Knihovna modelů technologických procesů

Bc. Radim Pišan

2007

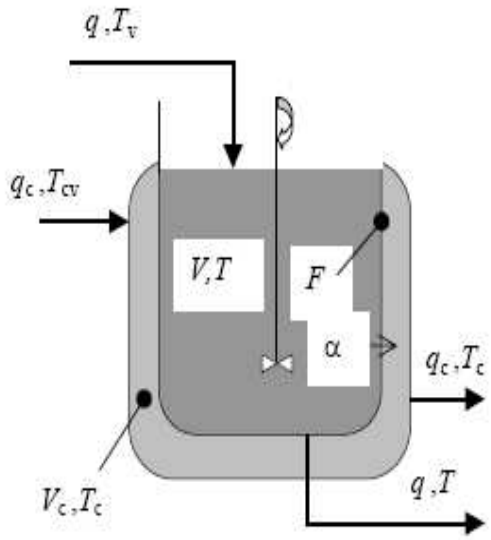
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ABSTRAKT

V práci 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. Knihovna je koncipována jako otevřená a další bloky vybraných technologických procesů budou následovat.Výstup práce bude sloužit pro pedagogické účely do předmětů souvisejících s modelováním, simulací a řízením, ale také pro badatelské účely ověřování řídích algoritmů simulačními prostředky. V tomto dokumentu je nastíněn postup vytvoření jednoho konkrétního bloku – průtočného výměníku tepla s promícháváním. Ostatní bloky jsou vytvořeny stejným principem.

1 MODEL.

K popisu chování technologických procesů se používá matematického modelování jehož výstupem jsou diferenciální rovnice popisující daný děj. Odvození těchto rovnic se děje na základě bilancí. Na Obr.1 můžeme vidět průtočný výměník tepla s promícháváním.



Obr. 1 Schéma průtočného výměníku

Popis jednotlivých veličin:

q	……...	vstupní a výstupní průtok teplejšího média	[m^3/min]
T_v	……...	teplota teplejšího média na vstupu	[K]
q_c	……...	vstupní a výstupní průtok chladnějšího média	[m^3/min]
T_{cv}	……...	teplota chladnějšího média na vstupu	[K]
V	……...	objem teplejšího média	[m^3]
V_c	……...	objem chladnějšího média	[m^3]
T	……...	teplota na výstupu	[K]
T_c	……...	teplota na výstupu z chladíci části	[K]
F	……...	přestupná plocha	[m^2]
α	……...	koeficient přestupu tepla	[$kJm^{-2}K^{-1}min^{-1}$]

Podle Obr.1 můžeme sestavit následující bilanční rovnice:

- pro chlazené médium

$$\begin{Bmatrix} Teplo\ vstupující \\ v\ proudu\ kapaliny \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} teplo\ odcházející \\ v\ proudu\ kapaliny \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} teplo\ \ přestupující \\ do\ chladící\ kapaliny \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} teplo\ v\ objemu \\ V\ akumulované \end{Bmatrix}$$

- pro chladící médium

$$\begin{Bmatrix} Teplo\ vstupující \\ v\ proudu\ kapaliny \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} teplo\ odcházející \\ z\ chlazené\ kapaliny \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} teplo\ odcházející \\ v\ proudu\ kapaliny \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} teplo\ v\ objemu \\ V_c\ akumulované \end{Bmatrix}$$

Poté slovní vyjádření převedeme na matematické rovnice:

$$q\rho c_p T_v = q\rho c_p T + F\alpha(T - T_c) + V\rho c_p \frac{dT}{dt}$$

$$q\rho_c c_{pc} T_{cv} + F\alpha(T - T_c) = q_c \rho_c c_{cp} T_c + V_c \rho_c c_{pc} \frac{dT_c}{dt}$$

Upravíme dané diferenciální rovnice tak, aby se osamostatnila derivace a zůstala na jedné straně:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{-q\rho c_p T - F\alpha(T - T_c) + q\rho c_p T_V}{V\rho c_p}$$

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{-q_c \rho_c c_{cp} T_c + q\rho_c c_{pc} T_{cv} + F\alpha(T - T_c)}{V_c \rho_c c_{pc}}$$

Tyto rovnice použijeme dále pro definici s-funkce.

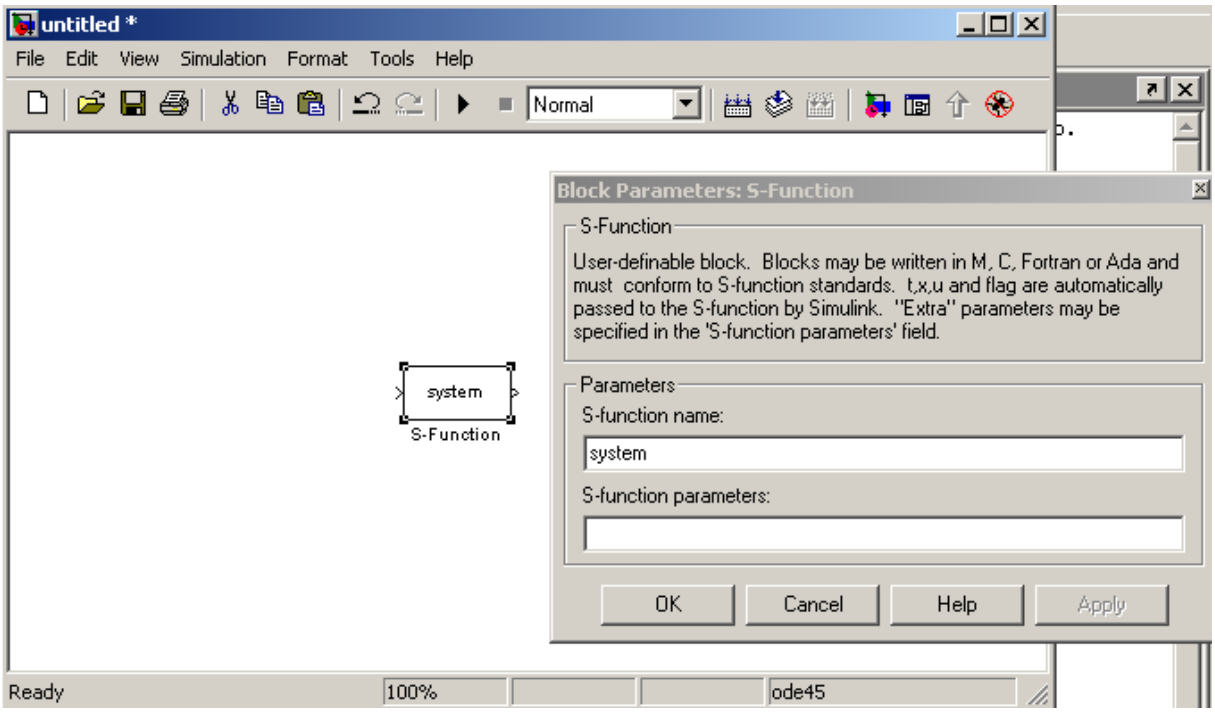
2 VYTVOŘENÍ S-FUNKCE

Pro implementaci vzniklých rovnic za účelem simulace chování daných systémů byl zvolen program MATLAB a jeho nástavba SIMULINK, což je jednoduchý a intuitivně stavěný nástroj pro simulaci.

S-funkce je speciální blok v SIMULINKu, který umožňuje propojení daného bloku s m-filem, ve kterém se nachází diferenciální rovnice popisující požadovanou dynamiku a poč. podmínky procesu; je zde také definován počet vstupů a výstupů.

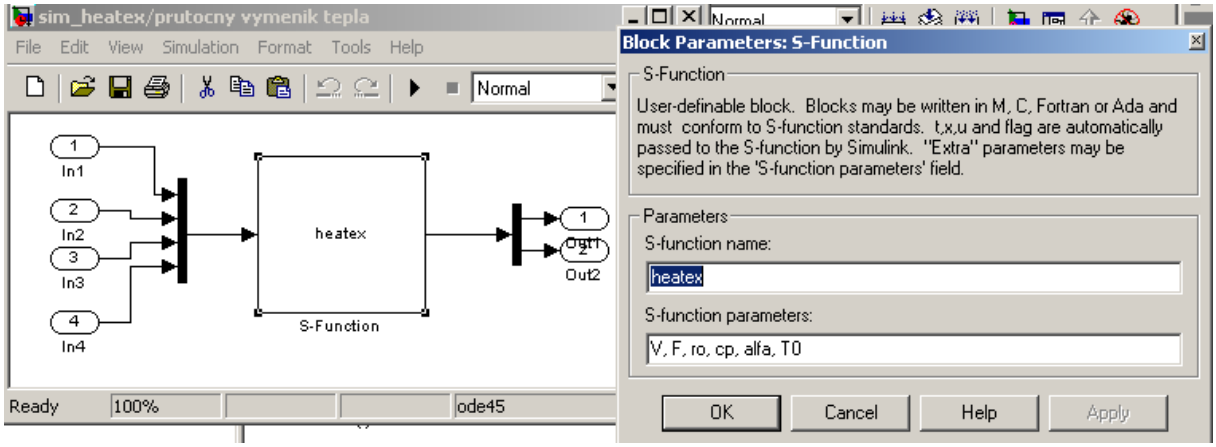
V této práci je naznačeno jak se postupovalo při vytváření modelů. Jako model budeme uvažovat průtočný výměník tepla s promícháváním.

S-funkce se nachází v SIMULINKU v části *simulink* a *user-defined function*. Po založení nového simulačního schématu, ji tam přesuneme. Poklepáním levým tlačítkem myši se dostaneme do položky s názvem s-funkce. Název je důležitý, protože tím se propojí s-funkce s příslušným m-filem, který bude mít stejné jméno jako s-funkce. Na Obr.2 je vidět blok s-funkce a její vlastnosti. Do pole *S-function parametres* se píši názvy proměnných, které lze předávat z s-funkce do m-filu.



Obr. 2 Schéma s-funkce s parametry

Pokud máme zájem přidat potřebný počet vstupů a výstupů, provedeme to pomocí bloků *mux* a *demux*, které se nacházejí v sekci *simulink-signal routing*. Pro požadovaný počet vstupů stačí kliknout na blok a zde změnit počet vstupů. Pro náš případ vypadá s-funkce podle Obr.3

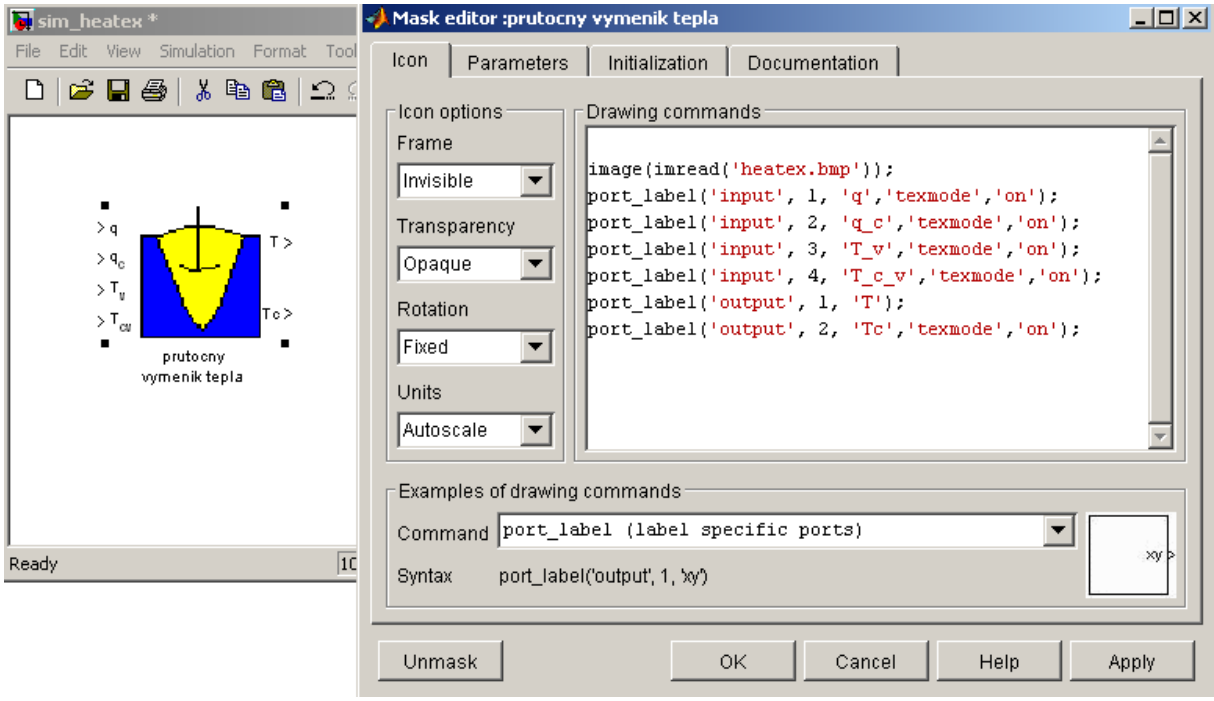


Obr. 3 S-funkce pro průtočný výměník

V jednotlivých proměnných se předávají hodnoty objemů, přestupná plocha atd. Označením bloků a kliknutím pravým tlačítkem myší a vybráním položky *create subsystem*, se vytvoří jeden blok se 4 vstupy a 2 výstupy. Dále lze tento blok upravovat a to tak, že pravým tlačítkem klikneme na blok a vybereme položku *edit mask*. Otevře se okno *mask editoru*. V tomto editoru se dají měnit názvy vstupů, dá se načíst obrázek na pozadí bloku. K tomu slouží příkazy:

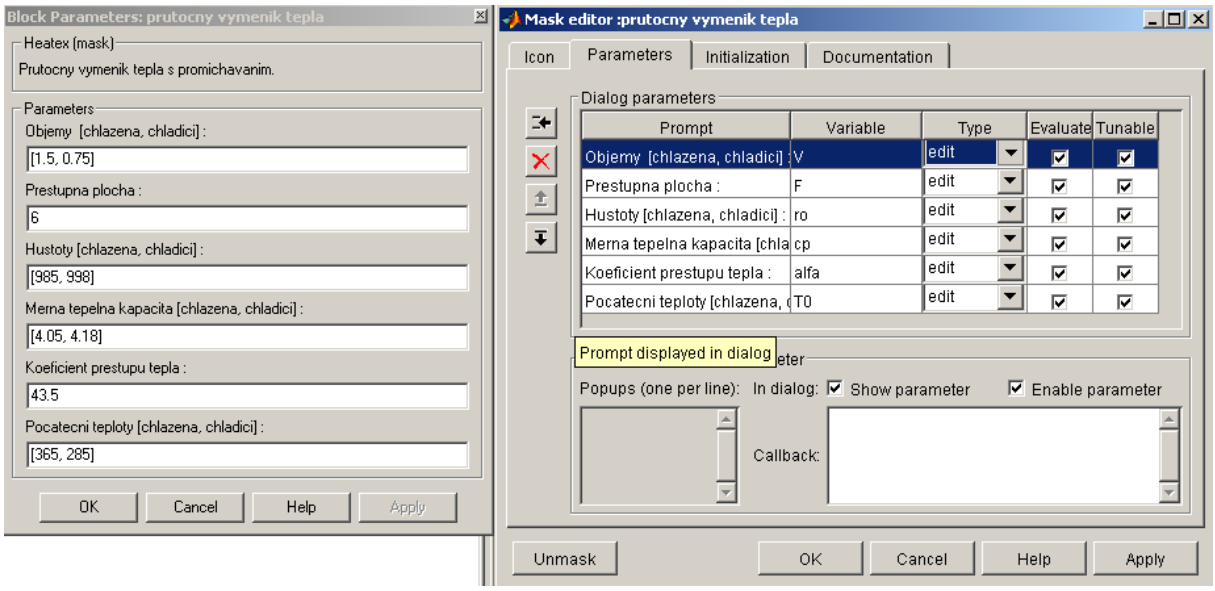
`image(imrea('heatex'));` vloží obrázek na pozadí

`port_label('input',1,'q','texmode','on');` pojmenuje první vstup jako q, *texmode* se používá pro zobrazení dolních indexů.



Obr. 4 Vytvořený blok se 4 vstupy a 2 výstupy a konfigurační mask editor

K vytvoření menu na Obr.5 se využije záložky *parameters*, kde je možný slovní popis zadávaného parametru a k tomu se přiřadí proměnná, která se pak předá m-filu. Do menu se dá dostat kliknutím levého tlačítka myši na blok.



Obr. 5 Vytvoření menu

3 UKÁZKA M-FILU PRO PRŮTOČNÝ VÝMĚNÍK TEPLA

```
function [sys,x0,str,ts] = heatex(t,x,u,flag, V, F, ro, cp, alfa, T0)

% s-funkce pro vypocet dynamiky systemu
% PRUTOCNY VYMENIK TEPLA
%====================================
% V  ... objemy [chlazene kapaliny, chladici kapaliny]
% F  ... vymenna  (prestupna) plocha
% ro ... hustoty [chlazene kapaliny, chladici kapaliny]
% cp ... merna tepelna kapacita [chlazene kapaliny, chladici kapaliny]
% alfa . koeficient prestupu tepla
% T0 ... pocatecni teploty [chlazene kapaliny, chladici kapaliny]

switch flag,
  case 0
    [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes(T0); % Inicializace
  case 1
    sys = mdlDerivatives(t,x,u, V, F, ro, cp, alfa); % vypocet derivaci
  case 3
    sys = mdlOutputs(t,x,u); % vypocet vystupu
  case { 2, 4, 9 } % nepouzite flagy
    sys = [];
  otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]); % Chyba obsluhy
end

%=============================================================
% mdlInitializeSizes
% Vrati rozmery, pocatec. podminky a periody vzorkovani pro S-funkci.
%=============================================================
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes(T0)
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates  = 2;      % pocet spojitych stavu - T(t), Tc(t)
sizes.NumDiscStates  = 0;      % pocet diskretnich stavu
sizes.NumOutputs     = 2;      % pocet vystupu - T(t), Tc(t)
sizes.NumInputs      = 4;      % pocet vstupu  - q(t), qc(t), Tv(t), Tcv(t)
sizes.DirFeedthrough = 0;      % '0' jestlize se ve vystupu nepouziva vstupni signal, '1' kdyz ano
sizes.NumSampleTimes = 1;      % pocet period vzorkovani (min. 1)
sys = simsizes(sizes);
```

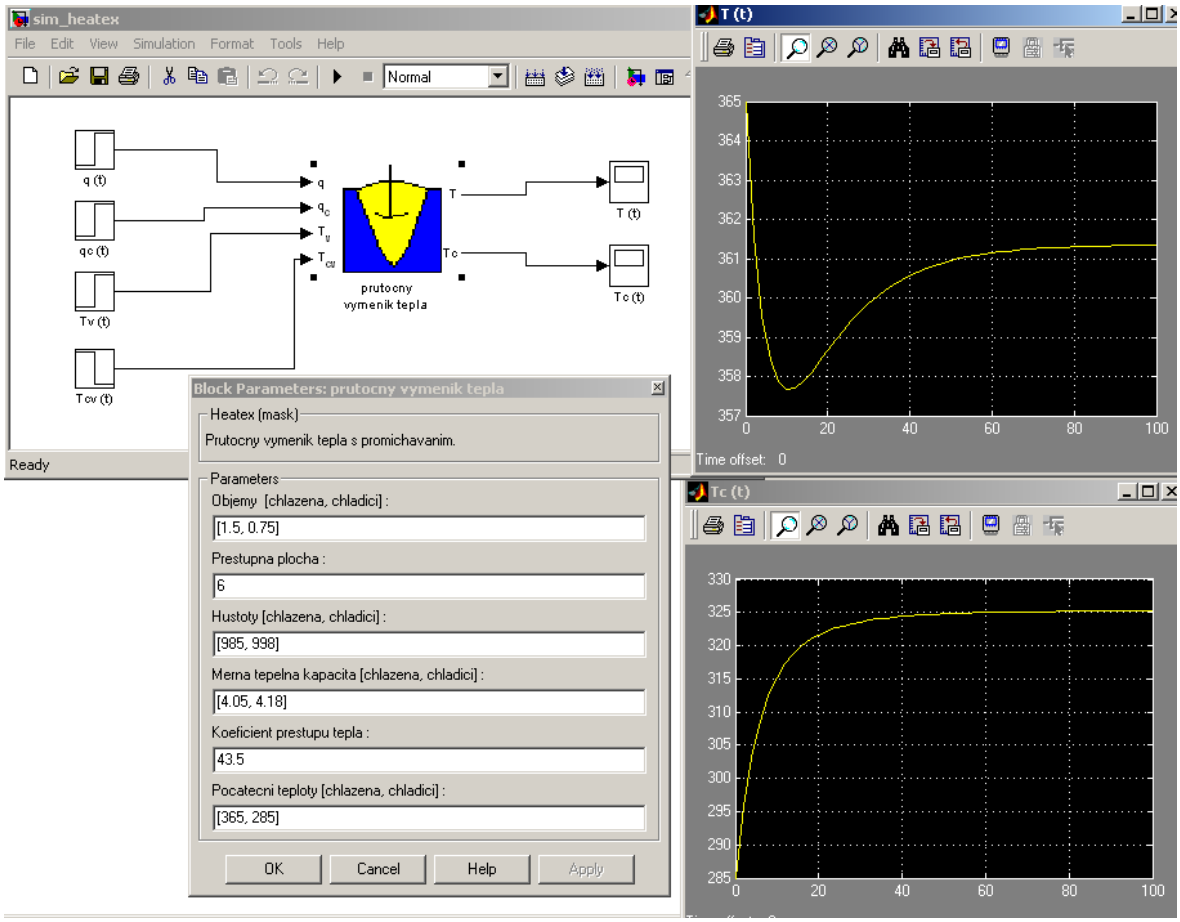
```
x0 = [T0(1), T0(2)];        % Inicializace pocatecnich podminek
str = [];                   % retezec razeni stavu - obecne specifikovany jako []
ts = [0 0];                 % perioda vzorkovani a offset, pro spojite systemy [0 0]

%=============================================================
% mdlDerivatives
% Vrati derivace spojitych stavu
%=============================================================
function sys = mdlDerivatives(t,x,u, V, F, ro, cp, alfa)
sys(1) =  u(1)*(u(3)-x(1))/V(1) - F*alfa*(x(1)-x(2))/(V(1)*ro(1)*cp(1));     % ('u' - vstupy, 'x' - stavy)
sys(2) =  u(2)*(u(4)-x(2))/V(2) + F*alfa*(x(1)-x(2))/(V(2)*ro(2)*cp(2));

%=============================================================
% mdlOutputs
% Vrati vystup bloku
%=============================================================
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
sys = [x(1), x(2)];
```

Pozn:

Při vytváření bloků je důležité dodržet pořadí předávání jednotlivých proměnných v s-funkci, viz Obr.3 a pořadí v uvedeném m-filu: V, F, ro, cp, alfa, T0.

ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na stručné vysvětlení s-funkcí a jejich použití k modelování dynamiky technologických procesů. Cílem bylo vytvoření knihovny modelů a to: zásobníků na kapalinu (v konfiguraci 1, 2 a 3 zapojené za sebou), průtočného výměníku tepla, průtočného chemického reaktoru. Knihovna bude dále rozvíjena a bude volně k dispozici nejen pro vědecké účely. Na závěr – Obr. 6. je uvedena ukázka simulace průtočného výměníku tepla.



Obr. 6 Ukázka simulace