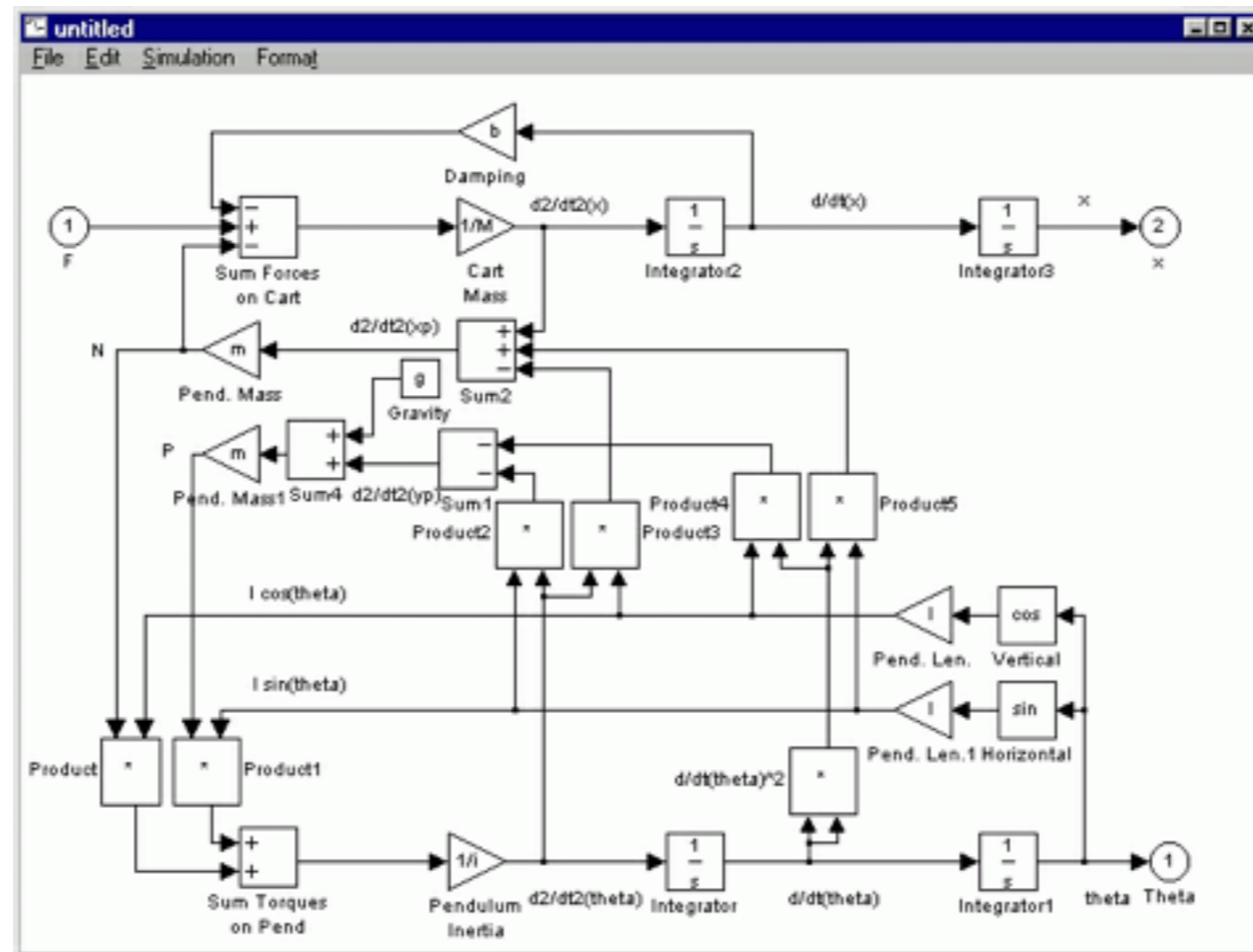


# LECTURE 1: Introduction

Modeling and Simulation 2

*Daniel Georgiev*

Winter 2014



M&S is not ...

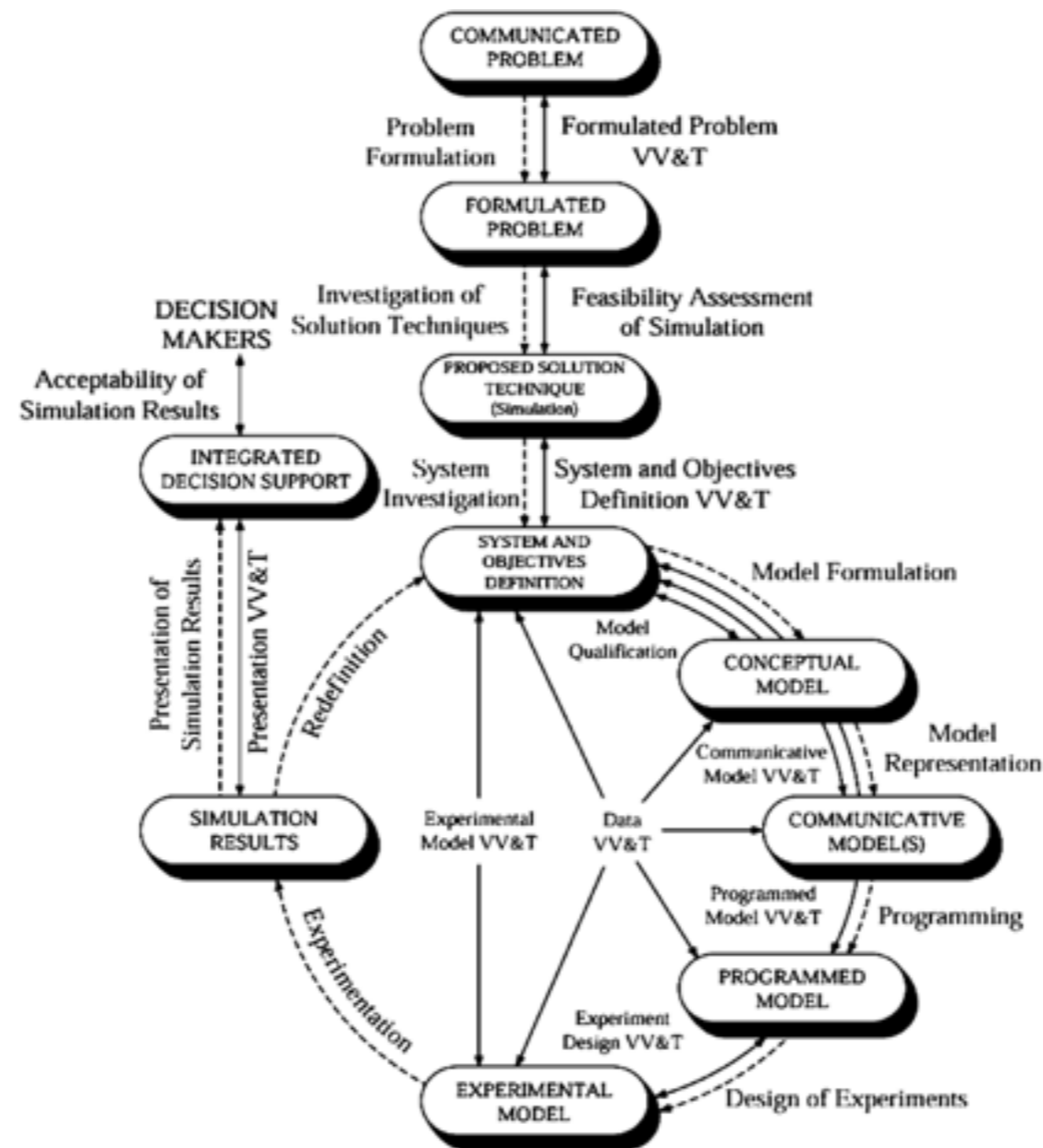
formulace problému

možné řešení

průzkum systému

formulace modelu

matematické vyjádření



programování

návrh experimentů

exekuce experimentů

analýza a prezentace

simulace

M&S is a process

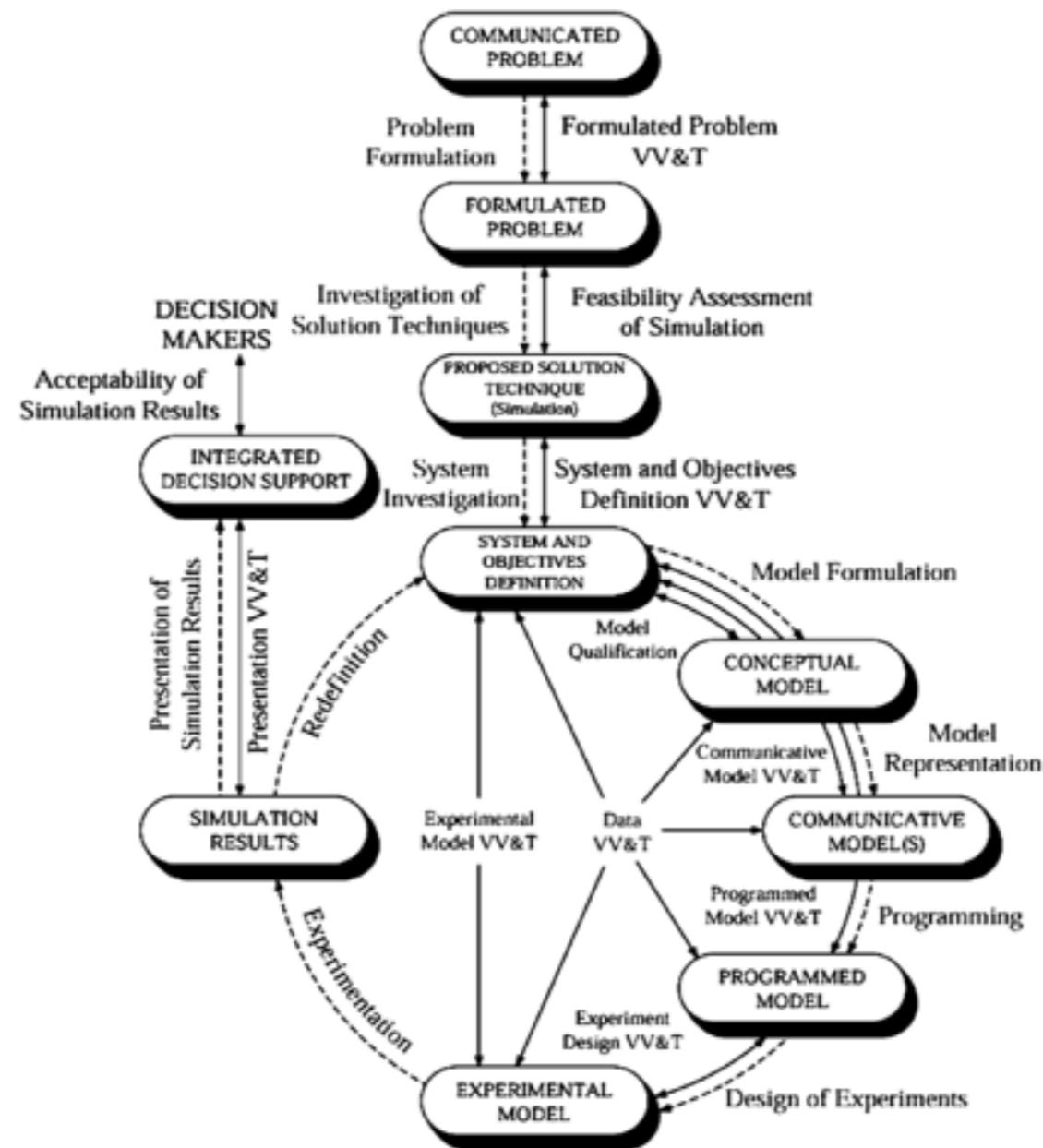
formulace problému

možné řešení

průzkum systému

formulace modelu

matematické vyjádření



programování

návrh experimentů

exekuce experimentů

analýza a prezentace

simulace

M&S is a process

*PREMISE* - v jedné kompletní větě popište

- 1) současný stav bez simulačních nástrojů
- 2) požadavky na simulační nástroj
- 2) stav po vývoji simulačního nástroje

FORMULACE PROBLÉMU

*PREMISE* - v jedné kompletní větě popište

- 1) současný stav bez simulačních nástrojů
- 2) požadavky na simulační nástroj
- 2) stav po vývoji simulačního nástroje

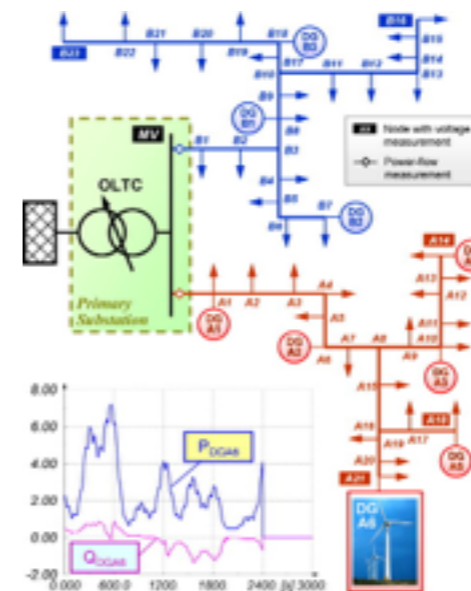
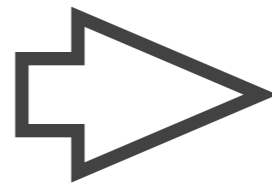
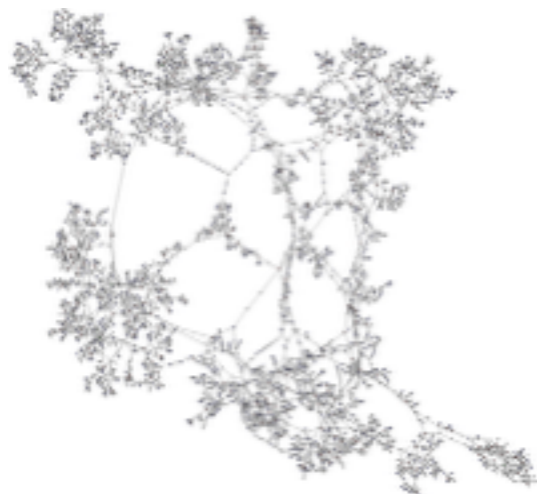
The smartphone frees your stuffed pockets by combining music, telecommunication, and personal computation utilities in a one easy to carry device.



# FORMULACE PROBLÉMU

# VLASTNOSTI - charakterizujte parametry problému

- 1) *VĚROHODNOST* - nelineární -> linearizované
- 2) *GRANULARITA* - dynamické jevy -> ustálený
- 3) *ŠKÁLA* - přenosové soustavy -> distribuce stav



# PRŮZKUM SYSTÉMU

# KONCEPT - schéma systému které popisuje

- 1) důležité moduly (komponenty, části, subsystémy, které mají jasné rozhraní, autonomitu, závislost na zbytek systému)
- 2) protokoly (pravidla, podle kterých se budují závislosti mezi moduly)

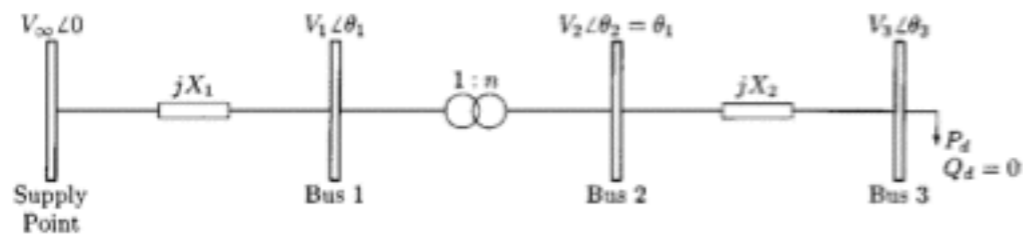
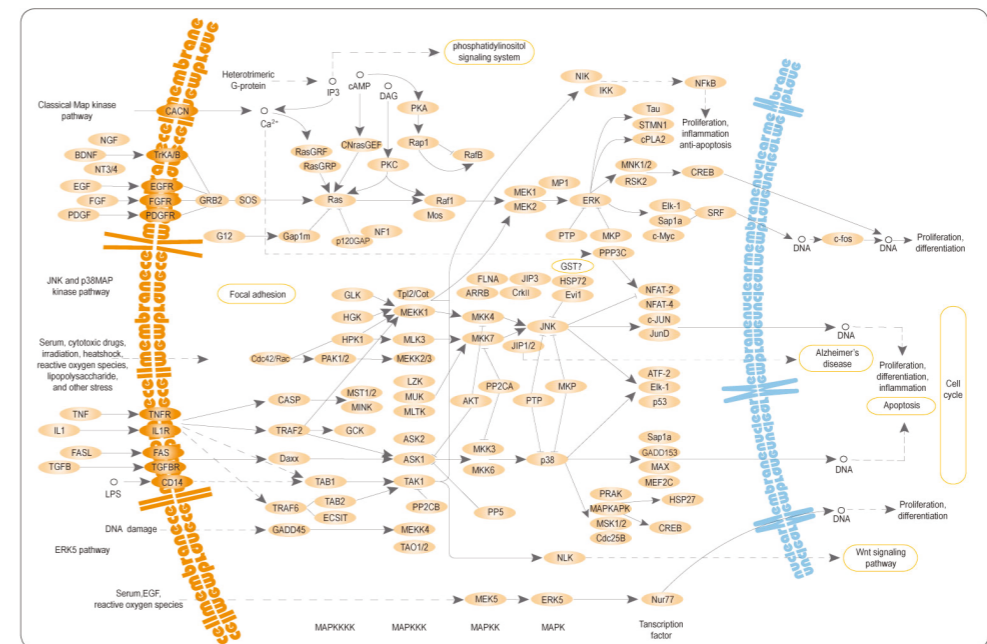


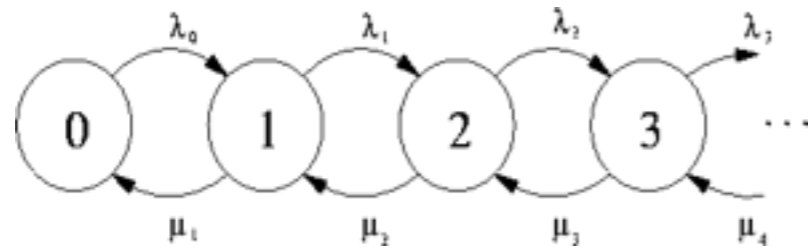
Fig. 11. Power system of Example 3.



# FORMULACE MODELU



# FORMALIZACE - přesné vyjádření systémového chování



$$\frac{\partial P(\vec{X}, t | \vec{X}_0, t_0)}{\partial t} = \sum_{j=1}^M [a_j(\vec{X} - \vec{v}_j)P(\vec{X} - \vec{v}_j, t | \vec{X}_0, t_0) - a_j(\vec{X})P(\vec{X}, t | \vec{X}_0, t_0)]. \quad (6)$$

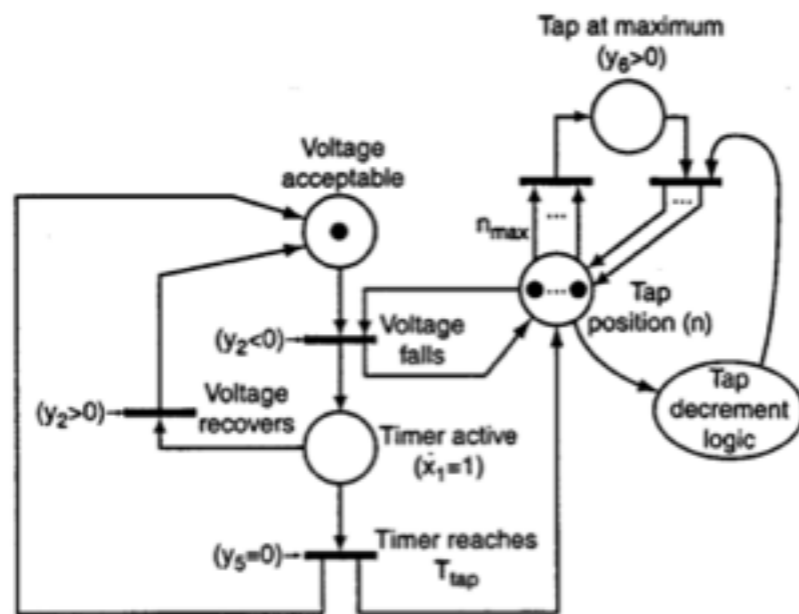
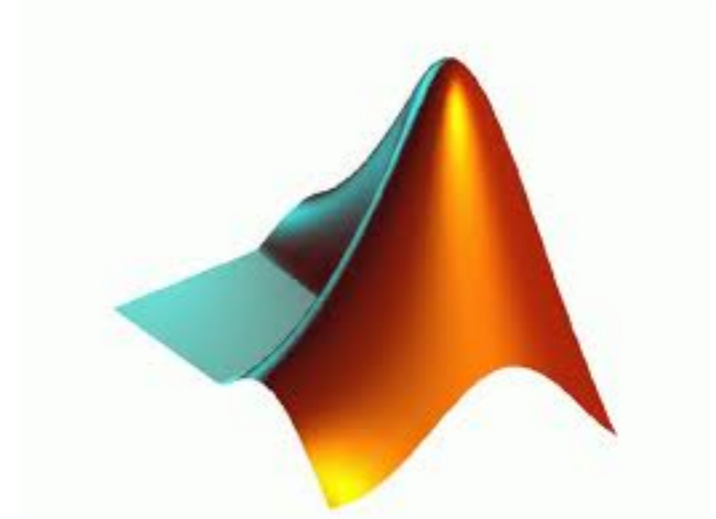


Fig. 1. Tap-changing transformer AVR logic for increasing tap.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= y_1 y_7 \\ 0 &= y_2 - V_2 + V_{low} \\ 0 &= y_3 - y_4 + z_1 \\ 0 &= y_6 - n + n_{max} - n_{step}/2 \\ 0 &= n V_1 - V_2 \\ 0 &= y_1 - 1 && y_2 < 0 \\ 0 &= y_1 && y_2 > 0 \\ 0 &= y_4 - x_1 \\ 0 &= y_7 - 1 && y_6 < 0 \\ 0 &= y_7 && y_6 > 0 \\ 0 &= y_5 - x_1 + z_1 + T_{tap} && y_3 < 0 \\ 0 &= y_5 - x_1 + y_4 + T_{tap} && y_3 > 0 \\ \left. \begin{aligned} z_1^+ &= x_1^- \\ n^+ &= n^- + n_{step} \end{aligned} \right\} && \text{when } y_5 = 0. \end{aligned}$$

# MATEMATICKÉ VYJÁDŘENÍ

# ALGORITHMIZACE - numerické řešení matematického modelu



# PROGRAMOVÁNÍ

*BĚH* - jedno vyhodnocení modelu

*CVIČENÍ* - série souvisejících běhů

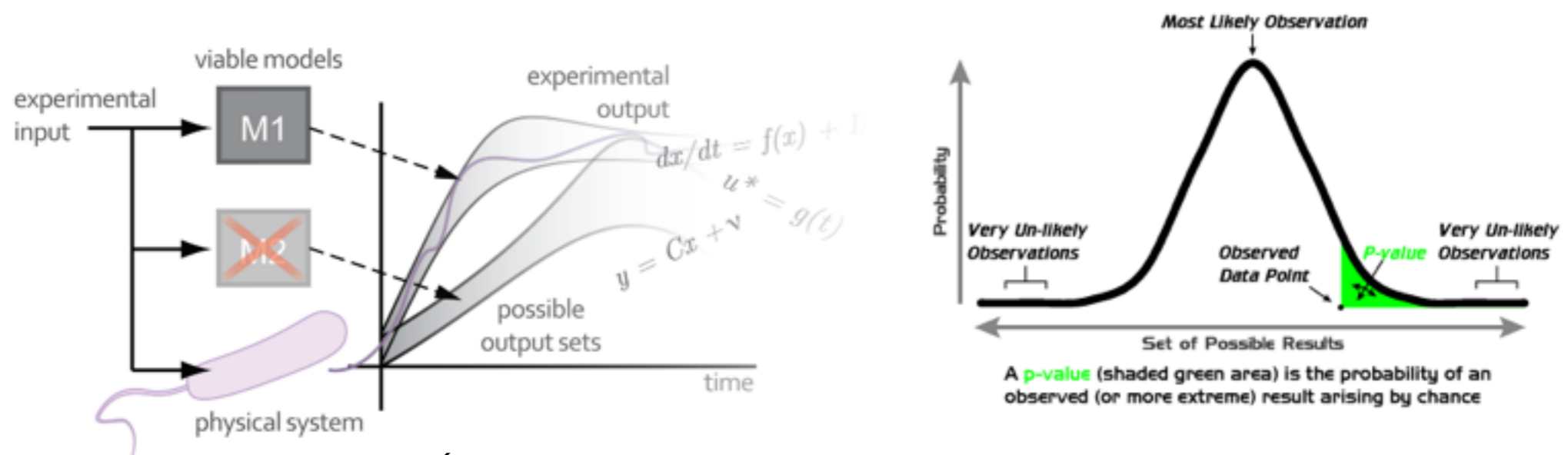
*SIMULACE* - soustava cvičení

*EXPERIMENT* - test simulace pro verifikaci/validaci

VERIFIKACE - je nástroj korektně sestaven a splňuje požadavky

VALIDACE - je nástroj dostatečně věrohodný

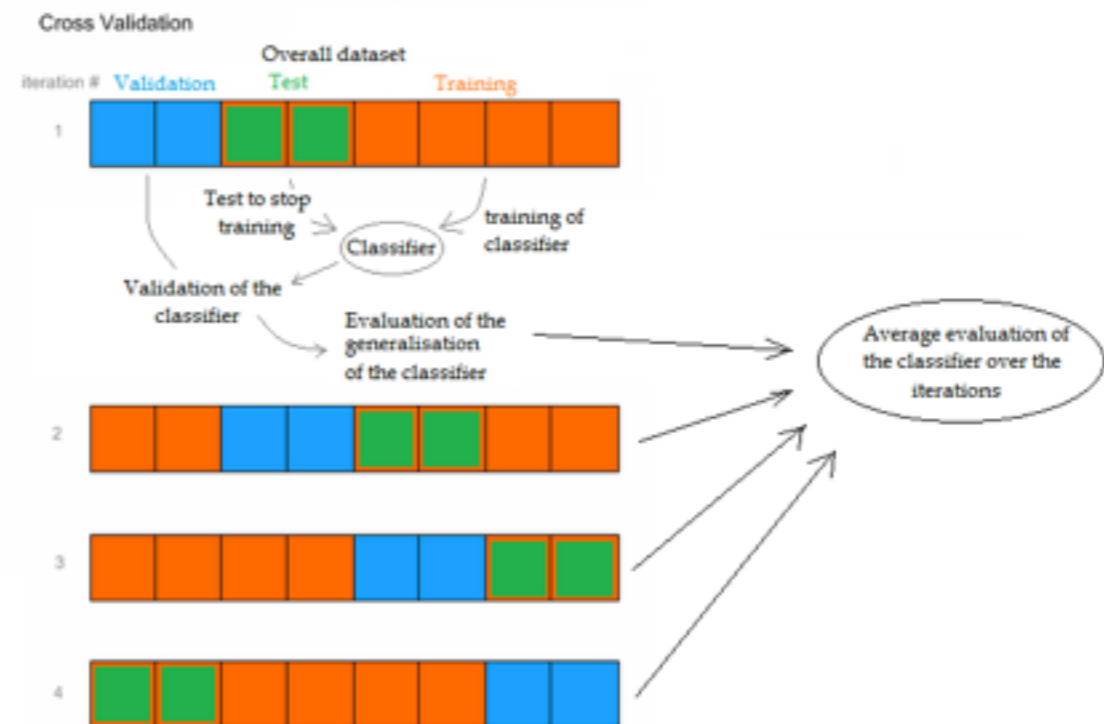
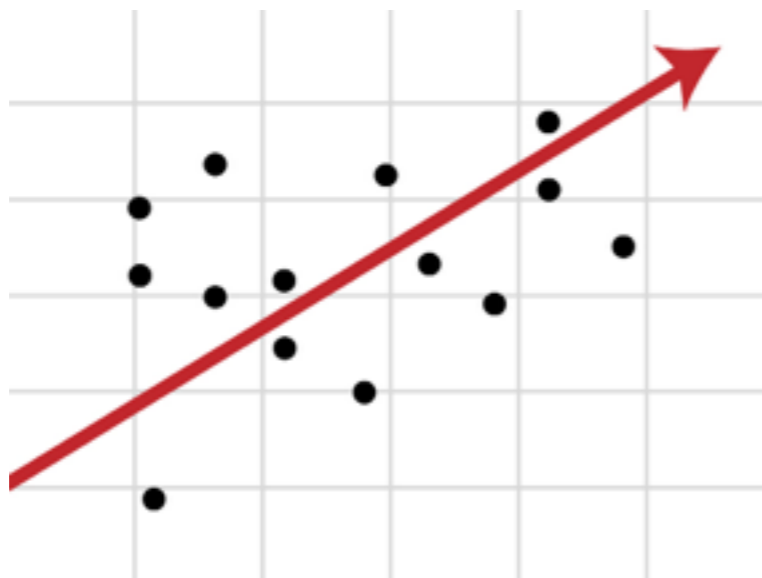
- 1) stanovení referenčního bodu
- 2) formalizace způsobu porovnání



NÁVRH/EXEKUCE  
EXPERIMENTŮ

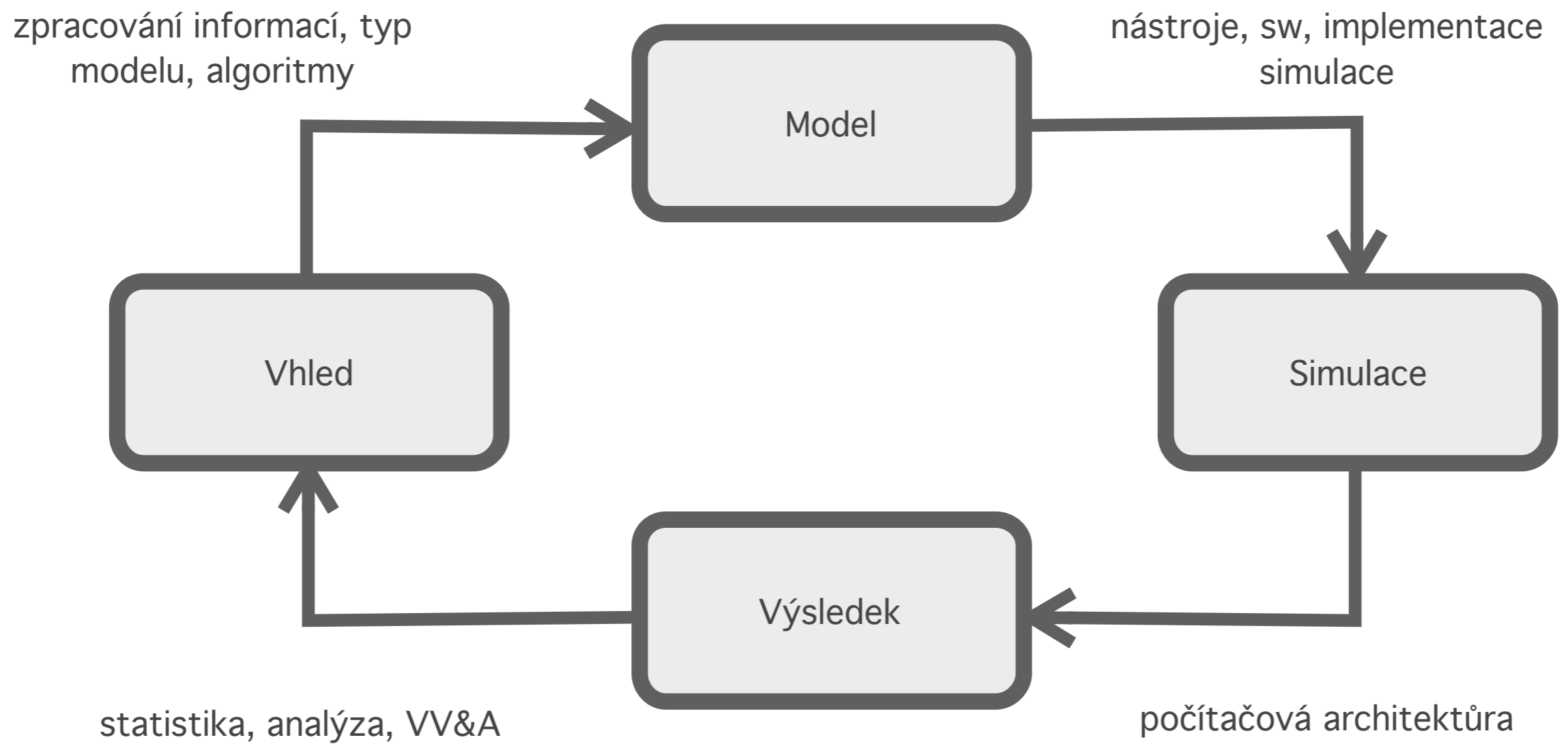
# ZNÁMKA - bodování korektnosti simulace

- 1) Výsledky experimentů (zdálenost trajektorií, pravděpodobnost neshody)
- 2) Zajištění korektnosti mimo testované podmínky (cross validation, robustness analysis)



## ANALÝZA A PREZENTACE\*

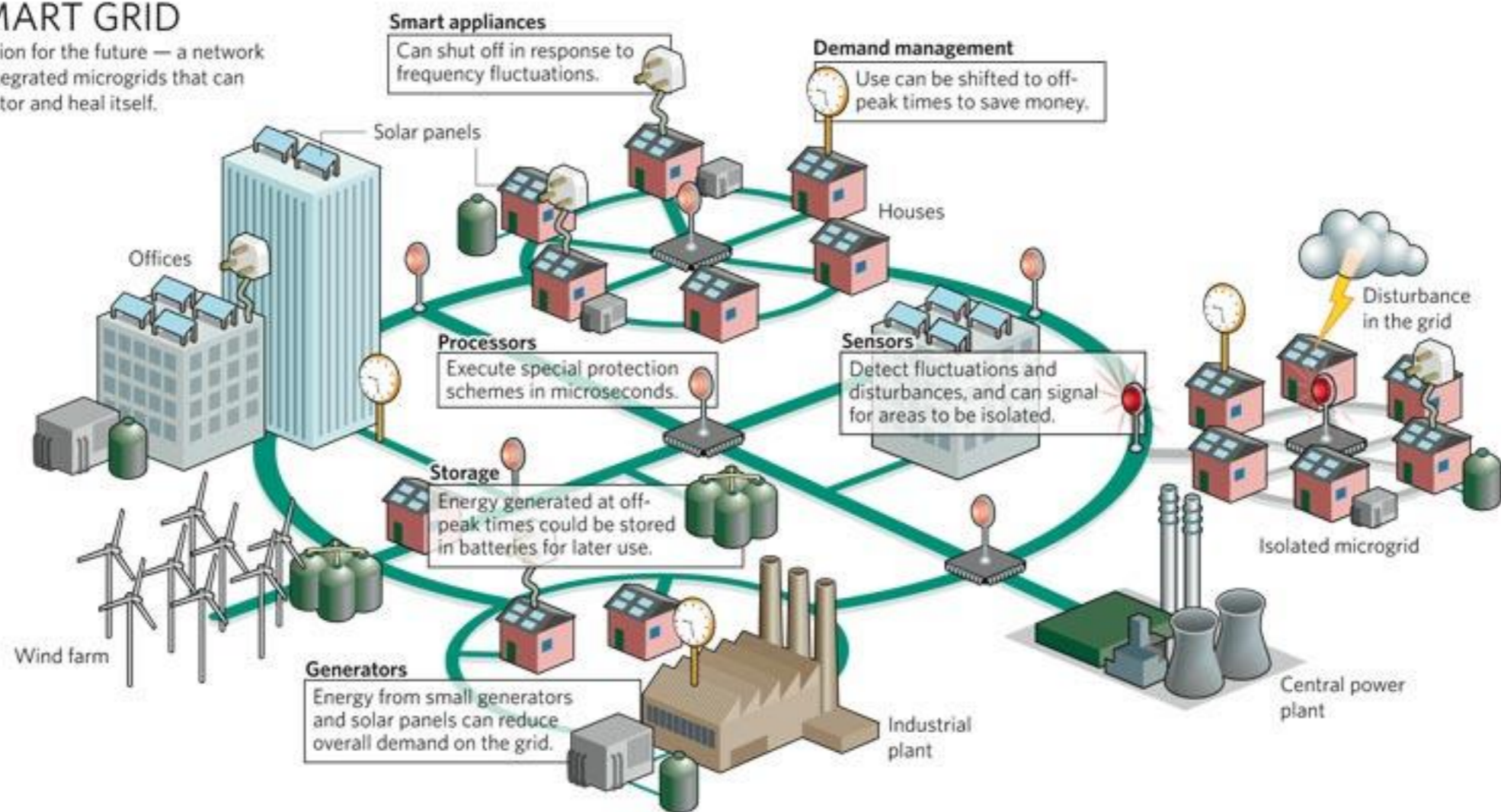
\*formát závěrečné zkoušky bude prezentace validace simulací



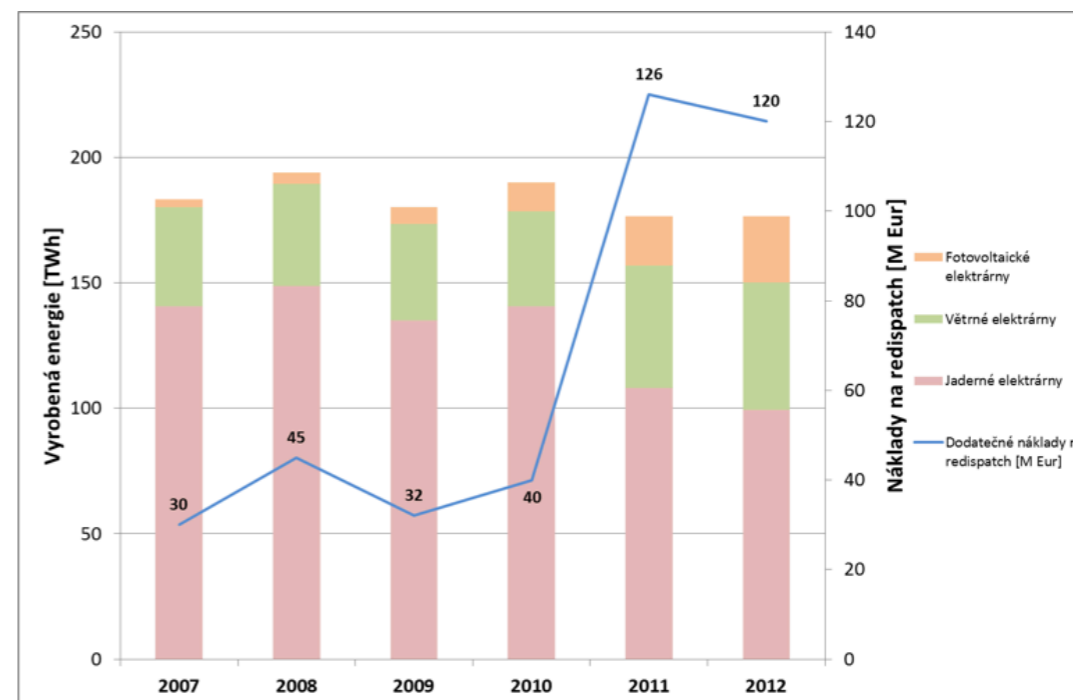
# NÁSTROJE M&S

## SMART GRID

A vision for the future — a network of integrated microgrids that can monitor and heal itself.

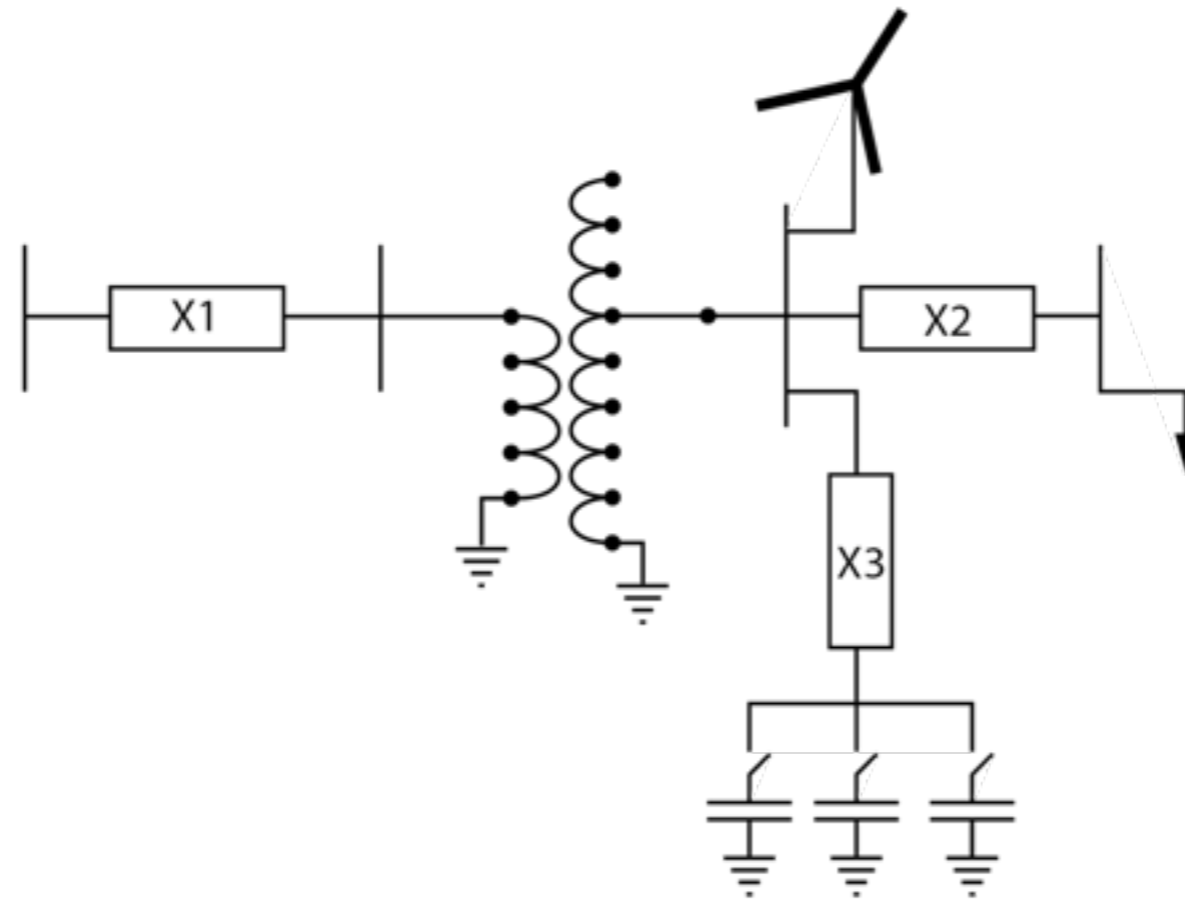


RS - SMART SÍŤĚ



RS - MOTIVACE





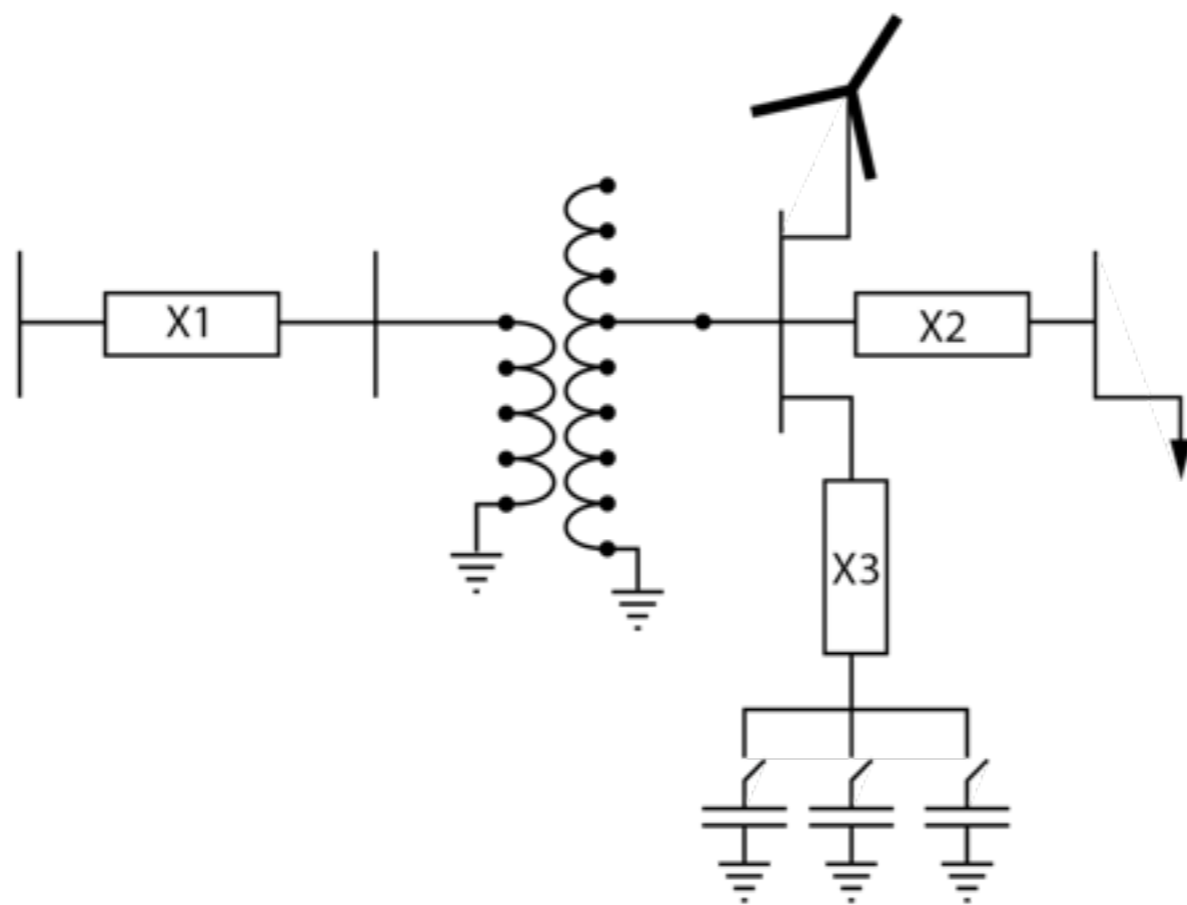
RS1 - SMART SÍŤĚ



**1**

formulace problému

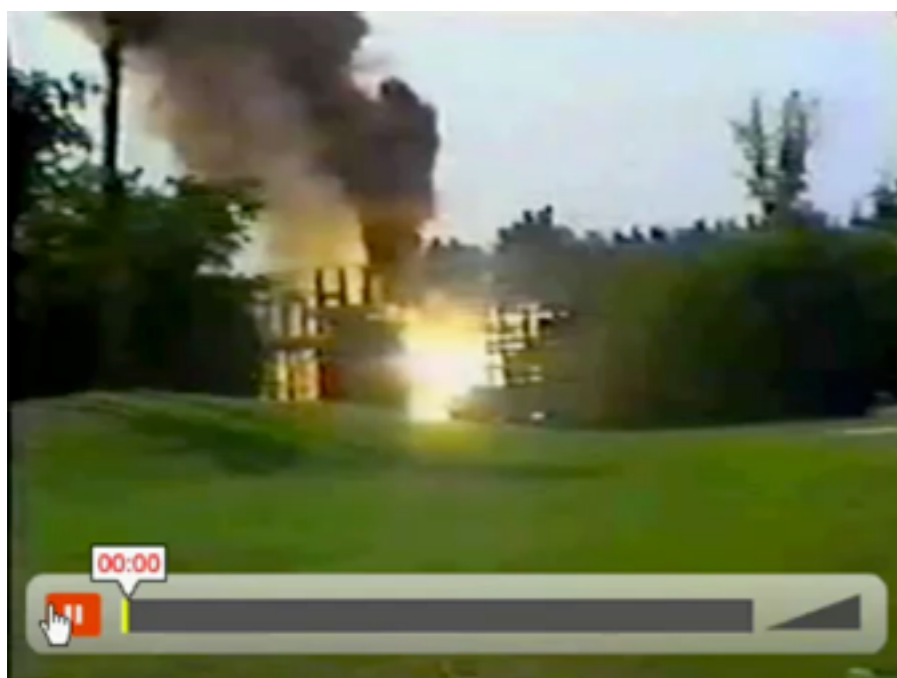
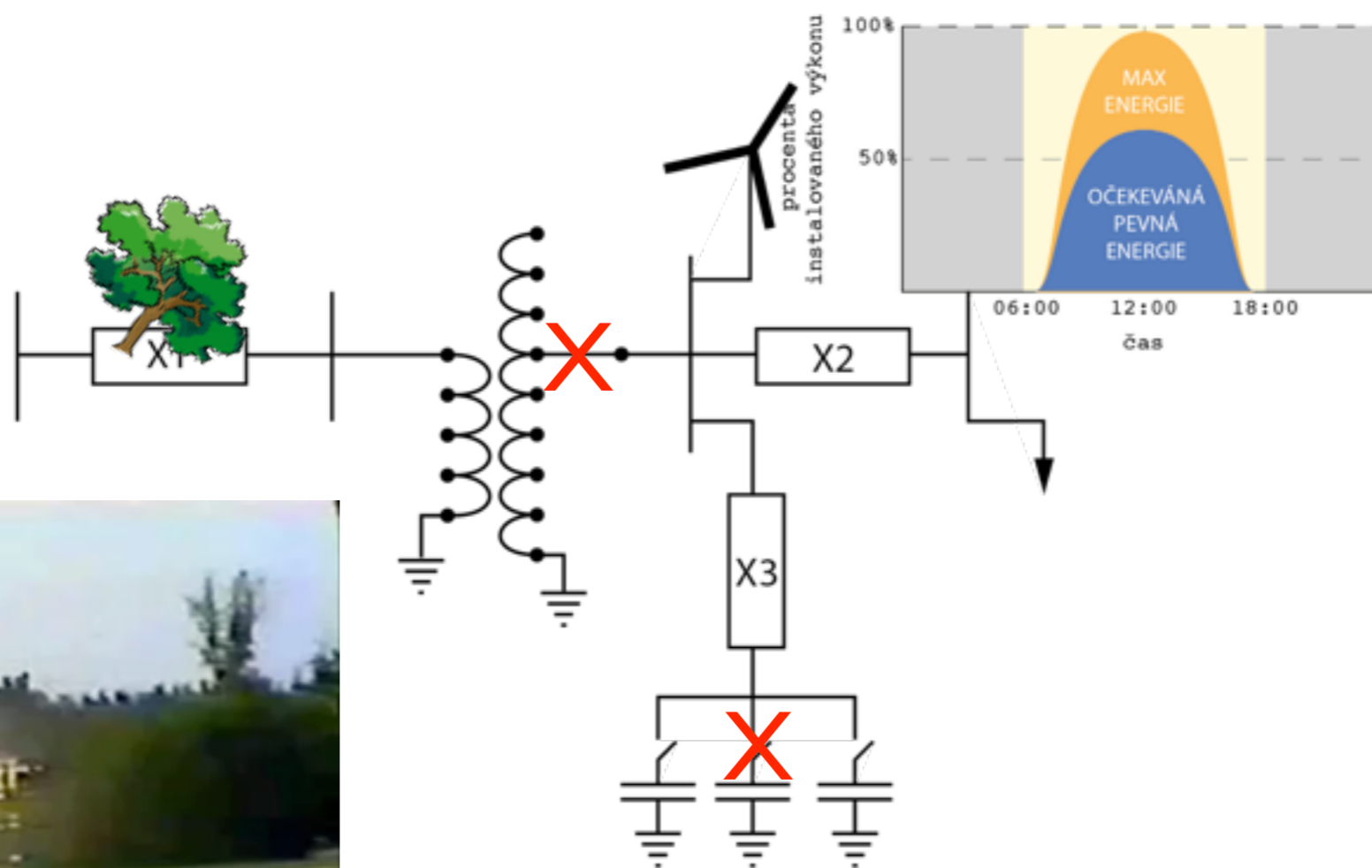
Simulace zabráňuje poruchám síťového zařízení kvantifikací spolehlivost sítě při denních chybách a injekci energie z obnovitelných zdrojů.



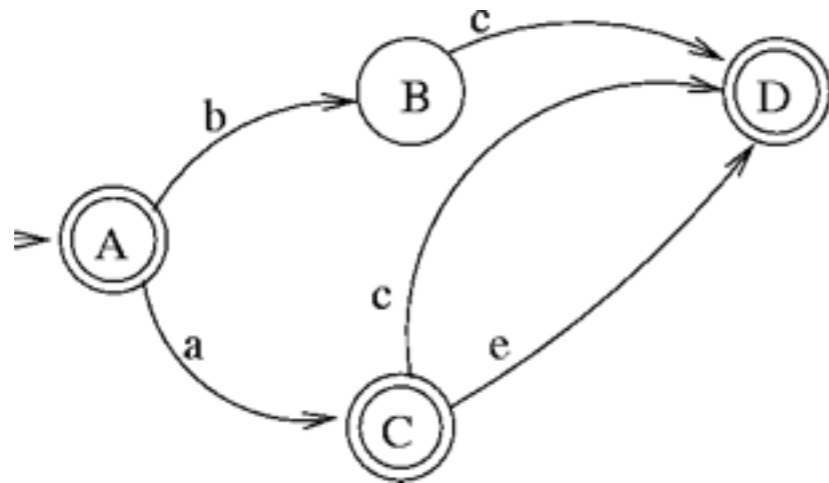
1

formulace problému

Simulace zabraňuje poruchám síťového zařízení kvantifikací spolehlivosti sítě při denních chybách a injekci energie z obnovitelných zdrojů.



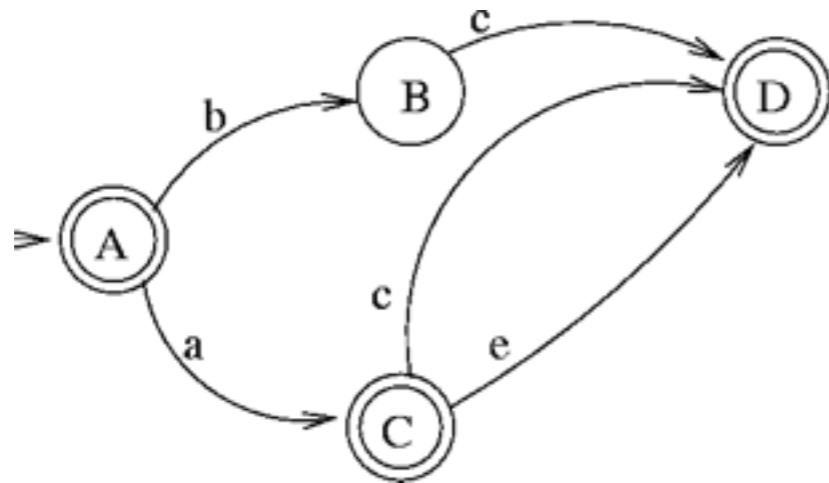
MODEL



teorie konečných automatů

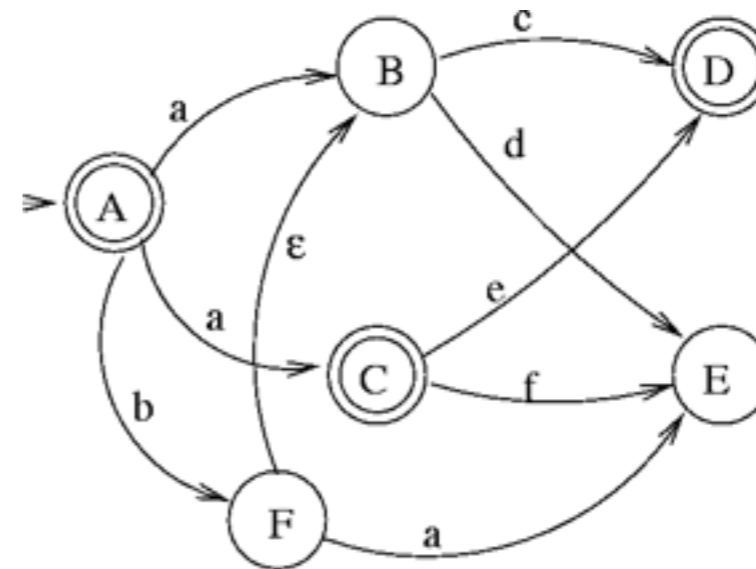
- 1) definice automatů
- 2) kompozice automatů
- 3) vlastnosti automatů

MODEL



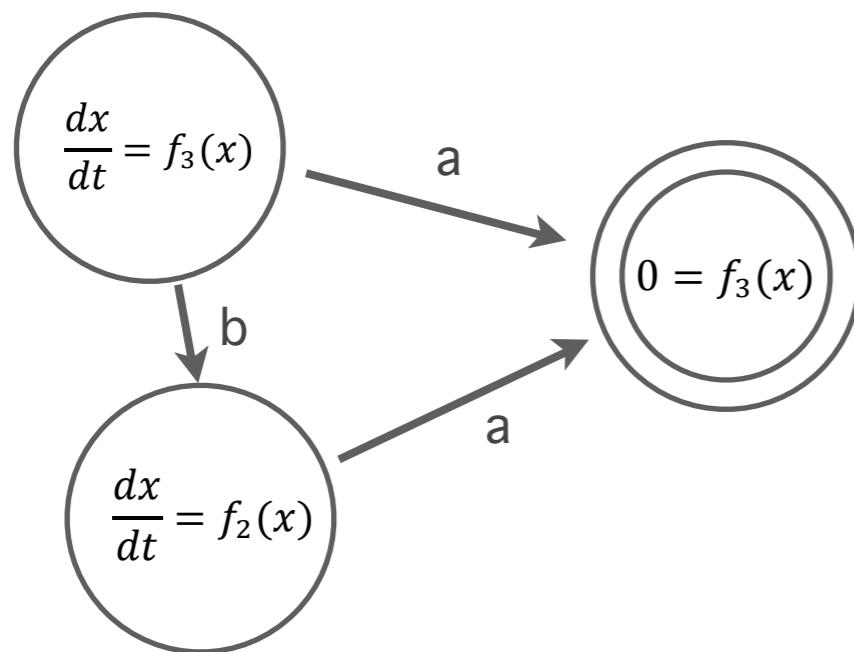
teorie konečných automatů  
 1) definice automatů  
 2) kompozice automatů  
 3) vlastnosti automatů

IDENTIFIED FROM DATA



validace modelu vůči  
 specifikaci naměřeného  
 chování  
 1) model by měl být  
 konsistentní  
 2) model by měl generovat  
 pouze reální trajektorie

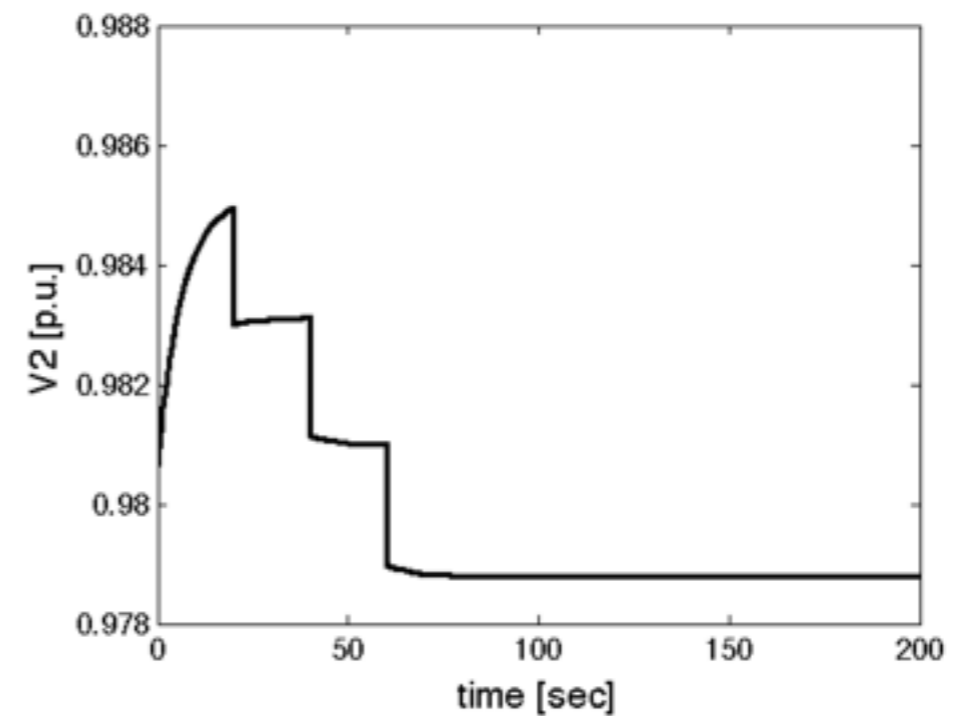
## MODEL



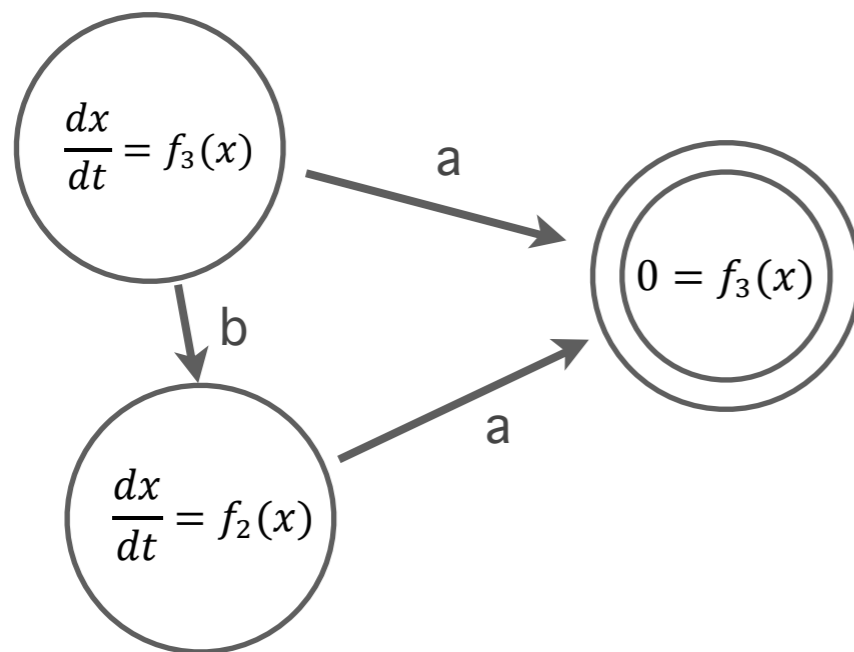
teorie DSAR (diff. switched algebraic and state reset)

- 1) spojité stavy + ODE
- 2) diskrétní stavy
- 3) spojité stavy ovládají přechody

## GRAF BĚHU



MODEL



teorie DSAR (diff. switched algebraic and state reset)

- 1) spojité stavy + ODE
- 2) diskrétní stavy
- 3) spojité stavy ovládají přechody

NE VŽDY MATLAB KONVERGUJE

```

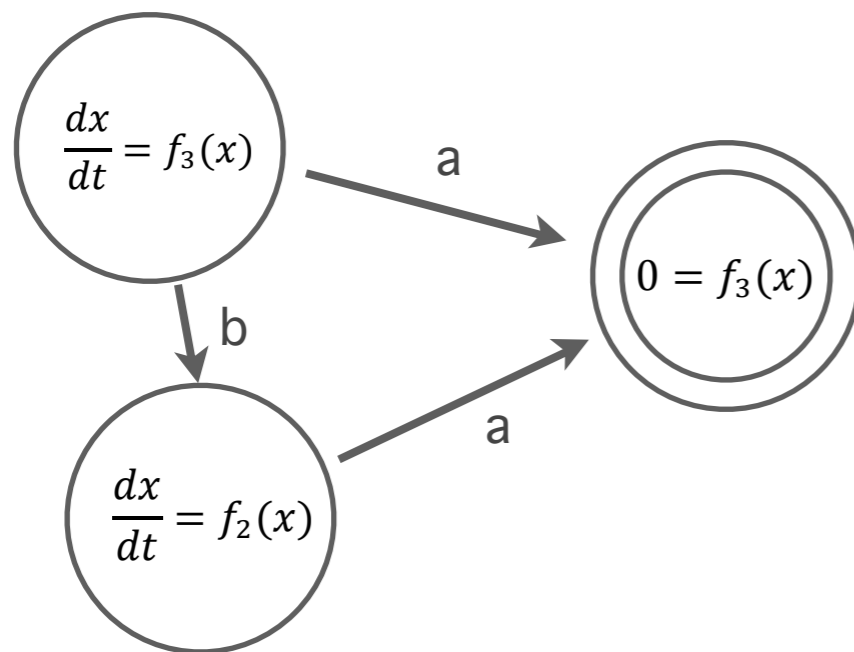
Warning: Failure at t=4.143140e+00. Unable to meet
integration tolerances without reducing the step size below
the smallest value allowed (1.471939e-14) at time t.
> In ode15i at 416
   In NetworkSimulation at 93
??? Subscript indices must either be real positive integers
or logicals.

Error in ==> deval at 178
    [~,ypint1] =
        interpfcn(t(bottom),t(bottom-1),y(:,bottom-1),.

Error in ==> NetworkSimulation at 94
    [x0,d0] = deval(sol,sol.x(end))
  
```

upravení modelu pro zvýšení konvergence

MODEL



DSAR modely umožňují analýzu citlivosti vůči parametrům modelu

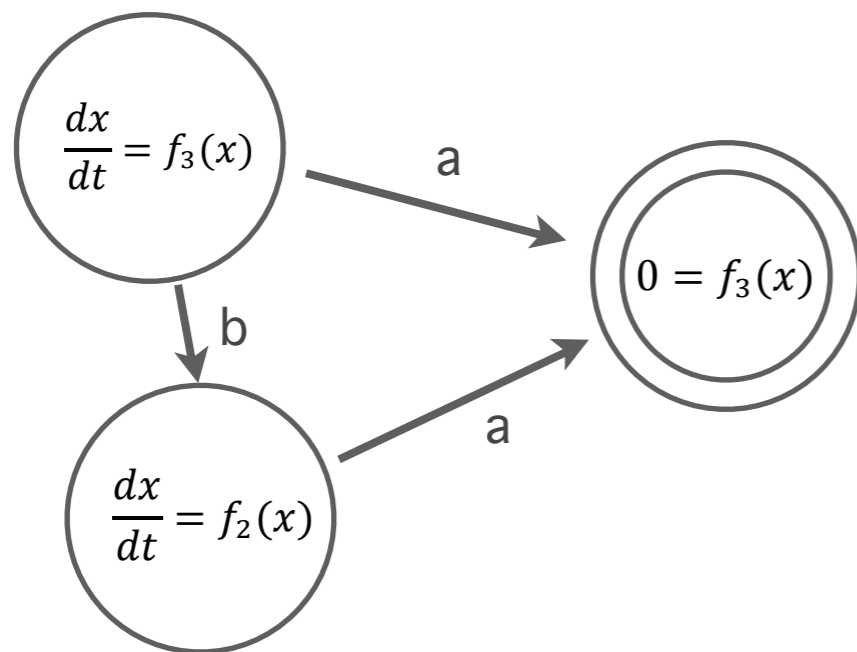
IDENTIFIKACE PARAMETRŮ

$$\frac{d \frac{dx}{dp}}{dt} = \frac{df(x)}{dp}$$

$$p = (J^T J)^{-1} J \times y$$

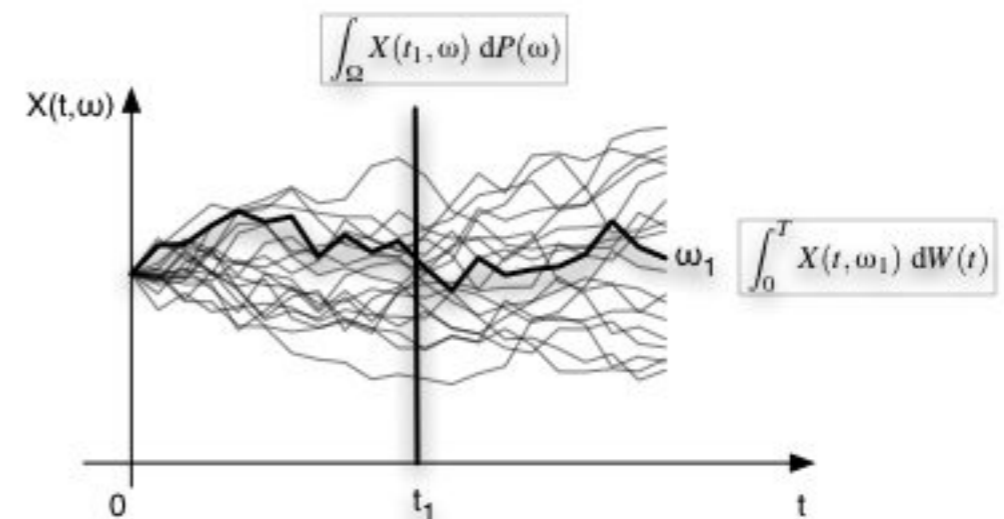
Citlivostní analýza umožní identifikace parametrů, které nejlépe odhadují napětí na sledovaném uzlu.

## MODEL



Monte Carlo teorie - způsob simulace statických pravděpodobnostních jevů

## NÁHODNÉ GRAFY

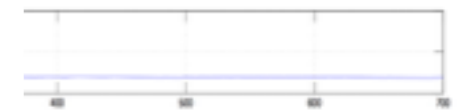
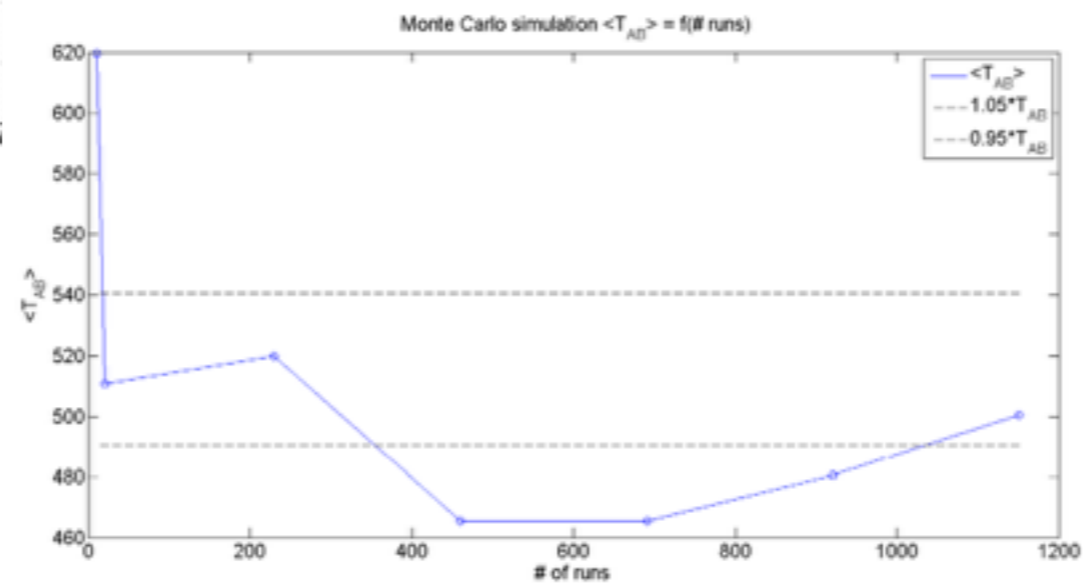
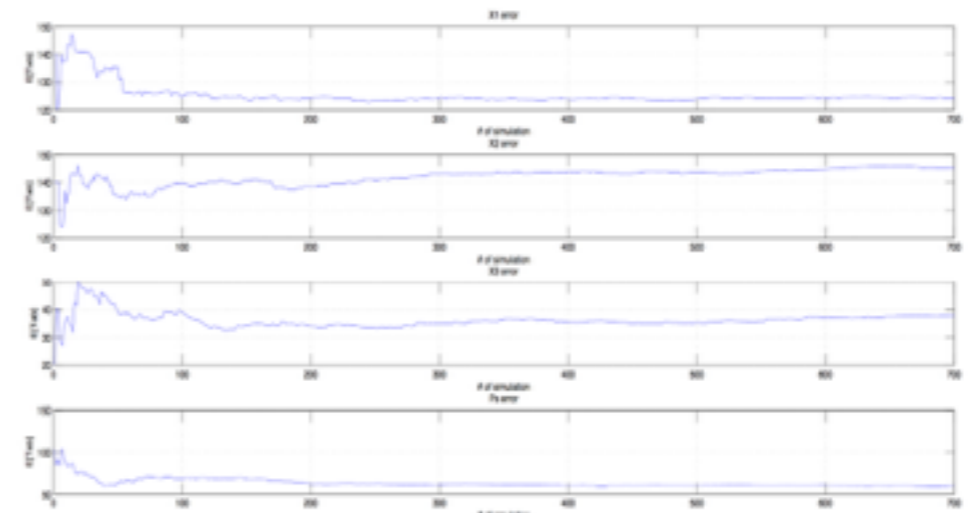
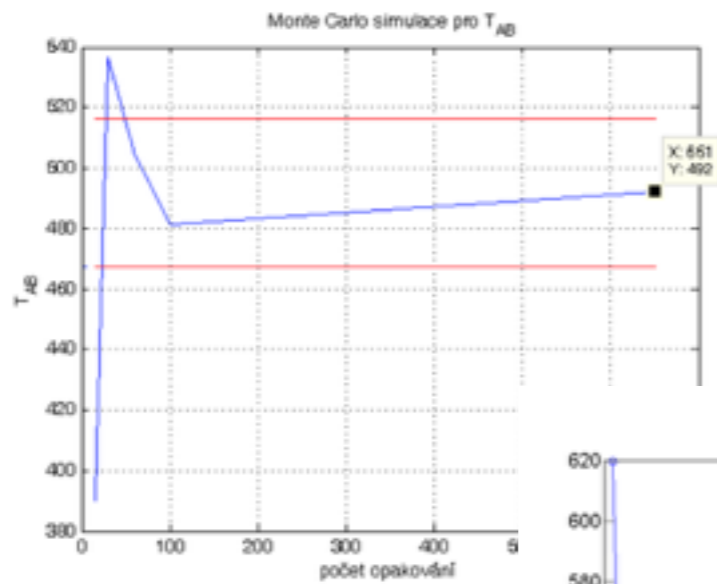


Výsledek simulace empirické pravděpodobnostní rozdělení



## ÚKOL NENÍ SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

- 1) veškeré podklady byste měli mít z cvičení
- 2) úkol pouze spočívá ve vyhodnocení simulace



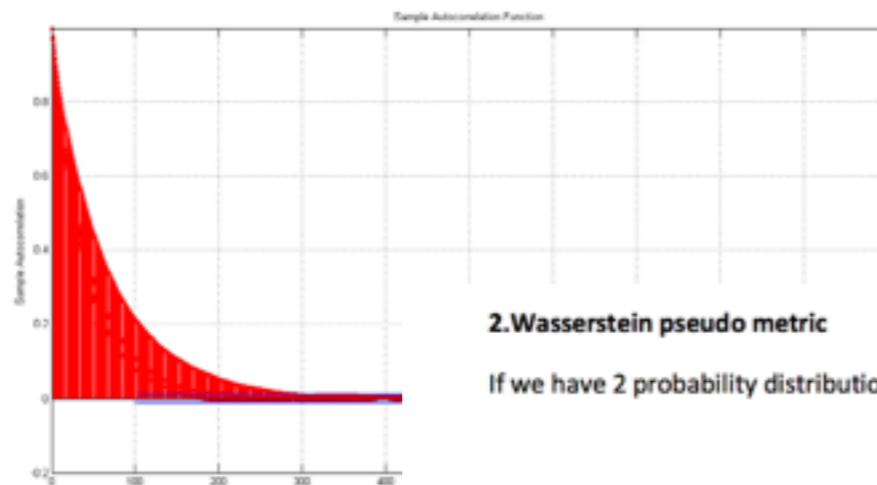
### 1. Distribution metrics

We can just compare probability distributions of the sample with the simulated distribution of the model. We did using the formula below:

$$d_p(P1, P2) = \|P1 - P2\|_p,$$

$$p = 2 \Rightarrow d_2(P1, P2) = \|P1 - P2\|_2 = \bar{p}_1 - \bar{p}_2$$

To use 3D data for Monte Carlo simulation – need to have independent data => autocorrelation



### 2. Wasserstein pseudo metric

If we have 2 probability distributions and values from these distributions are

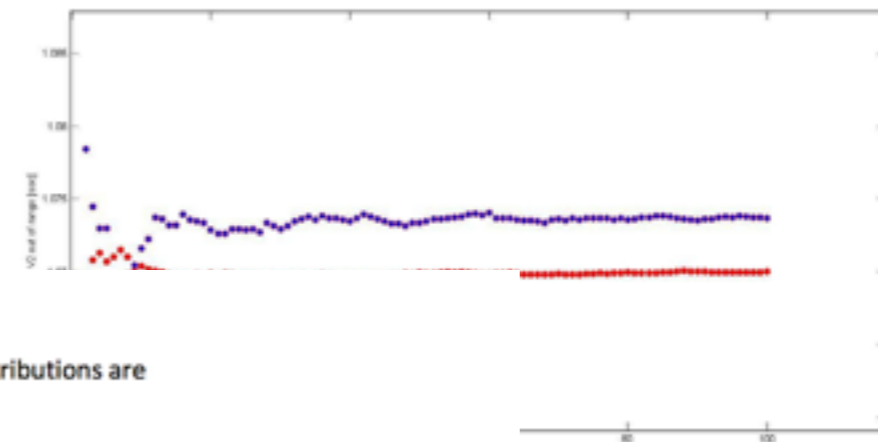
$$\{X_{1,1}, \dots, X_{1,n}\}, \{X_{2,1}, \dots, X_{2,m}\},$$

If the data sets are in increasing order, then Wasserstein pseudo metric satisfies:

$$W_p(P1, P2) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_{1,i/l1} - x_{2,i}|^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

For measured 300-value data set, 100 sample data and  $p = 2$ :

$$W_2(P1, P2) = 0.0056$$



id mean estimation of first 100 values of data set, 100 sample data and  $p = 2$ :

0031

**Conclusion:** We built the components of the model (using DES + modularity of DAE). Execute the simulation. Make Monte Carlo simulation. Generate data to simulation (Metropolis-Hastings algorithm, weighting results). Determine the time of abnormal voltage of node 2. Validate simulation (Wasserstein pseudo metric, distribution metric). The results of our tasks seems satisfying.