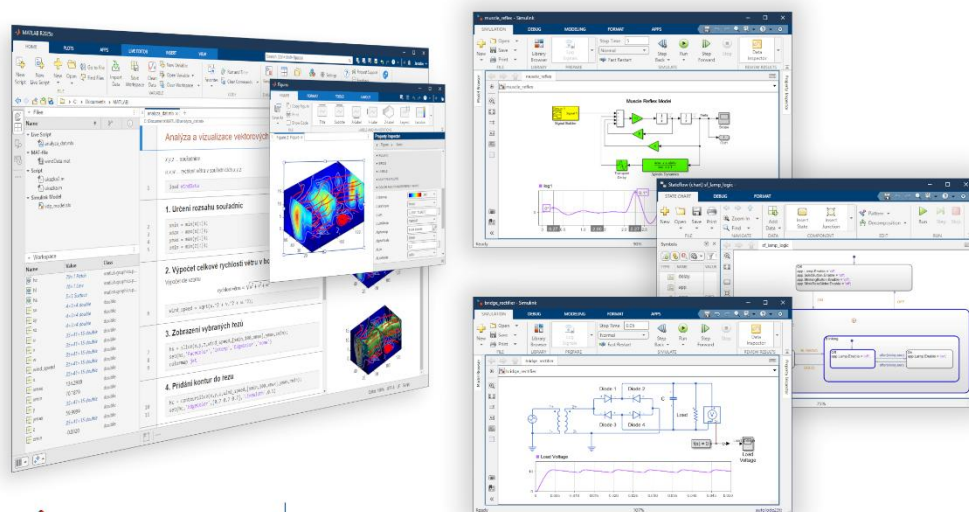


## Návrh riadiacich systémov založený na modeloch: od PID po MIMO



Michal Blaho

blaho@humusoft.sk

[www.humusoft.cz](http://www.humusoft.cz)

[info@humusoft.cz](mailto:info@humusoft.cz)

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

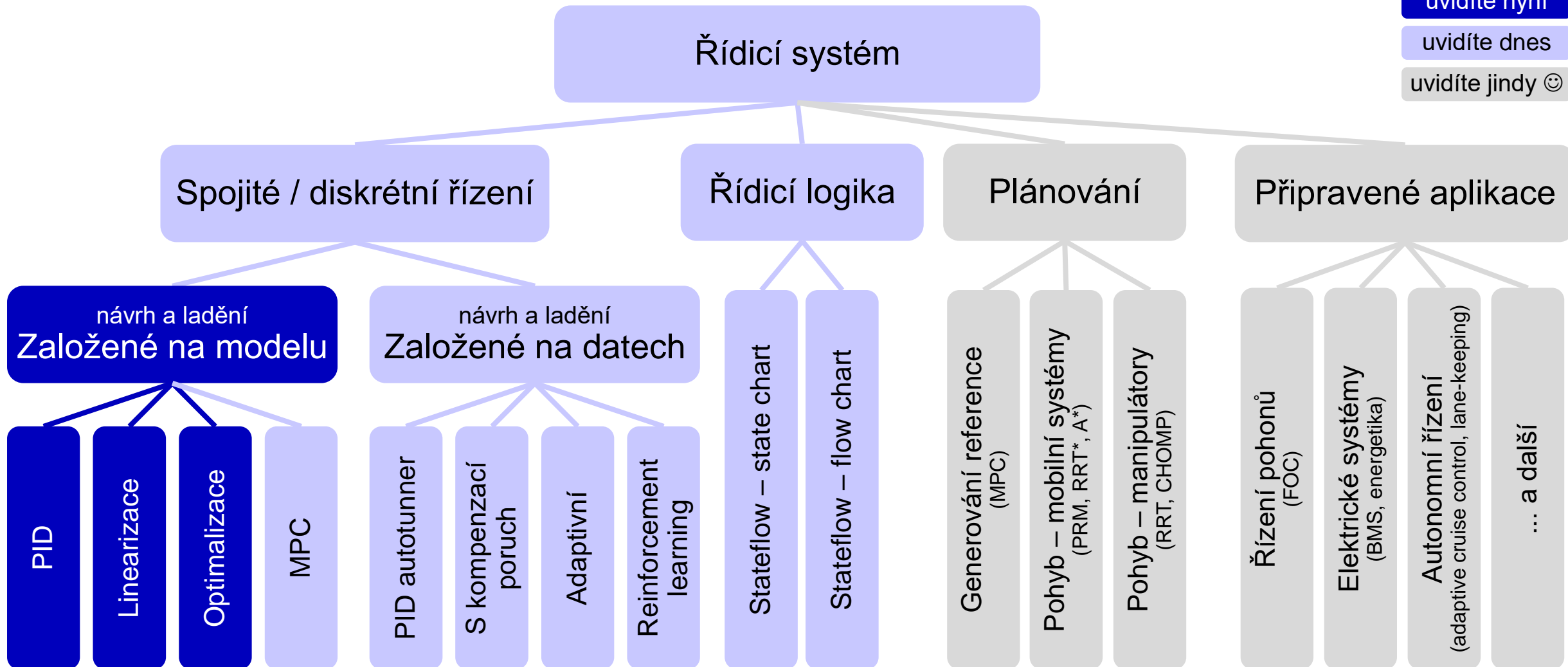
# Možnosti návrhu řídicích systémů v prostředí MATLAB

(výběr možností)

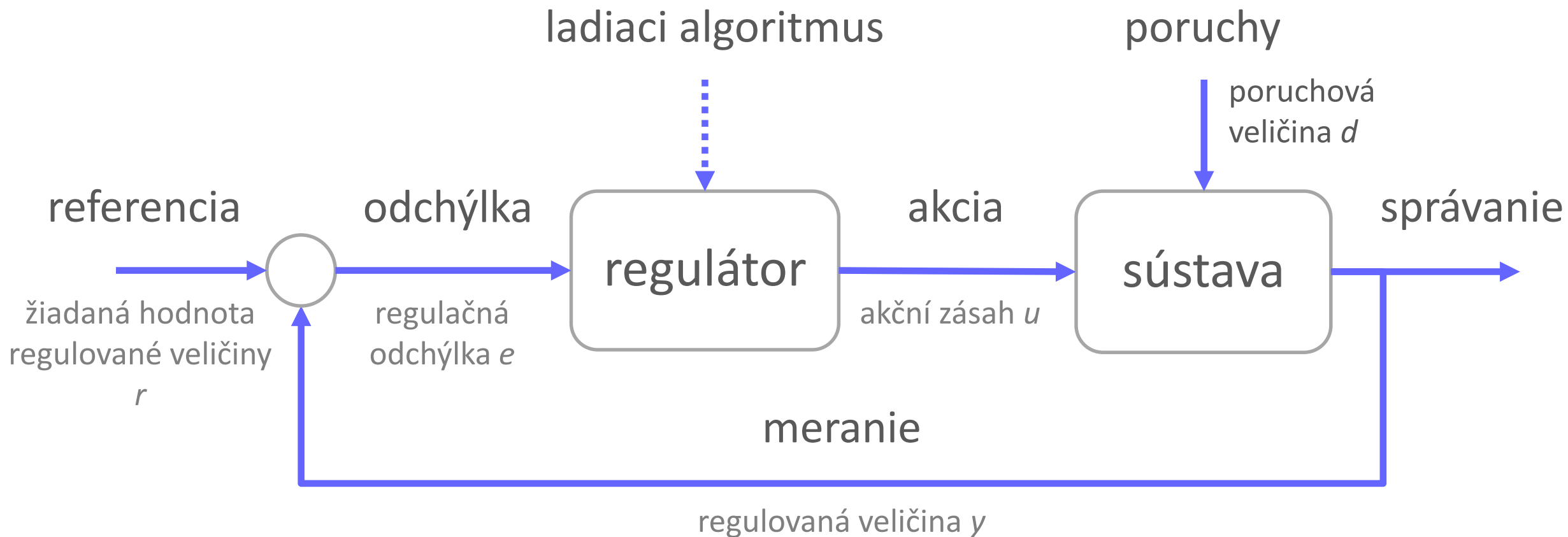
uvidíte nyní

uvidíte dnes

uvidíte jindy 😊



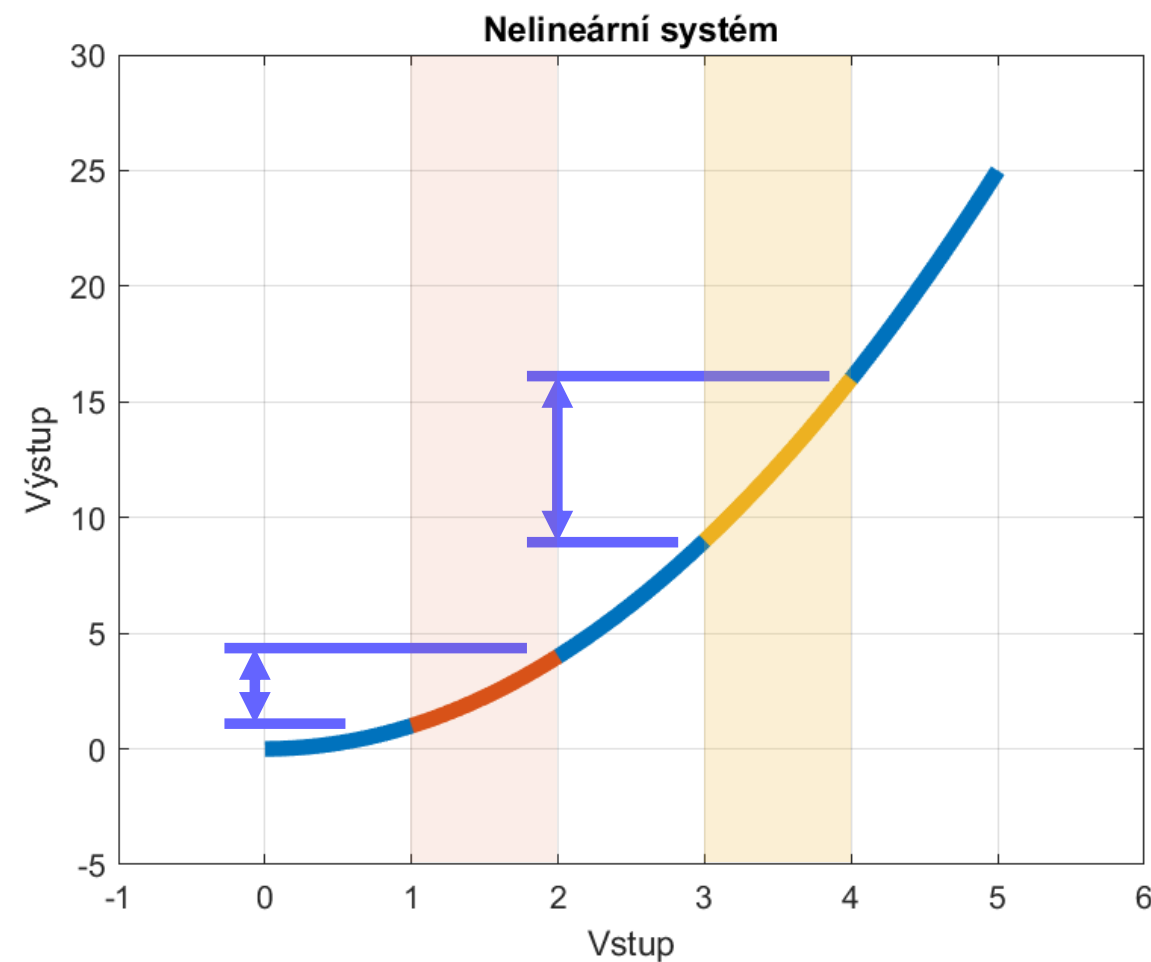
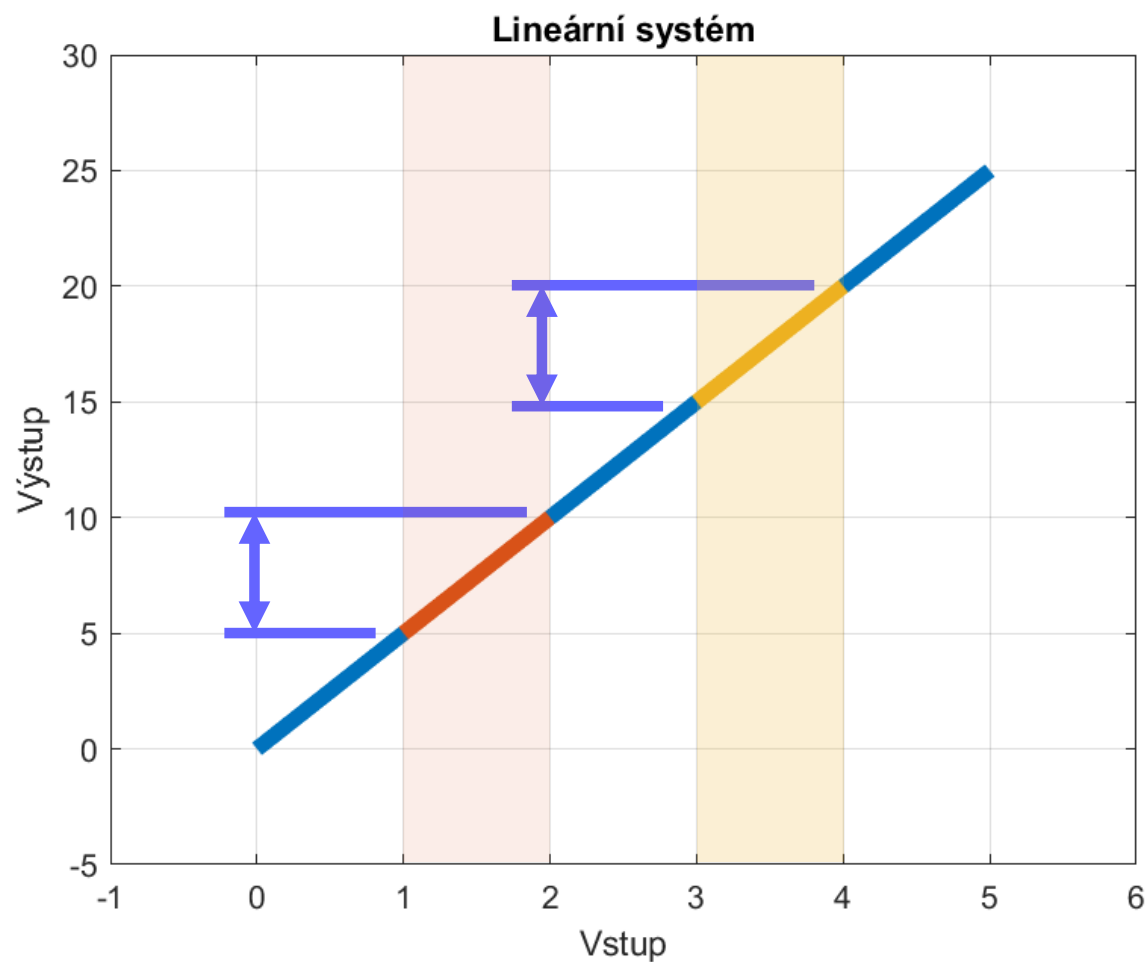
# Základná schéma riadiaceho systému



# Ladenie riadiacich systémov

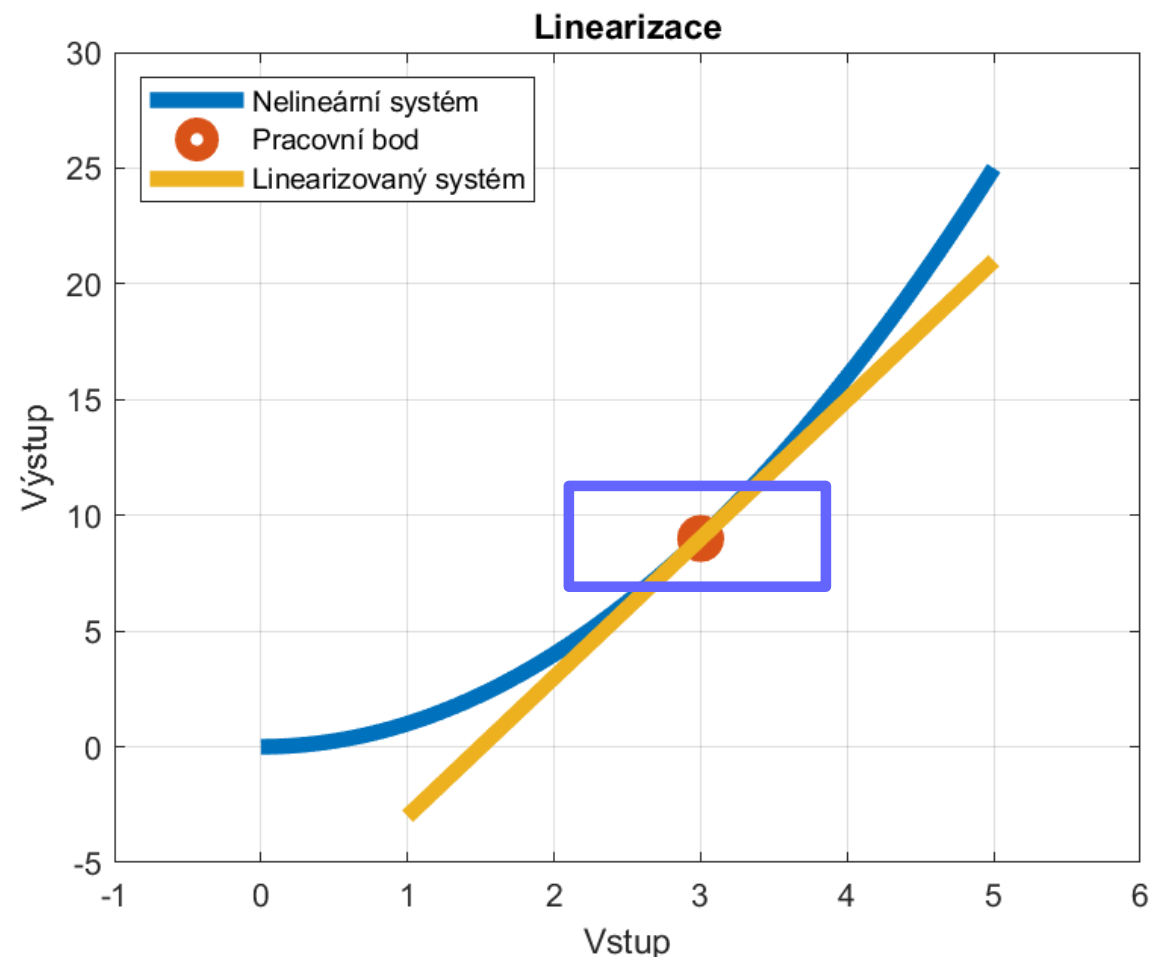
- Ladenie na základe linearizácie
  - „know-how“ lineárna teória regulácie
    - stabilita systému, metriky, metódy ladenia
  - SISO, MIMO
  - ladenie v časovej aj frekvenčnej oblasti
  - metódy pre robustný návrh
  - nezávislé na konkrétnom experimente
  - rýchlosť
  - obmedzená platnosť lineárneho modelu
  - nutné overiť s nelineárnym modelom
- Ladenie na základe optimalizácie
  - pracuje s nelineárnym modelom
    - optimalizácie chovania na nelinearity
  - SISO, MIMO
  - ľubovoľná používateľské kritéria
  - závislé na konkrétnom experimente
  - nie sú k dispozícii analytické závery
  - výpočtovo náročné
- Možná kombinácia oboch prístupov

# Lineární systém vs. nelineární systém



# Linearizácia modelu

- Lineárna aproximácia chovania vo zvolenom pracovnom bode
  - náhrada platí iba v okolí pracovného bodu
- Nástroje pre linearizáciu
  - grafická aplikácia *Model Linearizer*
  - súčasť nástrojov pre ladenie
- Prečo používať lineárnu aproximáciu?
  - jednoduchosť
  - funkcie pre analýzu chovania systému
  - nástroje lineárnu teóriu riadenia



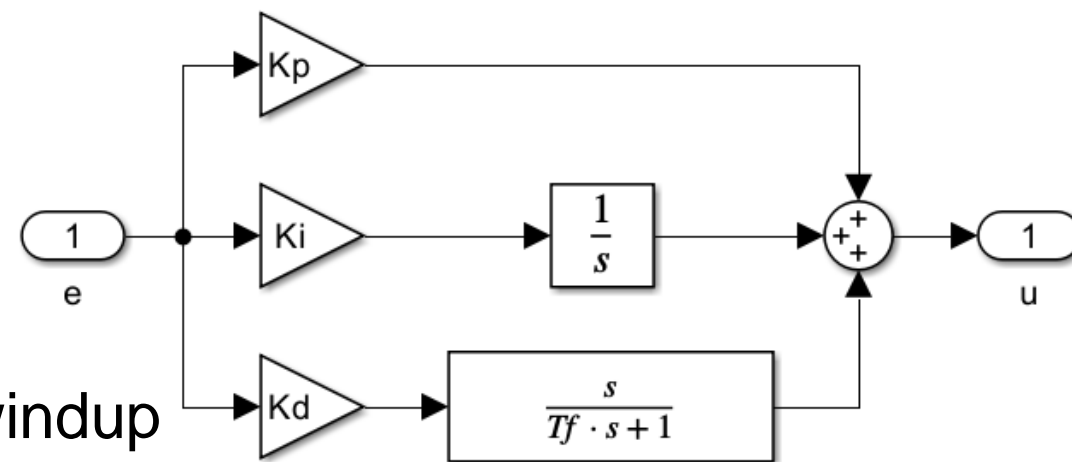
# PID regulátor

- 3 komponenty:
- P proporcionálna -  $K_p$ 
  - akčný zásah úmerný odchýlke
- I integračná -  $K_i$ 
  - „zachytenie minulosti“
  - odstránenie trvalej (malej) odchýlky
- D derivačná -  $K_d$ 
  - „predikcia budúcnosti“
  - akčný zásah úmerný rýchlosti zmeny odchýlky
- ďalšie nastavenia: saturácie zásahu, anti-windup

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

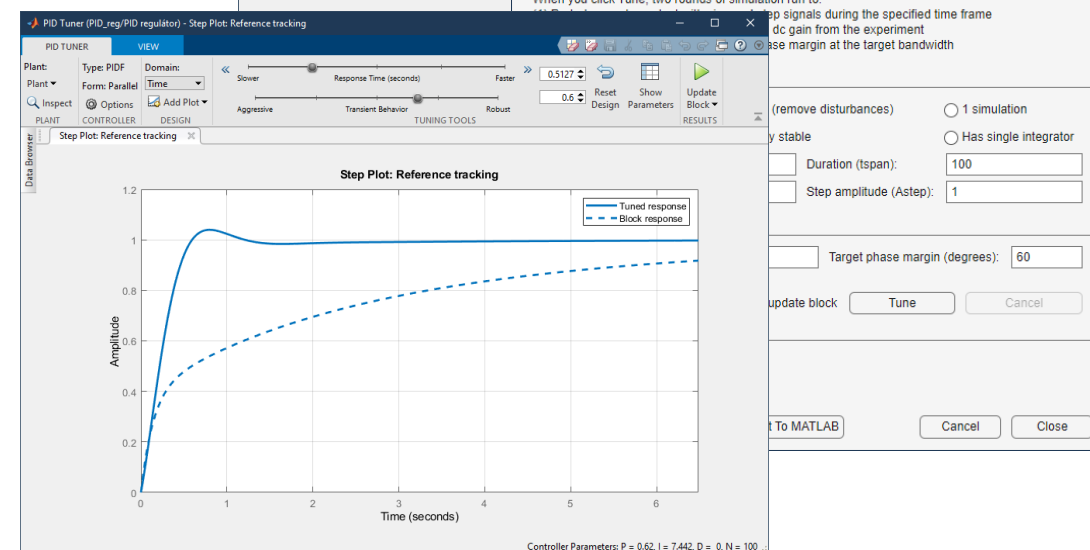
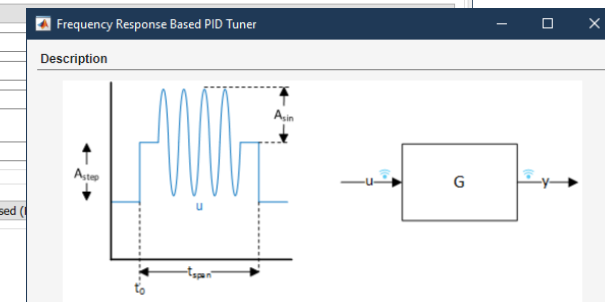
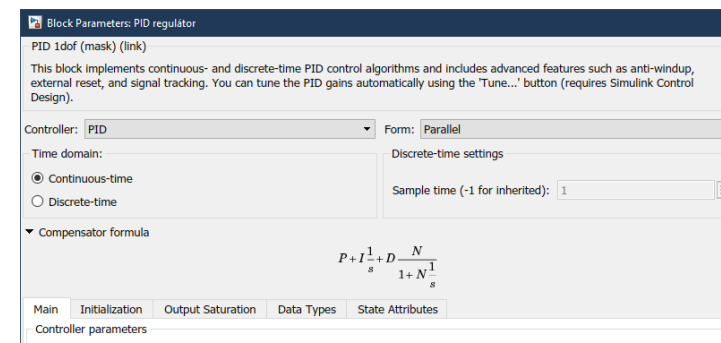
$$U(s) = C(s)E(s) \quad \text{--- } C(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s$$

$$C(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d \frac{s}{T_f s + 1}$$



# Ladenie PID regulácie

- Pre jednoslučkovú PID reguláciu
  - viacero slučiek ide ladiť jednu po druhej
- Využíva linearizáciu sústavy
  - možná voľba pracovného bodu
- Grafická aplikácia *PID Tuner*
  - ladenie na základe prechodovej odozvy
- *Frequency Response Based PID Tuner*
  - pre sústavy, ktoré nejde linearizovať
- Integrovaná identifikácia systému
  - fitovanie prenosovej funkcie z I/O dát



# Ukážka: Regulácia hladiny s PID Tuner

The screenshot displays the Simulink environment for a water level control system. The main workspace shows a control loop where a reference value of 0.7 is compared with the current level  $h$ . The error signal is processed by a PID controller, which outputs a control signal  $u$  to an inlet valve. The inlet flow  $Q_1$  is limited by a maximum flow of 0.005. The outlet valve is controlled by a gain of 0.5, and the resulting outflow  $Q_2$  is proportional to the square root of the level,  $Q_2 = k_2 \sqrt{h}$ , with  $k_2 = 0.0045$ . The water level  $h$  is modeled by a first-order system with a gain of 5 and a time constant of 1 second. The PID tuner is configured with a transient behavior of 0.9 (Robust) and a response time of 5 seconds.

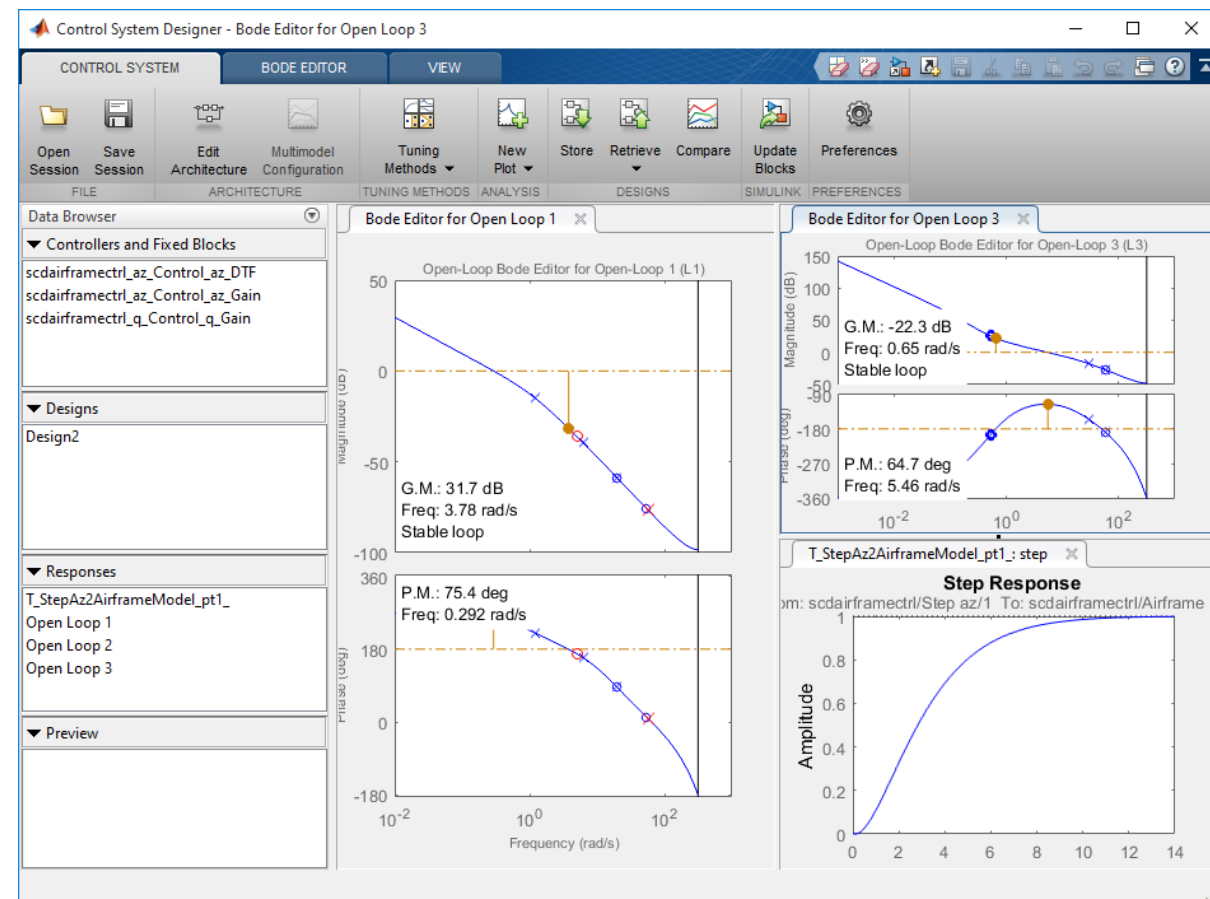
On the right, two control knobs are visible: "Zadana hodnota: Value" (setpoint) and "Vystupni ventil: Gain" (outlet valve gain), both set to 0.7. A vertical scale for the water level  $h$  is also shown, ranging from 0 to 1.

At the bottom left, a 3D visualization window titled "Vizualizace ve 3D" shows the physical components: "Voda.scale" (water level), "Voda.translation" (water level translation), "Pritok.scale" (inlet flow), and "Vytok.scale" (outlet flow). To the right, a schematic of the tank shows the inlet flow  $Q_1$ , outlet flow  $Q_2$ , and water level  $h$ . The governing differential equation is:

$$\frac{dh}{dt} = k_1(Q_1 - k_2 \sqrt{h})$$

# Návrh a ladenie všeobecných riadiacich štruktúr

- Všeobecné SISO slučky
  - prenosové funkcie, ZPK, SS, PID
- Využíva linearizáciu sústavy
  - možná voľba pracovného bodu
- Ladenie systému
  - algoritmy pre automatické ladenie
  - grafické ladenie
  - analýza grafmi v rôznych doménach
  - manuálna úprava pólov a núl
- Grafická aplikácia
  - Control System Designer



# Ukážka: Regulácia hladiny s Control System Designer

Nadoba\_rizeni\_PID\_tuned - Simulink

SIMULATION    DEBUG    MODELING    FORMAT    APPS

Stop Time: inf  
Normal  
Fast Restart

Step Back    Run    Step Forward    Stop

Data Inspector

Nadoba\_rizeni\_PID\_tuned

Nadoba\_rizeni\_PID\_tuned

Nastavení PID tuner  
Transient Behavior = 0.9 (Robust)  
Response Time = 5 s

Žadaná hodnota výšky hladiny: 0.7  
Zadana hodnota

PID regulátor: PID(z)<sub>f</sub>

Model výtoku z nádoby

Maximalní prítok: 0.005  
Vstupní ventil: Q1

Výstupní ventil: 0.5  
Q2

dh/dt: k1

dh/dt: 1/s

h

Zadana hodnota: Value: 0.5

Výstupní ventil: Gain: 0.5

Vizualizace ve 3D

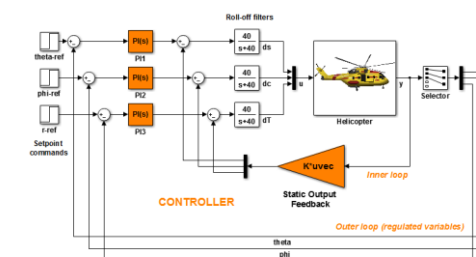
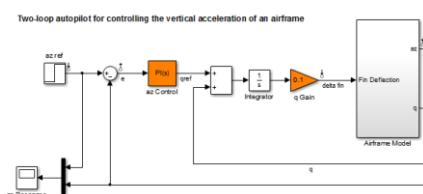
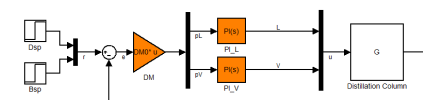
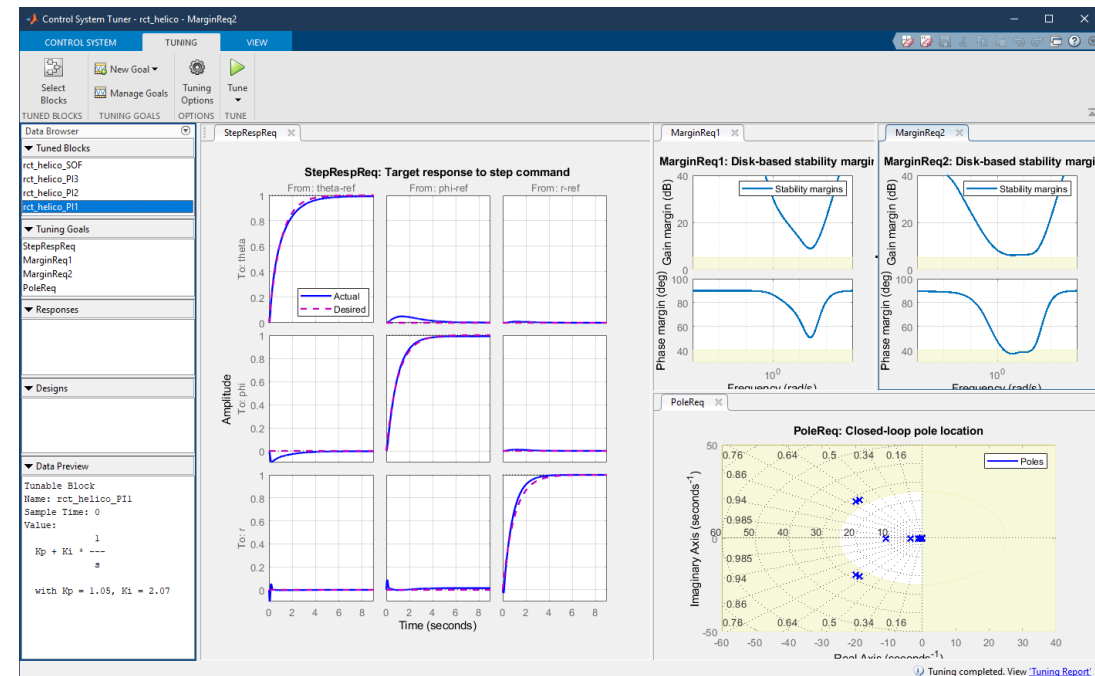
- [h] → Voda.scale
- [h] → Voda.translation
- [Q1] → Prítok.scale
- [Q2] → Vytok.scale

$$\frac{dh}{dt} = k_1(Q_1 - k_2\sqrt{h})$$

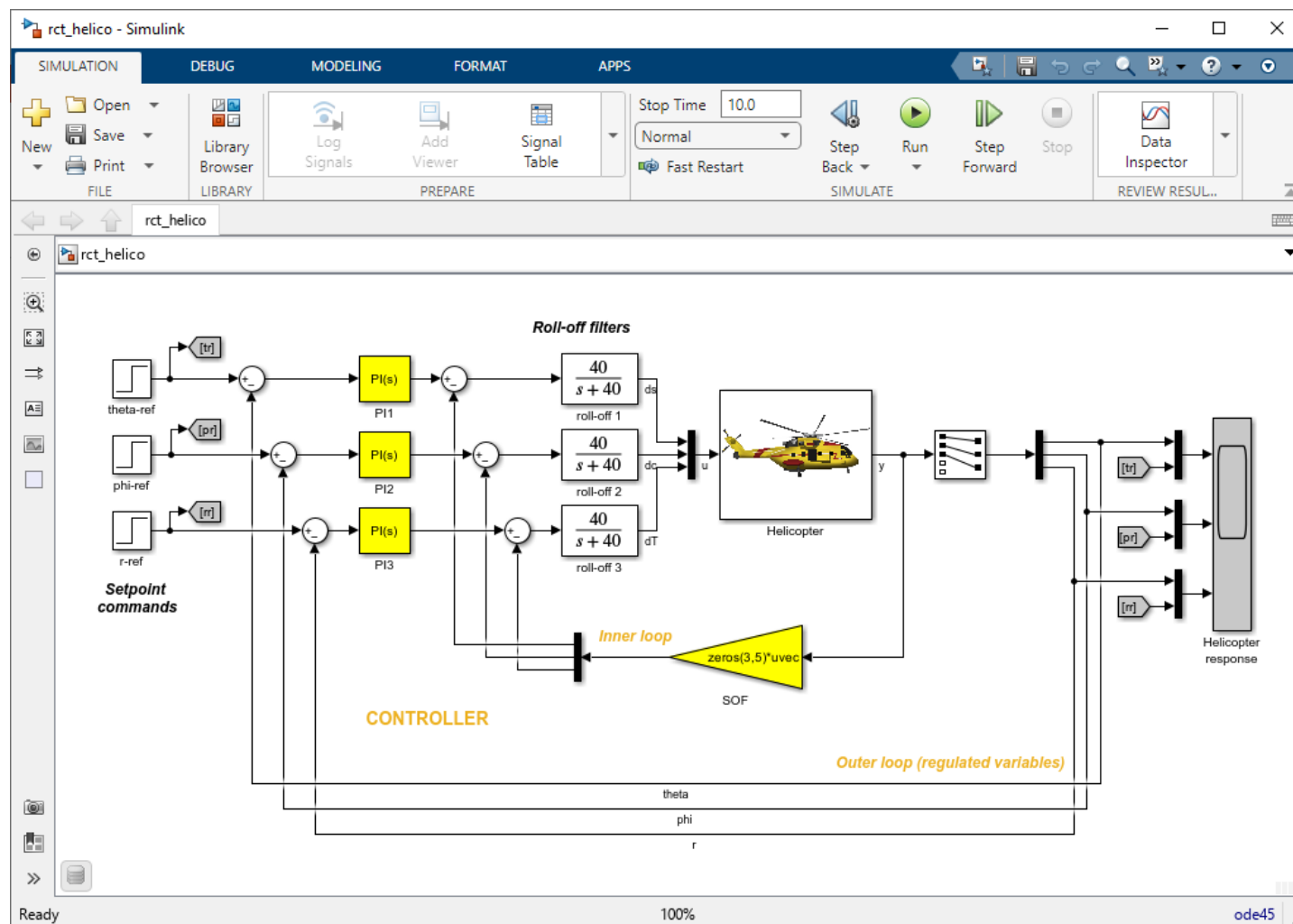
Ready    100%    VariableStepAuto

# Ladenie systémov s viacerými vstupmi a výstupmi (MIMO)

- Ľubovoľná štruktúra riadiaceho systému
  - spolčené ladenie všetkých prvkov
  - linearizácia modelu a nehladáka optimalizácia
- Knižnica nastaviteľných kritérií
  - v časovej a frekvenčnej oblasti
  - kritéria stability
- Grafická aplikácia
  - Control System Tuner

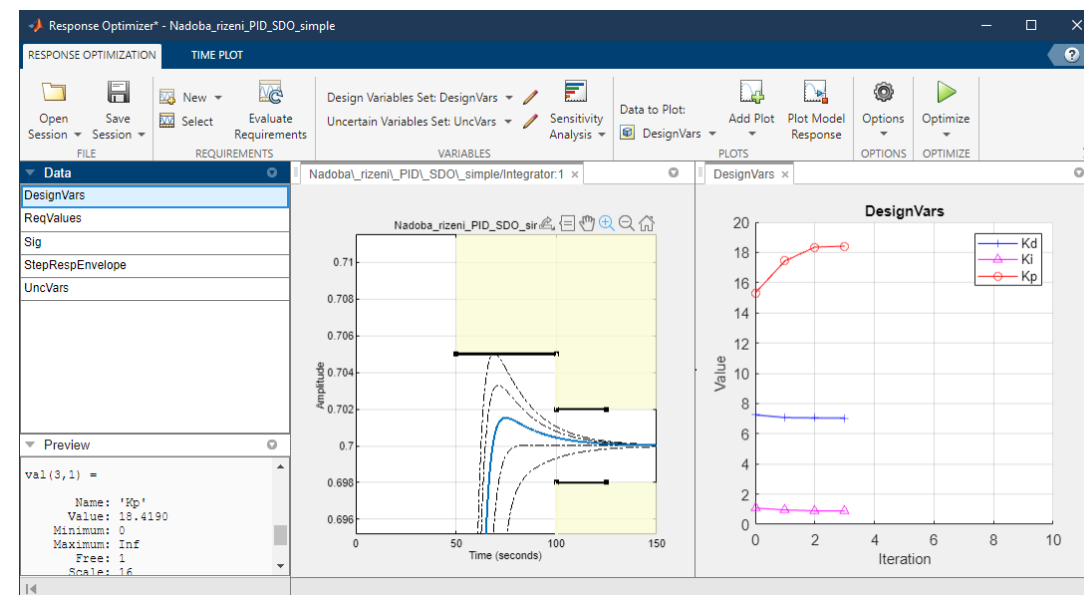


# Ukážka: Riadiaci systém 3x PI a stavová spätná väzba

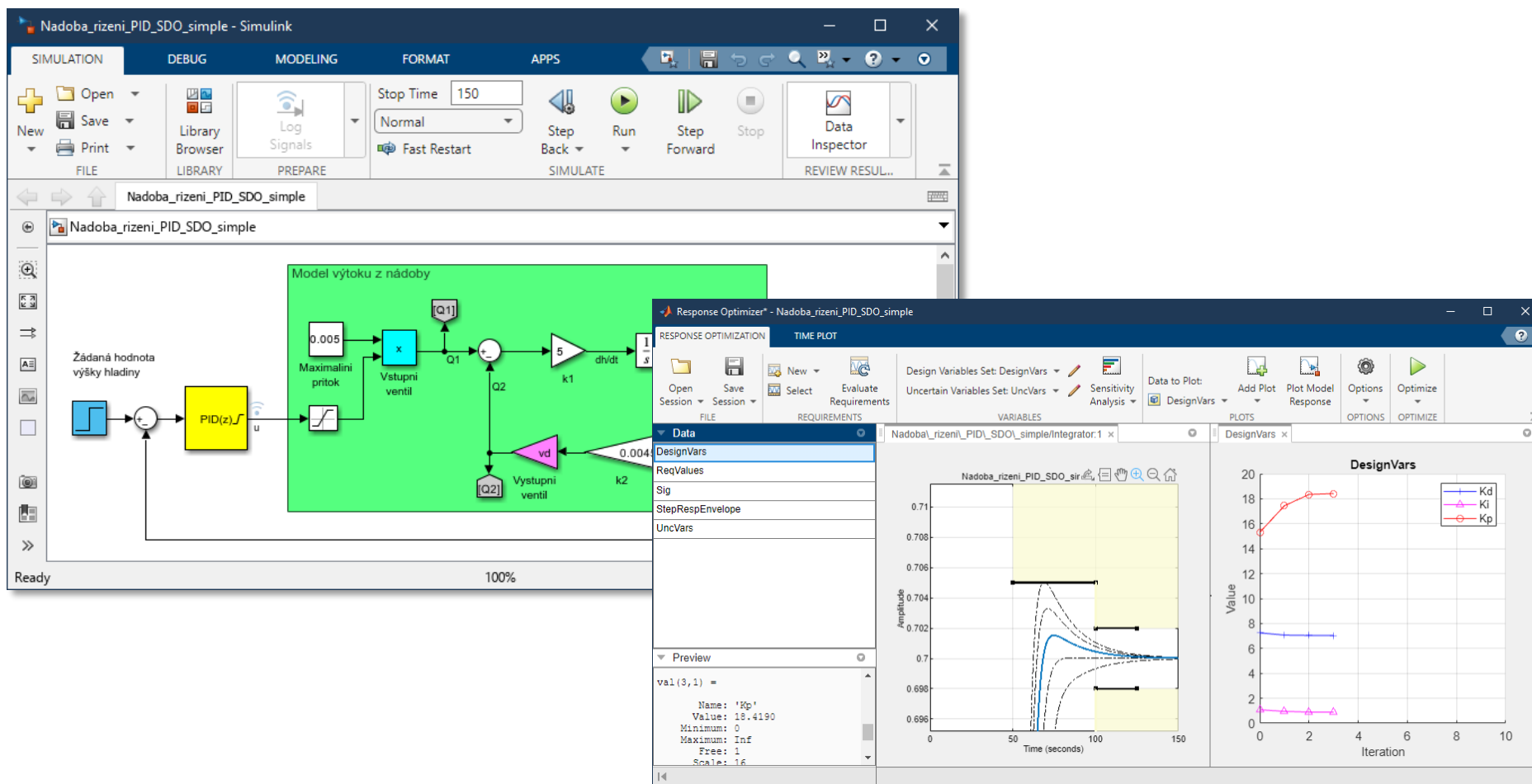


# Ladenie na základe optimalizácie

- Využíva nelineárny model v Simulinku
  - nastavenie podmienok pre zvolené signály
- Ľubovoľná štruktúra riadiaceho systému
  - výber parametrov pre optimalizáciu
- Rôzne optimalizačné algoritmy
- Podpora paralelných výpočtov
- *Response Optimizer*
  - grafická aplikácia pre nastavenie a ladenie

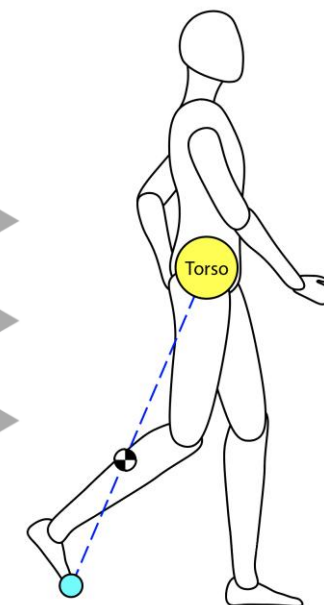
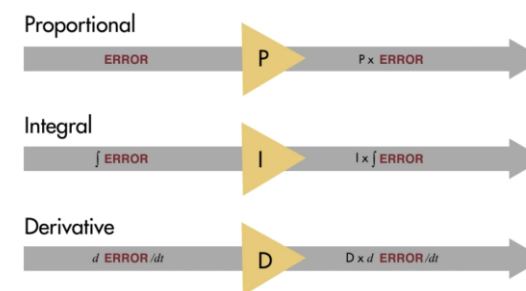
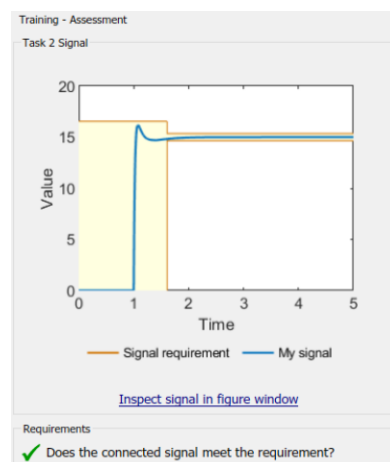
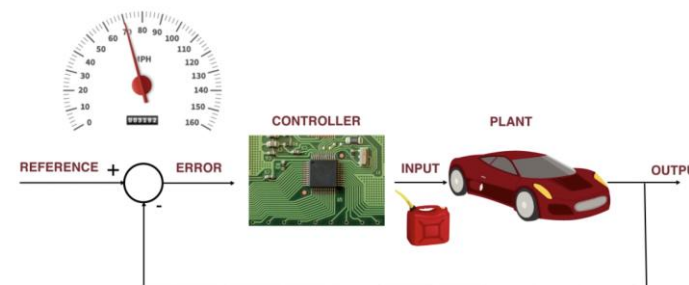
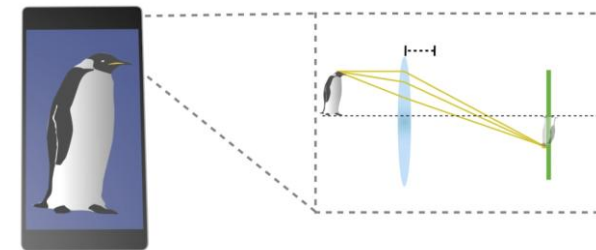


# Ukážka: Ladenie so zahrnutím vplyvu neznámych parametrov

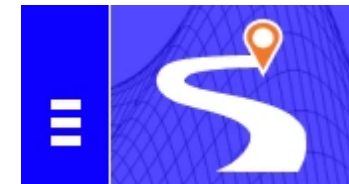


# Control Design Onramp with Simulink

- Bezplatný krátky kurz o základoch lineárnej analýzy a návrhu riadenia
- Interaktívne cvičenia
- Automatizované hodnotenia a okamžitá spätná väzba
- Prístup online alebo zo Simulinku
- Obsahuje témy:
  - Linearizácia nelineárnych sústav
  - Bežná lineárna analýza
  - Spätnoväzbové riadenie
  - Automatické ladenie PID regulátora



# Control System Design with MATLAB and Simulink



Zručnosti v oblasti návrhu riadiacich systémov

## Obsahuje témy:

- Modelovanie riadiaceho systému
- Linearizácia
- Analýza riadiaceho systému
- Návrh PID regulácie
- Návrh klasického regulátora

## Odporúča sa absolvovať:



MATLAB Onramp  
2 hours



Simulink Onramp  
2 hours



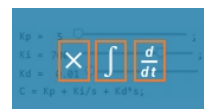
Control System Modeling Essentials  
3 hours



Linearization of Nonlinear Systems  
1.5 hours



Control System Analysis Techniques  
3 hours



PID Control Techniques  
1 hour



Classical Controller Design Techniques  
2.5 hours

Ďakujem za pozornosť.

Otázky?