

Simulace fyzikálních dějů v COMSOL Multiphysics



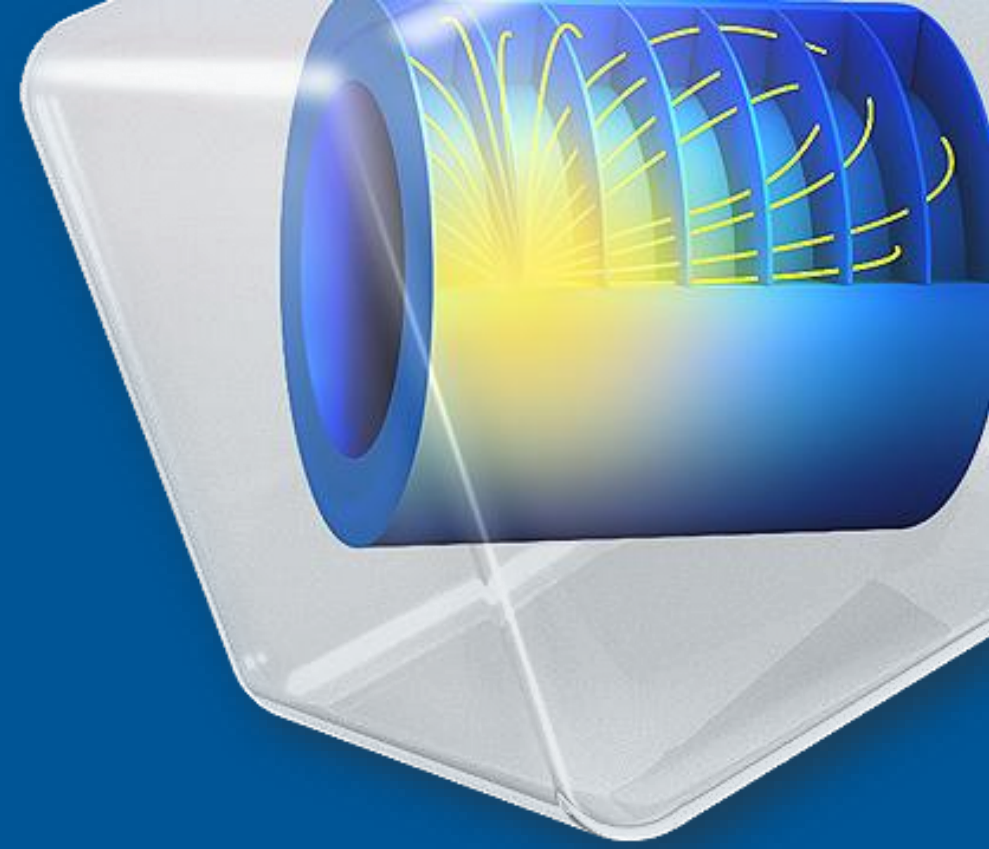
Martin Kožíšek
kozisek@humusoft.cz



Tomáš Vrbata
vrbata@humusoft.cz

Osnova

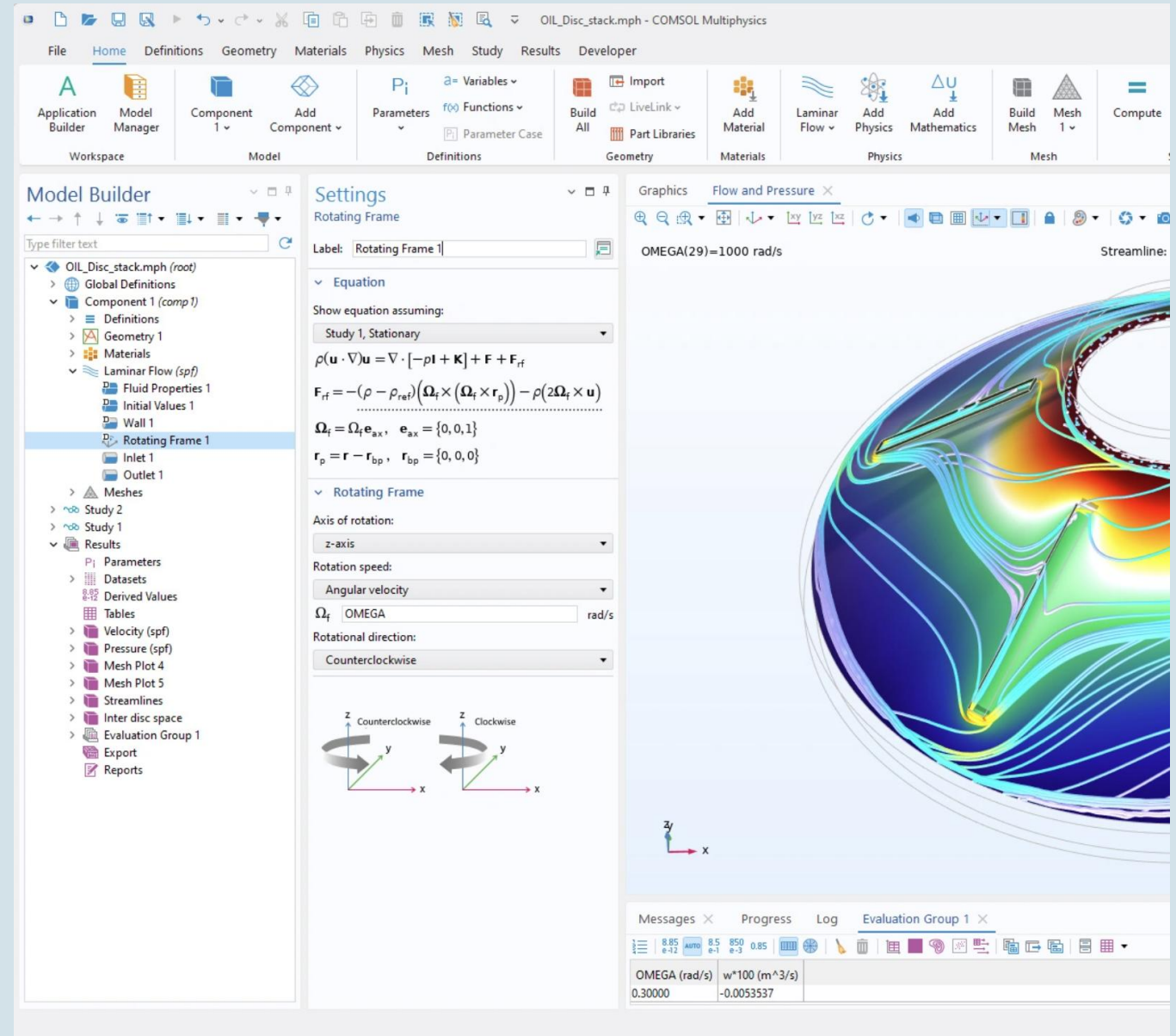
- COMSOL Multiphysics
- COMSOL Server
- COMSOL Compiler
- FEM Simulace v praxi
- Rozsah fyzikálních oblastí
- Novinky v COMSOL Multiphysics 6.4
- Průmyslový mikrocertifikát simulací



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

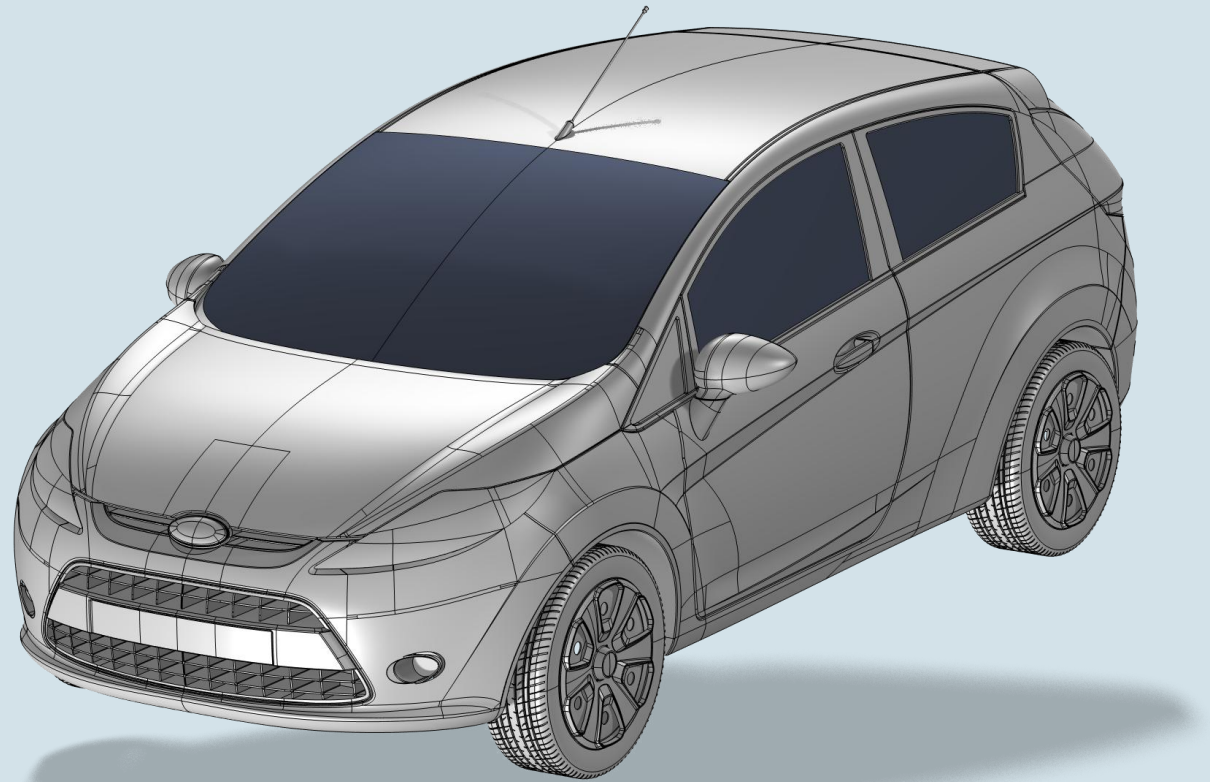
COMSOL Multiphysics

- Matematically modeluje fyzikální děje probíhající v produktu nebo procesu
- Bez potřeby fyzického prototypu



COMSOL Multiphysics

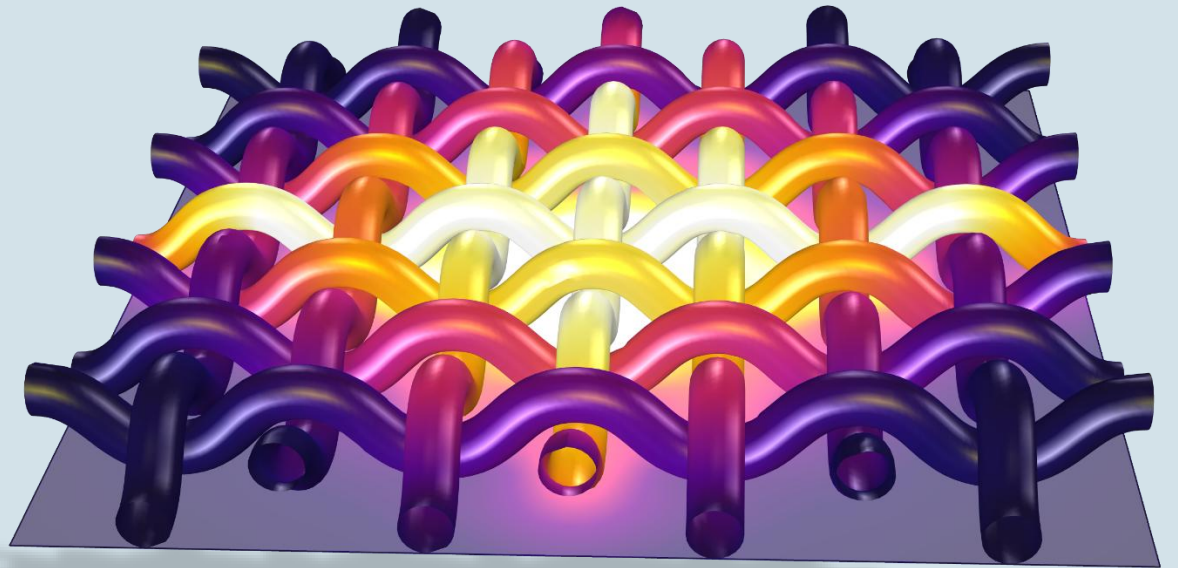
- Matematicky modeluje fyzikální děje probíhající v produktu nebo procesu
- Bez potřeby fyzického prototypu
- Co je potřeba:
 - CAD Model (externí, build-in CAD)



CAD geometrie

COMSOL Multiphysics

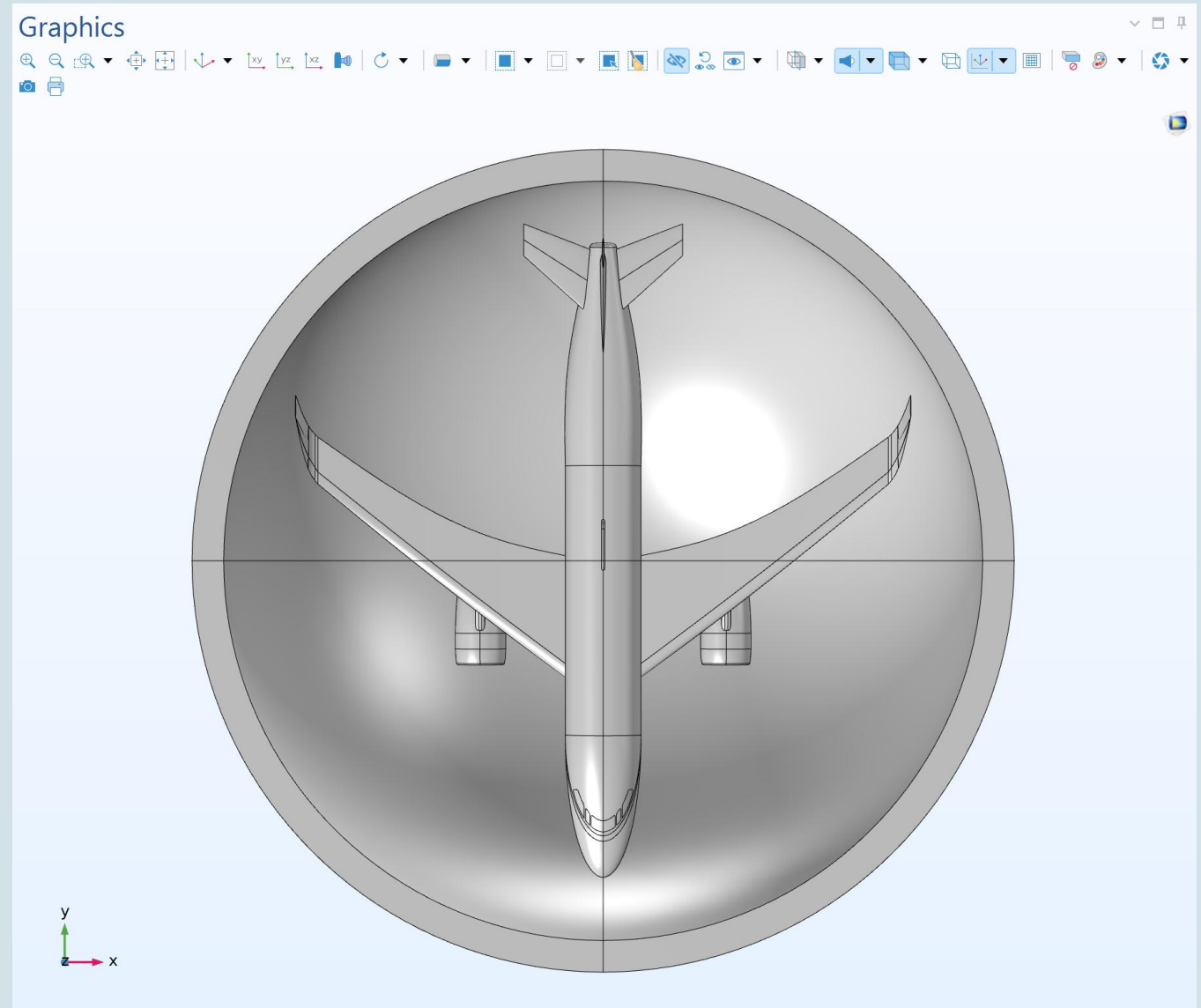
- Matematicky modeluje fyzikální děje probíhající v produktu nebo procesu
- Bez potřeby fyzického prototypu
- Co je potřeba:
 - CAD Model (externí, build-in CAD)
 - Materiálové vlastnosti (externí, build-in)



Ukázka materiálu (tkanina), jehož anizotropní vlastnosti jsou modelovány pomocí subscale modelu

COMSOL Multiphysics

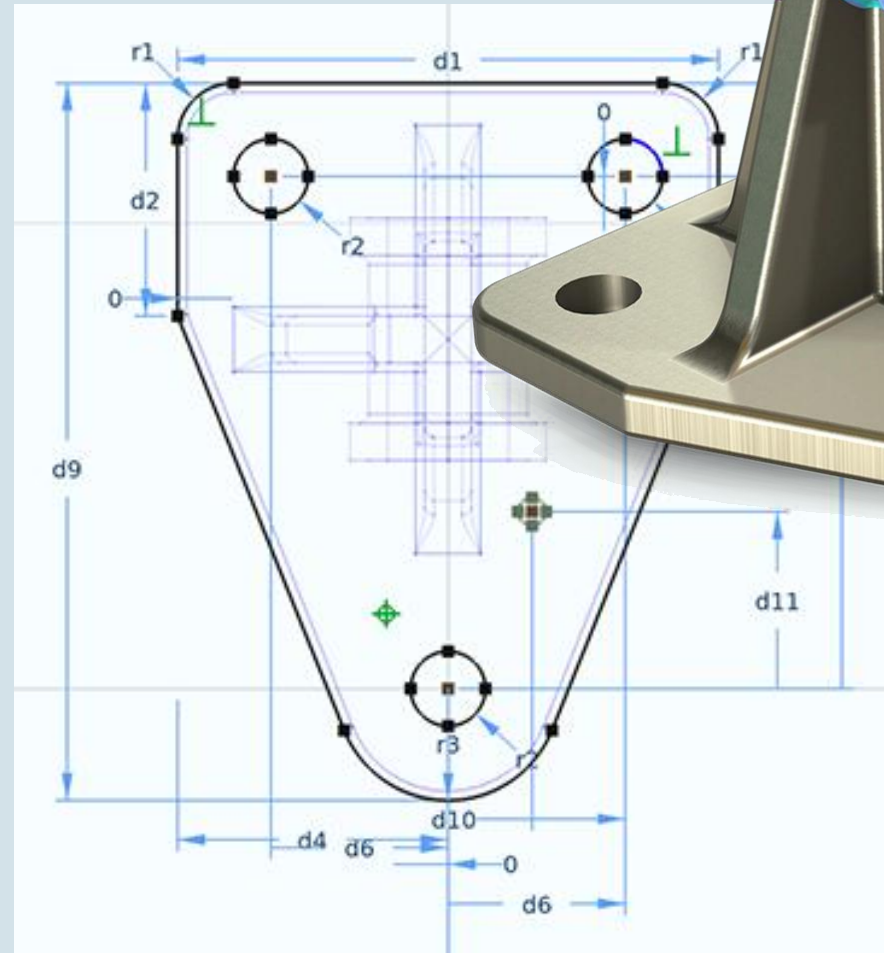
- Matematicky modeluje fyzikální děje probíhající v produktu nebo procesu
- Bez potřeby fyzického prototypu
- Co je potřeba:
 - CAD Model (externí, build-in CAD)
 - Materiálové vlastnosti (externí, build-in)
 - Provozní podmínky (počáteční / okrajové)



Ukázka výpočetní oblasti kolem letadla – okraje výpočetní oblasti popisuje okrajová podmínka.

COMSOL Multiphysics

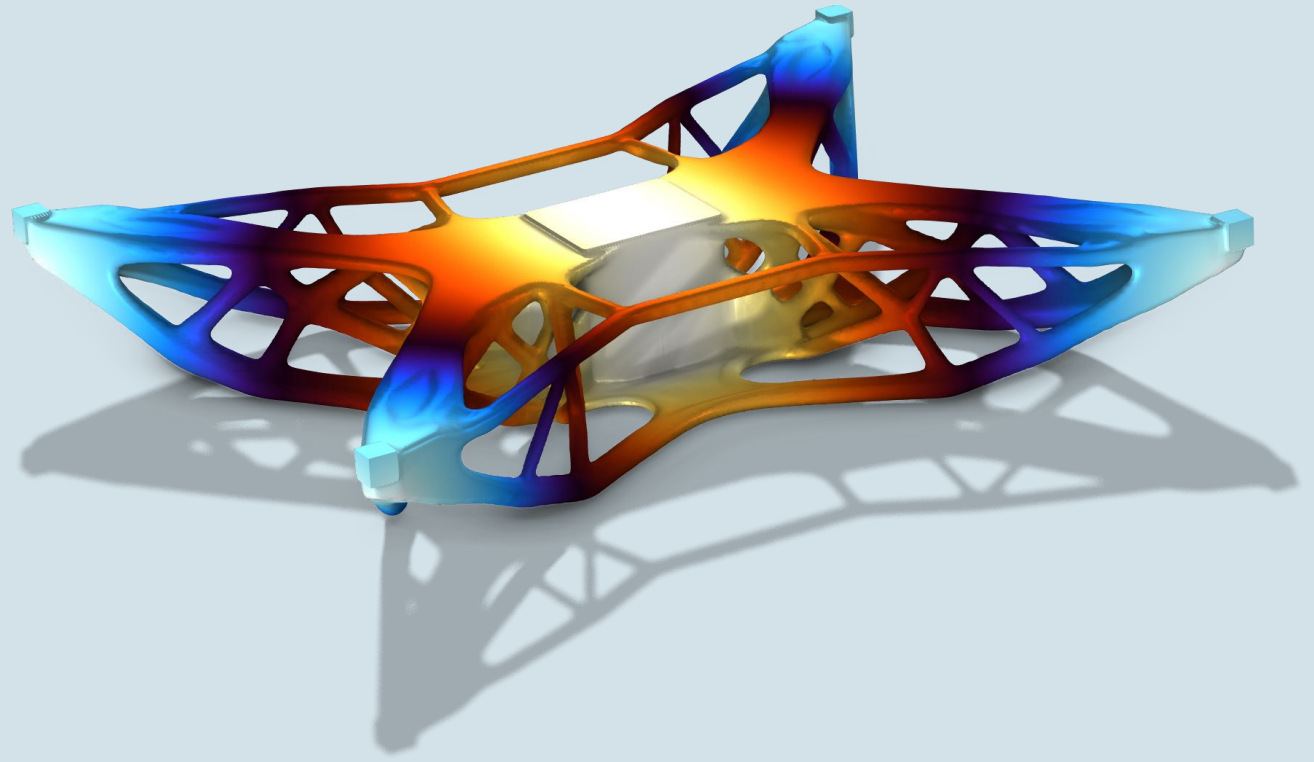
- Matematicky modeluje fyzikální děje probíhající v produktu nebo procesu
- Bez potřeby fyzického prototypu
- Co je potřeba:
 - CAD Model (externí, build-in CAD)
 - Materiálové vlastnosti (externí, build-in)
 - Provozní podmínky (počáteční / okrajové)
- Parametrizace



CAD Model

COMSOL Multiphysics

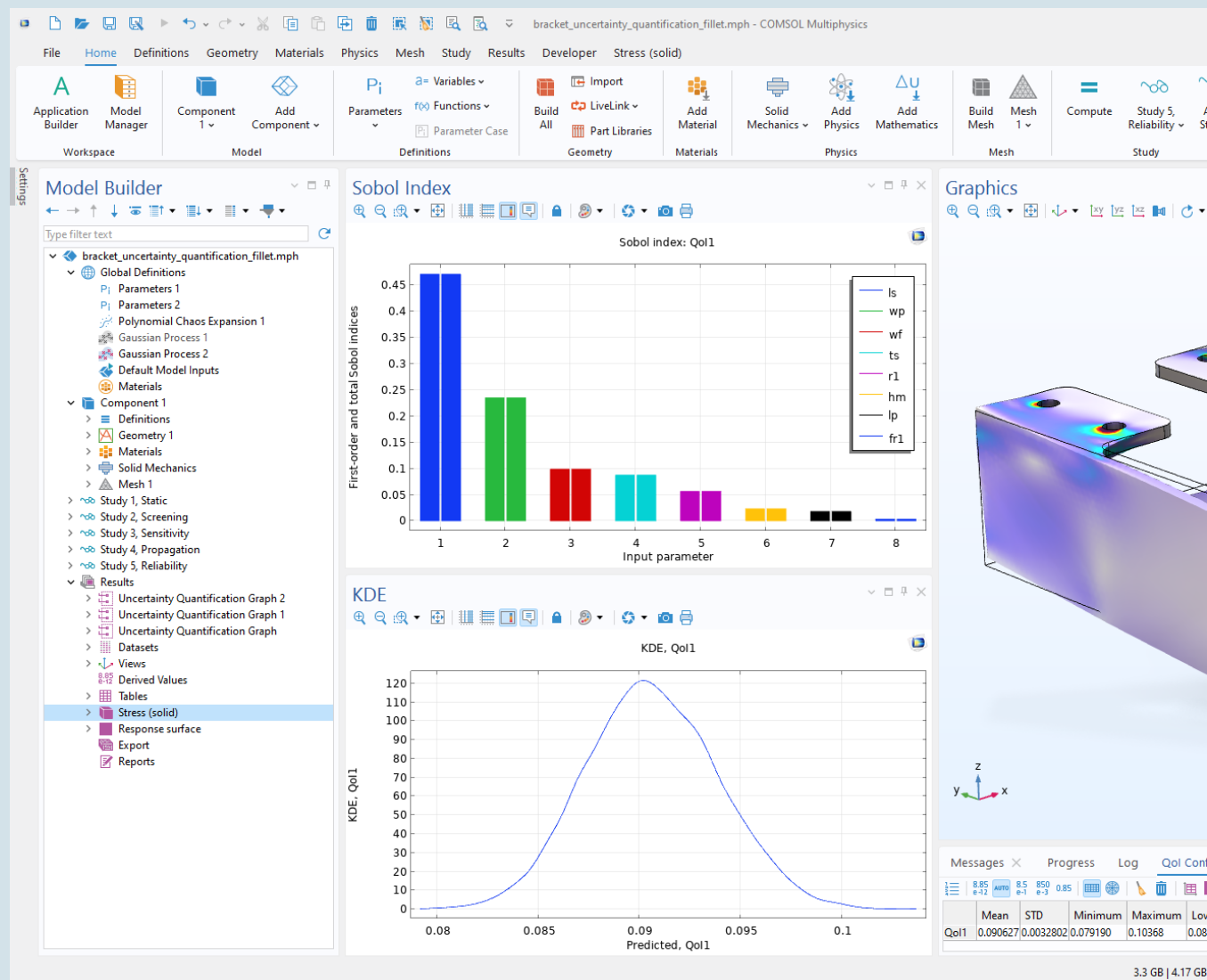
- Matematicky modeluje fyzikální děje probíhající v produktu nebo procesu
- Bez potřeby fyzického prototypu
- Co je potřeba:
 - CAD Model (externí, build-in CAD)
 - Materiálové vlastnosti (externí, build-in)
 - Provozní podmínky (počáteční / okrajové)
- Parametrizace
 - Optimalizace (ruční nebo algoritmická)



Ukázka topologické optimalizace těla dronu

COMSOL Multiphysics

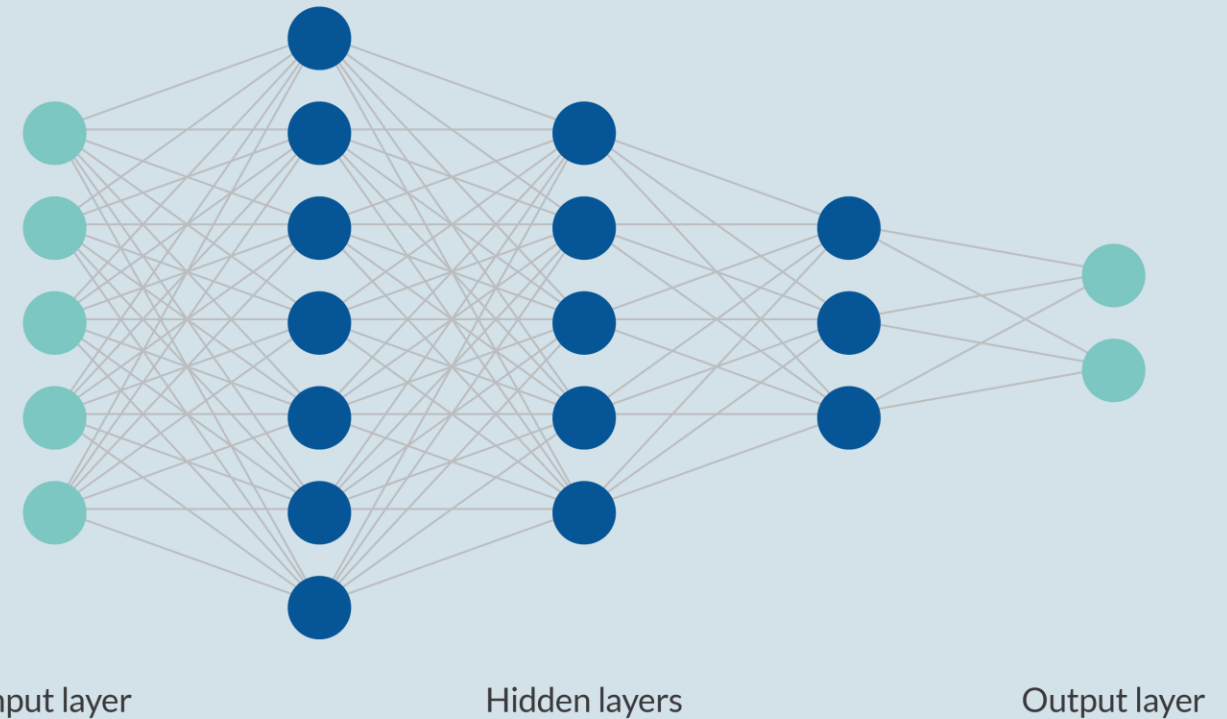
- Matematicky modeluje fyzikální děje probíhající v produktu nebo procesu
- Bez potřeby fyzického prototypu
- Co je potřeba:
 - CAD Model (externí, build-in CAD)
 - Materiálové vlastnosti (externí, build-in)
 - Provozní podmínky (počáteční / okrajové)
- Parametrizace
 - Optimalizace (ruční nebo algoritmická)
 - Vliv výrobních tolerancí a nejistot na spolehlivost



Citlivost produktu na nejistoty jednotlivých parametrů / rozložení pravděpodobnosti výsledné veličiny

COMSOL Multiphysics

- Matematicky modeluje fyzikální děje probíhající v produktu nebo procesu
- Bez potřeby fyzického prototypu
- Co je potřeba:
 - CAD Model (externí, build-in CAD)
 - Materiálové vlastnosti (externí, build-in)
 - Provozní podmínky (počáteční / okrajové)
- Parametrizace
 - Optimalizace (ruční nebo algoritmická)
 - Vliv výrobních tolerancí a nejistot na spolehlivost
- Tvorba digitálního dvojčete produktu

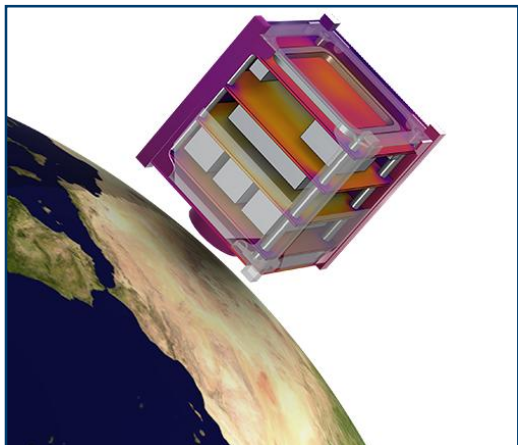


Ukázka neuronové sítě, která se trénuje z výsledku simulace a dokáže aproximovat fyzikální děj.

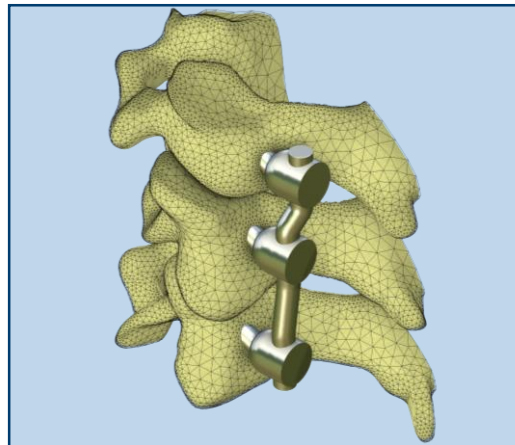
COMSOL Server & COMSOL Compiler



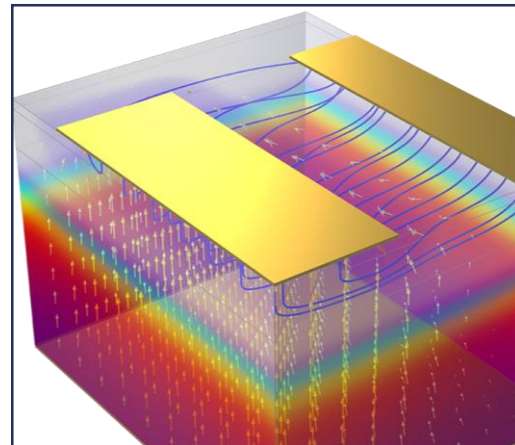
FEM simulace v praxi



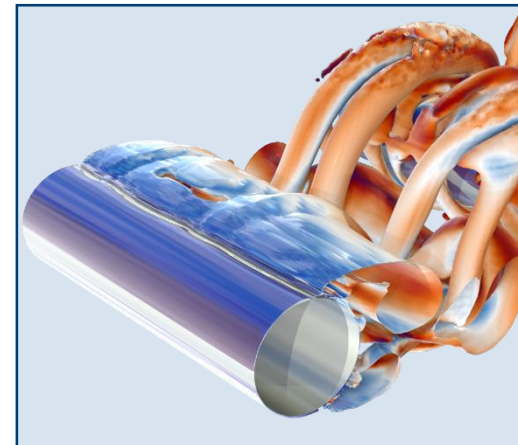
Aerospace



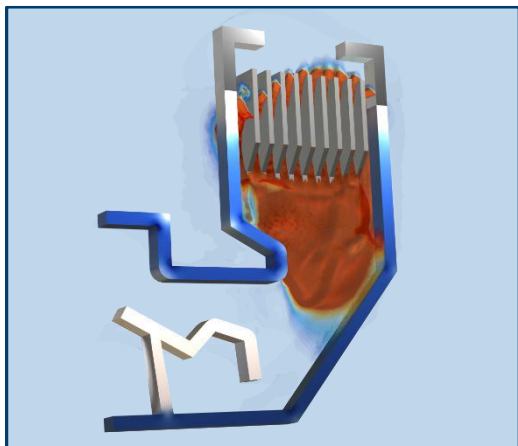
Biomedicína



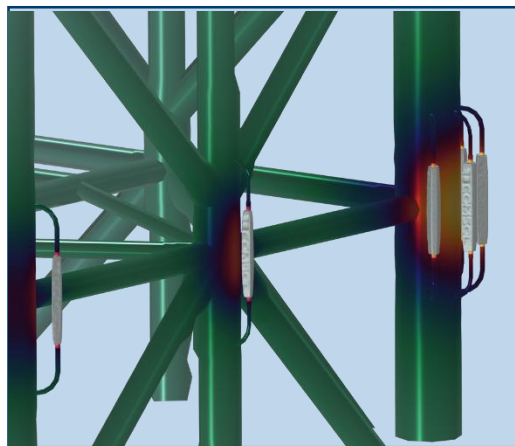
Nano-měřítko



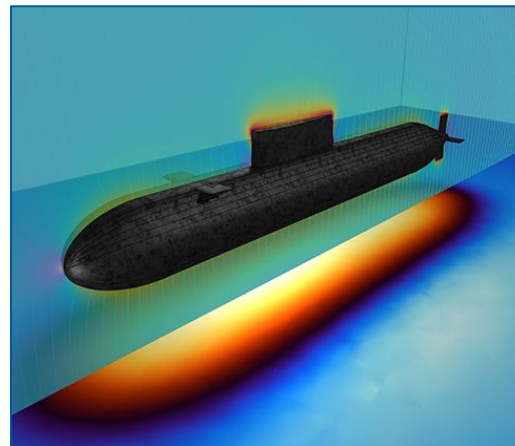
Krátká časová měřítko



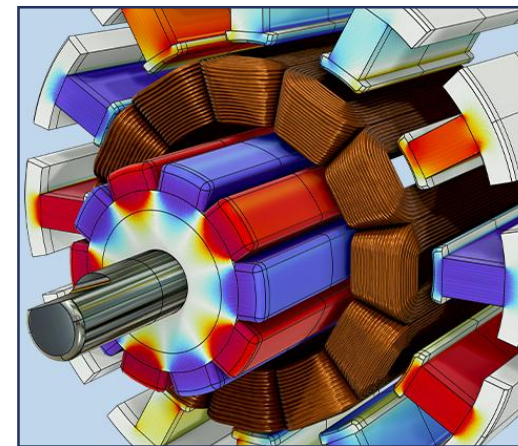
Obtížně měřitelná pole



Dlouhá časová měřítko



Velmi drahé fyzické prototypy



Dynamické obory (urychlení vývoje)

COMSOL MULTIPHYSICS®

The platform product for simulating real-world designs, devices, and processes. One user interface for all engineering applications.

- **MODEL BUILDER:** Combine physics phenomena in one model
- **APPLICATION BUILDER:** Build simulation apps from models
- **MODEL MANAGER:** Collaborate and organize models and apps

COMSOL Compiler™

Compile simulation apps into executable files. Run them freely on any computer.

COMSOL Server™

Host and administrate your simulation apps. Run them through a web interface.

ADD-ON PRODUCTS

ELECTROMAGNETICS

- AC/DC Module
- RF Module
- Wave Optics Module
- Ray Optics Module
- Plasma Module
- Electric Discharge 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
- Granular 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

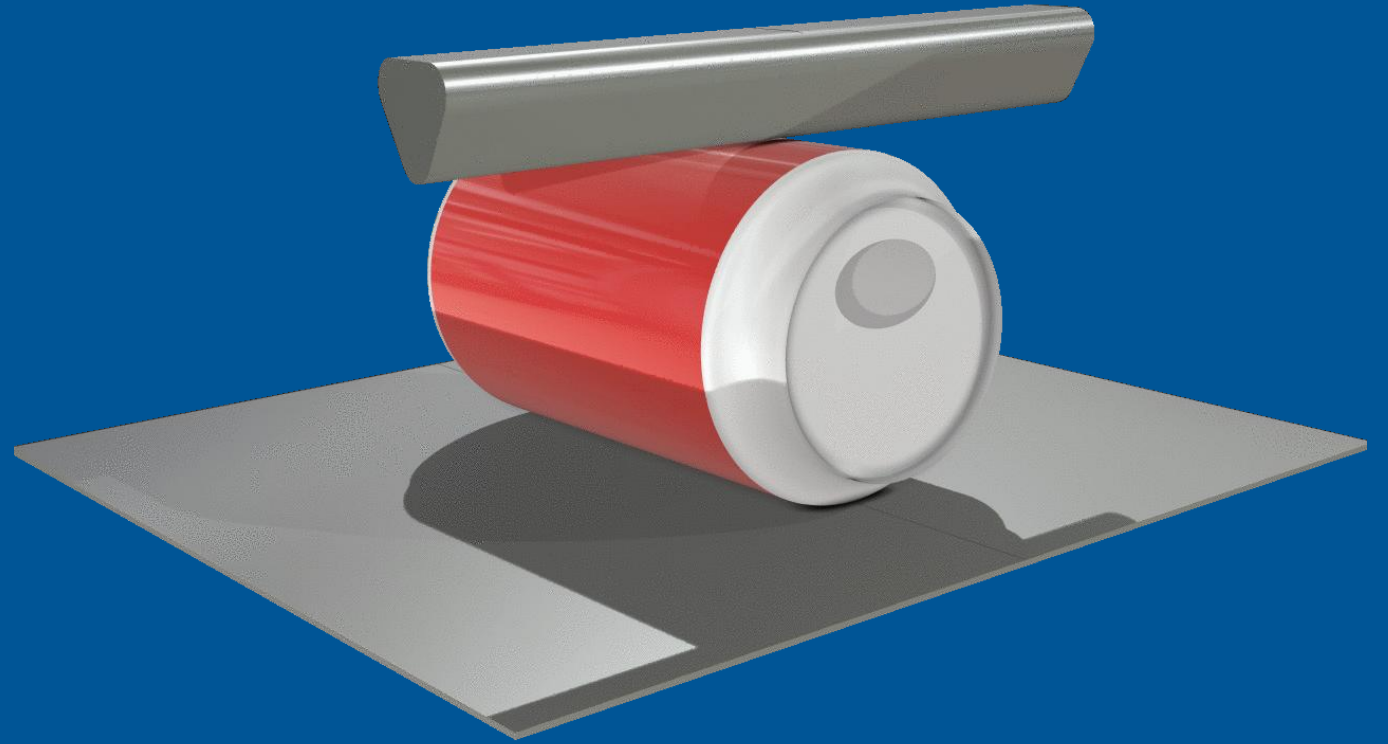
- Chemical Reaction Engineering Module
- Battery Design Module
- Fuel Cell & Electrolyzer Module
- Electrodeposition Module
- Corrosion Module
- Electrochemistry Module

MULTIPURPOSE

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

INTERFACING

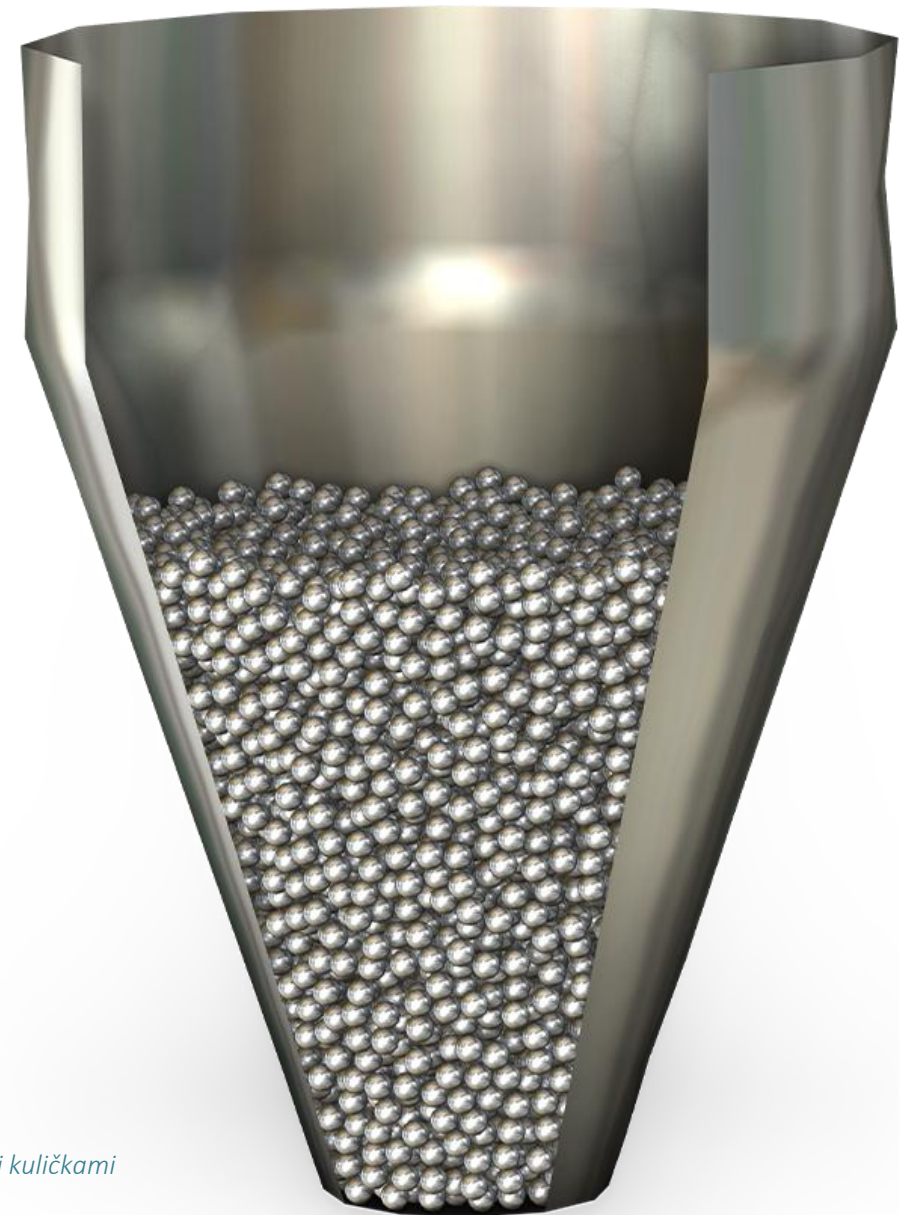
- LiveLink™ for MATLAB®
- LiveLink™ for Simulink®
- LiveLink™ for Excel®
- CAD Import Module
- Design Module
- ECAD Import Module
- LiveLink™ for SOLIDWORKS®
- LiveLink™ for Inventor®
- LiveLink™ for AutoCAD®
- LiveLink™ for Revit®
- LiveLink™ for PTC Creo Parametric™
- LiveLink™ for Solid Edge®
- File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



Novinky v COMSOL Multiphysics 6.4

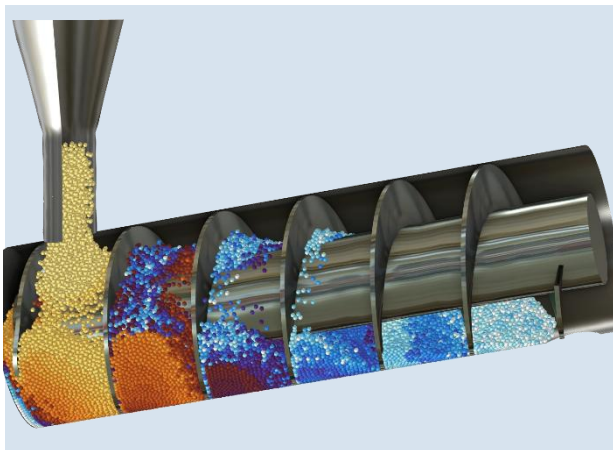
Granular Flow Module

- Simulace sypkých materiálů pomocí Discrete Element Method (DEM)
- Zrníčka jsou modelována jako diskrétní entity s konečnou velikostí
- Model pozice a rychlosti částic ve fyzikálních polích
- Výpočet kontaktních sil mezi částicemi a stěnou

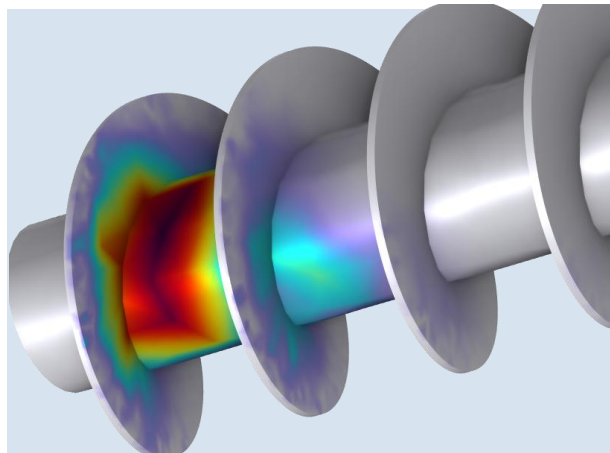


Násypka s ocelovými kuličkami

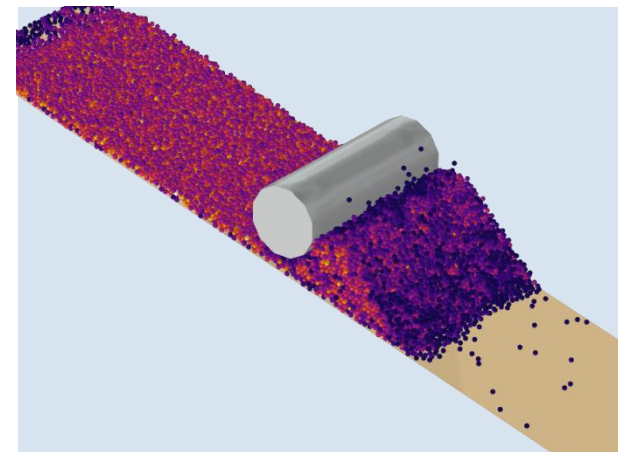
Granular Flow Module



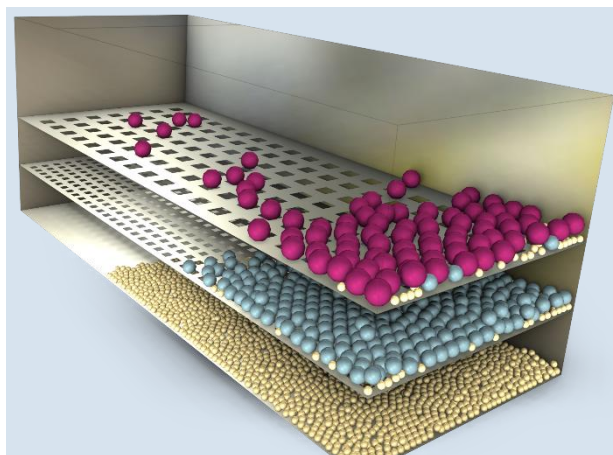
Doprava / míchání sypkých směsí (např. šnekový dopravník)



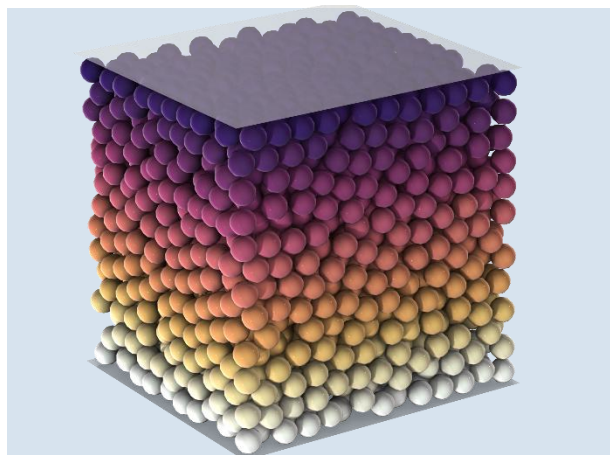
Opotřebení mechanismů (např. šnekový dopravník)



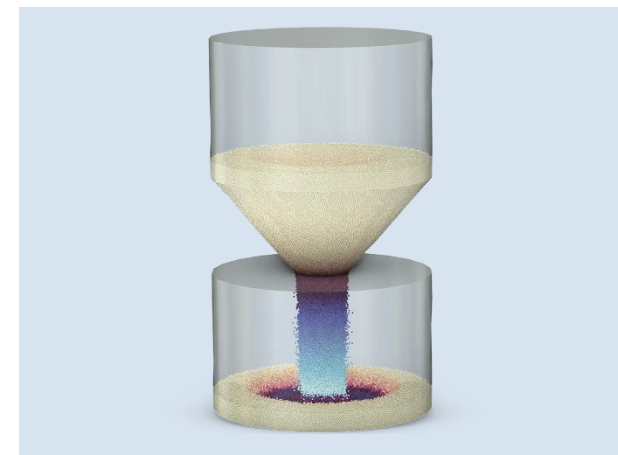
Pěchování / zarovnávání



Třídění / filtrování dle velikosti (rošt)

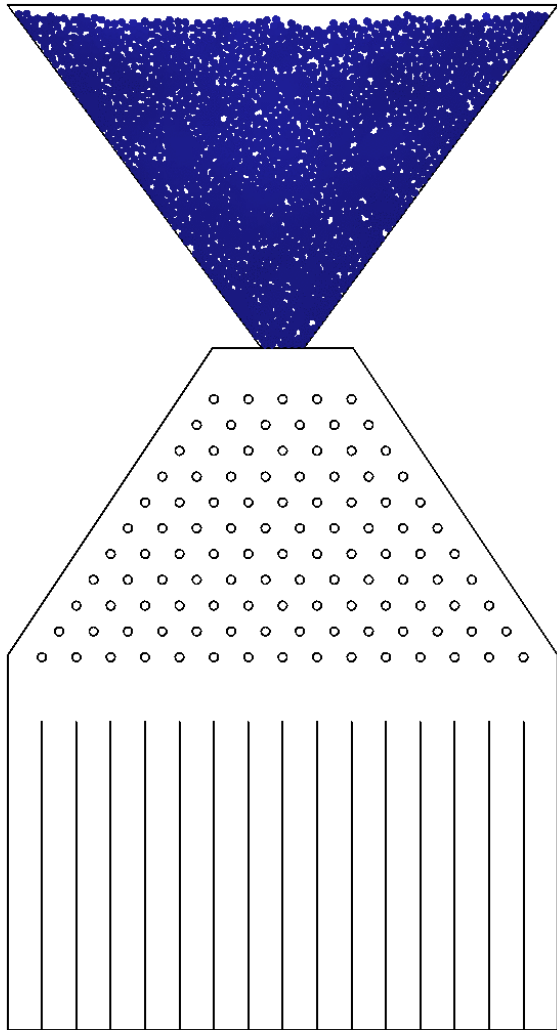


Přestup tepla v sypkých směsích



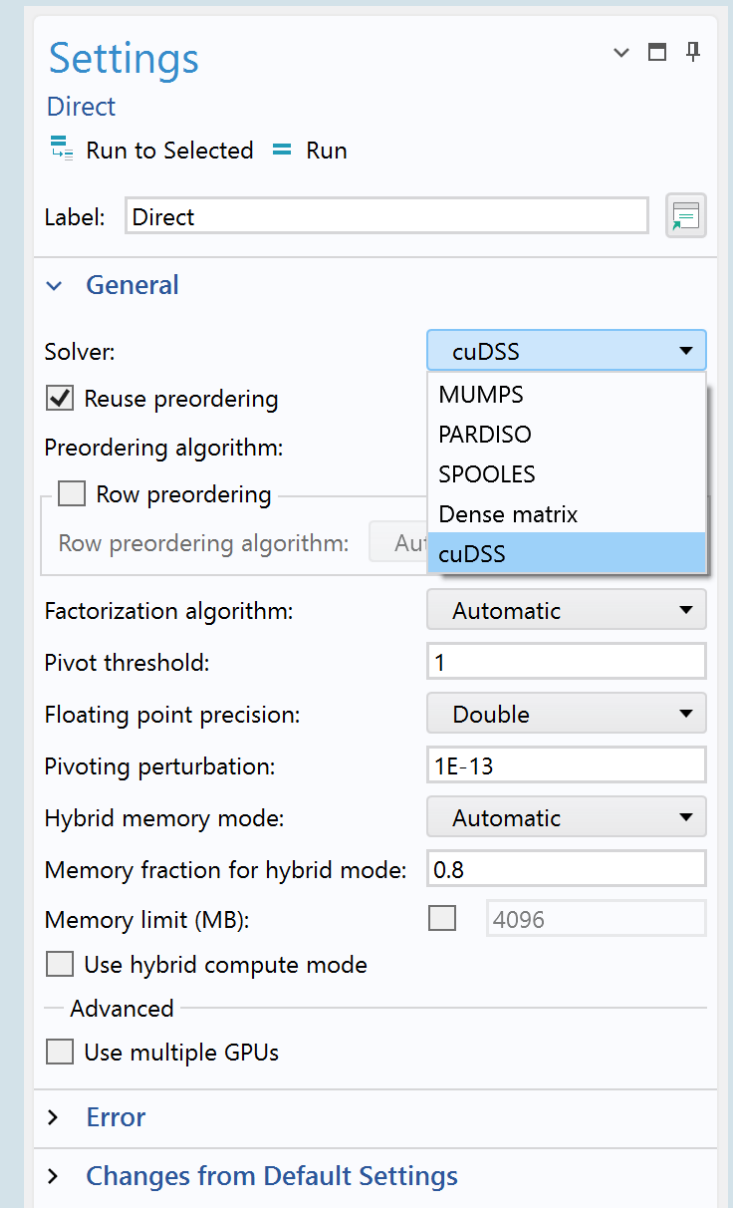
Vyprazdňování nádob se sypkou směsí (sypání)

Granular Flow Module – naše ukázka pro TCC



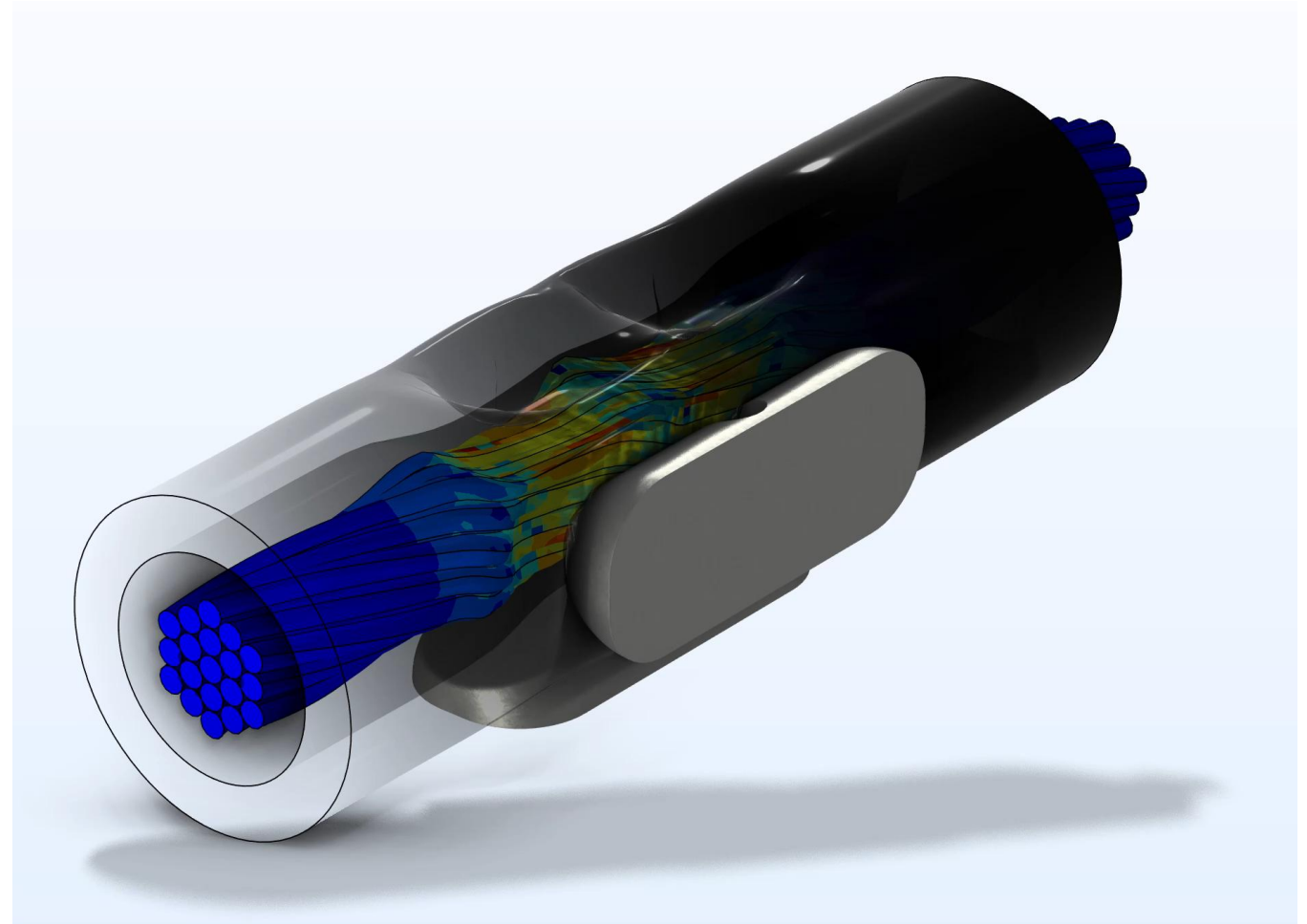
GPU Support for All Physics

- Nový NVIDIA cuDSS Solver
 - Pouze přímý řešič
- Zkratka cuDSS = The NVIDIA CUDA® Direct Sparse Solver
- Single vs. Double přesnost
- Možnost výpočtu na více grafických kartách
- Vyžaduje grafickou kartu NVIDIA s výpočetní schopností verze 6 a vyšší



Explicitní strukturální dynamika

- Vysokorychlostní eventy
- Podpora všech materiálových modelů
- Aplikace:
 - Drop a impaktní testy
 - Tváření plechů
 - Balistické impaktní úlohy
- *Solid Mechanics, Explicit Dynamics*
and *Truss, Explicit Dynamics*





FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

Studujte průmyslový mikrocertifikát
FEM simulací

Explicit Time Stepping in Structural Mechanics

- 13 tříhodinových bloků prezenční výuky v počítačové učebně
- ⌚ 3 hodiny – odevzdání a obhajoba závěrečného projektu
- 📖 Samostudium a práce na projektu

T FEKT

ÚSTAV
TEORETICKÉ A EXPERIMENTÁLNÍ
ELEKTROTECHNIKY

STUDIUM

VÝZKUM A VÝVOJ

SPOLUPRÁCE

O NÁS

@

Q

FECT > ÚSTAV TEORETICKÉ A EXPERIMENTÁLNÍ ELEKTROTECHNIKY > MULTIFYZIKÁLNÍ POČÍTAČOVÉ SIMULACE A VIRTUÁLNÍ VÝVOJ V COMSOL

Multifyzikální počítačové simulace a virtuální vývoj v COMSOL

Vzdělávací modul zakončený mikrocertifikátem (5 ECTS)

Aktuální otevřená přihláška

ZÁŘÍ-PROSINEC 2026

Nezávazné vyjádření zájmu

VYPLNIT FORMULÁŘ

Pro koho je modul určen

Pro inženýry, výzkumníky a doktorandy, kteří chtějí **prakticky zvládnout multifyzikální simulace** a naučit se řešit složité inženýrské úlohy pomocí profesionálního nástroje **COMSOL Multiphysics**.

Proč studovat tento modul

- Praktická výuka zaměřená na **reálné průmyslové a výzkumné úlohy**
- Systematické pochopení **metody konečných prvků (FEM)** bez náročné matematiky
- Multifyzikální přístup: **elektromagnetismus, proudění, teplo, mechanika**
- Tvorba **simulačních aplikací a digitálního dvojčete**
- Výuka ve spolupráci s odborníky z **HUMUSOFT, s. r. o.**, oficiálního distributora COMSOL

Co se v modulu naučíte

Během výuky si osvojíte kompletní workflow numerického modelování:

- základy **metody konečných prvků**
- práce s grafickým rozhraním COMSOL a tvorba geometrie
- síťování a postprocessing výsledků
- modelování pomocí **uživatelsky definovaných rovnic**
- simulace:
 - proudění tekutin (CFD)
 - přestupu tepla
 - elektromagnetického pole (DC, AC, RF)
 - trasování nabitých částic
 - strukturální mechaniky (statika, dynamika, modální analýza)
- tvorba **simulačních aplikací**
- návrh **digitálního dvojčete založeného na neuronové síti**
- samostatný závěrečný projekt s individuálním zadáním