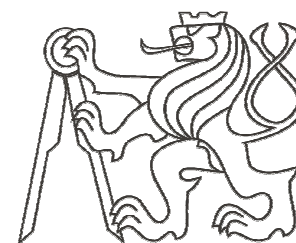




**KONTAKT 2010**



# ***Návrh adaptivních PID regulátorů***

***Autor: Bc. Petr Mik (731 811 764)***

***Vedoucí: Ing. Petr Hušek, Ph.D***

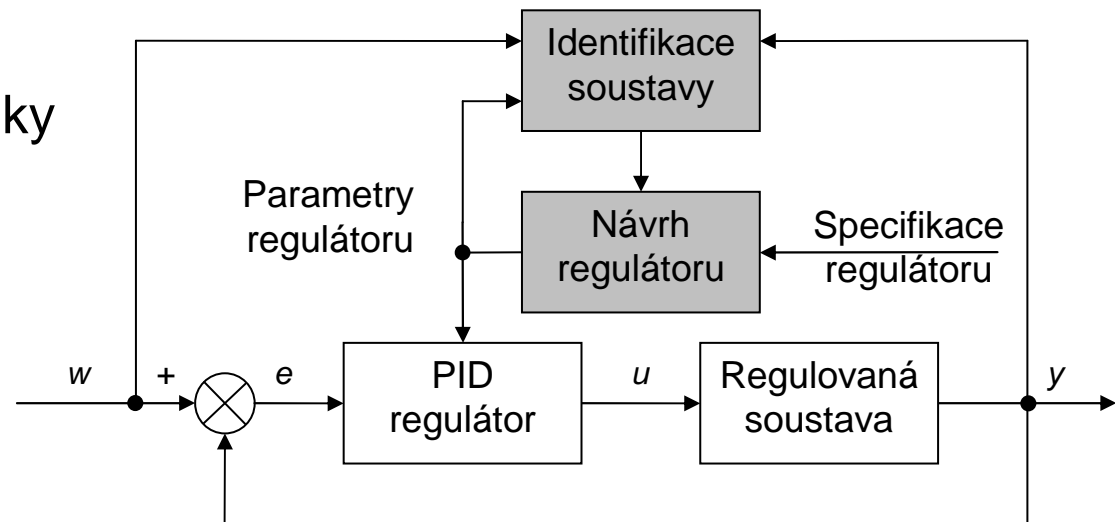
# Návrh adaptivních PID regulátorů

## Cíl práce:

- Návrh metody pro adaptaci konstant PID regulátoru

## Specifikace:

- Systém prvního řádu s dopravním zpožděním
- Identifikace na základě přechodové charakteristiky uzavřené smyčky
- Určeno pro dávkové procesy

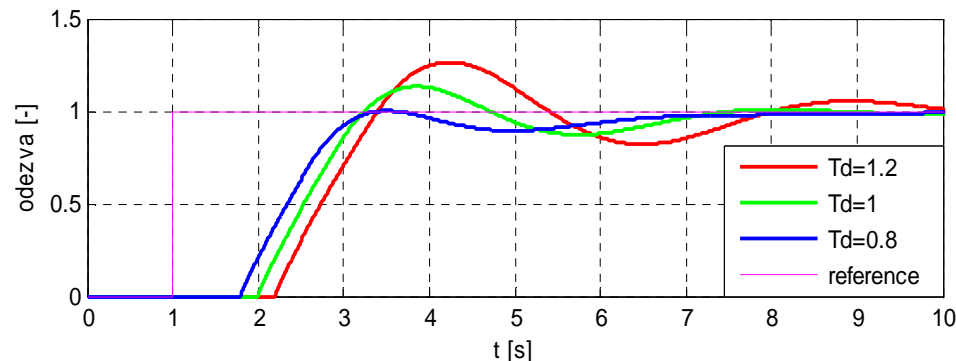


Navržené adaptační schéma

# Návrh adaptivních PID regulátorů

## Identifikace:

- Dopravní zpoždění přímo z přechodové charakteristiky



- Zesílení a časová konstanta pomocí minimalizace kritéria:

$$f(K^A, T^A) = \sum_{t=1}^N \left( y^A(t, K^A, T^A) - y^B(t) \right)^2$$

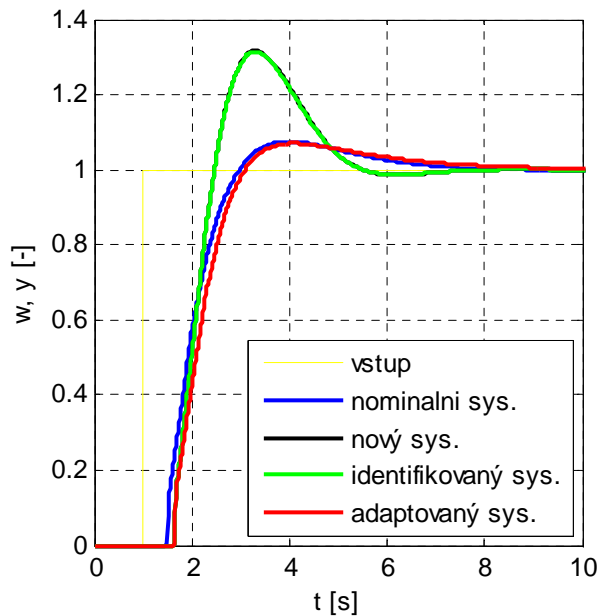
- Minimalizace prováděna numericky a iteračně pomocí gradientní metody nejrychlejšího sestupu

# Návrh adaptivních PID regulátorů

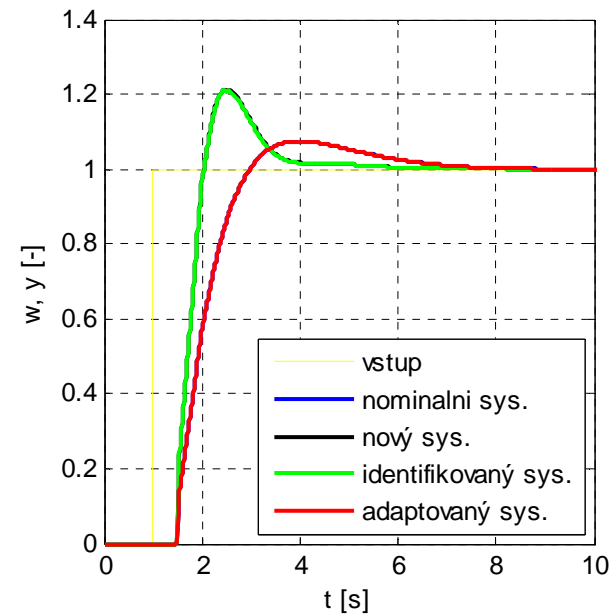
## Adaptace (1):

- V časové oblasti: Opět **numericky** pomocí minimalizace funkce:

$$F(k_p, k_i, k_d) = \sum_{k=1}^N (y_N(k) - y_Z(k, k_p, k_i, k_d))^2$$



$\Delta K = 20\%$ ,  $\Delta T = 0\%$ ,  $\Delta Td = 30\%$

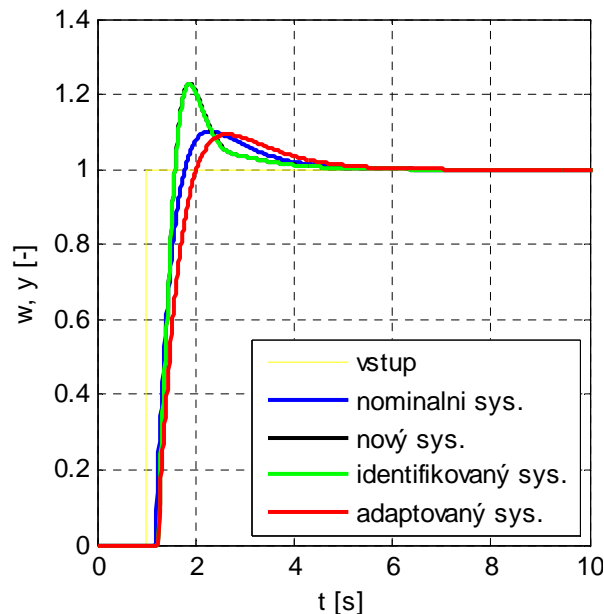


$\Delta K = 70\%$ ,  $\Delta T = 0\%$ ,  $\Delta Td = 0\%$

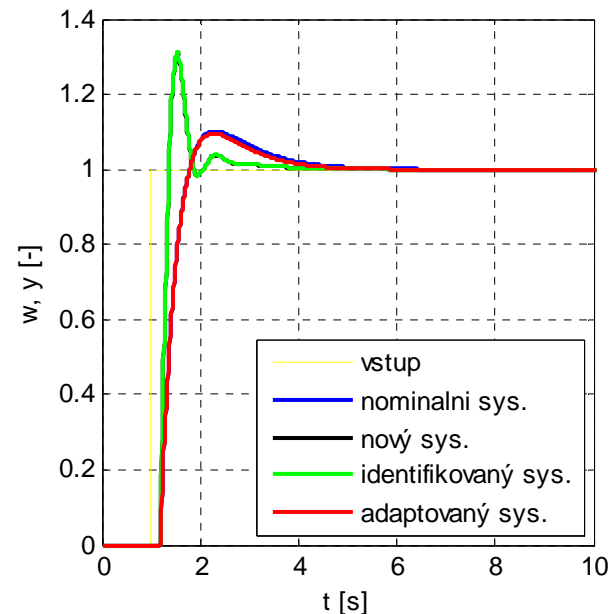
# Návrh adaptivních PID regulátorů

## Adaptace (2):

- Ve frekvenční oblasti: Nastavením stejné **amplitudové i fázové bezpečnosti** pro nominální i adaptovaný systém.



$\Delta K = 20\%$ ,  $\Delta T = 0\%$ ,  $\Delta Td = 30\%$



$\Delta K = 60\%$ ,  $\Delta T = -20\%$ ,  $\Delta Td = 0\%$

# Návrh adaptivních PID regulátorů

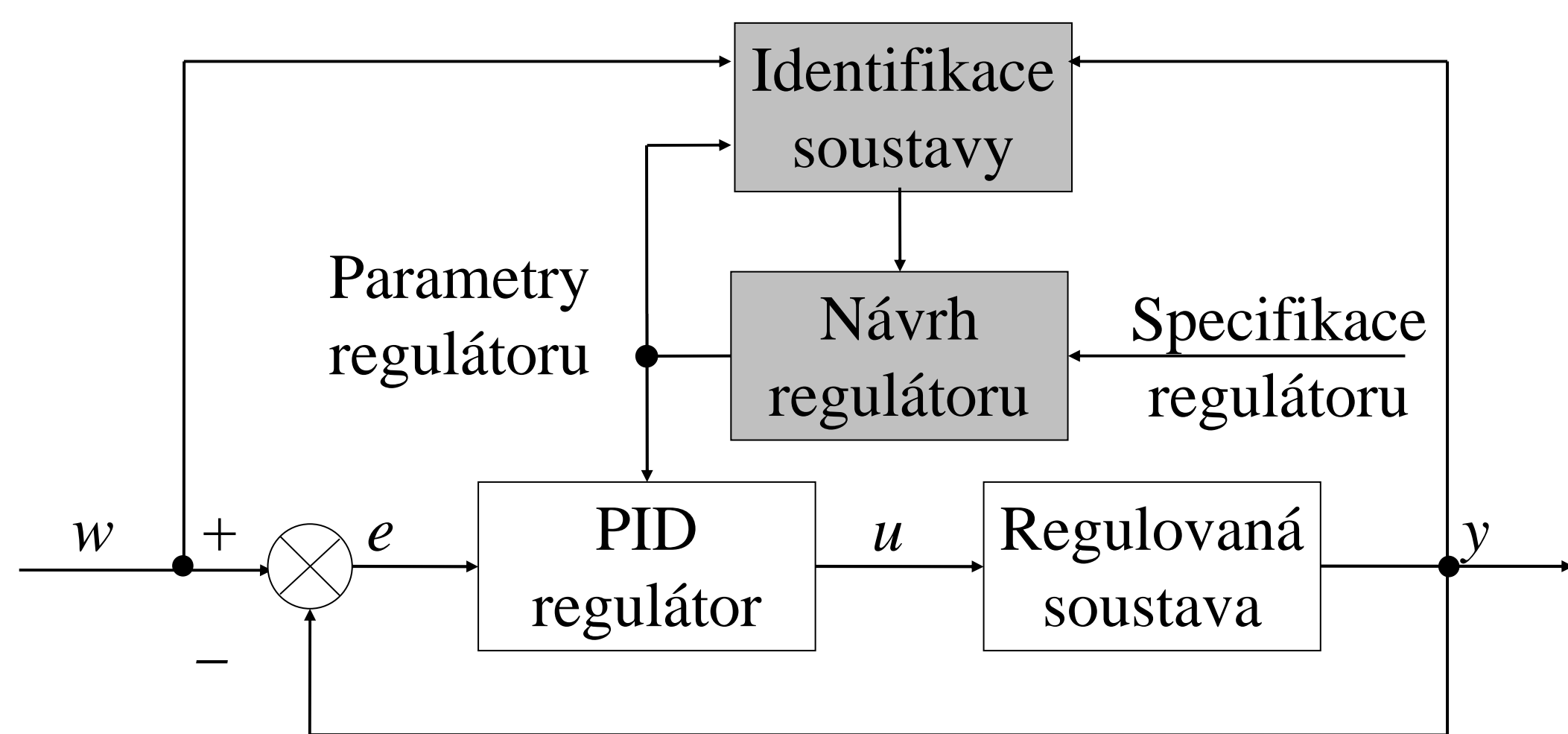


Autor: Petr Mik (731811764)

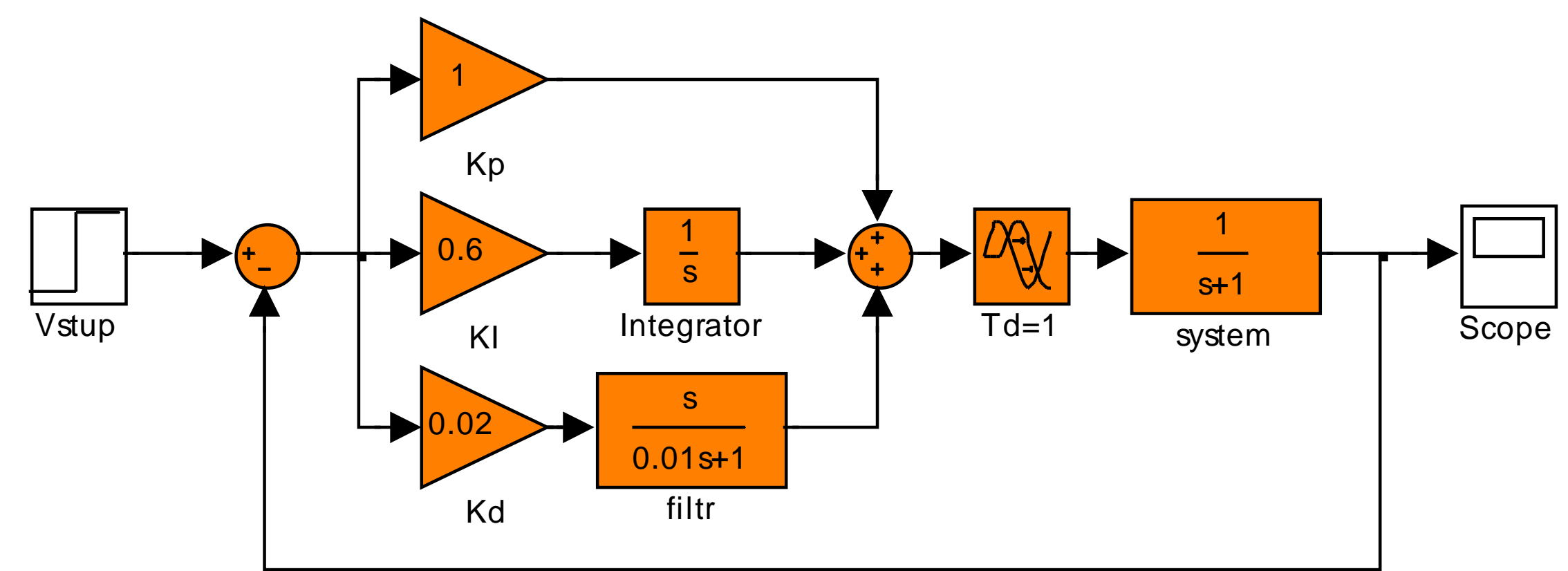
Vedoucí: Ing. Petr Hušek, Ph.D.



Cílem této práce byl návrh adaptivního PID regulátoru pro soustavu prvního řádu s dopravním zpožděním. Výsledný algoritmus je primárně určen pro dávkové procesy, kde se adaptace neprobíhá kontinuálně, ale po dávkách.



Navržené adaptační schéma



Zapojení PID regulátoru a tří-parametrického systému

Adaptační proces je rozdělen na dvě části. První částí je identifikace změn regulované soustavy pouze na základě přechodové charakteristiky uzavřené smyčky při známých hodnotách parametrů regulátoru. Tato část je pro zvládnutí adaptace zásadní. Pro vyřešení problému byly navrženy dvě iterační metody.

První metoda vychází z porovnávání dob náběhu a překmitů přechodových charakteristik před a po změně parametrů. Druhá metoda vychází z metod numerické optimalizace. Je zavedena kritériální funkce, jejíž minimalizací nalezneme hledané hodnoty pozmeněných parametrů:

$$f(K^A, T^A) = \sum_{t=1}^N (y^A(t, K^A, T^A) - y^B(t))^2 \quad (K^A, T^A) = \arg \min_{K^A, T^A} f(K^A, T^A)$$

Proměnné s horním indexem A označují systém se změněnými parametry, proměnné se symbolem B označují původní systém. Pro přechodovou charakteristiku je použita zkratka y. K minimalizaci je použita gradientní metoda nejrychlejšího sestupu. Ta ovšem vyžaduje znalost parciálních derivací kritériální funkce. Protože nemáme přesný analytický popis kritériální funkce (nejsme schopni analyticky spočítat přechodovou charakteristiku zpětnovazebního systému s dopravním zpožděním), je použita náhrada derivací diferencemi.

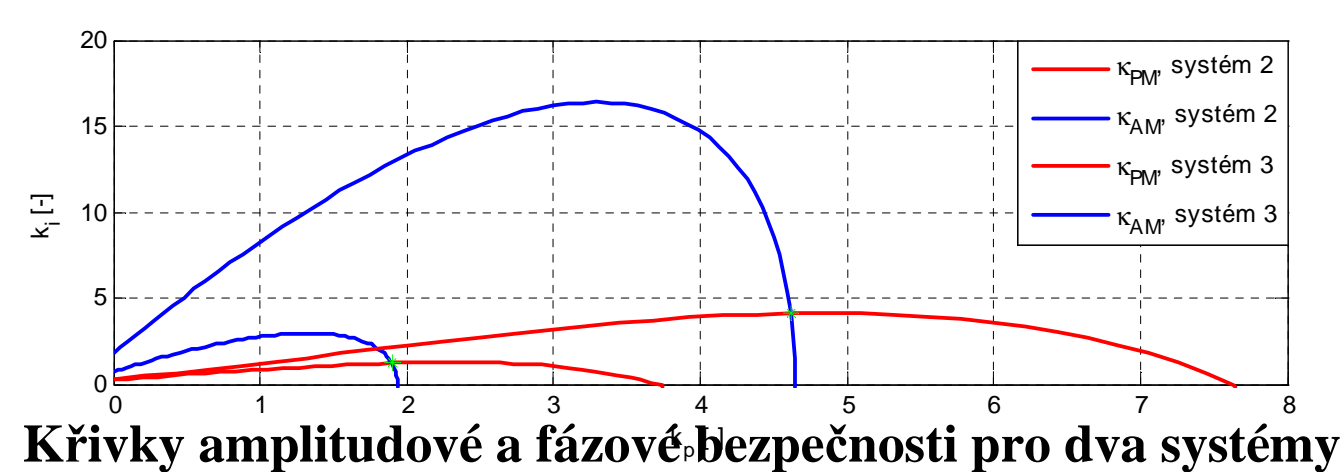
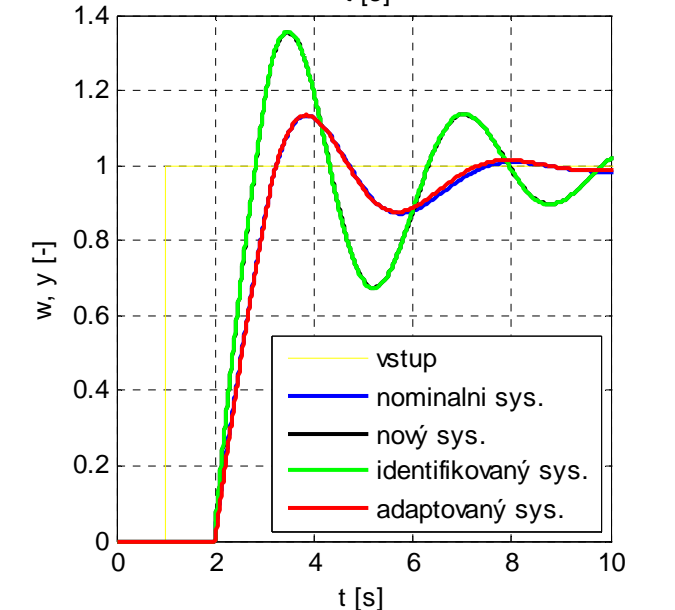
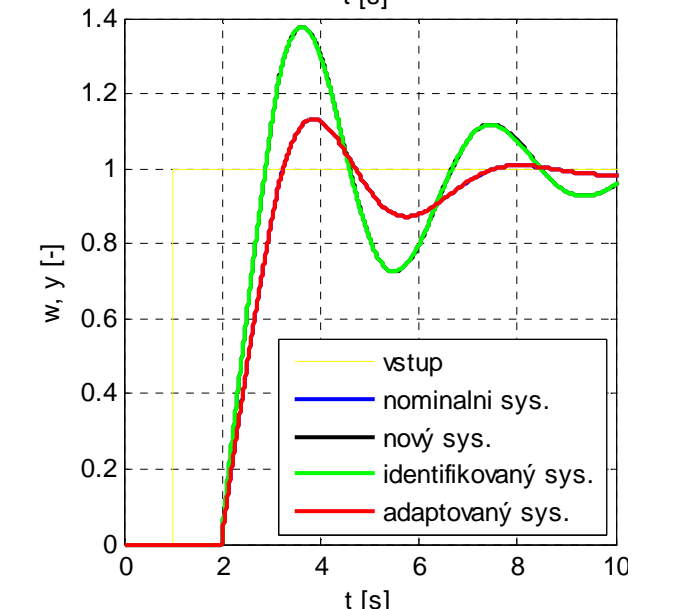
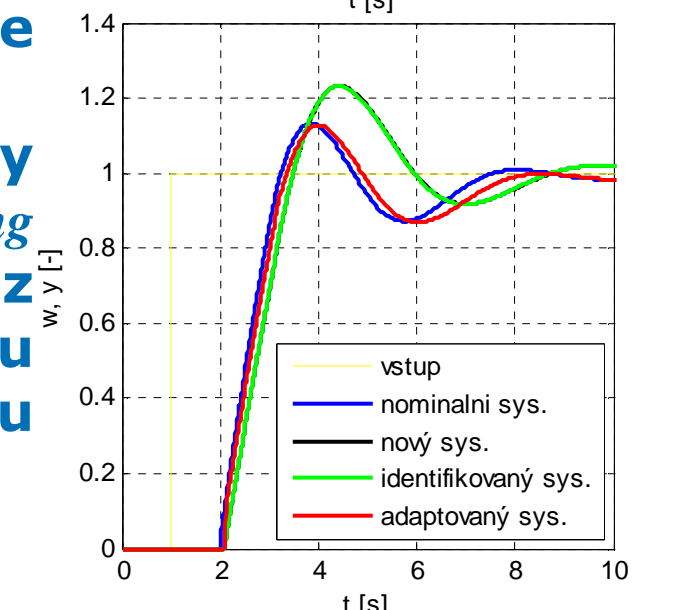
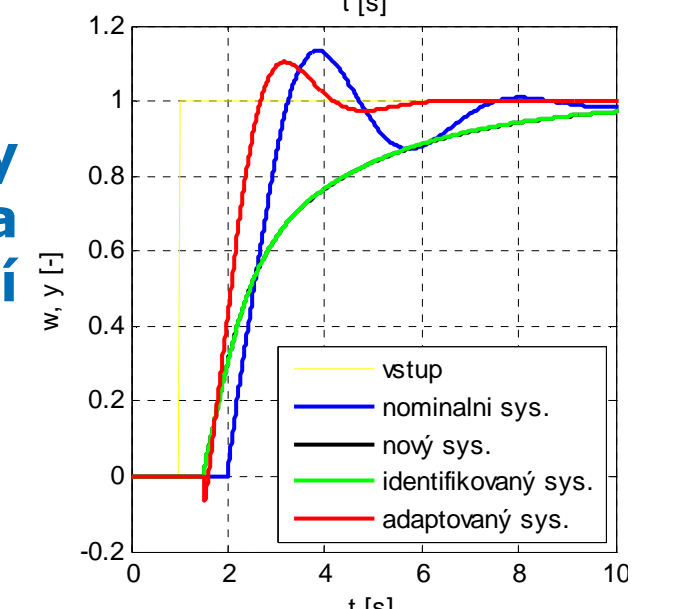
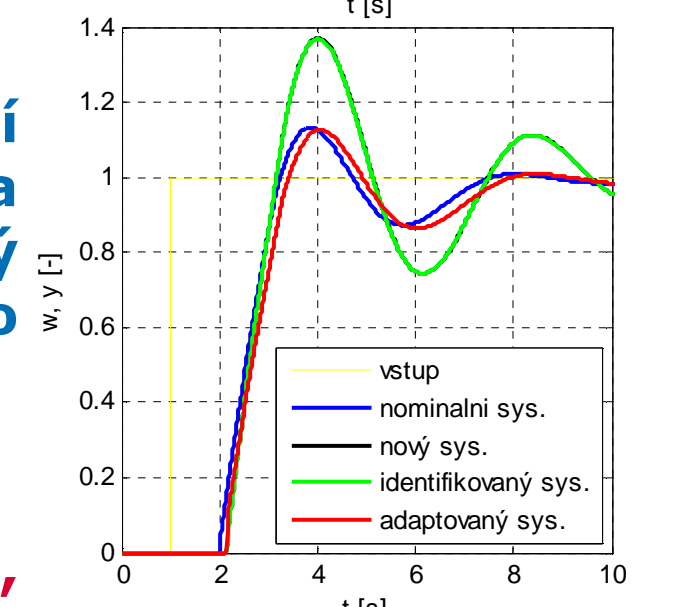
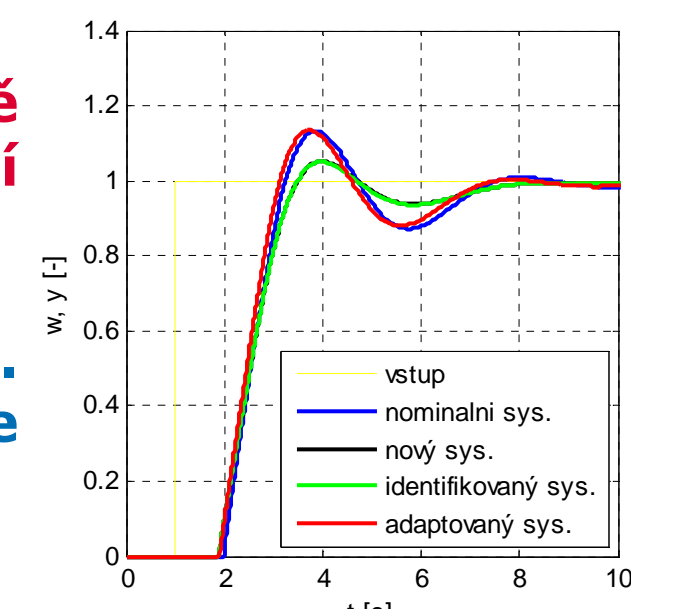
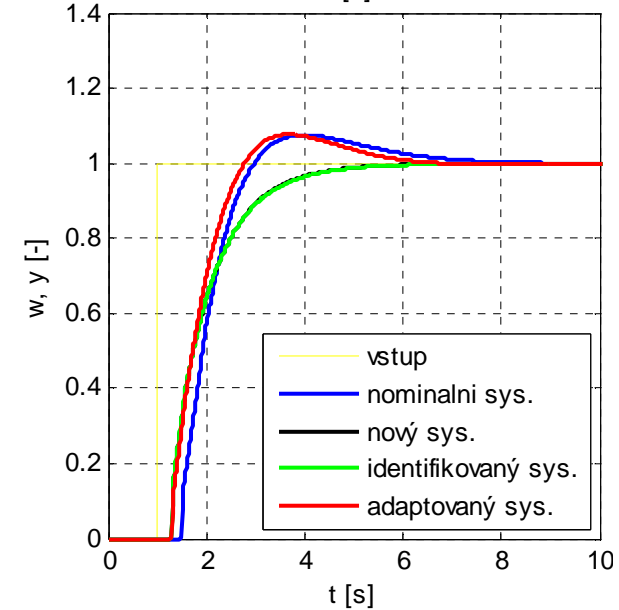
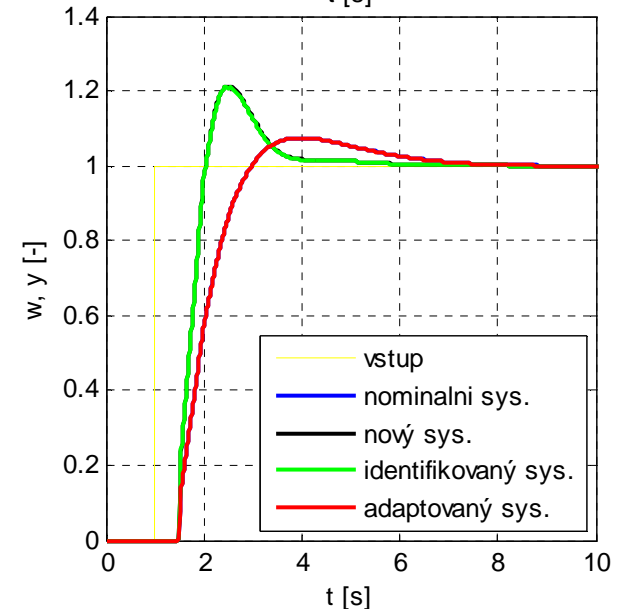
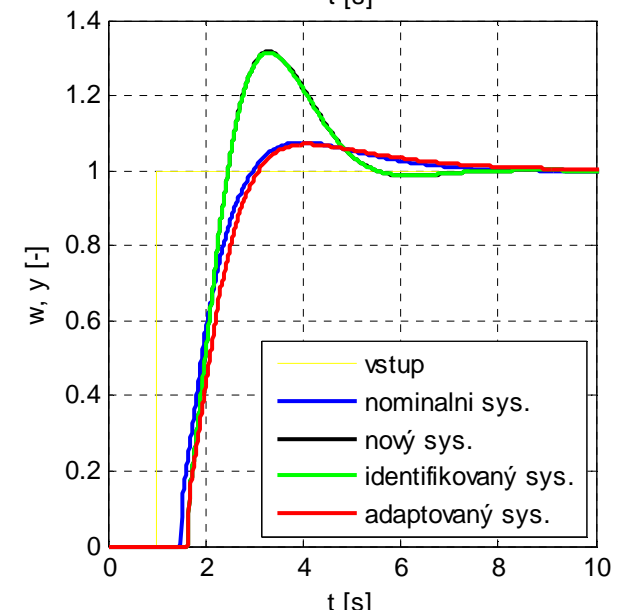
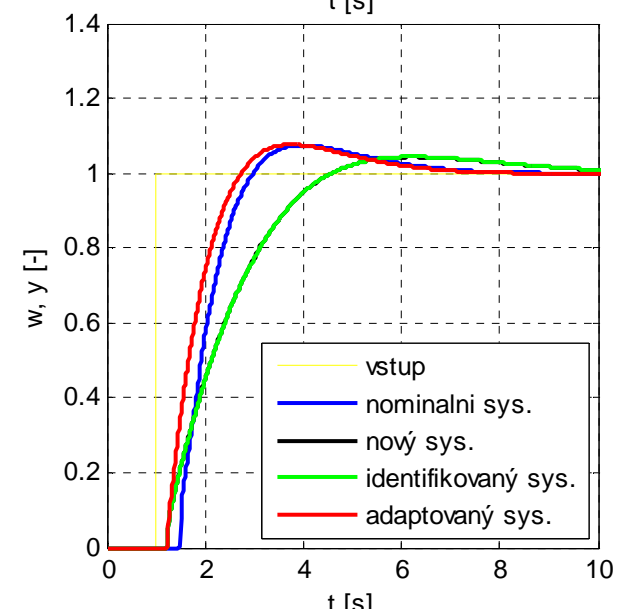
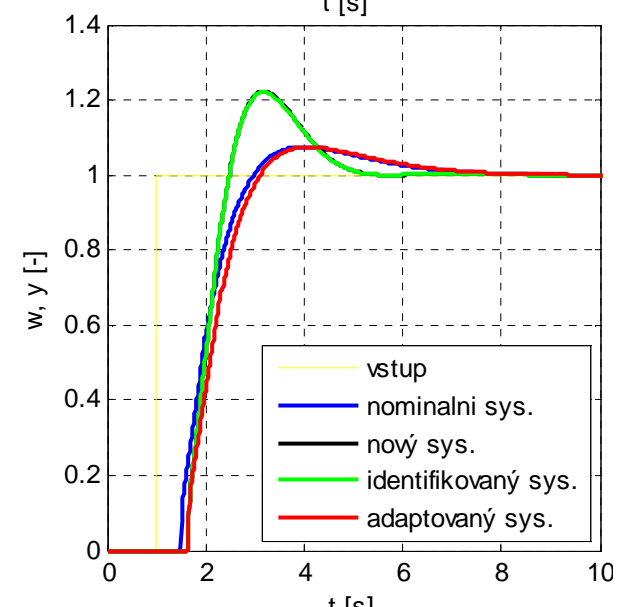
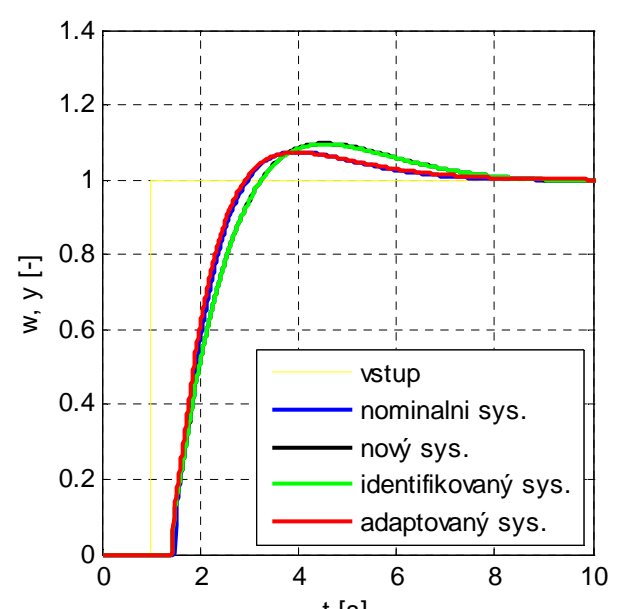
Druhou částí je návrh adaptujícího se regulátoru. K němu jsou použity jak metody vycházející z numerické optimalizace, tak metody vycházející z pojmů amplitudové a fázové bezpečnosti.

Při použití metod numerické optimalizace dochází k adaptaci v časové oblasti. Cílem adaptace zde je nastavit parametry regulátoru tak, aby se přechodová charakteristika pozmeněného systému s novým regulátorem co nejvíce podobala přechodové charakteristice nominálního systému. Podobnost opět měříme pomocí kritériální funkce, ta je ovšem nyní zkonstruována nad průměrem konstant regulátoru:

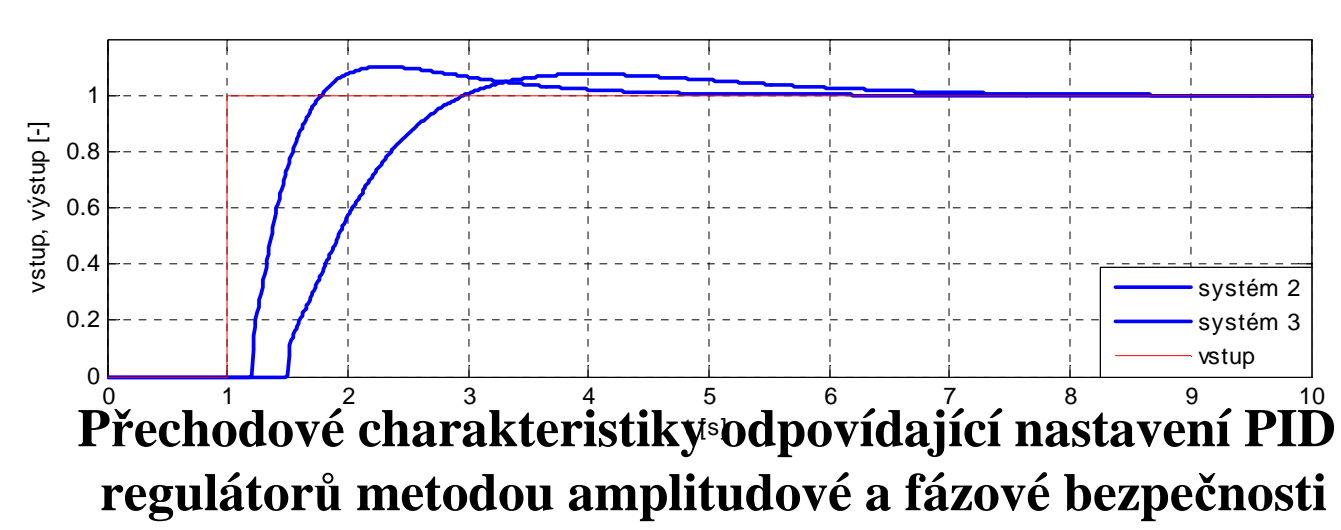
$$F(k_p, k_i, k_d) = \sum_{k=1}^N (y^N(k) - y^Z(k, k_p, k_i, k_d))^2 \quad (k_p, k_i, k_d) = \arg \min_{k_p, k_i, k_d} F(k_p, k_i, k_d)$$

Písmeno N označuje nominální systém, k jehož přechodové charakteristice se chceme přiblížit. Písmeno Z označuje změněný systém, pro který hledáme hodnoty parametrů regulátoru.

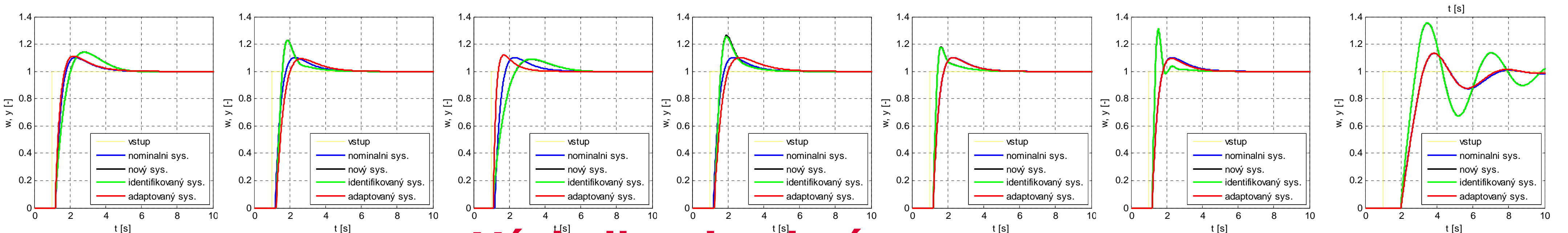
Druhý mechanismus se snaží o adaptaci ve frekvenční oblasti. Jeho cílem je, aby nominální i pozmeněný systém měly stejnou amplitudovou i fázovou bezpečnost. Za tímto účelem je doplněna metoda pro nastavování PI regulátorů [PI Tuning of Gain and Phase Margins. Automatica. Vol. 34, No. 9 tm 1145-1149, 1998 ] o přímé nalezení derivační složky. Tato metoda vychází z nalezení dvou křivek v rovině  $k_p, k_i$ . První křivka parametrizuje pro daný systém všechny PID regulátory mající stejnou amplitudovou bezpečnost, druhá křivka všechny PID regulátory mající stejnou fázovou bezpečnost. Průsečíku obou křivek pak odpovídají konstanty PID regulátoru.



Křivky amplitudové a fázové bezpečnosti pro dva systémy



Přechodové charakteristiky odpovídající nastavení PID regulátorů metodou amplitudové a fázové bezpečnosti



Výsledky simulací