

Představení COMSOL Multiphysics[®], COMSOL Server[™] a COMSOL Compiler[™]

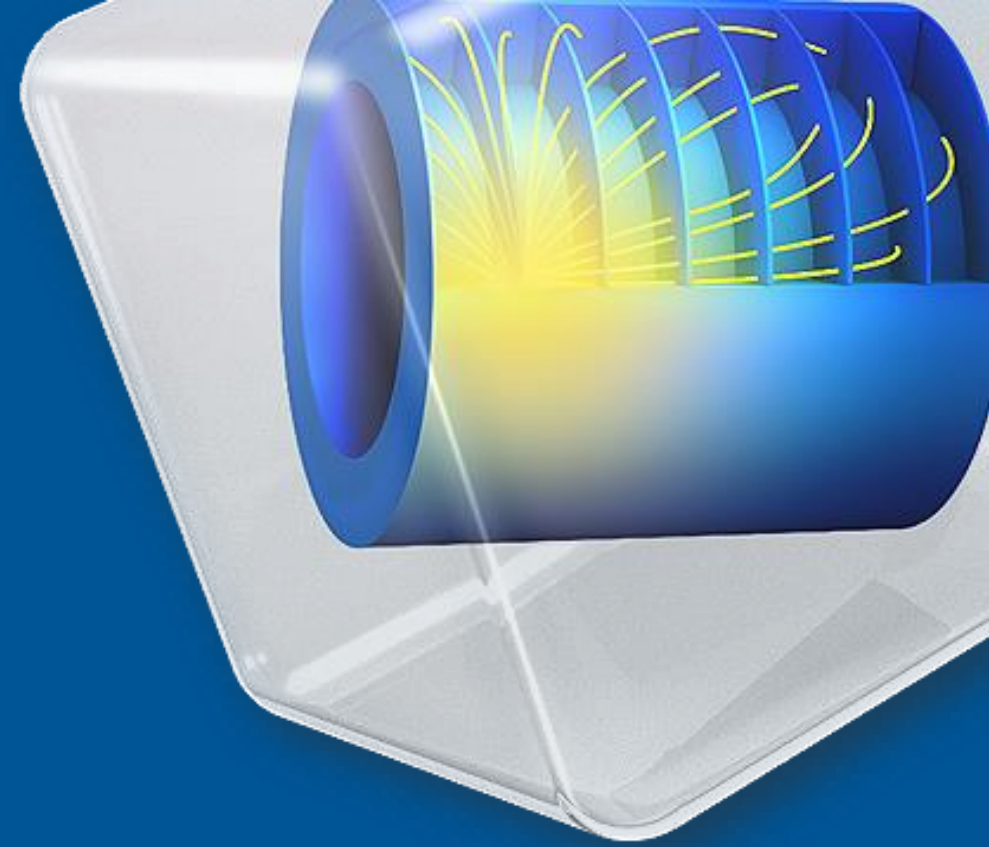


Martin Kožíšek

HUMUSOFT s.r.o.

kozisek@humusoft.cz

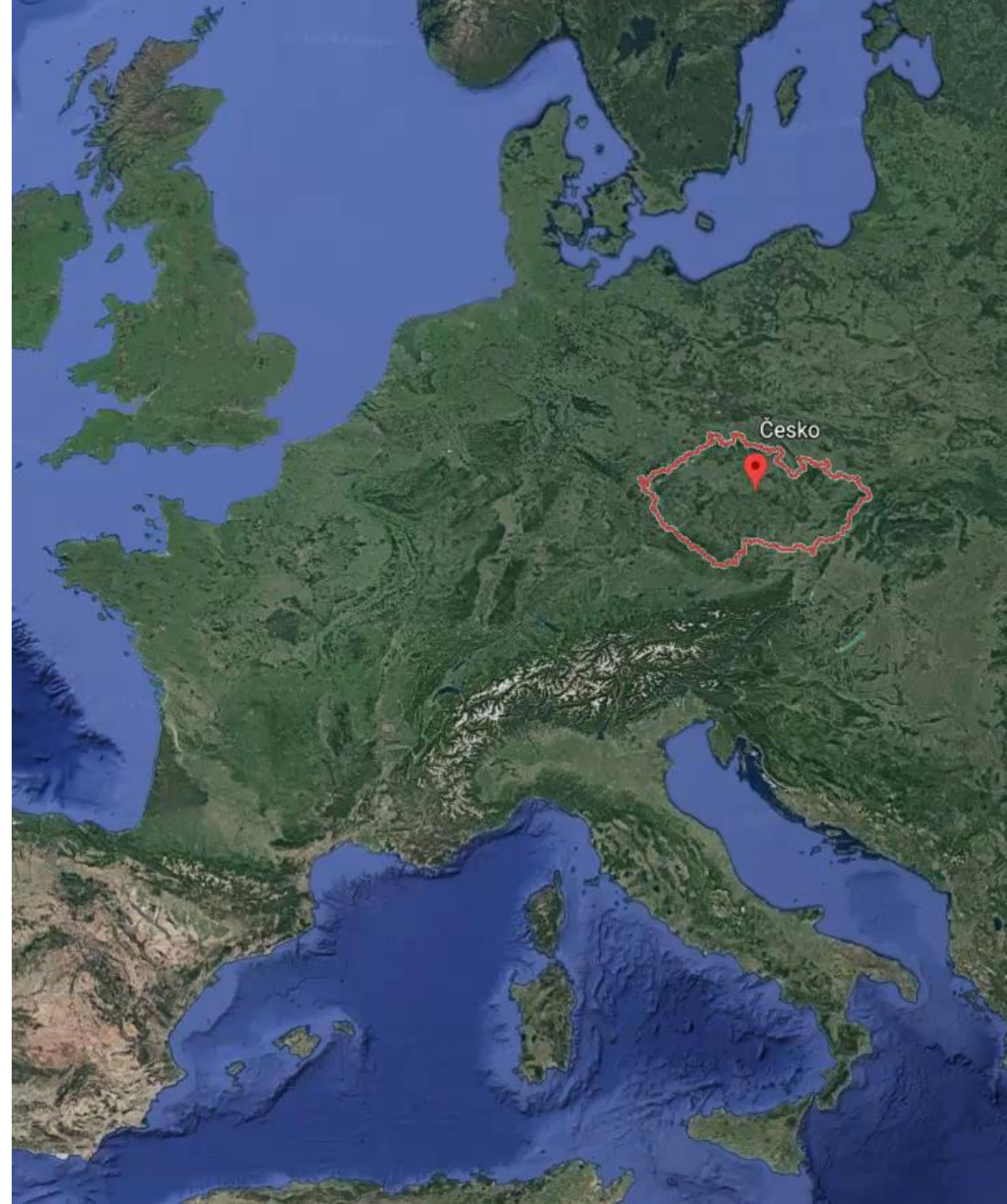
+420 284 011 745



Představení COMSOL Multiphysics[®],
COMSOL Server[™] a COMSOL Compiler[™]

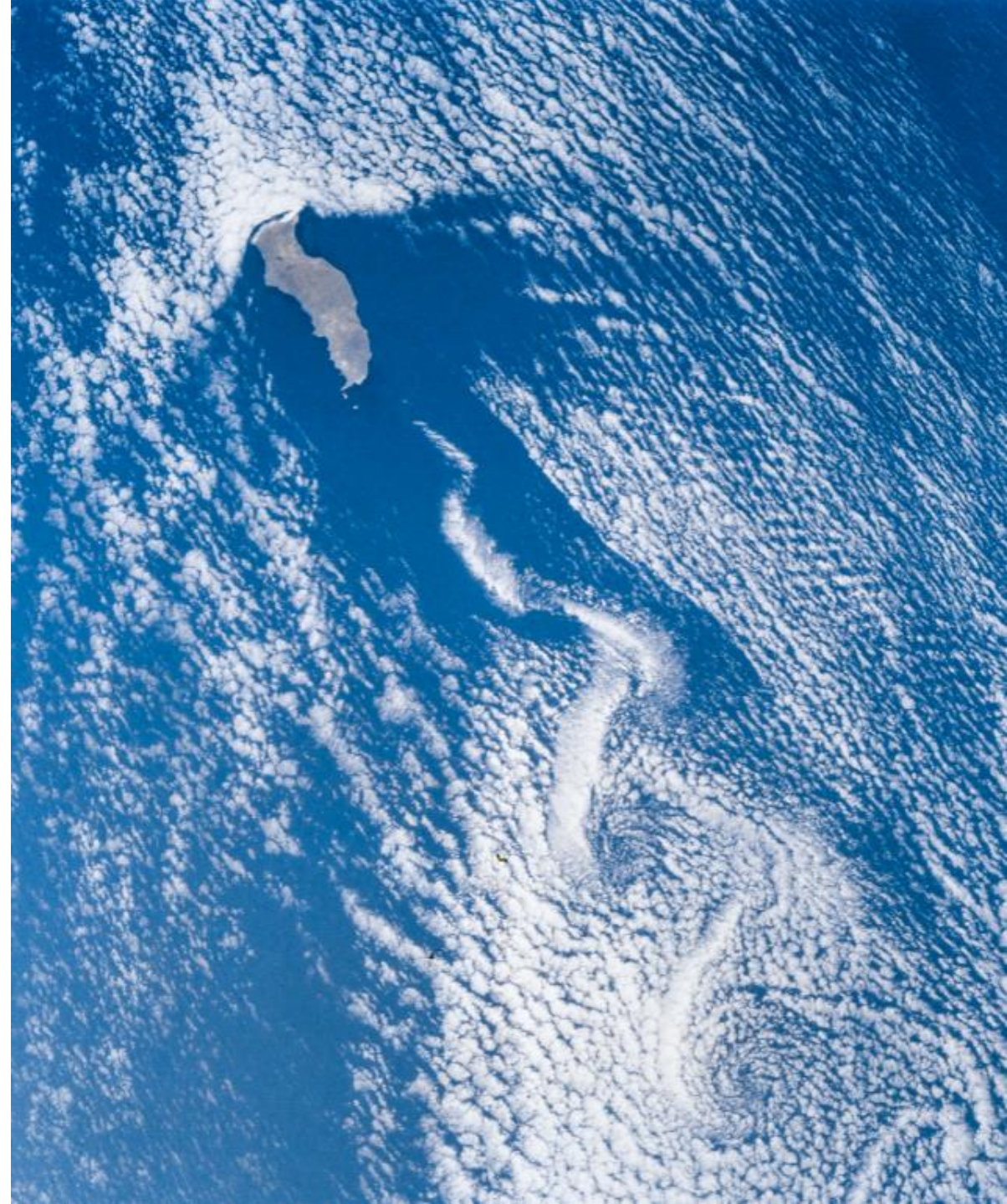
Příklad fyzikálního děje

- Ostrov Guadalupe
- Karibské moře, 600 km severně od Jižní Ameriky
- 9. května 2018, severozápadní vítr 10 m/s



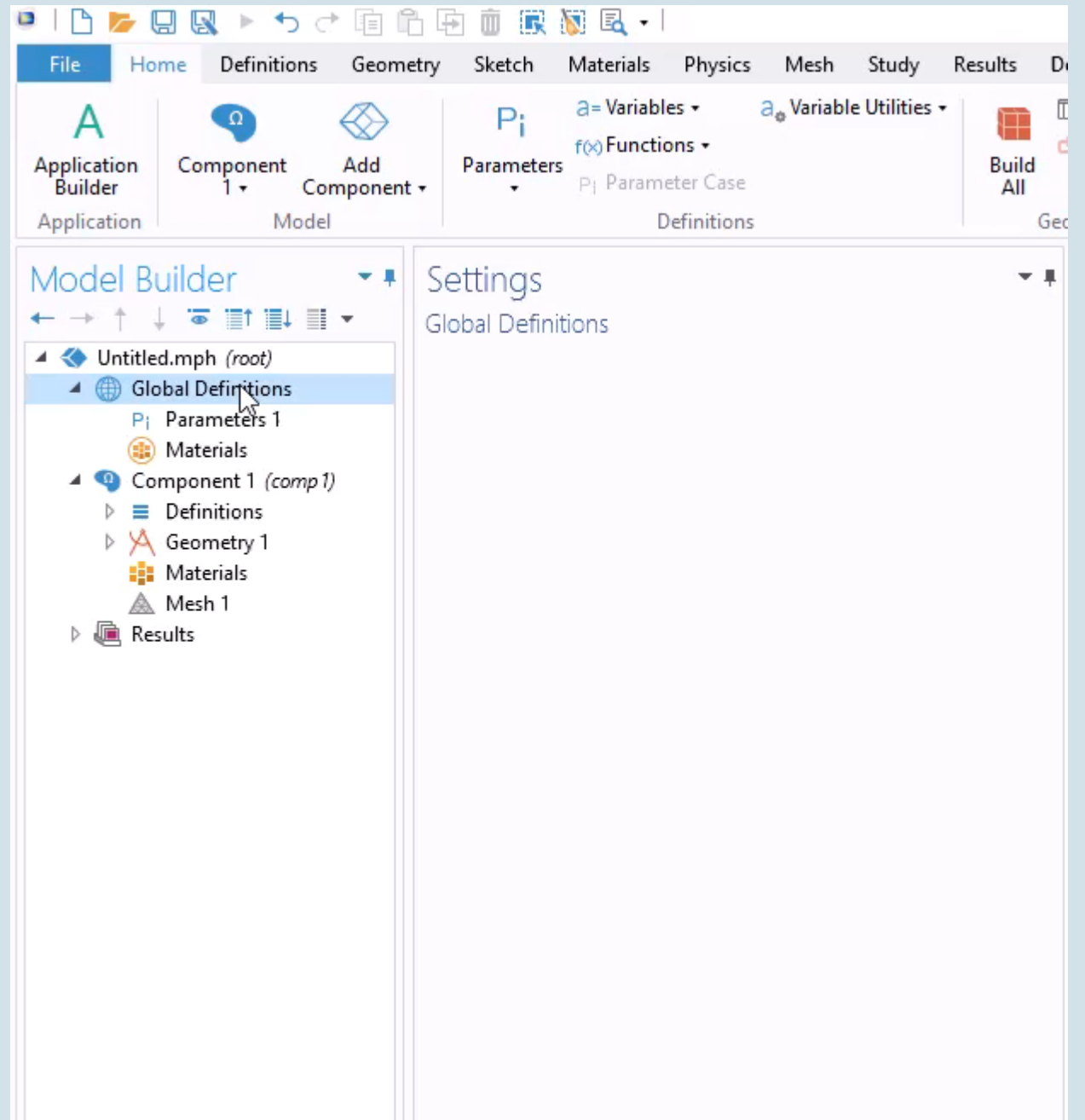
Příklad fyzikálního děje

- Ostrov Guadalupe
- Karibské moře, 600 km severně od Jižní Ameriky
- 9. května 2018, severozápadní vítr 10 m/s
- Von Kármánova vírová řada
 - Aerodynamický jev
 - Střídavě se odtrhávající víry



COMSOL Multiphysics®

- Definice parametrů



COMSOL Multiphysics®

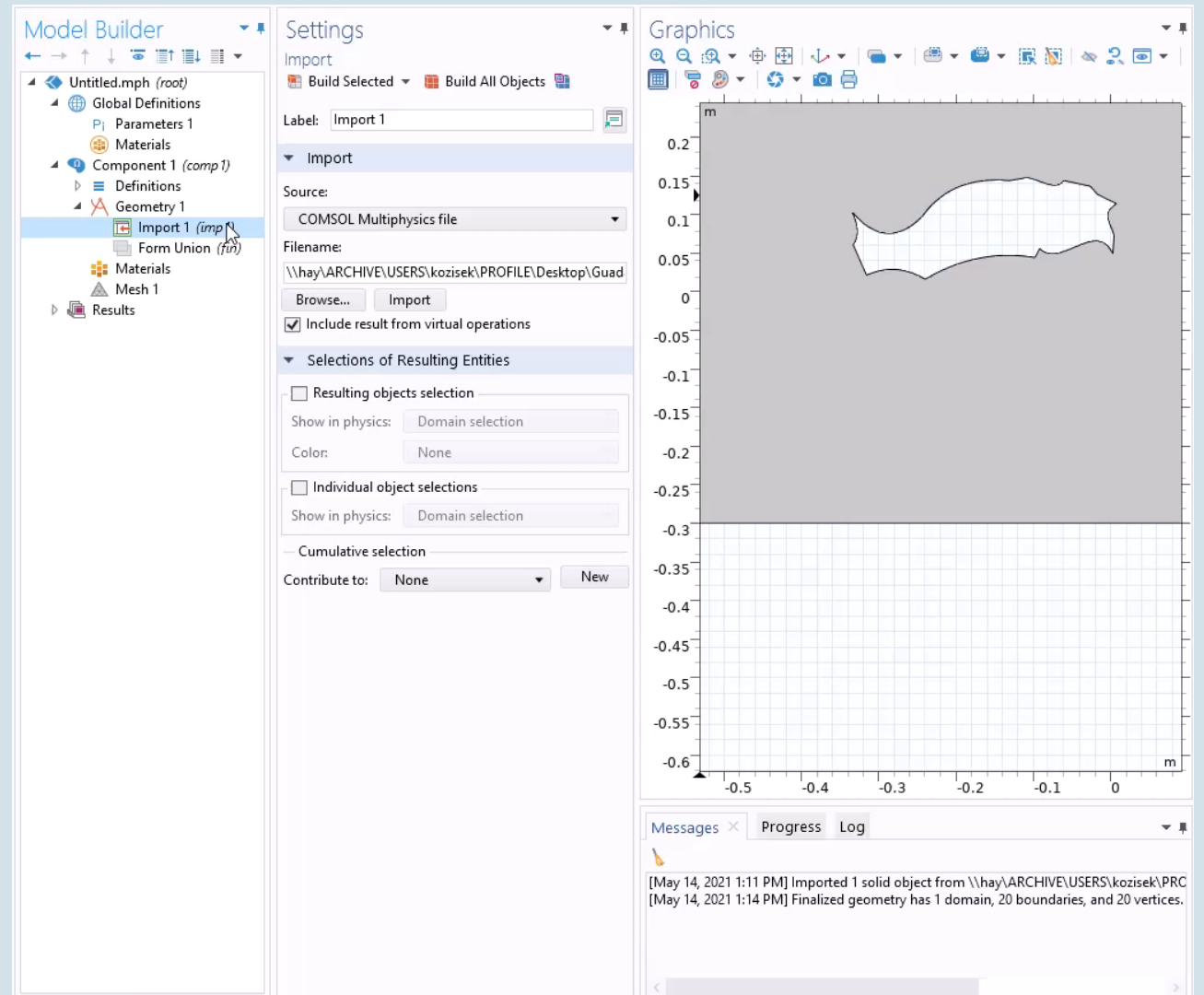
- Definice parametrů
- Tvorba/import geometrie

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface. The **Model Builder** window on the left shows a hierarchical tree structure for an untitled model. The **Settings** window in the center is focused on the **Parameters** section, showing a table of defined parameters. The **Graphics** window on the right shows a blank coordinate system with axes ranging from -1 to 1.2 on the y-axis and 0 to 2 on the x-axis.

| Name | Expression | Value | Description |
|---------|----------------|-------------|-------------|
| rho | 1.2 [kg/m^3] | 1.2 kg/m³ | |
| mu | 1.81e-5 [Pa*s] | 1.81E-5... | |
| D | 0.08 [m] | 0.08 m | |
| Re | 200 | 200 | |
| U_inlet | Re*mu/D/rho | 0.037708... | |

COMSOL Multiphysics®

- Definice parametrů
- Tvorba/import geometrie
- Definice materiálu



COMSOL Multiphysics®

- Definice parametrů
- Tvorba/import geometrie
- Definice materiálu
- Okrajové a počáteční podmínky

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface with the following panels:

- Model Builder:** Shows a tree view of the model structure. The 'Materials' folder is expanded, showing 'Air (mat1)' selected.
- Settings:** Shows the 'Material' settings for 'Air'. The 'Geometric Entity Selection' is set to 'Domain'. The 'Material Contents' table is visible below.
- Graphics:** Shows a 2D plot of the geometry, which is a rectangular domain with a white irregular hole in the center. The axes are labeled 'm' and range from -0.6 to 0.2.
- Add Material:** Shows a search bar and a list of materials. 'Air' is selected in the 'Built-in' category.
- Messages/Log:** Shows a log entry: "[May 14, 2021 1:14 PM] Finalized geometry has 1 domain, 20 boundaries, and 20 vertices."

| Property | Variable | Value |
|-----------------------------------|------------|----------|
| Coefficient of thermal expansi... | alpha... | alph... |
| Mean molar mass | Mn | 0.02 |
| Bulk viscosity | muB | mu |
| Relative permeability | mur_i... | 1 |
| Relative permittivity | epsilo... | 1 |
| Dynamic viscosity | mu | eta(...) |
| Ratio of specific heats | gamma | 1.4 |
| Electrical conductivity | sigma... | 0[S/... |
| Heat capacity at constant pres... | Cp | Cp(...) |
| Density | rho | rho(...) |
| Thermal conductivity | k_iso ;... | k(T) |

COMSOL Multiphysics®

- Definice parametrů
- Tvorba/import geometrie
- Definice materiálu
- Okrajové a počáteční podmínky
- Síťování výpočetní oblasti

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface with the following panels:

- Model Builder:** Shows a tree view of the model structure for 'Untitled.mph (root)'. It includes sections for Global Definitions, Parameters, Materials, Component 1 (comp 1), and Laminar Flow (spf). The 'Open Boundary 1' is selected under the 'Equation View'.
- Settings:** Shows the configuration for 'Open Boundary 1'. The 'Boundary Selection' is set to 'Manual' with a list of selected boundaries (2, 3). The 'Boundary Condition' is set to 'Normal stress' with a value of $f_0 = 0$ N/m².
- Graphics:** Shows a 2D plot of the geometry, a rectangular domain, with a blue boundary selection box around the top edge. The axes are labeled in meters (m).
- Add Physics:** Shows a list of physics interfaces, including 'Laminar Flow (spf)', 'Coefficient Form PDE', 'Pressure Acoustics', 'Transport of Dilute Species', 'Turbulent Flow, k- ϵ ', 'AC/DC', 'Acoustics', 'Chemical Species Transport', 'Electrochemistry', 'Fluid Flow', 'Single-Phase Flow', 'Creeping Flow', 'Laminar Flow (spf)', 'Turbulent Flow, k- ϵ ', 'Rotating Machinery', 'Pipe Flow (pfl)', 'Viscoelastic Flow', 'Water Hammer', 'Multiphase Flow', and 'Porous Media and Structures'.
- Messages:** Shows a log of the simulation process:
 - [May 14, 2021 1:11 PM] Imported 1 solid object from \\hay\ARCHIVE\USERS\kozisek\PRC
 - [May 14, 2021 1:14 PM] Finalized geometry has 1 domain, 20 boundaries, and 20 vertices.
 - [May 14, 2021 2:33 PM] Complete mesh consists of 5527 domain elements and 303 boundaries.

COMSOL Multiphysics®

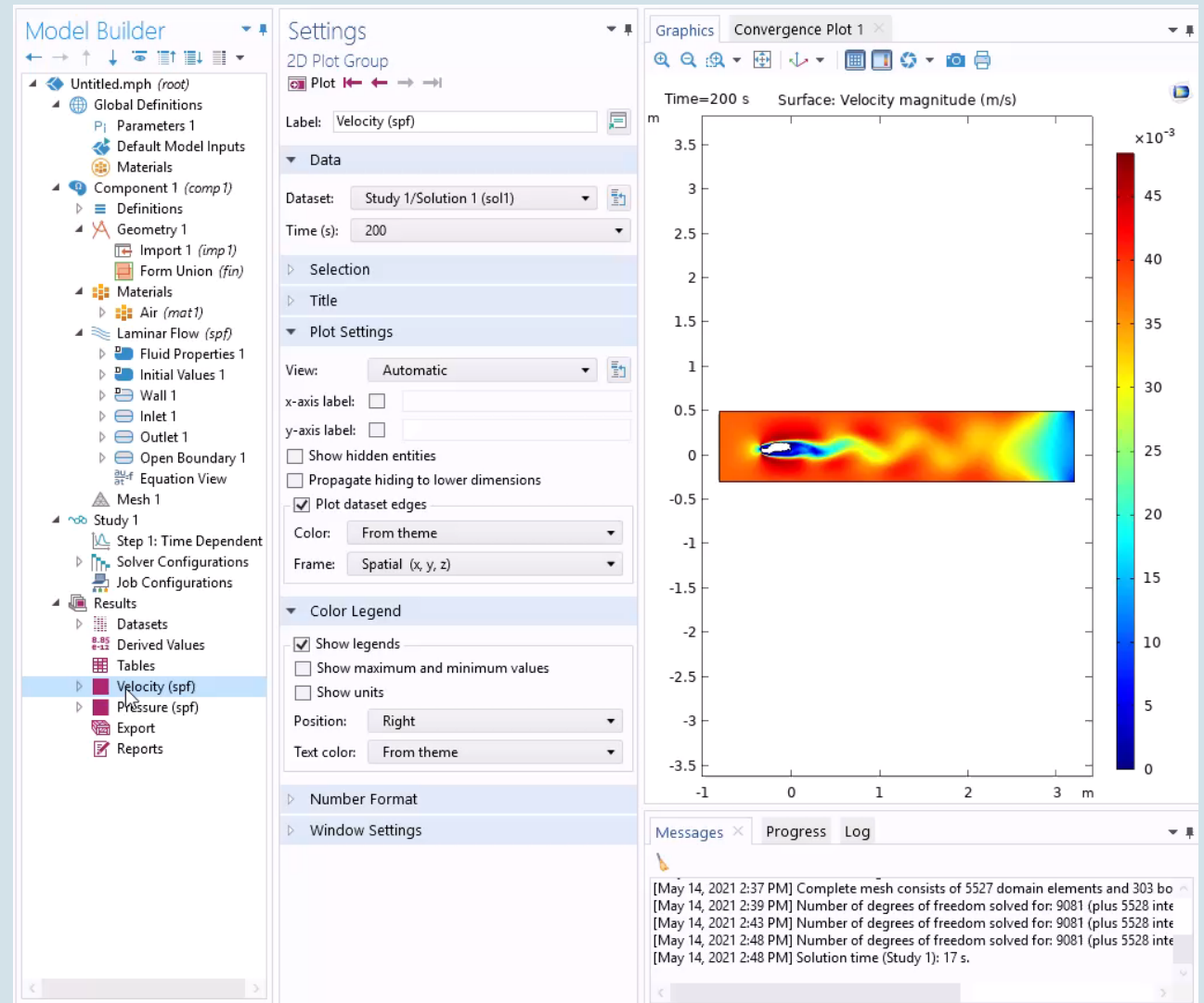
- Definice parametrů
- Tvorba/import geometrie
- Definice materiálu
- Okrajové a počáteční podmínky
- Síťování výpočetní oblasti
- Výpočet simulace fyzikálního děje

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface. The **Model Builder** window on the left shows a hierarchical tree structure for an untitled model. The **Settings** window in the middle is configured for a **Mesh** with a **Physics-controlled mesh** sequence type and a **Normal** element size. The **Graphics** window on the right shows a 2D mesh of a complex, irregular domain. The **Messages** window at the bottom right contains the following log entries:

```
[May 14, 2021 2:36 PM] Mesh warning (ref1): None of the selected entities has a mesh.
[May 14, 2021 2:37 PM] Mesh warning (ref1): None of the selected entities has a mesh.
[May 14, 2021 2:37 PM] Complete mesh consists of 5527 domain elements and 303 bo
[May 14, 2021 2:39 PM] Number of degrees of freedom solved for: 9081 (plus 5528 inte
[May 14, 2021 2:43 PM] Number of degrees of freedom solved for: 9081 (plus 5528 inte
```

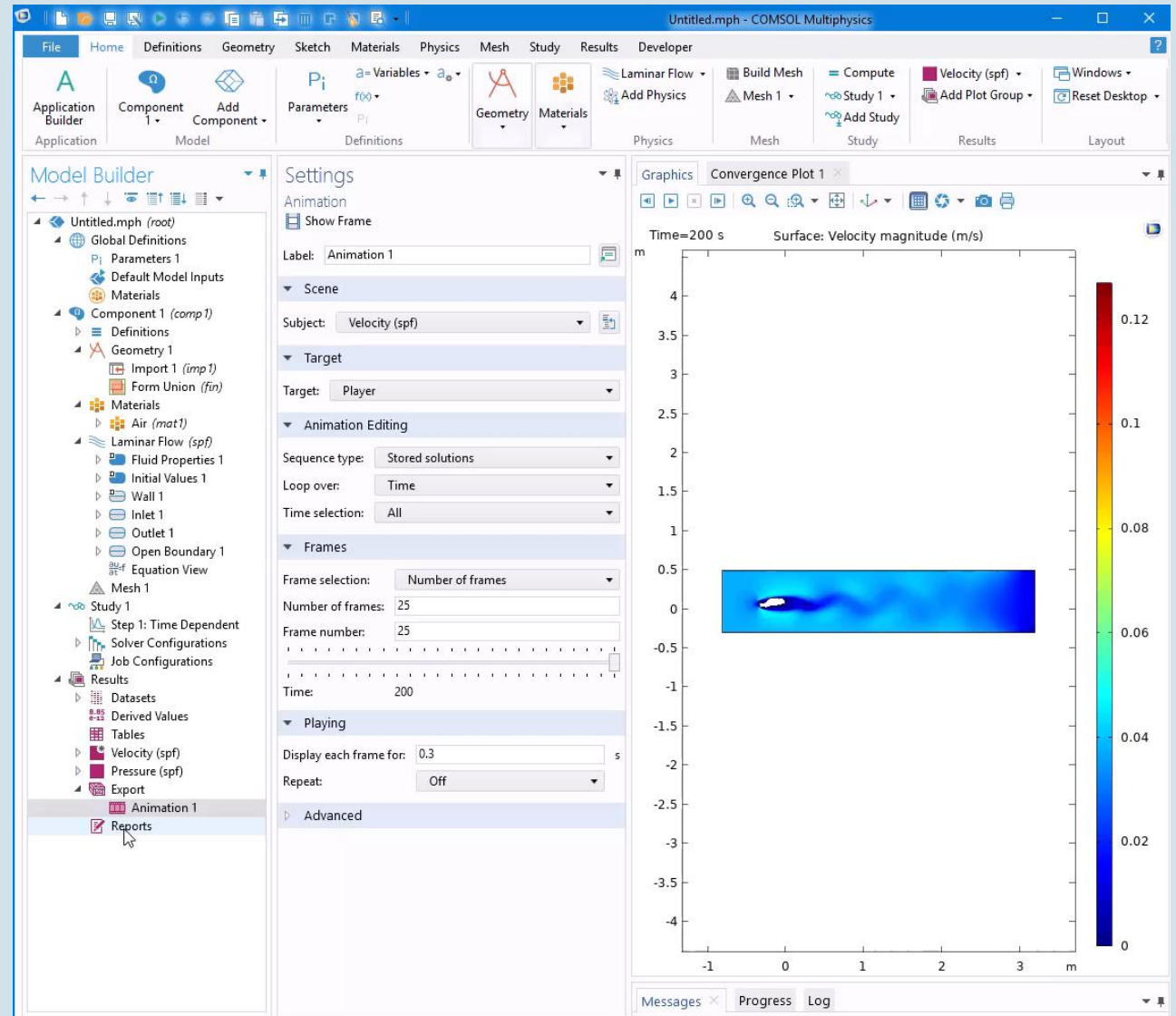
COMSOL Multiphysics®

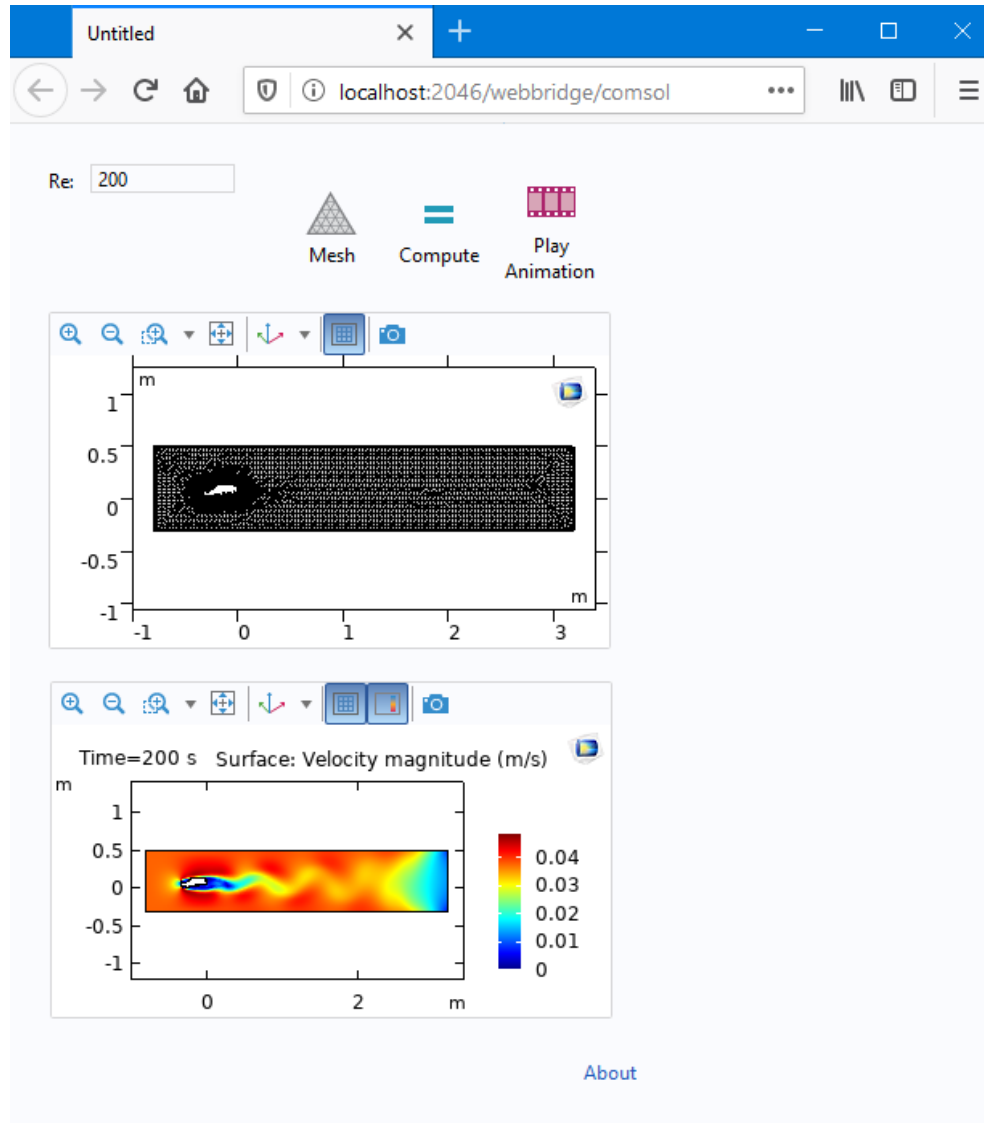
- Definice parametrů
- Tvorba/import geometrie
- Definice materiálu
- Okrajové a počáteční podmínky
- Síťování výpočetní oblasti
- Výpočet simulace fyzikálního děje
- Zpracování výsledků



COMSOL Multiphysics®

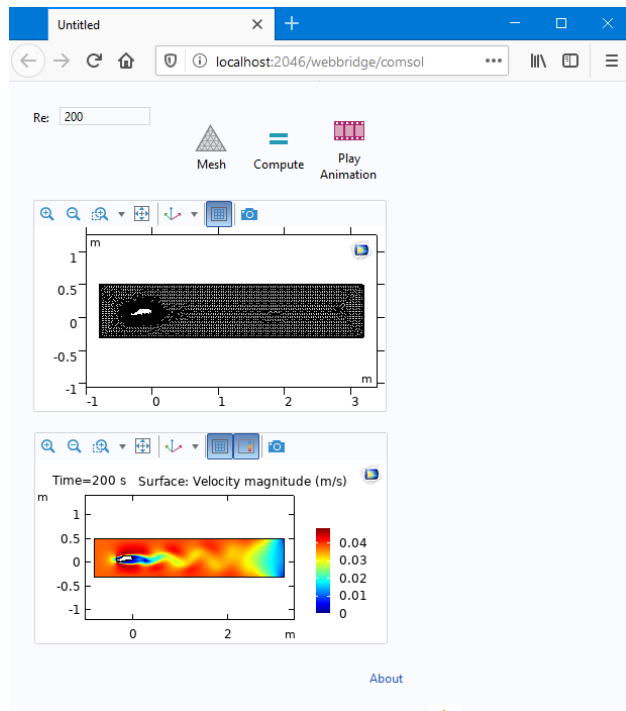
- Definice parametrů
- Tvorba/import geometrie
- Definice materiálu
- Okrajové a počáteční podmínky
- Síťování výpočetní oblasti
- Výpočet simulace fyzikálního děje
- Zpracování výsledků
- Tvorba aplikace





Možnosti COMSOL Server™

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



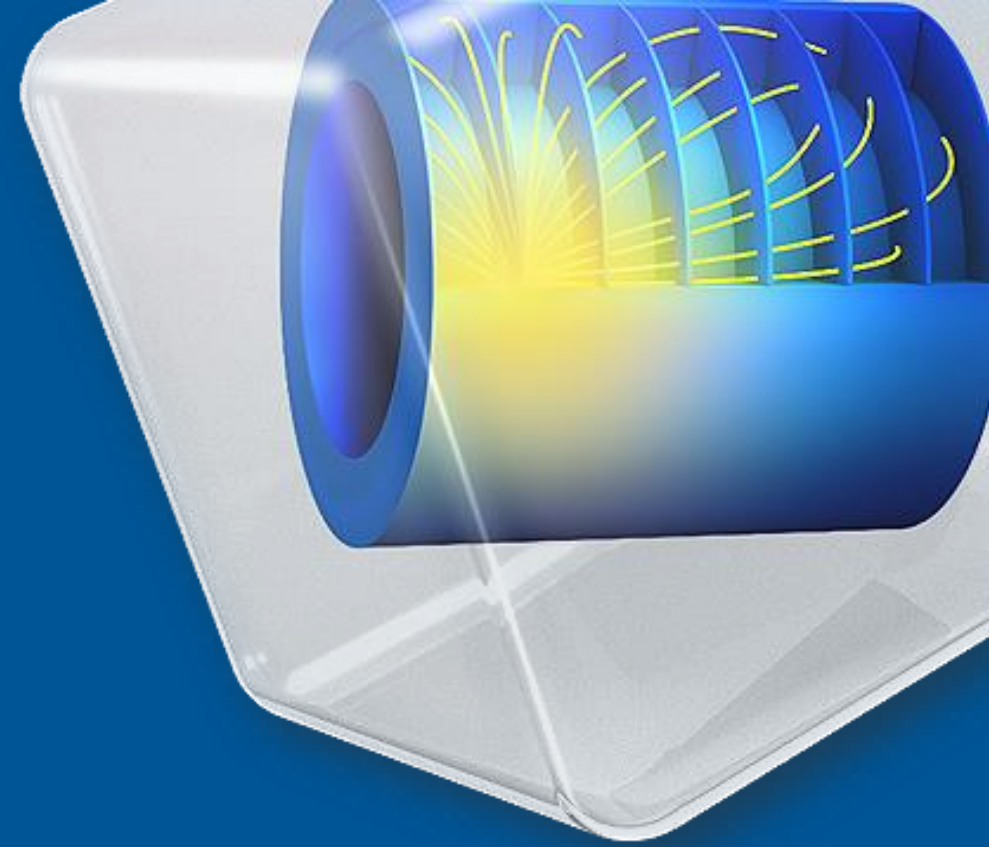
COMPILE and DISTRIBUTE multiple apps
with COMSOL Compiler™

RUN simulation apps
on any machine



Možnosti COMSOL Compiler™

- Aplikace kompilovaná s RunTime knihovnamy COMSOL Multiphysics
- Vytvoří stand-alone program pro simulaci dané úlohy
- Vygenerujete licenční soubor
- Prodáte program



Moduly COMSOL Multiphysics

Equation

Show equation assuming:
Study 1, Time Dependent

$$e_a \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} + d_a \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma = f$$

$$\mathbf{u} = [u_1, u_2]^T$$

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right]$$

Conservative Flux

| | |
|------|---|
| -u1x | x |
| -u1y | y |
| -u1z | z |
| Γ | |
| 0 | x |
| 0 | y |
| 0 | z |

Source Term

f

(alpha-u1)*(u1-1)*u1-u2
epsilon*(beta*u1-gamma*u2-delta)

Damping or Mass Coefficient

| | |
|---|---|
| 1 | 0 |
| 0 | 1 |

Mass Coefficient

| | |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |

Mathematics

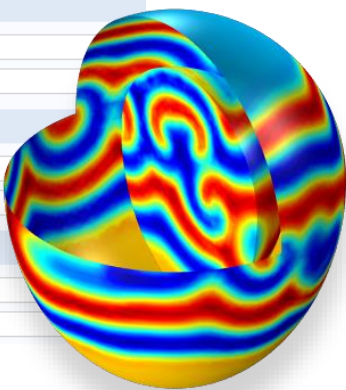
- ▷ PDE Interfaces
- ▷ ODE and DAE Interfaces
- ▷ Optimization and Sensitivity
- ▷ Classical PDEs
- ▷ Moving Interface
- ▷ Deformed Mesh
- ▷ Wall Distance (wd)
- ▷ Mathematical Particle Tracing (pt)
- ▷ Curvilinear Coordinates (cc)

Show equation assuming:

$$0 = \int_{\Omega} \text{weak} \partial v$$

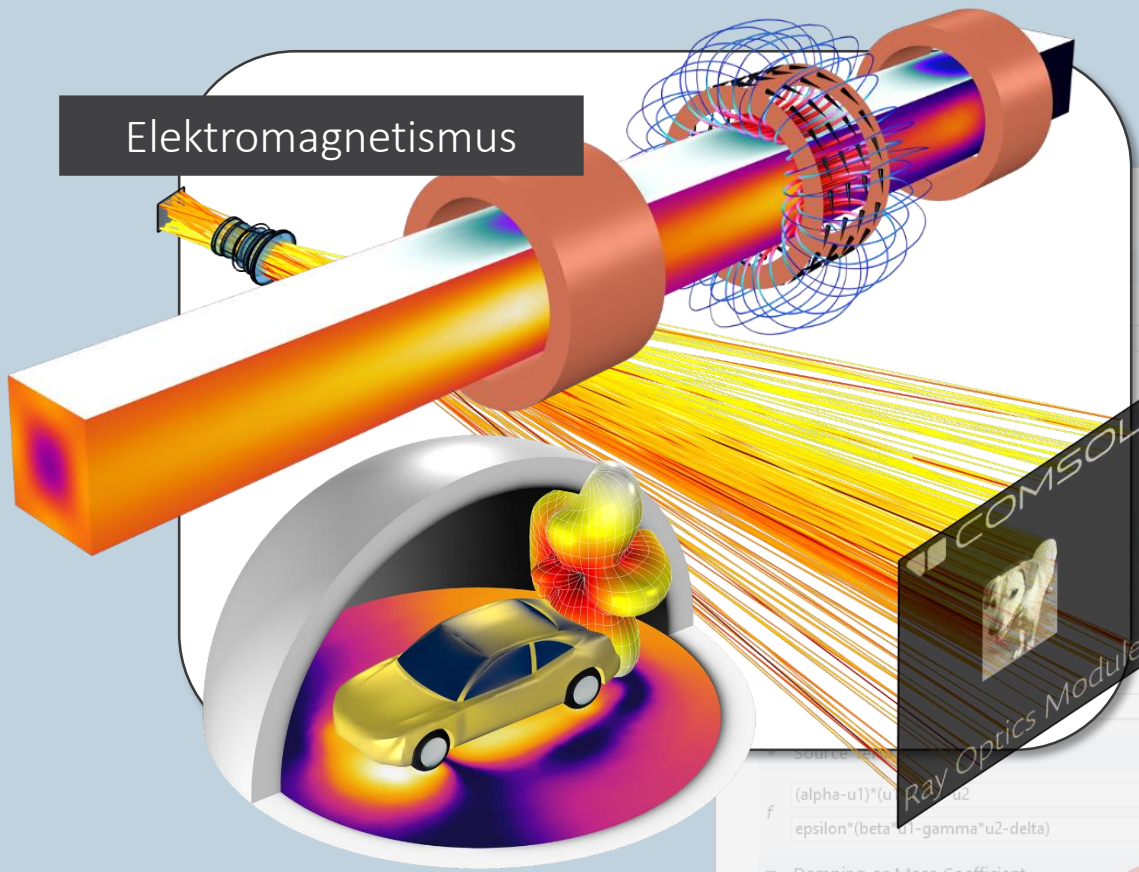
Weak Expressions

weak -test(ux)*ux-test(uy)*uy-test(uz)*uz+1[m^-2]*test(u)



Vlastní PDR / ODR

Elektromagnetismus



Mathematics

- PDE Interfaces
- ODE and DAE Interfaces
- Optimization and Sensitivity
- Classical PDEs
- Moving Interface
- Deformed Mesh
- Wall Distance (wd)
- Mathematical Particle Tracing (pt)
- Curvilinear Coordinates (cc)

Show equation assuming:

$0 = \int_{\Omega} \text{weak } \partial v$

Weak Expressions

weak $-\text{test}(ux)^*ux - \text{test}(uy)^*uy - \text{test}(uz)^*uz + 1[m^{-2}] * \text{test}(u)$

Damping or Mass Coefficient

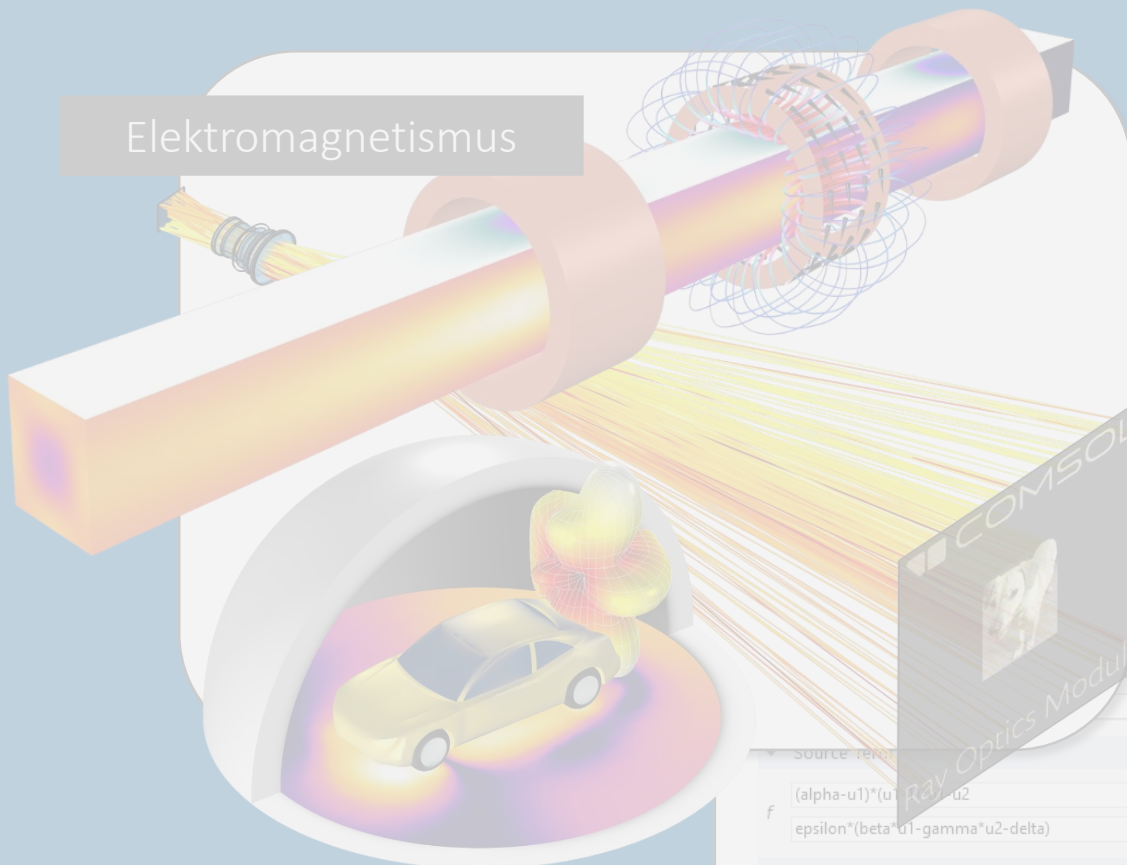
| | | |
|-------|---|---|
| d_a | 1 | 0 |
| | 0 | 1 |

Mass Coefficient

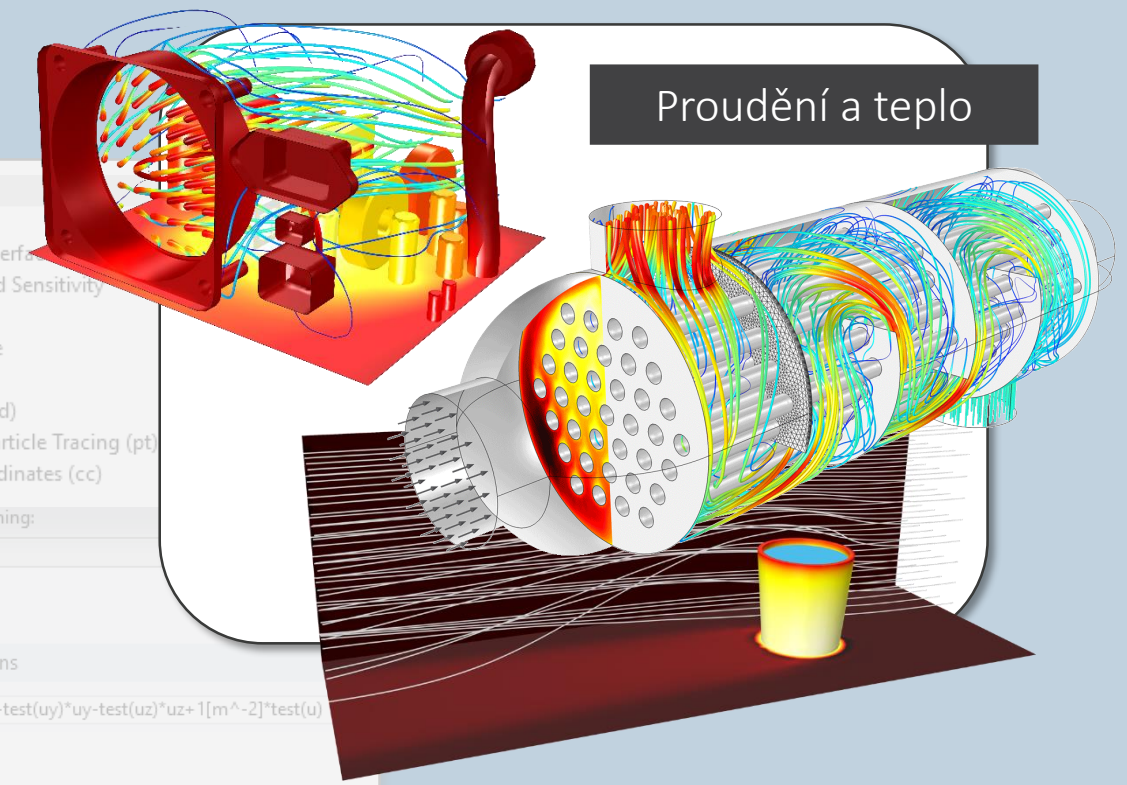
| | | |
|-------|---|---|
| e_a | 0 | 0 |
| | 0 | 0 |

Vlastní PDR / ODR

Elektromagnetismus



Proudění a teplo



Mathematics

- △ PDE Interfaces
- ODE and DAE Interfaces
- Optimization and Sensitivity
- Classical PDEs
- Moving Interface
- Deformed Mesh
- Wall Distance (wd)
- Mathematical Particle Tracing (pt)
- Curvilinear Coordinates (cc)

Show equation assuming:

$0 = \int_{\Omega} \text{weak} \, dV$

Weak Expressions

weak $-\text{test}(ux)*ux-\text{test}(uy)*uy-\text{test}(uz)*uz+1[m^{-2}]*\text{test}(u)$

Source term

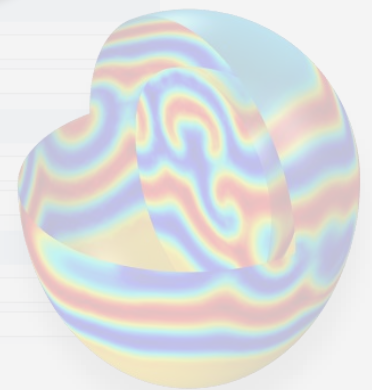
$f = (\alpha u_1)(u_1 - u_2) + \epsilon \text{div}(\beta \nabla u_1 - \gamma \nabla u_2 - \delta \nabla u)$

Damping or Mass Coefficient

| | | |
|-------|---|---|
| d_a | 1 | 0 |
| | 0 | 1 |

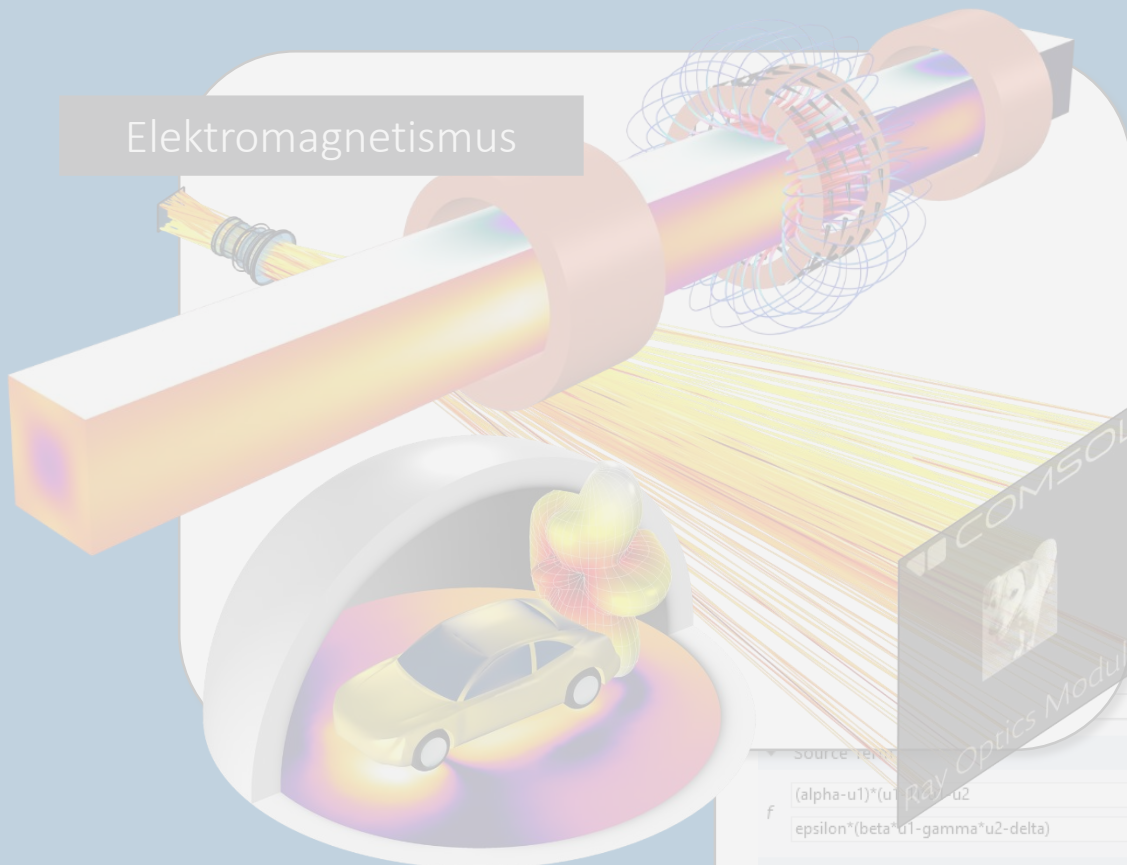
Mass Coefficient

| | | |
|-------|---|---|
| e_a | 0 | 0 |
| | 0 | 0 |



Vlastní PDR / ODR

Elektromagnetismus



Proudění a teplo



Mathematics

- PDE Interfaces
- ODE and DAE Interfaces
- Optimization and Sensitivity
- Classical PDEs
- Moving Interface
- Deformed Mesh
- Wall Distance (wd)
- Mathematical Particle Tracing (pt)
- Curvilinear Coordinates (cc)

Show equation assuming:

$0 = \int_{\Omega} \text{weak} \partial v$

Weak Expressions

weak $-\text{test}(ux)*ux-\text{test}(uy)*uy$

Source term

$f = (\alpha \cdot u_1) \cdot (u_1 - u_2) + \epsilon \cdot (\beta \cdot u_1 - \gamma \cdot u_2 - \delta)$

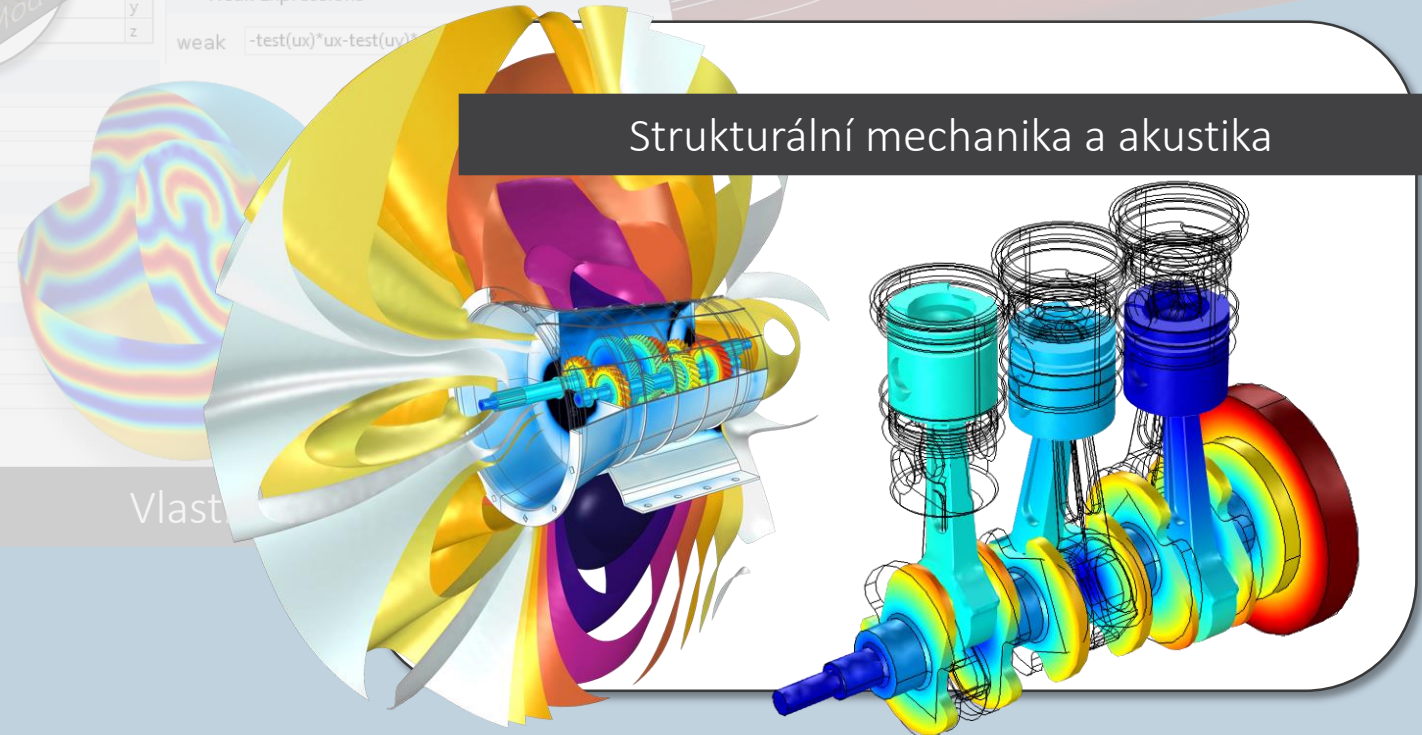
Damping or Mass Coefficient

| | | |
|-------|---|---|
| d_a | 1 | 0 |
| | 0 | 1 |

Mass Coefficient

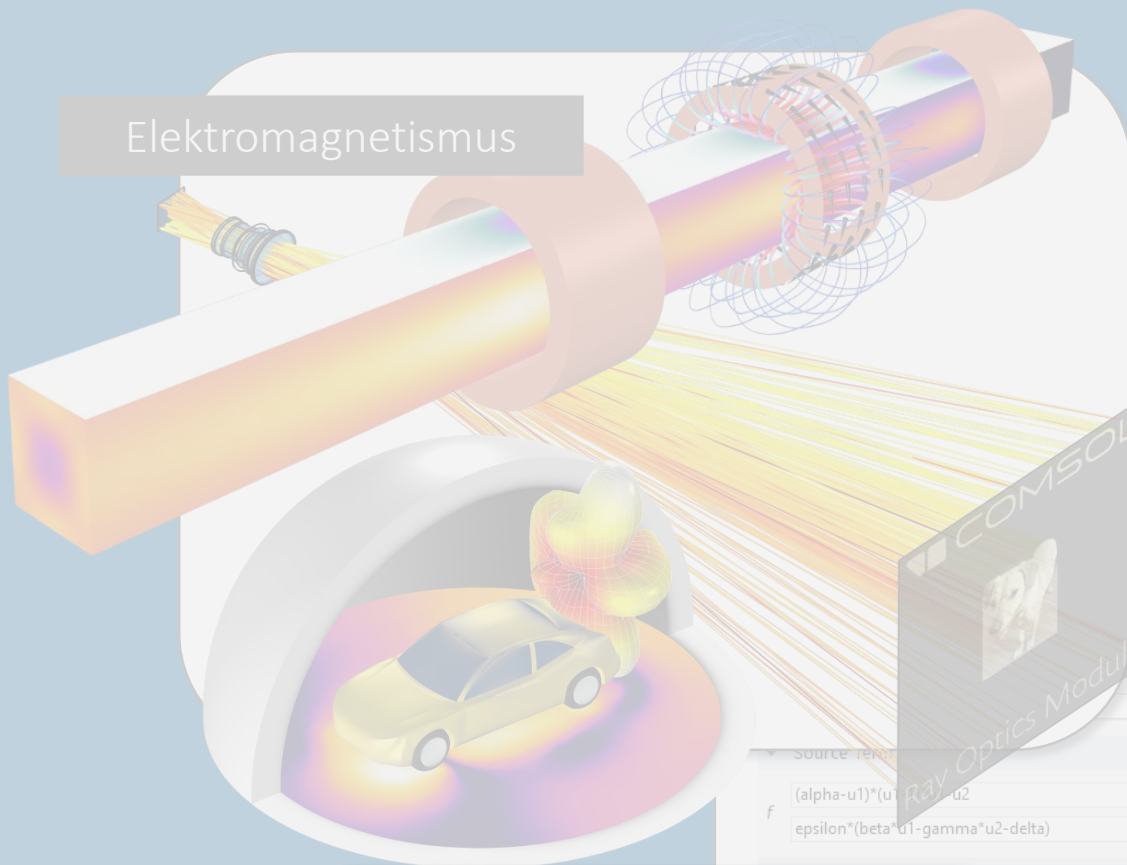
| | | |
|-------|---|---|
| e_a | 0 | 0 |
| | 0 | 0 |

Strukturální mechanika a akustika



Vlast

Elektromagnetismus



Proudění a teplo

Δu Mathematics
 ▷ Δu PDE Interfaces
 ▷ ODE and DAE Interfaces
 ▷ Optimization and Sensitivity
 ▷ ∇^2 Classical PDEs
 ▷ Moving Interface
 ▷ Deformed Mesh
 ▷ Wall Distance (wd)
 ▷ Mathematical Particle Tracing (pt)
 ▷ Curvilinear Coordinates (cc)

Show equation assuming:

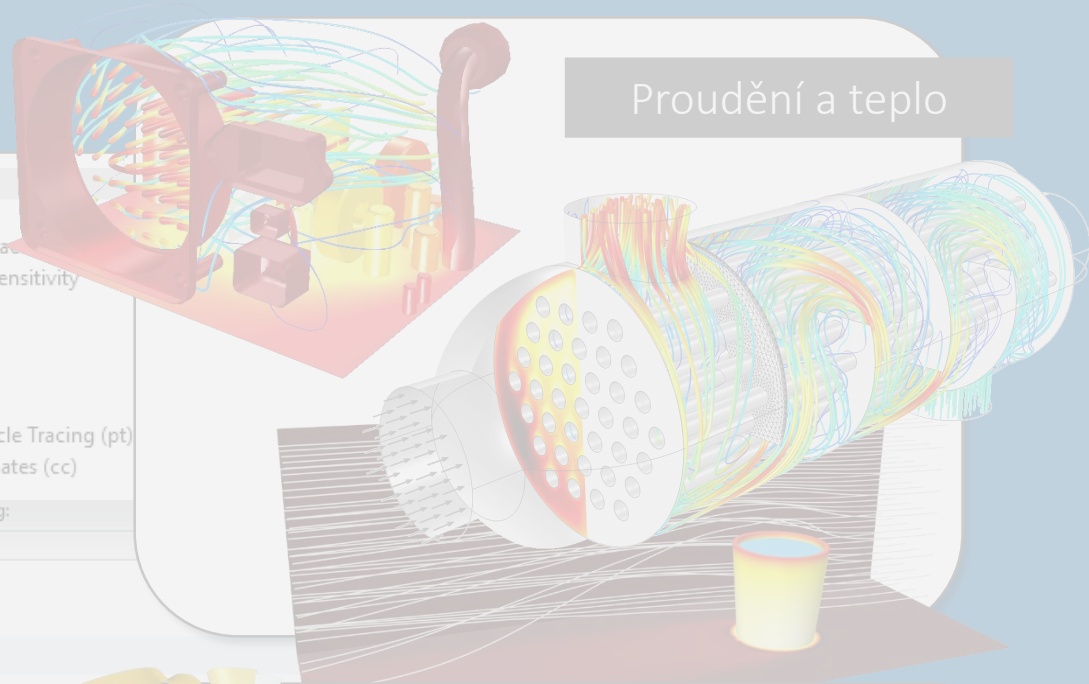
x y z

$$0 = \int_{\Omega} \text{weak} \partial v$$

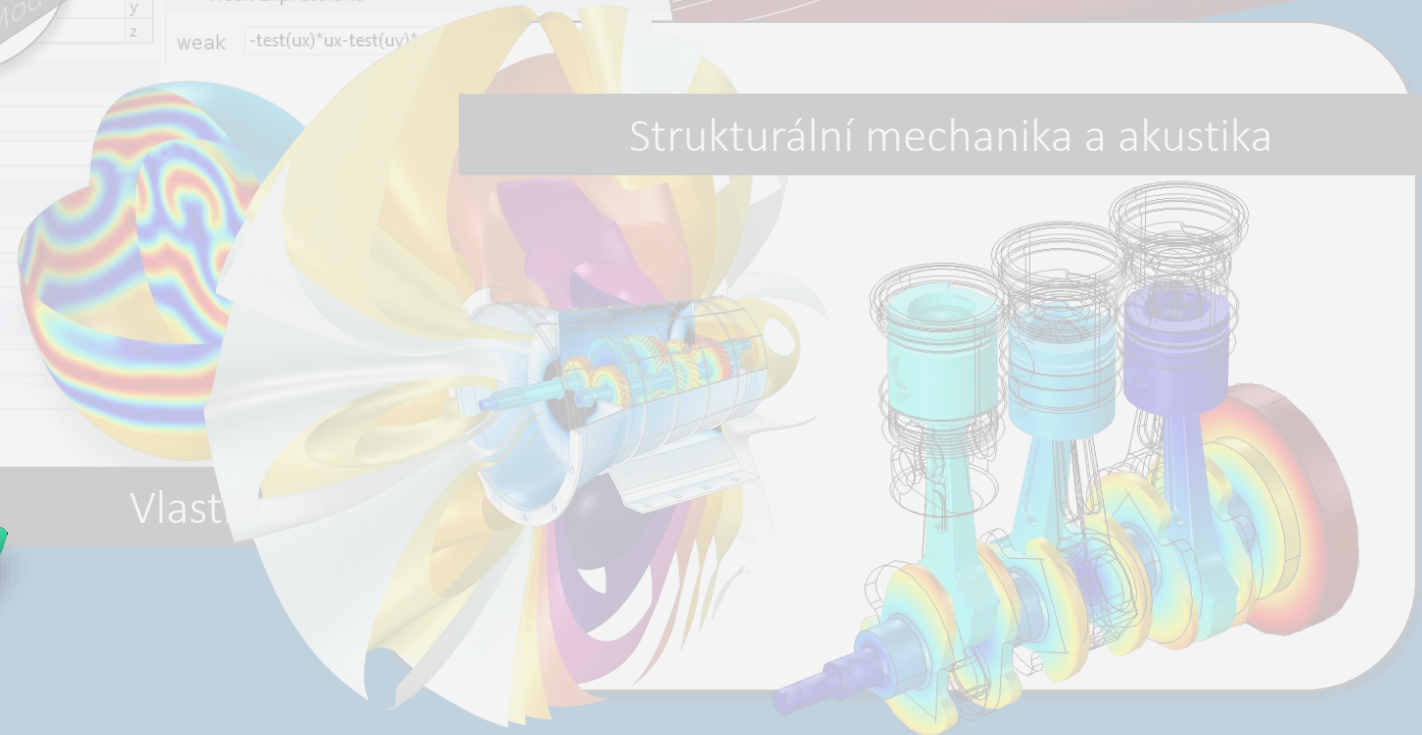
x y z

Weak Expressions

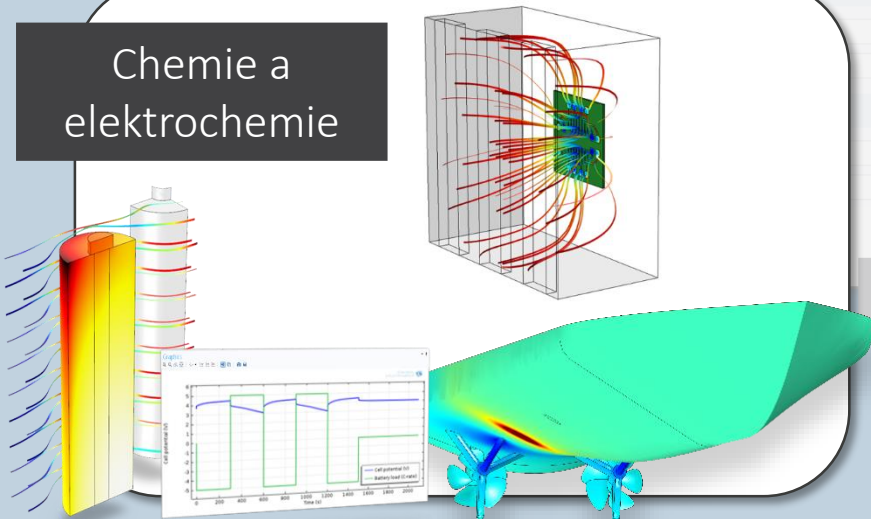
weak $-\text{test}(ux)*ux - \text{test}(uy)*uy$



Strukturální mechanika a akustika



Chemie a elektrochemie



Vlast

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
- Polymer Flow 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
- Battery Design Module
- Fuel Cell & Electrolyzer Module
- Electrodeposition Module
- Corrosion Module
- Electrochemistry Module

MULTIPURPOSE

- Optimization Module
- Uncertainty Quantification Module
- Material Library
- Particle Tracing Module
- Liquid & Gas Properties Module

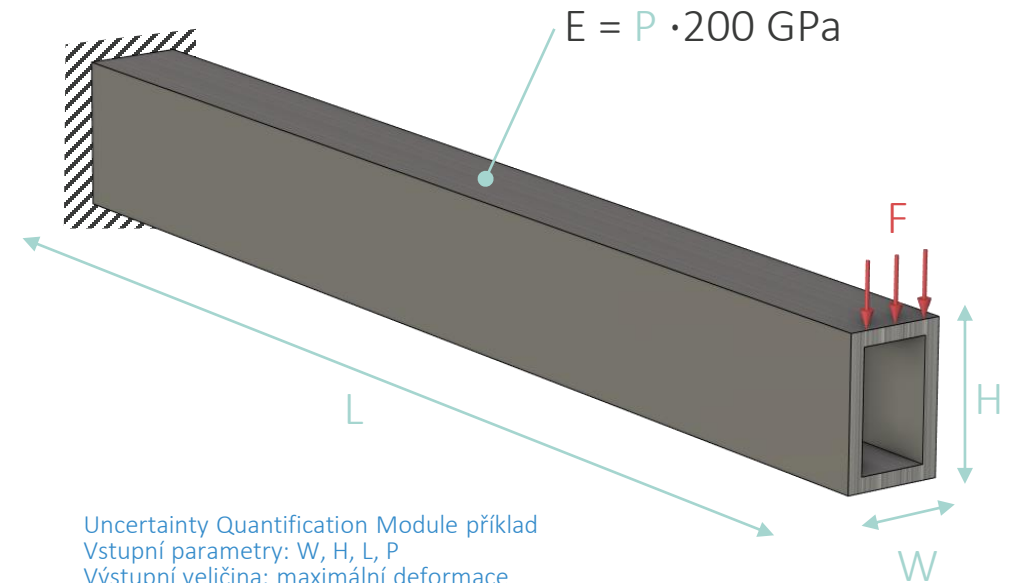
INTERFACING

- LiveLink™ for MATLAB®
- LiveLink™ for Simulink®
- 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

Nový modul: Uncertainty Quantification Module

- Matematický model závisí na mnoha zadaných parametrech:
 - Geometrické rozměry
 - Materiálové vlastnosti
 - Okrajové a počáteční podmínky
- Co se stane s výsledky, pokud se zadané parametry budou lišit?
- Jaké bude rozložení pravděpodobnosti skalárního výsledku, když známe rozložení pravděpodobnosti hodnoty zadaného parametru?
- Jaká je pravděpodobnost, že design selže, pokud zadané geometrické rozměry nebudou odpovídat?

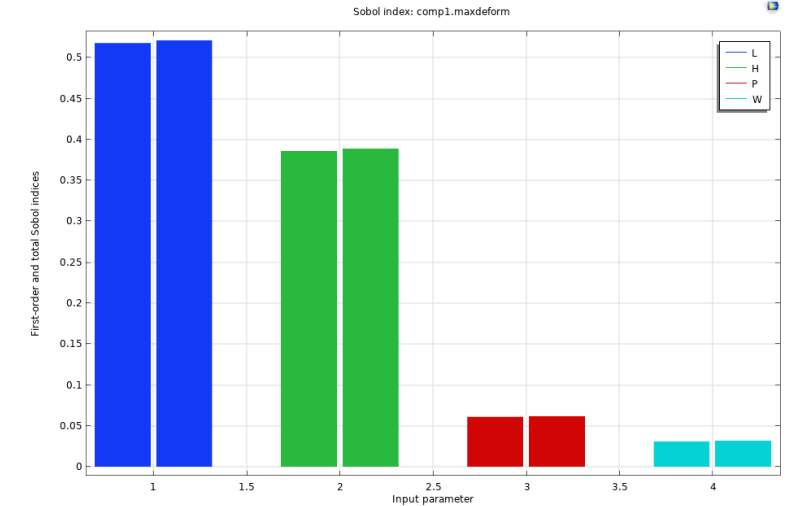
| Material Contents | | | | |
|---|----------|--------------|--------|--|
| Property | Variable | Value | Unit | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Density | rho | 7850[kg/m^3] | kg/m^3 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Young's modulus | E | P*200e9[Pa] | Pa | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Poisson's ratio | nu | 0.30 | 1 | |



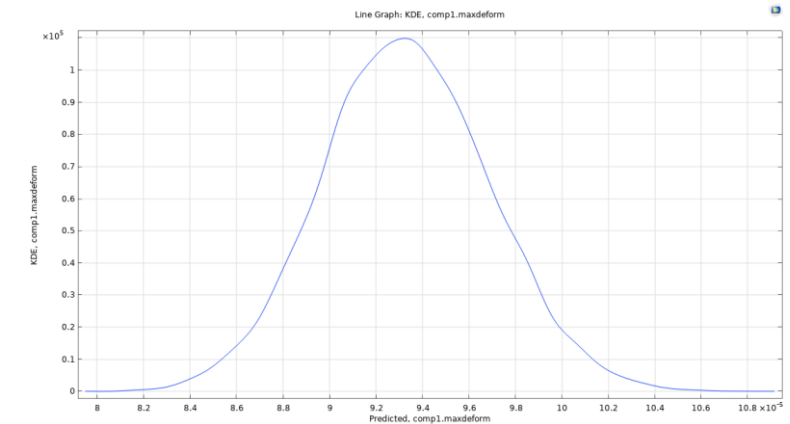
Nový modul: Uncertainty Quantification Module

- Matematický model závisí na mnoha zadaných parametrech:
 - Geometrické rozměry
 - Materiálové vlastnosti
 - Okrajové a počáteční podmínky
- Co se stane s výsledky, pokud se zadané parametry budou lišit?
- Jaké bude rozložení pravděpodobnosti skalárního výsledku, když známe rozložení pravděpodobnosti hodnoty zadaného parametru?
- Jaká je pravděpodobnost, že design selže, pokud zadané geometrické rozměry nebudou odpovídat?

Výsledek studie „Sensitivity Analysis“. V Sobolově grafu jsou váhy vstupních parametrů podle toho, jak ovlivňují výslednou veličinu.



Výsledek studie „Uncertainty Propagation“. Rozložení pravděpodobnosti výsledku a interval spolehlivosti (střední hodnota, směrodatná odchylka a intervaly spolehlivosti).



| | Mean | STD | Minimum | Maximum | Lower 90% | Upper 90% | Lower 95% | Upper 95% | Lower 99% | Upper 99% |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| comp1.maxdeform | 9.3302E-5 | 3.5729E-6 | 7.9505E-5 | 1.0915E-4 | 8.7528E-5 | 9.9167E-5 | 8.6395E-5 | 1.0047E-4 | 8.4376E-5 | 1.0278E-4 |

Technical Computing Camp 2022



Kde COMSOL potkáte na TCC 2022?

COMSOL na TCC 2022

- Čtvrteční odpoledne: 14:15 – 18:00, diskuzní a konzultační okénko COMSOL
 - Vyzkoušejte si COMSOL Multiphysics
- Pátek dopoledne: 9:30, Seminář COMSOL Multiphysics: Simulace přestupu tepla
- Pátek dopoledne: 10:45, DEMO showcase
 - Multibody Dynamics úloha vzájemného pohybu magnetických koulí
- Pátek dopoledne: 10:45, soutěž o nejlepší uživatelský projekt
 - Java program na optimalizáciu parametrov, firma LEONI

Upoutávka na páteční seminář COMSOL Multiphysics

