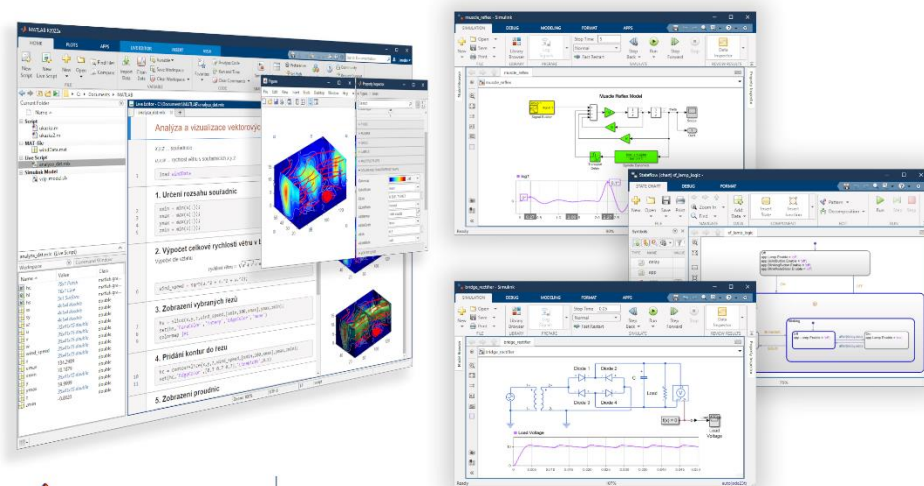


## Obnovitelné zdroje energie



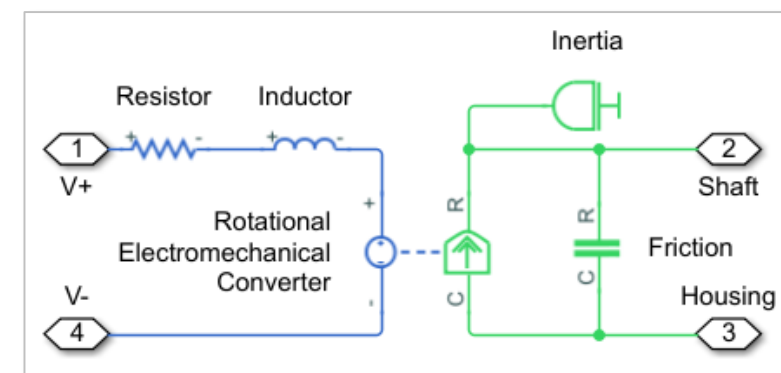
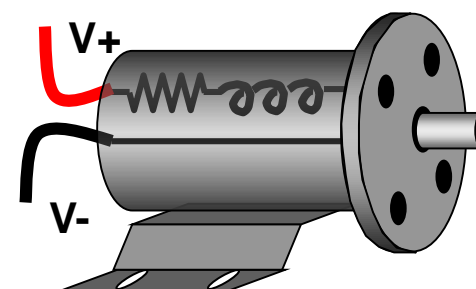
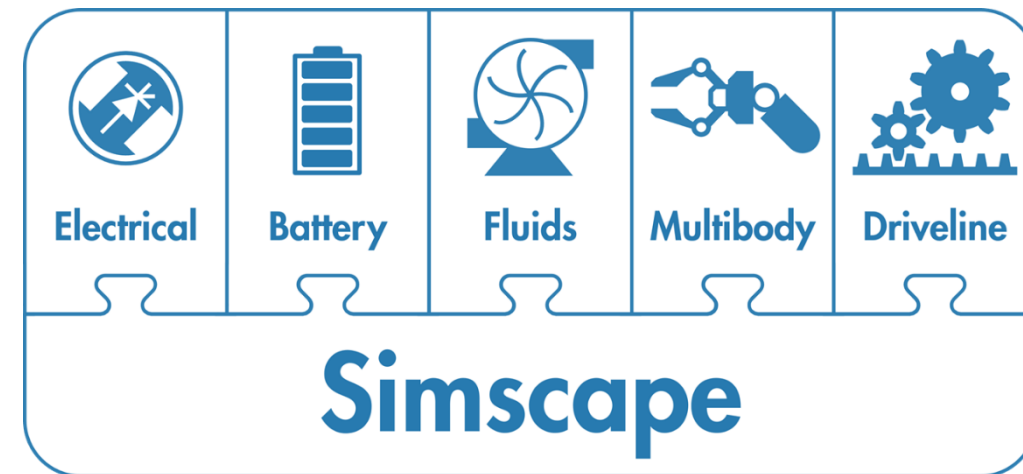
Anna Tocháčková  
annat@humusoft.cz

[www.humusoft.cz](http://www.humusoft.cz)  
[info@humusoft.cz](mailto:info@humusoft.cz)

[www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)

# Simscape

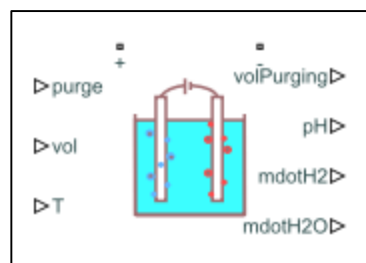
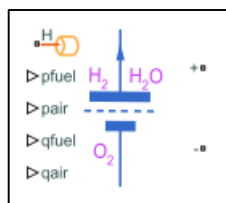
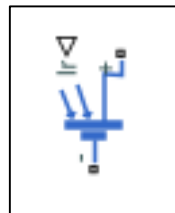
- Fyzikální modelování (akauzální) multi-fyzikálních systémů
  - sestavení schématu
  - rovnice odvozovány automaticky
  - využití prostředí MATLAB a Simulink
- S nástrojem Simscape můžete
  - analyzovat požadavky na systém
  - včas odhalit problémy s integrací
  - navrhnout řídicí systémy
  - optimalizovat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



# Speciální bloky pro modelování systémů OZE

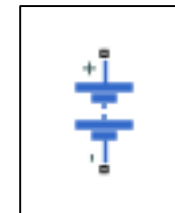
## Simscape Electrical

- Solar Cell
- Fuel Cell
- Electrolyzer



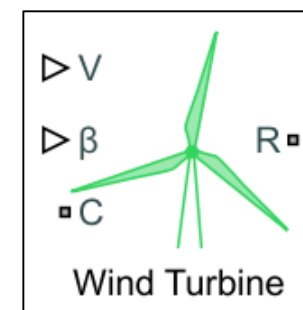
## Simscape Battery

- Battery
- Battery (Table-Based)



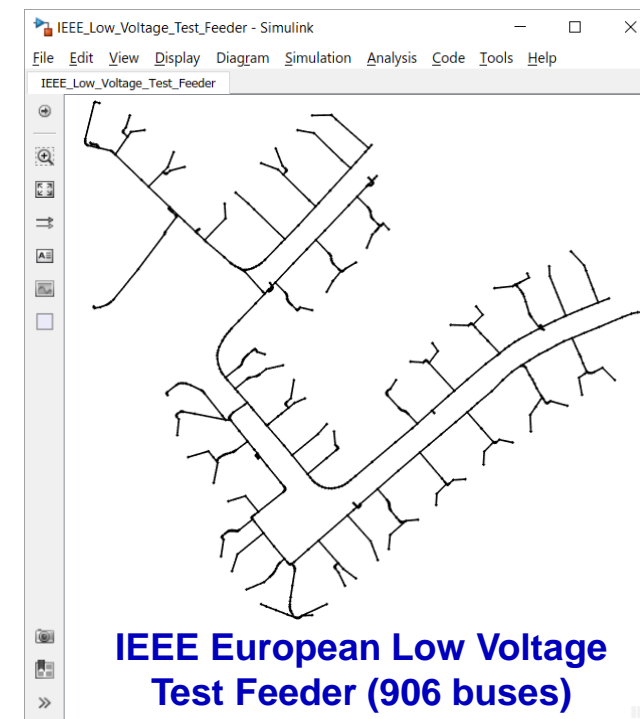
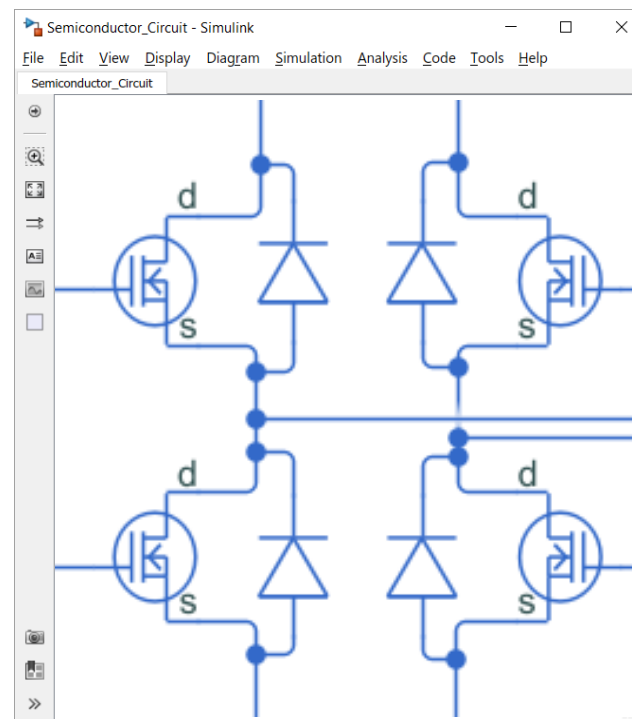
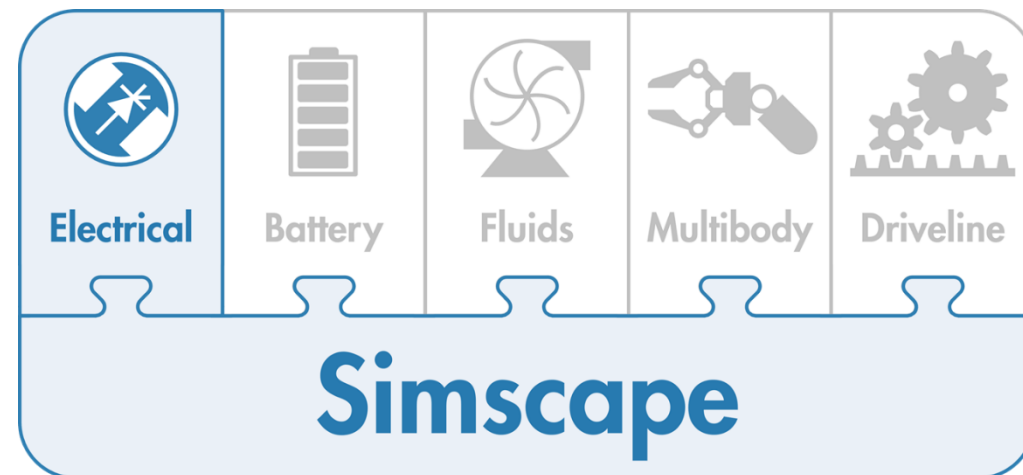
## Simscape Driveline

- Wind Trubine



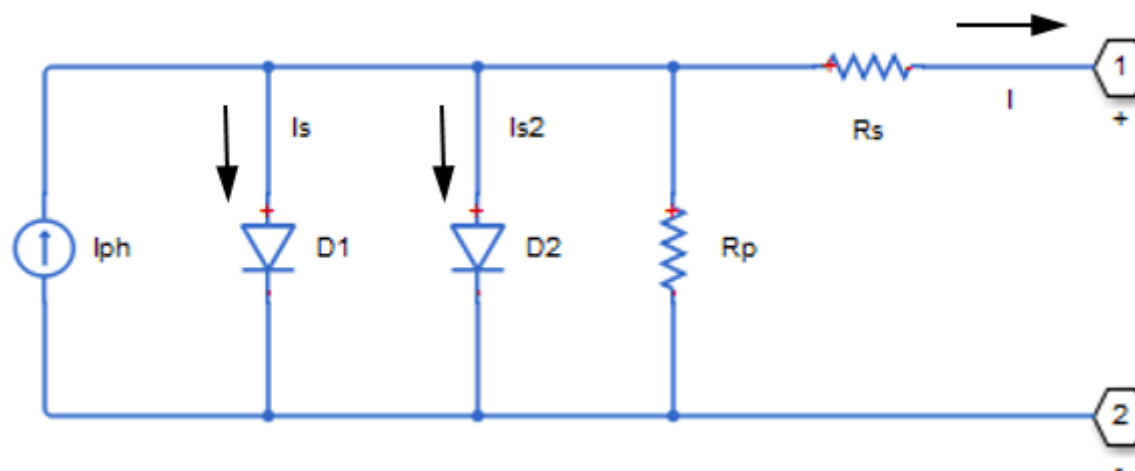
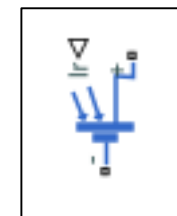
# Simscape Electrical

- 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

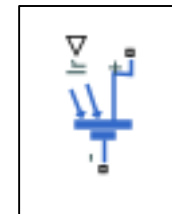


# Solar Cell

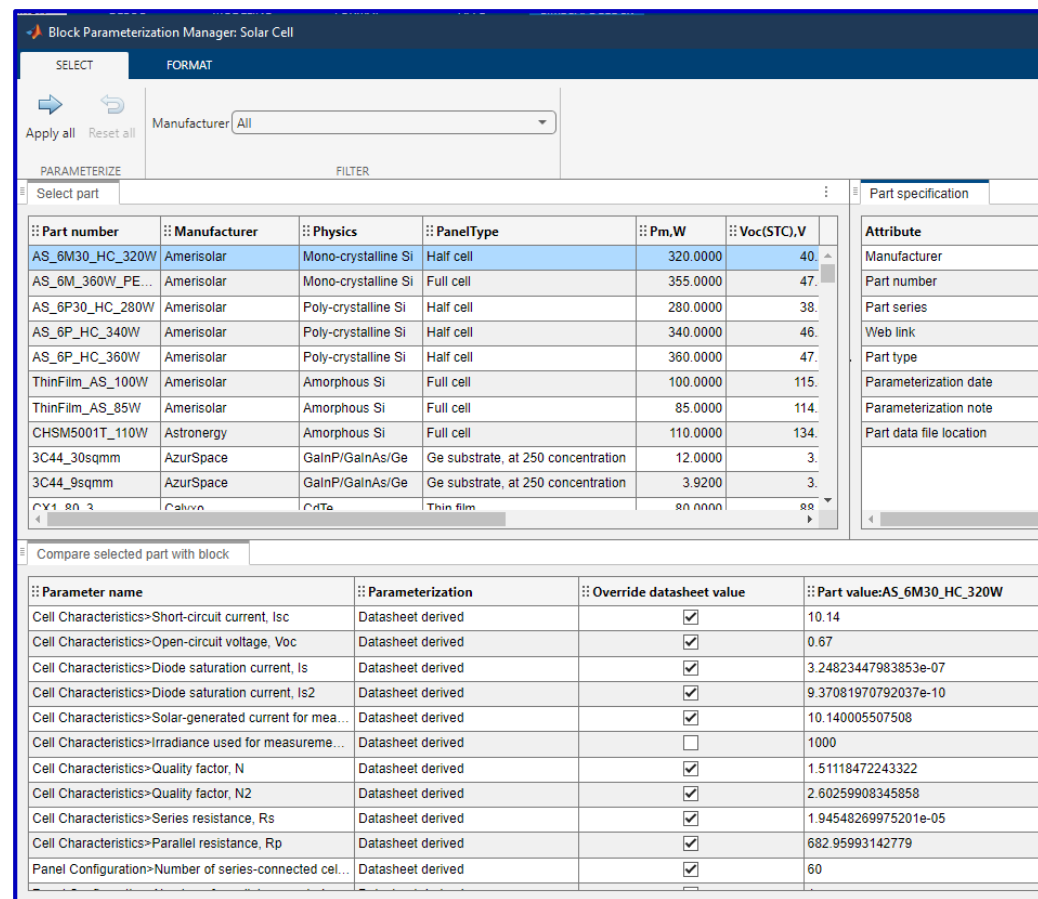
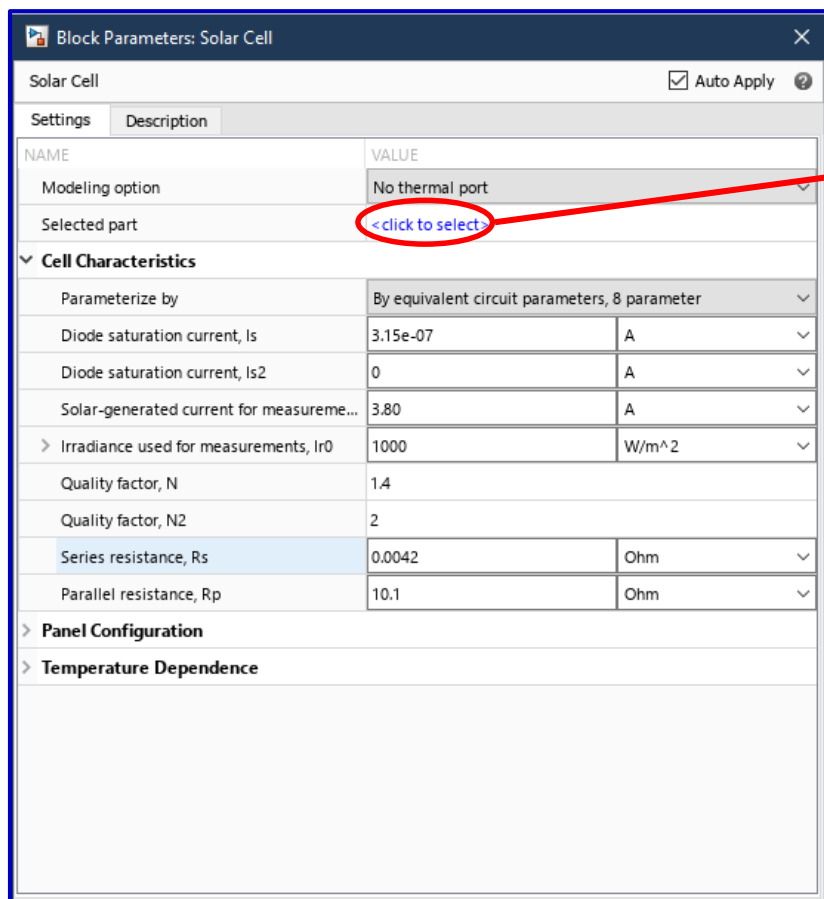
- Solární panel jako zdroj proudu
- Komponenty bloku:
  - Proud generovaný slunečním zářením
  - Závislost parametrů na teplotě
  - Thermal Port - modeluje účinky generovaného tepla a teplotu zařízení
  - “Předparametrizace”



# Solar Cell – “předparametrizace”



- Možnost parametrizovat blok přednastavenými daty od výrobců
  - Jinko Solar, Mitsubishi Electrical, JA Solar, Astroenergy, Amerisolar,...

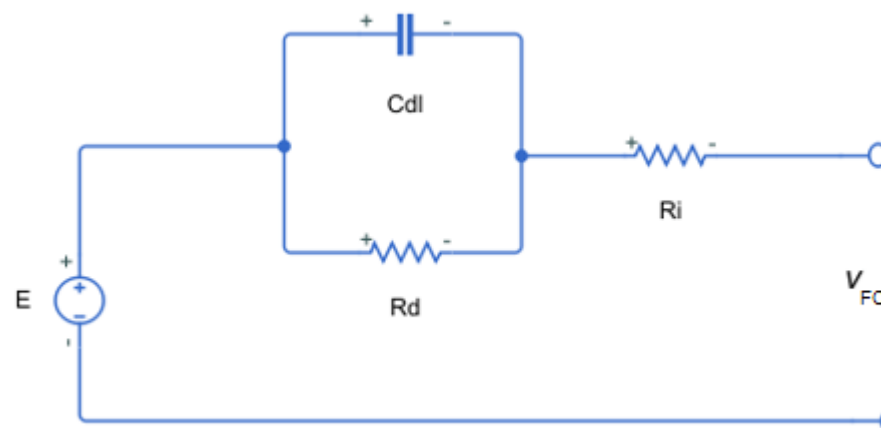
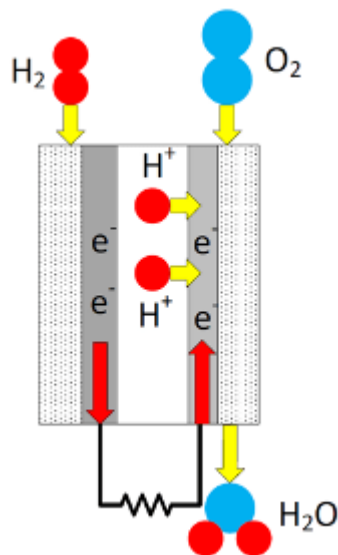
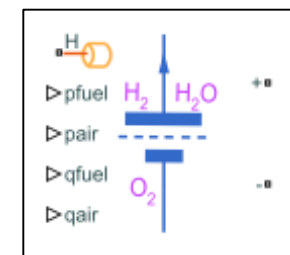


# Пříklad 1

## Solar Cell Power Curve

# Fuel Cell

- Model vodíkového palivového článku
  - **Simplified:** napětí v závislosti na nominálních podmínkách
  - **Detailed:** napětí v závislosti na tlaku a průtoku vodíku a vzduchu
  - Možnost modelovat aktivační dynamiku



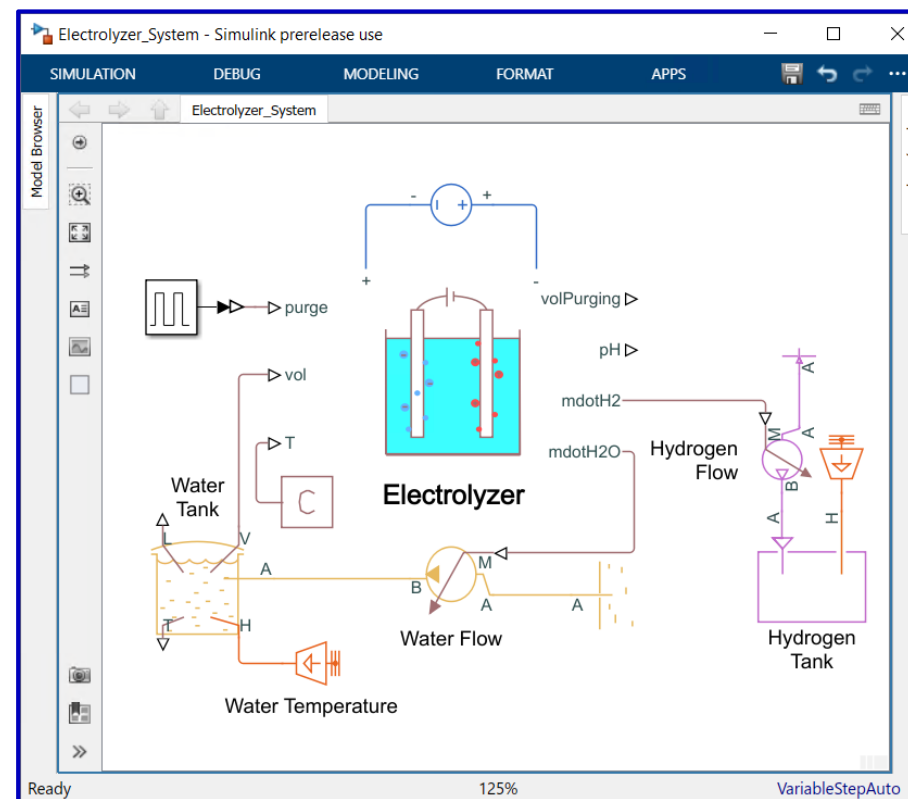
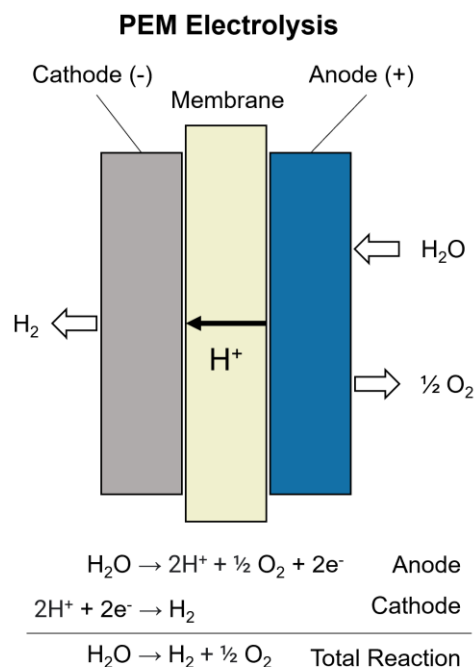
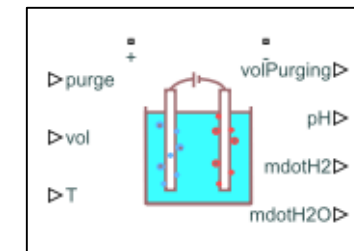


# Příklad 2

## Fuel Cell System

# Electrolyzer

- Modeluje elektrolyzér jako zátěž (load)
  - Vypočítá množství vyprodukovaného H<sub>2</sub> v závislosti na množství spotřebované elektřiny a teplotě vody

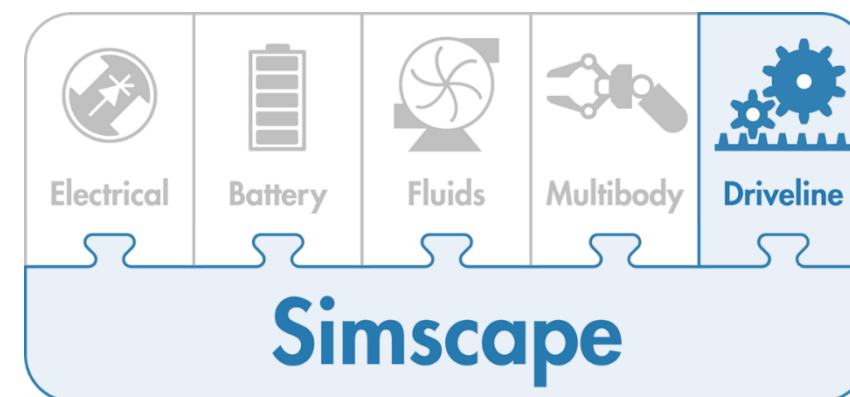
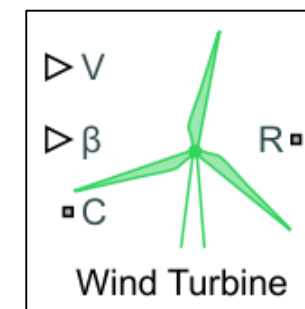


# Příklad 3

## Green Hydrogen Microgrid

# Wind Turbine

- Model jednotlivých turbín, nebo celé větrné farmy
- Můžete analyzovat:
  - výkon turbíny
  - výrobu energie
  - vliv různých geometrií, konfigurací, řídicích algoritmů,...

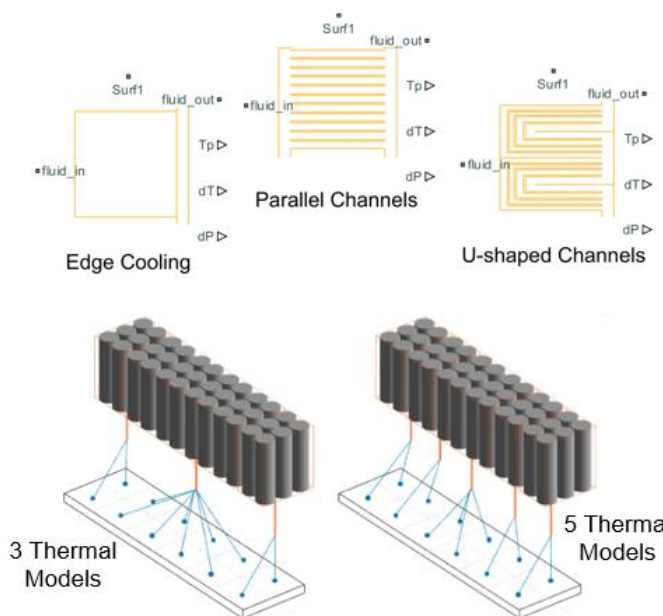
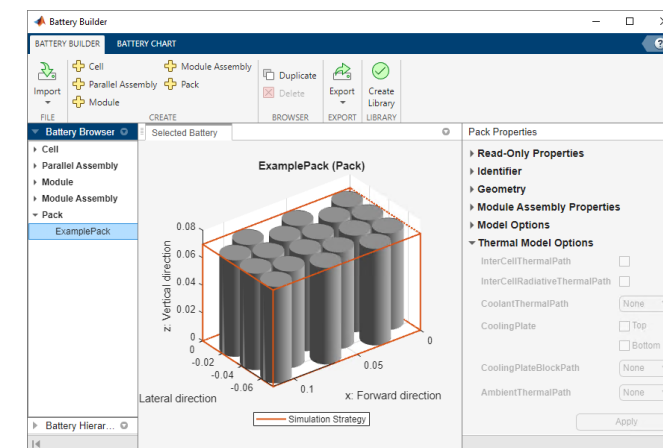


# Příklad 4

## Wind Turbine

# 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



# Blok Battery – modely článku

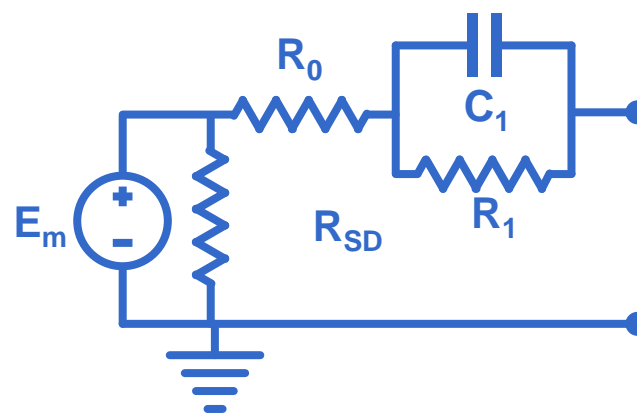
- Ekvivalentní obvod
- Behaviorální model
  - OCV počítáno z rovnice
- Tabulkový model
  - OCV počítáno z tabulky (stav nabití a teplota)
  - Databáze parametrů od výrobců
- Další děje
  - Dynamika nabíjení/vybíjení, samovybíjení, ztráta kapacity (fade), stárnutí
  - Tepelné závislosti
    - Teplota baterie je počítána z ohmických ztrát



Battery



Battery  
(Table-  
Based)



Block Parameterization Manager	
Select part	A123/ALM12V7
Attribute	A123/ALM12V7
Manufacture	A123/ANR26650M1
Part number	Korea_Powercell/PD3032
Part series	Panasonic/NCA463436A
Web link	Panasonic/NCA593446
	Panasonic/NCA702540

▼ Dynamics	
Charge dynamics	Three time-constant dynamics ▼
▼ Fade	
Fade characteristics defined by	Lookup tables (temperature dependent) ▼
▼ Calendar Aging	
Internal resistance calendar aging	Enabled ▼
Capacity calendar aging	Enabled ▼
> Thermal	

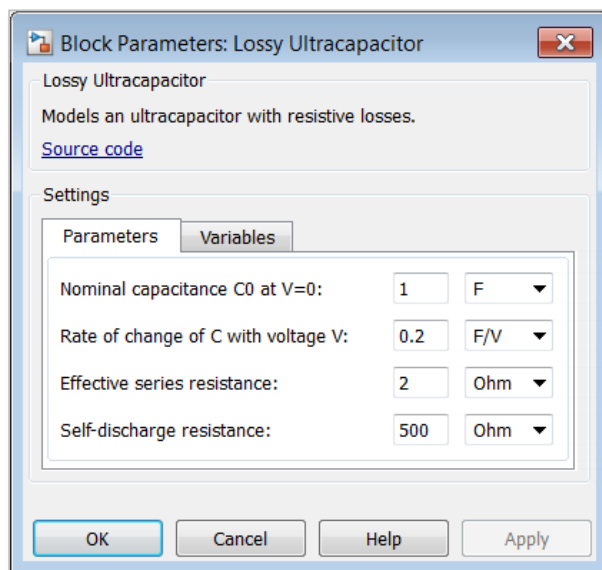
# Příklad 5

## Green Hydrogen Microgrid



# Jazyk Simscape pro modelování vlastních komponent

- Jazyk na bázi MATLABu pro textovou tvorbu domén, komponent a knihoven fyzikálního modelování
  - Využívá MATLAB
  - OOP pro opakované použití modelu
  - Generuje bloky pro Simscape



```

MATLAB
Editor - C:\MyComponents\LossyUltraCapacitor.ssc
1 component LossyUltraCapacitor
2 % Lossy Ultracapacitor
3 % Models an ultracapacitor with resistive losses.
4 nodes
5     p = foundation.electrical.electrical; % +:top
6     n = foundation.electrical.electrical; % -:bottom
7 end
8 parameters
9     C0 = { 1, 'F' }; % Nominal capacitance C0 at V=0
10    Cv = { 0.2, 'F/V' }; % Rate of change of C with voltage V
11    R = { 2, 'Ohm' }; % Effective series resistance
12    Rd = { 500, 'Ohm' }; % Self-discharge resistance
13 end
14 variables
15    i = { 0, 'A' }; % Current through variable
16    v = { 0, 'V' }; % Voltage across variable
17    vc = { 0, 'V' }; % Capacitor voltage
18 end
19 function setup
20     if R <= 0
21         error('Resistance must be greater than zero' )
22     end
23 end
24 branches
25    i : p.i -> n.i; % Through variable i from node p to node
26 end
27 equations
28    v == p.v - n.v; % Across variable v from p to n
29    i == (C0 + Cv*v)*vc.der + vc/Rd; % Equation 1
30    v == vc + i*R; % Equation 2
31 end
32 end
    
```



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

# Jazyk Simscape – MEA PEM palivového článku

## equations

```

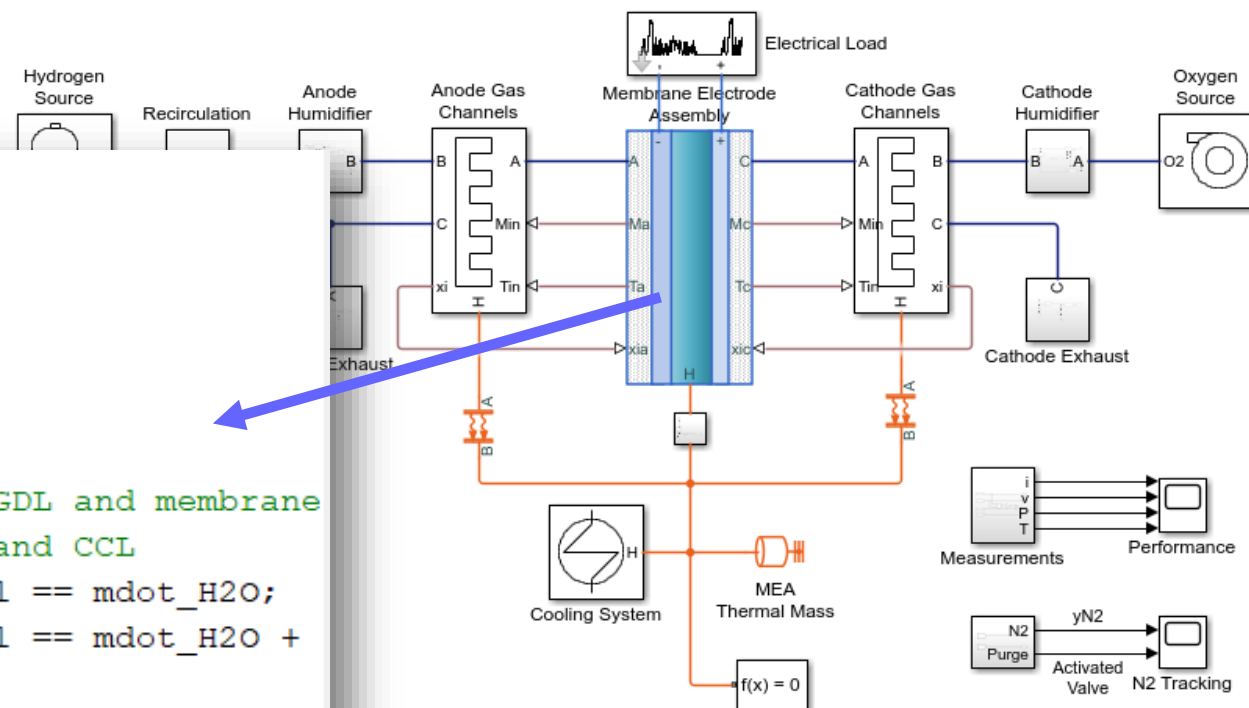
% Stack voltage
v == N_cell * v_total;

% Heat generated
-Q == power_dissipated;

% Equate water vapor mass flow rates at GDL and membrane
% to solve for relative humidity at ACL and CCL
nflux_H2O_A * MW_H2O * area_cell * N_cell == mdot_H2O;
nflux_H2O_C * MW_H2O * area_cell * N_cell == mdot_H2O +

% Assign mass flow rate to the internal moisture source
% to model transport of water across membrane
transport_H2O_A.M == -mdot_H2O;
transport_H2O_C.M == mdot_H2O;
transport_H2O_A.T == T_stack;
transport_H2O_C.T == T_stack;

```



>>openExample('simscape/PEMFuelCellSystemExample')

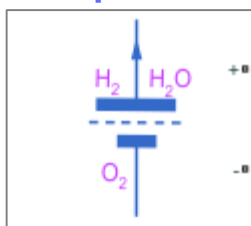
# Příklad 6

## PEM Fuel Cell System

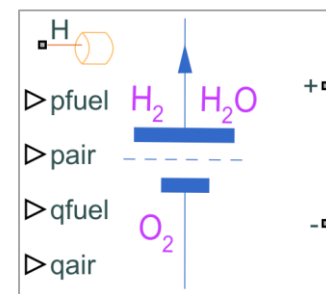
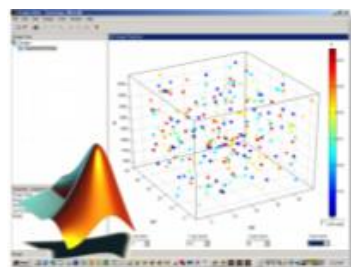
# Možnost volby komplexnosti modelu

Výpočetní čas

Křivka závislosti napětí na proudu



Model ve formě tabulky bez dynamiky



Detailní matematický model bez dynamiky

Detailní model včetně dynamiky proudění plynů

Míra detailnosti a komplexnosti modelu

Děkuji za pozornost.