

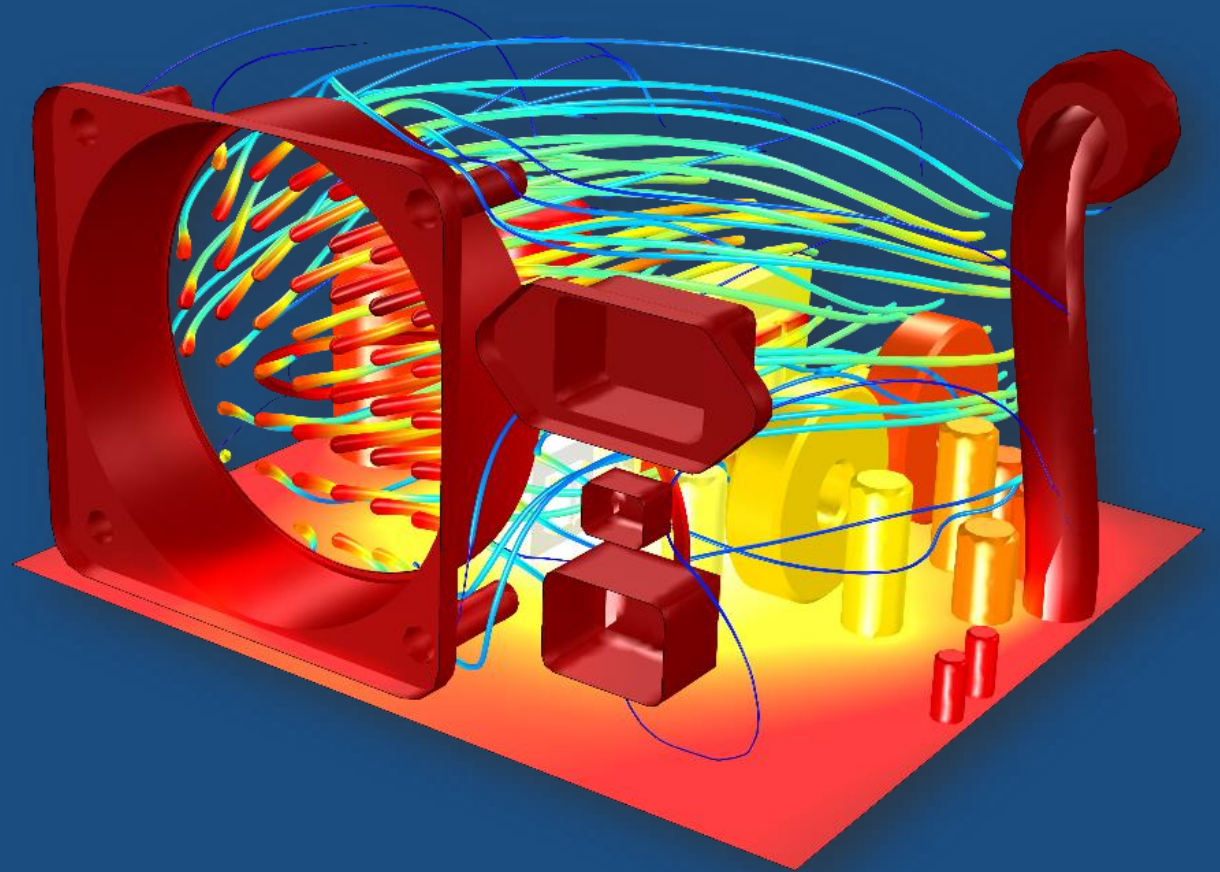
# Minikurz: FEM simulace chlazení elektronické součástky



Matouš Lorenc

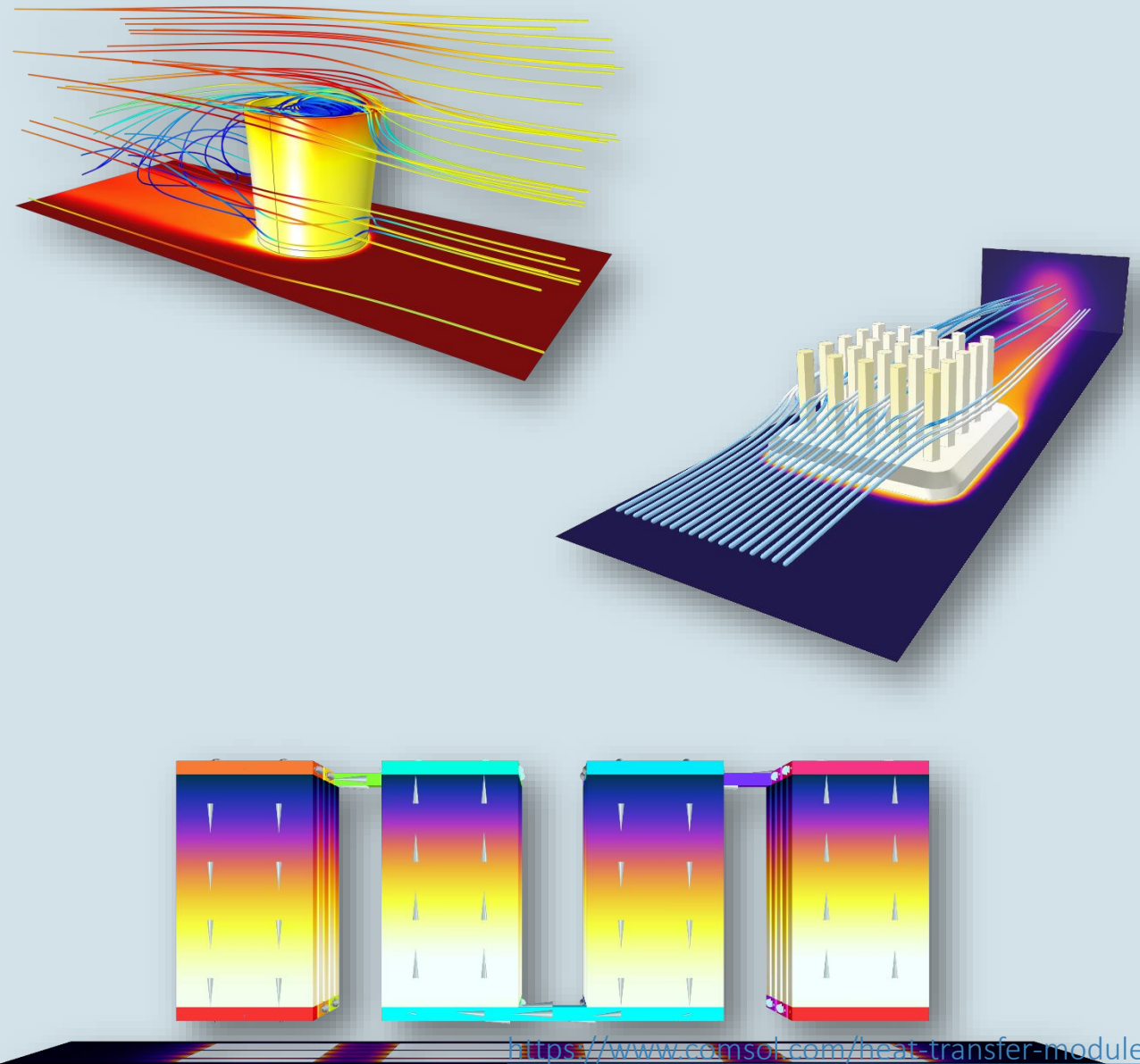
- HUMUSOFT s.r.o.
- [lorenc@humusoft.cz](mailto:lorenc@humusoft.cz)
- 284011745

# Přestup tepla v COMSOL Multiphysics



# Modul pro přestup tepla

- Kondukcce, konvekce (nucená i přirozená) a radiace. Všechny dostupné okrajové podmínky
- Elektromagnetické ohřevy, přestup tepla v porézním prostředí, tepelné namáhání, termoelektrické jevy, přestupy tepla v PCB deskách, chlazení elektroniky (např. numerické aproximace tenkých vrstev)
- Tepelné výměníky, tepelný komfort budov
- Biomedicína (ablace, ohřev tkání...)
- Chlazení odparem



# Módy přestupu tepla

- Kondukce

- Materiál charakterizovaný tepelnou vodivostí  
 $-k\nabla T$

- Konvekce

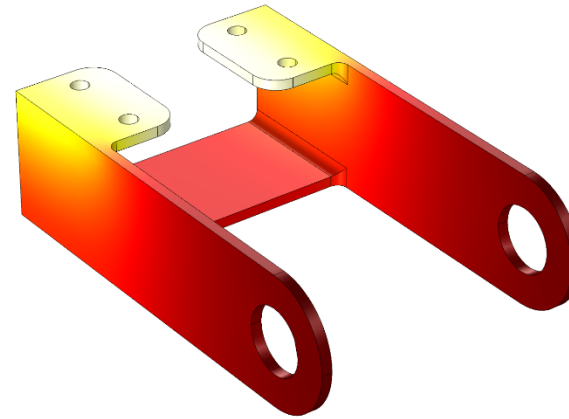
- Předpokládá pohyb materiálu, vychází z jeho tepelné kapacity, hmotnostního průtoku a teploty

$$\rho C_p \mathbf{u} T$$

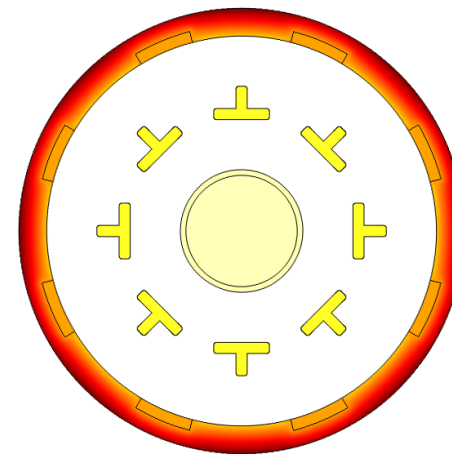
- Radiace

- Skrz „(polo)průhledné“ médium (vzduch, vakuum..) na základě emisivity a rozdílu teplot

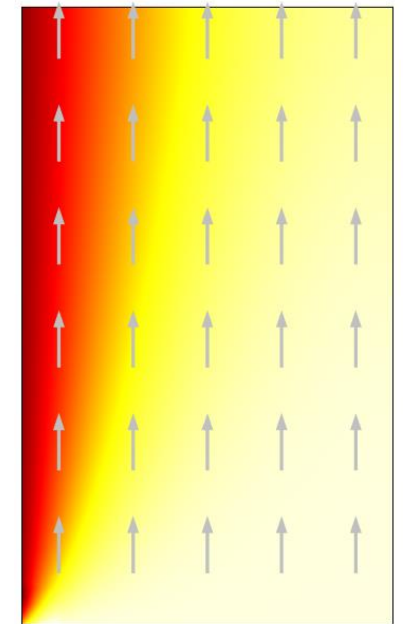
$$n^2 \varepsilon \sigma (T_{amb}^4 - T^4)$$



Přestup tepla kovovou svorkou



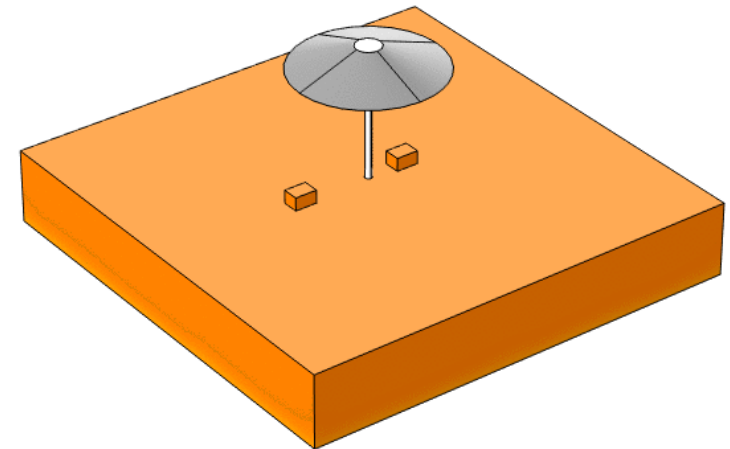
Přestup tepla radiací v termofotovoltaickém článku



Vedení tepla v kapalině mezi teplou a studenou stěnou

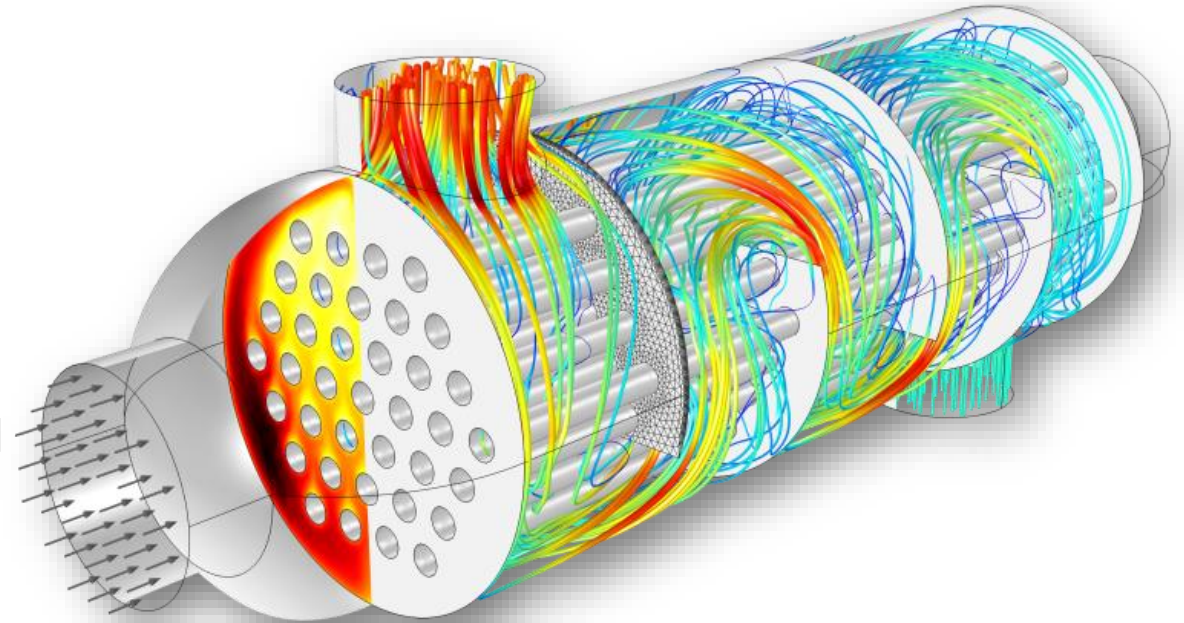
# Radiace

- Předpokládáme matné těleso a (polo)průhledné médium
- Meteorologická knihovna pro externí zdroje osvit
- Výměna tepla mezi sousedními objekty
  - Surface-to-Surface Radiation
- Vyzařování tepla do okolí
  - Surface-to-Ambient Radiation
- Může významně prodloužit dobu výpočtu!

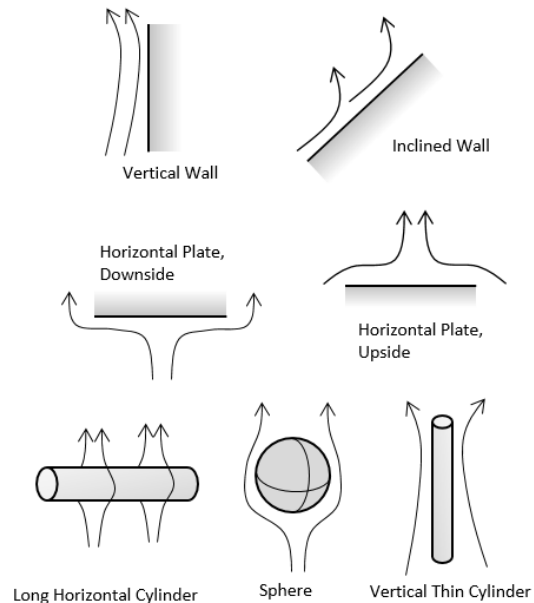


# Volná a nucená konvekce

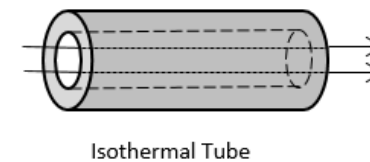
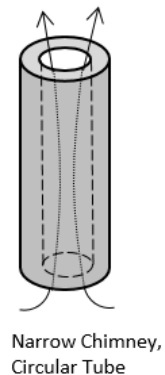
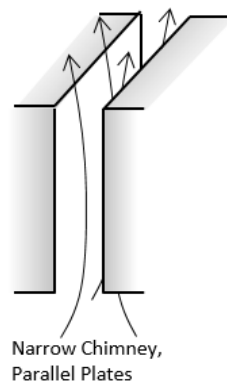
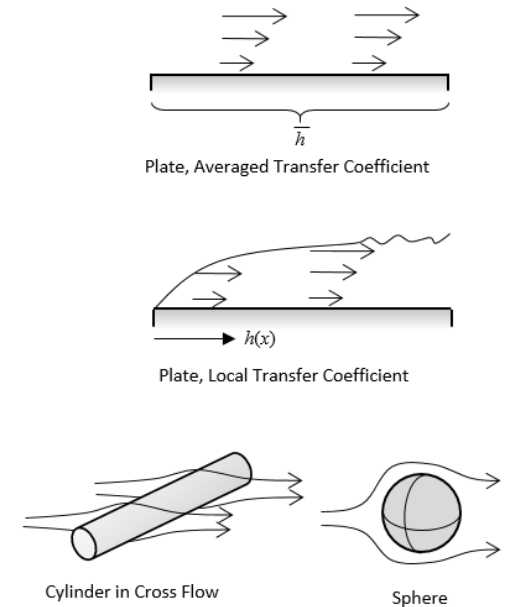
- Rozšíření výpočetní oblasti o vzduchovou doménu
  - Nezanedbatelný vliv okolního prostředí
  - Komplikovaná geometrie
  - Verifikace
- Často smíšená konvekce
- Laminární/turbulentní proudění
  - Ostřejší změna teploty na rozhraní solid/fluid
  - Vyšší ekvivalentní vodivost pro modely turbulence



# Náhradní okrajové podmínky pro volnou a nucenou konvekci



- Aproximace podmínek vně výpočetní oblasti pro přesnější zadání koeficientu přestupu tepla
- Přirozená/nucená konvekce
- Interní/externí





# Jaké nástroje vybrat pro daný model?

## Nástroje

- Kondukce (ht)
- Tepelný tok jako okrajová podmínka (ht)
- Isotermní doména (ht)
- Ekvivalentní tepelná vodivost (ht)
- Přirozená konvekce (fluid)
- Nucená konvekce (fluid)
- Radiace (ht)
- Mapování přestupu tepla (ht+fluid)
- Lumped System (ht)

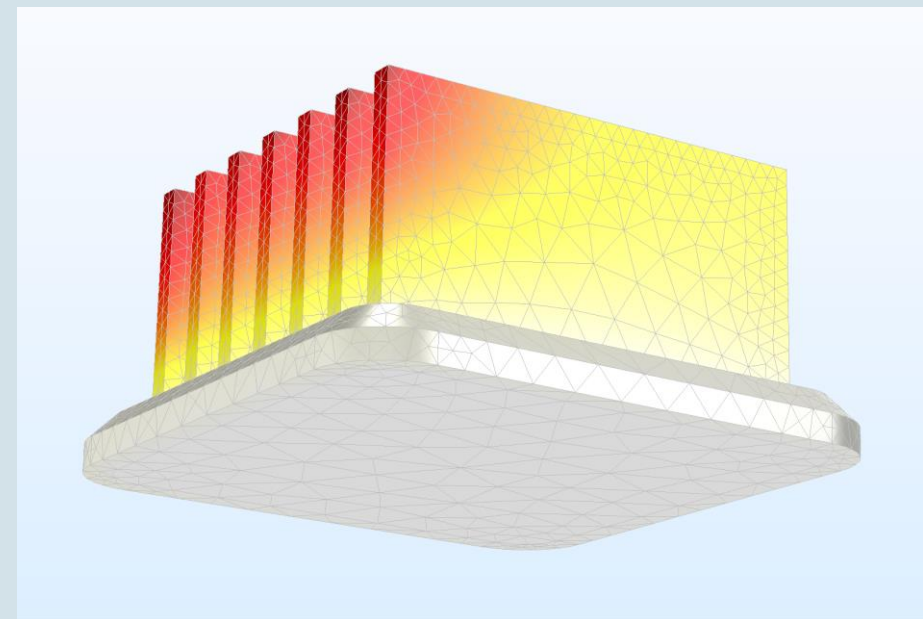
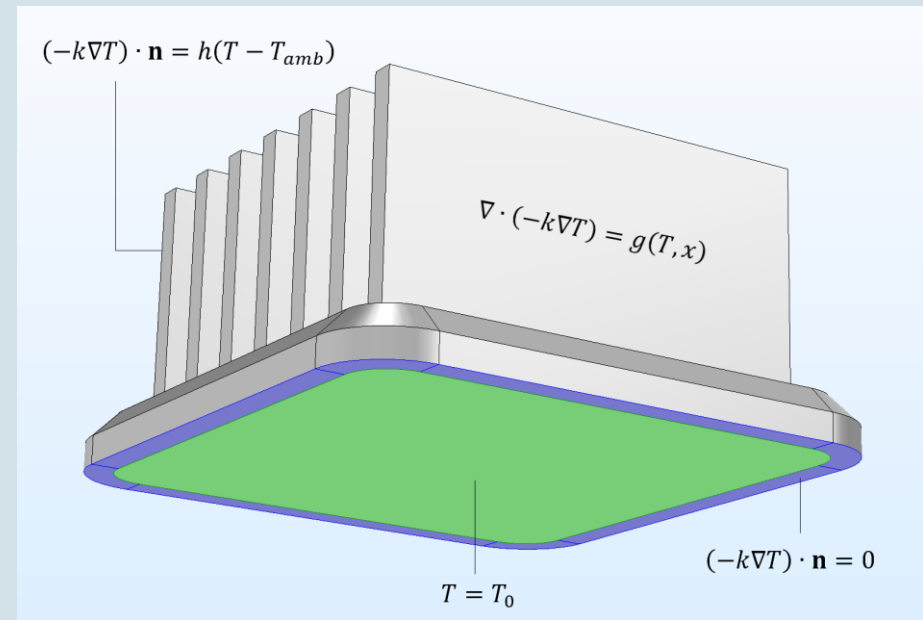
## Podmínky simulace

- Materiál
  - Pevná látka (+kapalina)
  - Vysoká emisivita
- Tvar výpočetní oblasti
- Okolní prostředí
  - Rozdíl teplot
  - Otevřená/uzavřená doména



# Modelování chladičů v COMSOL Multiphysics

- Snadný návrh díky knihovně součástek
  - Plně parametrizované geometrie
  - Předdefinované výběrové množiny
- Import externích CAD souborů
  - Geometrie přímo od výrobce
- Nadstandardní nástroje pro optimalizaci
  - Vlastní algoritmy a intuitivní rozhraní (nejen) pro topologickou optimalizaci
  - Využití externích nástrojů: LiveLink for MATLAB



# Příklad: Chlazení elektronické součástky

- Modelový příklad chladiče pro odvod ztrátového tepla
- Představení různých přístupů k modelování
  - Vliv radiace, přirozené konvekce