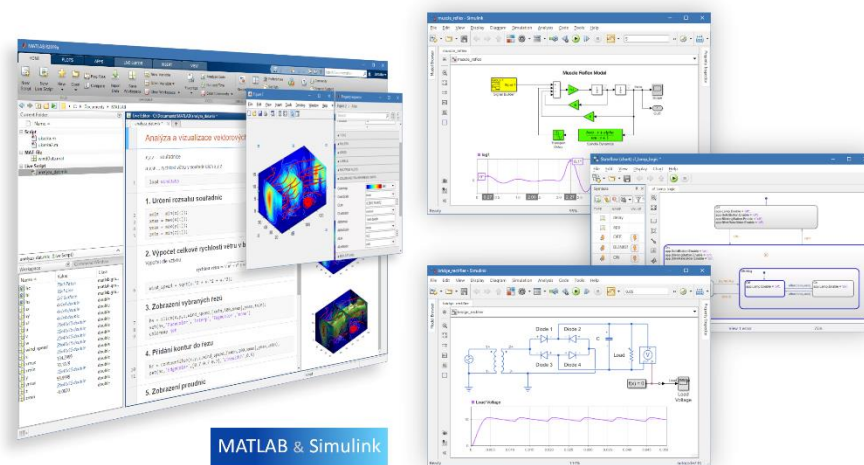


12.5.2022

TCP 2022

Virtuální vozidlo ve vývoji automobilových systémů a elektromobility



Jaroslav Jirkovský
jirkovsky@humusoft.cz

www.humusoft.cz
info@humusoft.cz

www.mathworks.com

MATLAB a Simulink

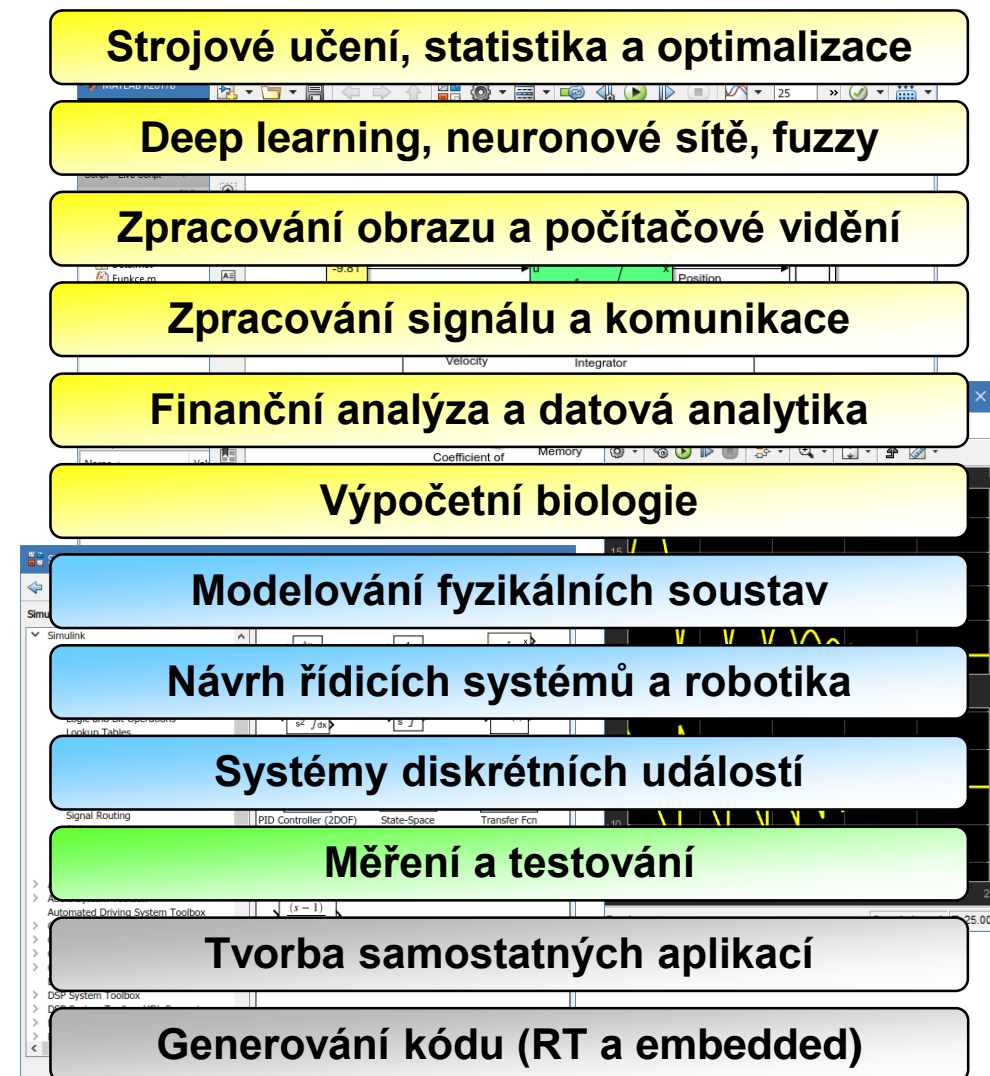
- MATLAB

- inženýrský nástroj a interaktivní prostředí pro vědecké a technické výpočty
- grafické a výpočetní nástroje
- grafické aplikace (GUI, APPS)
- otevřený systém

- Simulink

- nadstavba MATLABu
- modelování, simulace a analýza dynamických systémů
- prostředí blokových schémat
- platforma pro Model Based Design

- Aplikační knihovny



Co je virtuální vozidlo?

- Funkční simulace chování celého vozidla



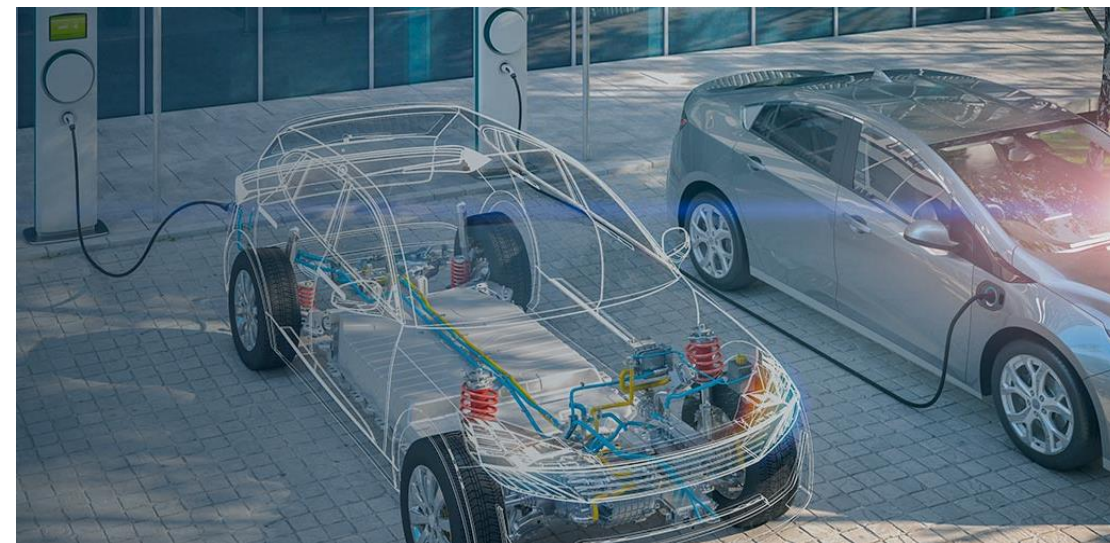
[Tesla: využití metody Model-Based Design](#)



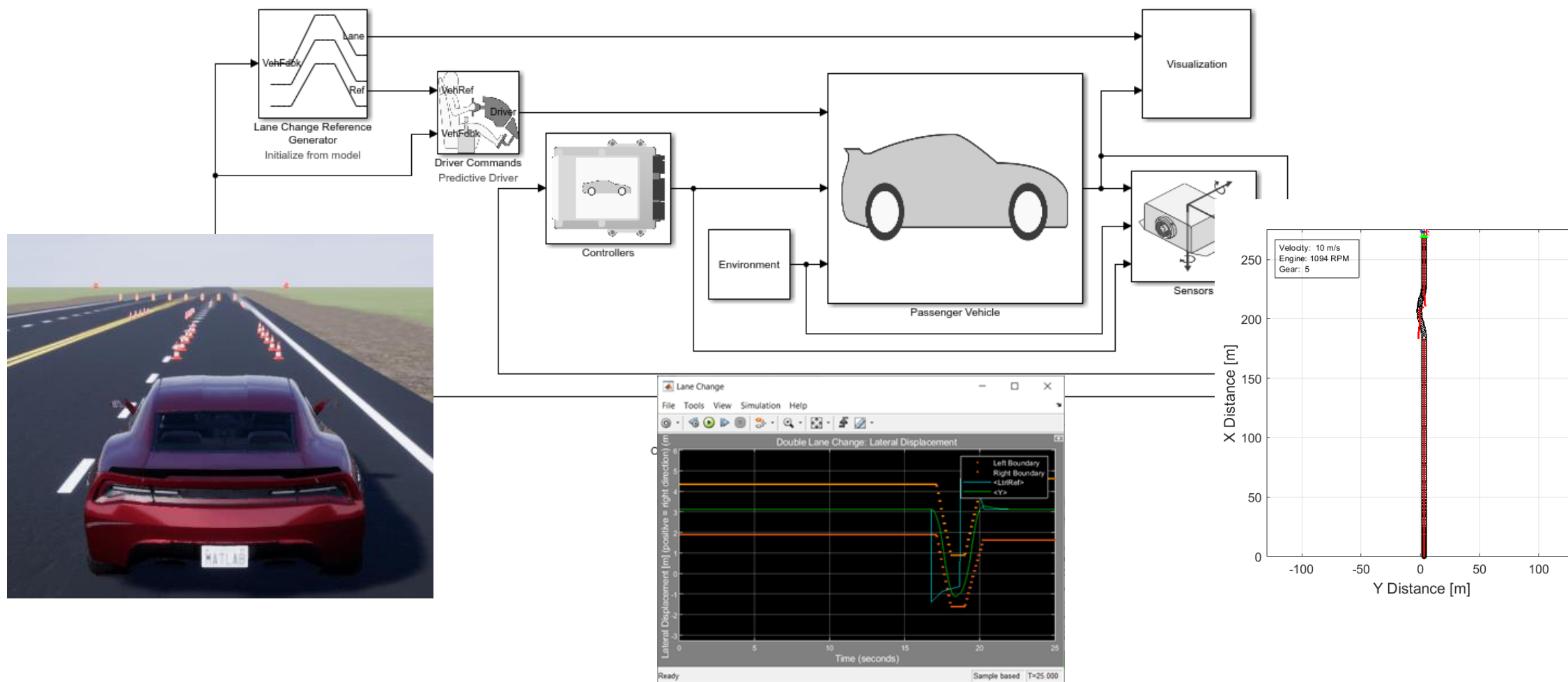
[Ricardo: simulace pohodlí cestujících](#)

K čemu se virtuální vozidlo využívá?

- Společnosti prohlubují využití virtualizace při vývoji systémů
 - vývoj založen na simulacích na systémové úrovni
 - použití fyzických prototypů pro potvrzení a konečnou validaci
 - zaměření na pohonné ústrojí, dynamiku vozidla a ADAS / AD
- Obvyklé otázky
 - integrace modelů fyzických komponent a software
 - přístup k modelům na „správné“ úrovni detailu napříč organizací
 - využití modelů uživateli, kteří nejsou specialisté na simulace



Ukázka: Stabilita při vybočení na různém povrchu vozovky



Úkoly při tvorbě a využití virtuálního vozidla

modelování
vozidla

integrace
software

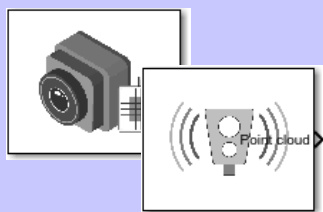
tvorba
scénářů

simulace a
analýza

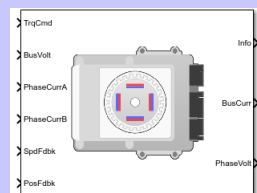
nasazení
modelů

virtuální vozidlo

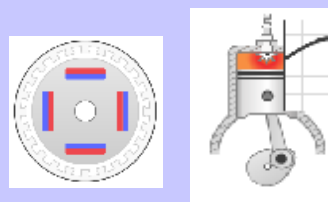
snímače



řídící systémy



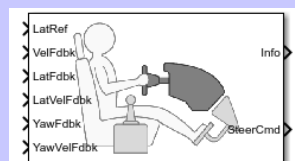
pohon



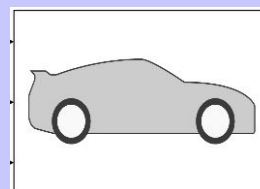
prostředí



řidič



vozidlo



Využití virtuálního vozidla pro testování integrace systémů v časných etapách vývoje může ušetřit **čas / náklady**

Co je třeba řešit?

Úkoly při tvorbě a využití virtuálního vozidla

modelování vozidla

integrace software

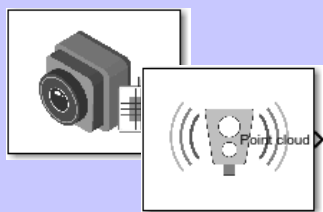
tvorba scénářů

simulace a analýza

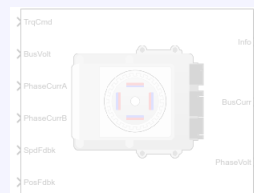
nasazení modelů

virtuální vozidlo

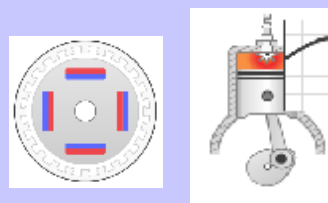
snímače



řídící systémy



pohon



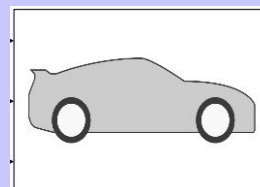
prostředí



řidič



vozidlo



- dostupnost modelu vozidla na systémové úrovni
- přístup k modelům komponent a senzorů na „správné“ úrovni detailů
- nastavení parametrů / kalibrace modelů

Úkoly při tvorbě a využití virtuálního vozidla

modelování vozidla

integrace software

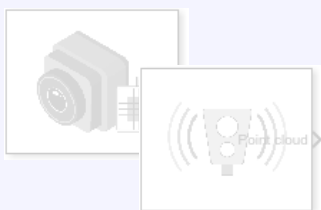
tvorba scénářů

simulace a analýza

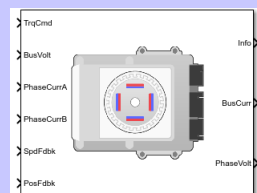
nasazení modelů

virtuální vozidlo

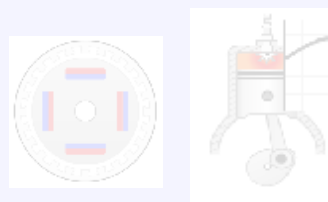
snímače



řídící systémy



pohon



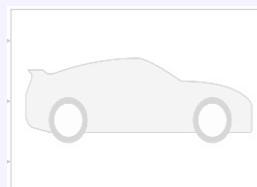
prostředí



řidič



vozidlo



- standardizace rozhraní a správy dat
- přístup k softwarovým komponentám různými týmy
- sestavení softwarových komponent z různých zdrojů

Úkoly při tvorbě a využití virtuálního vozidla

modelování vozidla

integrace software

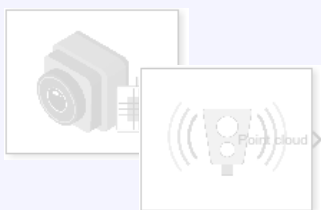
tvorba scénářů

simulace a analýza

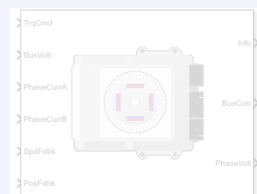
nasazení modelů

virtuální vozidlo

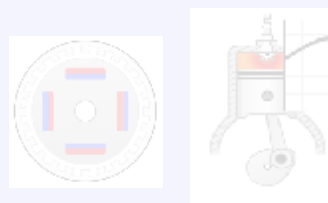
snímače



řídící systémy



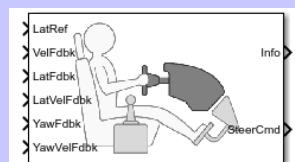
pohon



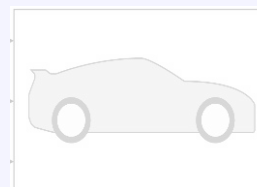
prostředí



řidič



vozidlo



- vytvoření virtuálního 3D prostředí
- definování scénářů pro testování
- provázání testovacích případů s požadavky

Úkoly při tvorbě a využití virtuálního vozidla

modelování vozidla

integrace software

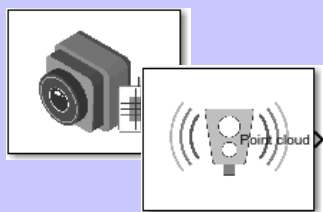
tvorba scénářů

simulace a analýza

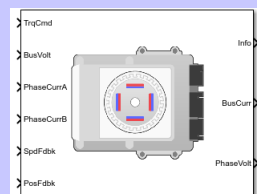
nasazení modelů

virtuální vozidlo

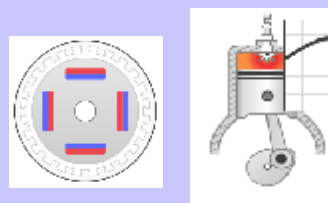
snímače



řídící systémy



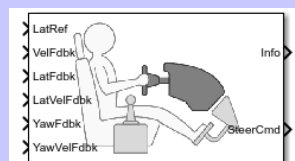
pohon



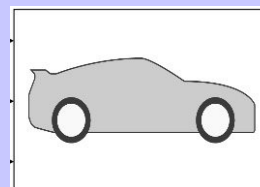
prostředí



řidič



vozidlo



- zpracování a vizualizace výsledků
- automatická tvorba reportů
- spouštění velkého množství simulací

Úkoly při tvorbě a využití virtuálního vozidla

modelování vozidla

integrace software

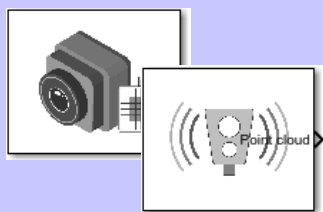
tvorba scénářů

simulace a analýza

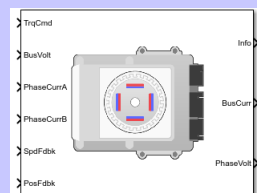
nasazení modelů

virtuální vozidlo

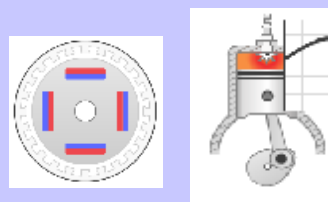
snímače



řídící systémy



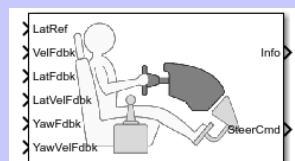
pohon



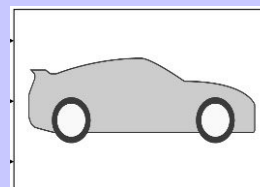
prostředí



řidič

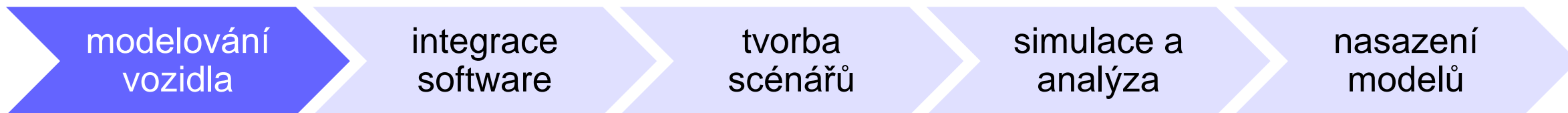


vozidlo



- sdílení modelů napříč organizací
- využití modelů uživateli, kteří nejsou odborníky na modelování a simulace
- nasazení modelů pro SIL, HIL, apod.

Tvorba virtuálního vozidla v prostředí MATLAB a Simulink

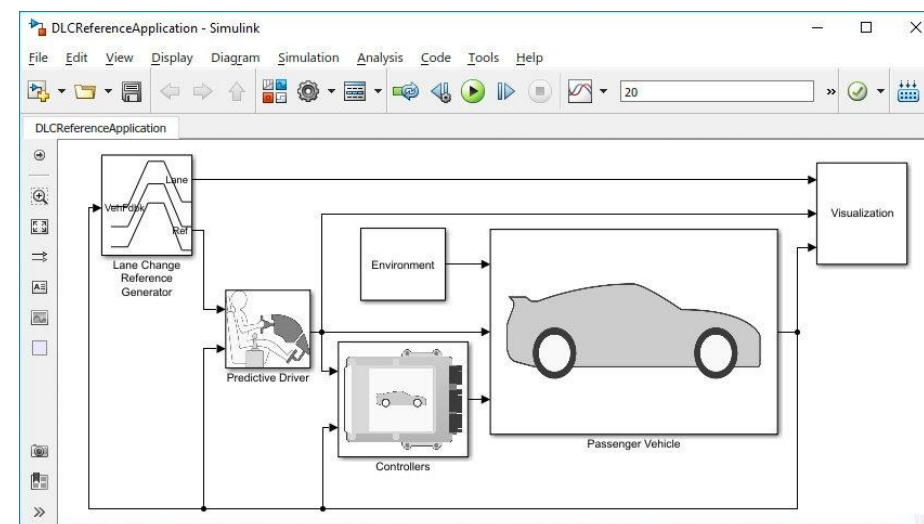


- Referenční aplikace

- začněte s tvorbou virtuálního vozidla na základě referenčních aplikací
- k dispozici jsou podrobné modely na úrovni systémů vozidla pro pohonnou soustavu, dynamiku vozidla, ADAS a další aplikace

- Uživatelská úprava modelů

- přidání dalších podrobností, kde je třeba
- Simulink, Simscape, FMU, ...



Tvorba virtuálního vozidla v prostředí MATLAB a Simulink

modelování vozidla

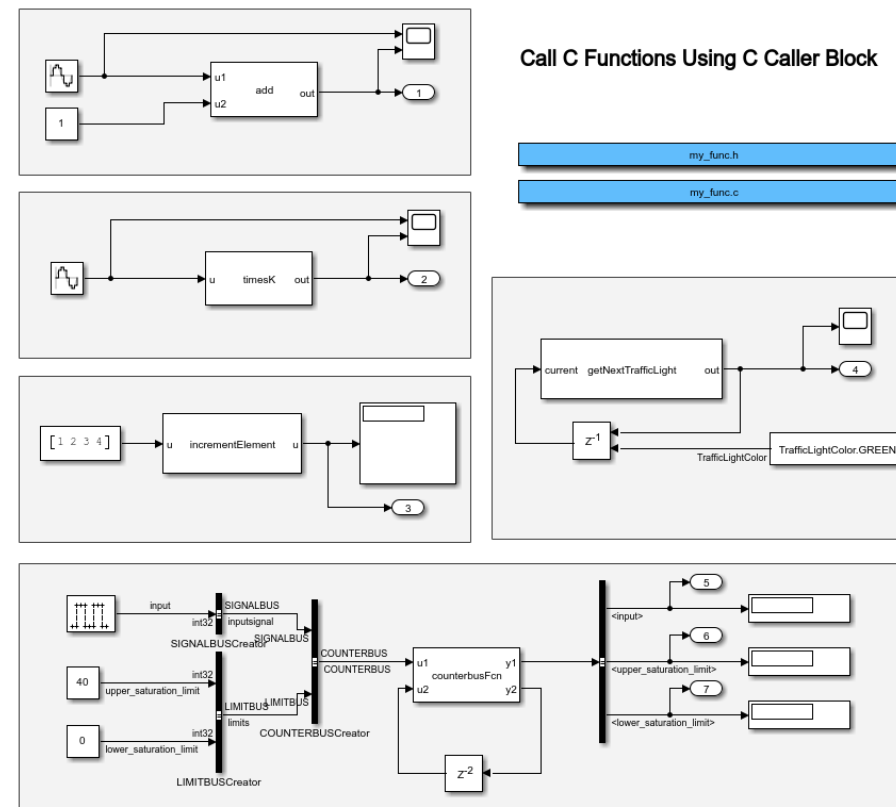
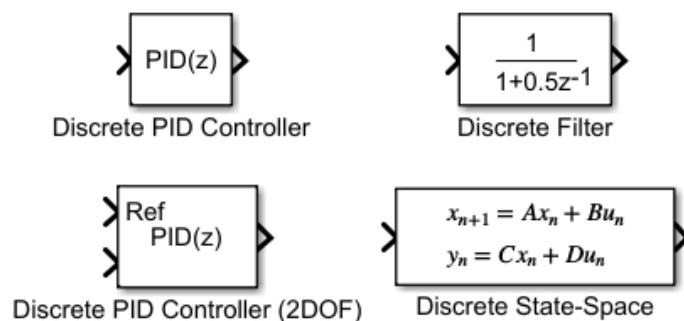
integrace software

tvorba scénářů

simulace a analýza

nasazení modelů

- Integrace s algoritmy pro řídicí systémy
 - z bloků Simulinku
 - jako s-funkce, FMU
- Integrace s kódem v jazyce C/C++



Tvorba virtuálního vozidla v prostředí MATLAB a Simulink

modelování
vozidla

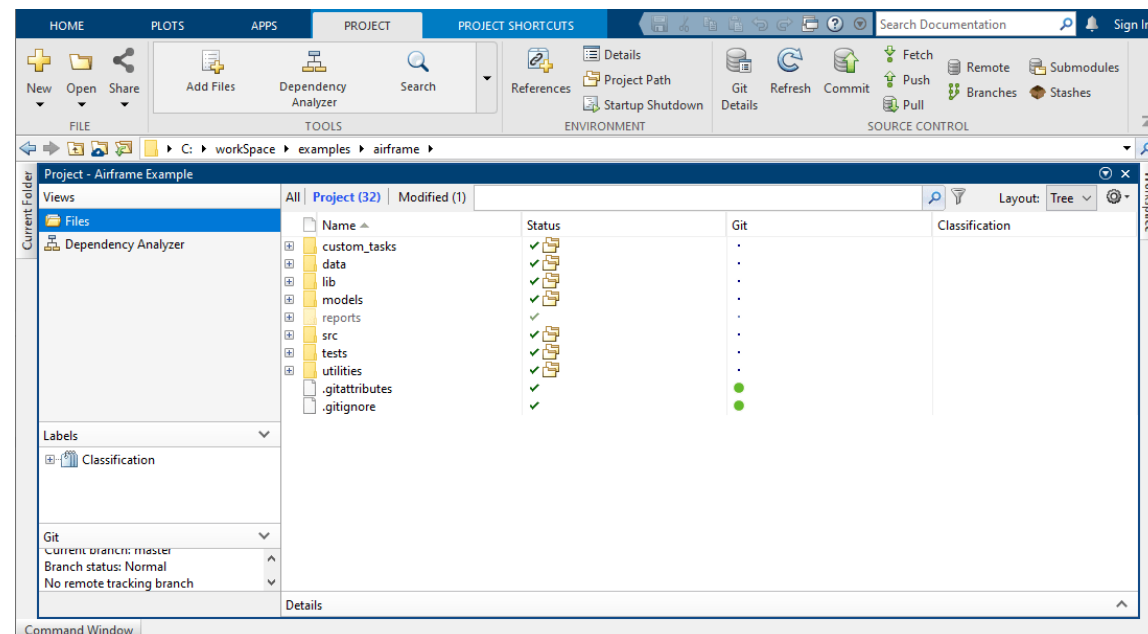
integrace
software

tvorba
scénářů

simulace a
analýza

nasazení
modelů

- Správa projektů
- MATLAB jako platforma pro:
 - spolupráci napříč týmy
 - sdílení souborů souvisejících projektů
 - správu verzí



Tvorba virtuálního vozidla v prostředí MATLAB a Simulink

modelování
vozidla

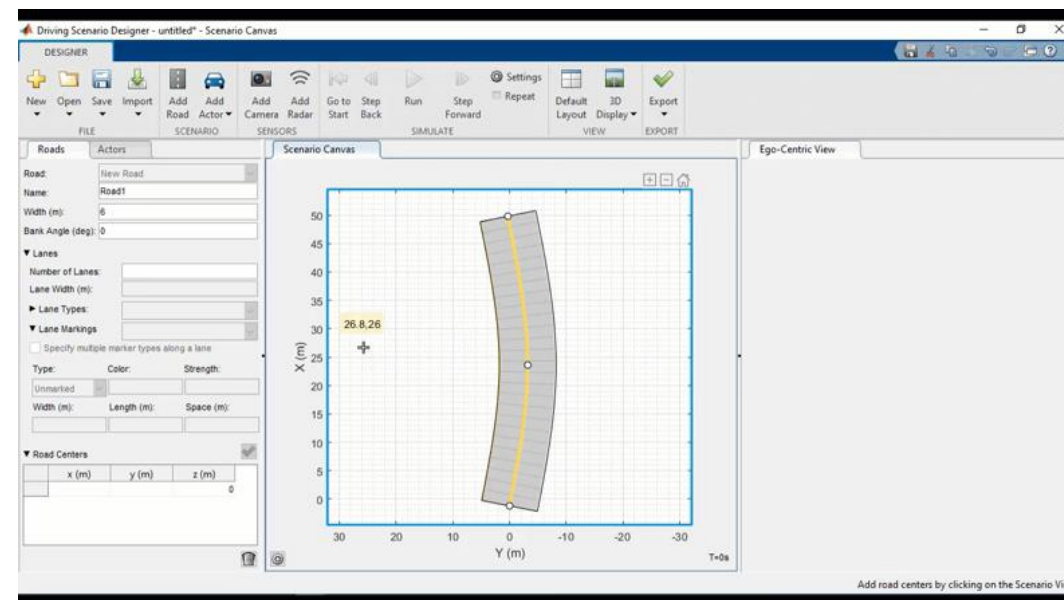
integrace
software

tvorba
scénářů

simulace a
analýza

nasazení
modelů

- Vytváření scénářů v grafickém prostředí
- Driving Scenario Designer
 - tvorba vozovky a značení
 - aktéři a trajektorie pohybu
 - rozměr aktérů a radarový průřez (RCS)
 - připravené scénáře
 - import z OpenDrive a HERE HD Live Map
 - export kódu pro MATLAB
 - export modelu pro Simulink



Tvorba virtuálního vozidla v prostředí MATLAB a Simulink

modelování
vozidla

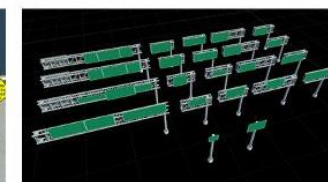
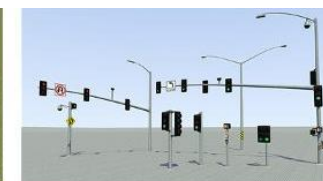
integrace
software

tvorba
scénářů

simulace a
analýza

nasazení
modelů

- Tvorba realistických scén
- RoadRunner
 - tvorba 3D scén pro simulaci AD
 - přizpůsobení značení regionálním pořadavkům
 - nastavení světelné signalizace
 - import z OpenDrive
 - export do OpenDrive, FBX, ...
 - využití v prostředích Unreal, Unity, CARLA, ...



Tvorba virtuálního vozidla v prostředí MATLAB a Simulink

modelování vozidla

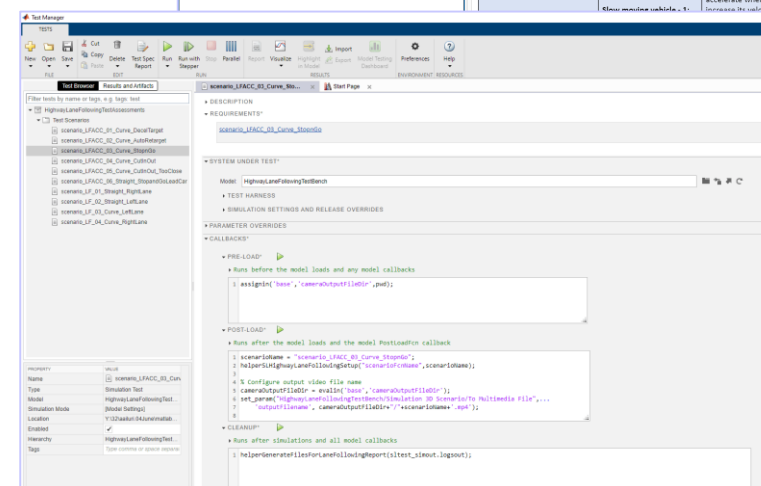
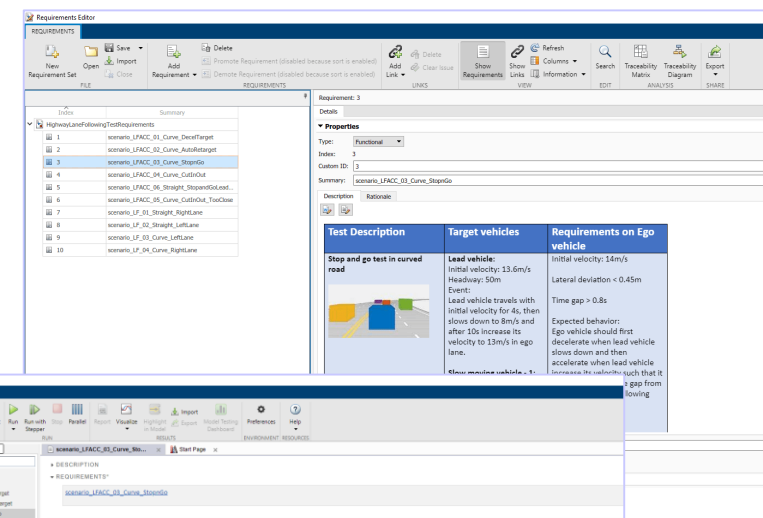
integrace software

tvorba scénářů

simulace a analýza

nasazení modelů

- Definice požadavků
- Nástroje pro V&V
 - zadání testovacích sekvencí pro spuštění simulací
 - definice požadavků pro tyto testy
 - definice šablon pro vlastní reporty



Tvorba virtuálního vozidla v prostředí MATLAB a Simulink

modelování vozidla

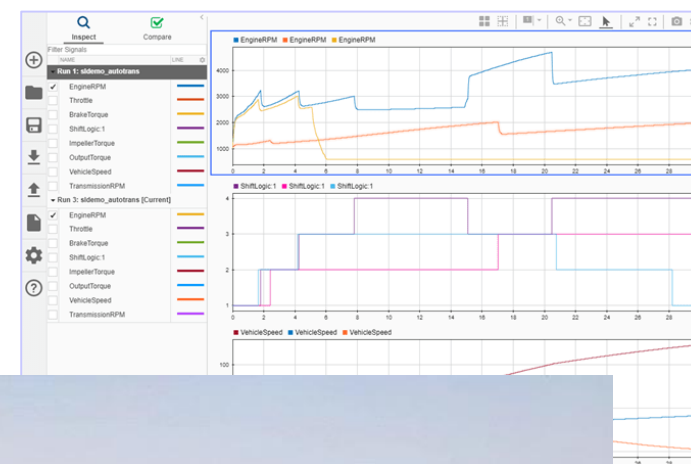
integrace software

tvorba scénářů

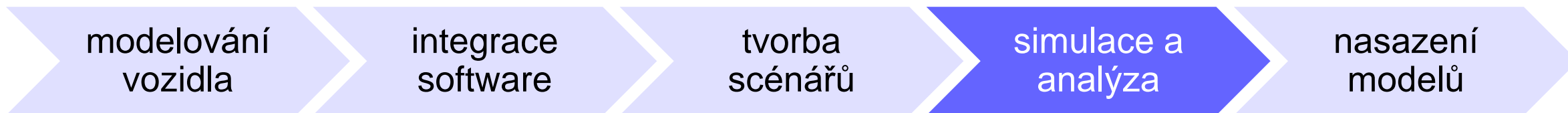
simulace a analýza

nasazení modelů

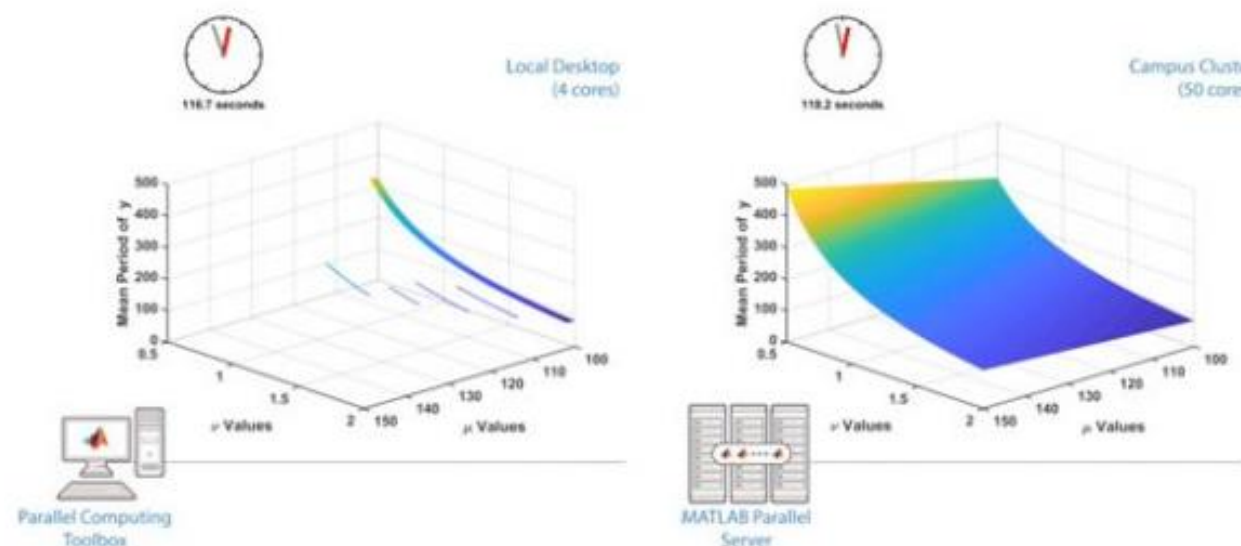
- Analýza výsledků simulací
 - Simulation Data Inspector pro interaktivní prohlížení simulačních dat
 - vizualizační prostředky MATLABu
- Live Script
 - uživatelsky přívětivé prostředí pro analýzu dat
- Automatická tvorba reportů
 - MATLAB/Simulink Report Generator



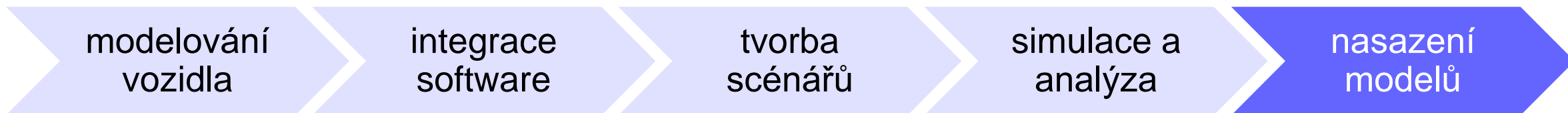
Tvorba virtuálního vozidla v prostředí MATLAB a Simulink



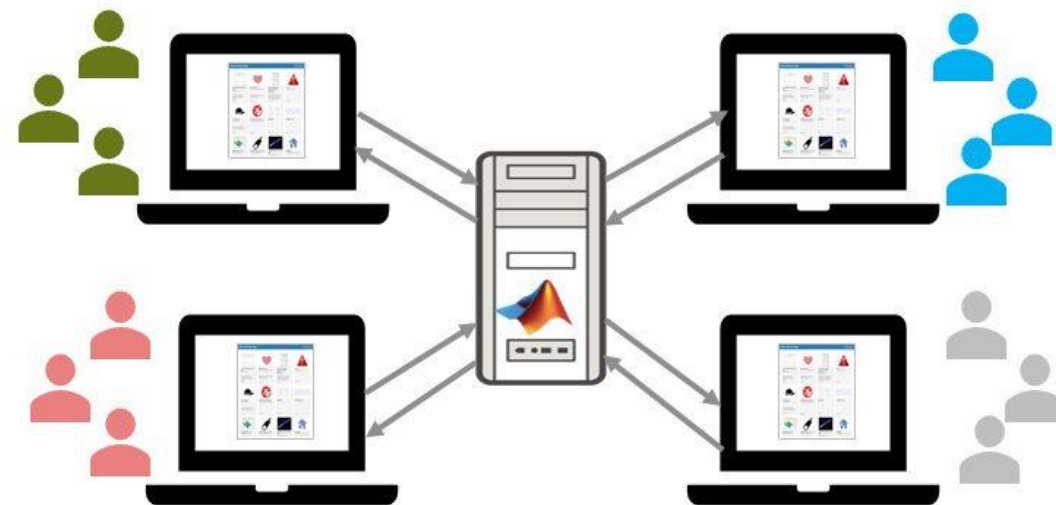
- Škálování výpočetního výkonu = spouštění simulací v rámci:
 - lokální více-jádrové stanice
 - GPU
 - výpočetního clusteru
 - cloudu
- Není třeba měnit modely či kód



Tvorba virtuálního vozidla v prostředí MATLAB a Simulink

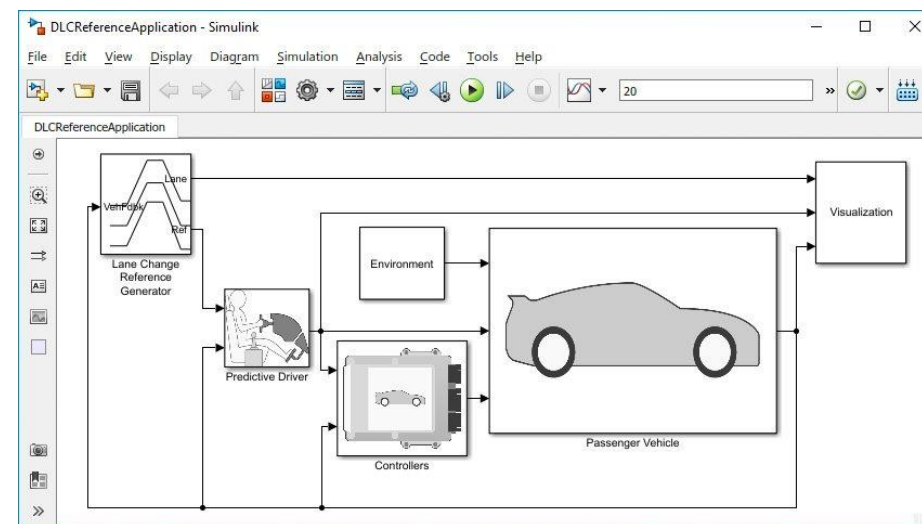


- Nasazení modelů do různých prostředí
 - vytvoření vlastního grafického rozhraní
 - nastavení instalátoru pro distribuci
 - nasazení modelů jako samostatně spustitelných aplikací, FMU nebo webových aplikací
- Generování kódu
 - SIL testování
 - HIL simulace v reálném čase



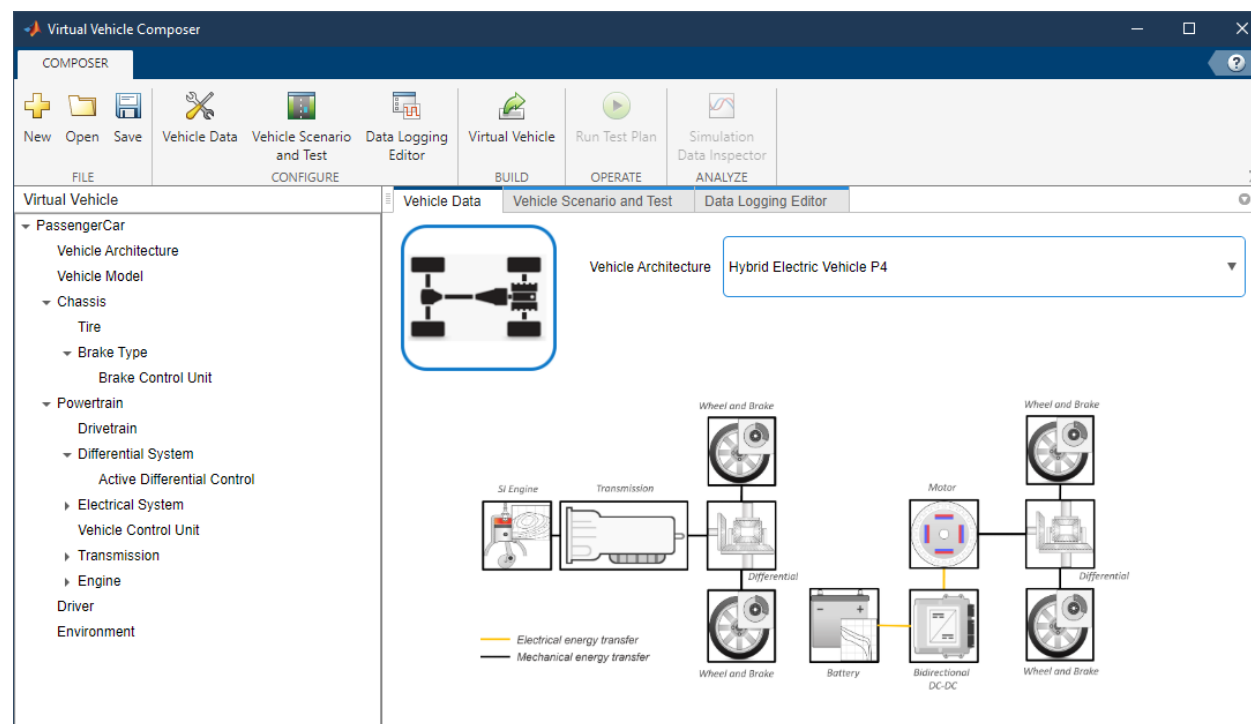
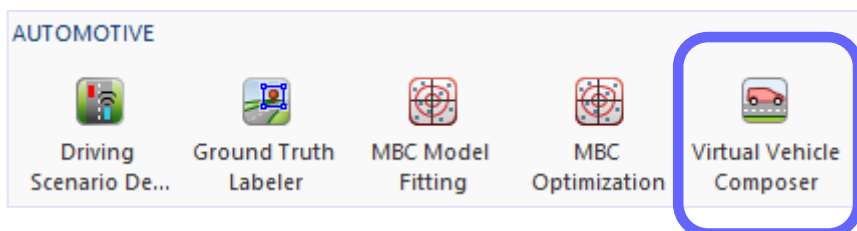
Modelování pohonné jednotky a dynamiky vozidla

- Knihovny připravených komponent
 - Powertrain Blockset
 - Vehicle Dynamics Blockset
- Referenční aplikace
 - zkompletované modely vozidel pro typické úlohy
 - včetně testovacích vstupů a vizualizace
- Modely komponent i referenční aplikace jsou otevřené
 - lze se „proklikat“ až na úroveň elementárních bloků
- Uživatelsky upravitelné



Virtual Vehicle Composer app

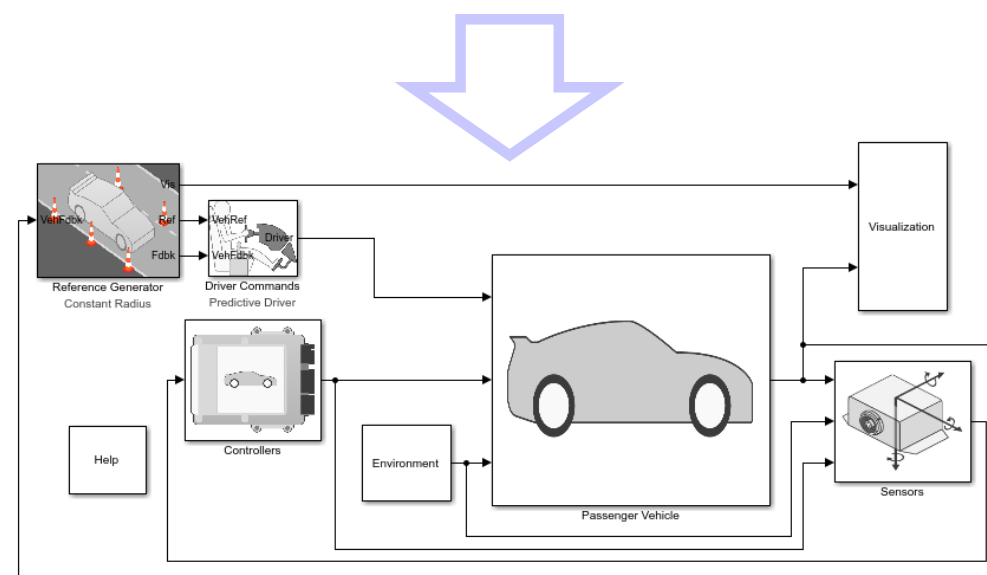
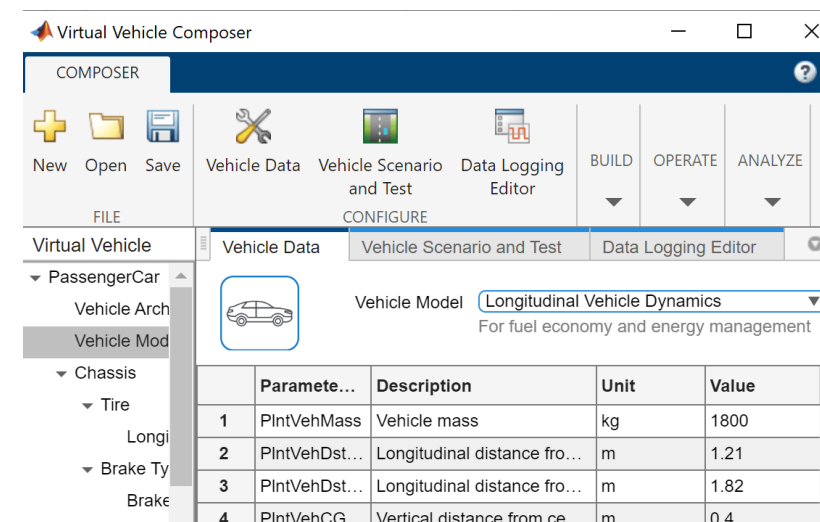
- Jednotné rozhraní pro rychlou konfiguraci modelu virtuálního vozidla, výběr testovacích průběhů a prohlížení výsledků
- Zahrnuje modely pohonu, dynamiky vozidla a řídicí systémy



Ukázka: Virtual Vehicle Composer

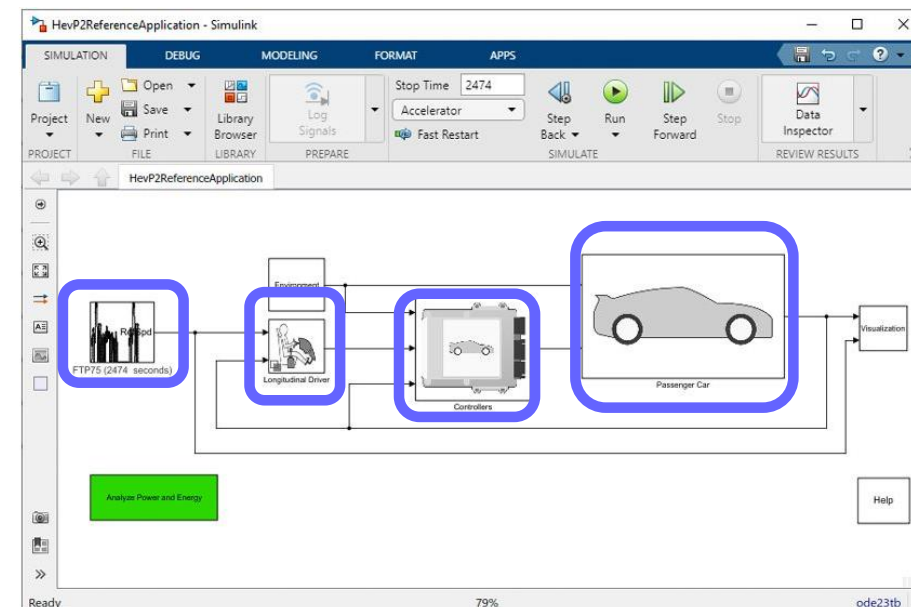
- Postup práce

1. založení nové úlohy
2. výběr pohonu
3. nastavení parametrů
4. výběr scénáře pro simulaci
5. výběr signálů pro logování
6. generování modelu
7. spuštění testů
8. zobrazení výsledků



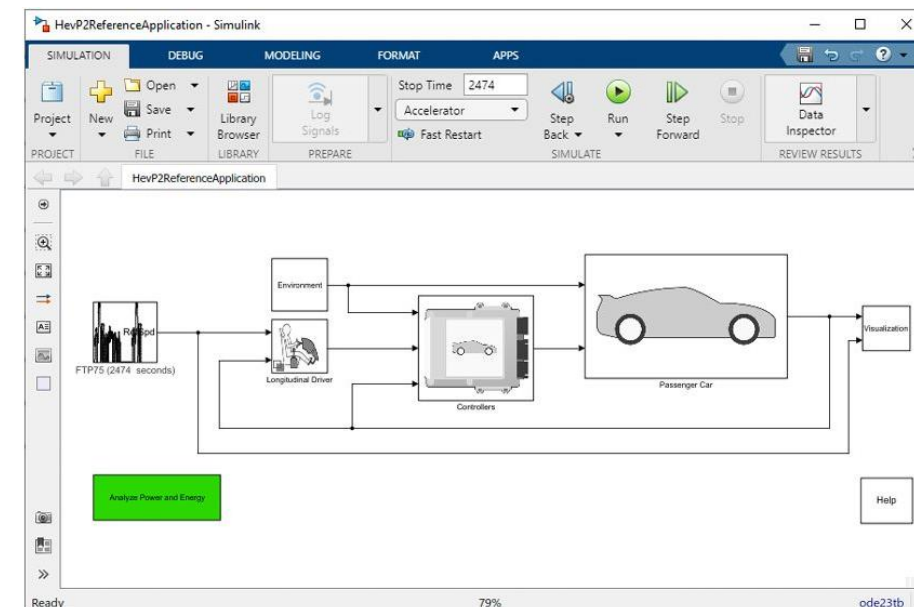
Powertrain Blockset

- Referenční aplikace
 - plně sestavené modely
 - spalovací, hybridní a elektrické pohony
 - výchozí bod pro uživatelské modely
- Konfigurace ve formě projektu (Simulink Project)
 - umožňuje správu souborů a verzí
- Každá referenční aplikace zahrnuje
 - model vozidla a pohonu
 - řídicí systémy
 - model řidiče (ovládání vozidla)
 - data pro jízdní cyklus



Powertrain Blockset

- Přizpůsobení modelu
 - referenční aplikace slouží jako výchozí bod
- Úprava parametrů modelu
 - data ze specializovaných nástrojů
 - data z testovací stolice
 - data z vozidla
- Úprava komponent v modelu / výběr variant
 - pohonný systém, převodovka, hnací ústrojí, uložení energie, podélná dynamika vozidla
 - údaje pro jízdní cyklus
- Všechny modely a komponenty jsou otevřené a uživatelsky upravitelné



Powertrain Blockset

- Modely spalovacího pohonu

- tři typy

- Mapped engine

- vnější chování pohonu, sada lookup tabulek

- veličiny pohonu jako funkce zatížení a otáček

- Dynamic engine

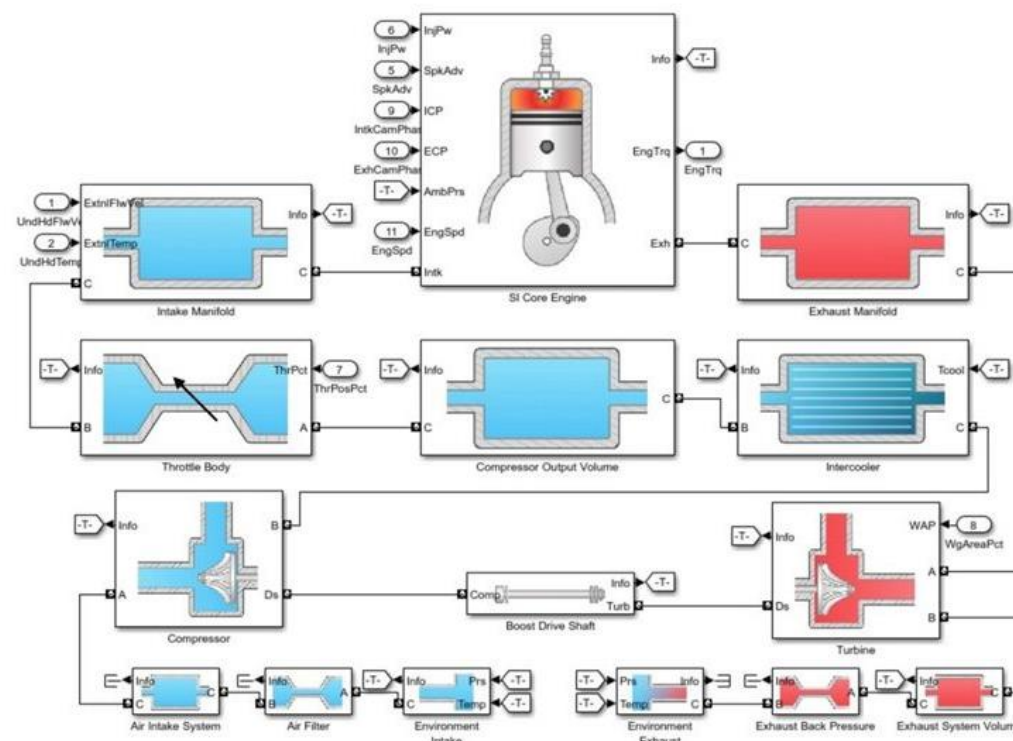
- rozdělení chování pohonu na komponenty

- modely jednotlivých prvků odpovědných za dynamiku pohonu

- Simple engine (velmi zjednodušený, pouze základní parametry)

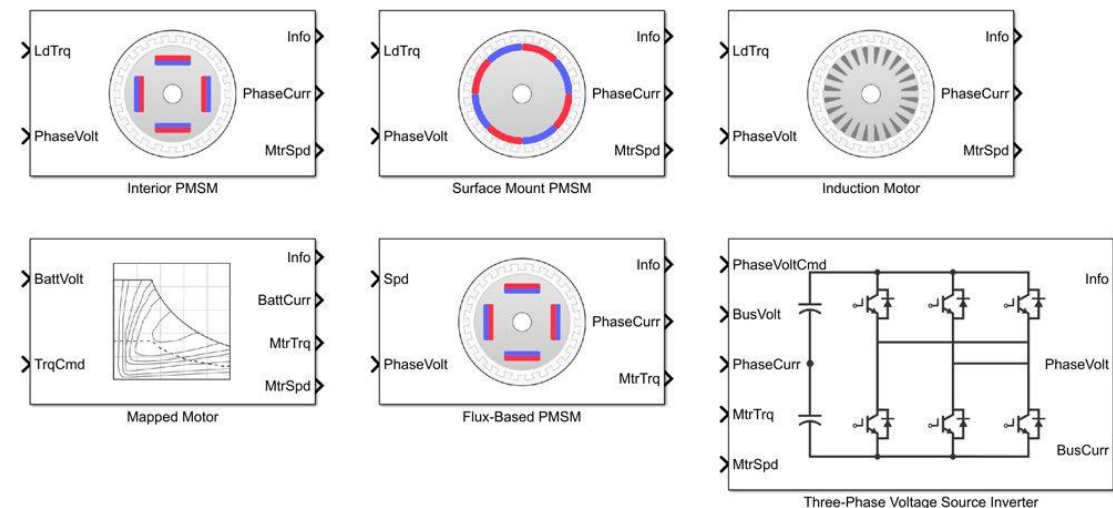
- Výběr varianty

- dle toho, zda je pro danou aplikaci nutné znát dynamiku jednotlivých komponent



Powertrain Blockset

- Modely elektrického pohonu
- Referenční aplikace pro vozidla
 - s elektrickým pohonem
 - s hybridním pohonem (různé typy)
- + Simscape Electrical
 - detailní modelování elektrických komponent



Powertrain Blockset

- Dodávané modely řídicích systémů

- jednoduché modely

- řízení spalovacího motoru, převodovky, elektropohonu

- 1. účel

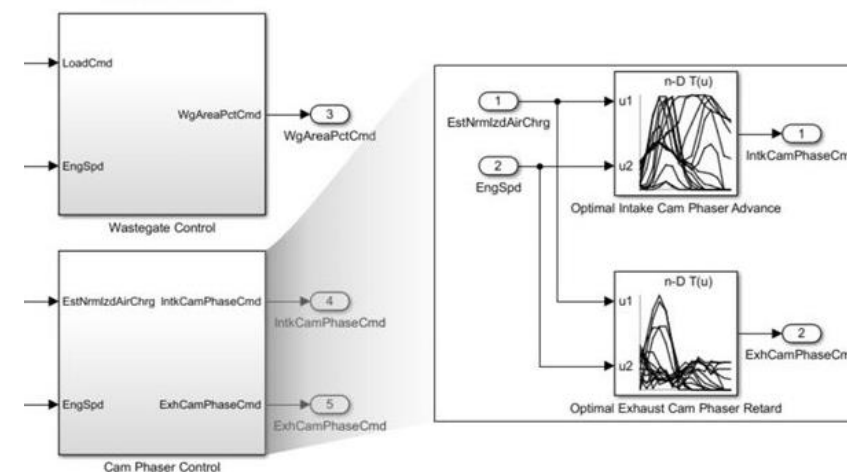
- kompletují model pohonného systému

- umožní testování interakce uživatelské komponenty s okolními systémy

- 2. účel

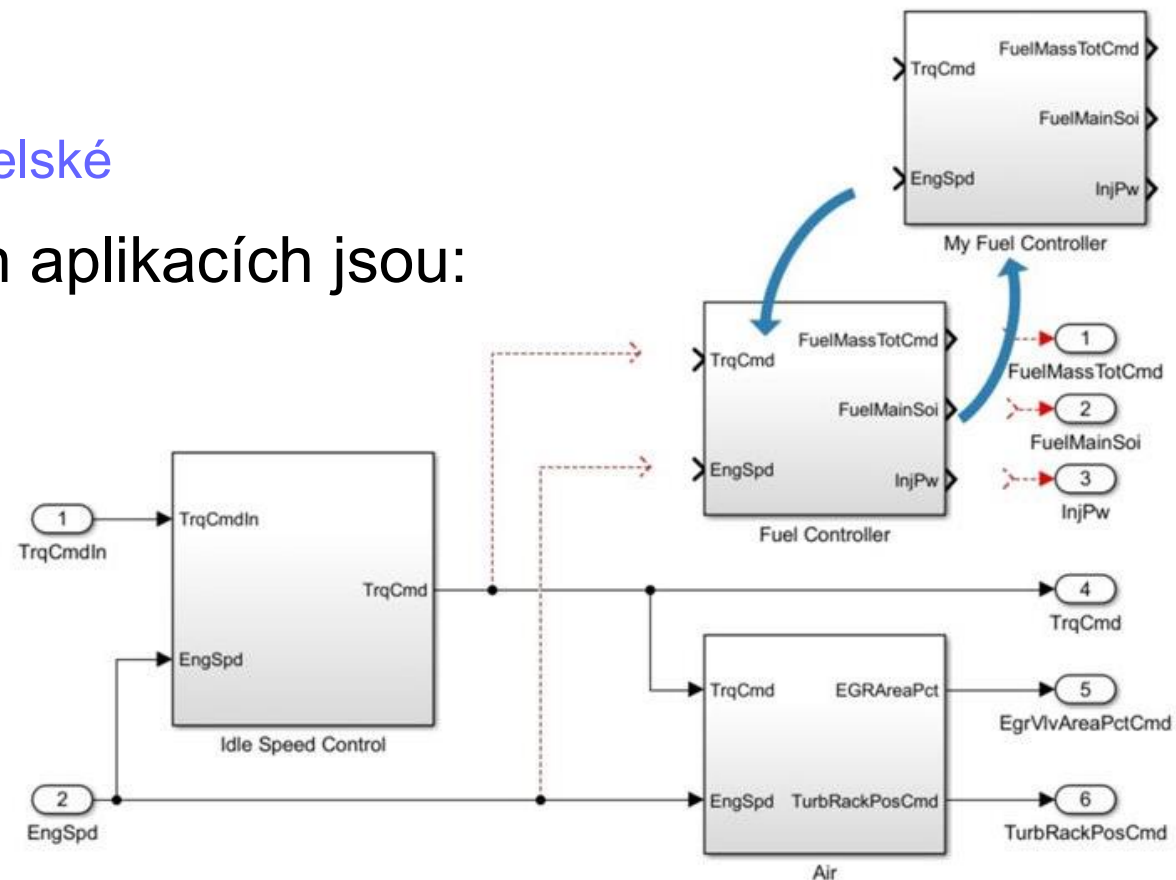
- výchozí bod pro vývoj vlastního řídicího systému

- „nemusí ze začínat od nuly“



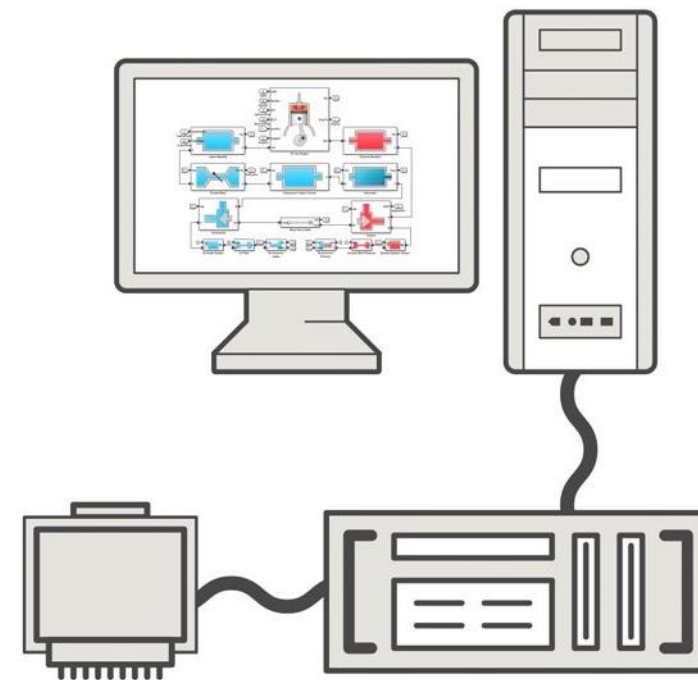
Powertrain Blockset

- Uživatelské řídicí systémy
 - náhrada dodávaných komponent za uživatelské
- Modely řídicích systémů v referenčních aplikacích jsou:
 - modulární
 - hierarchicky uspořádané
- ⇒ snadná záměna prvků
- Postupný vývoj vlastních systémů



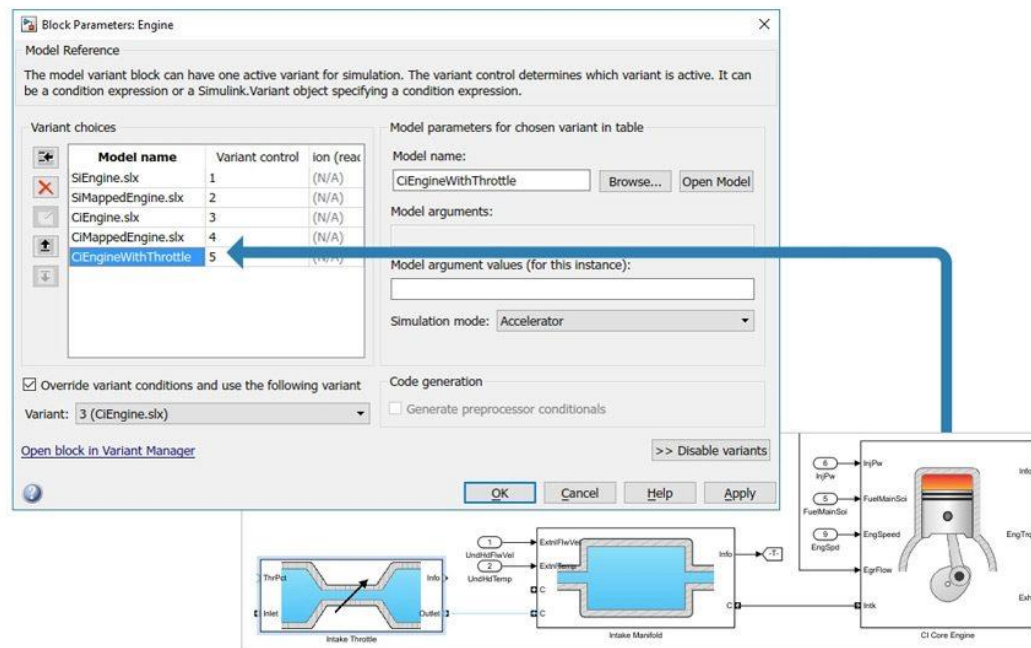
Powertrain Blockset

- Hardware-in-the-Loop simulace
 - vyvážení mezi mírou detailu a rychlostí simulace
- Dodávané modely jsou stavěny s ohledem na využití HIL simulace



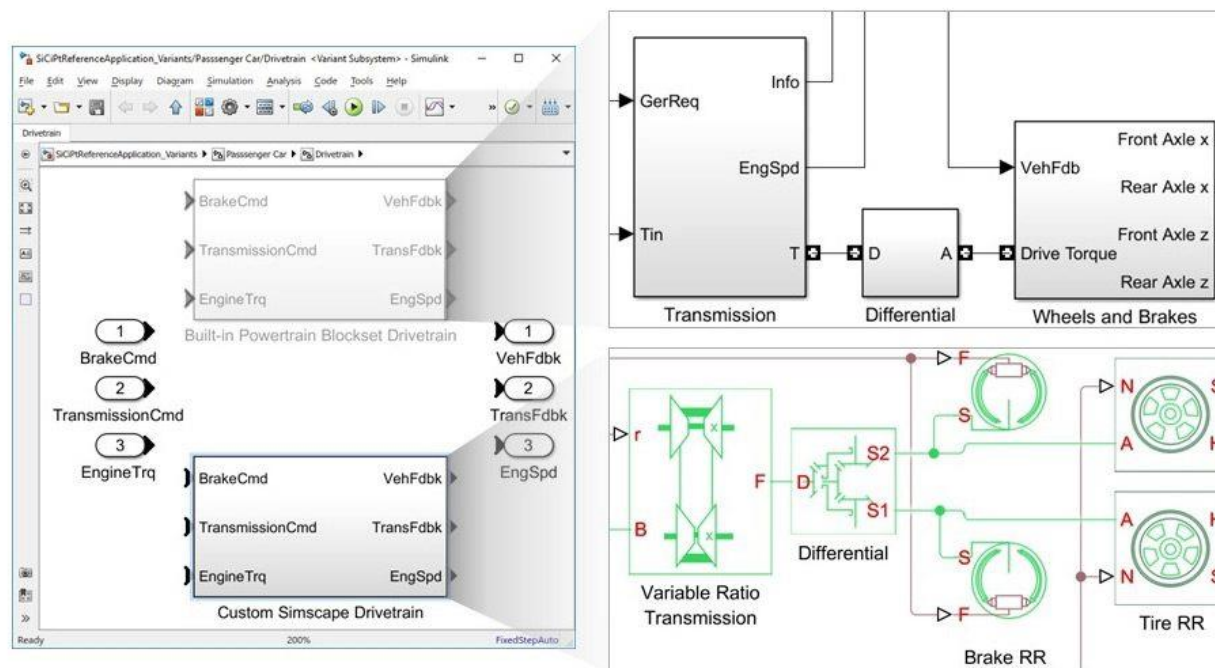
Powertrain Blockset

- Detailní modelování vybraných komponent
- Modifikace specifických částí dodávaných prvků
 - dodávané modely jsou otevřené a dokumentované
 - je možné vytvořit kopii prvku, provést úpravy, zavést prvek jako novou variantu



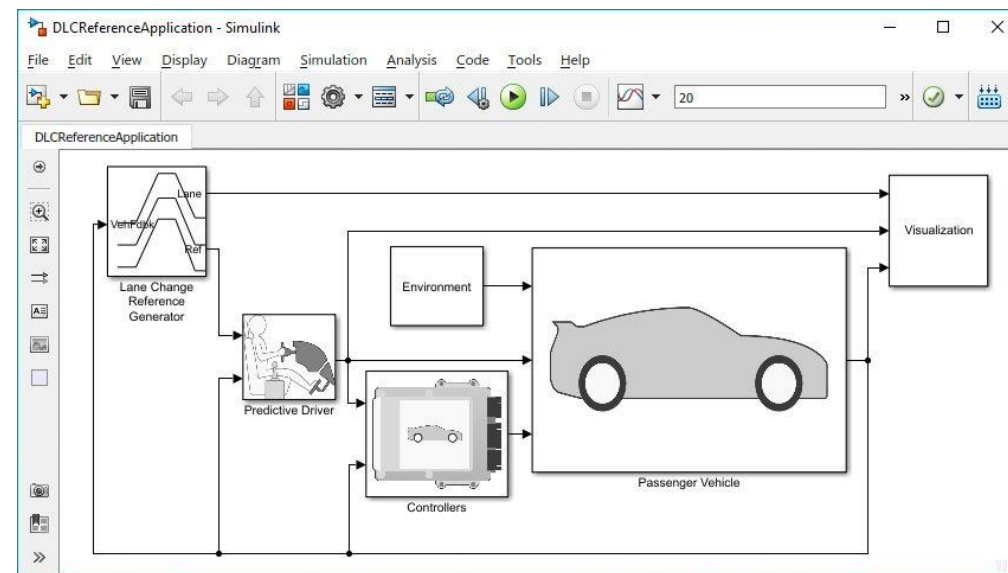
Powertrain Blockset

- Detailních modelování vybraných komponent
- Integrace modelů Simscape
 - náhrada dodávaných komponent za uživatelské systémy vytvořené pomocí Simscape



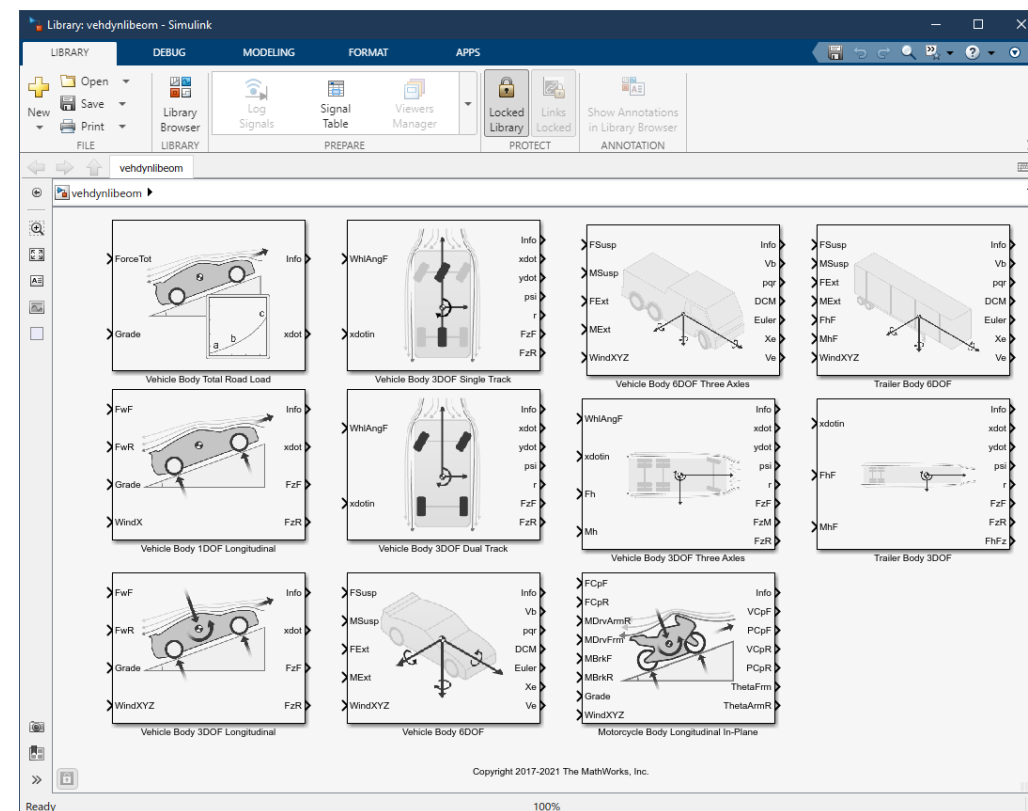
Vehicle Dynamics Blockset

- Simulace chování celého vozidla
- Referenční aplikace
 - plně sestavené modely dynamiky vozidel
 - testování jízdních manévru
- Modely vozidla zahrnují
 - pohon a hnací ústrojí, řízení, odpružení, karoserii vozidla, brzdy, pneumatiky
- Vhodné využití
 - analýza jízdních vlastností a ovladatelnosti (sada dat pro standardní jízdní manévry)
 - vývoj řídicích systémů podvozku
 - testování systémů ADAS a AD
- Referenční aplikace jsou ve formě projektů, jsou plně nastavitelné / upravitelné



Vehicle Dynamics Blockset

- Modely komponent
- Karoserie
 - jedna / dvě stopy, dvě / tři nápravy, návěs
 - 1 DOF / 3 DOF / 6 DOF
- Řízení
 - kinematické, dynamické, dané tabulkou
- Odpružení – 8 typů
- Kola a pneumatiky
 - podélný skluz / kombinovaný skluz
- Brzdy
 - kotoučové / bubnové / uživatelská charakteristika



Vehicle Dynamics Blockset

- 3D prostředí
- Simulace dynamiky vozidla v 3D prostředí pomáhá
 - vizualizovat chování vozidla
 - pochopit dynamickou odezvu vozidla
- Využívá Unreal Engine
 - připravené scény
 - možnost úpravy



Powertrain Blockset vs. Vehicle Dynamics Blockset

Powertrain Blockset

podrobné prvky pohonného systému

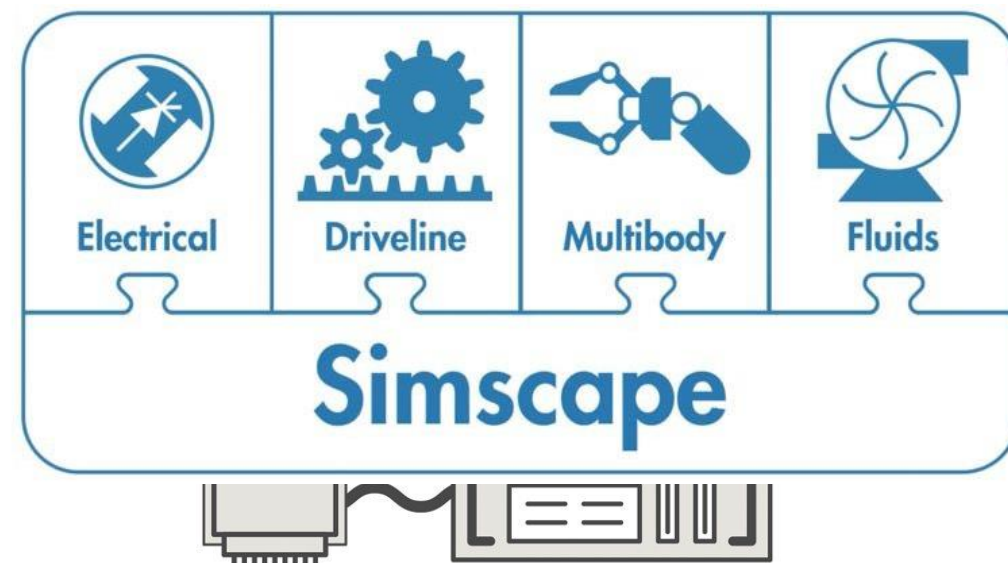
základní prvky
pohonu a dynamiky vozidla

podrobné prvky dynamiky vozidla

Vehicle Dynamics Blockset

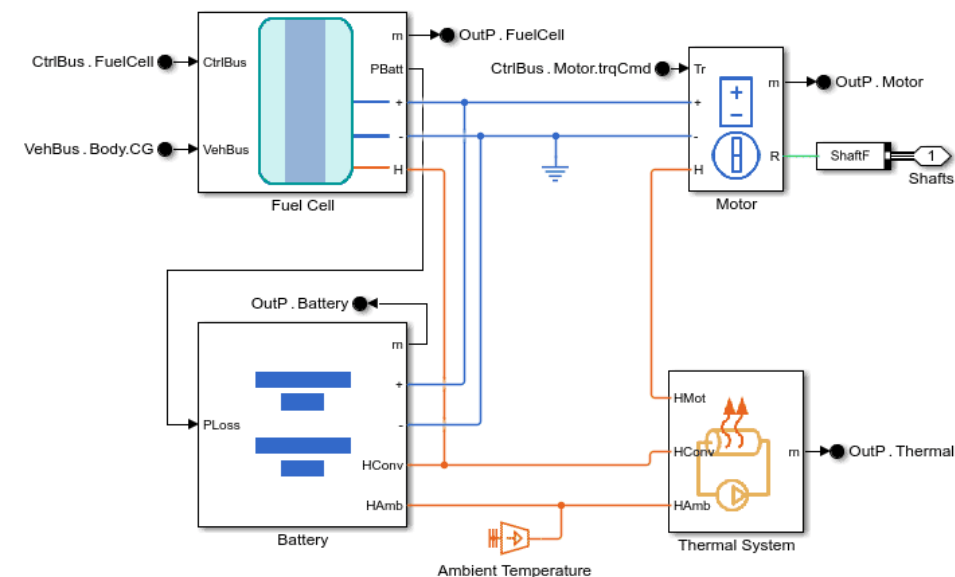
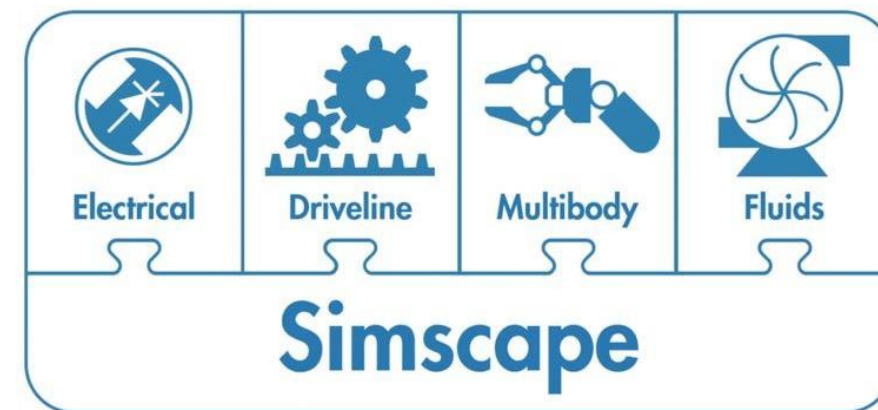
Souhrn

- Virtual Vehicle Composer rychle vytvoří dobrý výchozí bod pro uživatelský model
- Generovaný model je otevřený, takže je možné jej upravovat
 - přidat nové vlastnosti soustavy, řídicího systému nebo senzorů
 - vytvoření vlastních testovacích scénářů
- Využití platformy Simscape
 - detailní modely
 - elektrické / mechanické / hydraulické prvky
- Využití platformy Simulink
 - integrace kódu v jazyce C, s-funkcí, FMU, ...
 - řešení rozsáhlých studií
 - nasazení modelů (HIL, cloud, ...)



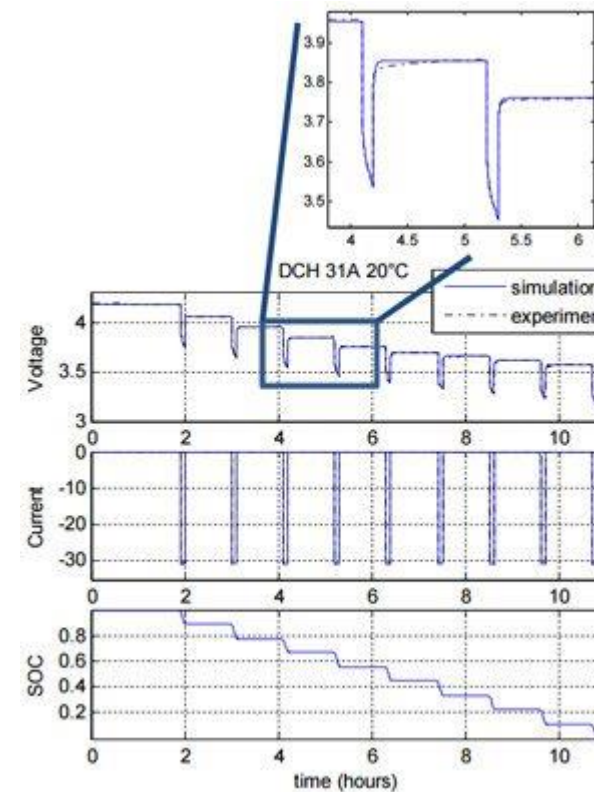
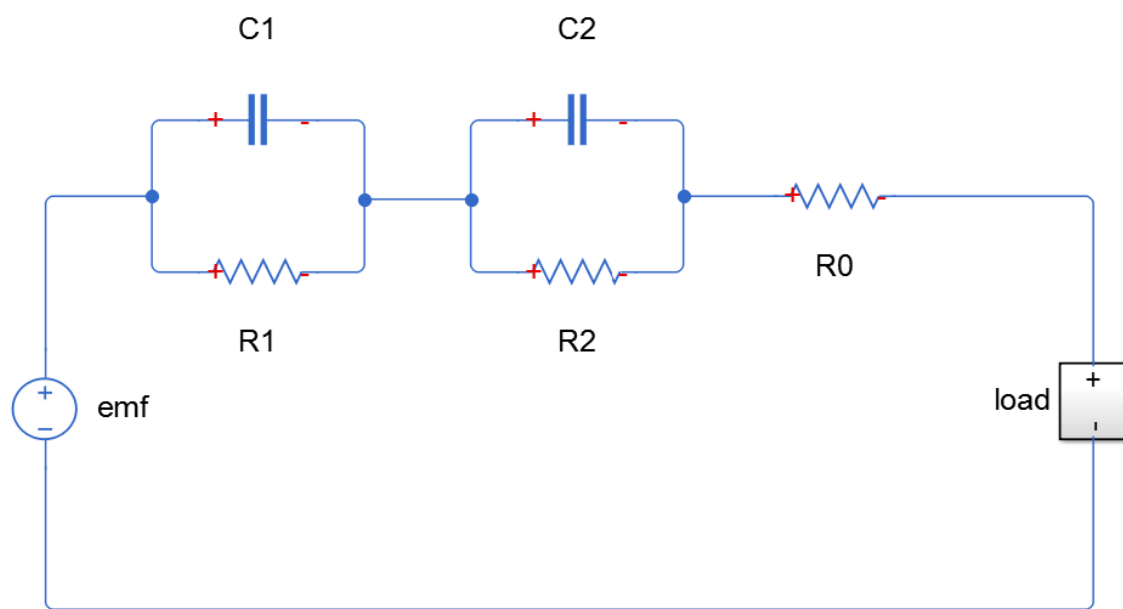
Elektromobilita a platforma Simscape

- Simscape – platforma pro fyzikální modelování
 - fyzikální modelování = akauzální modelování
 - prvky z různých fyzikálních oblastí
- Využití v oblasti elektromobility
 - detailní modelování elektromechanických prvků
 - zahrnutí termálních efektů
 - začlenění prvků do modelu virtuálního vozidla
- Typické komponenty a aplikace
 - baterie a BMS, palivové články
 - elektrické pohony a jejich řízení
 - výkonová elektronika



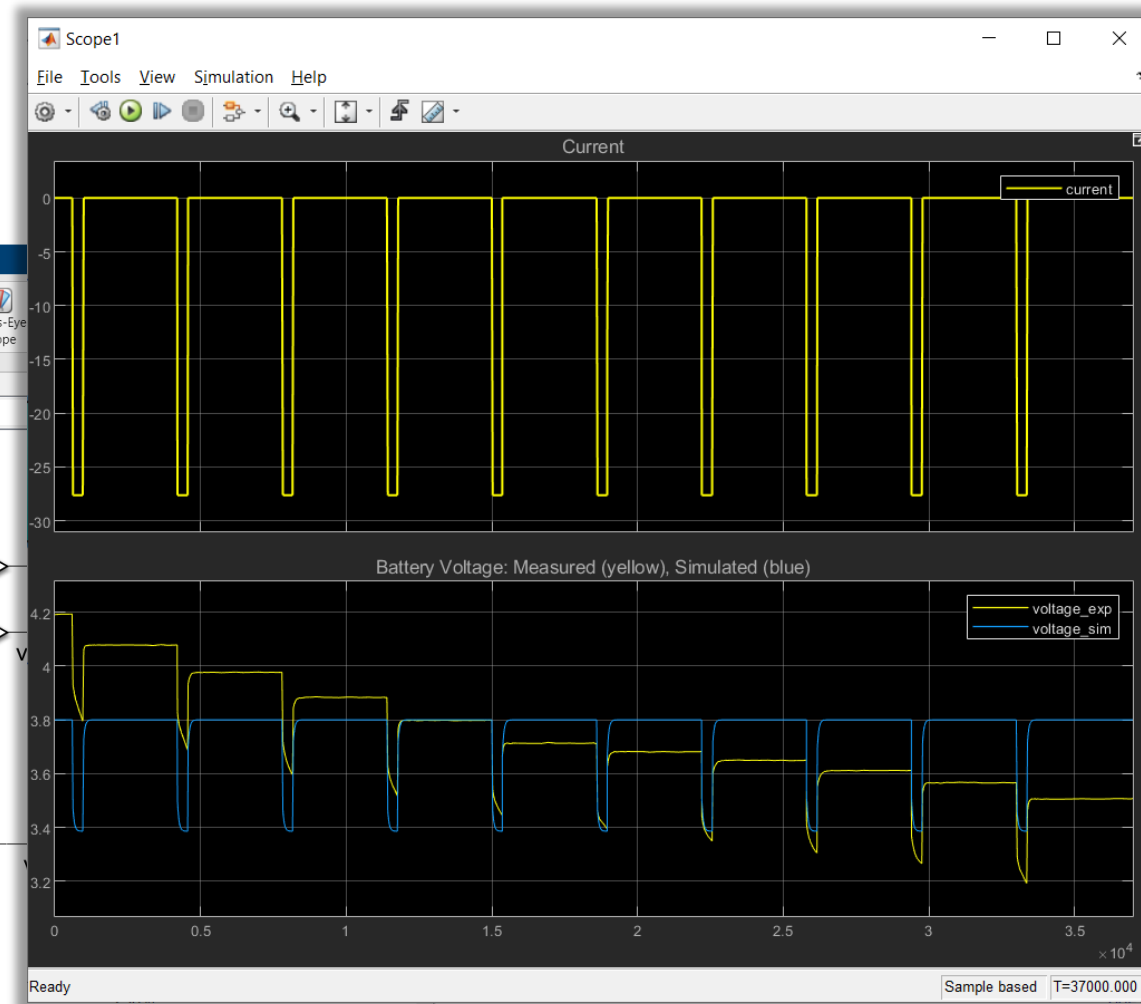
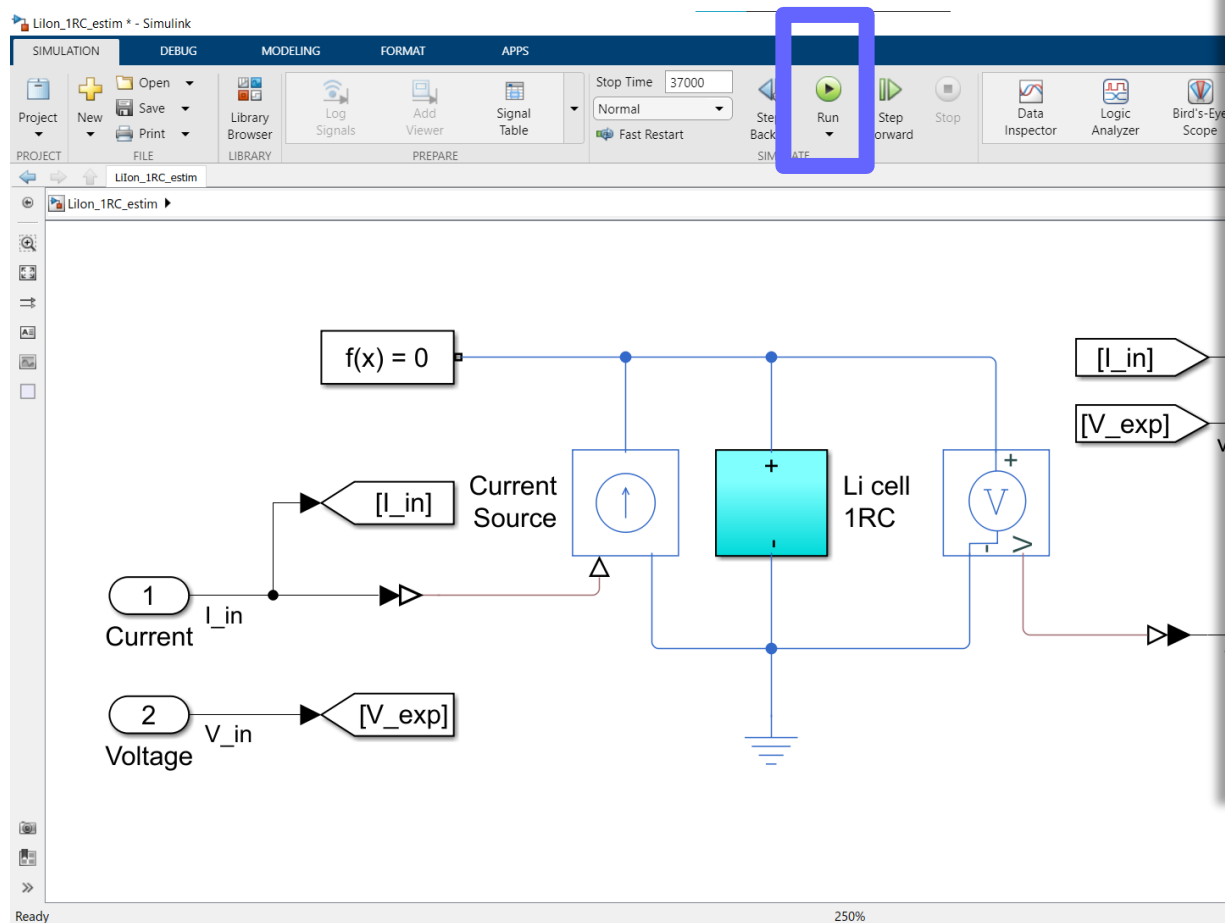
Modelování baterií

- Model ve formě ekvivalentního elektrického obvodu
- Odhad parametrů modelu aby chováním odpovídal reálné baterii (měření)



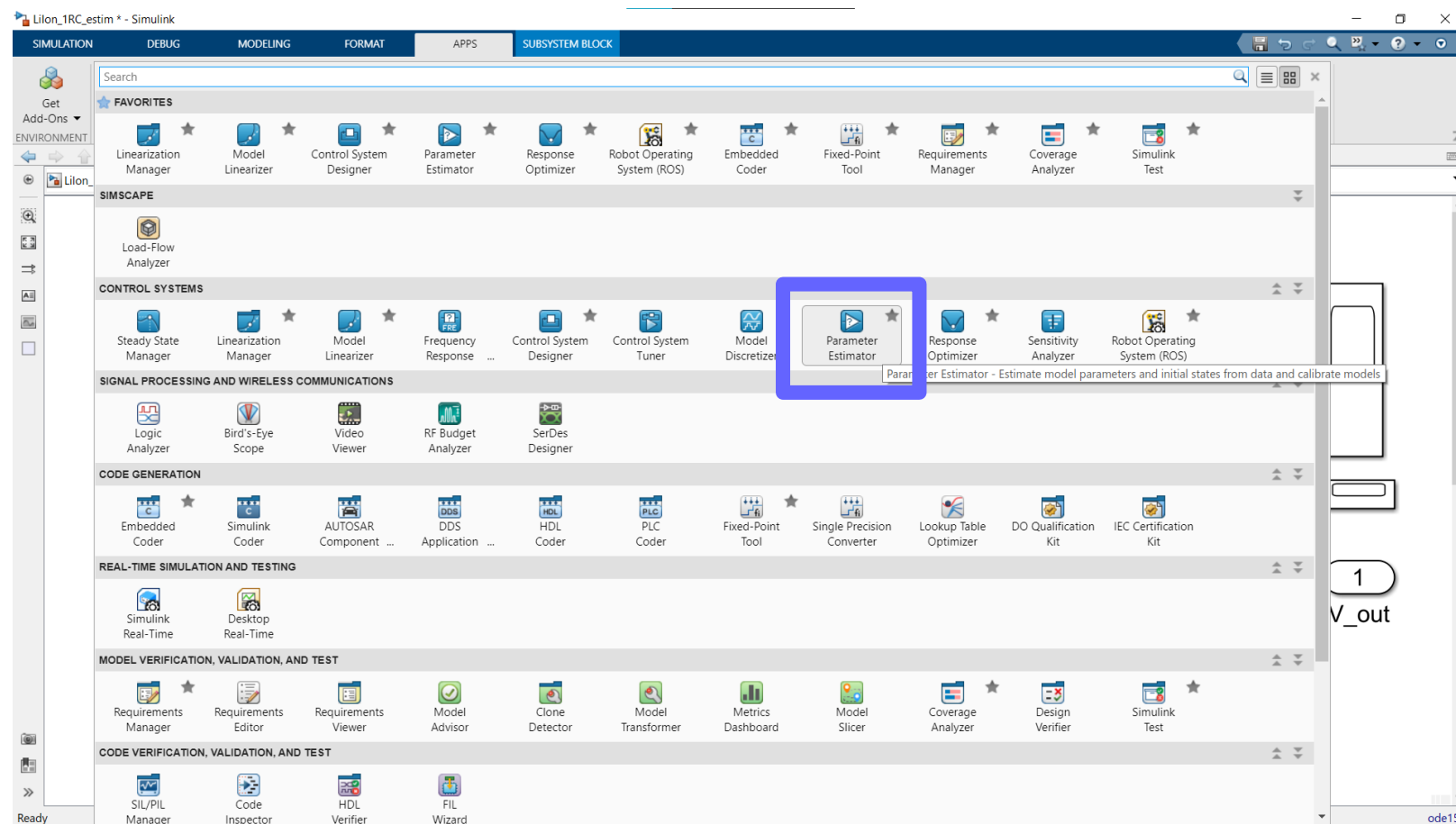
Modelování baterií

- Celý model může vypadat takto

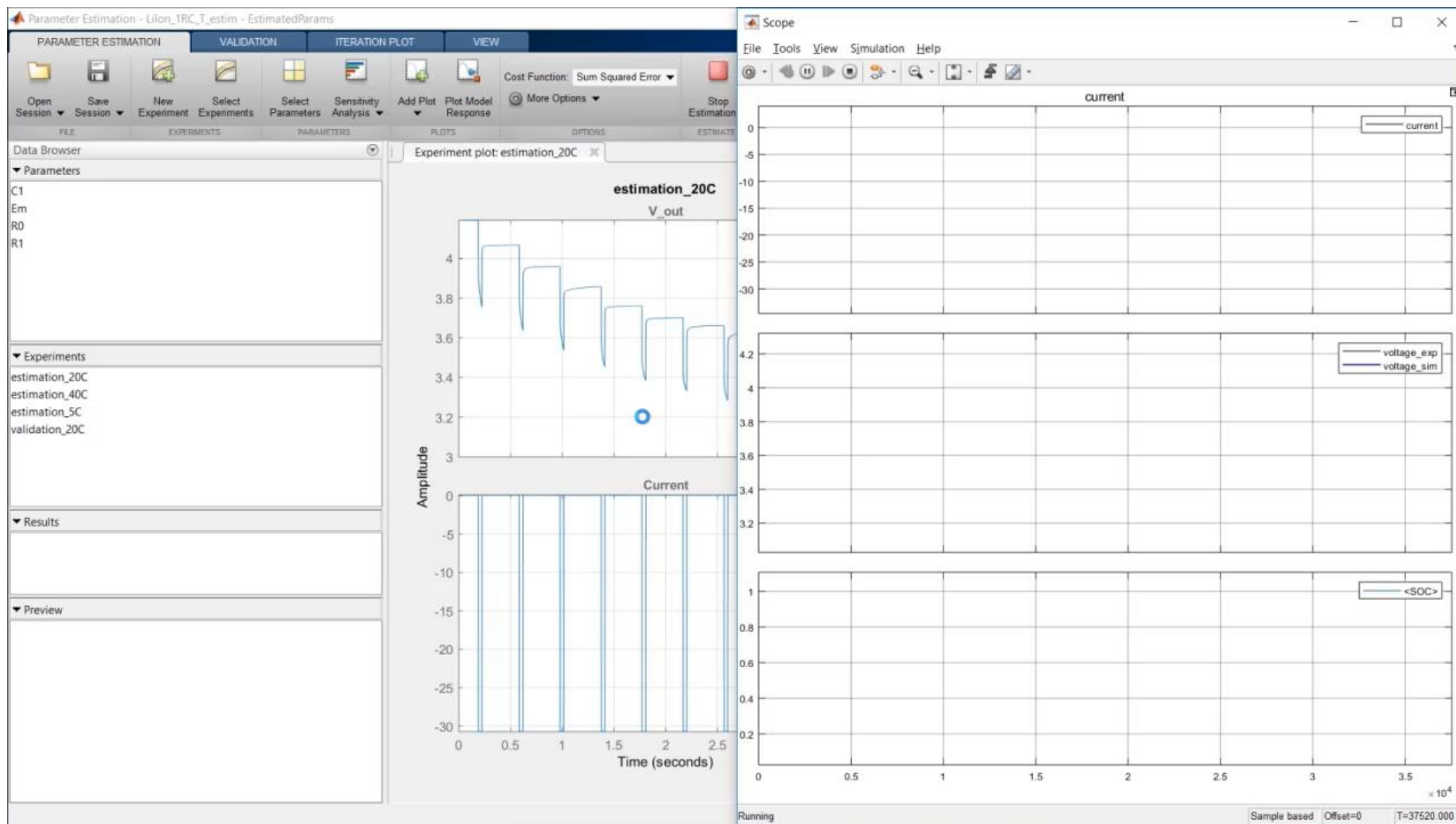


Modelování baterií

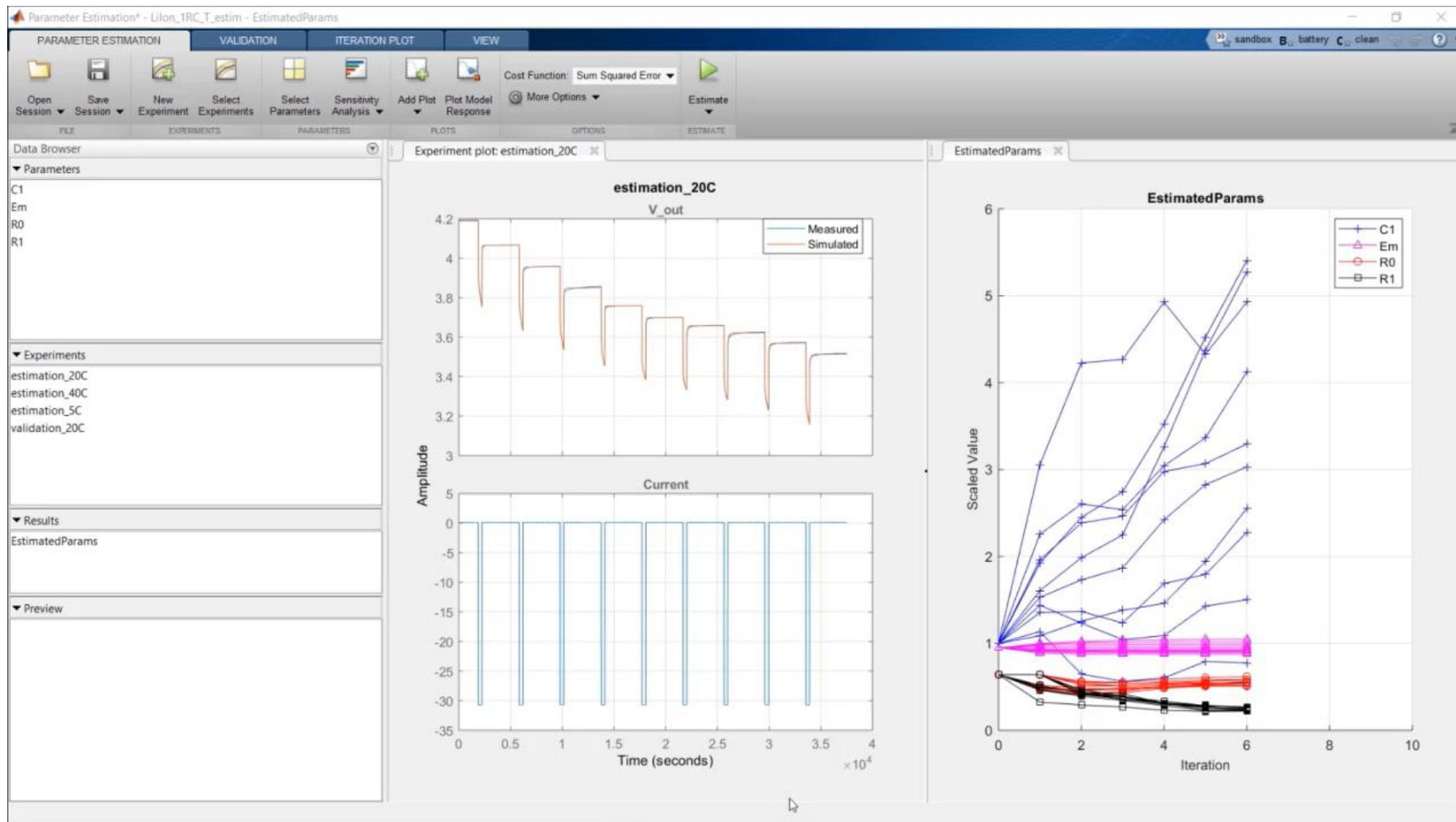
- Pro odhad parametrů Simulink Design Optimization / Parameter Estimation



Modelování baterií

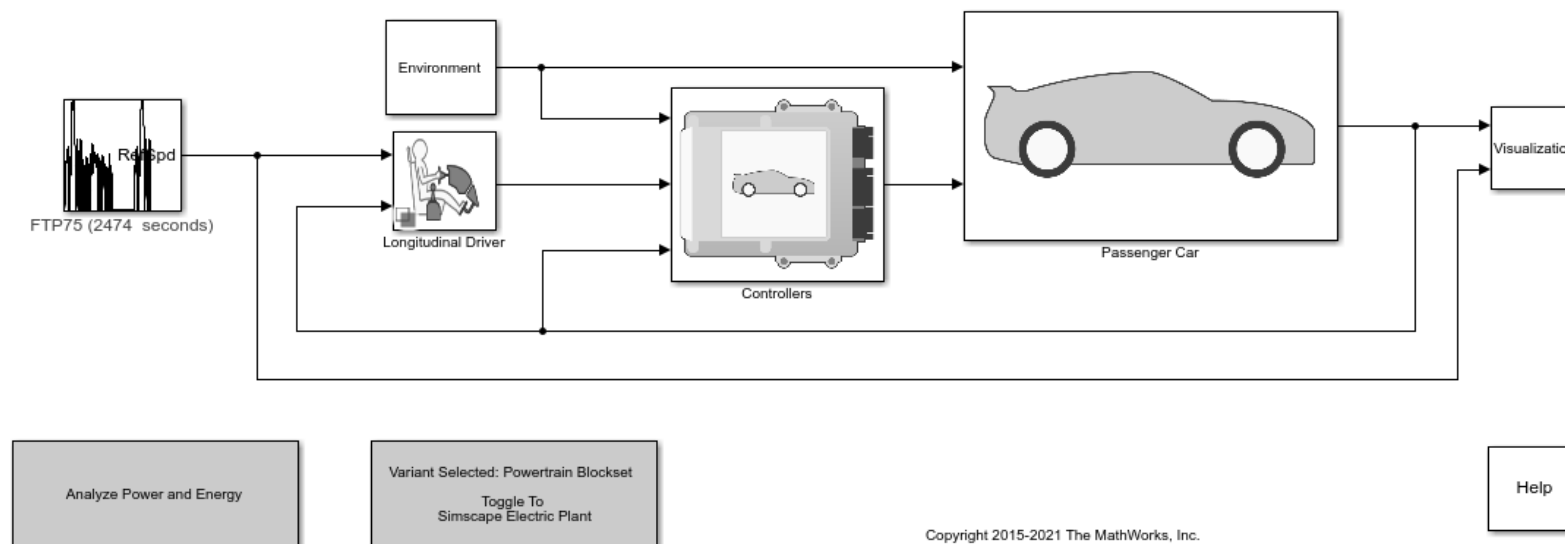


Modelování baterií



Ukázka: Modelování elektrických komponent v EV

- Referenční aplikace EV Reference Application
- Elektrická část dvě varianty
 - bloky Powertrain Blockset pro základní model
 - bloky Simscape Electrical pro detailní model



Děkuji za pozornost