



## MODELOVÁNÍ FYZIOLOGICKÝCH SYSTÉMŮ V PROGRAMU MATLAB/SIMULINK

## TEORETICKÝ ÚVOD

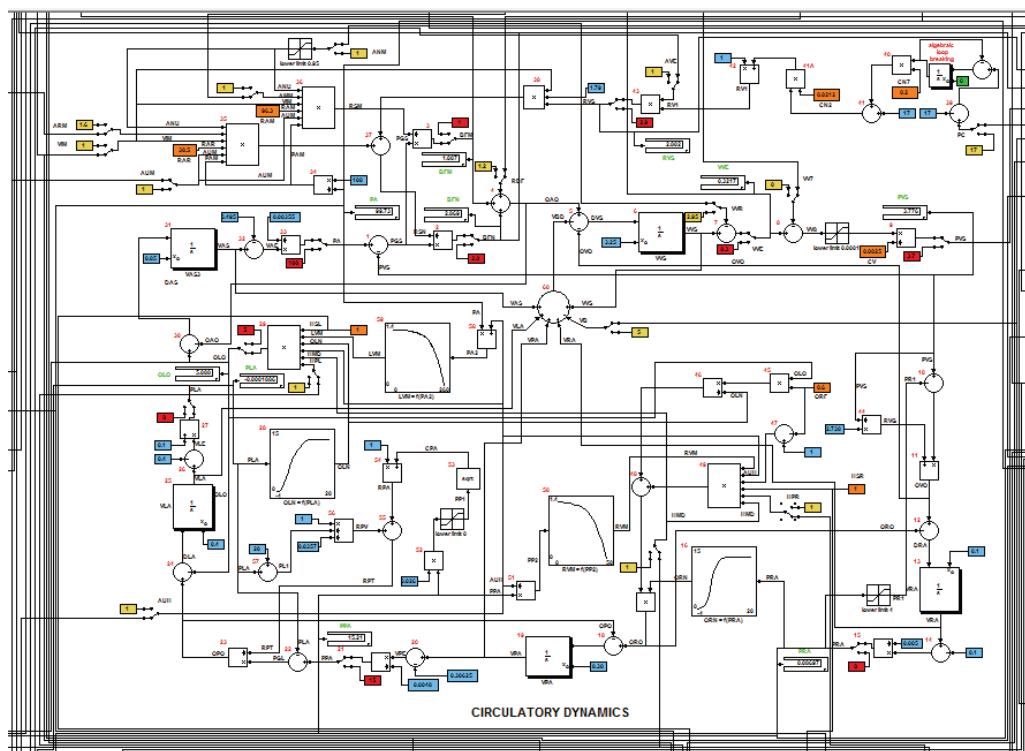
Autor: Ing. Jana Štěpanovská

*Text a obrázky čerpány z: Integrované modely fyziologických systémů jako teoretický podklad pro lékařské výukové simulátory / Jiří Kofránek. V Praze: České vysoké učení technické v Praze, 2011. - 29 s. (Habilitační přednášky; 7/2011) ISBN 978-80-01-04744-6.*

Simulink je jedním z blokově orientovaných simulačních jazyků, které umožňují nastavení počítačových modelů z jednotlivých bloků s definovanými vstupy a výstupy, kde lze bloky propojit do počítačových sítí a výpočetní síť lze seskupit do bloku vyšší hierarchické úrovně. Blokově orientované simulační nástroje poskytují tu výhodu, že umožňují jasně strukturovat model do spojených, hierarchických komponent. Struktura blokově orientovaného popisu tak jasně ukazuje, jak se v modelu vypočítávají hodnoty jednotlivých proměnných - tj. jaký je výpočetní algoritmus. Používá se tedy pojem kauzální modelování. Bloky však nelze bohužel připojit k síti vztahů zcela libovolně. Algebraické smyčky nemusí v připojených prvcích existovat - tj. cyklické struktury, kde určitá vstupní hodnota zavedená jako vstup do výpočetního bloku závisí (prostřednictvím několika zprostředkujících prvků) na výstupní hodnotě z tohoto bloku ve stejném časovém kroku. Způsob propojení bloků odráží spíše výpočetní postup než samotnou strukturu modelované reality.

Nedávno byly vyvinuty nové, takzvané „kauzální“ nástroje pro vytváření simulačních modelů. Zásadní inovací, kterou přinášejí nástroje pro kauzální modelování, představuje možnost popsat jednotlivé části modelu přímo jako soustavu rovnic a nikoli jako algoritmus k řešení rovnic. Zápis modelů je deklarativní (popisuje se struktura a matematické vztahy, nikoli výpočetní algoritmus) - zápis je tedy kauzální.



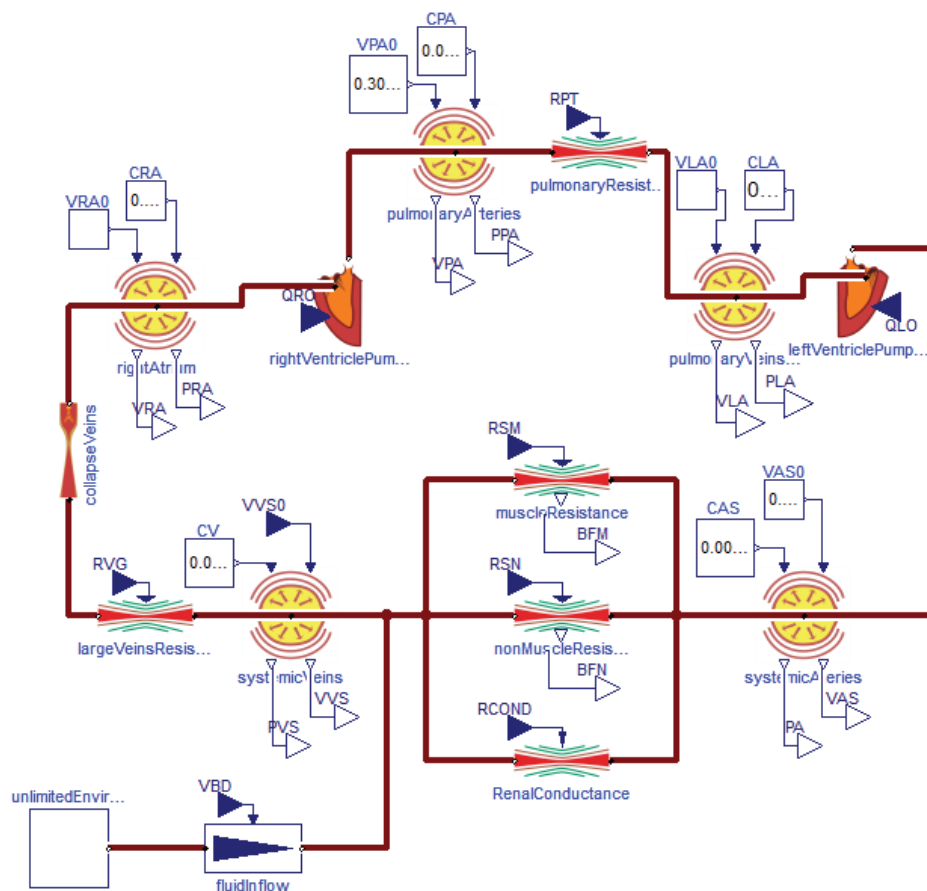


Obrázek 1. Detailní struktura části modelu oběhové dynamiky v Simulinku. V modelu je srdce jako pumpa a jednotlivé orgánové průtoky.

Nástroje pro kauzální modelování pracují s připojenými komponentami, které představují instance tříd, kde jsou rovnice definovány přímo. Komponenty mohou být spojeny pomocí speciálních kauzálních spojek - kauzální spojení ve skutečnosti znamená, že jsou spojeny jednotlivé proměnné v rovnicích příslušných komponent a jejich spojení definuje soustavy rovnic modelu.

Elementární prvky simulované reality mohou mít podobu velmi triviální notace vztahů mezi veličinami. Jako ilustrativní příklady lze uvést například odpor, kondenzátor nebo cívku z elektrické fyzické oblasti nebo jejich hydraulické analogie (používané např. pro modelování oběhového systému). Složitější výpočetní systém vzniká spojením těchto elementárních prvků v sítích – systémy rovnic se získají při jejich vzájemném propojení. Algoritmus jejich numerického řešení napsaný v Simulinku nemusí být triviální. Není však třeba se starat o způsob řešení v kauzálních simulačních nástrojích. O řešení získaného systému rovnic se stará samotný kauzální nástroj.

Modelica je moderní simulační jazyk postavený přímo na kauzální notaci modelů. Na rozdíl od blokově orientovaného simulačního prostředí Simulink ukazuje struktura modelů Modelica mnohem lépe fyzickou podstatu modelované reality (vhodný kompilátor se poté postará o algoritmus řešení výsledného systému algebraických diferenciálních rovnic). Modely v Modelice jsou ve srovnání s modely v Simulinku přehlednější a samodokumentující.



Obrázek 2. Stejný model jako na obrázku 1 implementovaný v programu Modelica. Srdce je reprezentováno dvěma pumpami (pravé a levé srdce) a cévní systém je tvořen elastickou a rezistentní složkou.

Physiolibrary je bezplatná open-source knihovna Modelica určená pro modelování lidské fyziologie. Tato knihovna obsahuje základní fyzikální zákony upravující lidskou fyziologii, použitelné pro kardiovaskulární oběh, metabolické procesy, distribuci živin, termoregulaci, transport plynů, regulaci elektrolytů, distribuci vody, hormonální regulaci a farmakologickou regulaci.

## VYBAVENÍ

PC stanice pro technické výpočty s nainstalovaným softwarem Matlab/Simulink a knihovnou Modelica – Physiolibrary

## POSTUP

---

### MODELOVÁNÍ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

- Vytvořte jednoduchý model systémového objemu na základě tlaků, průtoků a poddajností jednotlivých kompartmentů
- Namodelujte změnu tlaku v aortě
- Proveďte simulaci v physiobrary

---

### MODELOVÁNÍ HORMONÁLNÍ SOUSTAVY

- Vytvořte kinetiku uvolňování hormonu do krevního oběhu a jeho hladinu v krvi při kontinuálním uvolňování, periodickém a dalších režimech

---

### MODELOVÁNÍ LÁTKOVÉ VÝMĚNY

- Namodelujte přenos vody přes membránu na základě rozdílu osmotických tlaků v buňce
- Simulaci proveďte ve physiobrary
- Pomocí modelu ve physiobrary namodelujte regulaci krevního tlaku ledvinou na základě různých vstupních parametrů

---

### MODELOVÁNÍ NERVOVÝCH VLÁKEN

- Pomocí elektrické analogie vytvořte kompartmentový model větveného neuronu
- Vytvořte model v Simulinku a namodelujte přenos vzruchu do jednotlivých větví neuronu

Literatura: Kofránek, Jiri & Matejak, Marek & Privitzer, Pavol. (2011). HumMod - Large Scale Physiological Models in Modelica. 10.3384/ecp11063713.