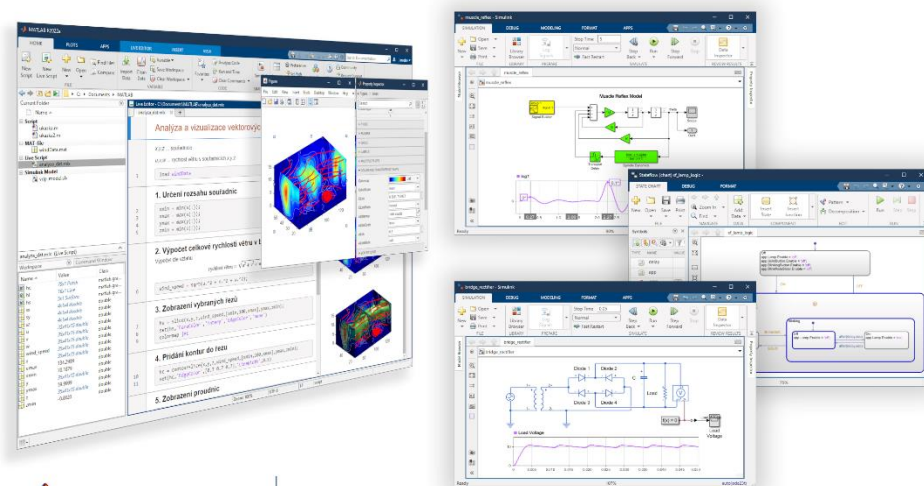


19.4.2023 Technical Computing Prague 2023

Modelování a simulace bateriových systémů a vývoj BMS

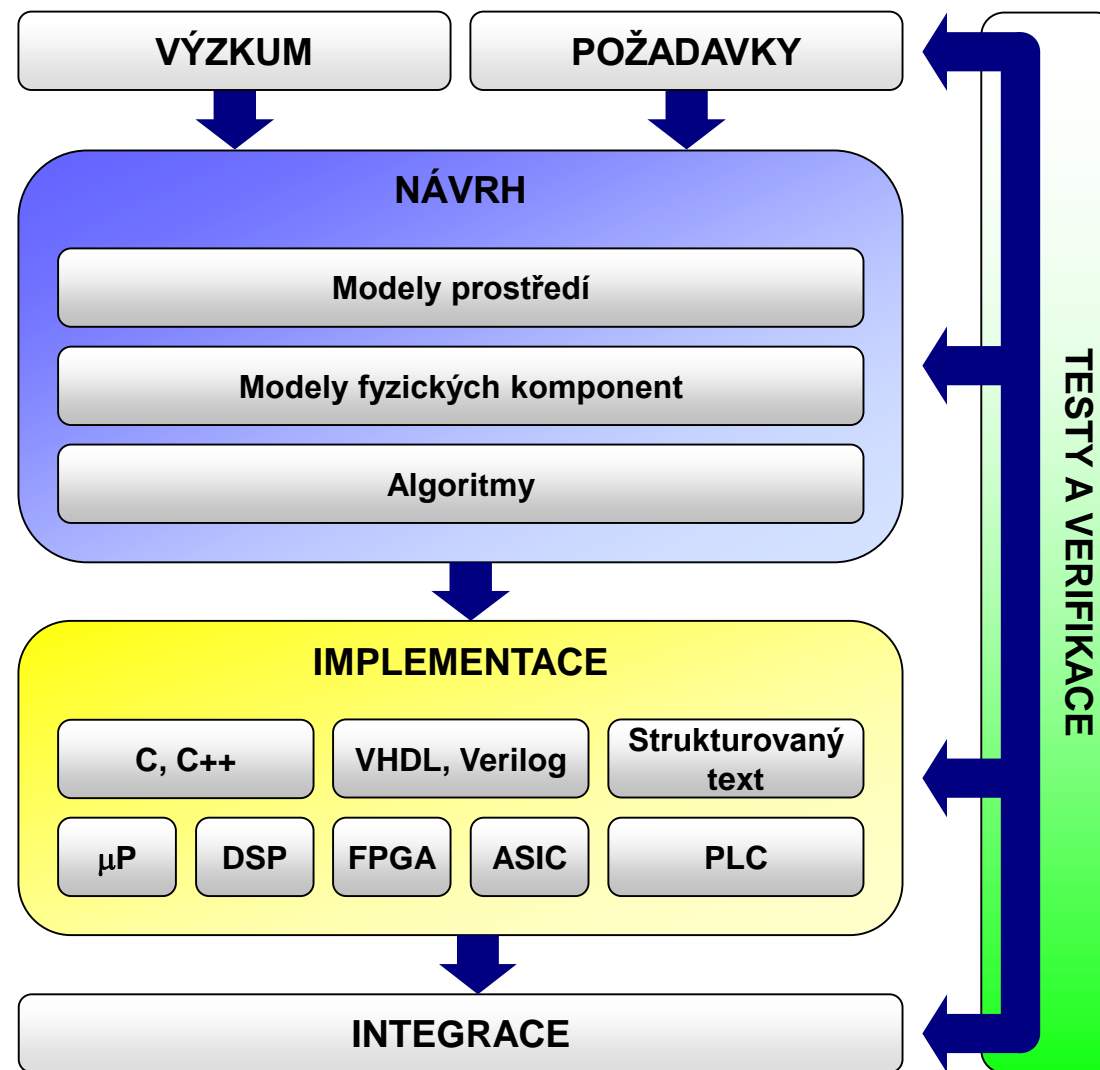


Jaroslav Jirkovský
jirkovsky@humusoft.cz

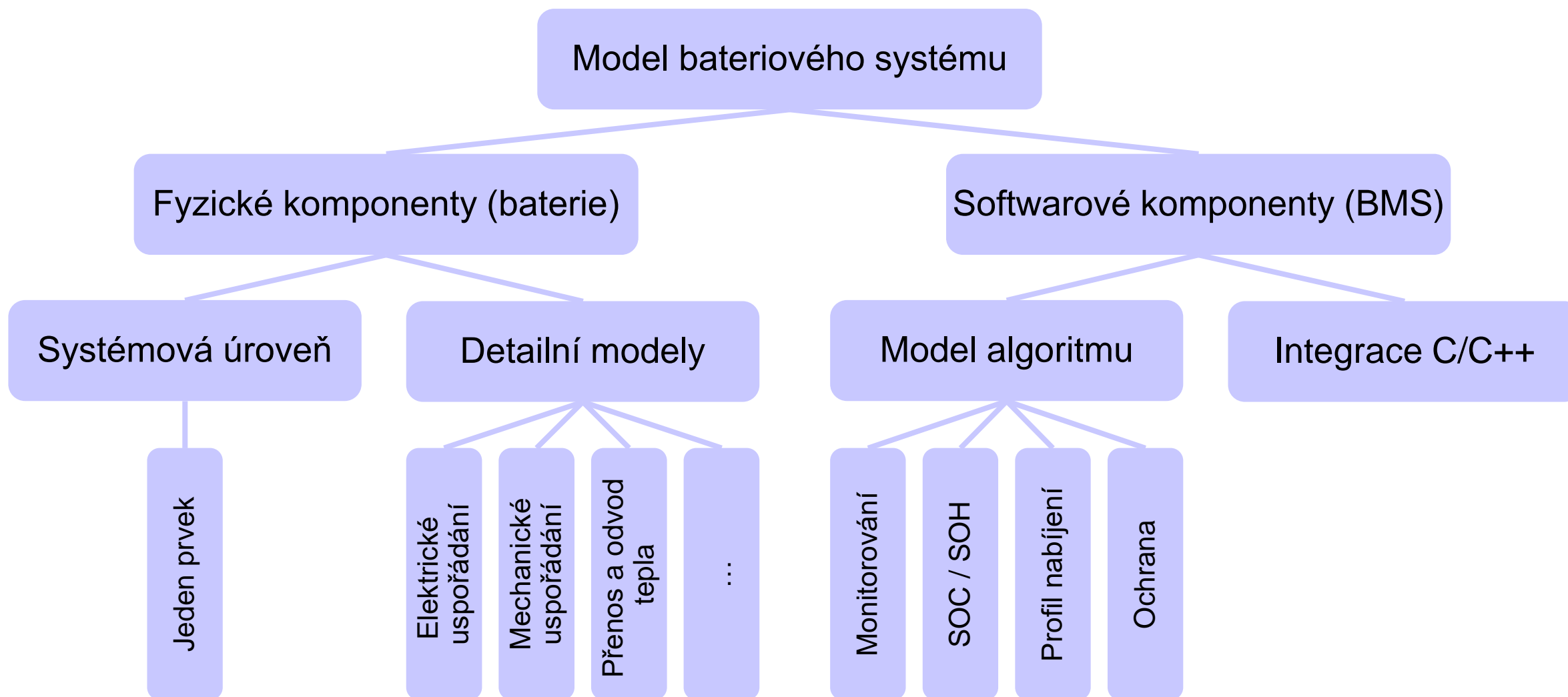
www.humusoft.cz
info@humusoft.cz

www.mathworks.com

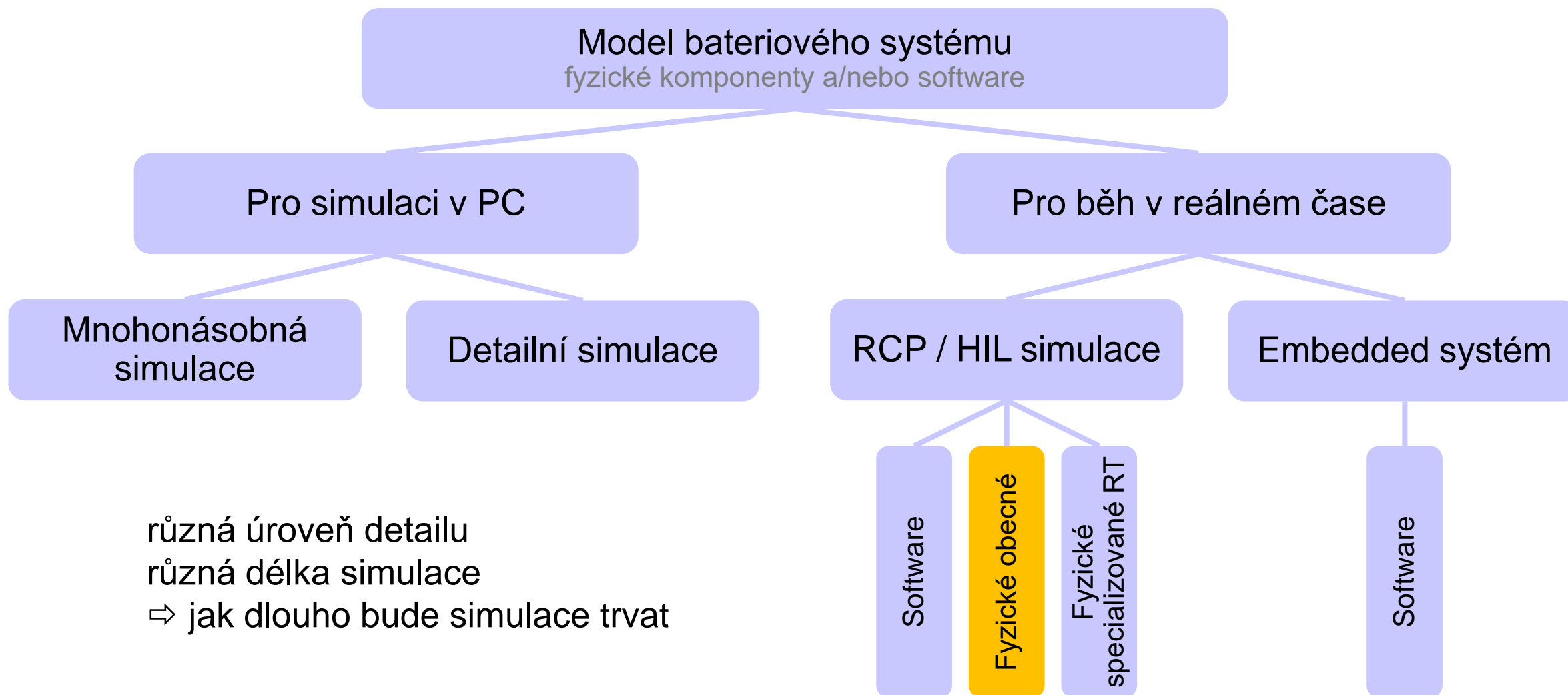
Vývoj metodou Model-Based Design



Modelování bateriového systému z hlediska komponent



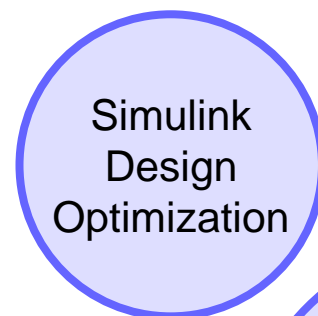
Modelování bateriového systému z hlediska simulace/nasazení



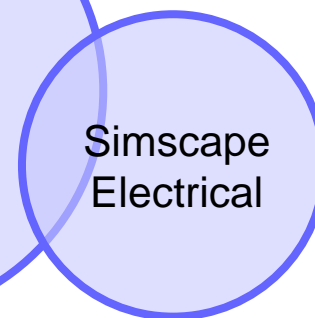
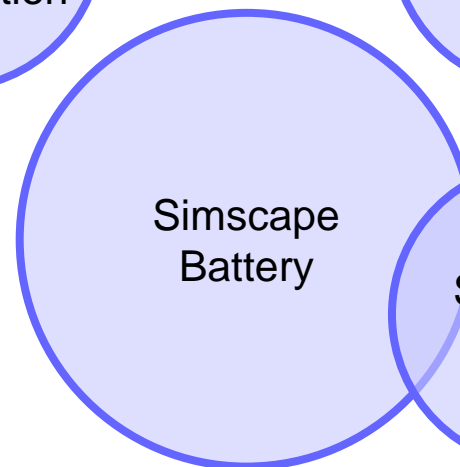
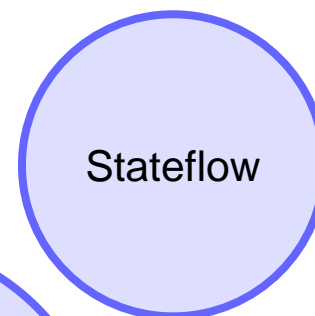
různá úroveň detailu
 různá délka simulace
 ⇒ jak dlouho bude simulace trvat

MATLAB a Simulink pro modelování bateriového systému

Optimalizace a ladění
parametrů modelu



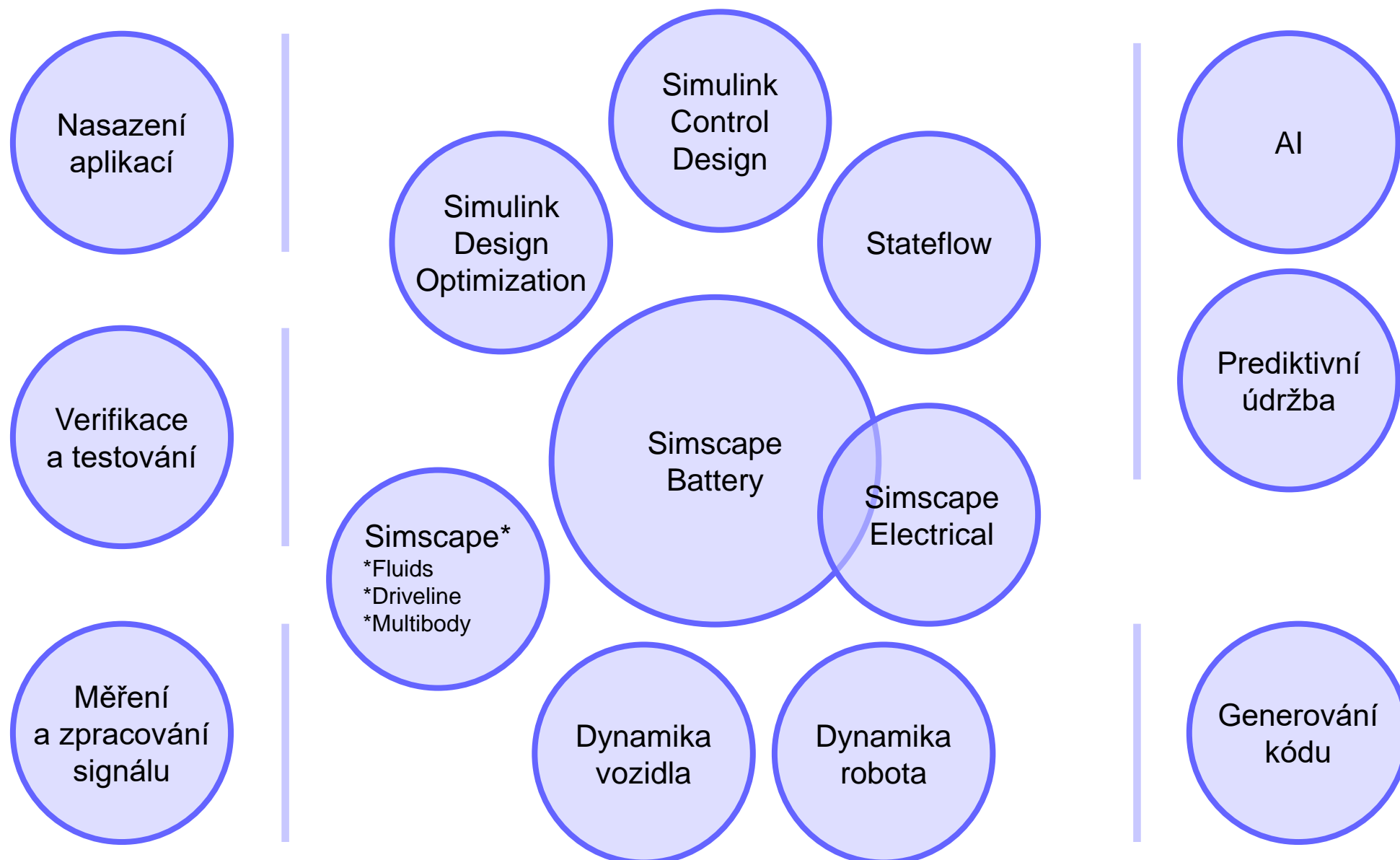
Řídicí logika pro BMS



Modelování bateriových sestav
a algoritmy pro BMS

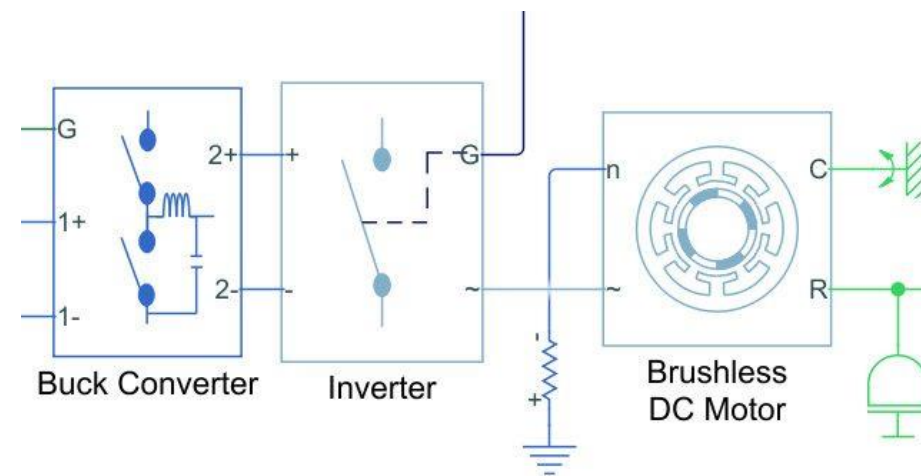
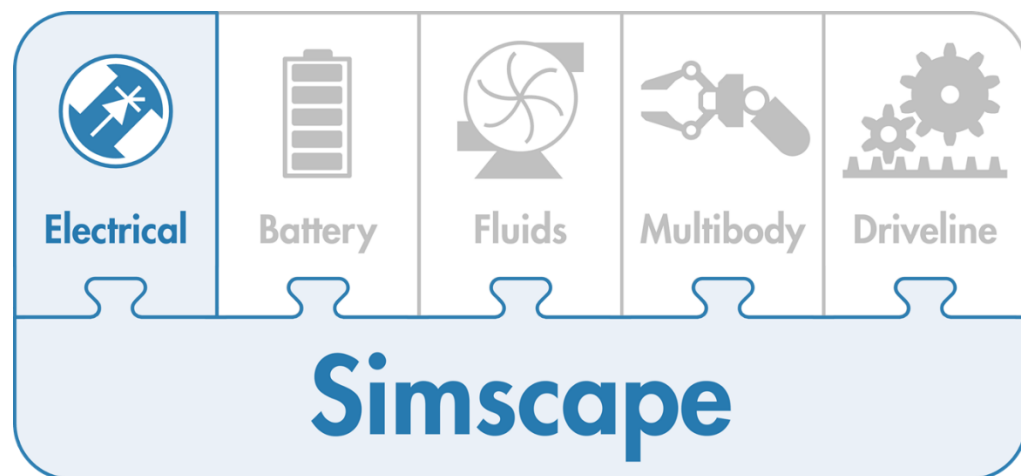
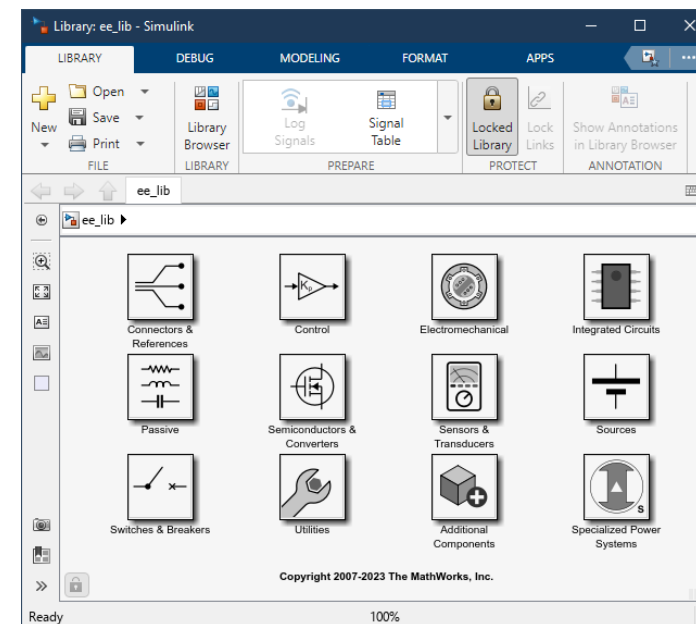
Modelování výkonové elektroniky
(a mechatronických systémů)

MATLAB a Simulink pro modelování bateriového systému



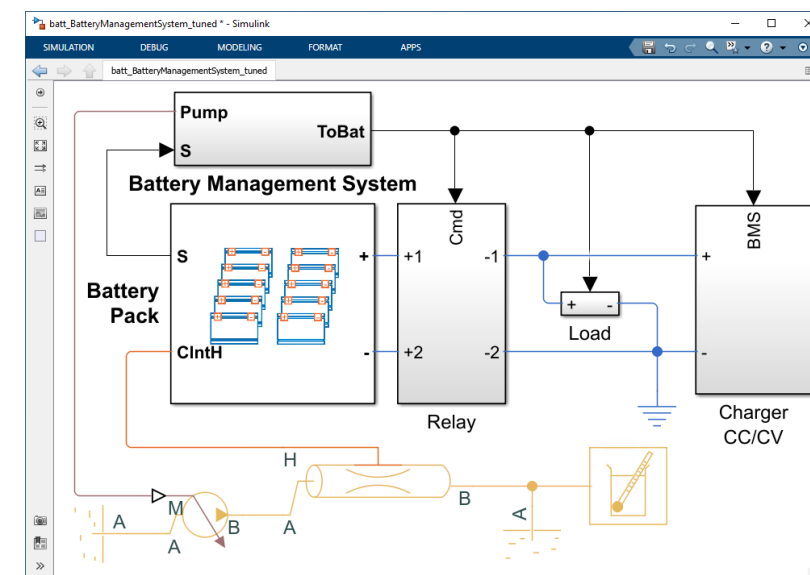
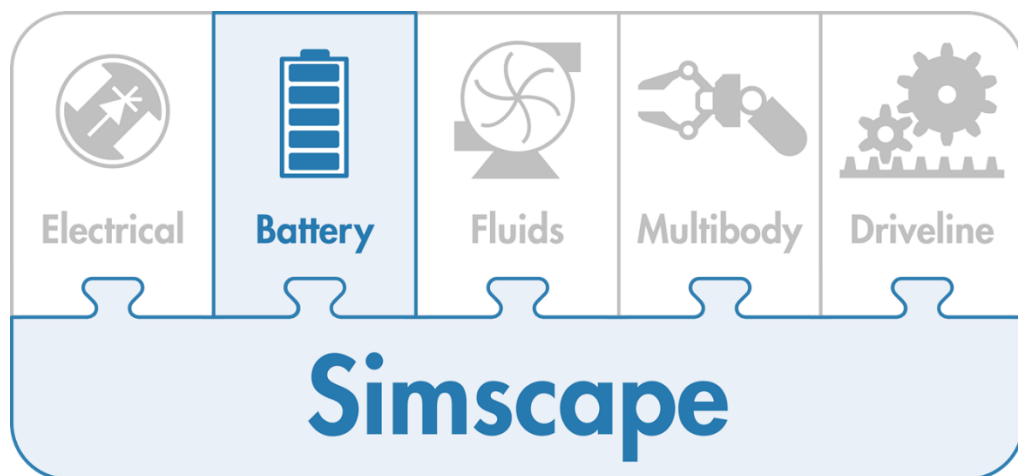
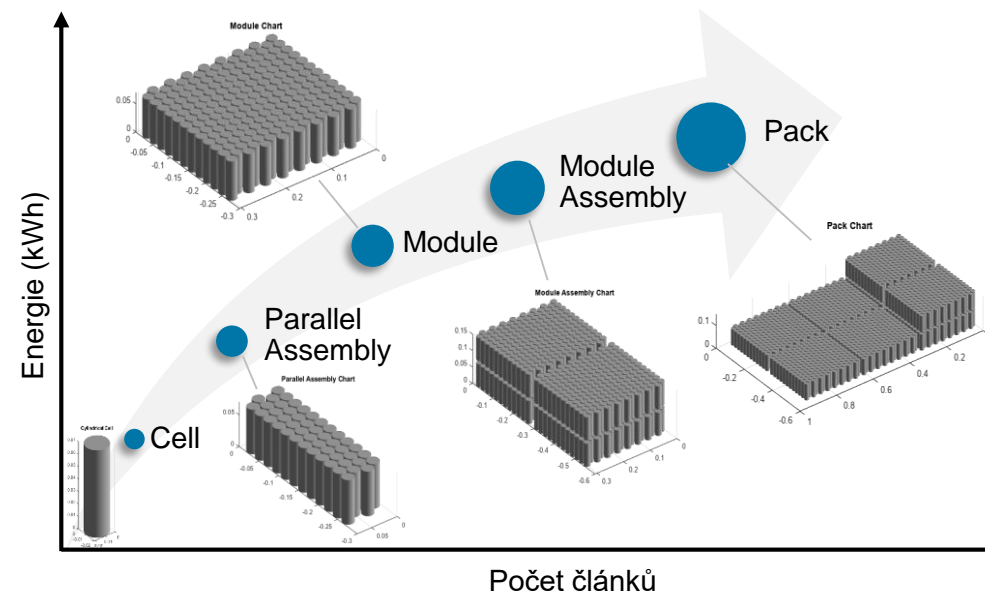
Simscape Electrical

- Fyzikální modelování elektronických a elektro-mechanických systémů
 - výkonová elektronika, elektrické pohony, ...
 - topologie elektrického systému reprezentována schématickým zapojením



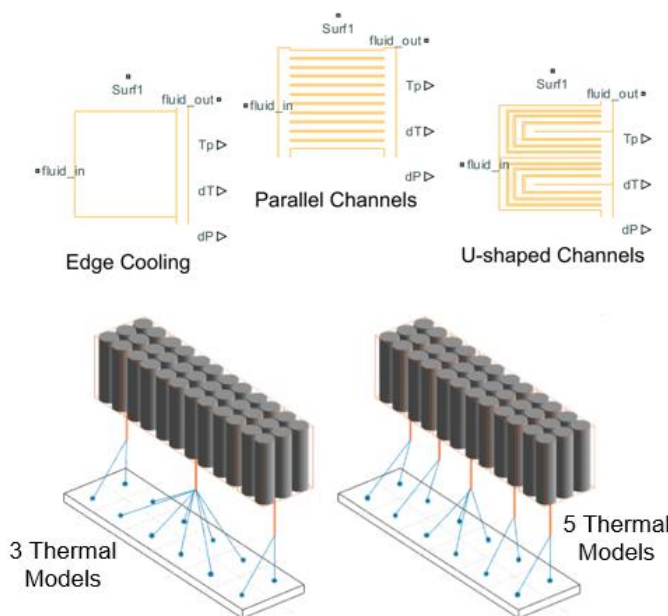
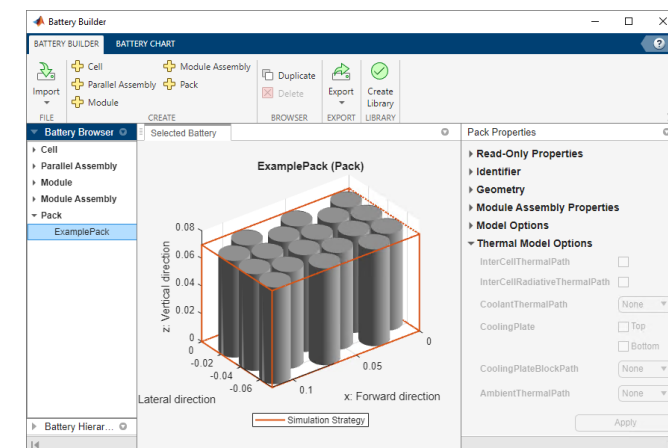
Simscape Battery

- Fyzikální modelování bateriových sestav
 - elektrotermální chování článků
 - návrh architektury sestavení článků
- Algoritmy pro BMS
 - Battery Management System



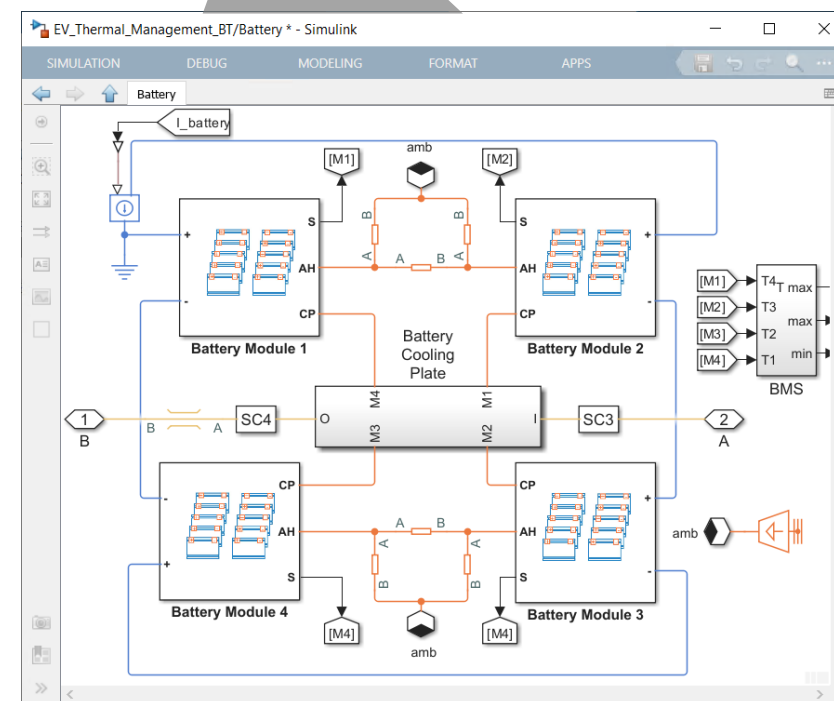
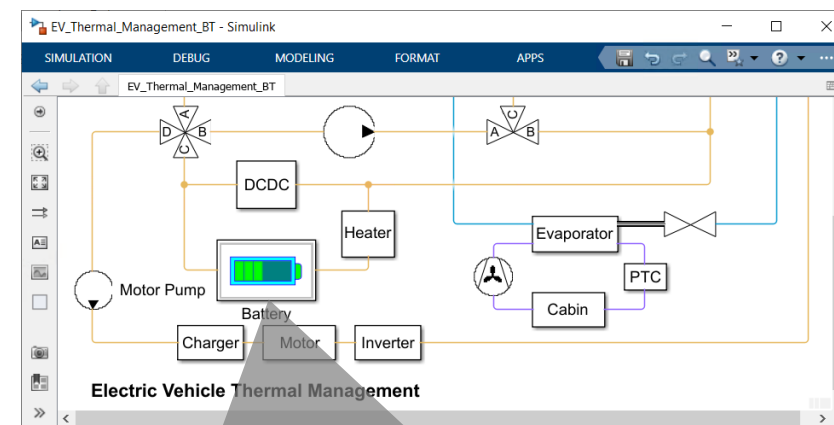
Simscape Battery – hlavní funkce

- Battery Pack Builder (funkce, App)
 - automatické poskládání modelů článků do bateriové sestavy
 - definice elektrických a tepelných propojení (sériové, paralelní)
 - nastavení kompromisu mezi rychlostí simulace a úrovní detailu
- Modelování chlazení
 - boční chlazení, paralelní vedení, vedení do U
 - různý počet připojení
- Algoritmy pro Battery Management
 - nabíjení/vybíjení, SOC, SOH, vyvážení článků, tepelný management, ochrana
- Aplikační příklady
 - nabíjení elektrického vozu, microgrid s BESS



Simscape Battery – aplikace pro elektrická vozidla

- Elektrický a chladicí systém s pohonem, výkonovými měniči a systémem HVAC
- Simscape Battery využitý pro
 - návrh bateriové sestavy s danými požadavky
 - porovnání různých architektur řešení
 - vývoj BMS algoritmů k odhadu SOC a SOH
 - vývoj algoritmů pro rychlonabíjení s minimalizací opotřebení článků



Modely Baterie

- Na základě ekvivalentního obvodu
- Battery
 - jednoduchý parametrický model
- Battery (Table-Based)
 - parametrizace pomocí tabulek hodnot
- Je možné zahrnout efekty
 - tepelné účinky
 - dynamika nabíjení
 - degradace v závislosti na stárnutí



Battery



Battery
(Table-Based)

Block Parameters: Battery

Battery Auto Apply

Settings Description

NAME	VALUE
Main	
Nominal voltage, Vnom	
Current directionality	
Internal resistance	
Battery charge capacity	
Expose charge measurement port	
Dynamics	
Charge dynamics	
First polarization resistance	
First time constant	
Thermal Port	
Initial Targets	
Nominal Values	

Block Parameters: Battery (Table-Based)

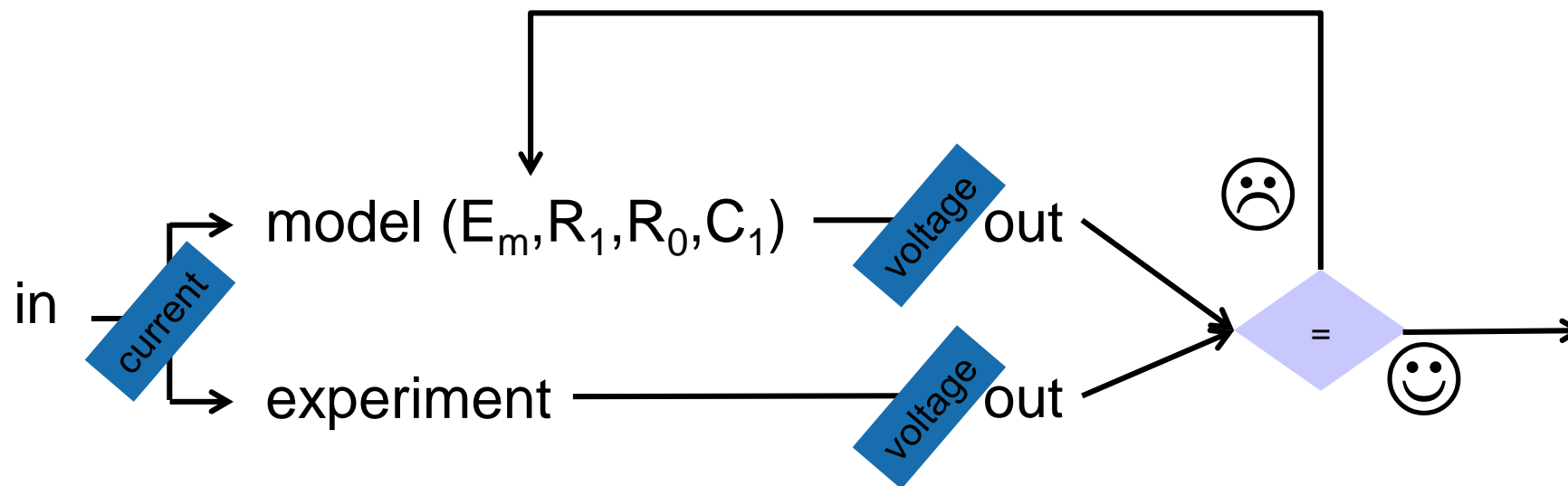
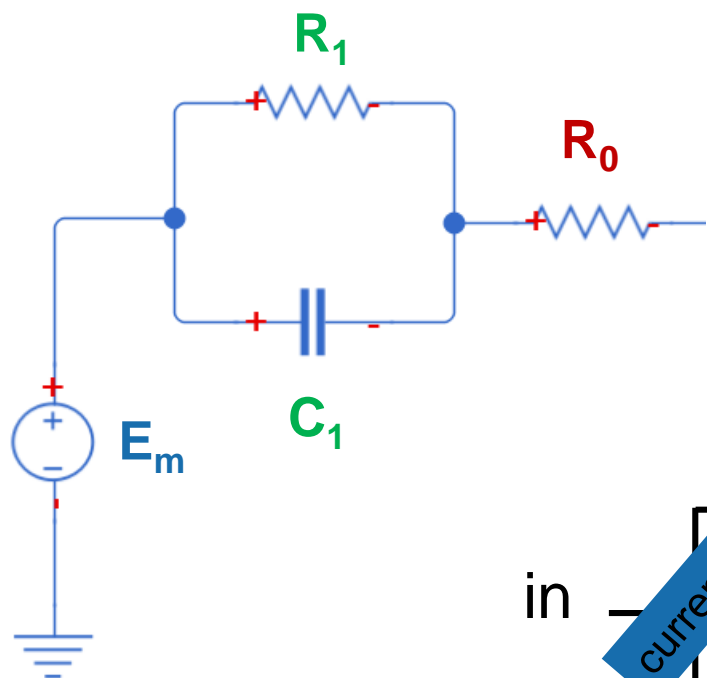
Battery (Table-Based) Auto Apply

Settings Description

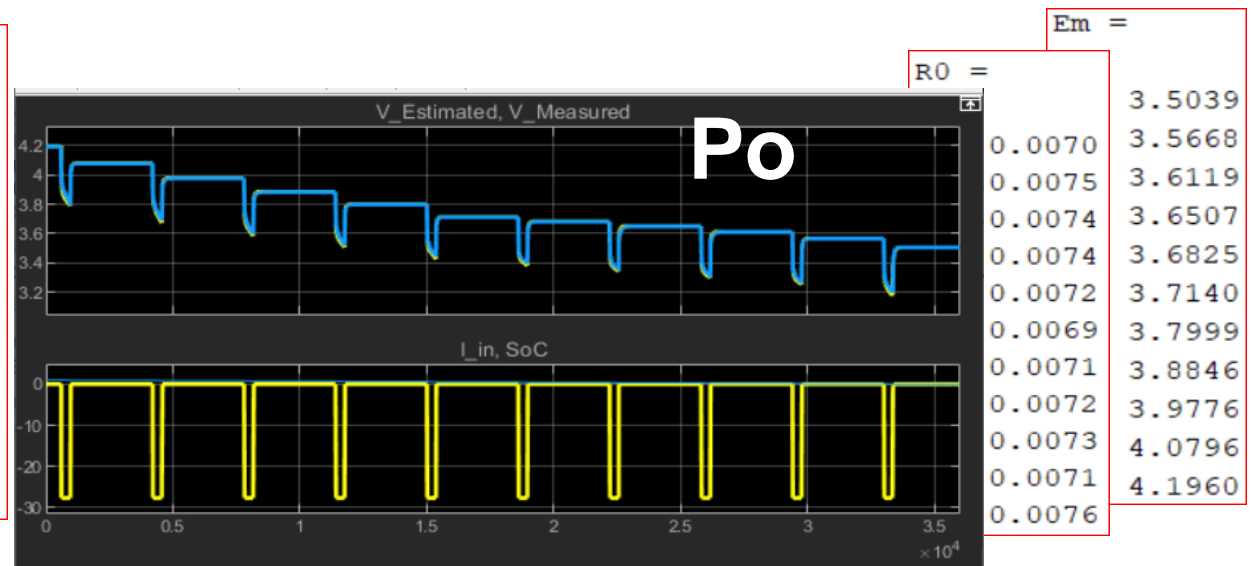
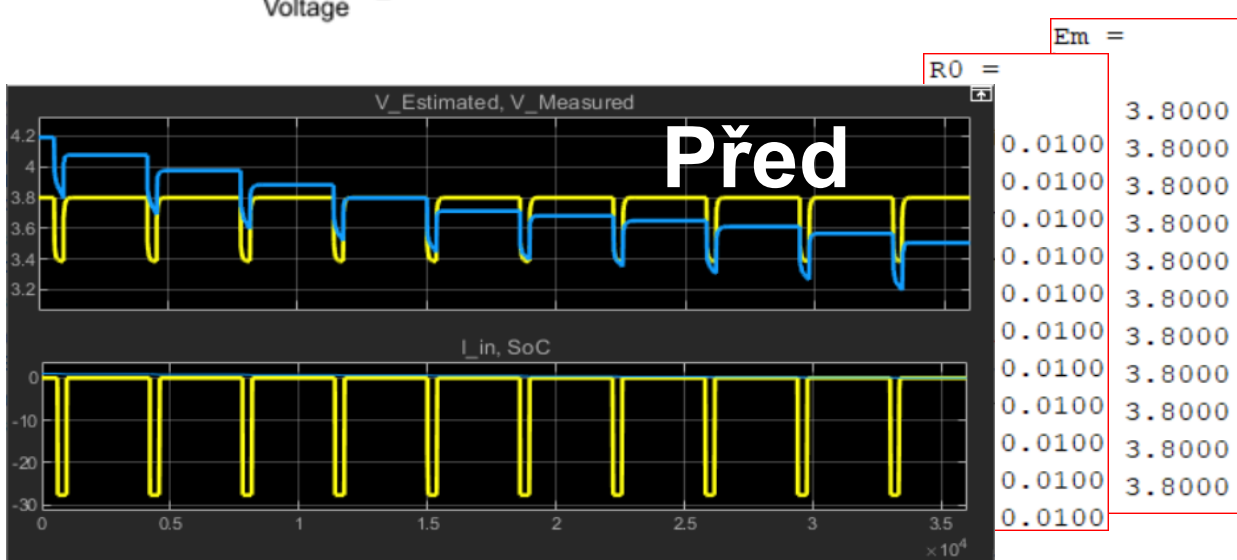
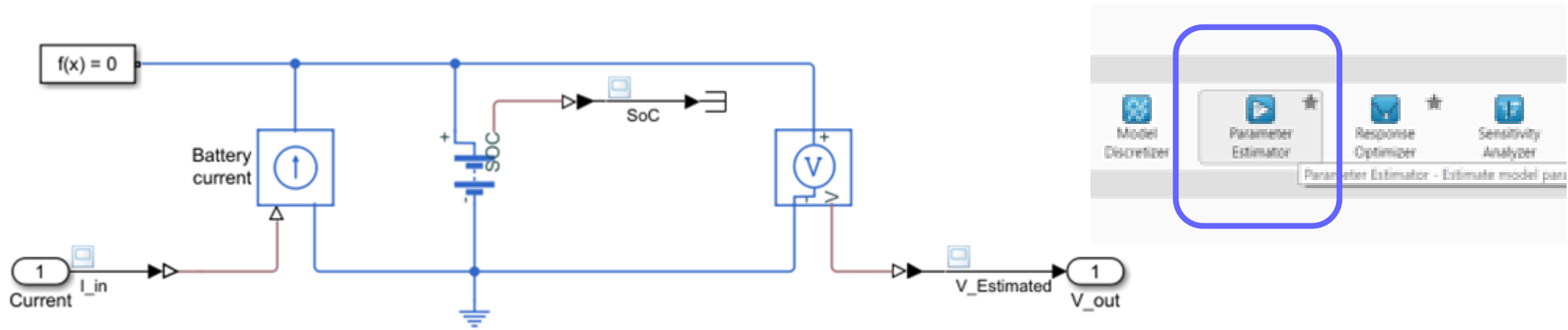
NAME	VALUE
Selected part	<click to select>
Main	
Vector of state-of-charge values, SOC	[0, .1, .25, .5, .75, .9, 1] <1x7 double>
Temperature dependent tables	Yes
Current directionality	Disabled
Vector of temperatures, T	[278, 293, 313] K
Open-circuit voltage, V0(SOC,T)	[3.49, 3.5, 3.51; 3.55, 3.57, 3.56; ...] V
Terminal voltage operating range [Min ...	[0, inf] [0, inf] V
Terminal resistance, R0(SOC,T)	[.0117, .0085, .009; .011, .0085, ...] Ohm
Cell capacity, AH	27 A*hr
Self-discharge	Disabled
Extrapolation method for all tables	Nearest
Expose SOC measurement port	No
Dynamics	
Fade	
Calendar Aging	
Thermal	
Initial Targets	
Nominal Values	

Odhad parametrů baterie z naměřených dat

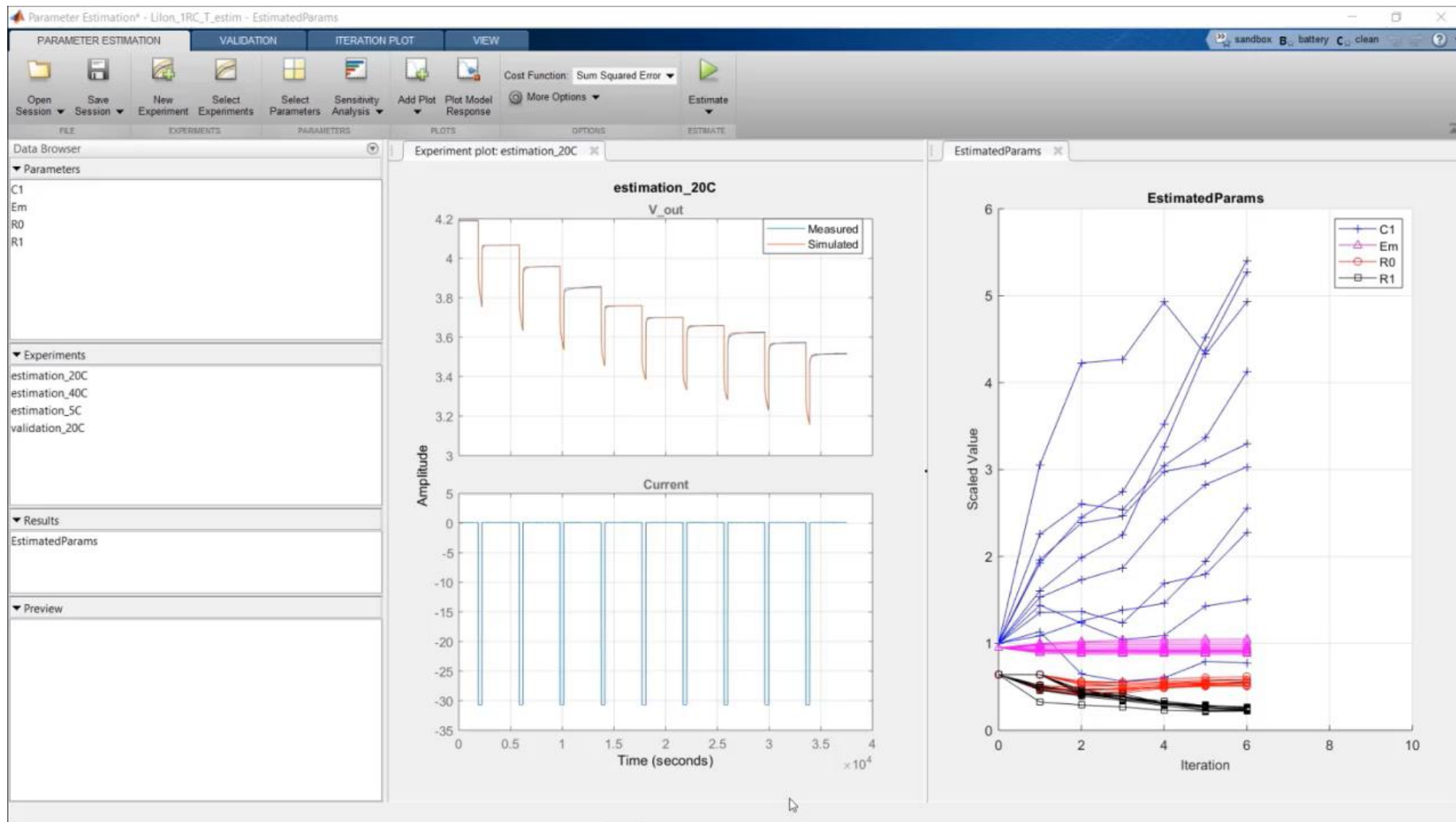
- Odhad parametrů modelu aby chováním odpovídal reálné baterii (měření)



Odhad parametrů baterie z naměřených dat

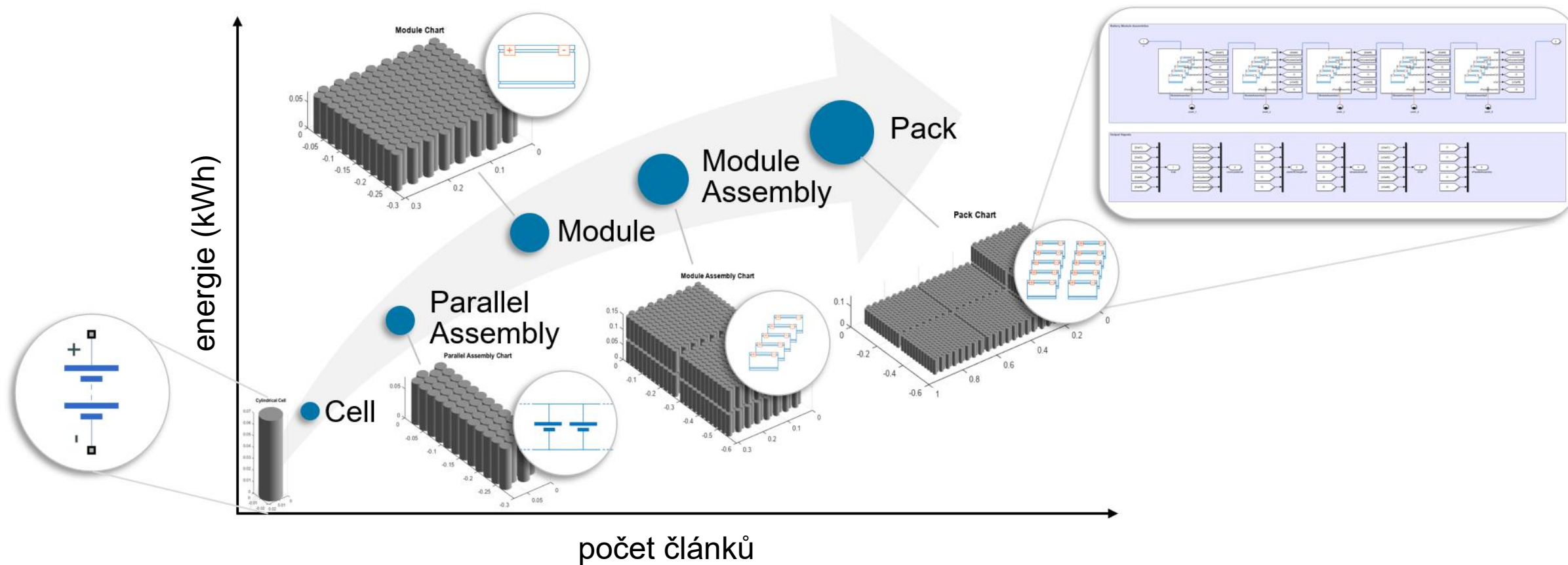


Odhad parametrů baterie z naměřených dat



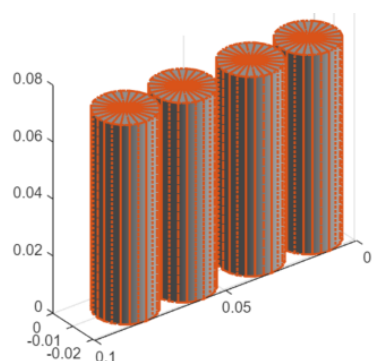
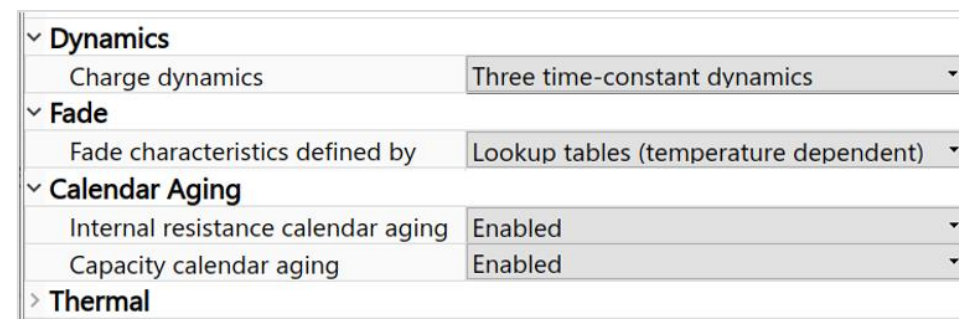
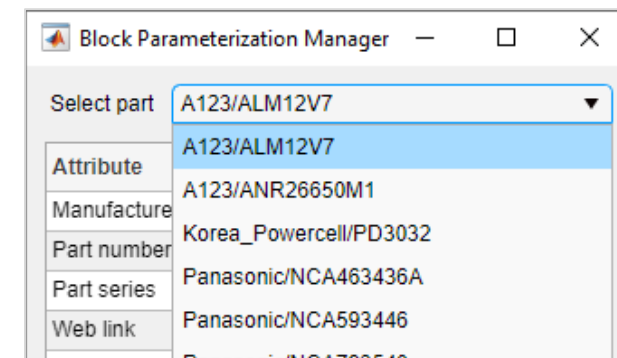
Modelování sestavy bateriových článků

- Topologie sestavy bateriových článků

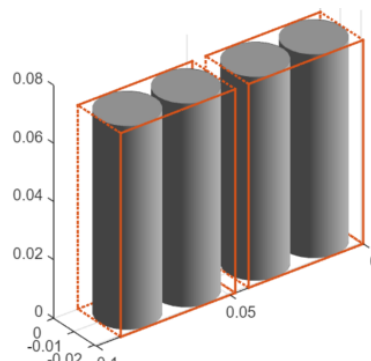
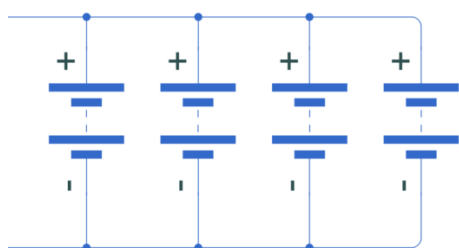


Simscape Battery – Battery Pack Builder

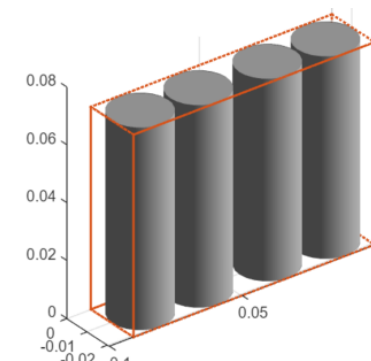
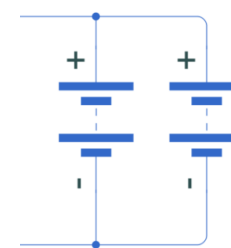
- Automatické skládání bateriové sestavy
 - elektrotermální vlastnosti článků z databáze
 - geometrie (válec, kvádr, ...) a topologie sestavení
 - spojení do modulů a sestav
- Úprava chování článků
 - samo-vybíjení, dynamika nabíjení, stárnutí baterie
- Nastavení kompromisu mezi rychlostí simulace úrovní detailu



Detailní



Seskupené

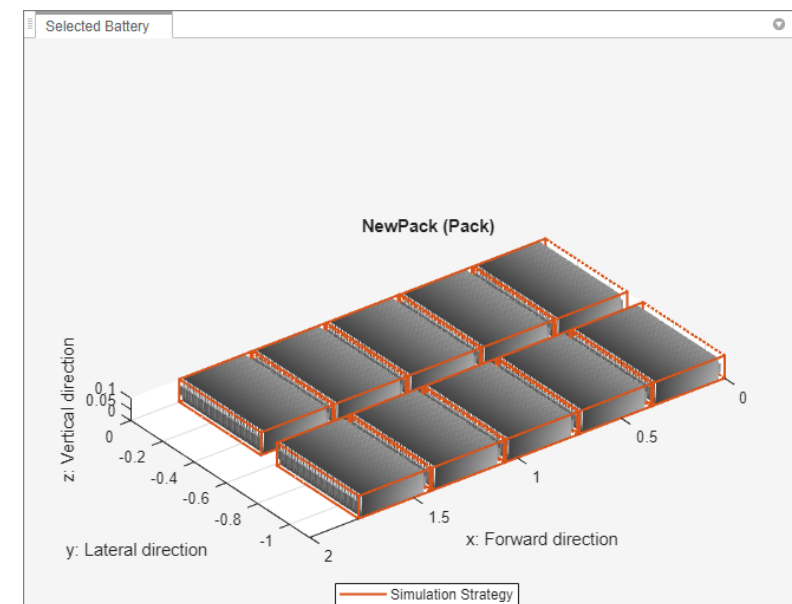
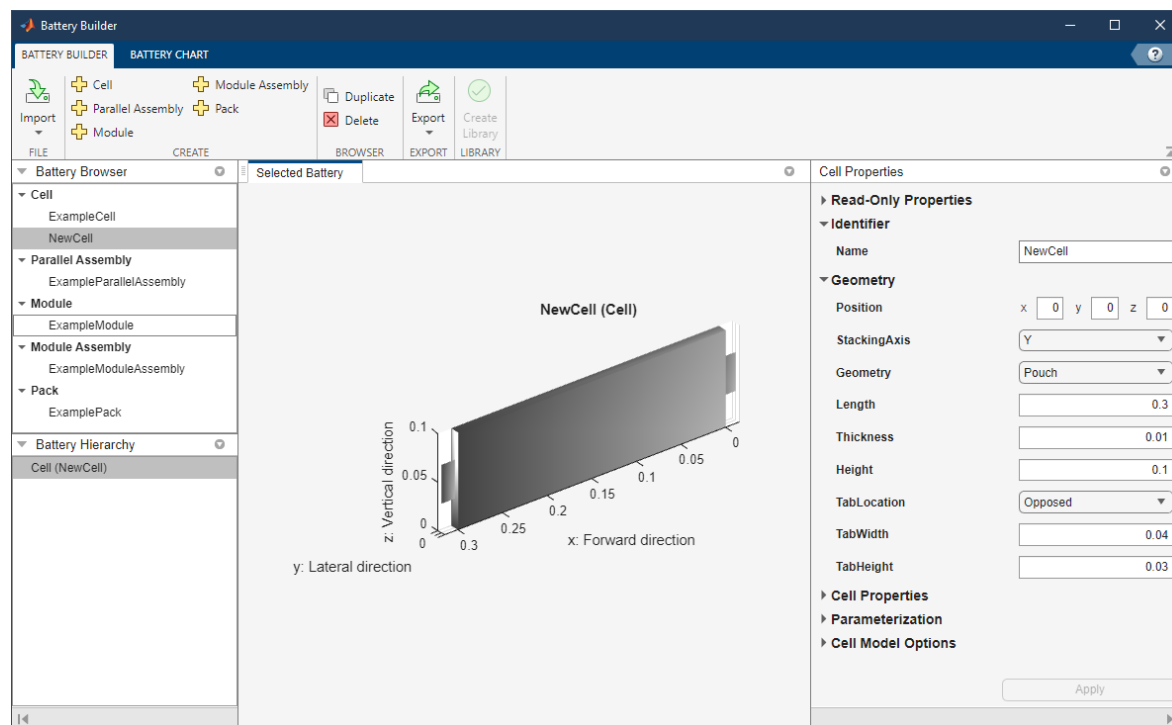


Soustředěné



Ukázka: Vytvoření sestavy bateriových článků

- Využití grafické aplikace Battery Builder pro vytvoření sestavy

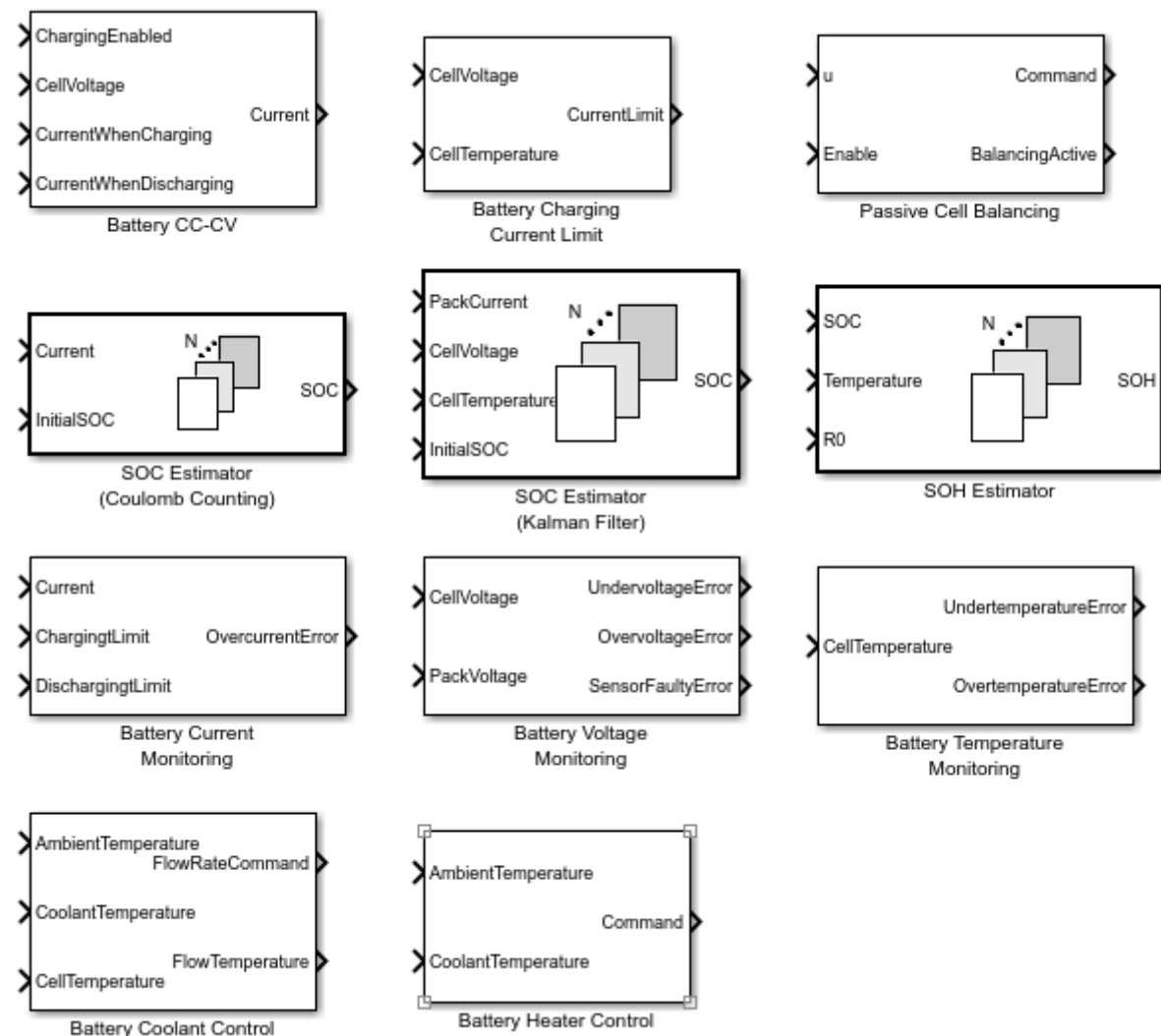


Vývoj algoritmů pro Battery Management System (BMS)

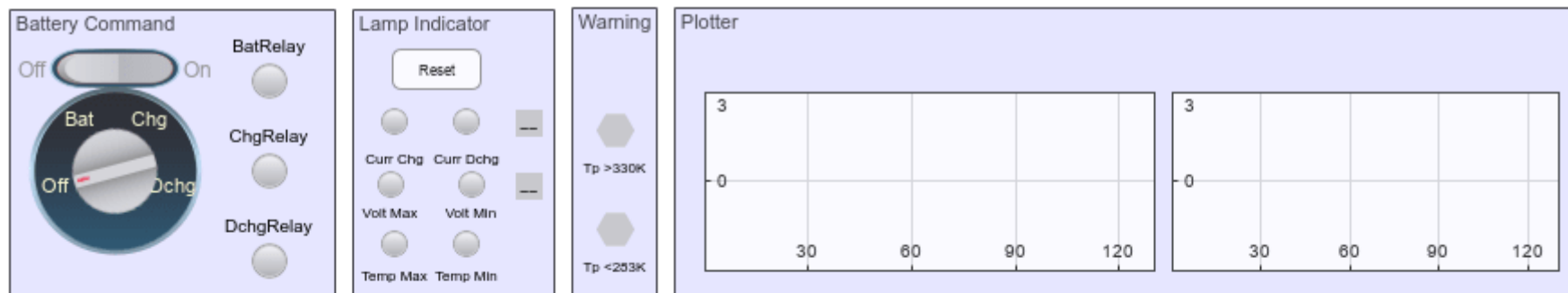
- K čemu slouží BMS
 - monitorování napětí a teploty článků
 - odhad stavu nabití baterie (SOC) a její kondice (SOH)
 - omezení vstupního a výstupního výkonu pro tepelnou ochranu a ochranu proti přebíjení
 - řízení profilu nabíjení
 - vyvážení stavu navití jednotlivých článků v sestavě
 - nouzové odpojení bateriové sestavy od zátěže
- Simulink poskytuje nástroje pro
 - modelování baterie
 - modelování výkonové elektroniky, která propojuje baterii a BMS
 - vývoj systému řídicí logiky a detekce poruch
 - návrh pozorovatele stavu pro odhad SOC a SOH

Algoritmy Simscape Battery pro návrh BMS

- Nabíjení a vybíjení
 - CC-CV, omezení proudu
 - vyvážení nabití článků
- Odhad SOC a SOH
 - integrace proudu (coulomb counting)
 - Kalmanovi filtry
- Ochrana
 - proud, napětí, sledování teploty
 - kvalifikace poruch
- Tepelný management
 - řízení chlazení a ohřevu



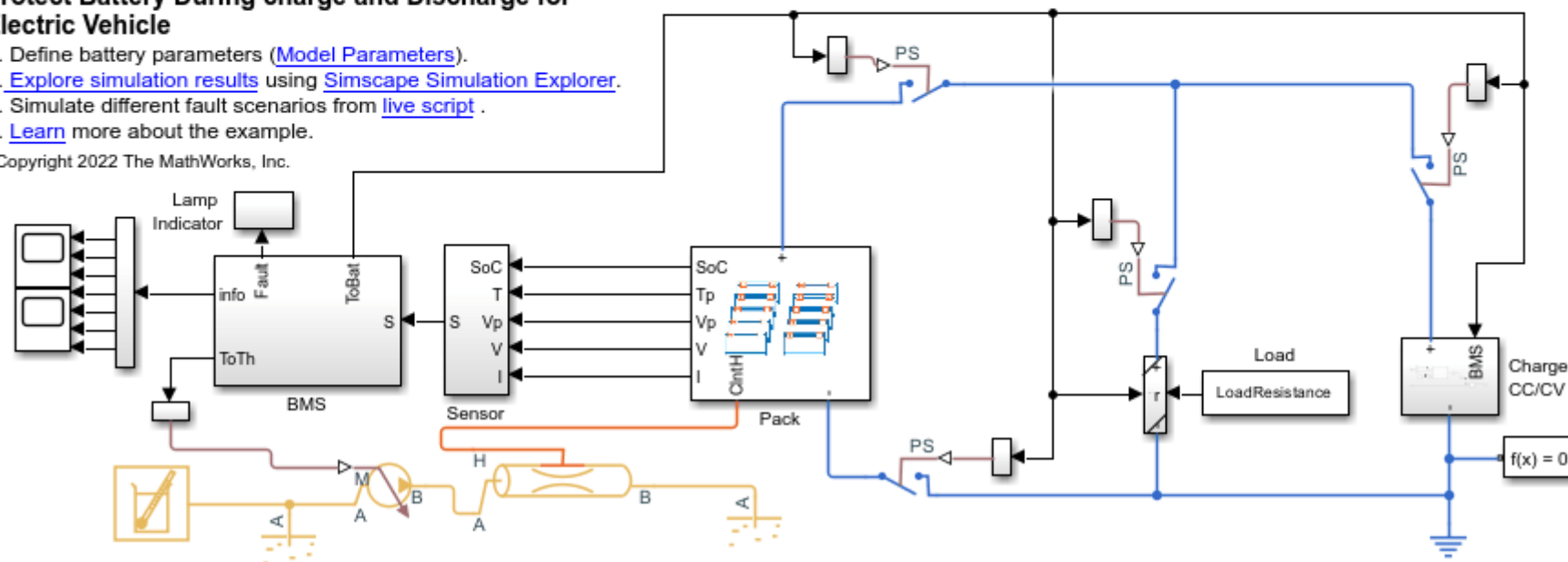
Ukázka: Ochrana baterie EV při nabíjení a vybíjení



Protect Battery During charge and Discharge for Electric Vehicle

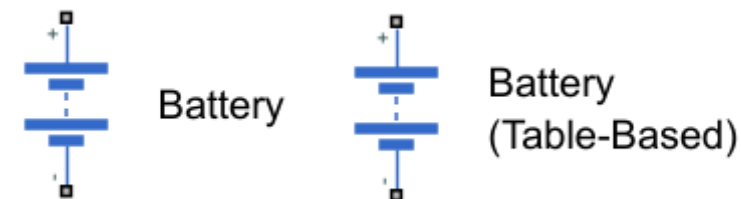
1. Define battery parameters ([Model Parameters](#)).
2. [Explore simulation results](#) using [Simcape Simulation Explorer](#).
3. Simulate different fault scenarios from [live script](#).
4. [Learn](#) more about the example.

Copyright 2022 The MathWorks, Inc.



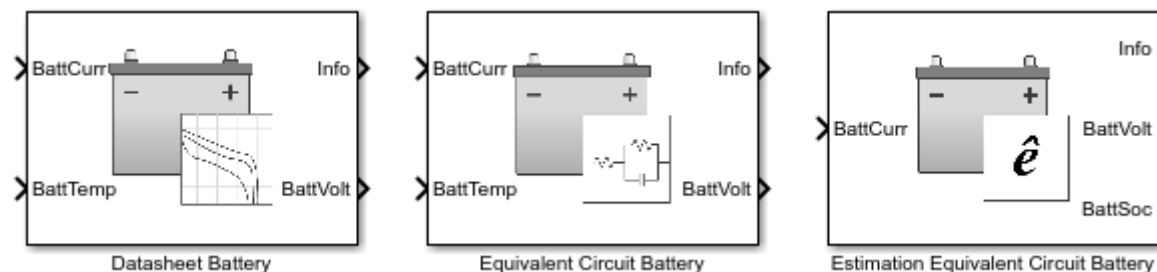
Modely baterie v dalších nástrojích

- Simscape Electrical
 - stejné základní modely baterie jako v Simscape Battery

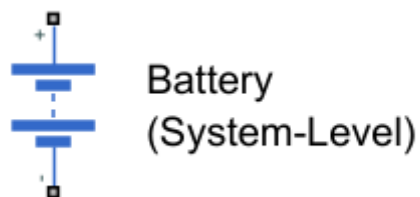


- Jednodušší modely baterie jsou dostupné i některých dalších nástrojích:

- Powertrain Blockset

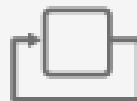


- Simscape Driveline



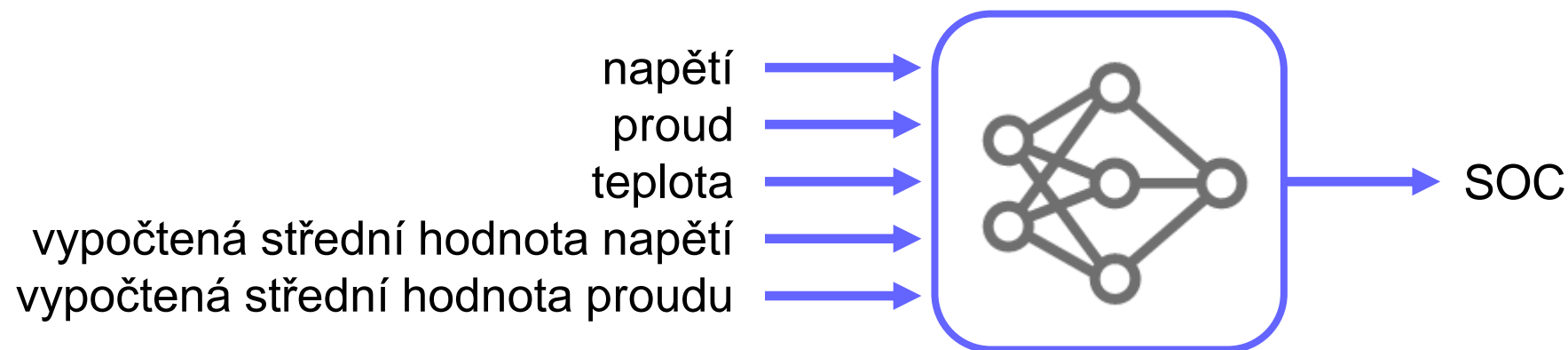
Využití AI v oblasti elektrických systémů

- Redukované modely (ROM - Reduced Order Modeling)
- Virtuální senzory
- Řídicí systémy založené na AI
- Předpovídání spotřeby, dodávky a cen energií
- Prediktivní údržba systémů



Využití AI pro odhad SOC

- Odhad SOC pomocí neuronové sítě
 - učení na základě laboratorně změřených údajů z reálné baterie



Příklady a další možnosti modelování v oblasti baterií

- Prediktivní údržba
 - odhad zbývající životnosti baterie metodami machine learning (regresní model)
 - odhad zbývající životnosti baterie metodami deep learning (CNN)
- Reduced Order Modeling
 - náhrada fyzikálního modelu baterie neuronovou sítí
- Techno-ekonomické modelování
 - řízení nabíjení mnoha připojených EV k sítí individuálně pro dosažení optimálních výsledků

Uživatelská reference

Mahindra Electric Uses System-Level Simulation to Optimize Battery Thermal Management System for an Electric Vehicle

Challenge

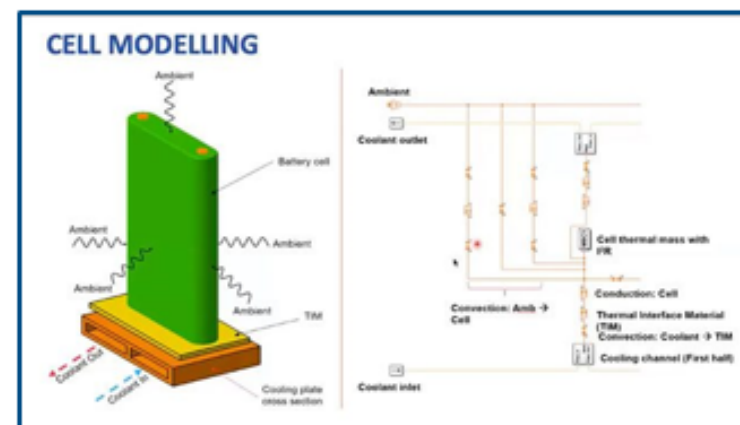
Develop new logic for better energy efficiency of an EV battery thermal management system

Solution

Create and validate a system-level simulation model for an electric vehicle and tune parameters to optimize energy efficiency

Key Outcomes

- Created and validated a system-level simulation model for an electric vehicle with battery, cooling circuit, refrigeration circuit, vehicle, and driver
- Developed concepts and tuned parameters to choose the best components at its best operating point
- Developed new compressor operation logic and tested it for better energy efficiency



Cell modeling with thermal behavior.

“1D simulation has been used in Mahindra Electric to optimize the BTMS. In this system model, the battery, cooling circuit, and refrigeration circuit were effectively implemented using Simscape. The vehicle, driver, and equivalent circuit model were implemented on the Simulink platform.”

- Vipin K. Venugopal, Mahindra Electric

Otázky?