

# KNIHOVNA MODELŮ TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ

Radim Pišan, František Gazdoš

Fakulta aplikované informatiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Nad stráněmi 4511, 760 05 Zlín

## Abstrakt

V článku je představena knihovna modelů technologických procesů, vytvářená v programovém prostředí MATLAB-SIMULINK. Tato využívá bloku s-function (s-funkcí) pro definici dynamiky vybraných procesů. Prozatím je knihovna tvořena bloky zásobníků na kapalinu (kulové, válcové a ve tvaru trychtýře), průtočným výměníkem tepla a průtočným chemickým reaktorem. Ke každému bloku byla vytvořena podpora ve formě nápovědy, kde je jak matematický popis, tak i popis bloku. Knihovna je koncipována jako otevřená. Výstup práce bude sloužit pro pedagogické účely do předmětů souvisejících s modelováním, simulací a řízením, ale také pro badatelské účely ověřování řídicích algoritmů simulačními prostředky.

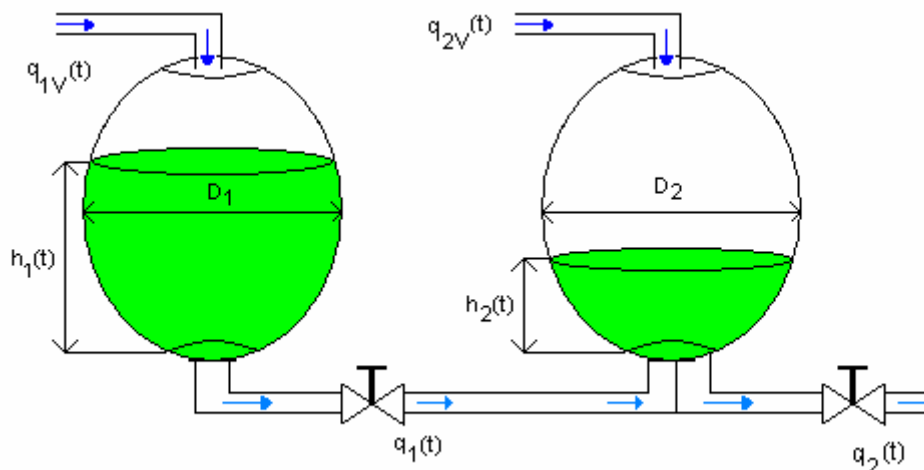
## Úvod

V posledních letech roste výkon počítačů a s tím souvisí i jejich možnost pro použití v modelování a simulaci. Počítačová simulace obecně šetří čas a náklady, a také umožňuje dělat s modelem takové experimenty, které by nebyly v reálném provozu proveditelné, např. simulace kritických stavů apod. Modelováním se zabývá celá řada publikací, např. [1], [2], [4].

Cílem toho článku je představit jednu oblast možného využití počítačového modelování a simulace – pro simulaci chování technologických procesů. Není zde podrobně popsáno jak se vlastní model procesu vytváří, ale jeho možná implementace do programového prostředí MATLAB-SIMULINK. Dále uvedeným způsobem byla vytvořena Knihovna vybraných modelů technologických procesů v rámci práce [3], kde byl kladen důraz především na uživatelsky snadnou obsluhu a přehlednou dokumentaci.

## 1 Modelování

K popisu chování technologických procesů se využívá matematicko-fyzikálního modelování, jehož výstupem jsou diferenciální rovnice popisující daný děj. Odvození těchto rovnic se obecně děje na základě bilancí. Na Obr.1 je vidět schéma jednoho z implementovaných procesů - dva kulové zásobníky na kapalinu zapojené v sérii, přičemž popis veličin je uveden v Tabulce 1.



Obrázek 1: Dva kulové zásobníky na kapalinu v sérii

Tabulka 1 POPIS VELIČIN

Označení	Popis	Jednotka
$q_{1v}(t)$	přítok do prvního zásobníku	[m <sup>3</sup> /s]
$q_{2v}(t)$	přítok do druhého zásobníku	[m <sup>3</sup> /s]
$h_1(t)$	výška hladiny v prvním zásobníku	[m]
$h_2(t)$	výška hladiny v druhém zásobníku	[m]
$D_1$	průměr prvního zásobníku	[m]
$D_2$	průměr druhého zásobníku	[m]
$q_1(t)$	odtok z prvního zásobníku	[m <sup>3</sup> /s]
$q_2(t)$	odtok z druhého zásobníku	[m <sup>3</sup> /s]

Na základě bilancí průtoků (a přijatých zjednodušení) můžeme odvodit následující diferenciální rovnice popisující daný proces:

$$\begin{aligned} \frac{dh_1(t)}{dt} &= \frac{1}{\pi h_1(t)(D_1 - h_1(t))} [q_{1v}(t) - q_1], \\ \frac{dh_2(t)}{dt} &= \frac{1}{\pi h_2(t)(D_2 - h_2(t))} [q_{2v}(t) + q_1 - q_2], \end{aligned} \quad (1)$$

kde  $q_1 = k_1 \sqrt{|h_1(t) - h_2(t)|}$ ,  $q_2 = k_2 \sqrt{h_2(t)}$

s počátečními podmínkami  $h_1(0) = h_1^s$ ,  $h_2(0) = h_2^s$

Rovnice (1) platí pro případ, kdy pro výšky hladin platí:  $h_1 > h_2$ , pokud  $h_1 < h_2$ , pak  $q_1 = -q_1$

Aby nedocházelo k chybovým stavům při simulaci (dělení nulou při hladině blízké nule, nebo plném zásobníku) jsou tyto singularity ošetřeny následovně:

- jestliže  $h_1(t) < 0.01 D_1$ , pak  $h_1(t) = 0.01 D_1$
- jestliže  $h_2(t) < 0.01 D_2$ , pak  $h_2(t) = 0.01 D_2$
- jestliže  $h_1(t) > 0.99 D_1$ , pak  $h_1(t) = 0.99 D_1$
- jestliže  $h_2(t) > 0.99 D_2$ , pak  $h_2(t) = 0.99 D_2$

Na základě rovnice (1) a výše uvedených podmínek je definována příslušná s-funkce, popsaná v následující sekci.

## 2 S-funkce

Pro vytvoření modelů je využito bloku *s-function* a jeho propojení s příslušným souborem (*m-file*), kde je definován matem. popis daného systému. Také jsou zde ošetřeny možné singularity při výpočtu. Přepsání matem. modelu (1) je provedeno tímto způsobem:

```
function sys = mdlDerivatives(t,x,u, D, k)
    if x(1)<0.01*D(1)
        x(1)=0.01*D(1); %definuje minimální výšku hladiny pro první zásobník
    end
```

```

if x(2)<0.01*D(2)
    x(2)=0.01*D(2); %definuje minimální výšku hladiny pro druhý zásobník
end
if x(1)>0.99*D(1)
    x(1)=0.99*D(1); %definuje maximální výšku hladiny pro první zásobník
end
if x(2)>0.99*D(2)
    x(2)=0.99*D(2); %definuje maximální výšku hladiny pro druhý zásobník
end
if x(1)>=x(2) %pokud je výška hladiny v prvním zásobníku větší jak ve druhém platí tyto dif. rovnice
    sys(1)=(1/(pi*x(1)*(D(1)-x(1))))*(u(1)-(k(1)*sqrt(abs(x(1)-x(2)))));
    sys(2)=(1/(pi*x(2)*(D(2)-x(2))))*(u(2)+(k(1)*sqrt(abs(x(1)-x(2))))-(k(2)*sqrt(x(2))));
end
if x(1)<x(2) %pokud je výška hladiny v prvním zásobníku menší jak ve druhém platí tyto dif. rovnice
    sys(1)=(1/(pi*x(1)*(D(1)-x(1))))*(u(1)+(k(1)*sqrt(abs(x(1)-x(2)))));
    sys(2)=(1/(pi*x(2)*(D(2)-x(2))))*(u(2)-(k(1)*sqrt(abs(x(1)-x(2))))-(k(2)*sqrt(x(2))));
end

```

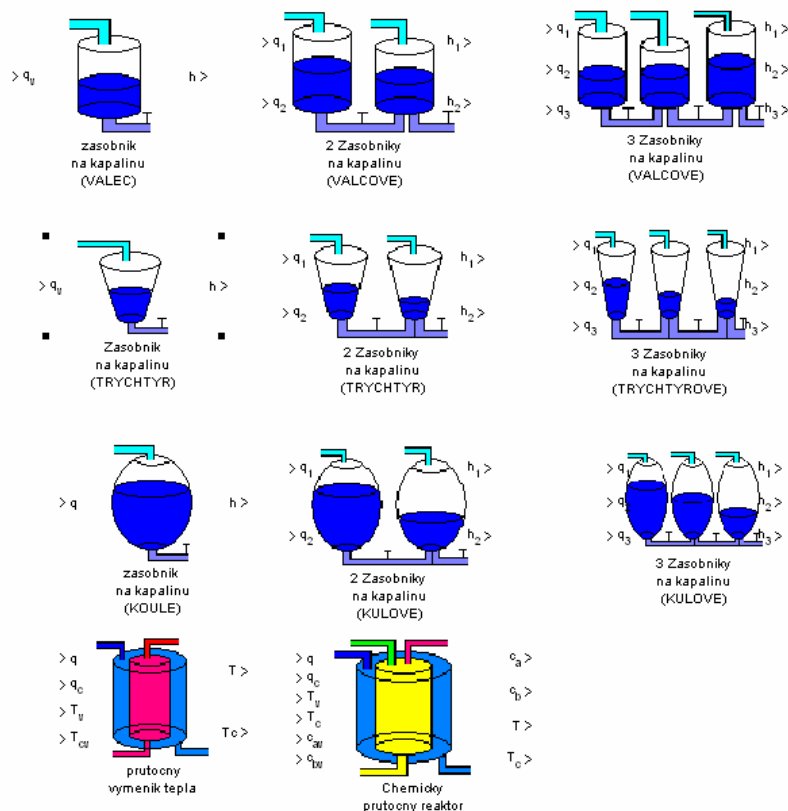
### 3 Knihovna

Výše naznačeným způsobem byla realizována zmíněná knihovna vybraných technologických procesů (koncipovaná jako *toolbox*).

#### 3.1 Struktura

Knihovna prozatím obsahuje následující bloky: zásobníky na kapalinu (kulové, válcové a ve tvaru trychtýře v konfiguraci 1, 2, 3), průtočný výměník tepla a průtočný chemický reaktor; je zobrazena na Obr.2. Knihovna má následující adresářovou strukturu:

- ./bmp – nacházejí se zde obrázky pro pozadí bloků
- ./help – zde lze najít nápovědu v DOC nebo PDF formátu
- ./sim – zde jsou umístěny simulační schémata
- ./html – zde je možné najít HTML-soubory, které jsou použity jako nápověda pro jednotlivé bloky
- ./html/html – v tomto adresáři se nacházejí GIF-obrázky pro HTML-soubory
- ./ -zde se nalézají příslušné soubory *s-funkcí* a také soubor *knihovna.mdl*, ve kterém jsou přehledně umístěny vytvořené modely.



Obrázek 2: Knihovna modelů technologických procesů

### 3.2 Nastavení bloků

Každý blok má své nastavení, kde se definují fyzikální parametry daného procesu, jako je např.: výška, průměr, počáteční výška hladiny atd., viz Obr. 3.

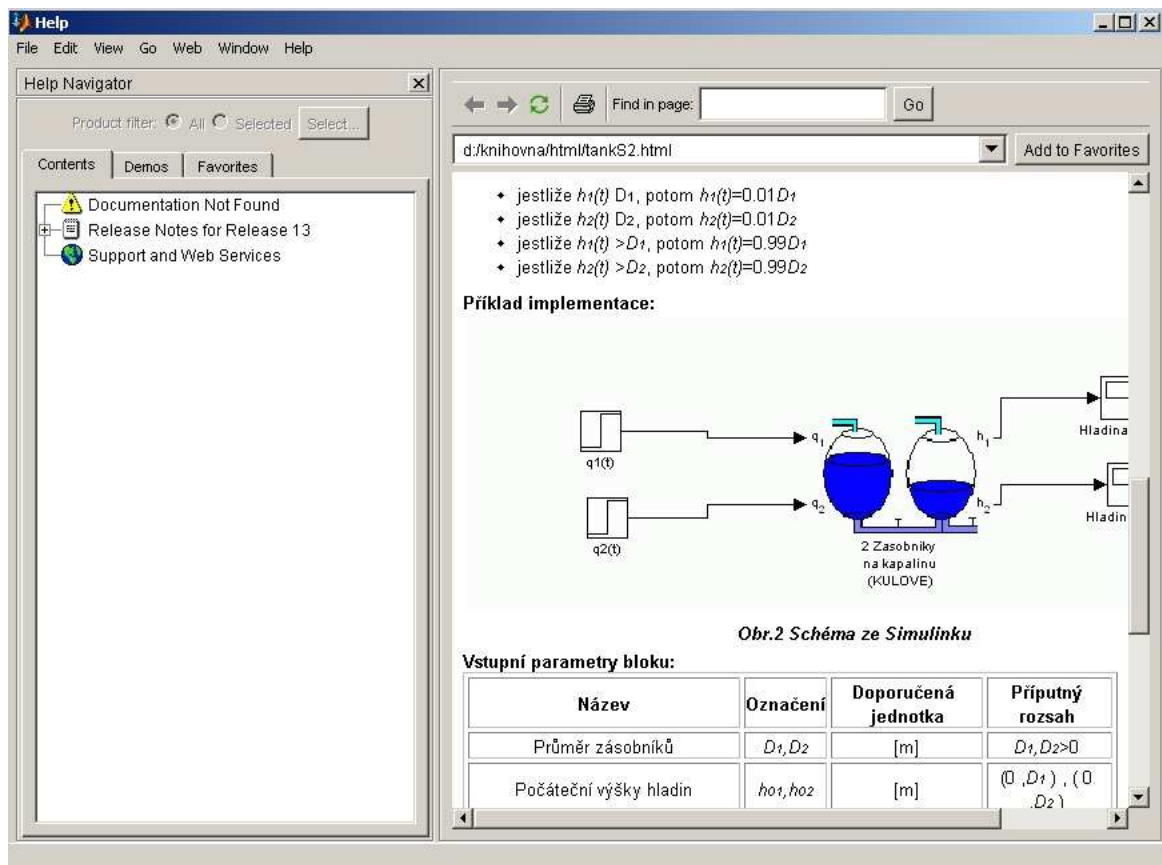
The screenshot shows the 'Block Parameters: 2 Zasobníky na kapalinu (KULOVE)' dialog box. It contains the following fields and values:

- TankS2 (mask) (link)
- Matematický model dvou kulových zásobníků
- Parameters
- Prumer zasobniku [jedna, dva]: [20 20]
- Ustaleny prtok do zasobniku [jedna, dva]: [1 1]
- Ustalena vyska pri ustalenem prutoku v zasobniku [jedna, dva]: [5 4]
- Pocatecni vyska hladiny v zasobniku [jedna, dva]: [1 1.5]
- Buttons: OK, Cancel, Help, Apply

Obrázek 3: Zadávání parametrů bloků

### 3.3 Náповěda

Ke každému bloku byla vytvořena podpora ve formě nápovědy vytvořené pomocí jazyka HTML. V nápovědě je popsán jak matematický model daného procesu, tak i popis parametrů bloku s příslušnými přípustnými rozsahy, viz Obr.4.



Obrázek 4: Nápopvěda k blokům

### 3.4 Ošetření zadávaných údajů

Každý blok má jednoduchou vstupní kontrolu uživatelem-zadávaných údajů. Pro toto ošetření byla použita záložka *Initialization* v *Mask-editoru*. Příklad takové kontroly je uveden dále:

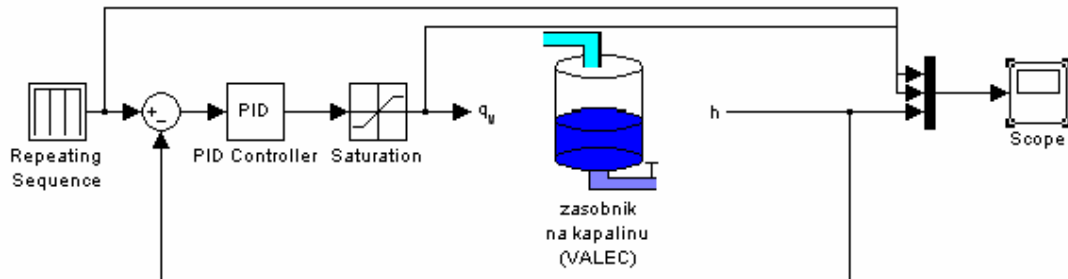
```

if D(1)<=0 || D(2)<=0
    error('Prurez je mensi nebo roven 0');
end
if h0(1)>=D(1) || h0(2)>=D(1)
    error('Pocatecni vyska je vetsi nebo rovna prumeru zasobniku');
end
if q_s(1)<=0 || q_s(2)<=0
    error('Ustaleny pritek je mensi nebo roven 0');
end
if h_s(1)<=0 || h_s(2)<=0
    error('Ustalena vyska hladiny je mensi nebo rovna 0');
end
if h_s(1)>=D(1) || h_s(2)>=D(2)
    error('Ustalena vyska hladiny je vetsi nebo rovna prumeru zasobniku');
end
if h_s(1)==h_s(2)
    error('Ustalene vysky hladin jsou stejne, nastava deleni nulou');
end

```

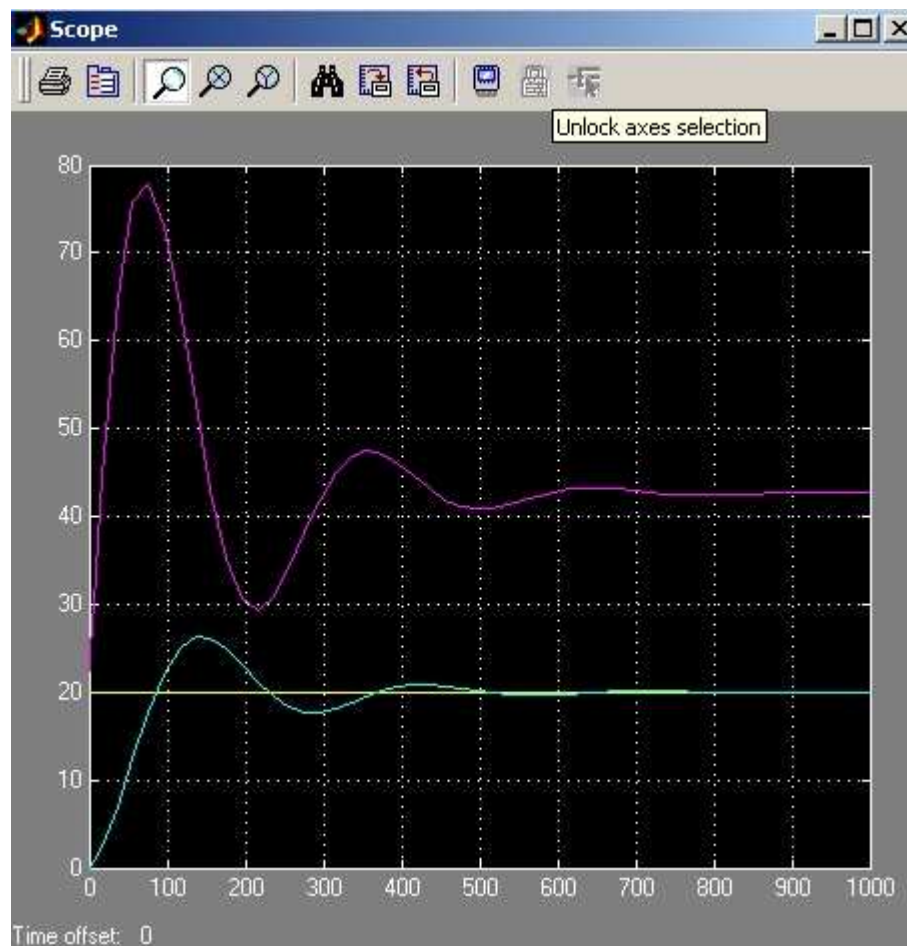
## 4 Simulace

Knihovnu lze použít např. pro ověření návrhu regulátorů na vytvořených simulačních modelech technologických procesů. Na Obr.5 lze vidět základní regulační obvod s PID regulátorem při řízení hladiny ve válcovém zásobníku. Na uvedeném příkladu simulace řízení byl zmíněný PID regulátor navržen na základě simulované přechodové charakteristiky pomocí metody Ziegler-Nichols.



Obrázek 5: Regulační schéma

Na Obr.6 je vidět výsledek regulace hladiny (světle modrá) pro danou skokovou změnu referenčního signálu (žlutá).



Obrázek 6: Příklad simulace řízení

## Závěr

Cílem toho článku bylo představit knihovnu modelů vybraných technologických procesů vytvářenou v prostředí MATLAB-Simulink. Tato knihovna je koncipována jako otevřená a bude volně k dispozici. Lze ji využít jak pro pedagogické tak i vědecko-výzkumné účely. Knihovna bude dále rozšířena a předělána do aktuální verze programového systému MATLAB/SIMULINK.

## Reference

- [1] MIKLEŠ, J. - FIKAR, M. *Modelovanie, identifikácia a riadenie procesov I*. 1999. Vydavateľstvo STU: Bratislava.
- [2] NOSKIEVIČ, P. *Modelování a identifikace systémů*. 1999. Montanex a.s.: Ostrava.
- [3] Pišan, R. (2008). *Knihovna modelů technologických procesů*. Diplomová práce. Fakulta aplikované informatiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [4] WELLSTEAD, P.E. *Introduction to physical system modelling*. 1979. Academic Press Ltd: London.

---

Radim Pišan

Fakulta aplikované informatiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
pisan@fai.utb.cz

František Gazdoš

Fakulta aplikované informatiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
gazdos@fai.utb.cz