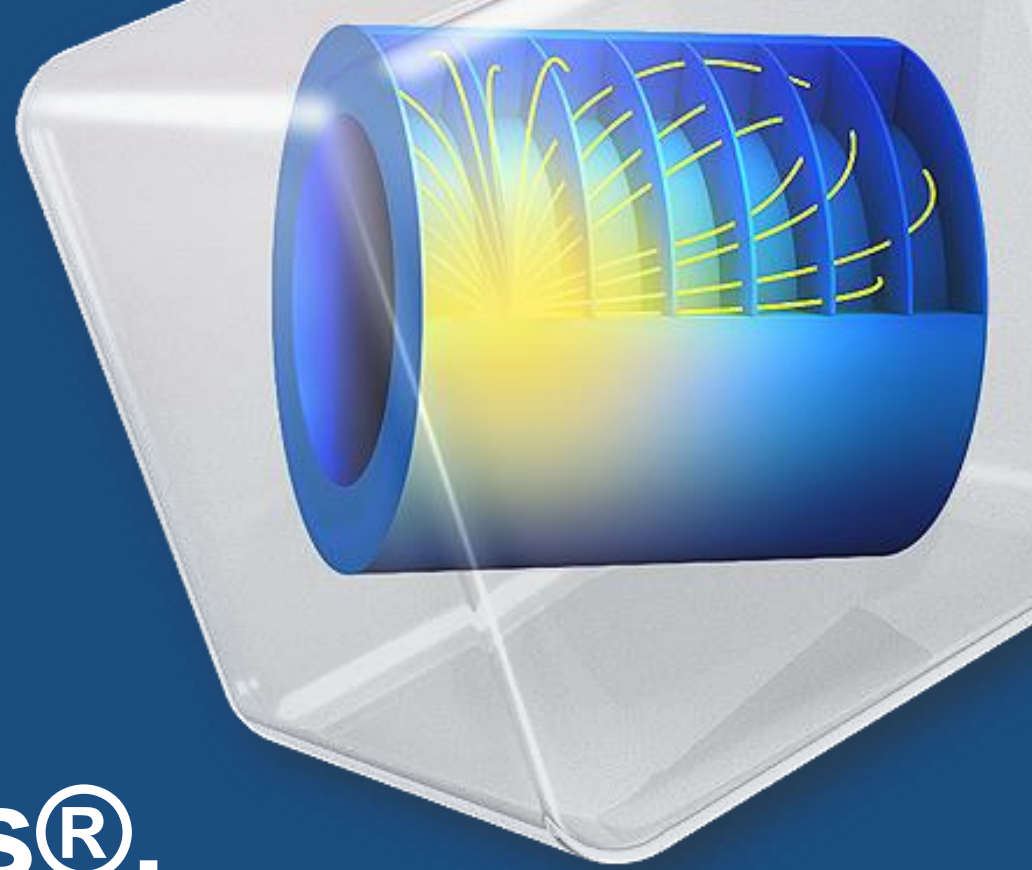


# Moderní trendy ve FEM výpočtech



**Martin Kožíšek**

Produktový manažer  
HUMUSOFT



**COMSOL Multiphysics®,  
COMSOL Compiler™ a COMSOL  
Server™**

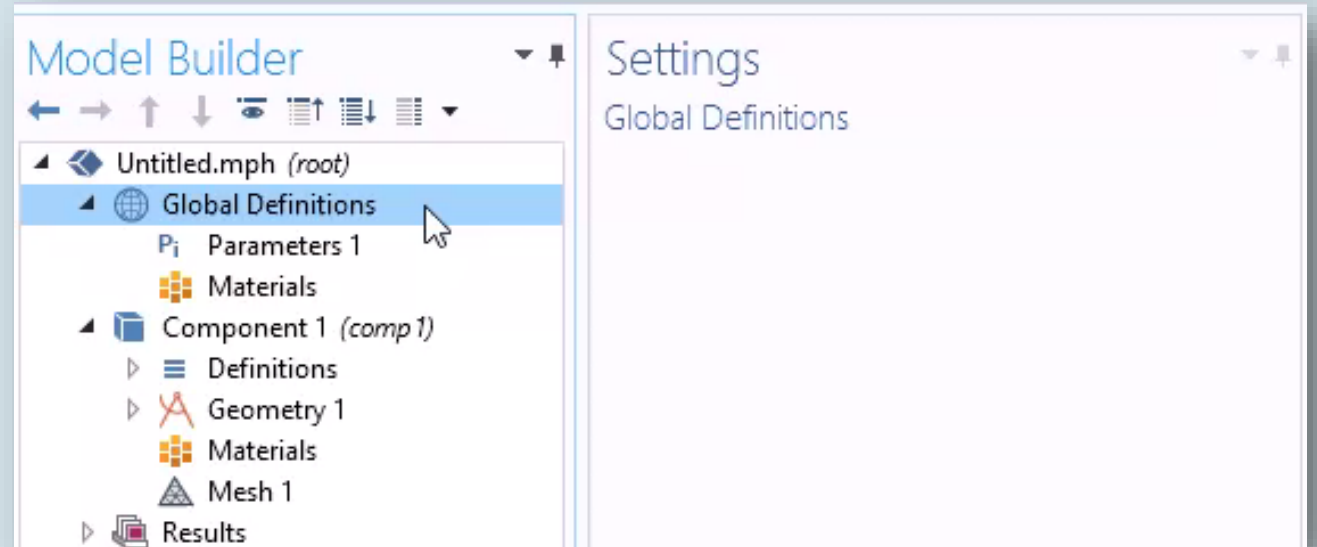
## Fyzikální jev

- Vystoupení amerického rapera 2Pac v roce 2012.
- Americký raper zemřel po přestřelce 13. září 1996.
- Na koncertu byla použita optická iluze zvaná „*Pepper's ghost*“.
- Jedná se o projekci přes optický prvek propouštějící okolní světlo a odrážející divákovi skrytou předlohu.
- „*Pepper's ghost*“ optickou iluzi lze sestavit doma.



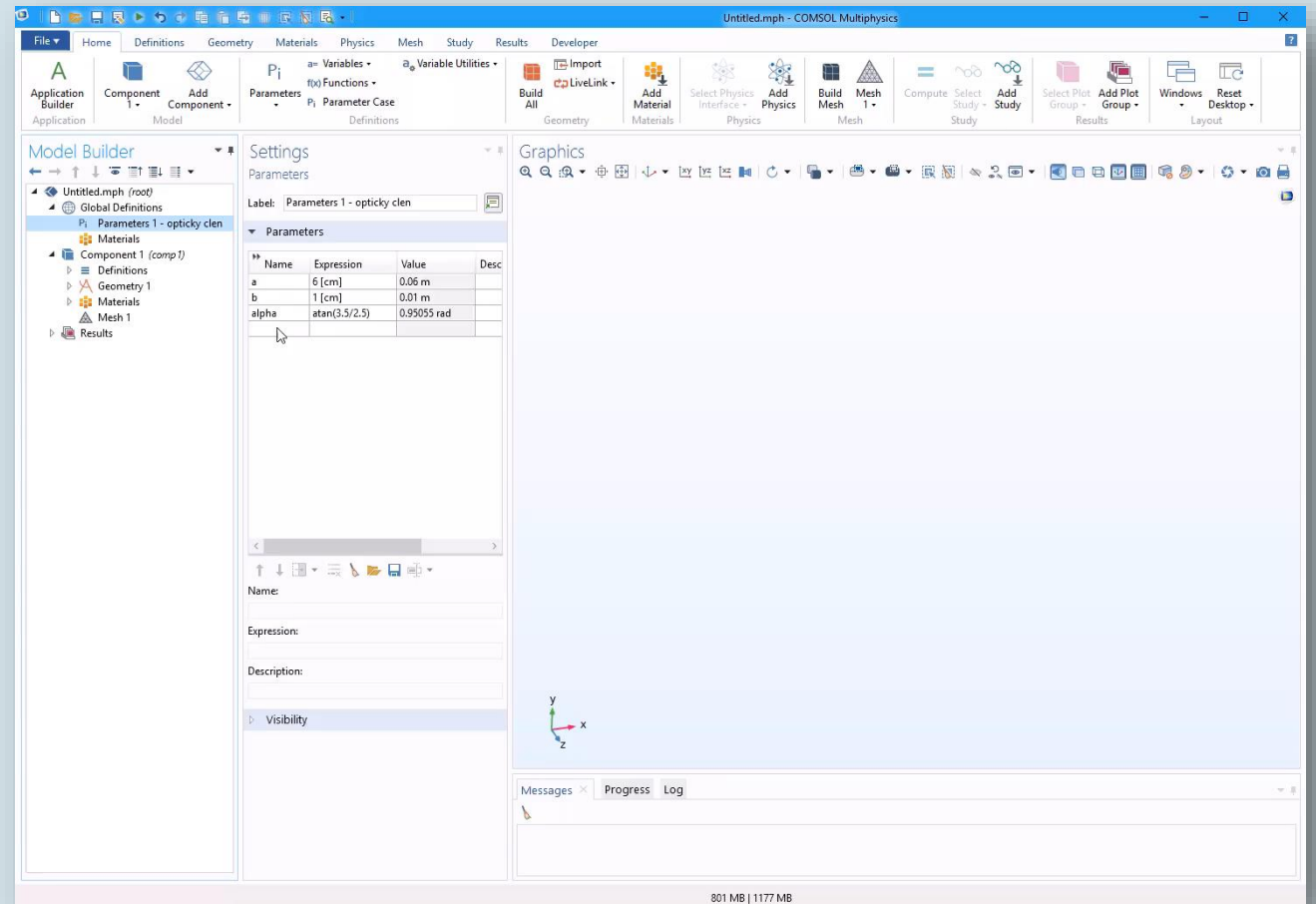
# COMSOL Multiphysics®

- Definice parametrů



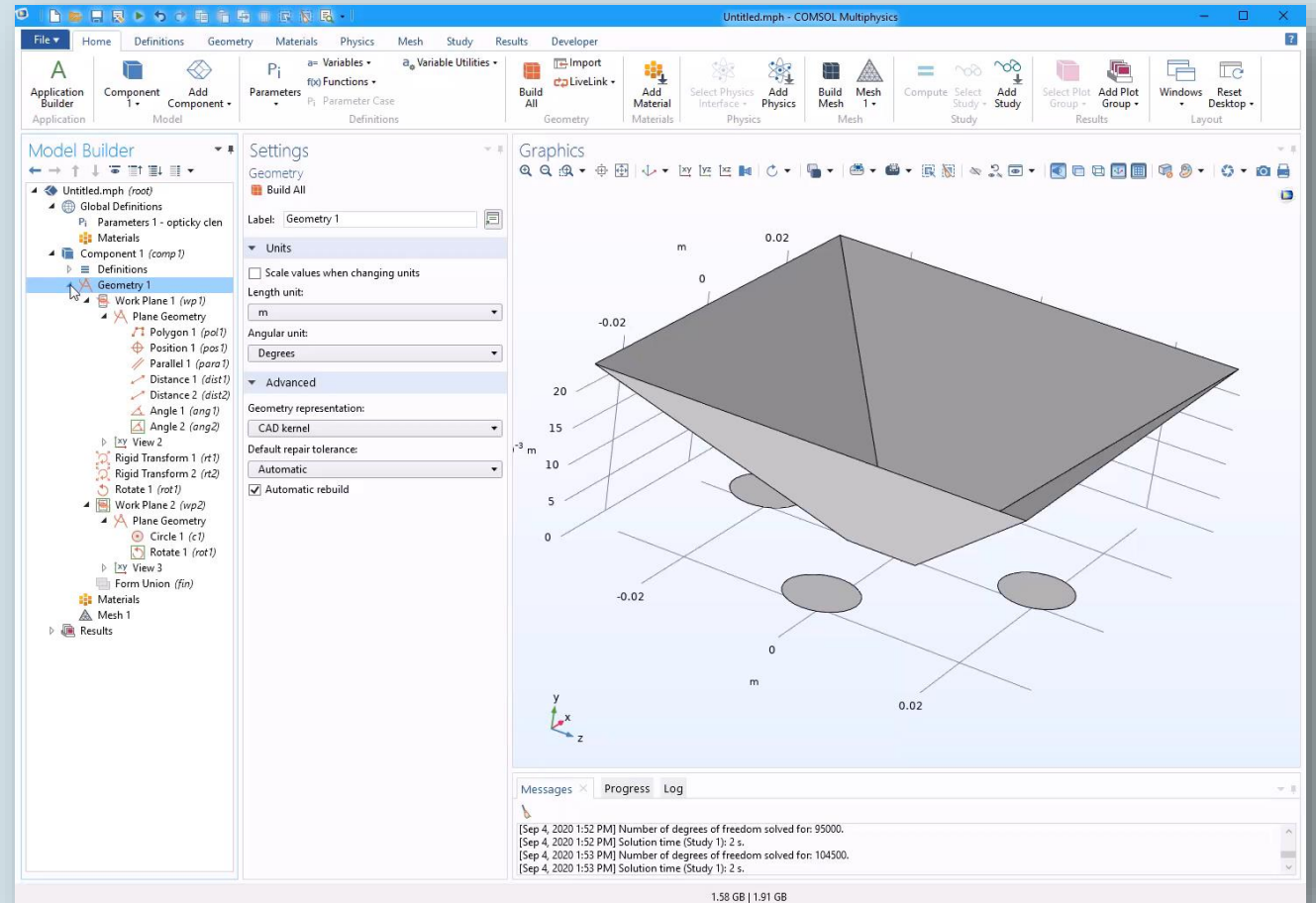
# COMSOL Multiphysics®

- Definice parametrů
- Tvorba/import geometrie



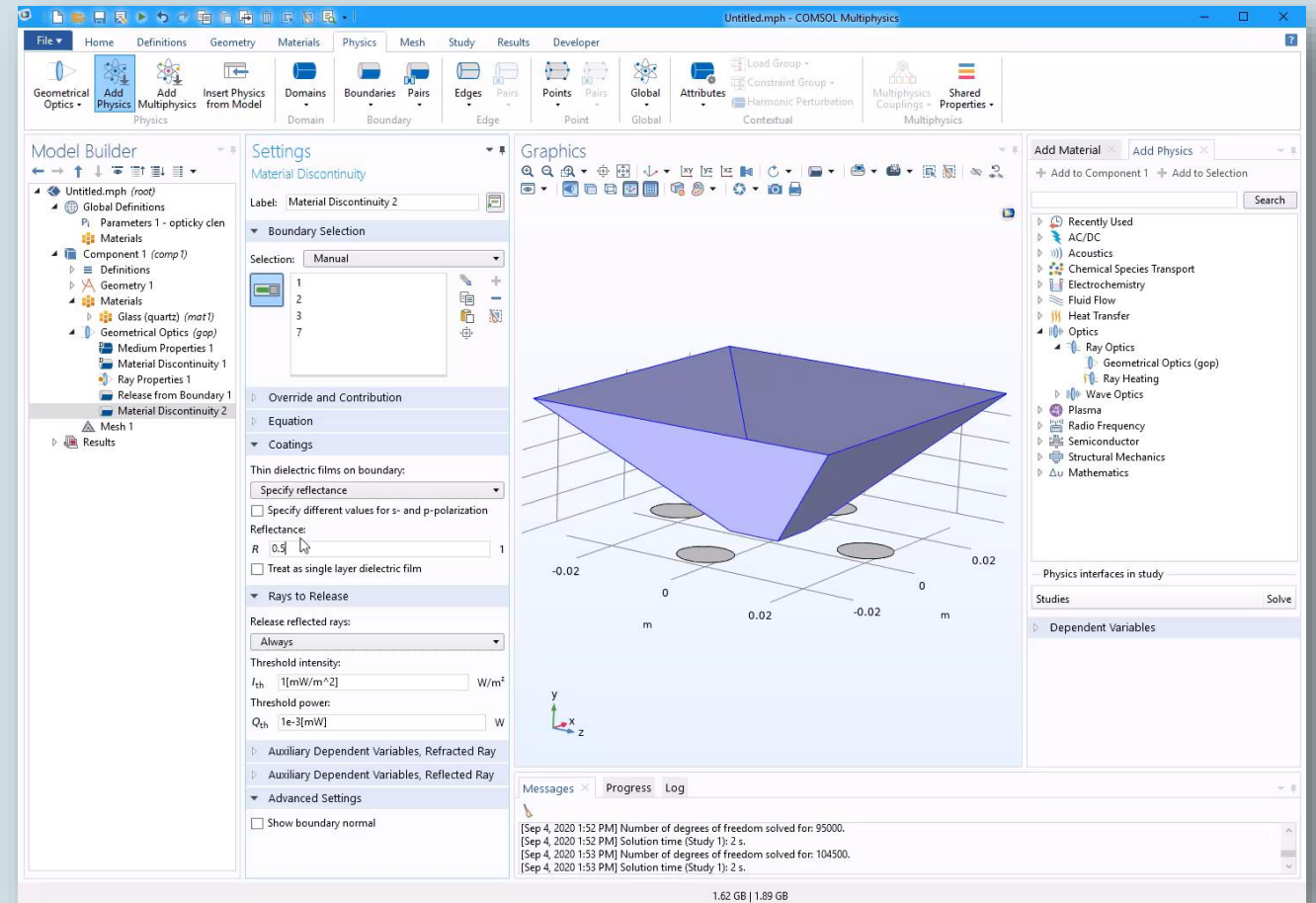
# COMSOL Multiphysics®

- Definice parametrů
- Tvorba/import geometrie
- Knihovna materiálů
- Okrajové a počáteční podmínky



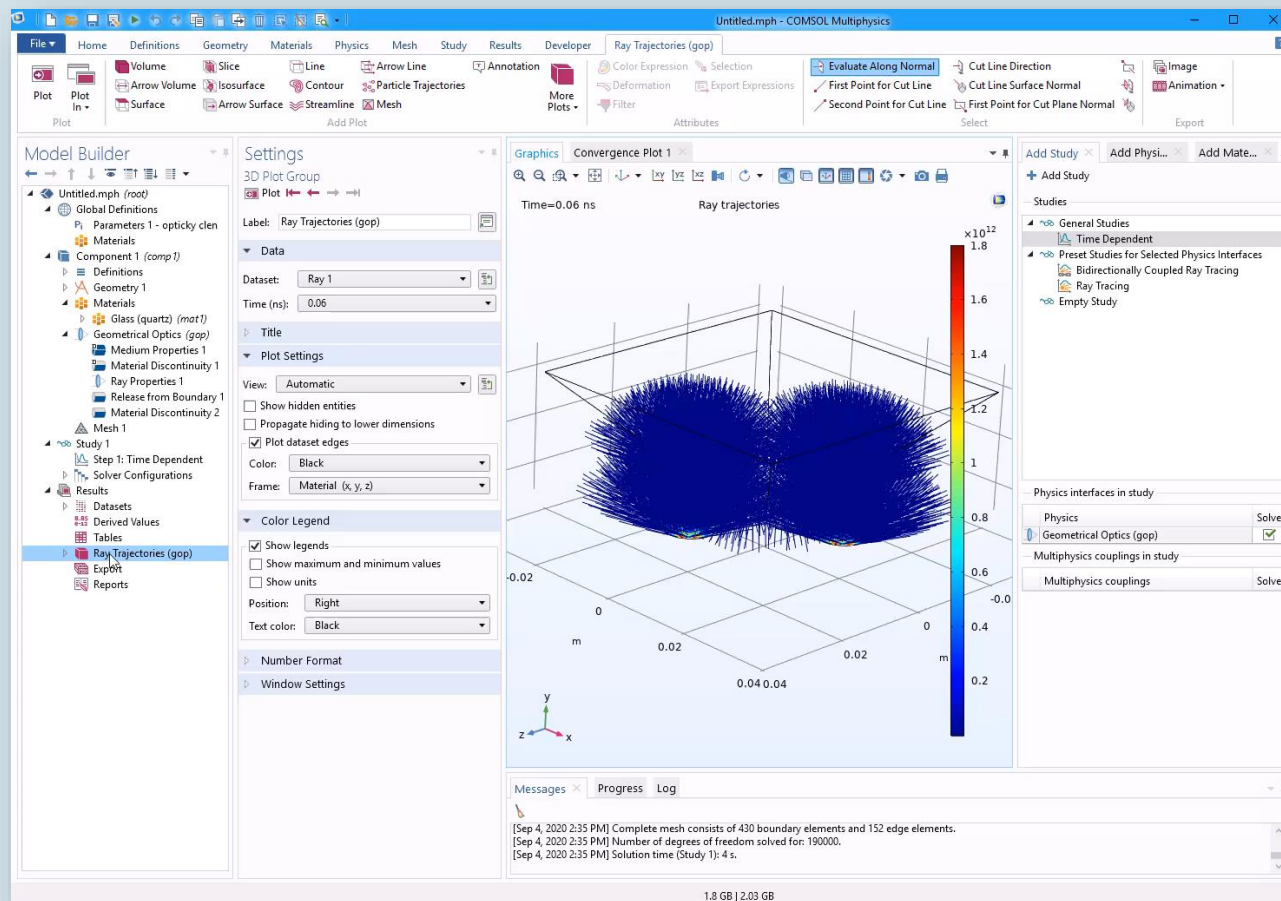
# COMSOL Multiphysics®

- Definice parametrů
- Tvorba/import geometrie
- Knihovna materiálů
- Okrajové a počáteční podmínky
- Síťování výpočetní oblasti
- Výpočet simulace fyzikálního děje

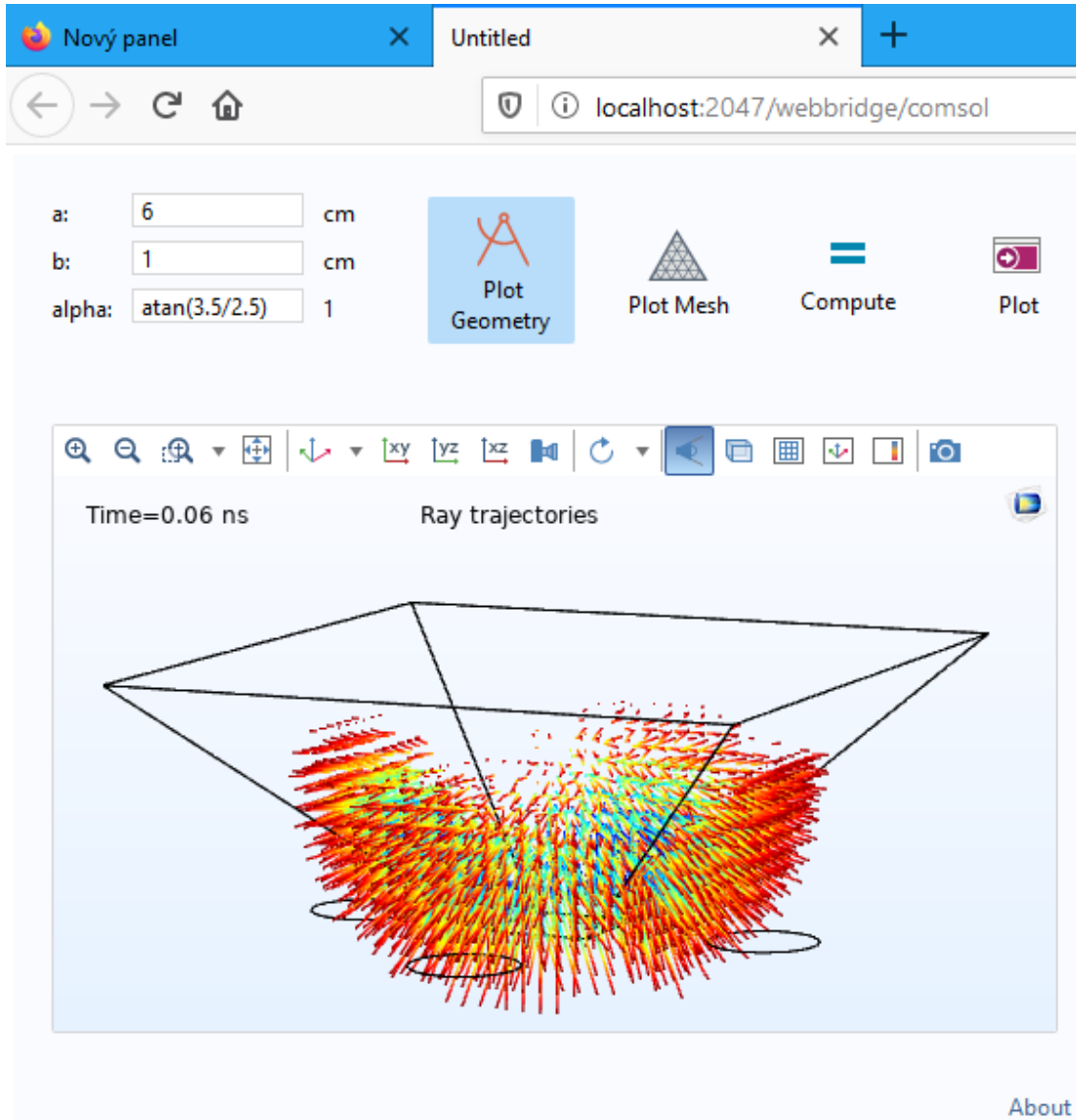


# COMSOL Multiphysics®

- Definice parametrů
- Tvorba/import geometrie
- Knihovna materiálů
- Okrajové a počáteční podmínky
- Síťování výpočetní oblasti
- Výpočet simulace fyzikálního děje
- Zpracování výsledků
- Tvorba aplikace

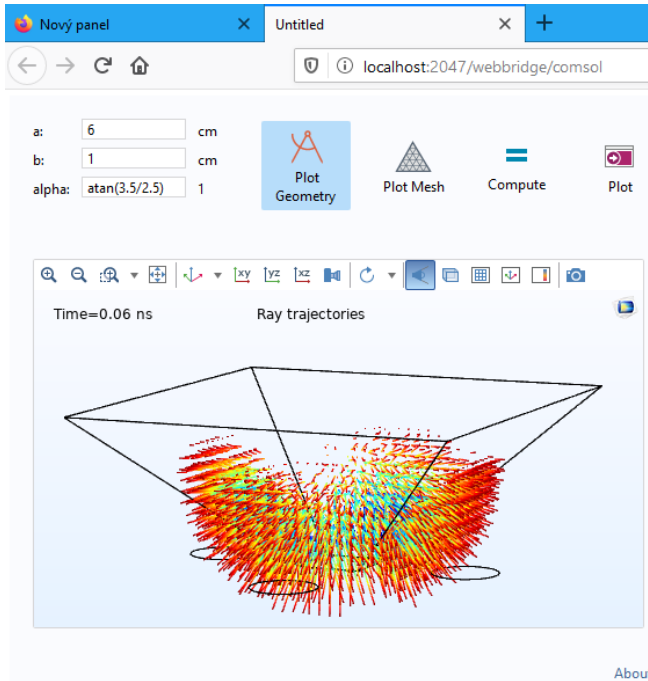






# COMSOL Server™

- Sdílení aplikace přes webové rozhraní
- Server běží u vás na počítači
- Komu vygenerujete heslo, ten může ovládat aplikace
- Aplikace pro mobilní telefony



# COMSOL Compiler™

- Aplikace kompilovaná s RunTime knihovnamí COMSOL Multiphysics®
- Vytvoří stand-alone program pro simulaci dané úlohy
- Vygenerujete licenční soubor
- Prodáte program pro výpočet obtékání elektrárny

COMPILE and DISTRIBUTE multiple apps  
with COMSOL Compiler™

RUN simulation apps  
on any machine



# The COMSOL® Software Product Suite

## COMSOL MULTIPHYSICS®

The platform product. Understand, predict, and optimize physics-based designs and processes with numerical simulation.

## DEPLOYMENT PRODUCTS

- COMSOL Compiler™
- COMSOL Server™

Distribute simulation applications created with COMSOL Multiphysics.

## ADD-ON PRODUCTS

### ELECTROMAGNETICS

- AC/DC Module
- RF Module
- Wave Optics Module
- Ray Optics Module
- Plasma Module
- Semiconductor Module

### FLUID & HEAT

- CFD Module
  - Mixer Module
- Microfluidics Module
- Porous Media Flow Module
- Subsurface Flow Module
- Pipe Flow Module
- Molecular Flow Module
- Metal Processing Module
- Heat Transfer Module

### STRUCTURAL & ACOUSTICS

- Structural Mechanics Module
  - Nonlinear Structural Materials Module
  - Composite Materials Module
  - Geomechanics Module
  - Fatigue Module
  - Rotordynamics Module
- Multibody Dynamics Module
- MEMS Module
- Acoustics Module

### CHEMICAL

- Chemical Reaction Engineering Module
- Batteries & Fuel Cells Module
- Electrodeposition Module
- Corrosion Module
- Electrochemistry Module

### MULTIPURPOSE

- Optimization Module
- Material Library
- Particle Tracing Module

### INTERFACING

- LiveLink™ for MATLAB®
- LiveLink™ for Excel®
- CAD Import Module
- Design Module
- ECAD Import Module
- LiveLink™ for SOLIDWORKS®
- LiveLink™ for Inventor®
- LiveLink™ for AutoCAD®
- LiveLink™ for Revit®
- LiveLink™ for PTC® Creo® Parametric™
- LiveLink™ for PTC® Pro/ENGINEER®
- LiveLink™ for Solid Edge®
- File Import for CATIA® V5



# Tři moderní směry ve FEM výpočtech

Martin Kožíšek

HUMUSOFT s.r.o.

# The COMSOL® Software Product Suite

## 1. Urychlení vývoje aplikacemi

### COMSOL MULTIPHYSICS®

The platform product. Understand, predict, and optimize physics-based designs and processes with numerical simulation.

### DEPLOYMENT PRODUCTS

- COMSOL Compiler™
- COMSOL Server™

Distribute simulation applications created with COMSOL Multiphysics.

## ADD-ON PRODUCTS

### ELECTROMAGNETICS

- AC/DC Module
- RF Module
- Wave Optics Module
- Ray Optics Module
- Plasma Module
- Semiconductor Module

### FLUID & HEAT

- CFD Module
  - Mixer Module
- Microfluidics Module
- Porous Media Flow Module
- Subsurface Flow Module
- Pipe Flow Module
- Molecular Flow Module
- Metal Processing Module
- Heat Transfer Module

### STRUCTURAL & ACOUSTICS

- Structural Mechanics Module
  - Nonlinear Structural Materials Module
  - Composite Materials Module
  - Geomechanics Module
  - Fatigue Module
  - Rotordynamics Module
- Multibody Dynamics Module
- MEMS Module
- Acoustics Module

### CHEMICAL

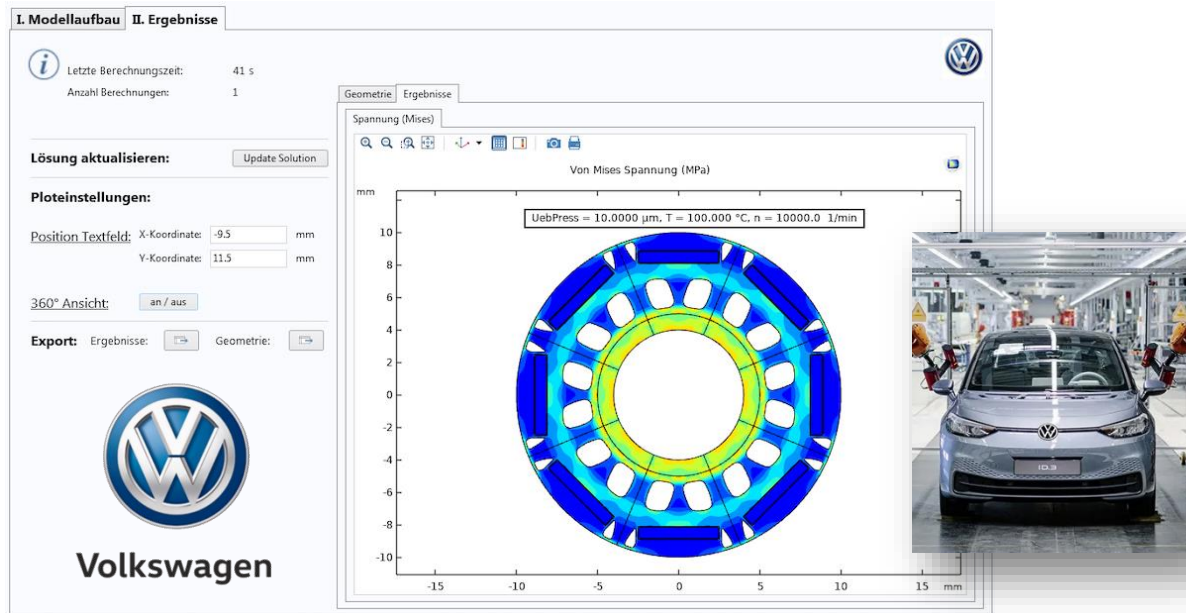
- Chemical Reaction Engineering Module
- Batteries & Fuel Cells Module
- Electrodeposition Module
- Corrosion Module
- Electrochemistry Module

### MULTIPURPOSE

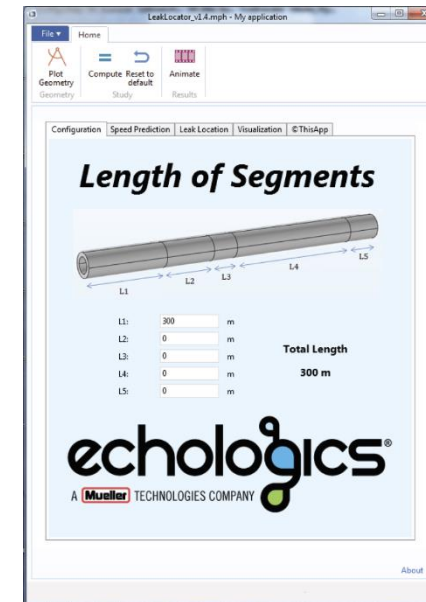
- Optimization Module
- Material Library
- Particle Tracing Module

### INTERFACING

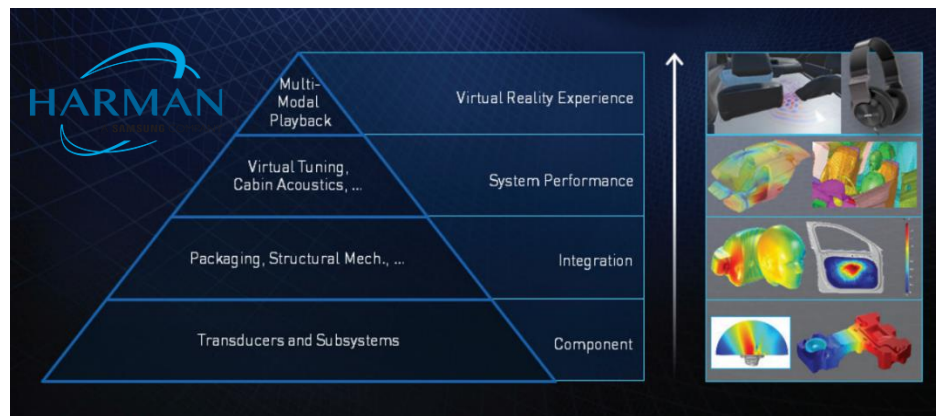
- LiveLink™ for MATLAB®
- LiveLink™ for Excel®
- CAD Import Module
- Design Module
- ECAD Import Module
- LiveLink™ for SOLIDWORKS®
- LiveLink™ for Inventor®
- LiveLink™ for AutoCAD®
- LiveLink™ for Revit®
- LiveLink™ for PTC® Creo® Parametric™
- LiveLink™ for PTC® Pro/ENGINEER®
- LiveLink™ for Solid Edge®
- File Import for CATIA® V5



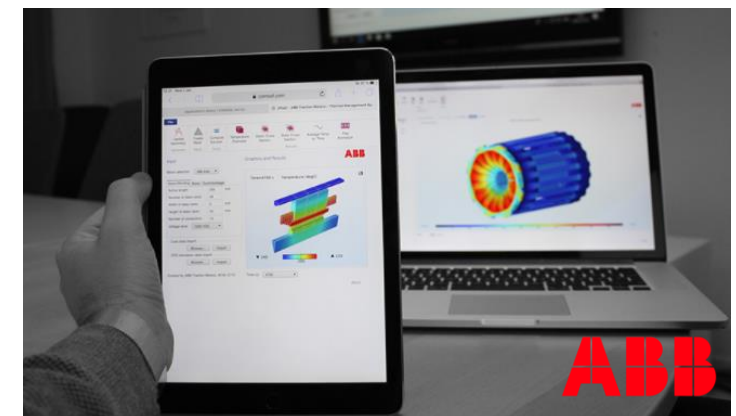
<https://www.engineering.com/PLMERP/ArticleID/20388/Multiphysics-in-VWs-Kassel-Factory-COMSOLs-Capability-Breaks-the-Dominance-of-Big-League-PLM-Players.aspx>



<https://www.comsol.com/story/multiphysics-analysis-advances-water-main-leak-detection-57771>



<https://www.comsol.com/story/simulation-applications-help-shape-the-design-of-car-audio-systems-80581>



<https://www.comsol.com/blogs/simulation-applications-enable-digitalization-at-abb-traction-motors/>

# The COMSOL<sup>®</sup> Software Product Suite

## 2. Propojení s MATLAB & Simulink, Digital Twins.

### COMSOL MULTIPHYSICS<sup>®</sup>

The platform product. Understand, predict, and optimize physics-based designs and processes with numerical simulation.

### DEPLOYMENT PRODUCTS

- COMSOL Compiler™
- COMSOL Server™

Distribute simulation applications created with COMSOL Multiphysics.

## ADD-ON PRODUCTS

### ELECTROMAGNETICS

- AC/DC Module
- RF Module
- Wave Optics Module
- Ray Optics Module
- Plasma Module
- Semiconductor Module

### FLUID & HEAT

- CFD Module
  - Mixer Module
- Microfluidics Module
- Porous Media Flow Module
- Subsurface Flow Module
- Pipe Flow Module
- Molecular Flow Module
- Metal Processing Module
- Heat Transfer Module

### STRUCTURAL & ACOUSTICS

- Structural Mechanics Module
  - Nonlinear Structural Materials Module
  - Composite Materials Module
  - Geomechanics Module
  - Fatigue Module
  - Rotordynamics Module
- Multibody Dynamics Module
- MEMS Module
- Acoustics Module

### CHEMICAL

- Chemical Reaction Engineering Module
- Batteries & Fuel Cells Module
- Electrodeposition Module
- Corrosion Module
- Electrochemistry Module

### MULTIPURPOSE

- Optimization Module
- Material Library
- Particle Tracing Module

### INTERFACING

- LiveLink™ for MATLAB®
- LiveLink™ for Excel®
- CAD Import Module
- Design Module
- ECAD Import Module
- LiveLink™ for SOLIDWORKS®
- LiveLink™ for Inventor®
- LiveLink™ for AutoCAD®
- LiveLink™ for Revit®
- LiveLink™ for PTC® Creo® Parametric™
- LiveLink™ for PTC® Pro/ENGINEER®
- LiveLink™ for Solid Edge®
- File Import for CATIA® V5

# Model-Based Design vs. Digital Twins

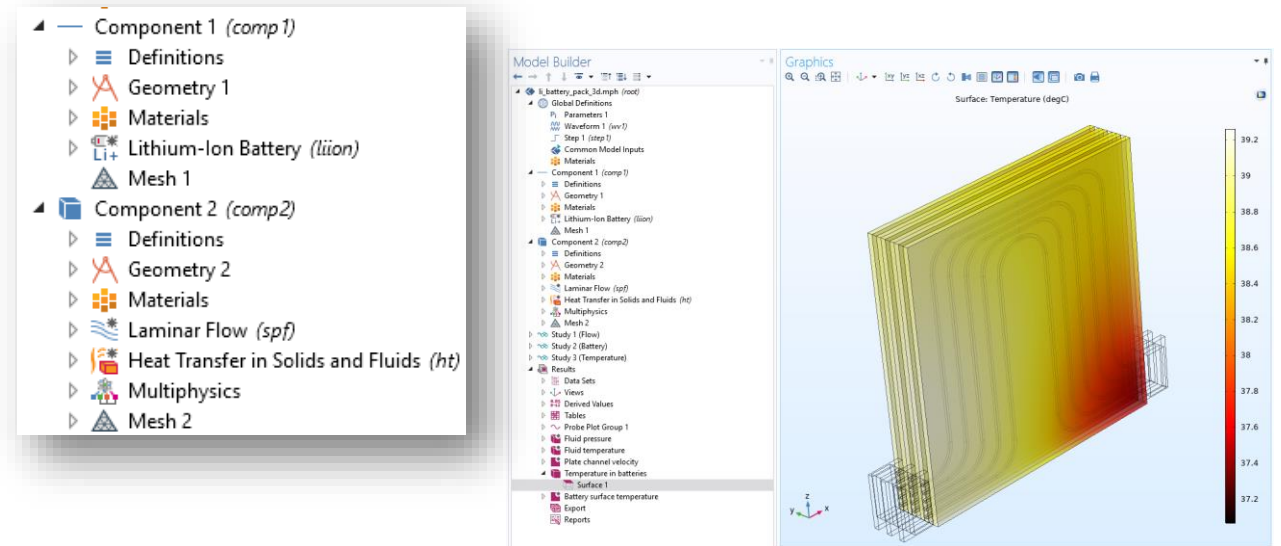
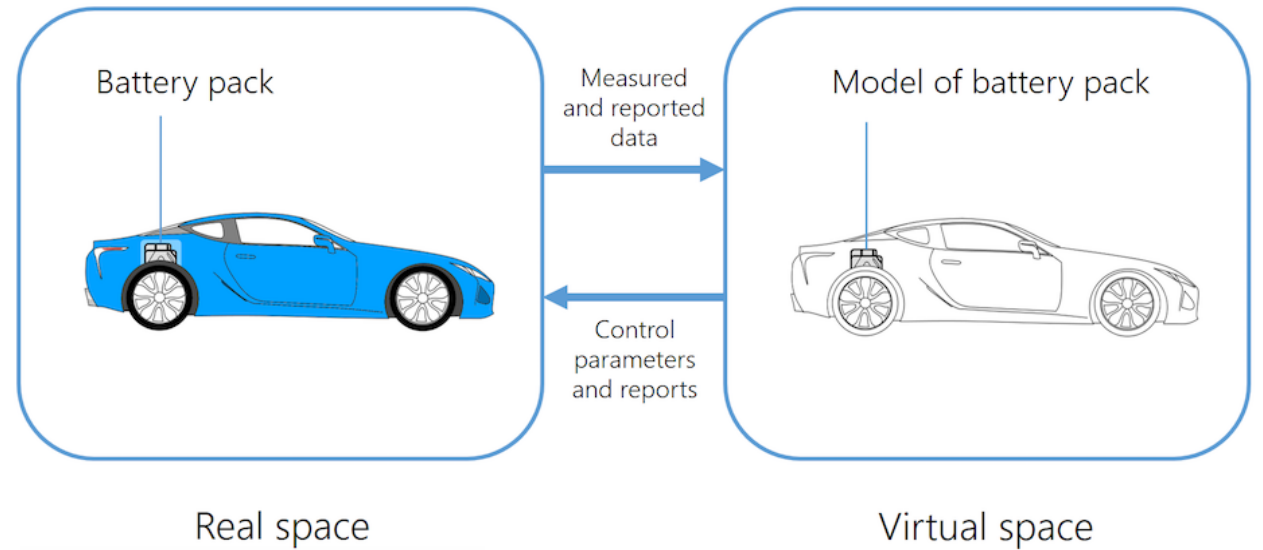
- Tvorba virtuálního modelu
  - Ověření modelu
  - Virtual prototyping, optimalizace
- MBD**
- Tvorba zjednodušených modelů
  - Komunikace reálný systém <-> zjednodušený model (řízení, často real-time)
  - Komunikace virtuální model <-> zjednodušený model (kalibrace)

**Digital  
Twins**



# Digital Twins baterie hybridního auta

- Klíčový komponent (jak z hlediska bezpečnosti lidí, tak ceny vozu).
- **Měřená data:** provoz, teplota, nabití, odpor, polarizace (I vs. U).
- **Digital Twins:** zhodnocení stavu jednotlivých článků a nastavení řízení vozu.
- Různé úrovně složitosti
  - rychlé odlehčené modely: 1D nebo „*model order reduction*“
  - pomalé detailní modely: „*Cloud computing*“ ...



**Model vodou chlazené baterie. Proudění a přestup tepla jsou počítány ve 3D detailním modelu. 1D model baterie slouží k výpočtu generovaného tepla.**

# The COMSOL® Software Product Suite

## 3. Optimize

### COMSOL MULTIPHYSICS®

The platform product. Understand, predict, and optimize physics-based designs and processes with numerical simulation.

### DEPLOYMENT PRODUCTS

- COMSOL Compiler™
- COMSOL Server™

Distribute simulation applications created with COMSOL Multiphysics.

## ADD-ON PRODUCTS

### ELECTROMAGNETICS

- AC/DC Module
- RF Module
- Wave Optics Module
- Ray Optics Module
- Plasma Module
- Semiconductor Module

### FLUID & HEAT

- CFD Module
  - Mixer Module
- Microfluidics Module
- Porous Media Flow Module
- Subsurface Flow Module
- Pipe Flow Module
- Molecular Flow Module
- Metal Processing Module
- Heat Transfer Module

### STRUCTURAL & ACOUSTICS

- Structural Mechanics Module
  - Nonlinear Structural Materials Module
  - Composite Materials Module
  - Geomechanics Module
  - Fatigue Module
  - Rotordynamics Module
- Multibody Dynamics Module
- MEMS Module
- Acoustics Module

### CHEMICAL

- Chemical Reaction Engineering Module
- Batteries & Fuel Cells Module
- Electrodeposition Module
- Corrosion Module
- Electrochemistry Module

### MULTIPURPOSE

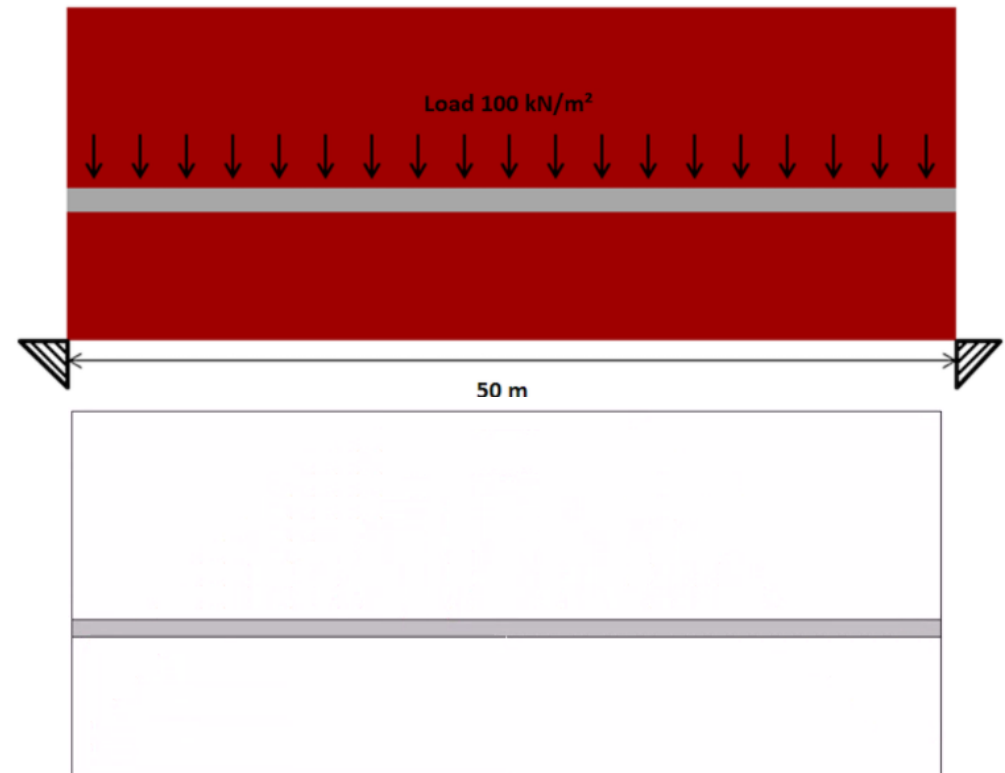
- Optimization Module
- Material Library
- Particle Tracing Module

### INTERFACING

- LiveLink™ for MATLAB®
- LiveLink™ for Excel®
- CAD Import Module
- Design Module
- ECAD Import Module
- LiveLink™ for SOLIDWORKS®
- LiveLink™ for Inventor®
- LiveLink™ for AutoCAD®
- LiveLink™ for Revit®
- LiveLink™ for PTC® Creo® Parametric™
- LiveLink™ for PTC® Pro/ENGINEER®
- LiveLink™ for Solid Edge®
- File Import for CATIA® V5

# Optimalizace

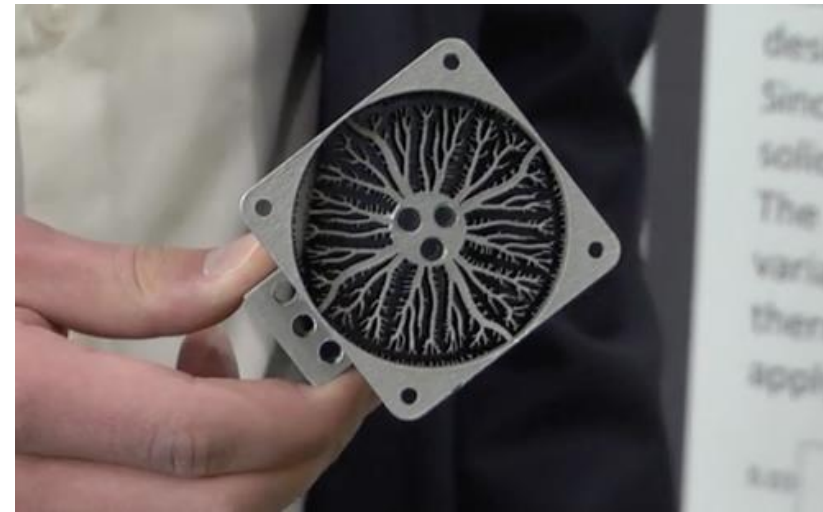
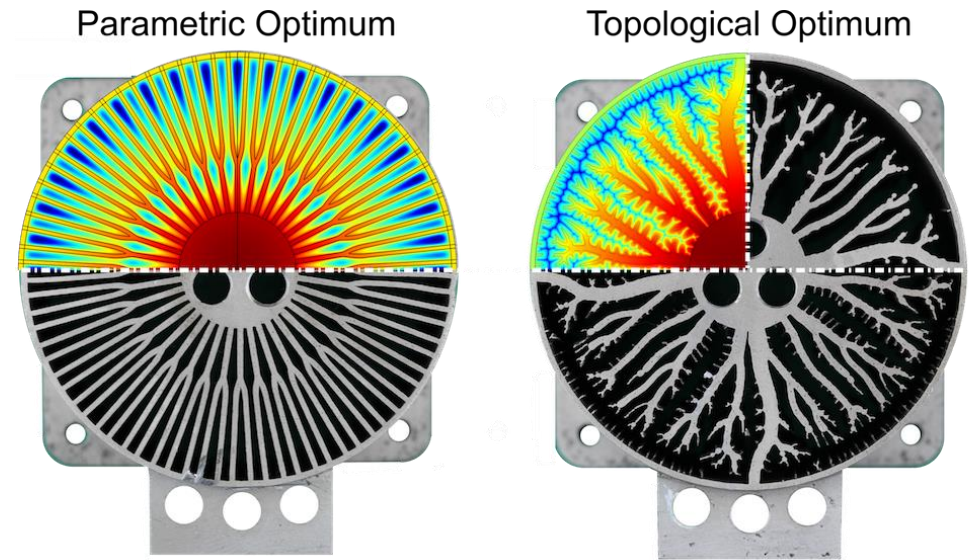
- Primitivně: ruční hledání optima v parametrických studiích.
- Sofistikovaně: výpočet optimálních hodnot parametrů pro zadaná kritéria.
  - Např. minimální hmotnost
  - Např. maximální tuhost
- Optimalizační algoritmy přímo v COMSOL Multiphysics®:
  - rozměrová (parametrická)
  - tvarová (parametrická)
  - topologická
- Optimalizační algoritmy v MATLAB®.



*Vstupem do optimalizace je zastavitelný prostor („Design space“), zatížení, okrajové podmínky a cílová funkce. Algoritmus hledá tvar optimální konstrukce.*

# Optimalizace

- Primitivní: ruční hledání optima v parametrických studiích.
- Sofistikovaná: výpočet optimálních hodnot parametrů pro zadaná kritéria.
  - Např. minimální hmotnost
  - Např. maximální tuhost
- Optimalizační algoritmy přímo v COMSOL Multiphysics®:
  - rozměrová (parametrická)
  - tvarová (parametrická)
  - topologická
- Optimalizační algoritmy v MATLAB®.



*Optimalizace parametrická vs. topologická. Ne vždy je optimální návrh „realizovatelný“. Zde chladič vytištěn na 3D tiskárně.*



# COMSOL CONFERENCE 2020 GRENOBLE

*the  
Multiphysics Simulation  
event of the year*

# Save the Date!

**October 14–16** at WTC Grenoble Convention Center

► [comsol.fr/conference/grenoble](https://comsol.fr/conference/grenoble)