (cosinový zákon)
- Testovací depozice na křemíkových deskách



MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ MODEL DEPOZICE

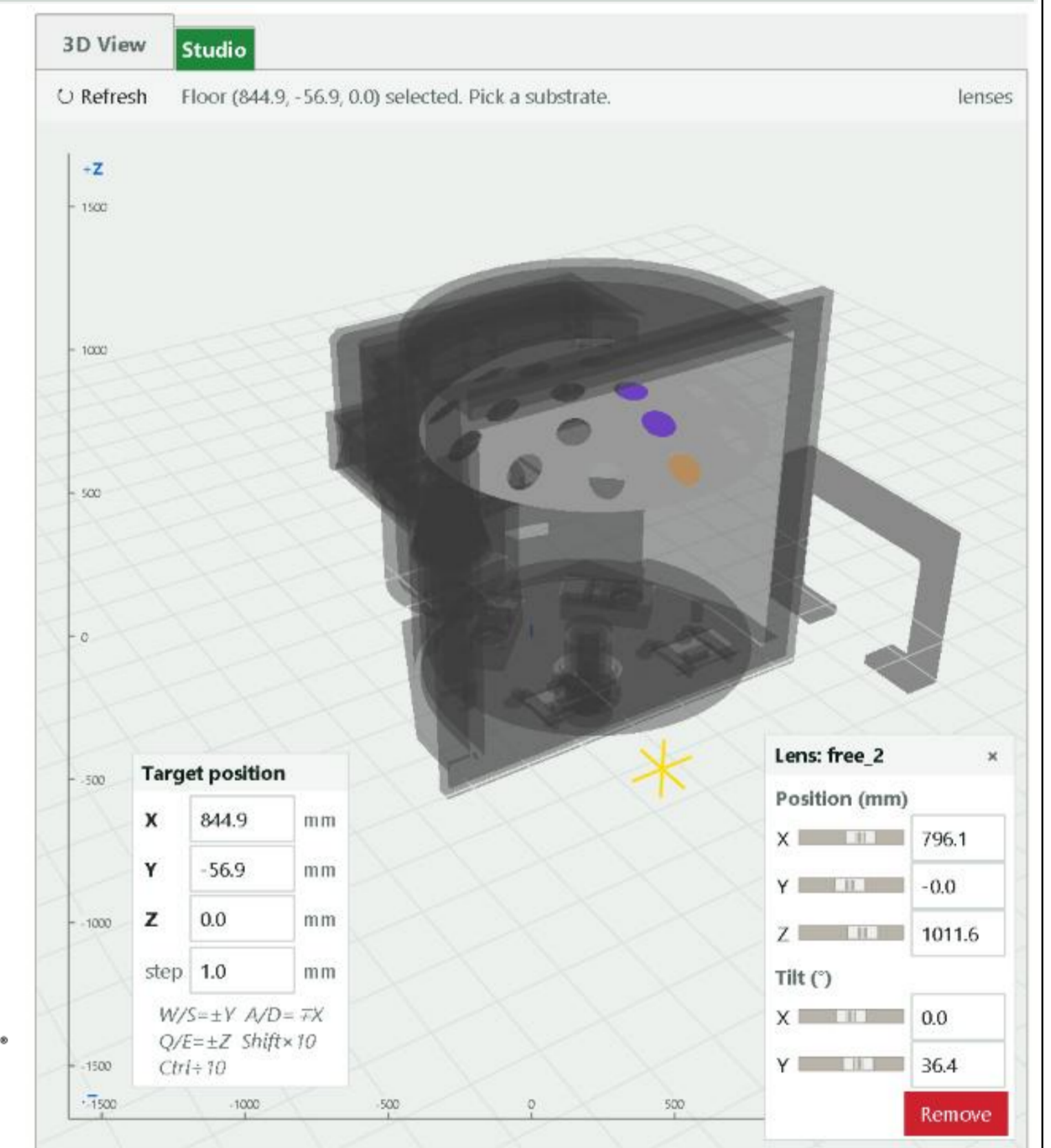
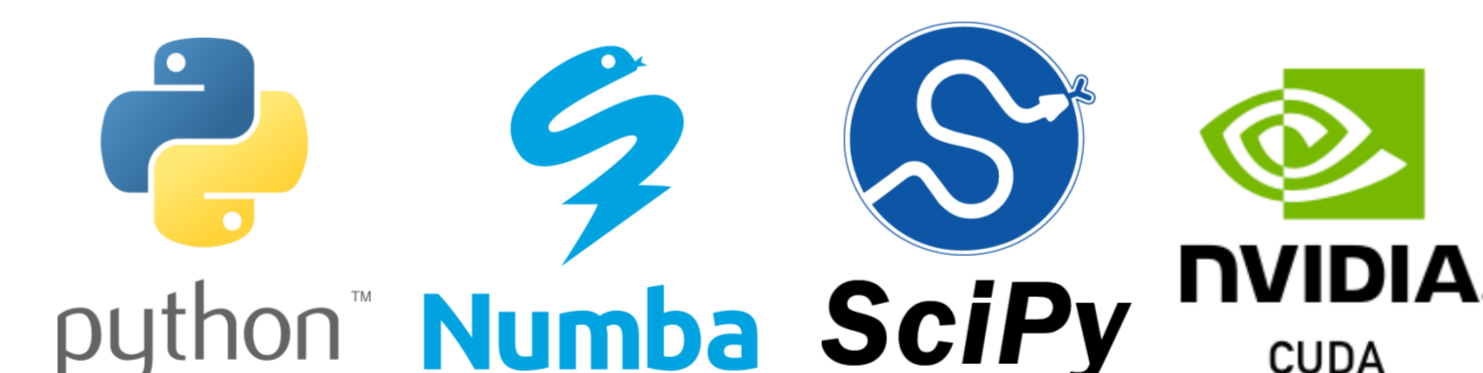
- Program v jazyce Python
- Odvozený z teorie radiometrie
- Založený na metodě konečných prvků (FEM) a paprskovém trasování
- Vektorizace a paralelizace výpočtu na CPU a GPU



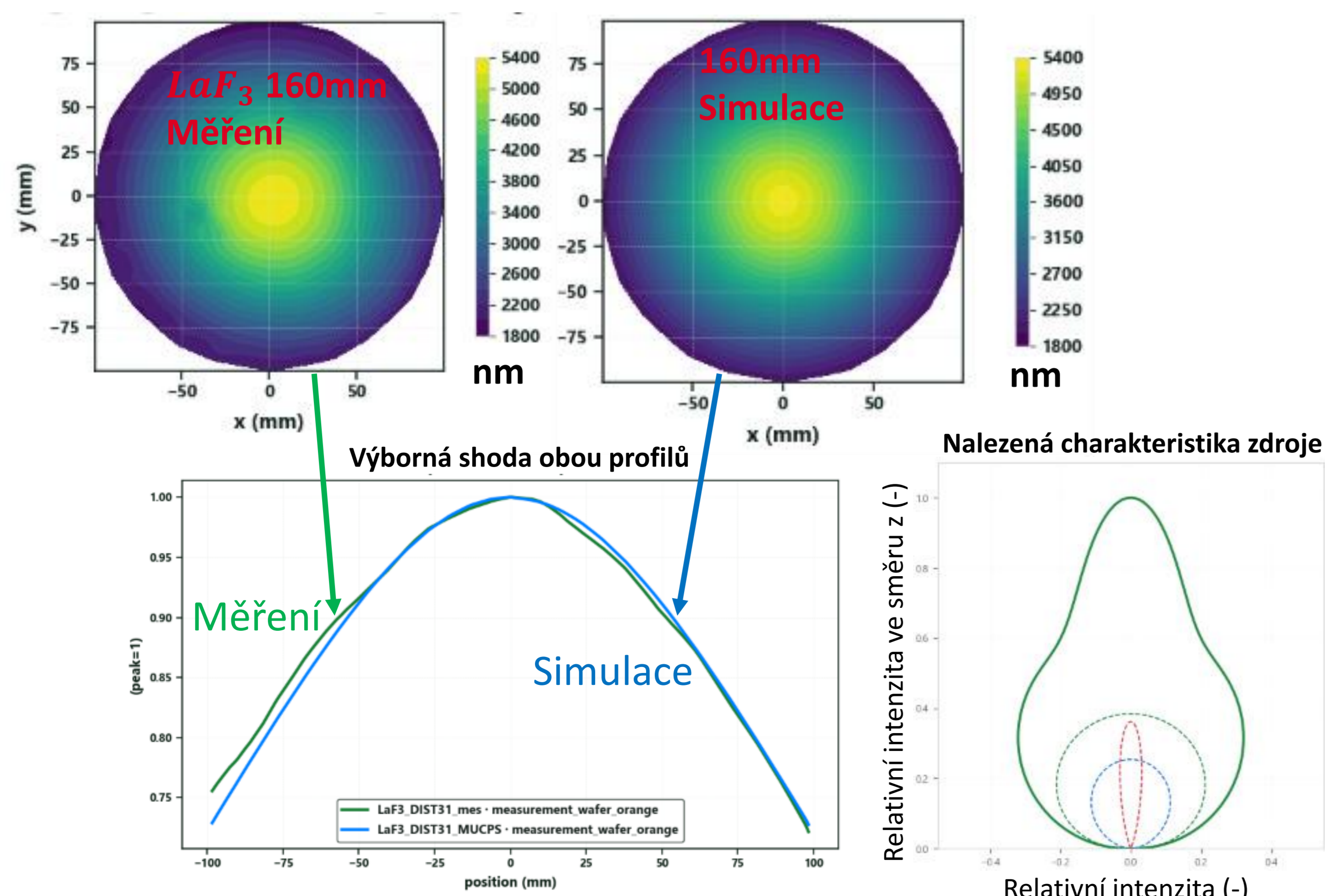
$$dE_p = L_z dS_z \left(\sum_{i=1}^m w_i \left(\frac{z}{r} \right)^{n_i} \right) \frac{n' \cdot V}{r^3}$$

Příspěvek zdroje

Geometrie substrátu



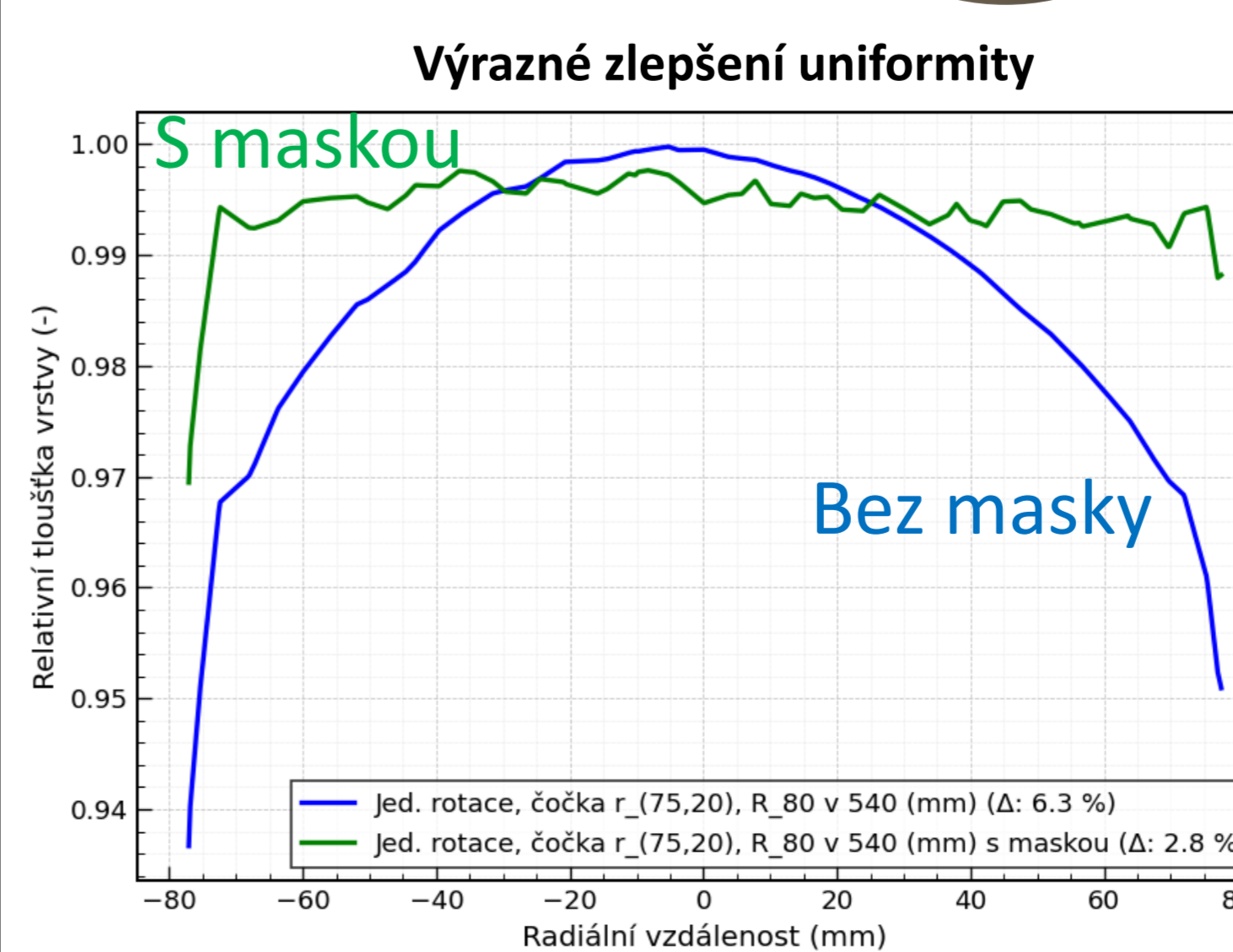
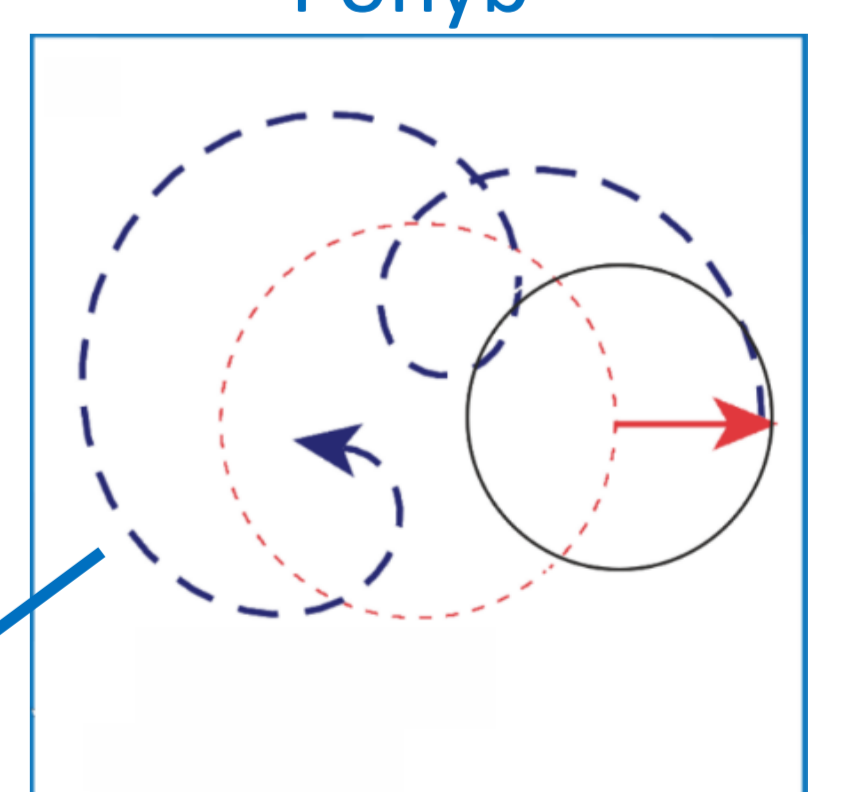
KALIBRACE ZDROJE – METODA NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ



ZÁVĚR – ZLEPŠOVÁNÍ UNIFORMITY VRSTEV

- Cílené ovlivňování uniformity pomocí dvou přístupů:
 - Planetární pohyb
 - Stínící masky

Pohyb



Vygenerovaný tvar stínící masky

