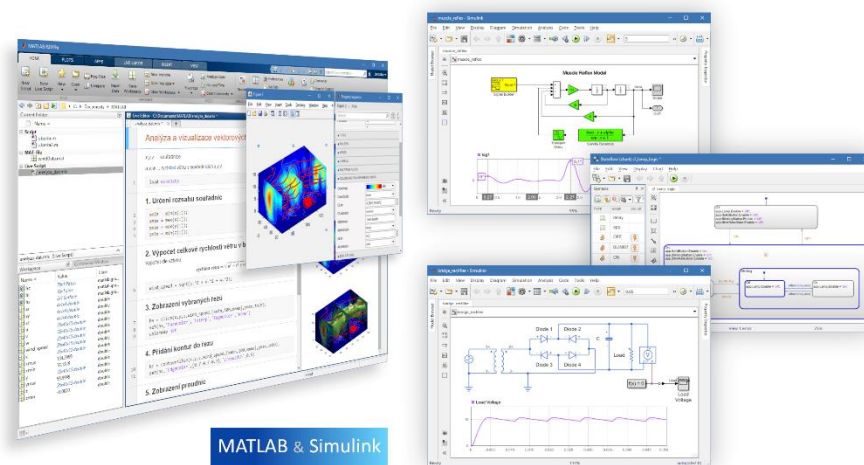


9.9.2021 Brno

TCC 2021

Fyzikální modelování systémů

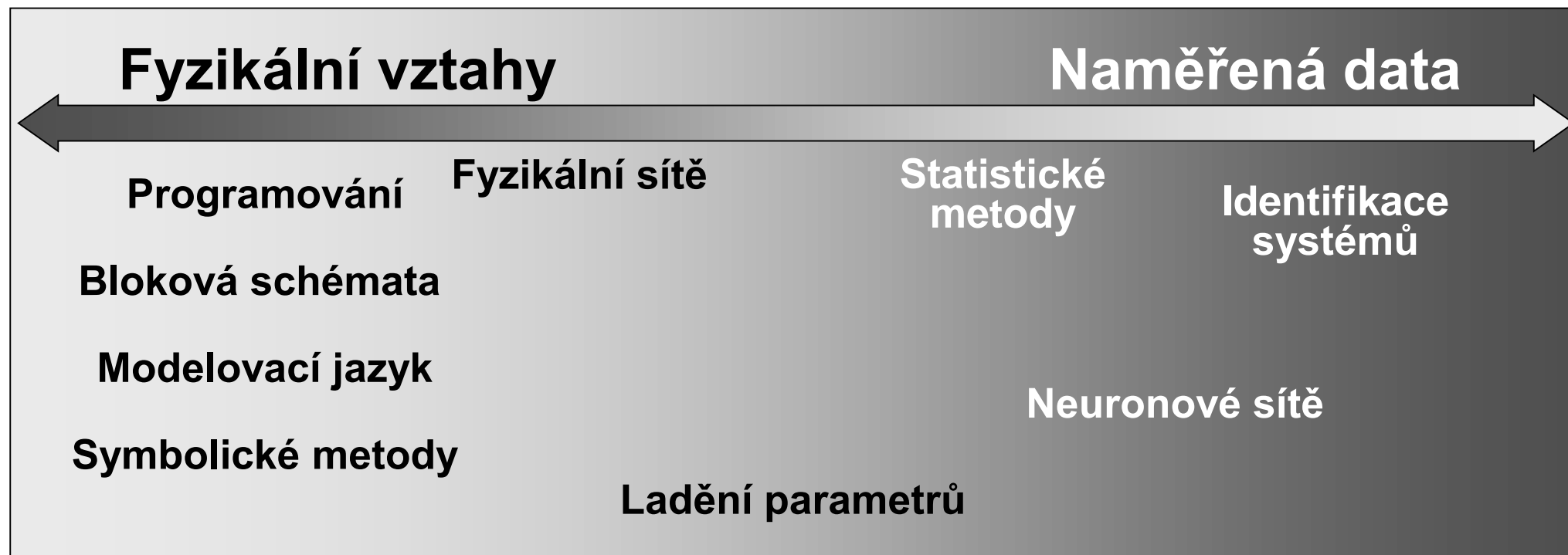


Jaroslav Jirkovský
jirkovsky@humusoft.cz

www.humusoft.cz
info@humusoft.cz

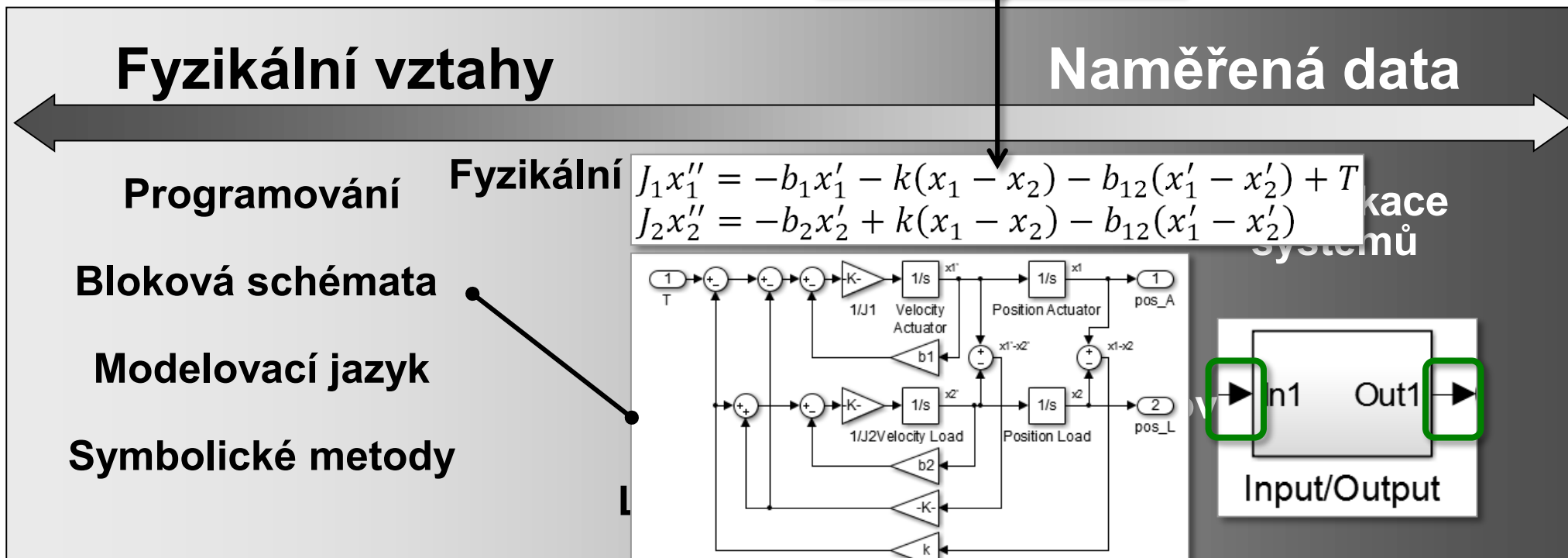
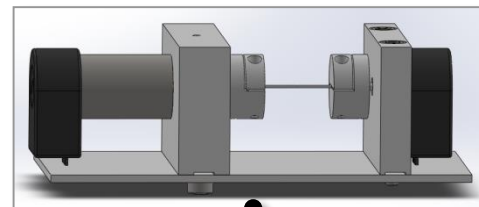
www.mathworks.com

Přístupy k modelování

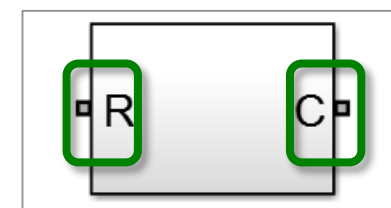
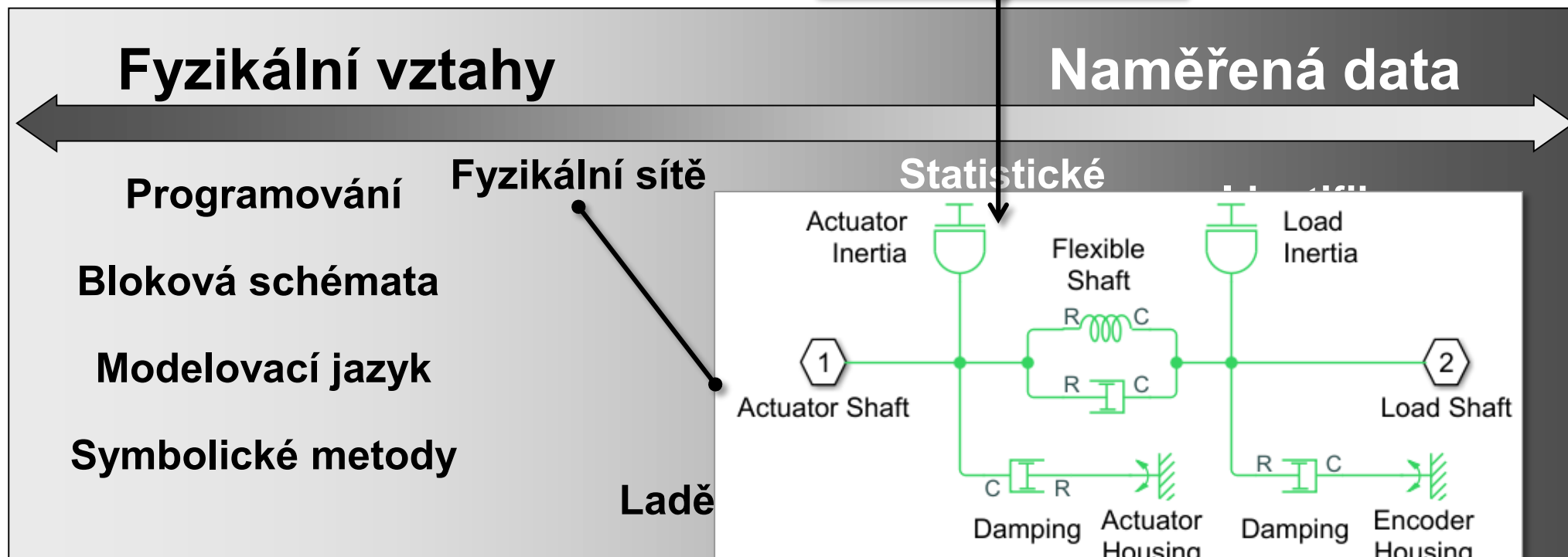
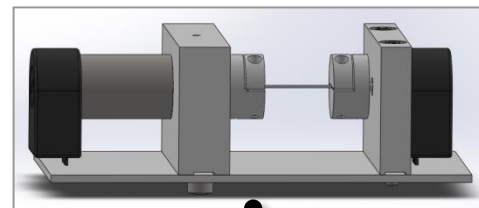


- Pro různé situace jsou vhodné různé přístupy

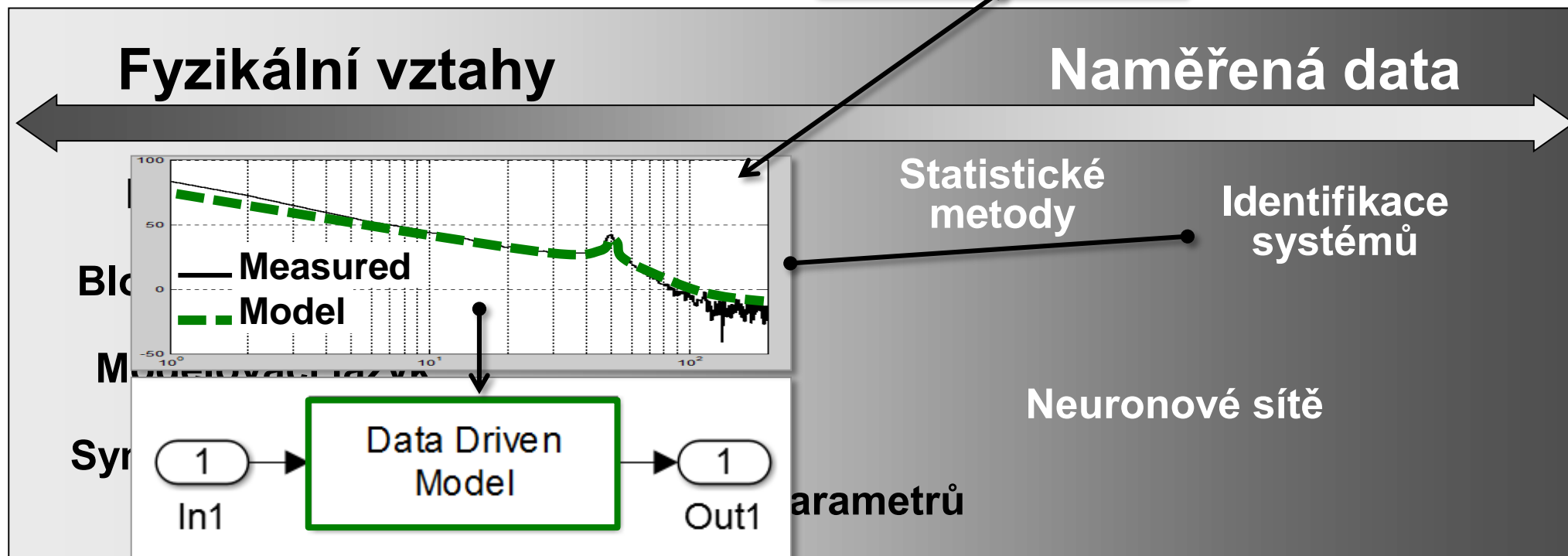
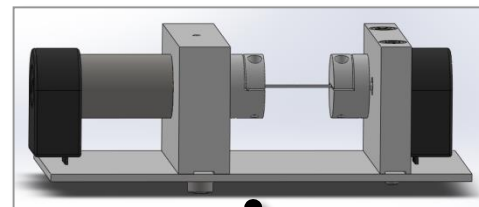
Přístupy k modelování



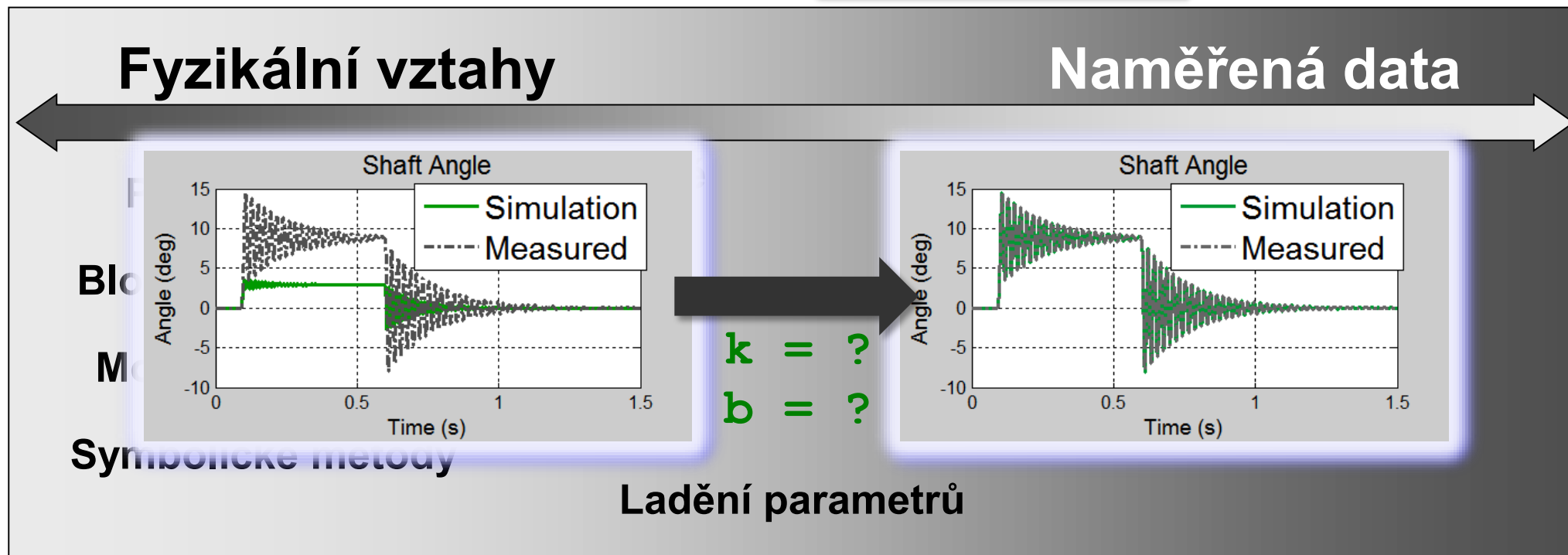
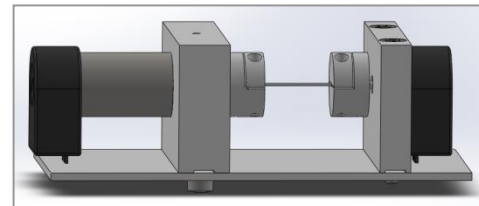
Přístupy k modelování



Přístupy k modelování



Přístupy k modelování



Přístupy k modelování



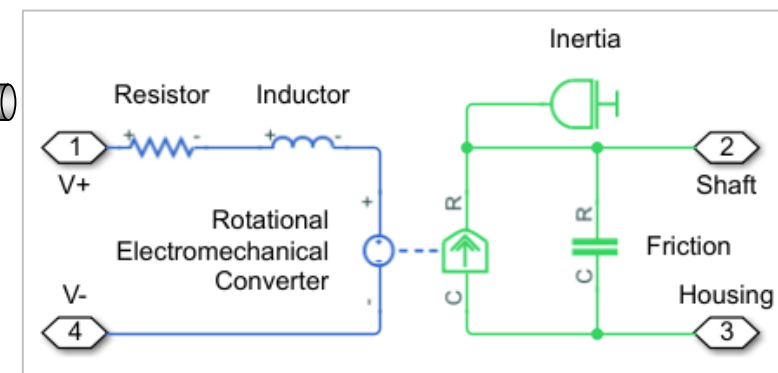
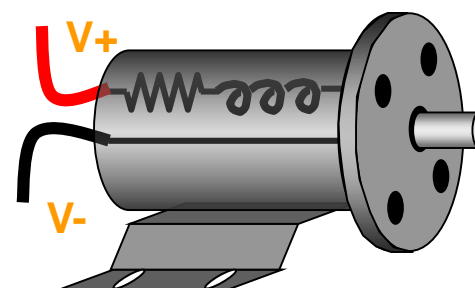
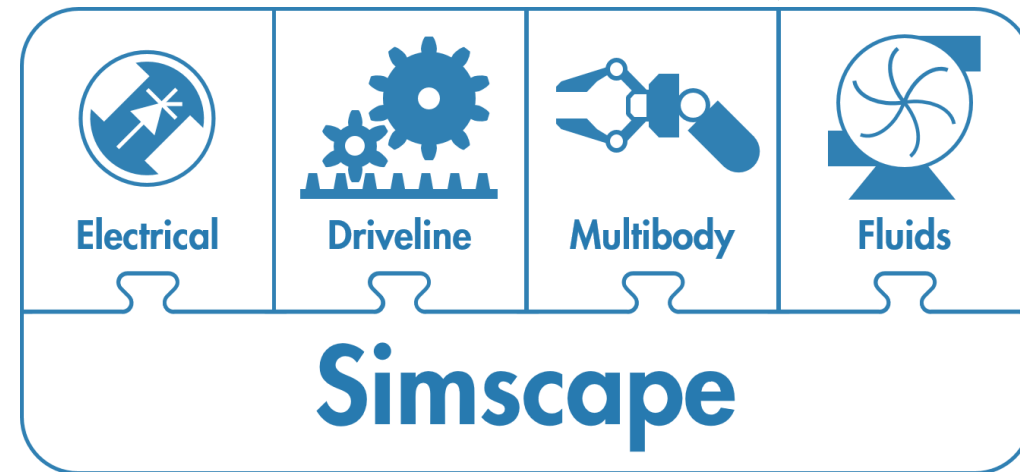
Simscape

- Fyzikální modelování (akauzální) multi-fyzikálních systémů

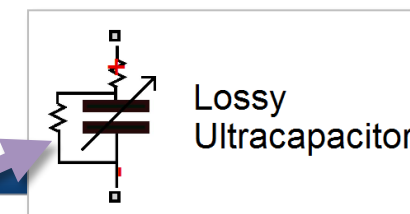
- sestavení schématu
- rovnice odvozovány automaticky
- využití prostředí MATLAB a Simulink

- S nástrojem Simscape můžete

- analyzovat požadavky na systém
- včas odhalit problémy s integrací
- navrhnout řídicí systémy
- optimalizovat chování na úrovni systémů



$$i = (C_0 + C_v v) \frac{dv}{dt} + \frac{v}{r_d}$$

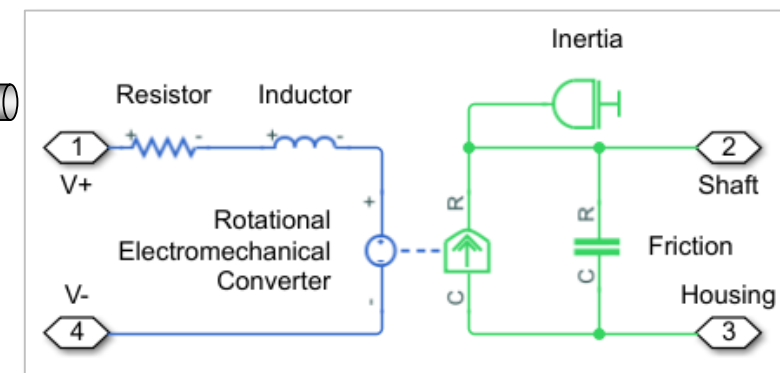
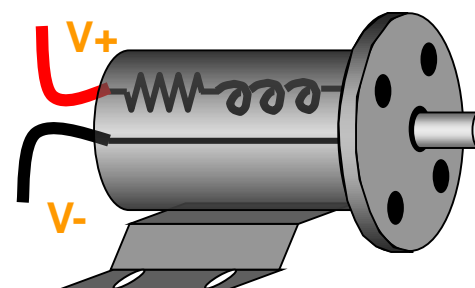
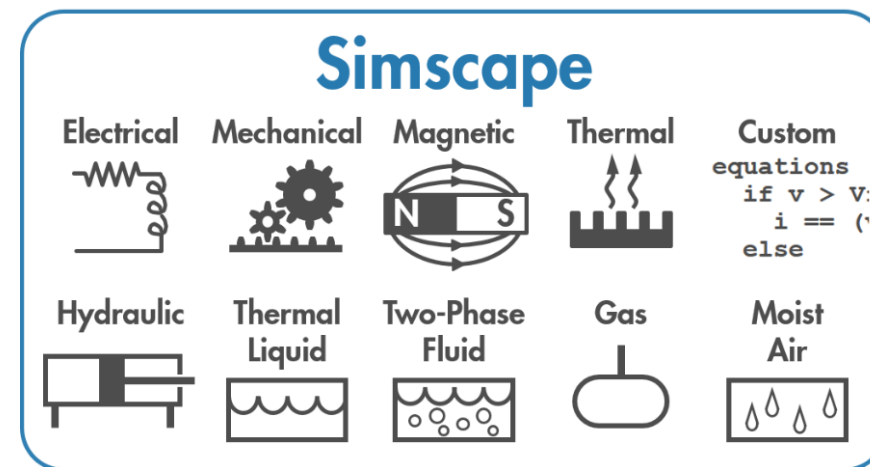


```

Editor - C:\MyComponent\LossyUltraCapacitor.ssc
40 equations
41 i == (C0 + Cv*vc)*vc.der + vc/Rd;
42 v == vc + i*R;
43 end
    
```


Simscape Foundation Library

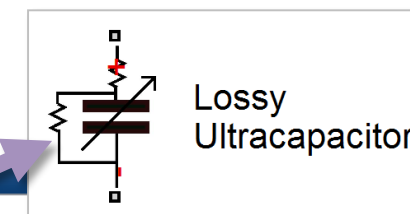
- Fyzikální modelování (akauzální) multi-fyzikálních systémů
 - sestavení schématu
 - rovnice odvozovány automaticky
 - využití prostředí MATLAB a Simulink
- S nástrojem Simscape můžete
 - analyzovat požadavky na systém
 - včas odhalit problémy s integrací
 - navrhnout řídicí systémy
 - optimalizovat chování na úrovni systémů



$$i = (C_0 + C_v v) \frac{dv}{dt} + \frac{v}{r_d}$$

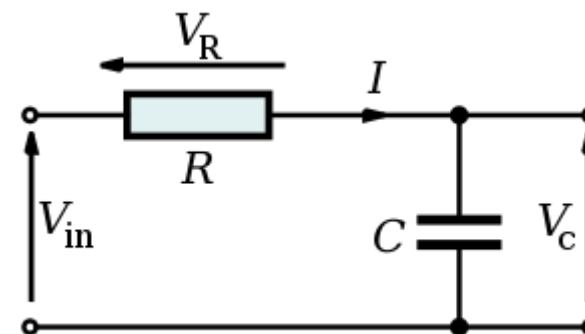
```

Editor - C:\+MyComponent\LossyUltraCapacitor.ssc
40 equations
41 i == (C0 + Cv*vc)*vc.der + vc/Rd;
42 v == vc + i*R;
43 end
  
```

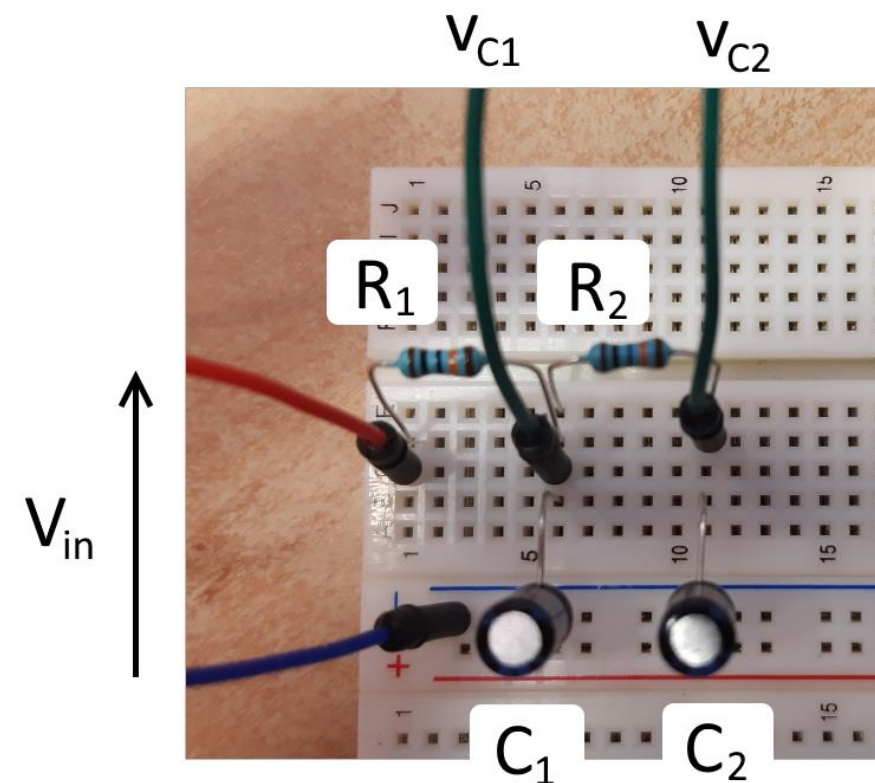
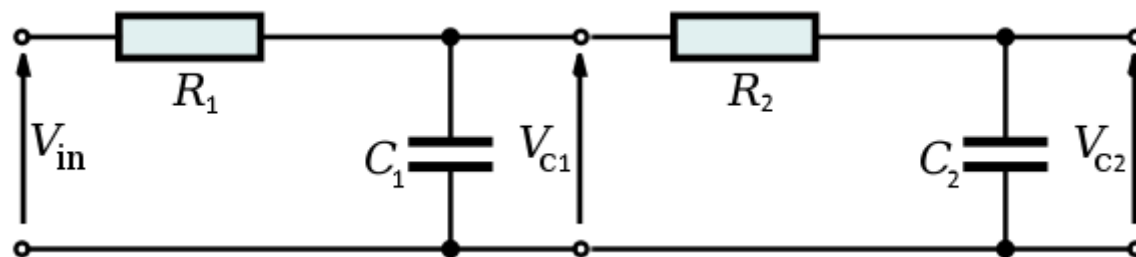


Příklad: RC článek

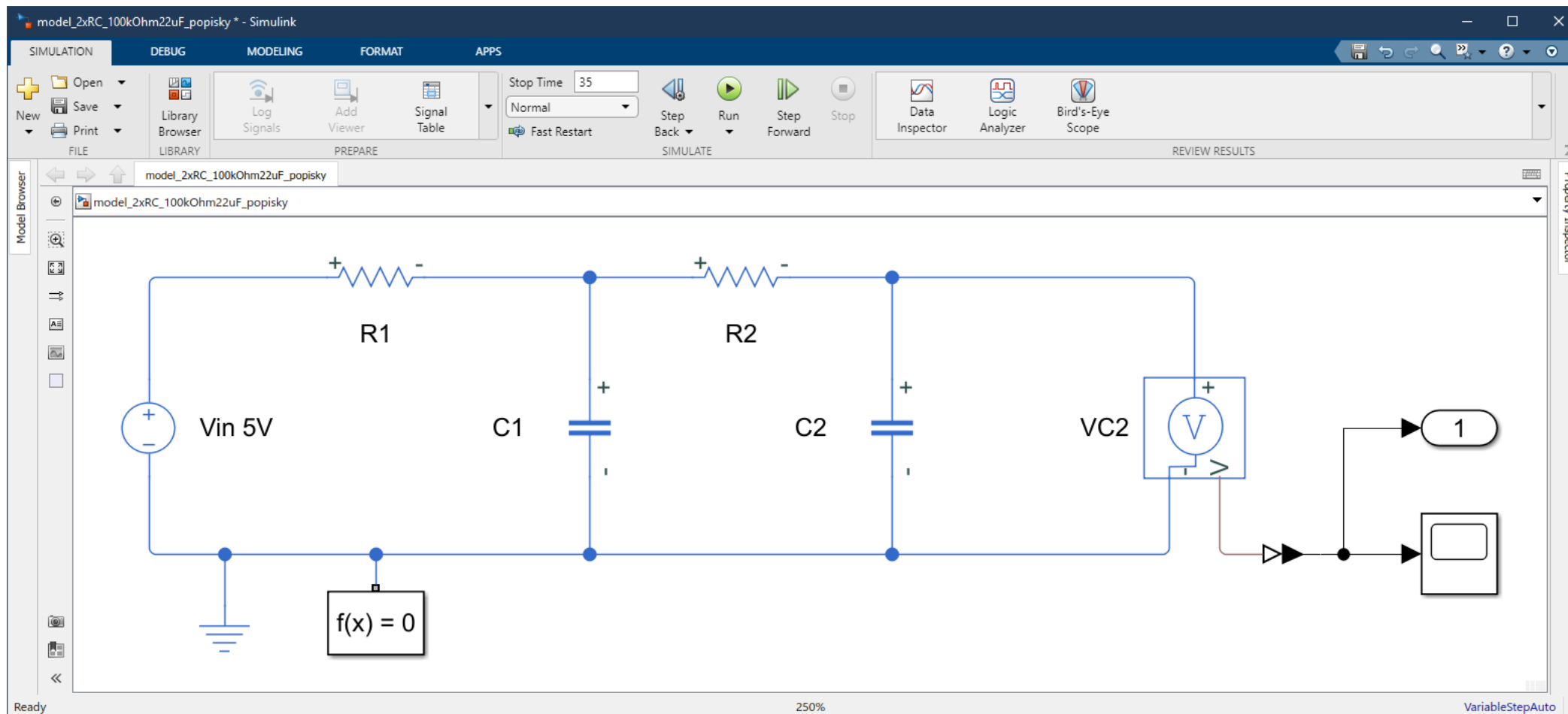
- RC článek => rezistor-kondenzátor



- Soustava: dva sériově spojené RC-články

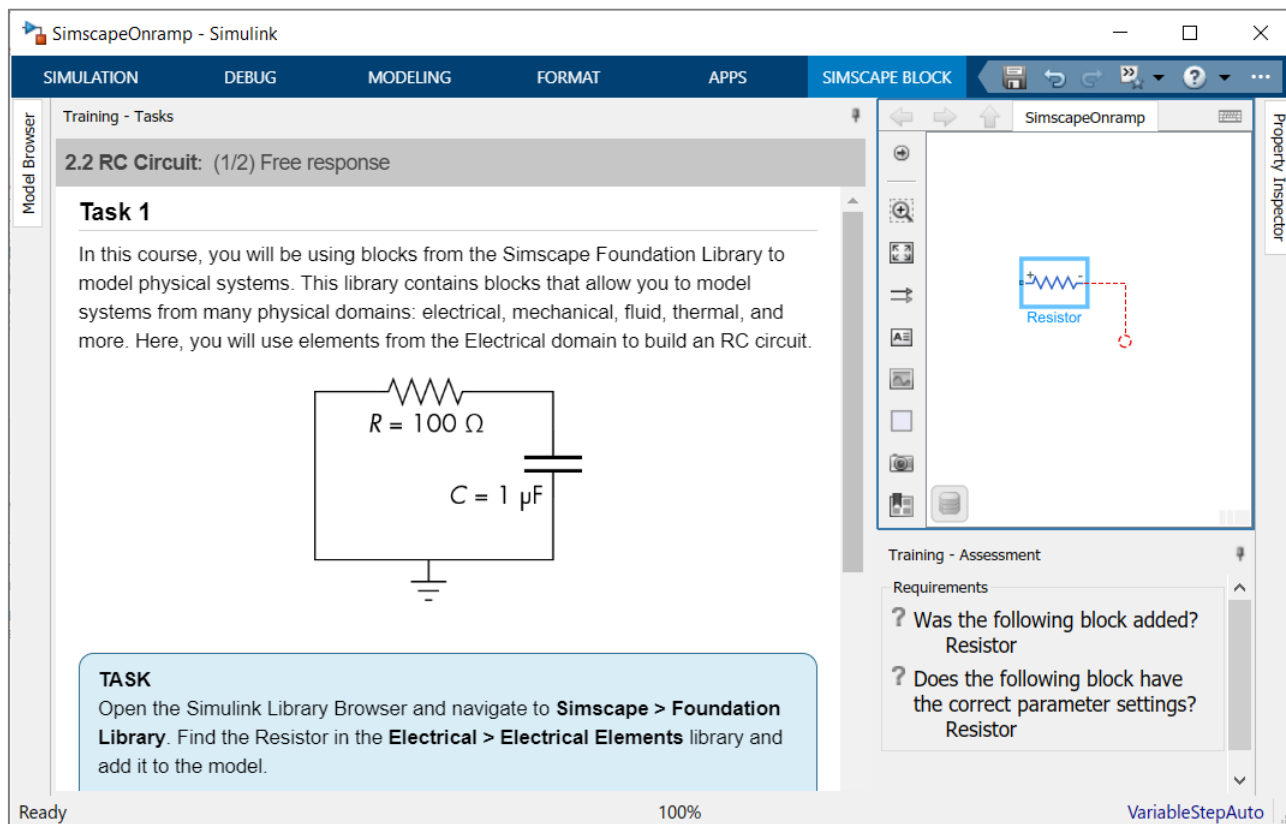


Příklad: RC článek



Simscape Onramp

- Interaktivní kurz (zdarma)
- Úvodní kroky s prostředím Simscape



SimscapeOnramp - Simulink

SIMULATION DEBUG MODELING FORMAT APPS SIMSCAPE BLOCK

Training - Tasks

2.2 RC Circuit: (1/2) Free response

Task 1

In this course, you will be using blocks from the Simscape Foundation Library to model physical systems. This library contains blocks that allow you to model systems from many physical domains: electrical, mechanical, fluid, thermal, and more. Here, you will use elements from the Electrical domain to build an RC circuit.

$R = 100 \Omega$

$C = 1 \mu\text{F}$

TASK

Open the Simulink Library Browser and navigate to **Simscape > Foundation Library**. Find the Resistor in the **Electrical > Electrical Elements** library and add it to the model.

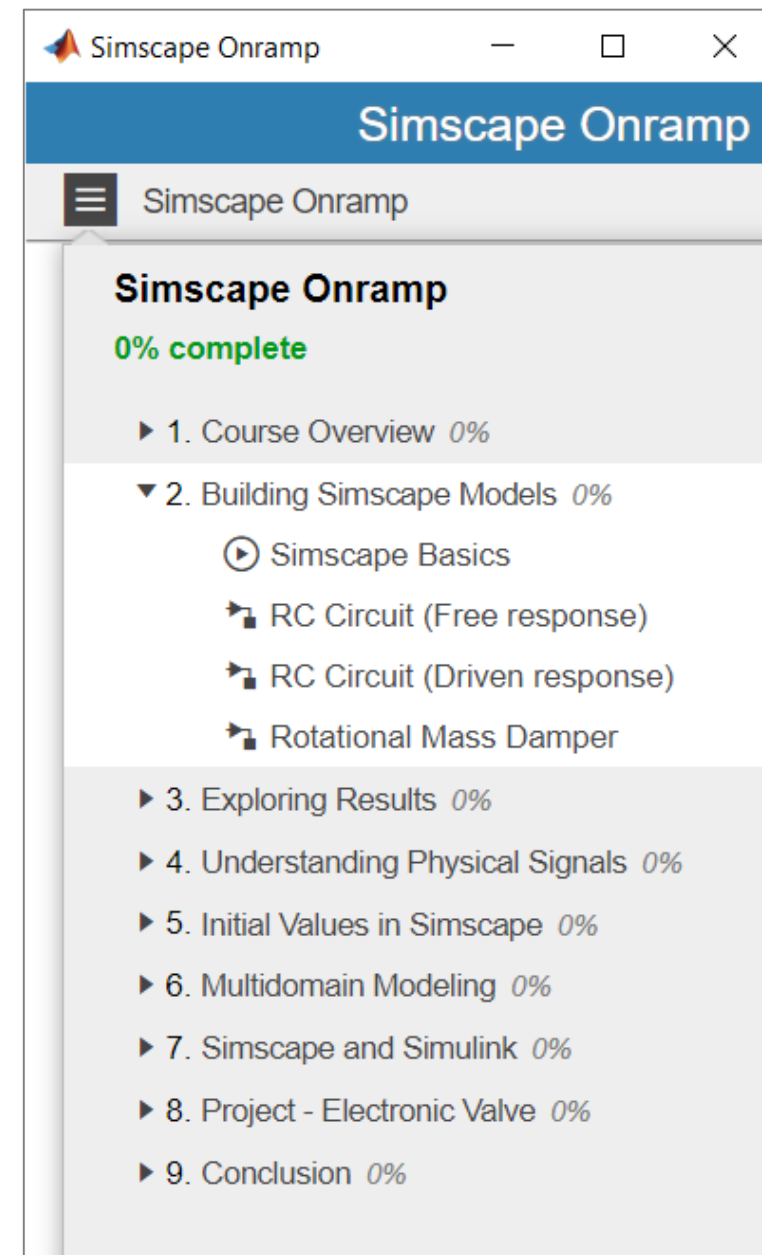
Training - Assessment

Requirements

? Was the following block added?
Resistor

? Does the following block have the correct parameter settings?
Resistor

Ready 100% VariableStepAuto



Simscape Onramp

Simscape Onramp

Simscape Onramp

0% complete

▶ 1. Course Overview 0%

▼ 2. Building Simscape Models 0%

- ▶ Simscape Basics
- ▶ RC Circuit (Free response)
- ▶ RC Circuit (Driven response)
- ▶ Rotational Mass Damper

▶ 3. Exploring Results 0%

▶ 4. Understanding Physical Signals 0%

▶ 5. Initial Values in Simscape 0%

▶ 6. Multidomain Modeling 0%

▶ 7. Simscape and Simulink 0%

▶ 8. Project - Electronic Valve 0%

▶ 9. Conclusion 0%

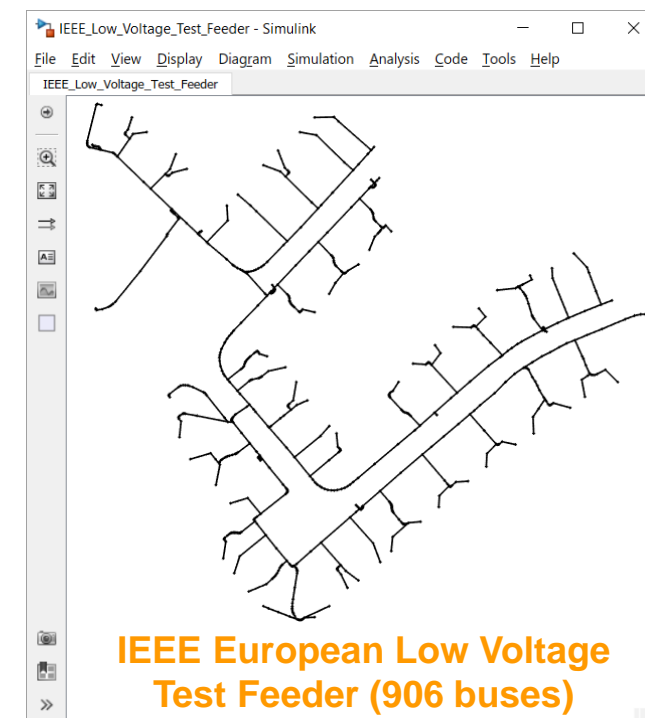
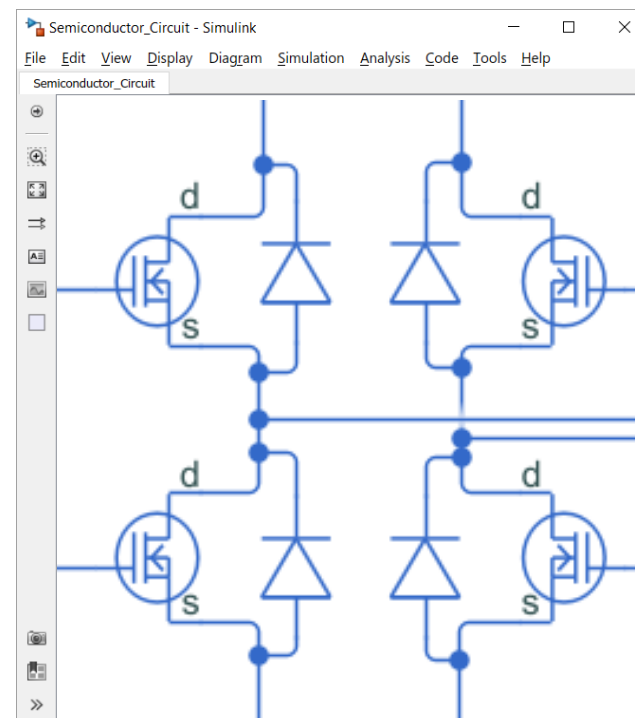
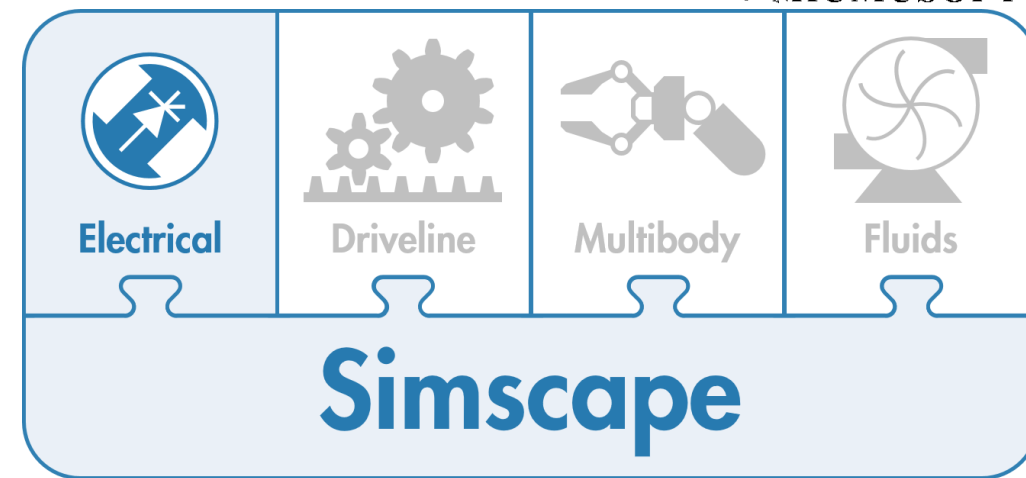
Simscape Electrical

- Fyzikální modelování elektronických, mechatronických a energetických systémů

- topologie elektrického systému reprezentována schématickým zapojením

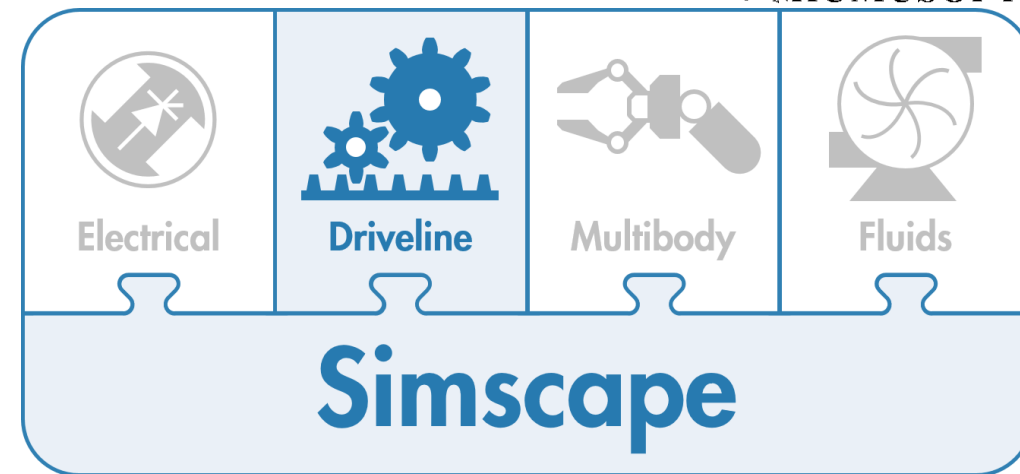
- Se Simscape Electrical můžete

- vyhodnotit architekturu analogového obvodu
- vyvíjet mechatronické systémy s elektrickými pohony
- analyzovat výrobu, přeměnu, přenos a spotřebu elektrické energie na úrovni distribuční sítě

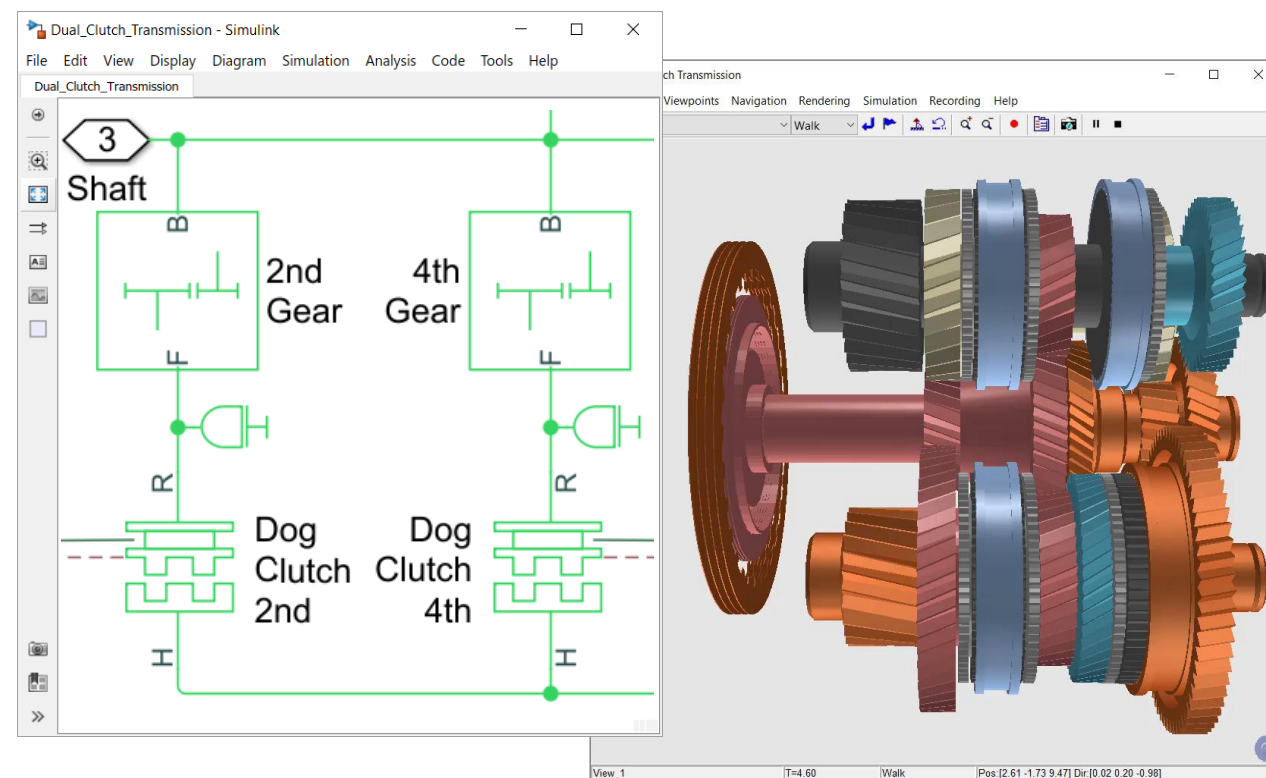


Simscape Driveline

- Fyzikální modelování více-doménových pohonných systémů
 - rotační a translační systémy

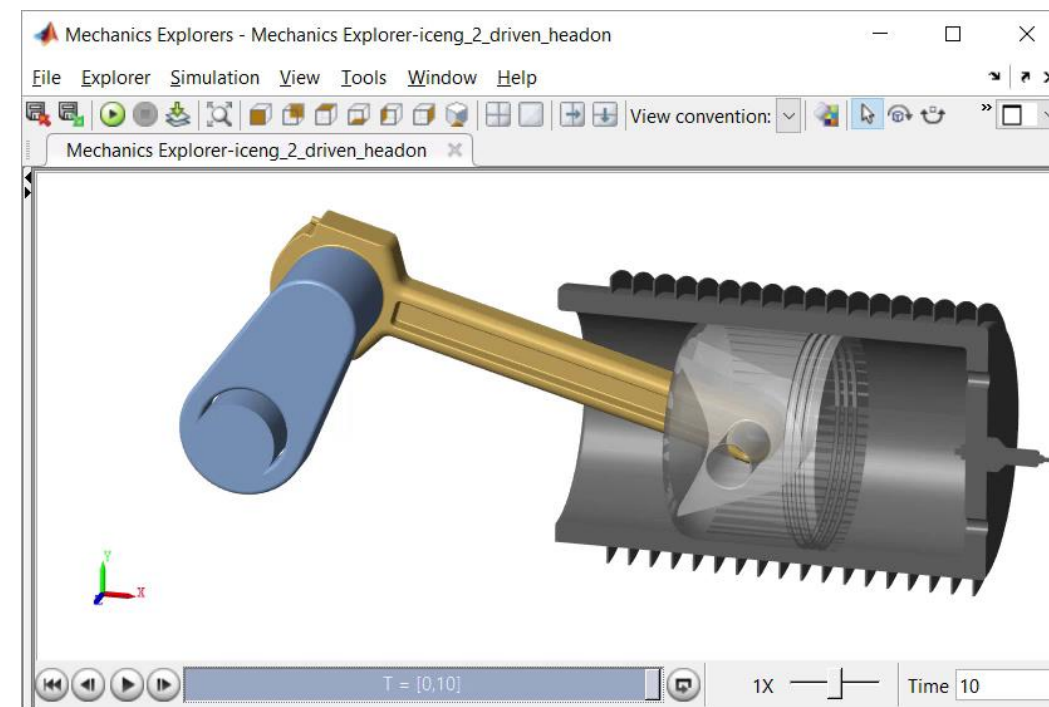
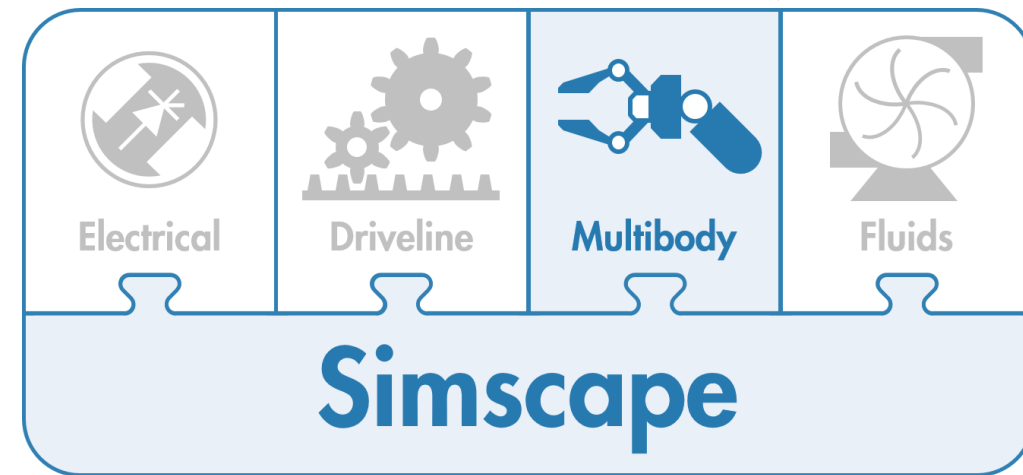


- Se Simscape Driveline můžete:
 - analyzovat požadavky na mechanické přenosové systémy
 - optimalizovat převodové poměry a rozložení převodů
 - navrhnout řídicí logiku



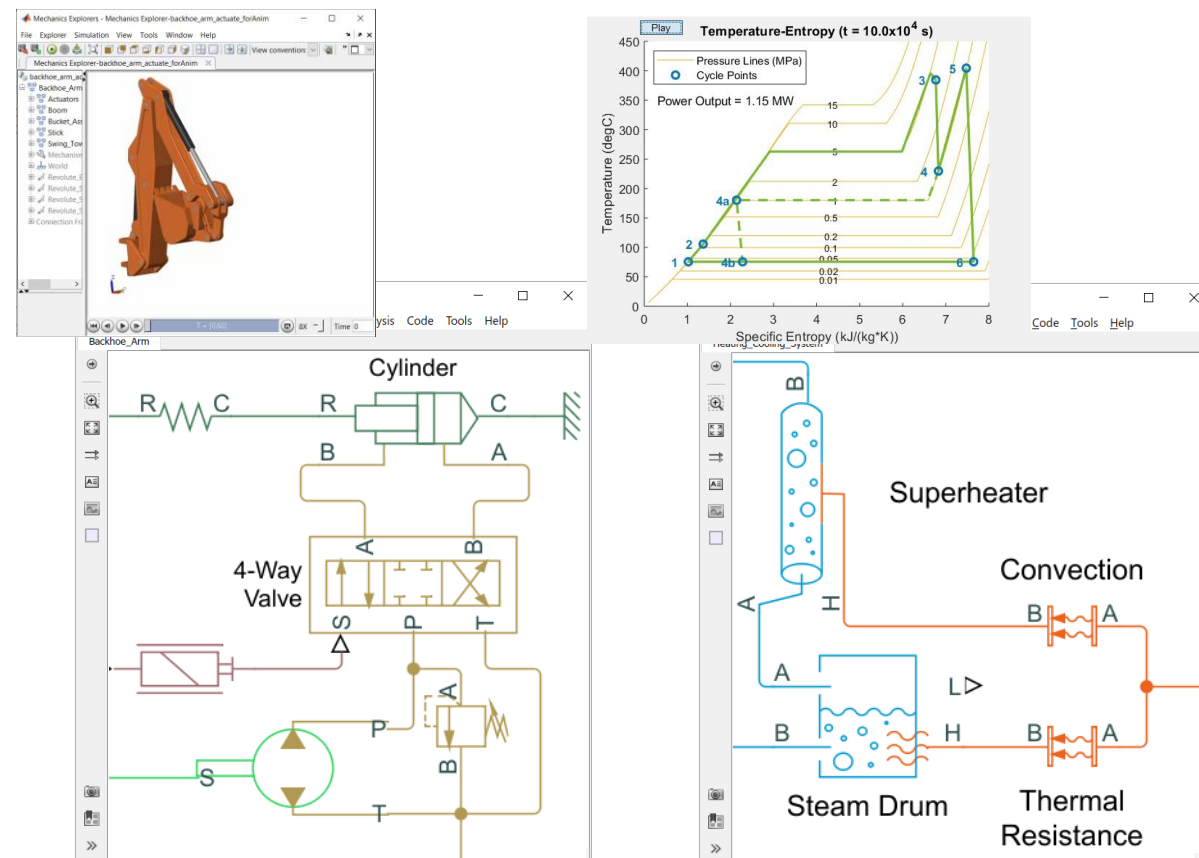
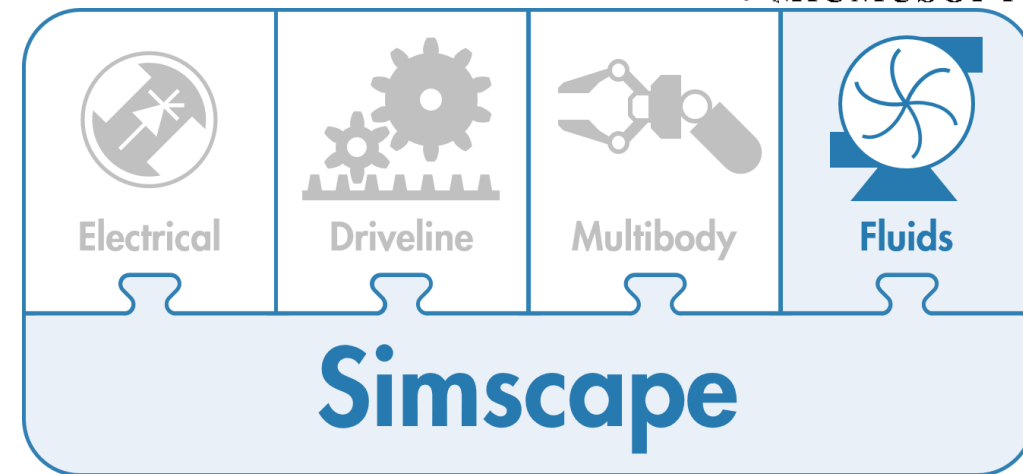
Simscape Multibody

- Simulace 3D mechanických systémů (soustavy těles)
 - sestavení těles a jejich spojení
 - podpora importu z CAD software
- Se Simscape Multibody můžete:
 - analyzovat kinematiku a dynamiku mechanického systému
 - optimalizovat požadavky na akční prvky
 - prozkoumat kritické parametry před detailním návrhem mechanických prvků



Simscape Fluids

- Fyzikální modelování tekutinových systémů
 - přenos energie, topení, chlazení a doprava tekutin
 - kapaliny, plyny a vícefázové tekutiny
- Se Simscape Fluids můžete
 - dimenzovat parametry tekutinového systému
 - analyzovat výběr a uspořádání hydraulických komponent

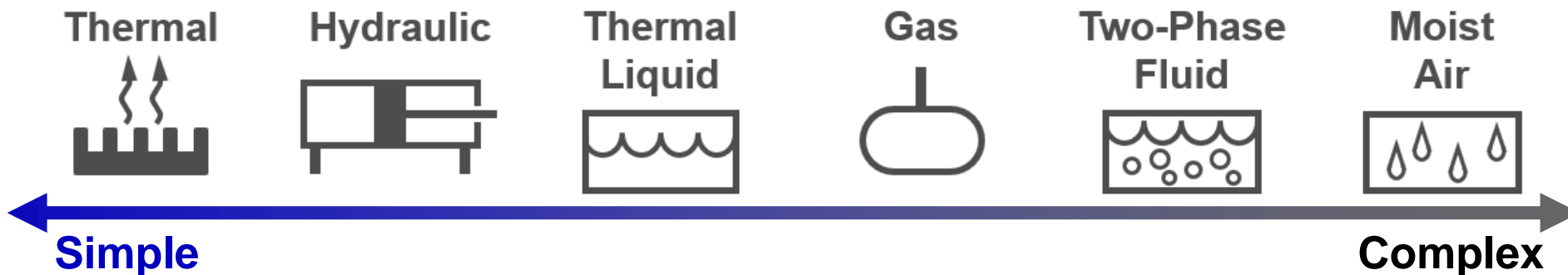


AKTUÁLNÍ MOŽNOSTI A NOVÉ FUNKCE

Simscape (Fluids): Knihovny tekutinových systémů

- Využijte právě takovou fyziku, kterou potřebujete
- „Nezdržujte“ se něčím, co nepotřebujete

Pro úplnou kontrolu
si vytvořte vlastní doménu

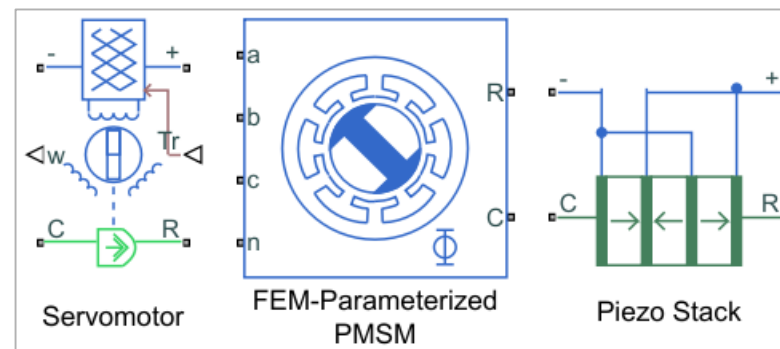


Custom
equations
if $v > v_c$:
 $i = ($
else

Předpoklad	Doména Simscape
Constantní koeficienty přenosu tepla	Thermal
Vlastnosti kapaliny se nemění s teplotou	Hydraulic & Isothermal Liquid
Vlastnosti kapaliny se mění s teplotou	Thermal Liquid
Plyn	Gas
Tekutiny, které mění fáze	Two-Phase Fluid
Směs 3 složek s kondenzací	Moist Air

Simscape Electrical: Pohony

- Translační a rotační pohony
 - parametrizace dle „data sheets“ nebo s daty z FEM software
 - specifikace elektrických ztrát



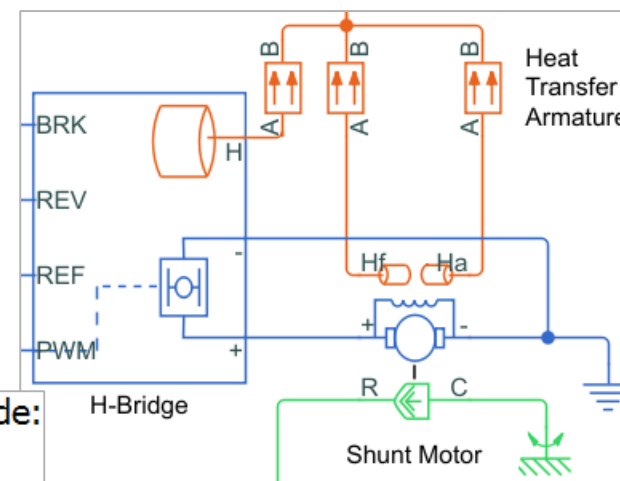
Parameterization:

- By equivalent circuit parameters
- By motor ratings

Parameterize losses by:

- Single efficiency measurement
- Tabulated loss data

- Tepelné efekty
 - chování závislé na teplotě
 - přenos tepla do okolí

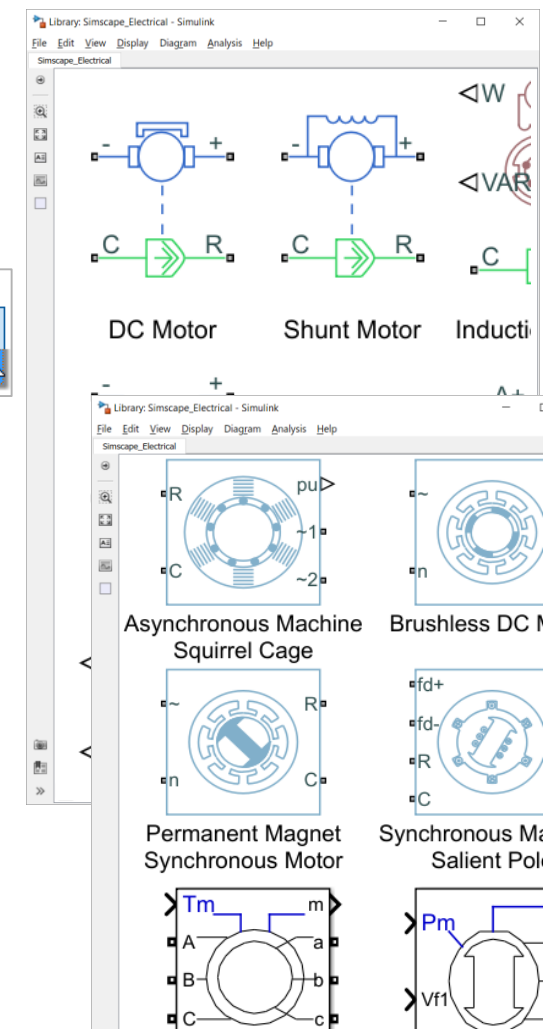


Simulation mode:

- Averaged
- PWM

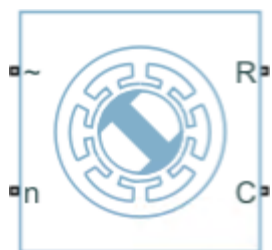
- Zahrnutí nebo zanedbání účinků spínání

Ukázka knihoven



Simscape Electrical: Pohony

- Databáze s hodnotami parametrů odpovídajících vybraným pohonům různých dodavatelů



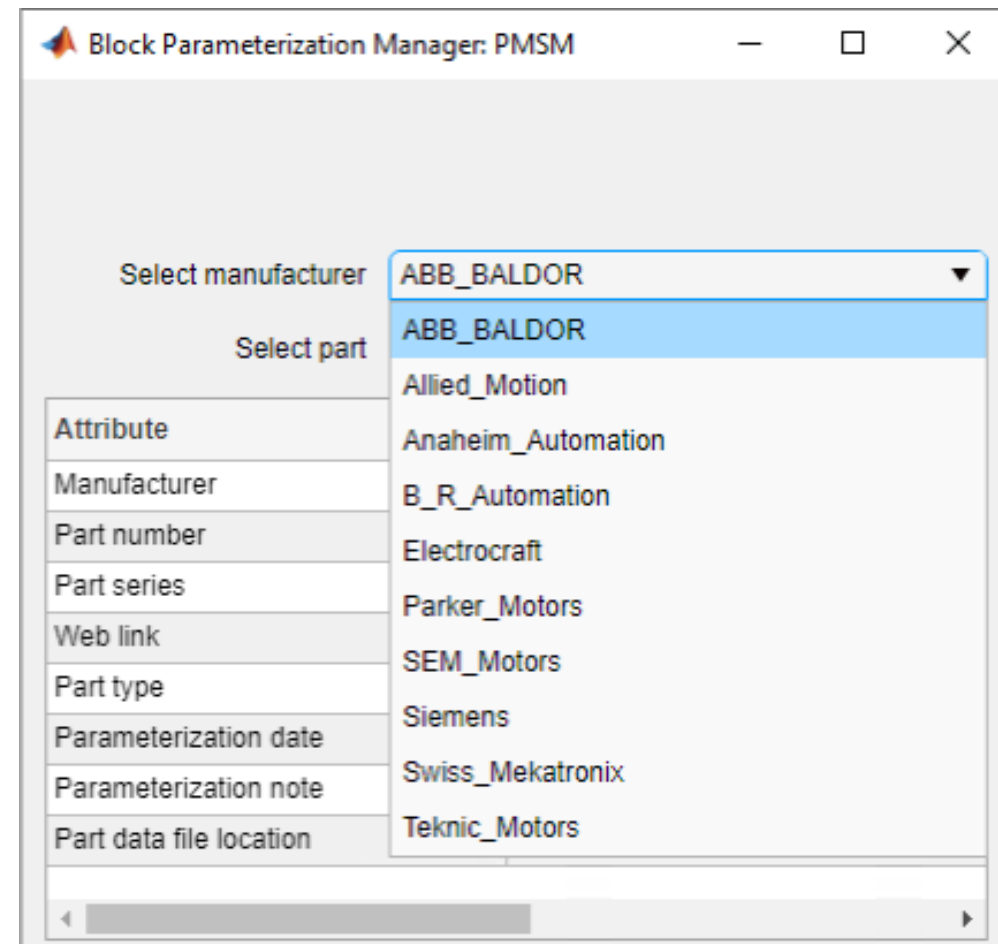
PMSM

PMSM

This block represents a permanent magnet synchr

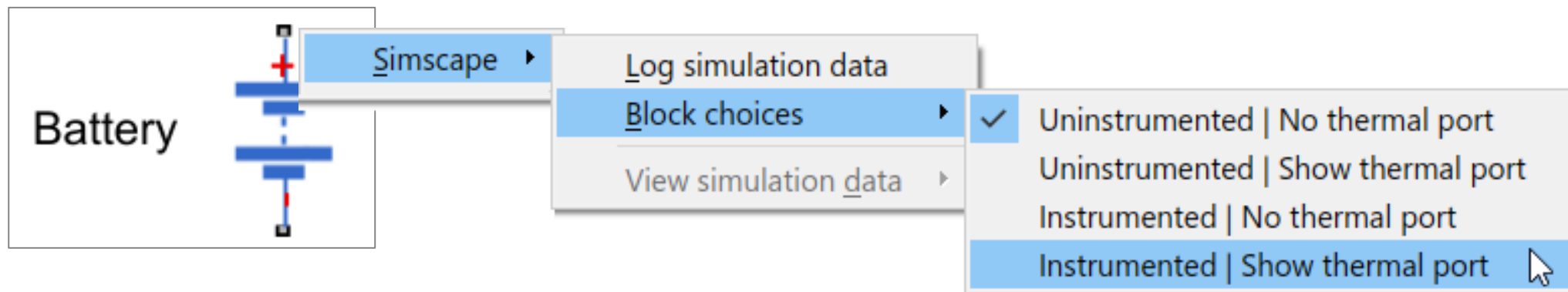
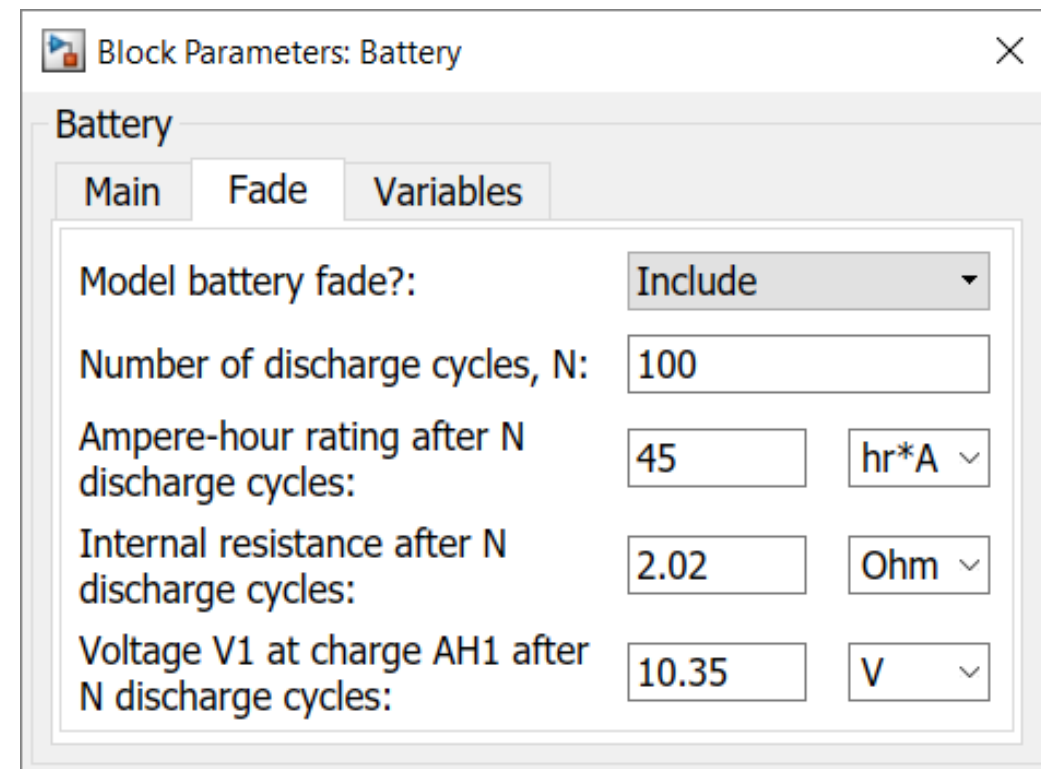
Right-click on the block and select Simscape block

[Select a predefined parameterization](#)



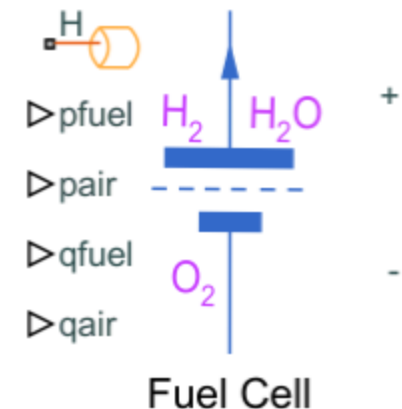
Simscape Electrical: Baterie

- Battery a Battery (Table-Based)
- Je možné zahrnout efekty
 - degradace v závislosti na stárnutí
 - tepelné účinky
 - dynamika nabíjení



Simscape Electrical: Palivový článek

- Model elektrického chování vodíkového palivového článku
 - zjednodušený model
 - napětí dáno nominálními podmínkami
 - detailní model:
 - s fyzikálními vstupy
 - napětí dáno tlakem a průtokem paliva a vzduchu



Fuel Cell

Main Supply Dynamics Thermal Variables

Model fidelity: Detailed with physical inputs

Open-circuit voltage: 65 V

Tafel slope: 0.23 V

Internal resistance: 0.05 Ohm

Nominal exchange current: 80 A

Collapse current: 200 A

Number of cells per module: 65

Module units (Series): 10

Simscape Electrical: Load-Flow Analysis App

- Uživatelské rozhraní pro load flow analýzu

Simscape Electrical Load-Flow Analysis: ee_loadflow_ieeee9bus

Solver configuration: Frequency and time (phasor) Refresh Run Load Flow Export Help

Highlight inputs in table Highlight blocks in model

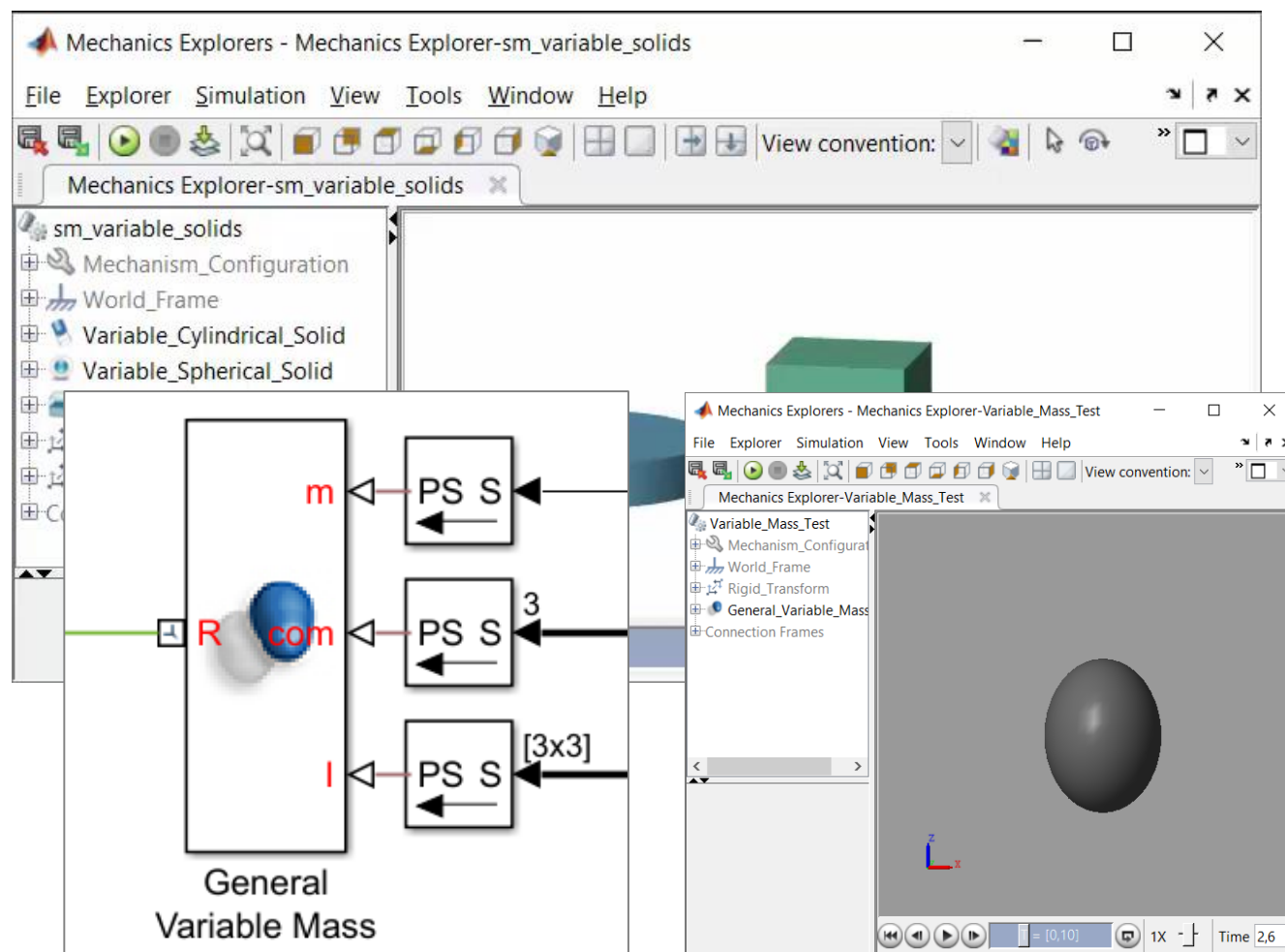
	Block Type	Bus Ty...	Rated Voltage, kV	Specified Voltage Magnitude, pu	Actual Voltage Magnitude
G1C//Swing 1.04pu	Load Flow Source	Swing	16.5000	1.0400	
G2C//PV 163MW 1.025pu	Load Flow Source	PV	18.0000	1.0250	
G3C//PV 85MW 1.025pu	Load Flow Source	PV	13.8000	1.0250	
Bus1 16.5kV	Busbar	None	16.5000	NaN	
Bus2 18kV	Busbar	None	18.0000	NaN	
Bus3 13.8kV	Busbar	None	13.8000	NaN	

	Block Type	From Busbar	To Bus...	Rated Voltage, kV	Voltage V1, pu	Voltage V2, pu	Voltage Angle12,
B4 to B5 50 km	Transmission Line	Bus4 230kV	Bus5 230kV	230/230	NaN	NaN	
B4 to B6 50 km	Transmission Line	Bus4 230kV	Bus6 230kV	230/230	NaN	NaN	
B5 to B7 100 km	Transmission Line	Bus5 230kV	Bus7 230kV	230/230	NaN	NaN	
B6 to B9 100 km	Transmission Line	Bus6 230kV	Bus9 230kV	230/230	NaN	NaN	
B7 to B8 50 km	Transmission Line	Bus7 230kV	Bus8 230kV	230/230	NaN	NaN	
B8 to B9 100 km	Transmission Line	Bus8 230kV	Bus9 230kV	230/230	NaN	NaN	

Ready

Simscape Multibody: Variabilní hmoty

- Modelování bodové nebo rozložené hmoty s časově proměnnými vlastnostmi
- Základní tělesa
 - Brick, Cylinder, Sphere
 - hmotnost může být zadána vstupem nebo počítána z geometrie
- Obecné těleso
 - General Variable Mass
 - vizualizace ekvivalentním elipsoidem



Simscape Multibody: Flexibilní tělesa

Knihovna Flexible Beam

Vlastnosti počítány z geometrických a materiálových parametrů

1. Constantní průřez (plný/děravý)
2. Délka přesahuje výšku a šířku
3. Homogenní, isotropická, elastický materiál
4. Nosník připojen na koncích

Reduced Order Flexible Solid

Vlastnosti zadány z FEM software prostřednictvím dat ze statické a modální analýzy

1. Libovolný tvar
2. Libovolný tvar
3. Libovolný elastický materiál
4. Libovolné body připojení

Obě metody platné pouze pro malé, lineárně elastické deformace



General Flexible Beam



Flexible Rectangular Beam



Flexible Cylindrical Beam



Flexible Angle Beam



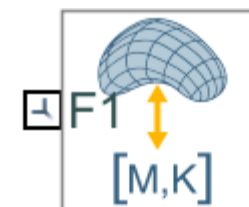
Flexible I Beam



Flexible Channel Beam



Flexible T Beam



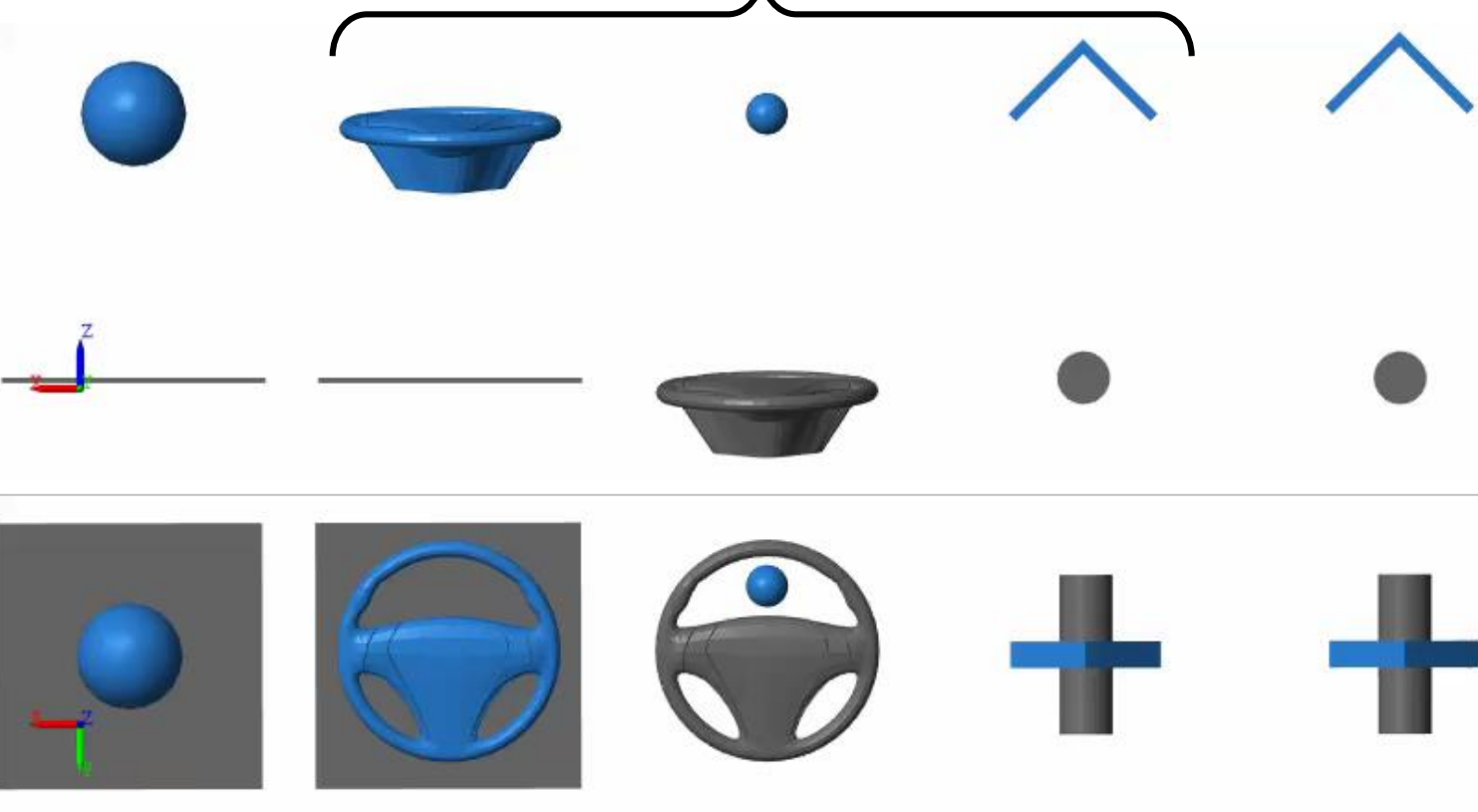
Reduced Order Flexible Solid

Simscape Multibody: Prostorové kontakty



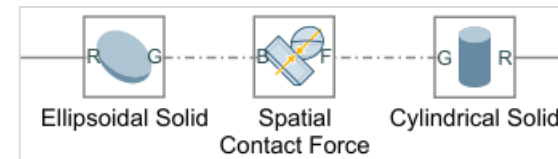
- Kontakt mezi 3D geometriemi
 - pro obecné geometrie (CAD) konvexní obálka

Konvexní obálky



Kontakt využívající přesnou geometrii

Brick Solid



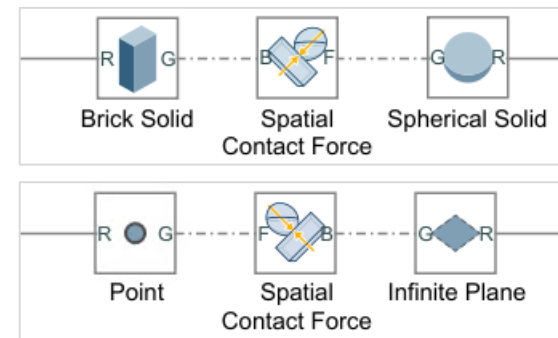
Spherical Solid

Cylindrical Solid

Ellipsoidal Solid

Point

Infinite Plane

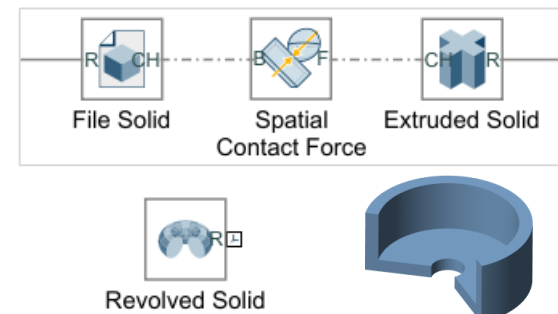


Kontakt využívající konvexní obálku

File Solid (CAD)

Extruded Solid

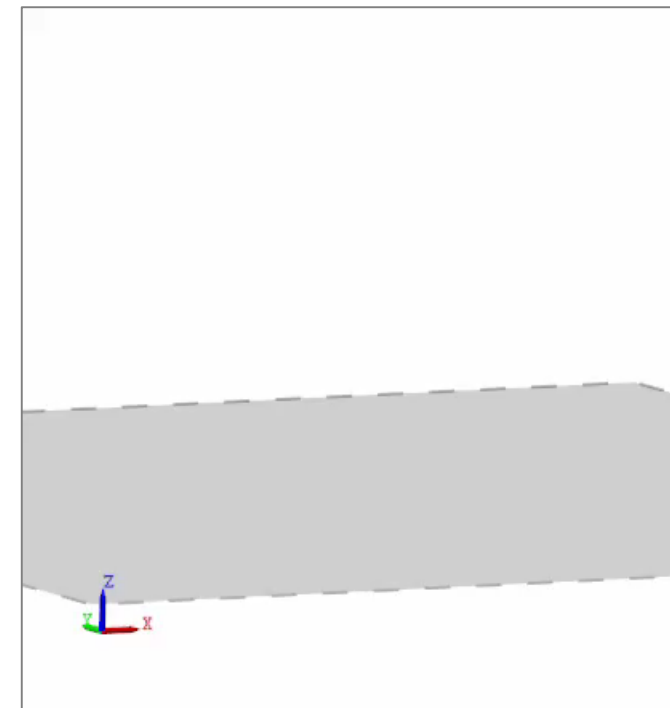
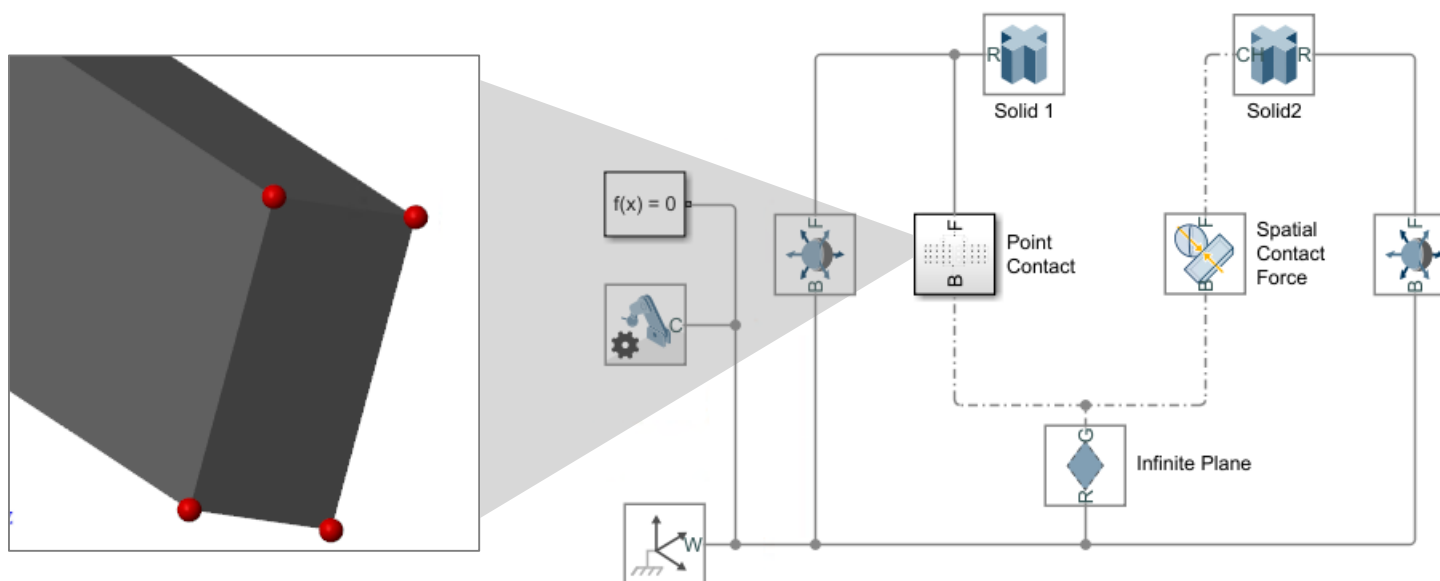
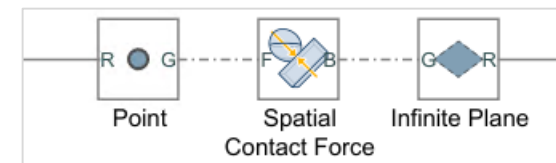
Revolved Solid



Simscape Multibody: Prostorové kontakty

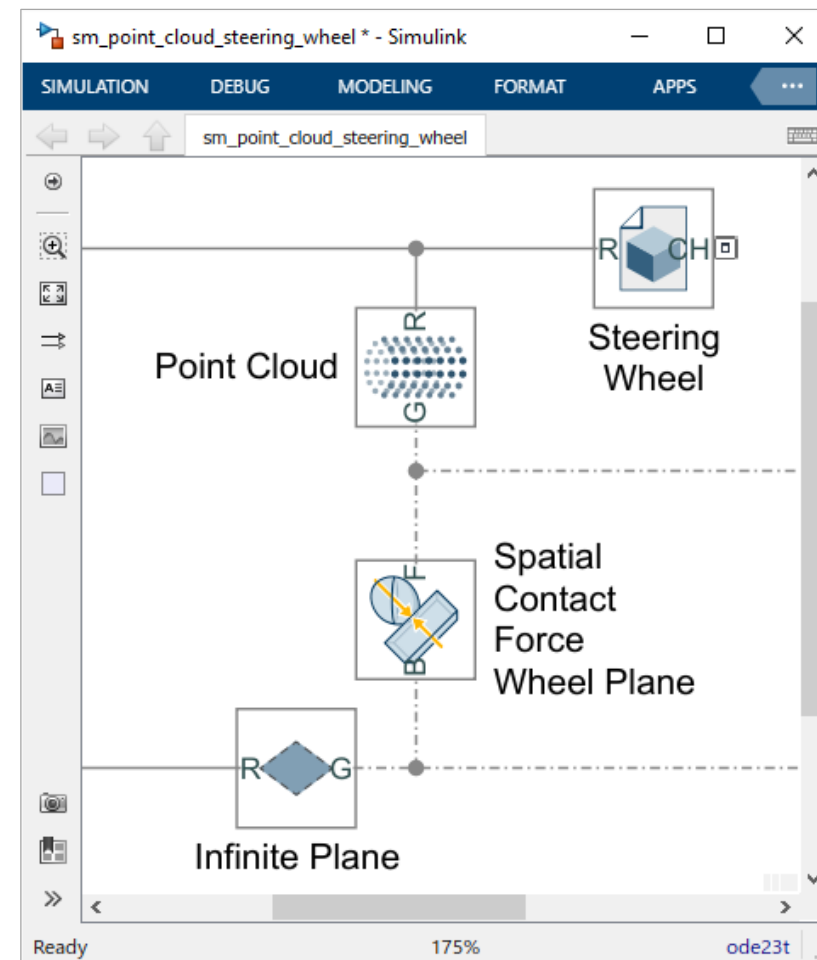
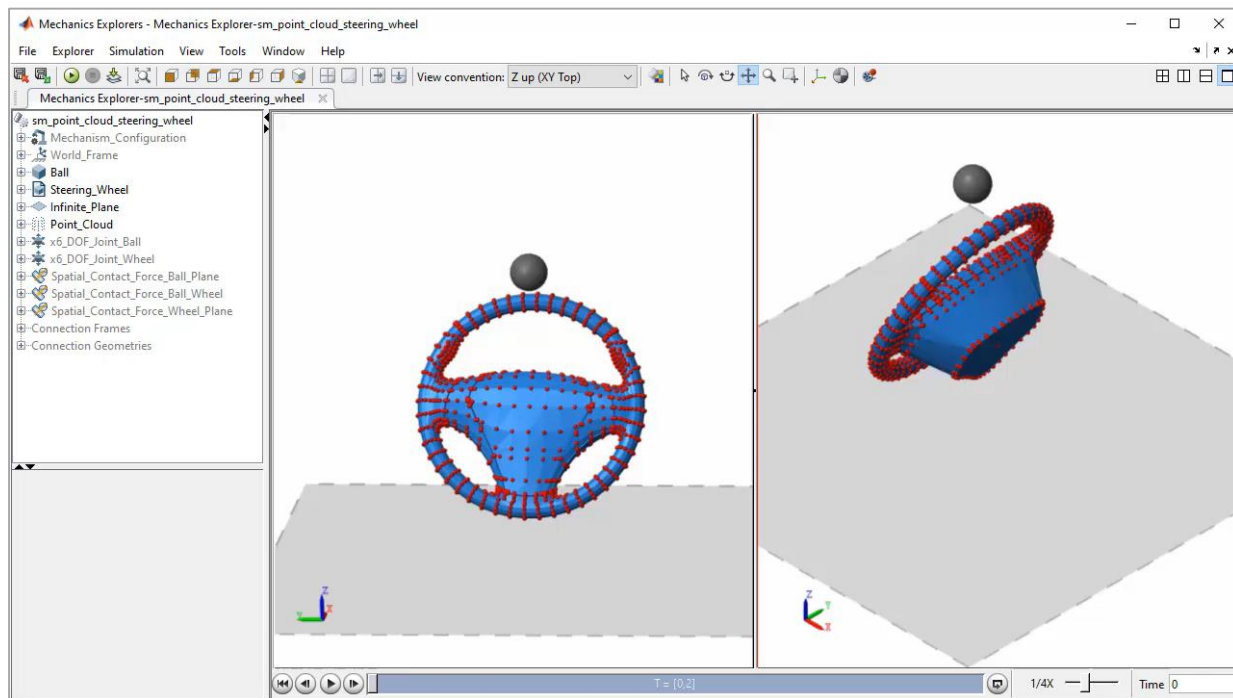
- Bloky Point a Infinite Plane

- zjednodušení výpočtu kontaktních sil definováním kontaktu mezi bodem a nekonečnou rovinou
- rychlejší simulace



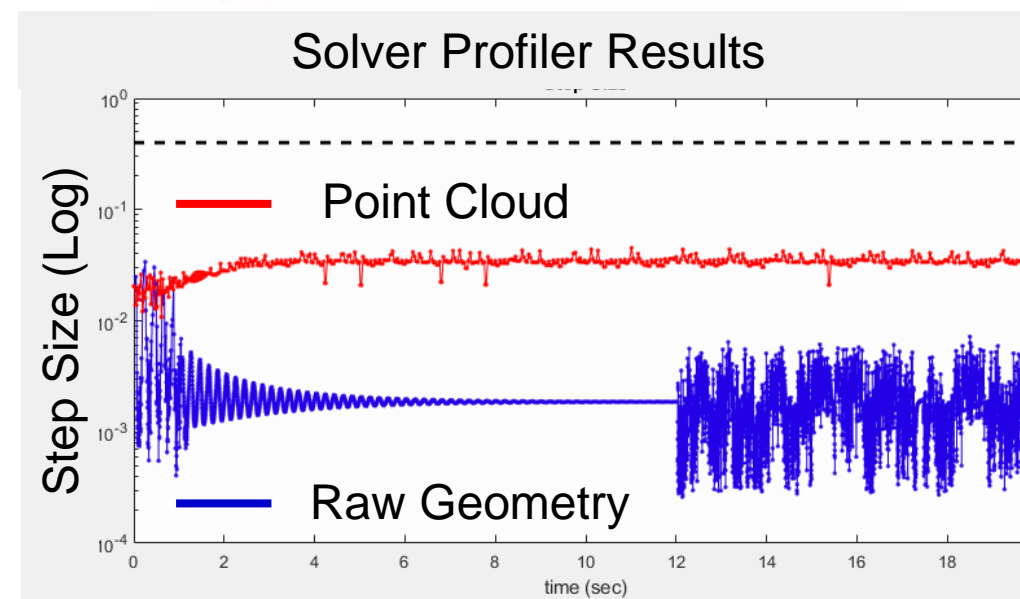
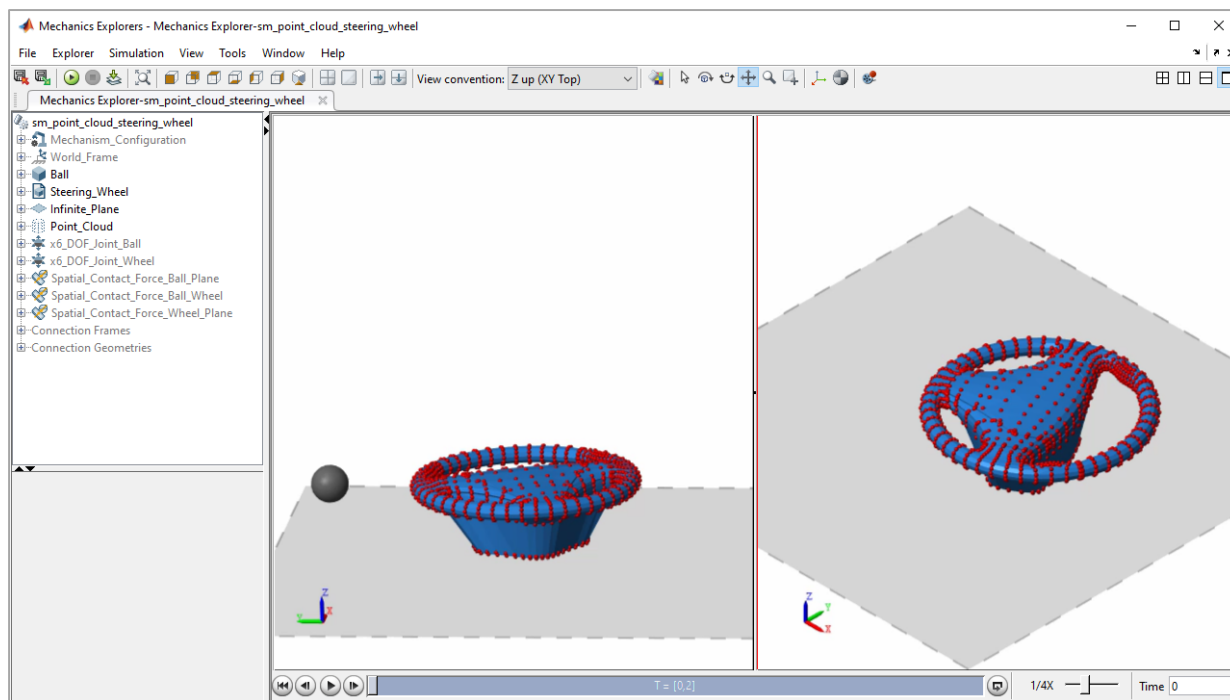
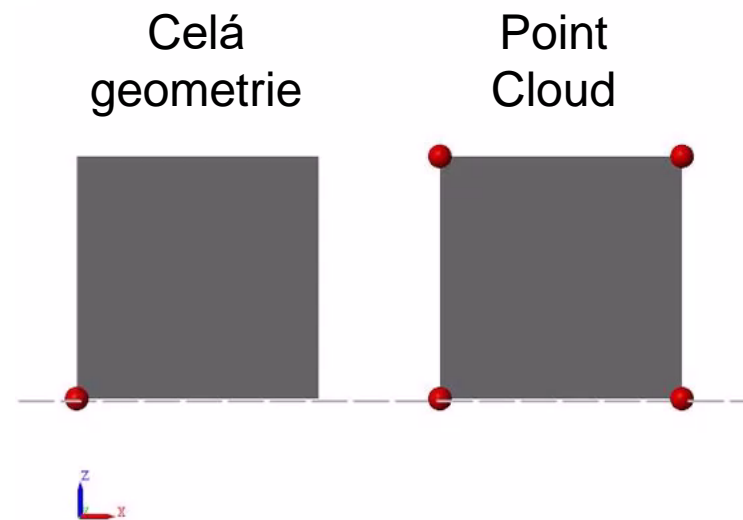
Simscape Multibody: Prostorové kontakty

- Blok Point Cloud
 - aproximace kontaktní geometrie mračem bodů
 - stabilní simulace trvalého kontaktu



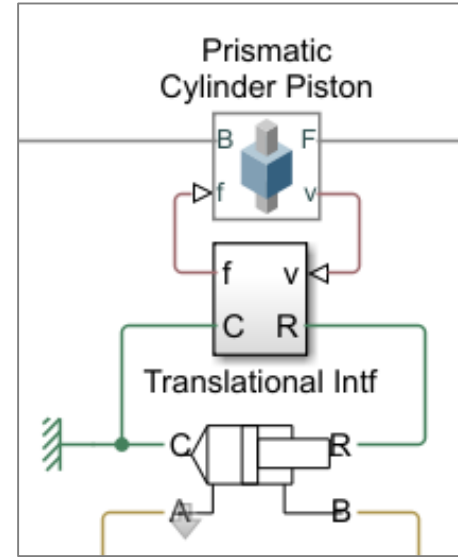
Simscape Multibody: Prostorové kontakty

- Blok Point Cloud
 - aproximace kontaktní geometrie mračem bodů
 - stabilní simulace trvalého kontaktu



Simscape Multibody: Dorazy

- Omezení rozsahu pohybu kloubů dle zadaných mezí
 - využívá kontaktní síly



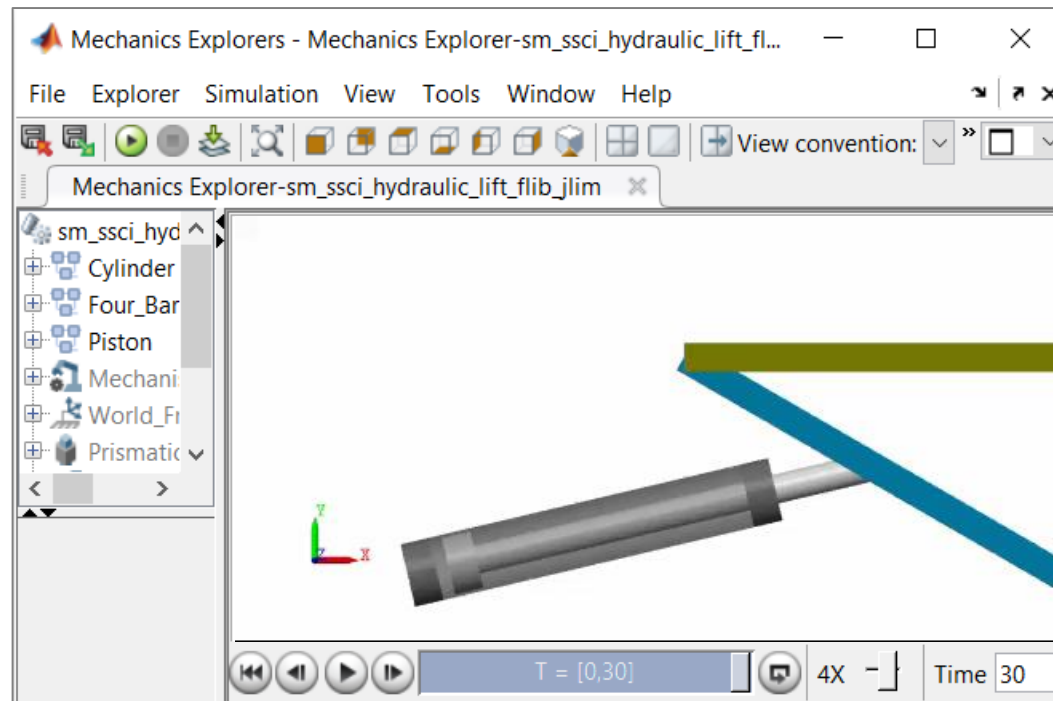
Prismatic Joint : Prismatic Cylinder Pi...

Properties

- [-] Z Prismatic Primitive (Pz)
- [+] State Targets
- [+] Internal Mechanics
- [-] Limits

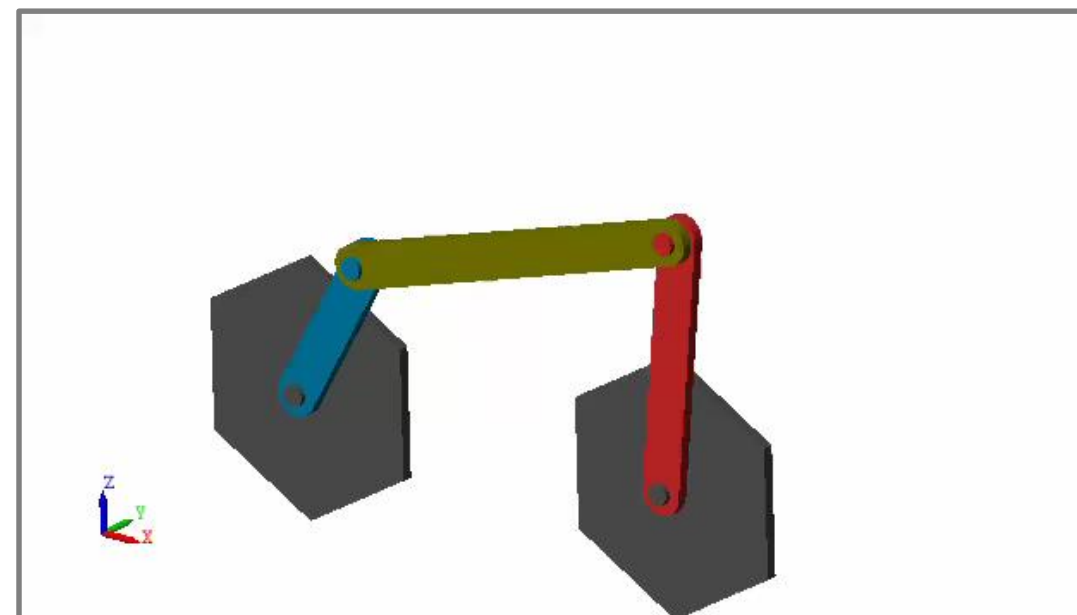
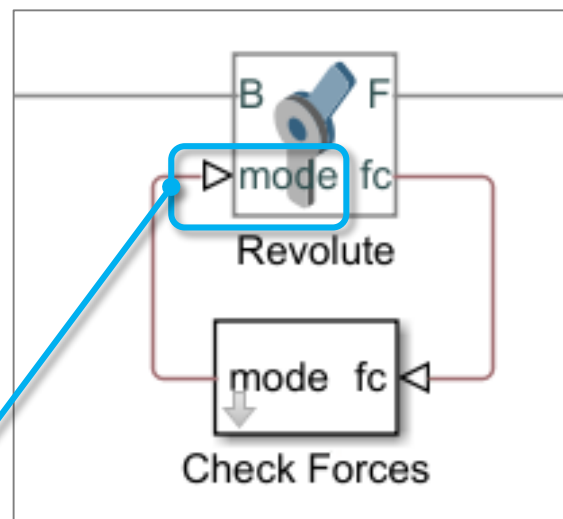
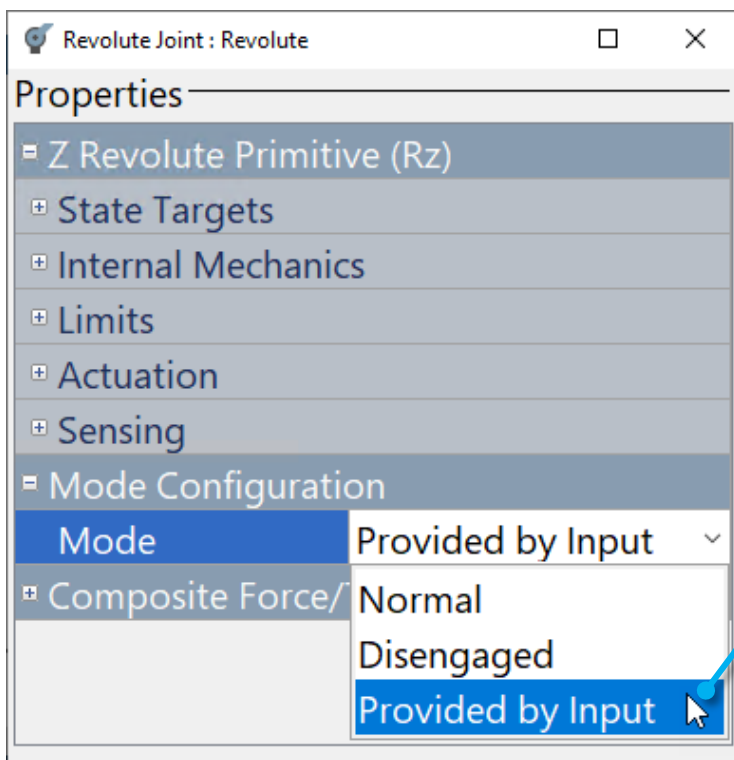
<input type="checkbox"/> Specify Lower Limit	<input checked="" type="checkbox"/>	
Value	0	m
Spring Stiffness	1e6	N/m
Damping Coefficient	1e3	N/(m/s)
Transition Region Width	1e-4	m
<input type="checkbox"/> Specify Upper Limit	<input checked="" type="checkbox"/>	
Value	0.1	m
Spring Stiffness	1e6	N/m
Damping Coefficient	1e3	N/(m/s)
Transition Region Width	1e-4	m

- [+] Actuation
- [+] Sensing
- [+] Composite Force/Torque Sensing



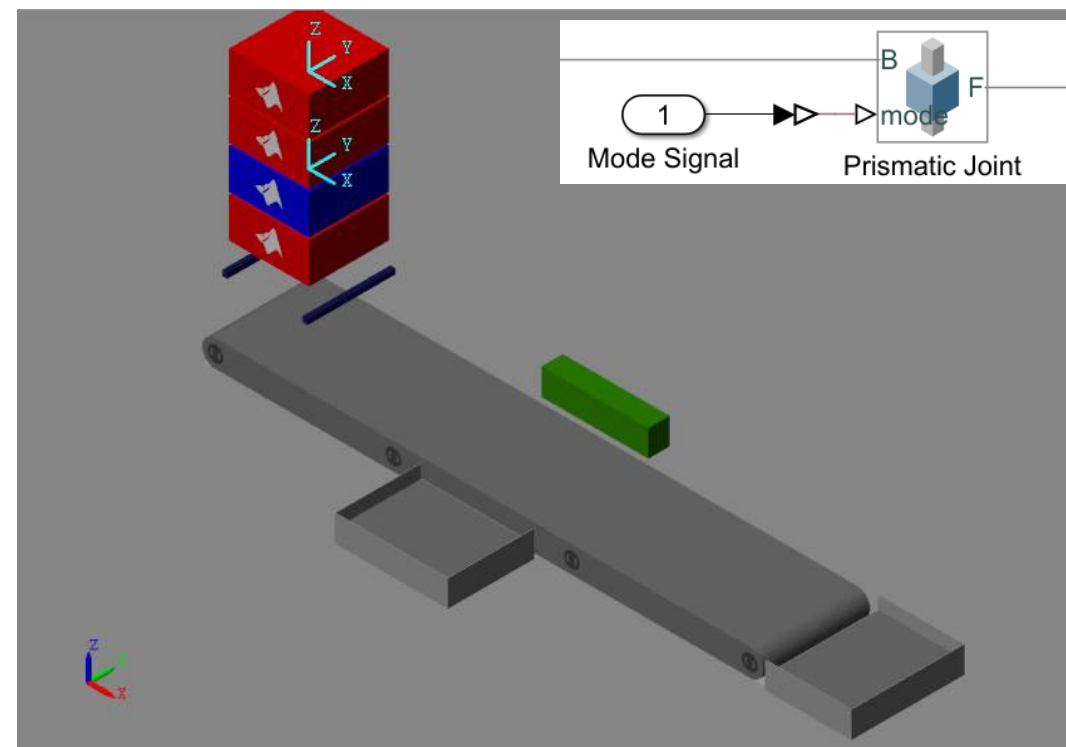
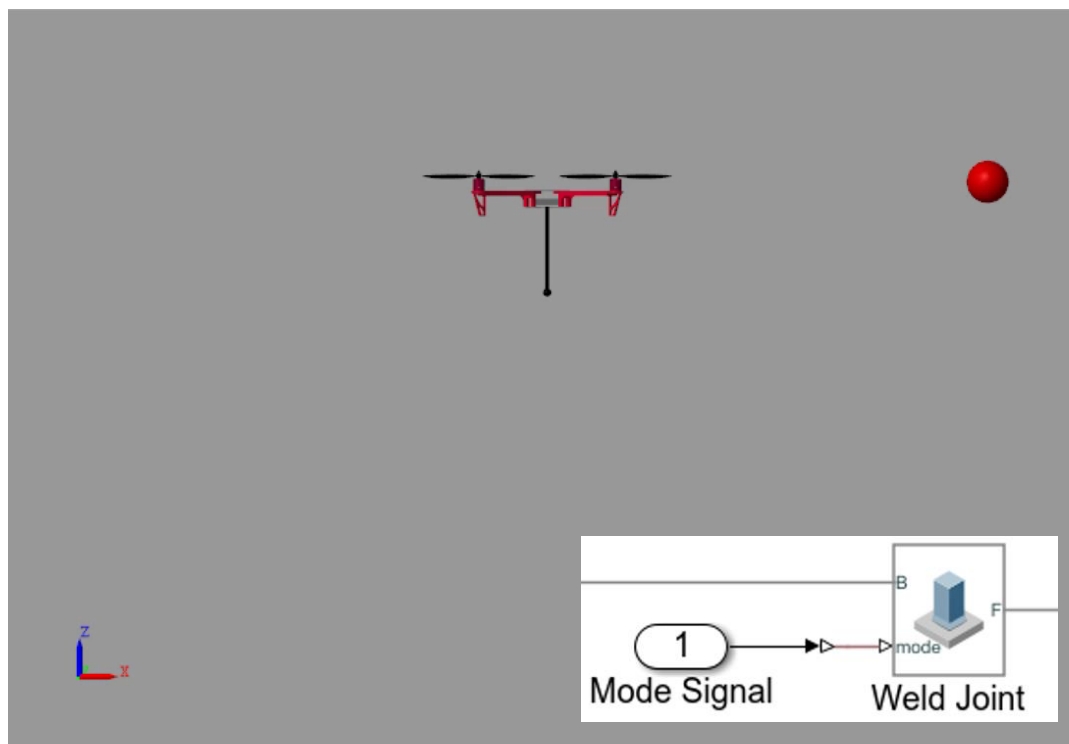
Simscape Multibody: Deaktivace spojení

- Uvolnění spojení souřadných systémů pro neomezený pohyb těles



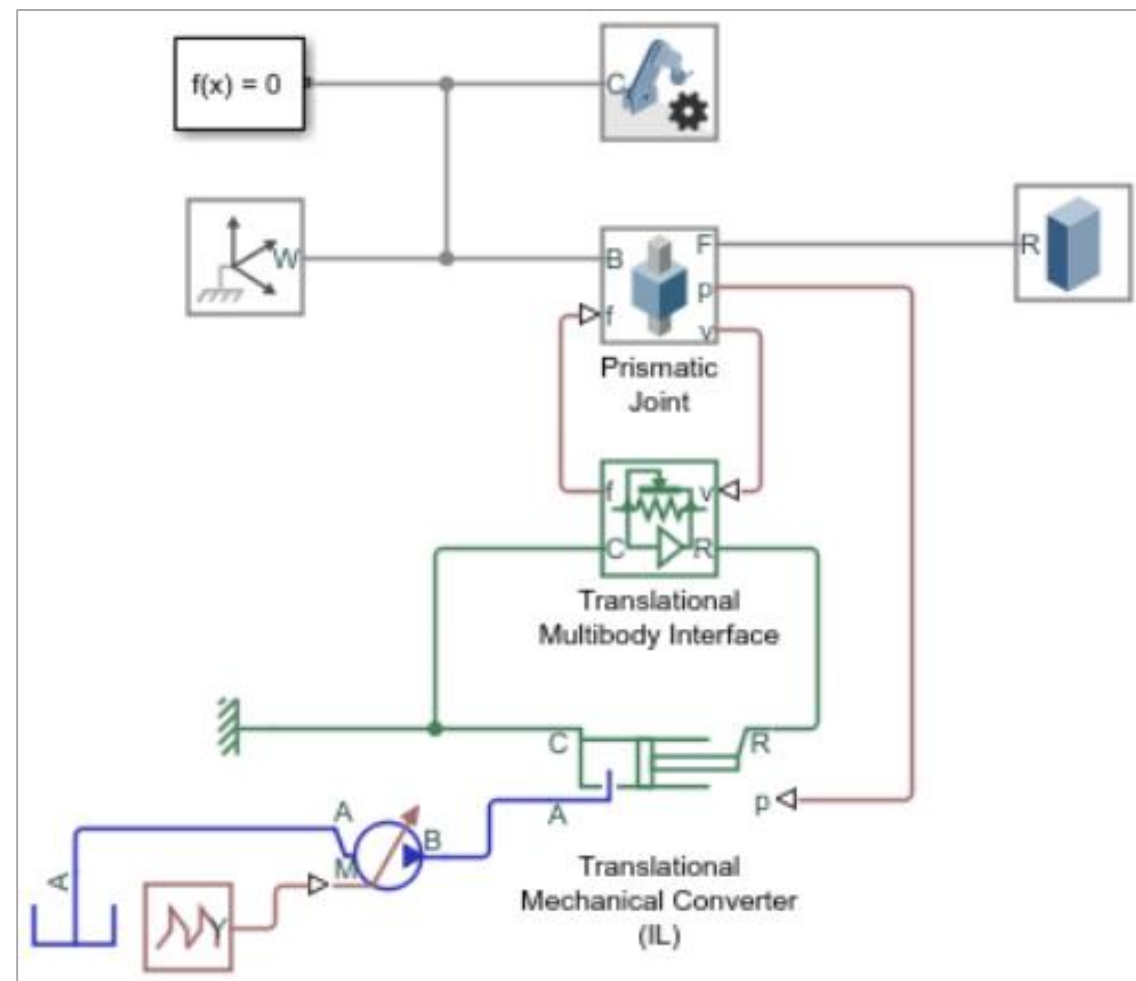
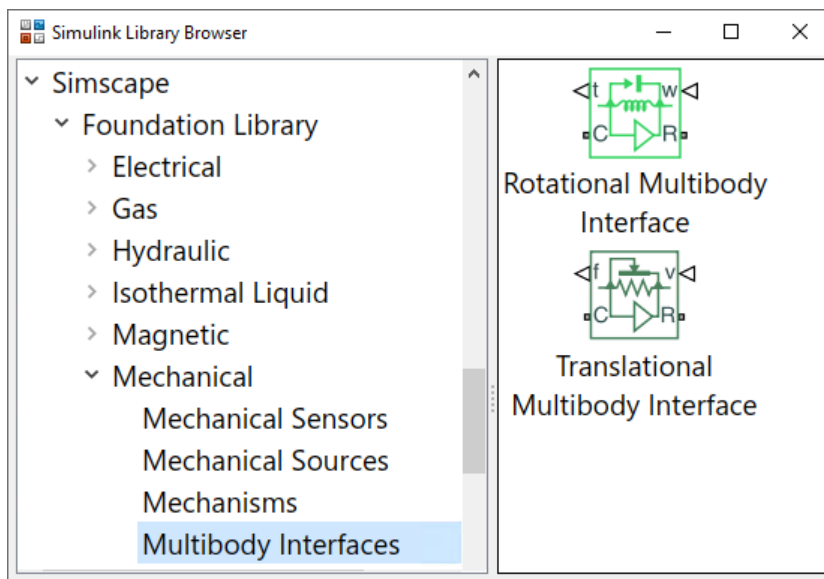
Simscape Multibody: Aktivace spojení

- Změna režimu kloubu z rozpojeného na normální v průběhu simulace



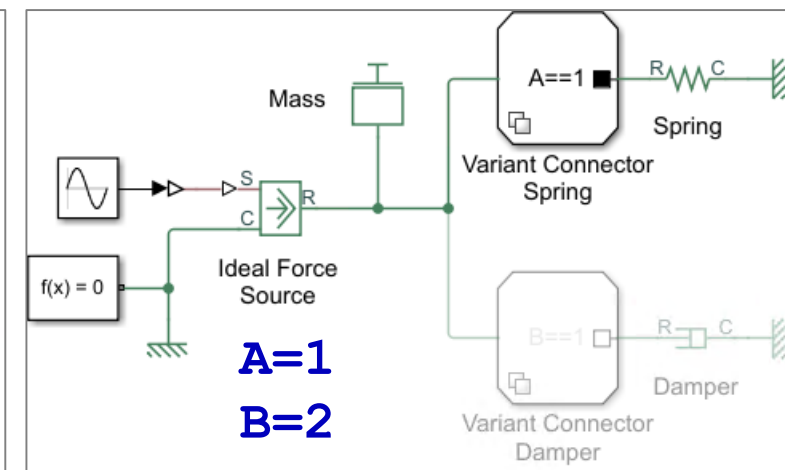
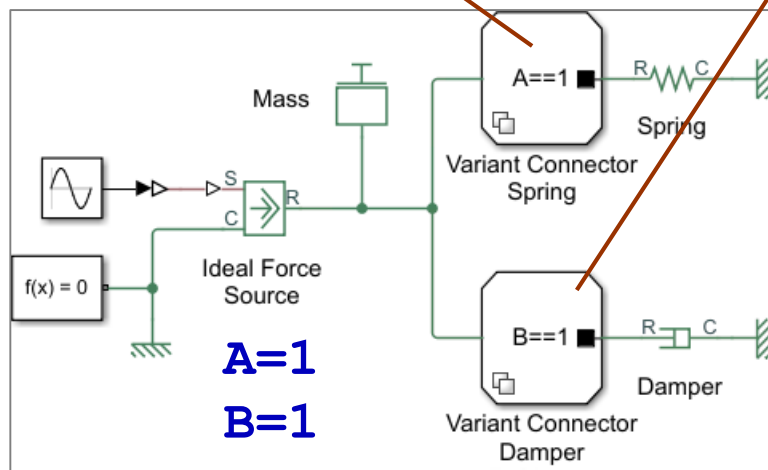
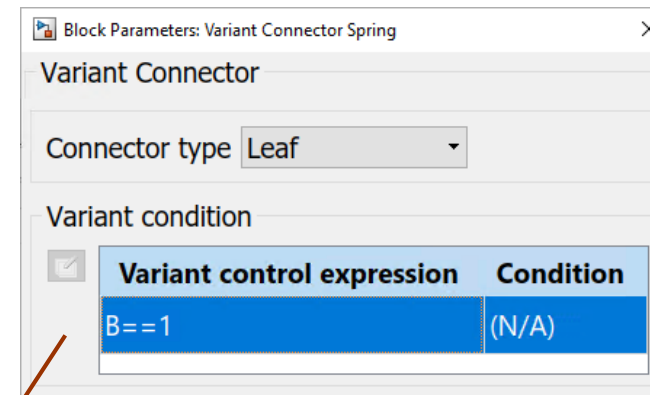
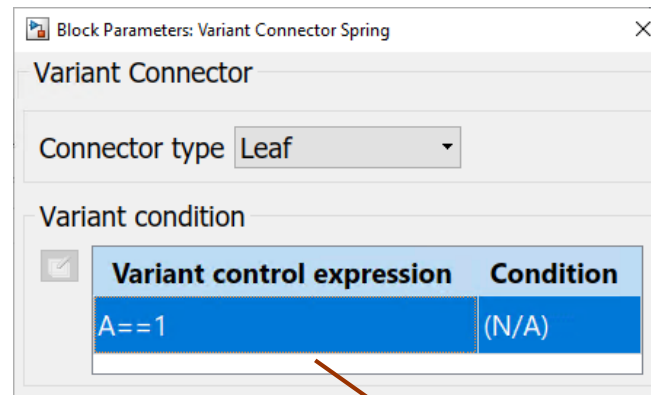
Simscape – Simscape Multibody Interface

- Bloky k propojení multibody modelu (3D mechanika) s 1D mechanikou
 - rotační a translační bloky
 - zapojeny paralelně s bloky joint
 - vhodná zapojení popsána v dokumentaci



Simscape: Variant Connector

- Povolení / Zakázání větví fyzikální sítě
 - Leaf: zbytek sítě
 - Bounded Region: část obklopená bloky Variant Connector



Variant Conditions Legend: untitled

Show generated code conditions

Annotation	Simulation	Workspace
v:0	A == 1	Global
v:1	B == 1	Global

Simscape: Variant Connector

- Povolení / Zakázání větví fyzikální sítě
 - Leaf: zbytek sítě
 - Bounded Region: část obklopená bloky Variant Connector

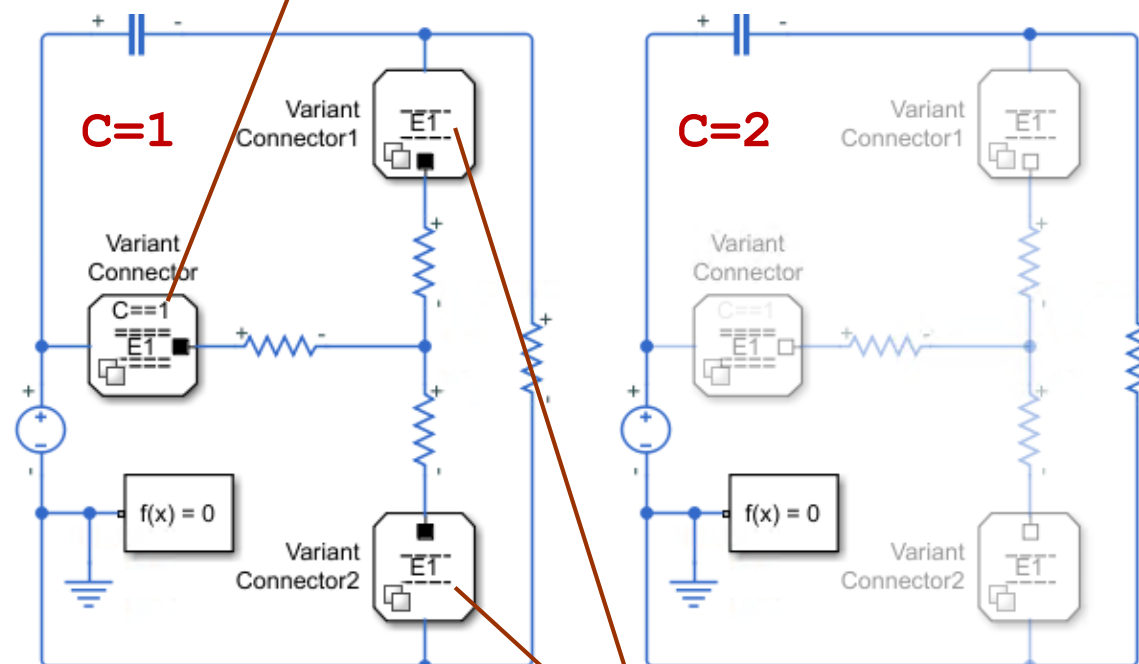
Block Parameters: Variant Connector

Variant Connector

Connector type **Primary** Connector tag **E1**

Variant condition

Variant control expression	Condition
$C == 1$	(N/A)



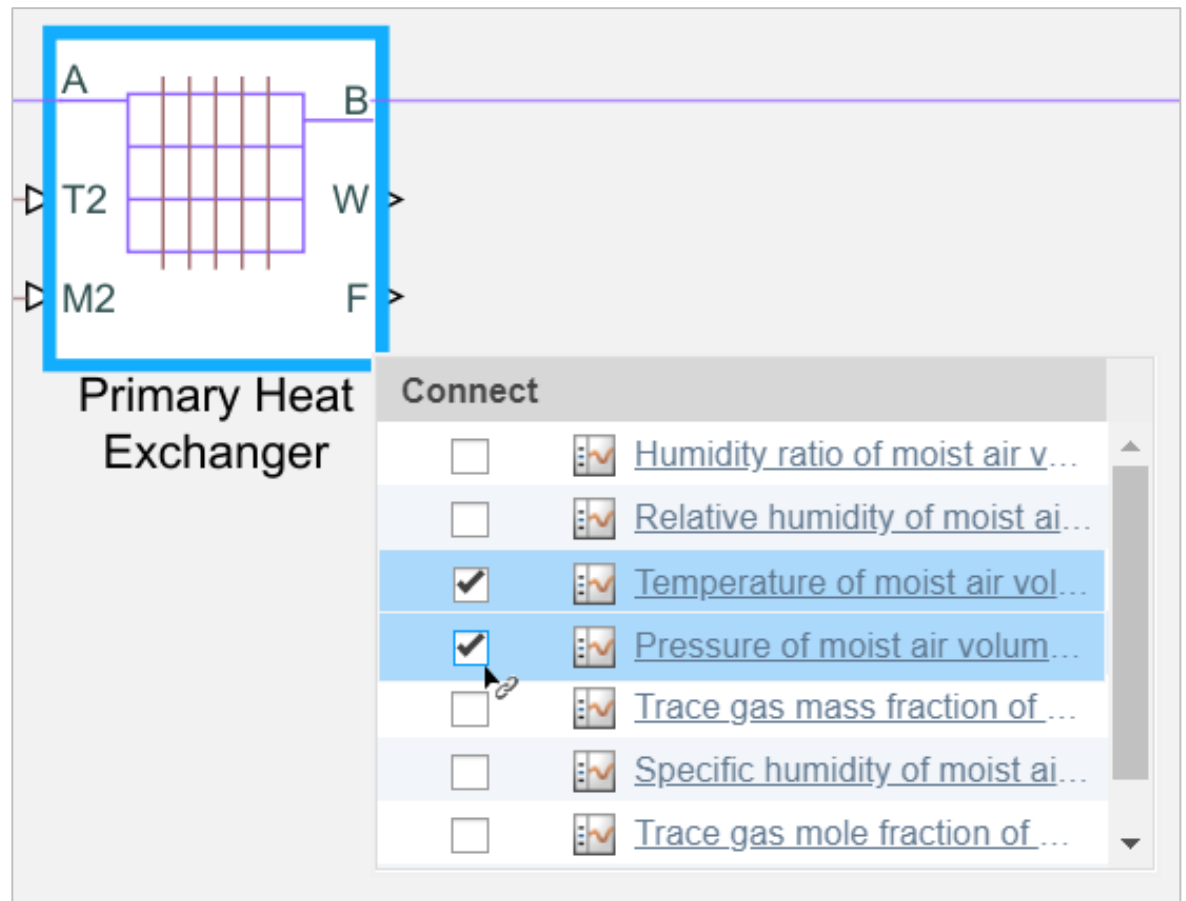
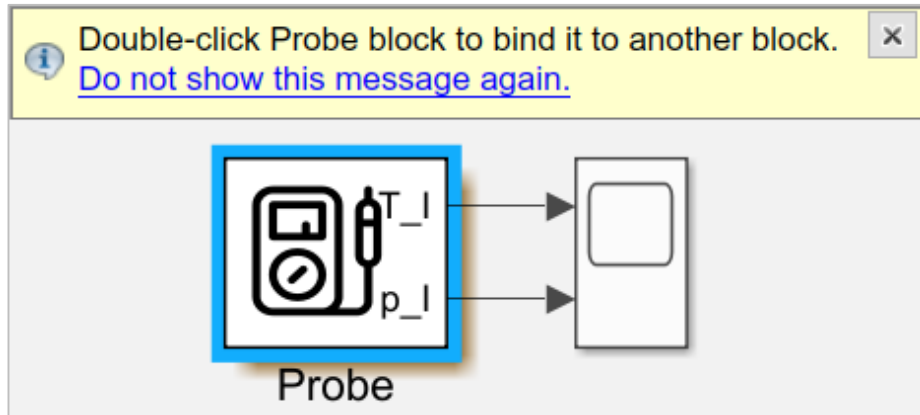
Block Parameters: Variant Connector1

Variant Connector

Connector type **Nonprimary** Connector tag **E1**

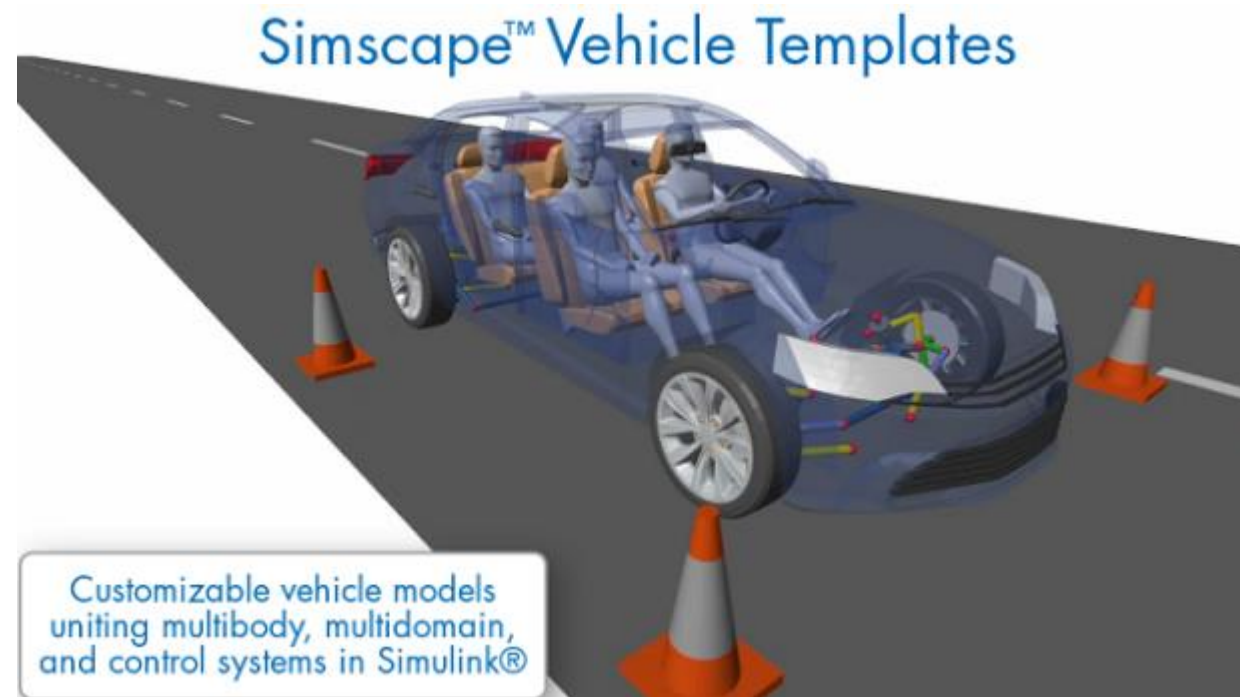
Simscape: Blok Probe

- Měření proměnných zvoleného bloku v podobě Simulinkových signálů
 - přístup k vnitřním proměnným bloků
 - alternativa k blokům senzorů
 - nemění topologii modelu
- Co je možné vybrat k měření
 - bloky na stejné úrovni jako Probe
 - libovolný počet signálů z jednoho bloku
 - veličiny ze záložky Variables



Simscape Vehicle Templates

- Dostupné na File Exchange
- Připravené modely pro
 - osobní automobil
 - autobus
 - tahač s návěsem
- Uživatelsky přizpůsobitelné



- <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/79484>

Děkuji za pozornost