

# MODELOVÁNÍ TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ VE VÝUCE AUTOMATIZACE

*J. Šípál*

Fakulta výrobních technologií a managementu; Univerzita Jana Evangelisty Purkyně

## Abstrakt

**Článek představuje využití programu Matlab a jeho nástavby Simulink při demonstraci změn chování systému regulace hladiny parního kotle v závislosti na změně typu regulátoru nebo jeho parametrů v předmětu automatizace.**

## 1 Úvod

Studium na vysokých školách přechází v současné době na způsob strukturovaného studia. To znamená, že první stupeň připravuje studenty v bakalářském studijním programu. Druhý stupeň je studium magisterské. V rámci bakalářského studia, tj. tříleté výuky, je potřeba připravit studenty tak, aby měli ukončené vysokoškolské vzdělání a mohli s dostatečnými znalostmi pracovat v podnicích. Zároveň je nutné zajistit kvalitní teoretickou přípravu tak, aby studenti mohli pokračovat v dalších studiích magisterského stupně navazujících oborů univerzit různých zemích Evropské Unie.

Studenti naší fakulty jsou připravováni jednak v bakalářském studijním programu, tak i navazujícím magisterském. Připravujeme studenty v technickém oboru, proto je musíme dobře připravit po teoretické stránce, ale také orientovat výuku na reálné technické problémy ve všech vyučovaných předmětech.

V rámci předmětu Automatizace, který je zařazen v letním semestru druhého ročníku, bylo proto nutno změnit strukturu výuky. Velkou pomocí je možnost modelování pomocí simulačních programů. V rámci přednášek a všech studijních textů je provedeno vysvětlení pojmů jako regulovaná soustava, regulátor, přenos apod. Získané teoretické vědomosti je potřeba studentům přiblížit a umožnit si odzkoušet jednotlivé funkce. To je základní náplní cvičení.

Na cvičeních jsou studenti seznámeni s technologickými procesy, které poznali v předchozí výuce nebo na exkurzích. Na těchto technologických procesech jsou představeny cíle řízení a limitující podmínky. Dále je ukázán sběr potřebných informací pro kontrolu a řízení. Z velké části se jedná o měření různých fyzikálních veličin. V zásadě se jedná o praktické využívání získaných znalostí z předmětu Technická měření, s nímž jsou studenti seznámeni v letním semestru prvního ročníku.

Vysvětlený technologický proces je popsán rovnicemi. Na základě takto precizovaných vztahů je zkonstruováno blokové schéma řídicího procesu. V programu Simulink je vytvořen model tohoto schématu.

Na tomto modelu je studentům demonstrováno chování soustavy s různými typy regulátorů. Dále jakým způsobem je změněn přechodová charakteristika pokud měníme parametry regulátorů. Model umožní realizovat všechny typy charakteristik astatické, s překmitem i astabilní. Tím, že teoretický výklad na přednáškách je na cvičeních doplněn prezentací na skutečném technologickém procesu, je látka velmi dobře objasněna a snadno zapamatována.

V tomto směru bylo v rámci předmětu Automatizace vytvořeno několik modelů. Článek představuje jeden z nich, regulace hladiny v bubnu parního práškového kotle. Se základním technologickým procesem byli studenti seznámeni v hodinách fyziky a termomechaniky. Vlastní zařízení viděli během exkurze, proto se tento proces jeví jako velmi vhodný pro modelování. Cílem výuky je ukázat funkci řízení, a proto jsou fyzikální vztahy zjednodušeny. V článku jsou představeny následující etapy výuky studentů:

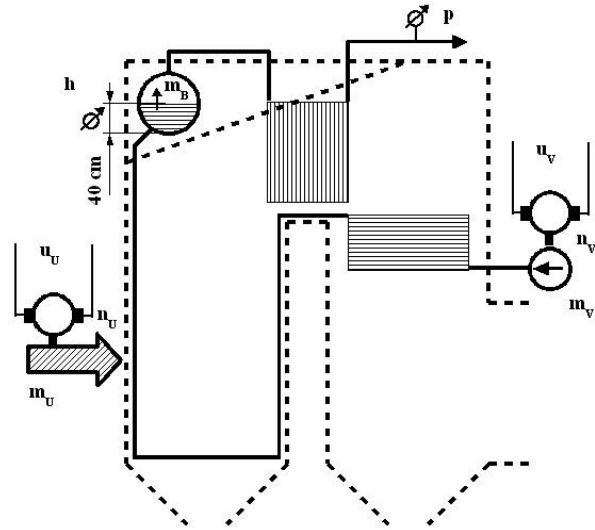
- Popis technologického procesu
- Definice použitých veličin a základních fyzikálních vztahů
- Sestavené blokové schéma
- Přechodové charakteristiky při změnách parametrů regulátorů

## 2 Popis technologického procesu

Přeměna chemické energie paliva v elektrickou se uskutečňuje v tepelné elektrárně. Jedním z hlavních výrobních zařízení je práškový parní kotel. V naší oblasti nejrozšířenější typ spaluje hnědé uhlí. Jedním z hlavních regulačních okruhů je regulace hladiny v bubnu. Na obrázku 1 je nakresleno zjednodušené schéma parního kotle a měřených veličin procesu.

Buben kotle je silnostěnné válcové těleso o průměru cca 1 m, umístěné v horní části předního tahu kotle tak, že osa bubnu je orintována vodorovně. Do spodní části bubnu jsou zaústěny varné a do horní přehřívákové trubky. Hladina v bubnu je rozhraní mezi dvěma stavy vody. Tuto hladinu je potřeba udržovat na stálé výši, cca uprostřed tělesa bubnu. Do varných trubek se nesmí dostat pára a do přehřívákové voda, jinak dojde k poruchám.

Na výstupu z kotle je udržován konstantní tlak páry. Tento tlak je závislý na množství vystupující páry. Pokud se zvýší odbírané množství páry, dochází k poklesu tlaku a zároveň k poklesu hladiny v kotli a naopak. Abychom udrželi hladinu na stejné výši, je nutno zvýšit přísun napájecí vody do kotle a zároveň zvýšit přísun paliva, v opačném případě je pochod opačný.



Obr 1: Schéma parního kotle

## 3 Zjednodušený model regulace hladiny

Cílem úlohy je demonstrovat a procvičit se studenty vliv typu regulátoru a jeho parametrů na soustavu, z tohoto důvodu je úloha maximálně zjednodušená. Tlak výstupní páry je měřen na výstupu z kotle. Dále je měřena hladina v bubnu. Obě měřené veličiny tlak i hladina jsou převedeny na proudový signál 0 až 20 mA. Přísun paliva do kotle je řízen změnou otáček podavače paliva. Změna množství dodávané napájecí vody je řízena také změnou otáček elektromotoru. Akční veličinou je změna napětí pro oba elektromotory. V regulačním procesu budeme pracovat s veličinami, které jsou uvedeny v následujícím přehledu.

### Použité veličiny:

- $p$ .....tlak páry
- $i_p$ .....výstupní proud ze snímače páry.....10 mA při 14 MPa
- $u_u$ .....řídící napětí regulující otáčky podavače paliva
- $n_u$ .....otáčky podavače paliva
- $u_v$ .....řídící napětí regulující otáčky napájecího čerpadla
- $n_v$ .....otáčky napájecího čerpadla
- $h$ .....výška hladiny
- $i_h$ .....výstupní proud ze snímače hladiny.....10 mA při 40 cm
- $\dot{q}$  .....tepelný tok (změna)
- $\dot{m}_B$  .....hmotnostní tok vody měnící se v páru
- $\dot{m}_P$  .....hmotnostní tok výstupní páry
- $\dot{m}_U$  .....hmotnostní tok uhlí
- $\dot{m}_V$  .....hmotnostní tok napájecí vody

### Zjednodušující rovnice

Problém je popsán matematickými rovnicemi. Vztahy mezi jednotlivými proměnnými jsou zjednodušeny a v maximální míře linearizovány. Rovnice (1) až (3) a (10) popisují zjednodušeným způsobem vztahy hmotnostními průtoky a měřenými veličinami, tlakem a hladinou.

$$\dot{m}_P + K_1 \cdot \frac{d}{dt} \dot{m}_P = K_2 \cdot p \quad (1)$$

$$\dot{m}_B = K_3 \cdot \dot{q} - K_4 \cdot m_V \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} h = K_5 \cdot (m_V - m_P) \quad (3)$$

Rovnice (4) až (9) mimo (7) popisují vztahy mezi akčními veličinami a hmotnostními průtoky. Rovnice (7) a (11) popisují převod měřicího přístroje, tj vztah mezi měřenou veličinou a výstupním signálem z měřicího přístroje.

$$n_U = K_6 \cdot u_U \quad (4)$$

$$\dot{m}_U = K_7 \cdot n_U \quad (5)$$

$$\dot{q} = K_8 \cdot \dot{m}_U \quad (6)$$

$$i_p = K_9 \cdot p \quad (7)$$

$$n_V = K_{10} \cdot u_V \quad (8)$$

$$\dot{m}_V = K_{11} \cdot n_V^3 \quad (9)$$

$$\frac{d}{dt} p = K_{12} \cdot (\dot{m}_B - \dot{m}_T) \quad (10)$$

$$i_h = K_{13} \cdot h \quad (11)$$

Použitím Laplaceovy transformace na rovnice (1) a (10) je stanoven obrazový přenos mezi tlakem a hmotnostním průtokem vyvíjené páry.

$$\frac{P}{\dot{M}_B} = \frac{K_{12} \cdot (1 + sK_1)}{s \cdot (1 + sK_1) + K_{12} K_2} \quad (12)$$

Konstanty  $K_1$  až  $K_{13}$  byly stanoveny na základě empirických zkušeností provozu práškového kotle o výstupním tlaku 14 MPa, a jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tabulka 1: Seznam použitých konstant

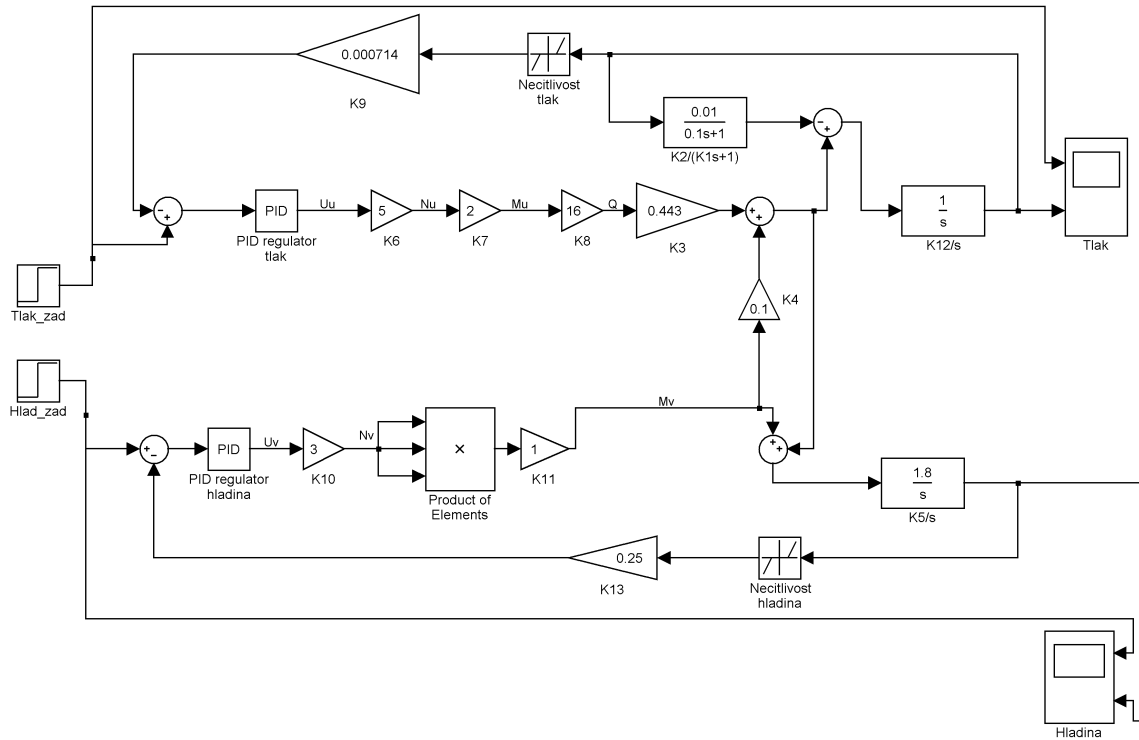
$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$
0,1	0,01	0,443	0,1	1,8	5	2	16	0,000714	3	1	1	0,25
	t/kPa	kg/MJ		m/t <sub>vody</sub>	ot/V	kg/ot	MJ/kg	mA/kPa	ot/V	t <sub>vody</sub> /ot	kPa/t	mA/m

#### 4 Blokové schéma

Na základě těchto rovnic převedených do Laplaceova prostoru je možno sestavit blokové schéma regulce hladiny jako na obrázku 2. Toto schéma by bylo možno zjednodušit, ale z didaktických důvodů se zjednodušení neuskuteční. Na tomto schématu je totiž patrné, kde se nachází určitá počítaná veličina.

Žádané veličiny jsou tlak a hladina. Obě veličiny mají velikost 10 mA. V případě tlaku to odpovídá požadovanému tlaku 14 MPa a u hladiny výšce 40 cm. Ve schématu jsou dva nelineární prvky, které charakterizují necitlivost měřicích přístrojů. Zobrazení výsledků je na dvou osciloskopech, kde je porovnáván vstupní a výstupní signál.

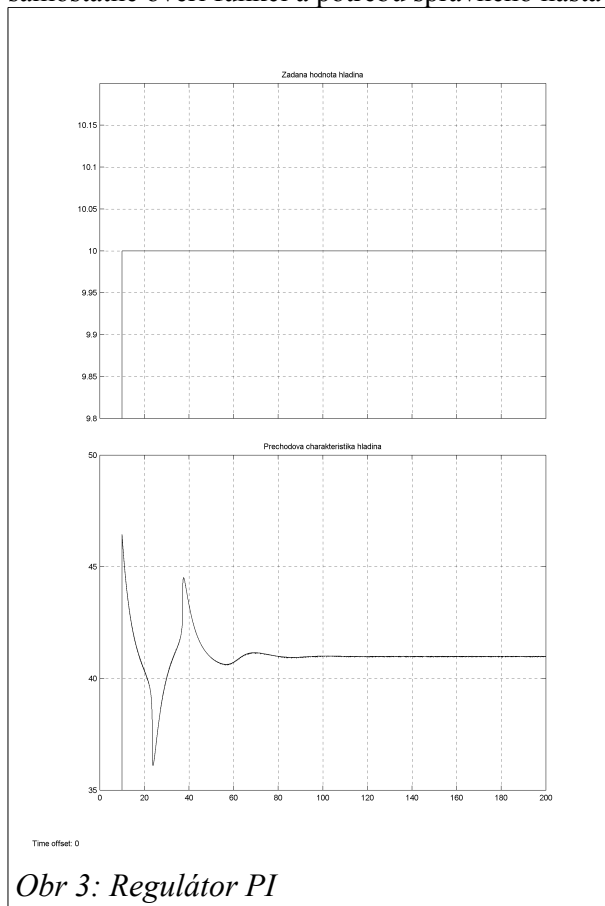
Nejdříve jsou studenti seznámeni s činností regulačního okruhu při odezvě na vstupní skok při různých typech regulátorů a změnách jejich parametrů. Po ověření a procvičení teoretických znalostí získaných na přednášce je blokové schéma doplněno částí, která simuluje náhodnou změnu tlaku případně hladiny. V tomto případě je demonstrována funkce regulace během rušivých vlivů. Pro výukové účely jsou zapojeny do osciloskopů, které sledují příslušnou žádanou veličinu a výstupní charakteristiku i rušivé signály. Tato simulace je již velmi blízká reálné skutečnosti a přesto je studenty zvládnuta.



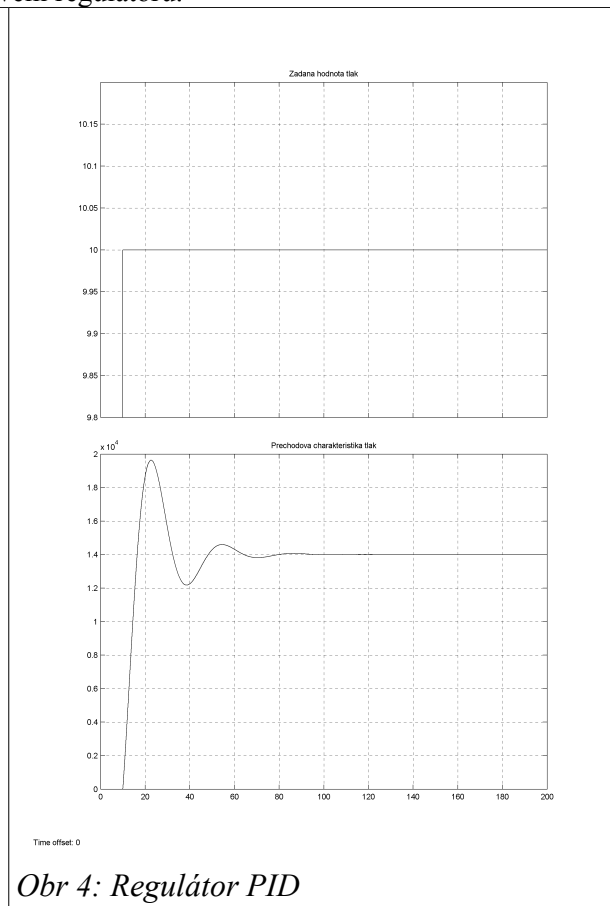
Obr 2: Blokové schéma regulace hladiny

## 5 Použití modelu

Na několika následujících ukázkách je demonstrován postup při výuce, kdy si studenti samostatně ověří funkci a potřebu správného nastavení regulátorů.



Obr 3: Regulátor PI

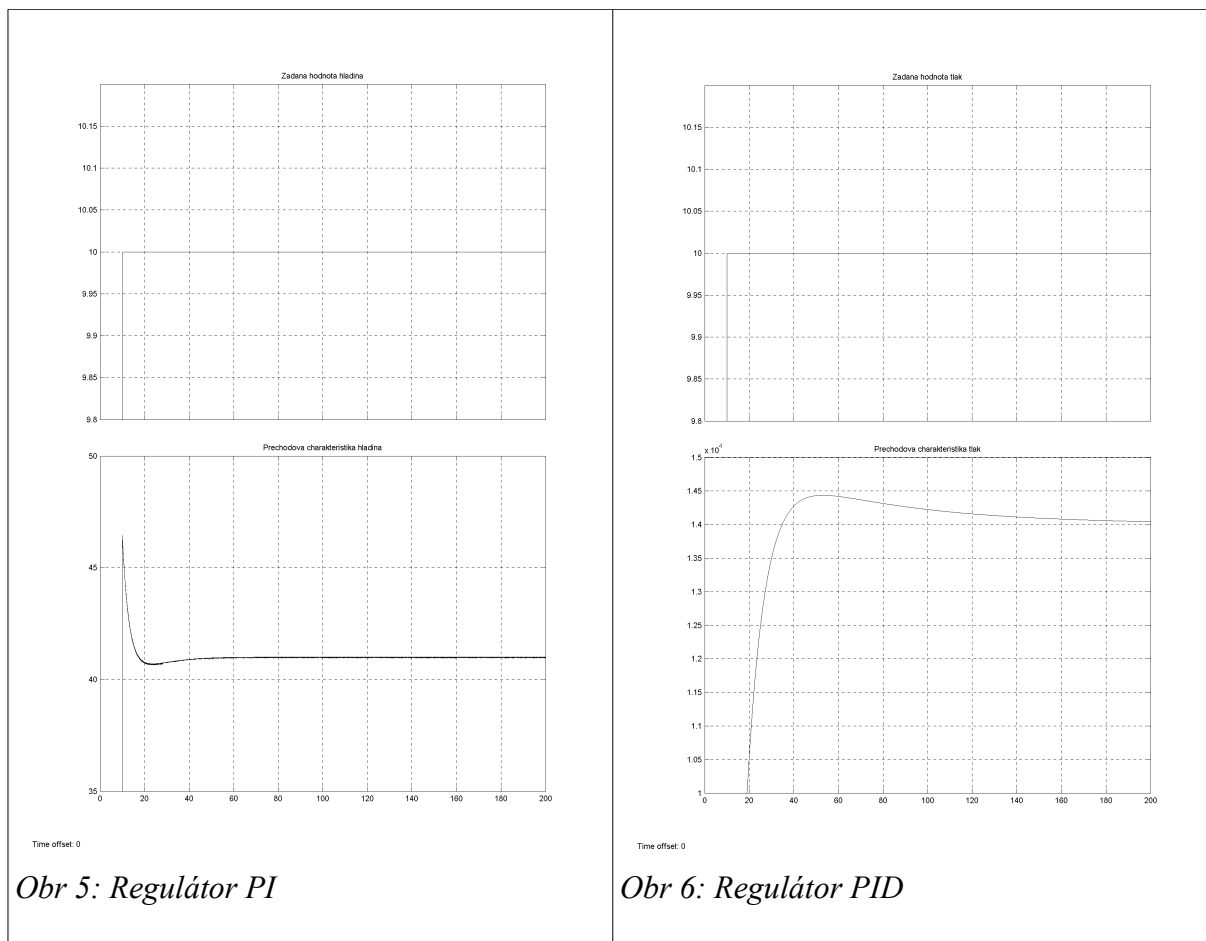


Obr 4: Regulátor PID

Ve schématu bylo provedeno následující nastavení regulátorů:

- hladiny - regulátor PI s obrazovým přenosem  $G_h = 3 + \frac{1}{s}$
- tlaku - regulátor PID s obrazovým přenosem  $G_p = 3 + \frac{1}{s} + 1 \cdot s$

Přechodová charakteristika hladiny je na obrázku 3 a tlaku na obrázku 4. Na této simulaci studenti vidí, že výsledky použitých regulátorů nejsou dobré.



V dalším případě byla provedena změna v nastavení regulátorů:

- hladiny - regulátor PI s obrazovým přenosem  $G_h = 3 + \frac{1}{s}$
- tlaku - regulátor PID s obrazovým přenosem  $G_p = 3 + \frac{0,05}{s} + 1 \cdot s$

Přechodová charakteristika hladiny je na obrázku 5 a tlaku na obrázku 6. Na této simulaci studenti vidí, že výsledky použitých regulátorů jsou velmi dobré.

## 6 Závěr

Autor článku představil, jakým způsobem používá produkt Simulink ke zlepšení výuky předmětu automatizace. Teoretické poznatky získané na přednáškách jsou doplňovány praktickými ukázkami regulačních pochodů na zjednodušených technologických procesech. Studenti vidí a mohou si sami ověřit vliv typu regulátoru na daný obvod. Dále se seznamují s možnostmi jak ovlivnit regulační pochod změnou parametrů. Tím je naplněn cíl předmětu v bakalářském studijním programu – na jednu stranu získávat teoretické znalosti, které studentům umožní rozvíjet znalosti automatizační techniky v dalších předmětech navazujícího magisterského studia, a zároveň se seznámit s praktickými aplikacemi tak, aby po ukončení tříletého studijního cyklu byli studenti platnými odborníky ve své profesi.

Velkou výhodou programového prostředí Simulink je ta skutečnost, že studenti si mohou daný technický problém nejen teoreticky popsat ale i namodelovat. Toto jim umožňuje získávat základní praktické zkušenosti s řízením technologických zařízení, které ve školní praxi lze pouze popisovat na obrázcích.

## Reference

- [1] *Manuály k programům Matlab a Simulink, verze 6*
- [2] *P. Noskovič Modelování a identifikace systémů. Montanex a.s., 1999.*
- [3] *Odborné školství a praxe v automatizaci; Diskuzní klub, Automatizace ročník 48 číslo 2 a 3, 2005*

---

Ing. Jaroslav Šípál, PhD.

UJEP; fakulta výrobních technologií a managementu; katedra strojů a mechaniky; Na Okraji 1001;  
400 96 Ústí nad Labem; tel 475285515; e-mail: [sipal@utrv.ujep.cz](mailto:sipal@utrv.ujep.cz)