

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra kybernetiky**

# **Model otopné soustavy rodinného domu**

**Milan Poláček**

## Zadání

Pomocí modelu naleznete optimální počet senzorů teploty pro regulaci teploty v otopném systému. Dále zjistíte jejich vhodné umístění pro neoptimálnější provoz (ekonomičnost a rychlost vytopení na požadovanou teplotu).

Základním úkolem této semestrální práce je najít optimální nastavení všech termostatických hlavic, abychom dosáhli podobných teplot v pokojích.

V případě splnění základní úlohy se pokuste porovnat s dalšími způsoby řízení otopné soustavy.

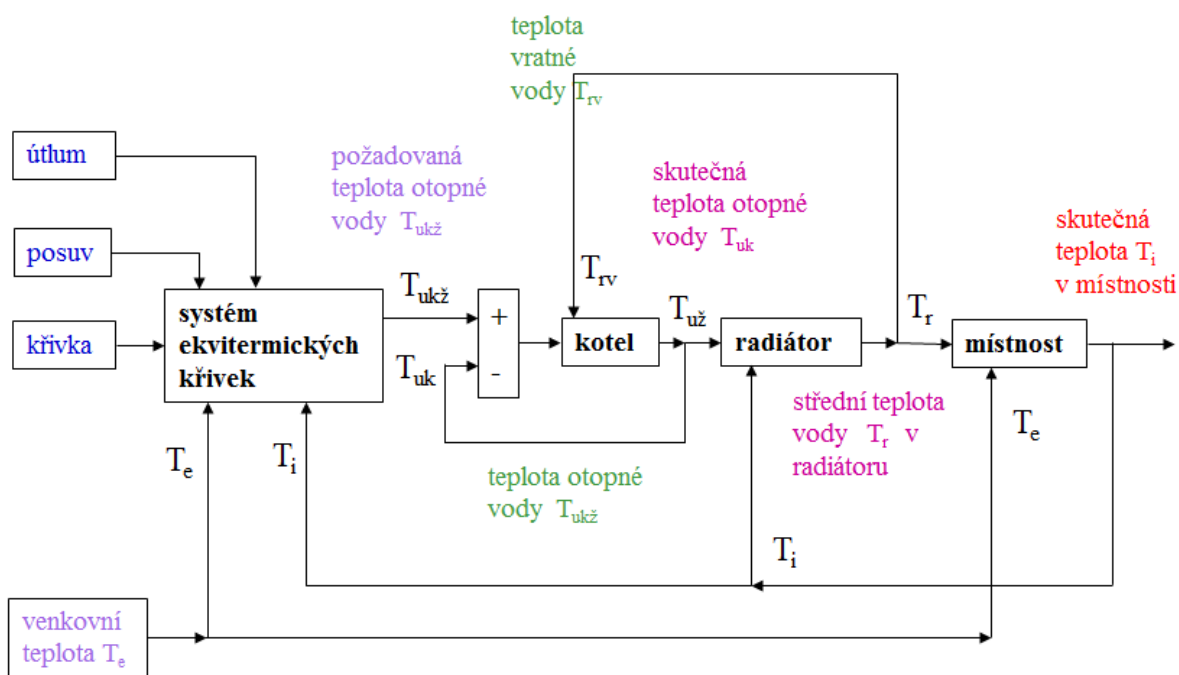
Jedním z možných doplnění řešení této úlohy je doplnění radiátorů o temohlavice řízené skrze centrální řídicí jednotku. Úkolem tohoto řešení je nalézt nutný počet termohlavic pro nejeekonomičtější provoz.

Dalším možným doplněním řešením této úlohy je o řízení systému podle ekvitermní křivky.

Pro řešení úlohy je doporučeno využít knihovnu Modelica Buildings.

Model implementujte s dostatečnou robustností a patřičnou abstrakcí. Předpokládejte tedy lineární úniky tepla z místností, homogenní míchání, předměty bez imperfekce materiálu a aplikuje vhodný teplotní spád soustavy.

Diskutujte ekonomičnost řešení při využití nižšího počtu termohlavic. Diskutujte další možné doplňky systému.



### 1. Diagram blokového schématu radiátorů (Rada, 2015)

# Abstract

During my bachelor studies I have known about modeling and simulation. Exercises that we practiced in this subject were for basic level (SIR models etc.). These exercises had given experience and basic knowledge with simulation in Simulink. When I tried make a model heating system, I found out many problems with this tool.

I have chosen this topic and I suggest to my teacher, who was interested in. He recommended me to use specific library (Modelica Buildings), which should be handle for solution this project. At the beginning of creating the seminar I had a problems with my weak knowledge of topic heating systems. The other problem was huge capacity and complicated library. But teacher told me it would not problem for using this library despite of my basic experience with modeling in Modelica.

So for understanding this topic was necessary to get basic knowledge about heating systems. I used the information from website of universities (CTU Prague, BUT). Then I learned simple example models of library Modelica Buildings. After that I tried create simple model of heating system. I had tried to get knowledge about parts of my model (submodels) and understand their parameters. So I wanted to understand the whole model, too.

Result of this paper was simple model, which could be base of complicated models. After add some radiators, controllers, regulators and appropriate modification some parameters of this model you can use for close to real model simulation.

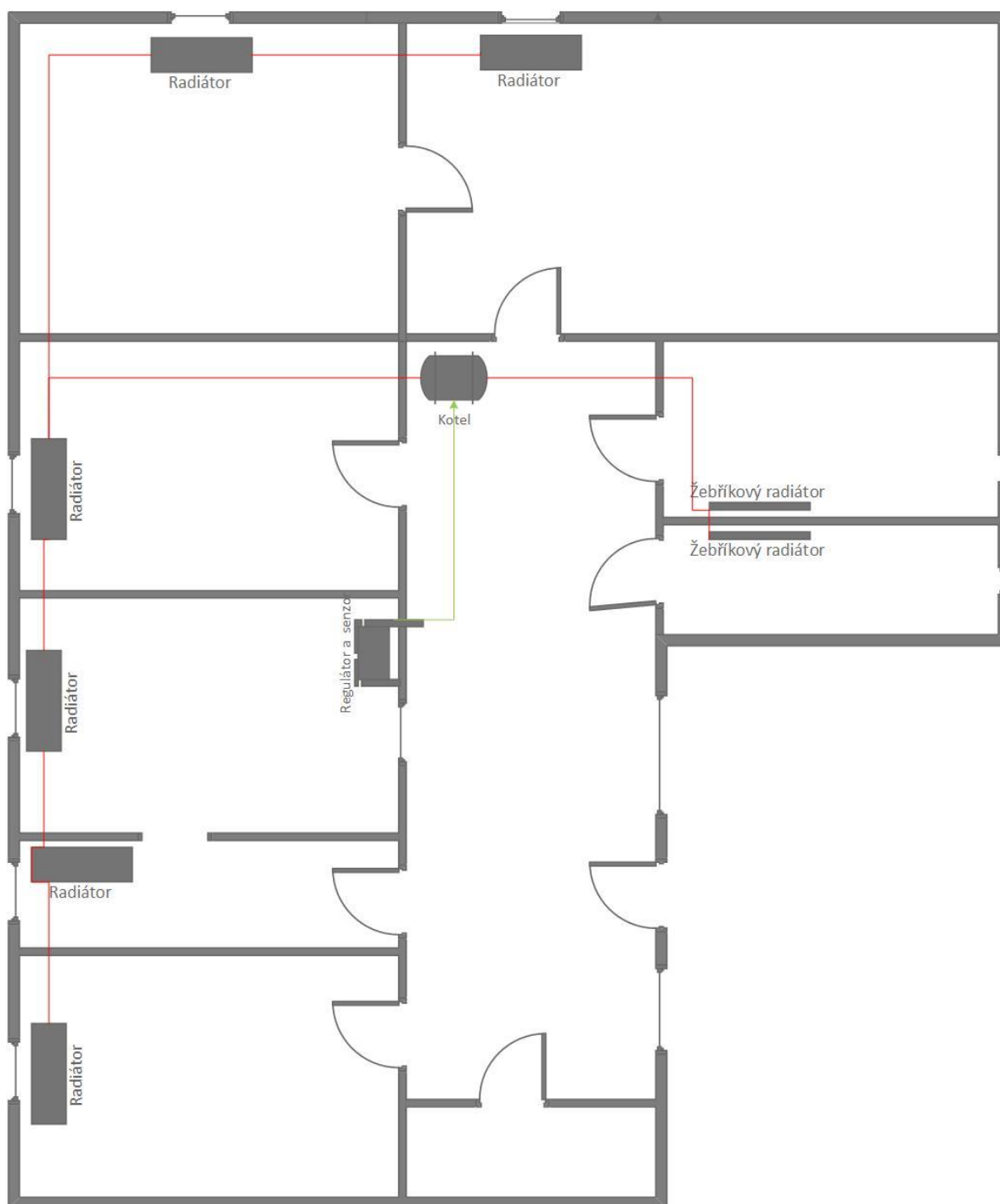
This seminary it was be a manual for people who were interested in this topic and they did not have enough knowledge. When I got the topic I had known that it would be huge and difficult. I had to learn the library, but also design of heating systems.

I had real trouble with modeling of model in Open Modelica. Later I got access to university license of Dymola. When I started using Dymola I repaired my model to function state and I could finished to partial resolution.

Although you can use open source tools like Open Modelica for using library Modelica Buildings is insufficient. Models in Modelica Buildings are based on objects and the main part of this submodels inherit their features from others models. The parameter of models are set by extensions and I recommended use this library with some commercial tool for example Dymola.

# Úvod

Cílem této semestrální práce bylo modelování současné otopné soustavy rodinného domu, ve kterém bydlím (viz obrázek 1). S využitím knihovny Modelica Buildings jsem tento model měl následně rozšířit na návrh řešení pro ekonomické řešení rekonstrukce. Kvůli komplexnosti knihovny Modelica Buildings, mým slabým znalostem otopných soustav a nevhodně zvolených modelovacích prostředků jsem byl schopen vytvořit jen jednoduchý model otopné soustavy s jedním radiátorem a kotlem.



1. Obrázek blokové schéma otopné aktuálního stavu

# Teoretický úvod

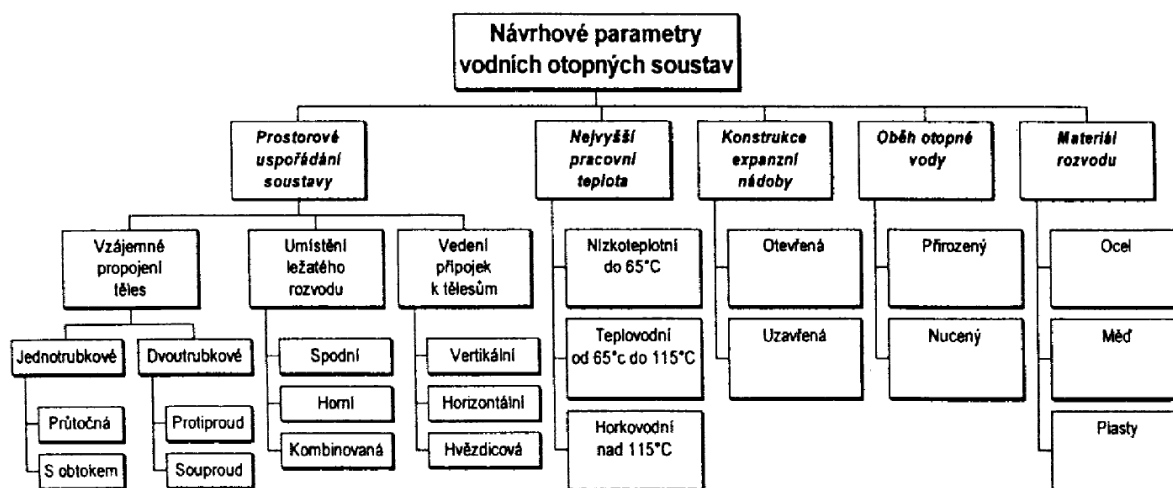
Základními prvky každé otopné soustavy je ze zdroj tepla, potrubní síť a spotřebiče tepla.

Zdroje tepla, se kterými se v České Republice setkáváme, jsou nejčastěji kotle na pevná, plynná nebo kapalná paliva. V neposlední řadě jsou to v současné době stále populárnější tepelná čerpadla.

Potrubní síť rozdělujeme podle způsobu propojení otopných těles na jednotrubkové, dvoutrubkové a více trubkové. Dále je rozdělujeme podle pracovní teploty, tlaku, konstrukce expanzní nádoby atd.

Spotřebiče tepla respektive otopná tělesa můžeme rozdělit na článková, desková, trubková a konvektory.

Podrobnější rozdělení teplovodních otopných soustav můžete vidět na diagramu 2.



2. Diagram rozdělení otopných soustav (Vavříčka, 2015)

Dalšími součástmi otopných soustav jsou ventily, senzory tlaku, senzory teploty a řídicí jednotky.

Pro nejvěrnější zjednodušený model běžné domácí otopné soustavy jsem tedy zvolil soustavu s otopným médiem vodou, nuceným oběhem, jedním ventilem a jedním radiátorem. Součástí otopné soustavy je expanzní nádrž, zdroj tepla a senzor teploty. Jedná se tedy o jednotrubkový průtočný systém.

# Řešení

V modelu otopné soustavy jsem zvolil pro médium běžnou vodu z knihoven Modelica Buildings (*Buildings.Media.Water*). Pro model bylo nutné nastavit počáteční (nominální) hodnoty některých, které jsem za pomoci vzorových modelů v Modelica Buildings zadal. Jednalo se o hmotnostní průtok, který jsem nastavil podle vzorce, který jsem našel v jednom z příkladů (viz vzorec 1).

$$m\_flow\_nominal = \frac{Q\_flow\_nominal}{(T\_a\_nominal - T\_b\_nominal) / \text{MediumW.cp\_const}} \quad (1)$$

Ten je počítán z nominálního výkonu (*Q\_flow\_nominal*) pro radiátor, který je 500 W. Dále ze vstupní teploty (*T\_a\_nominal*) média (vody) do radiátoru tedy 40 °C<sup>1</sup>, výstupní teploty (*T\_b\_nominal*) média z radiátoru a to 30 °C a konstanty měrné tepelné kapacity vody při konstantním tlaku (*MediumW.cp\_const*)<sup>2</sup>.

Další konstantou je tlaková ztráta (*dp\_nominal*), kterou jsem zvolil opět podle vzorového modelu a to 3000 Pa.

Pro radiátor bylo ještě nutno nastavit parametr teploty vzduchu (*TRoo*), který je 20 °C.

Expansní nádobu jsem naplnil 1 m<sup>3</sup> a nastavil tlak na 1 bar.

Ventil jsem nechal pro tuto jednoduchou simulaci stále otevřený, a proto jsem na jeho vstup přivedl konstantu 1.

Motoru jsem nastavil růst tlaku po 1 Pa. Ostatní parametry jsem zadal dle konstant (*dp\_nominal* a *m\_flow\_nominal*).

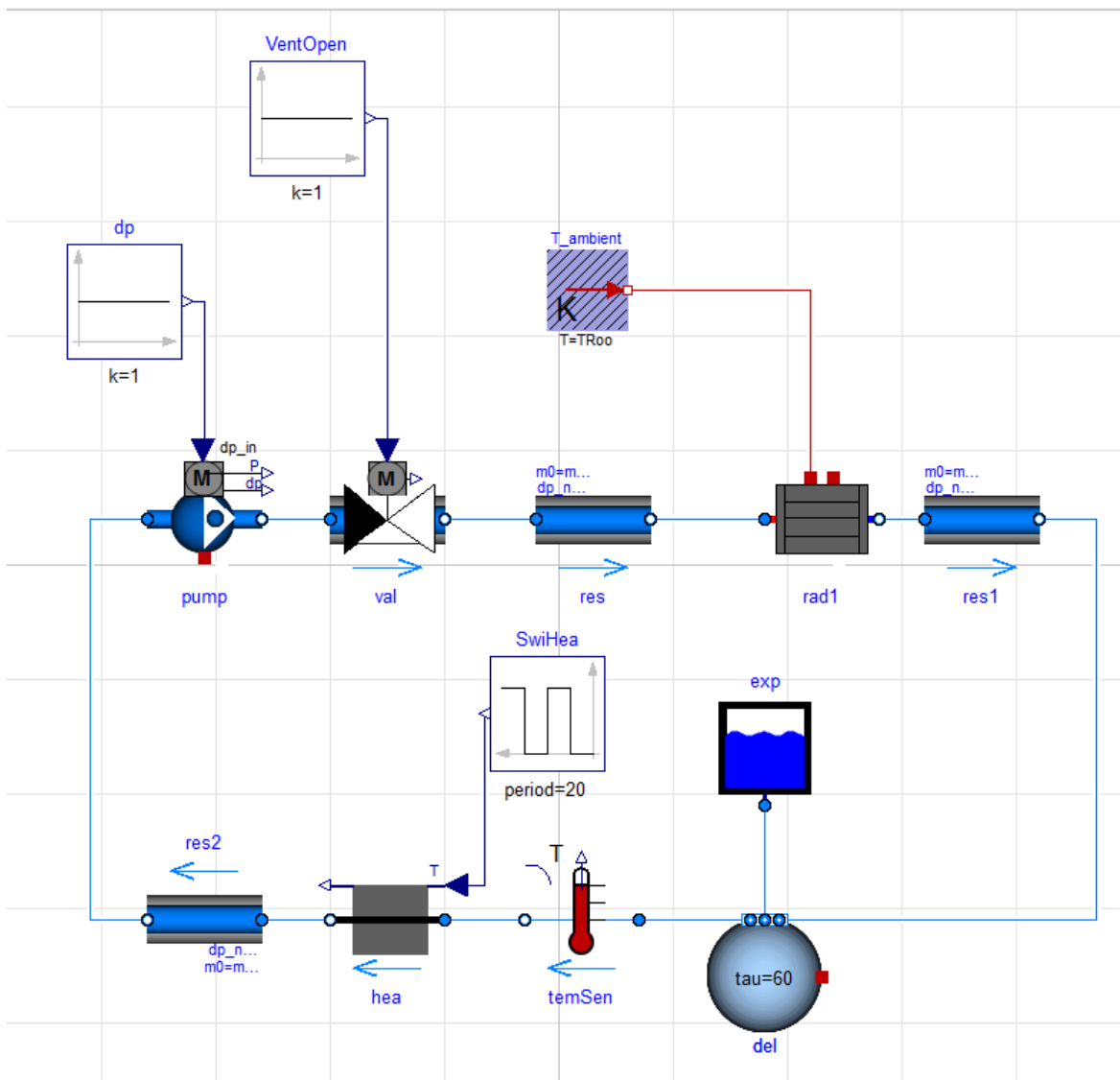
Jak je vidět na obrázku 2 model obsahuje bloky (submodely, modely) jak z knihovny Modelica, tak Modelica Buildings. Protože knihovna Modelica Buildings dědí z některých modelů knihovny Modelica a nemůže tedy bez této knihovny fungovat je logické, že neimplementuje modely konstant, model pulsů a model fixní teploty, které jsem využil. Z knihovny Modelica Buildings jsem využil:

- model radiátoru (*Buildings.Fluid.HeatExchangers.Radiators.RadiatorEN442\_2*)
- expansní nádrže (*Buildings.Fluid.Storage.ExpansionVessel*)
- rezistenci vedení (*Buildings.Fluid.FixedResistances.FixedResistanceDpM*)
- čerpadlo nuceného oběhu (*Buildings.Fluid.Movers.FlowControlled\_dp*)
- teplotní senzor (*Buildings.Fluid.Sensors.TemperatureTwoPort*)
- výměník tepla jako zdroj tepla soustavy (*Buildings.Fluid.HeatExchangers.HeaterCooler\_T*)

---

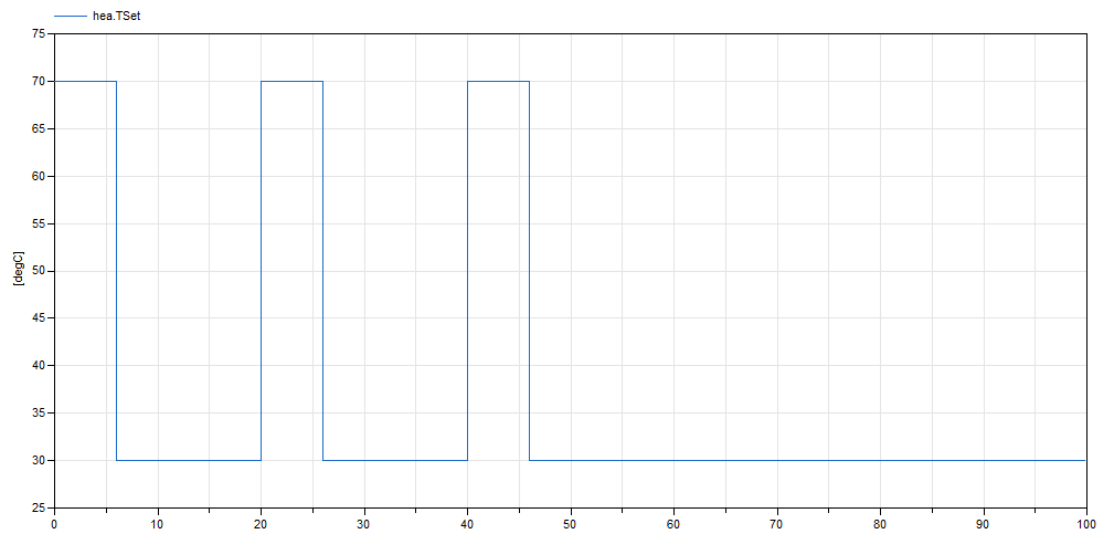
<sup>1</sup> pozn. modely v knihovně Modelica Buildings mají většinu parametrů v jednotkách SI, proto nalezne ve zdrojovém kódu hodnoty (resp. rovnice) např. 273.15 + 40, které odpovídají °K

<sup>2</sup> Tato hodnota je součástí knihoven Modelica Buildings

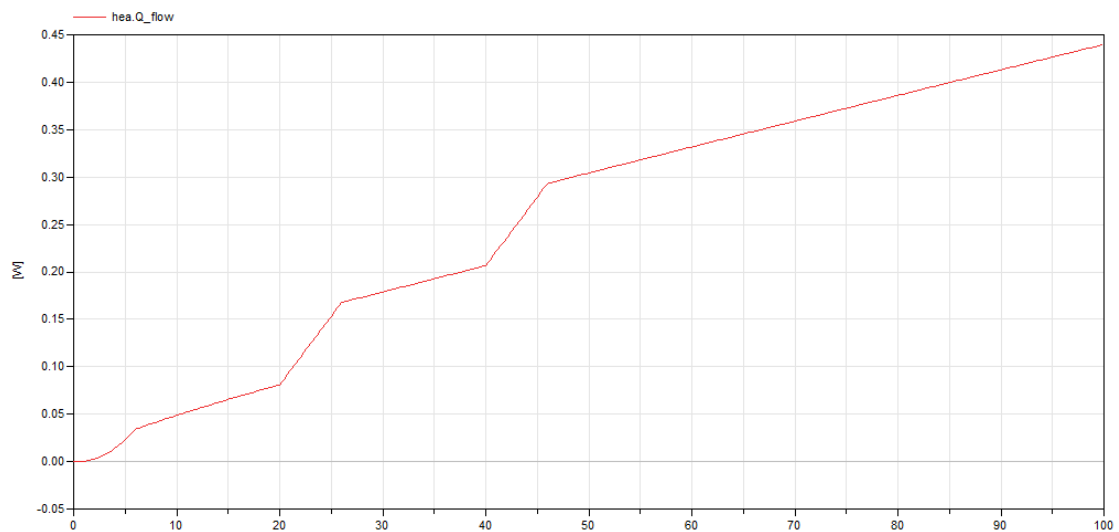


2. Obrázek zjednodušeného modelu otopné soustavy

Model jsem podrobil základním simulacím spínání ohřevu a sledoval množství předaného výkonu v soustavě v závislosti na časech a délce sepnutí ohřevu média (viz Obrázky 3 – 10).

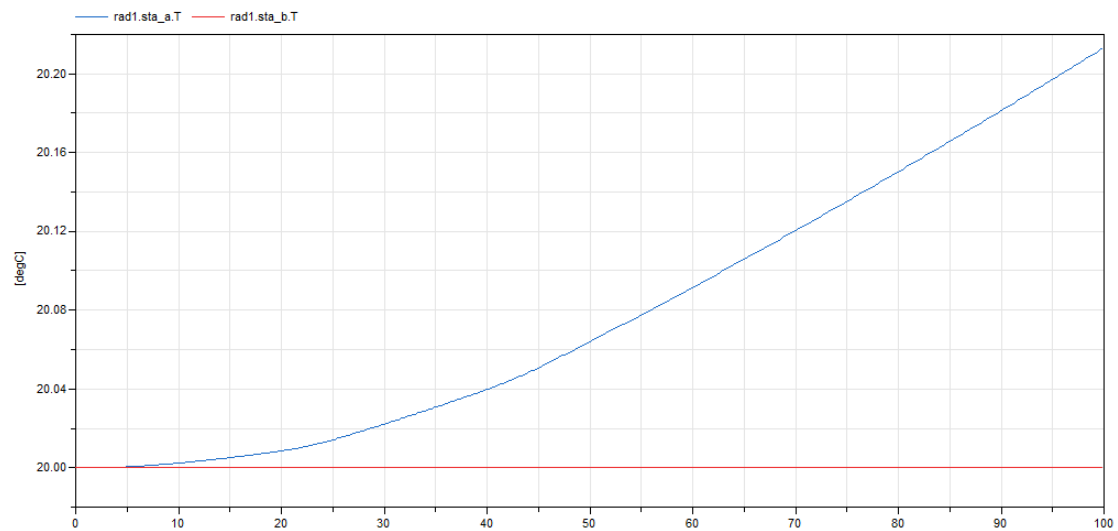


3. Obrázek grafu spouštění ohřevu média v čase na zdroji tepla (1. simulace)

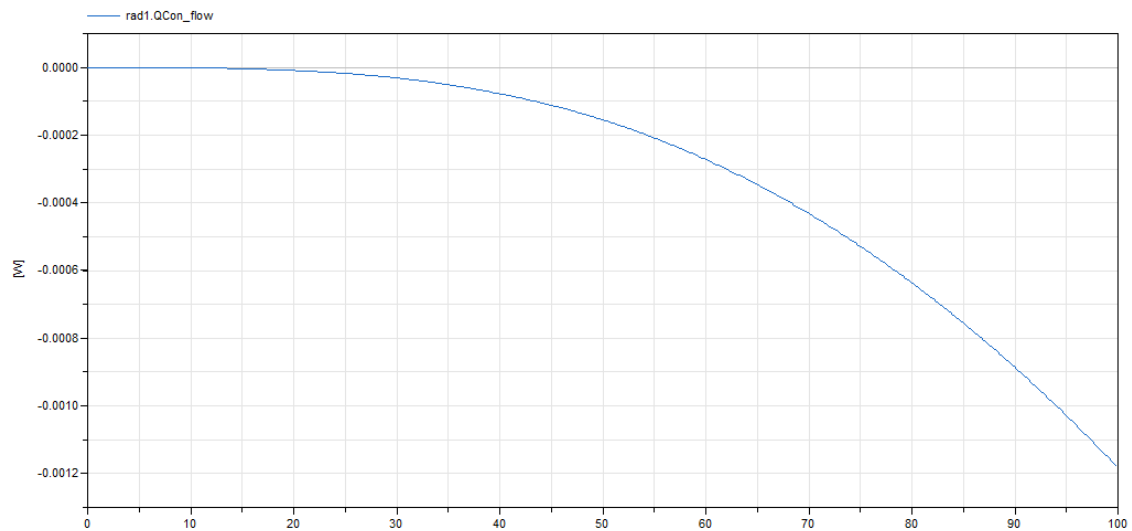


4. Obrázek grafu tepelného výkonu zdroje tepla v čase (1. simulace)

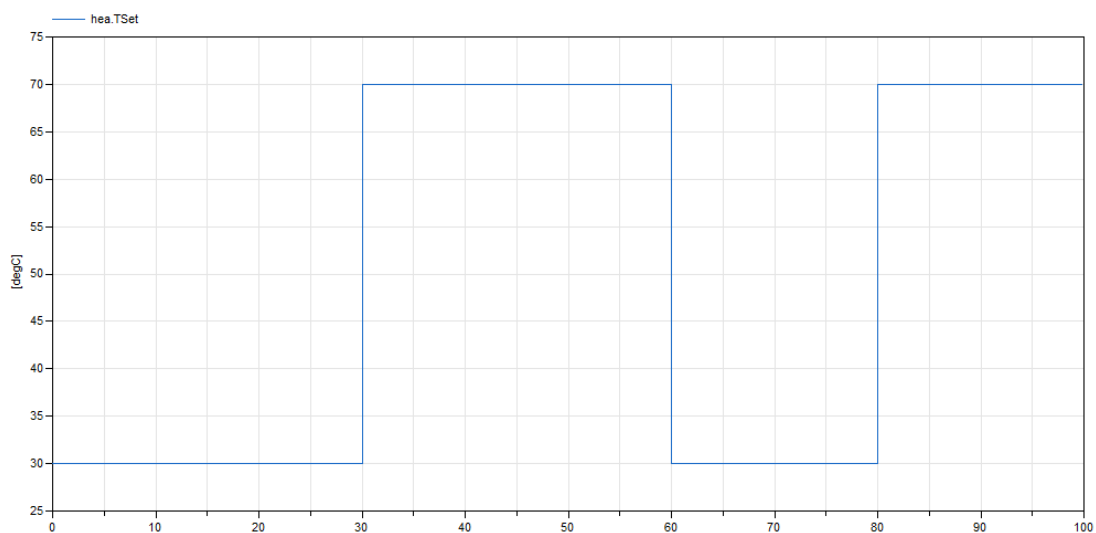




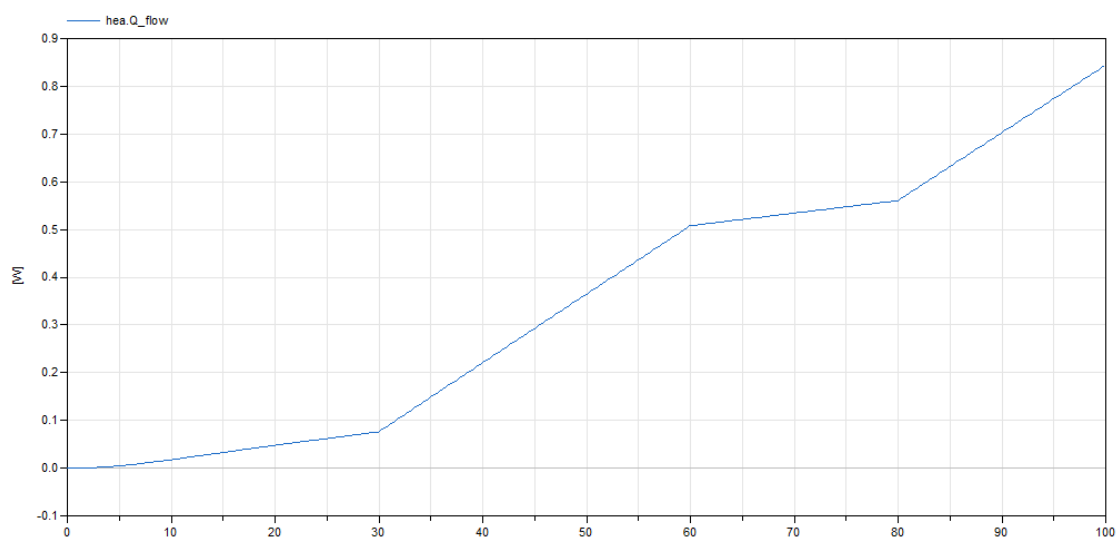
5. Obrázek grafu teploty média na vstupu a výstupu radiátoru (1. simulace)



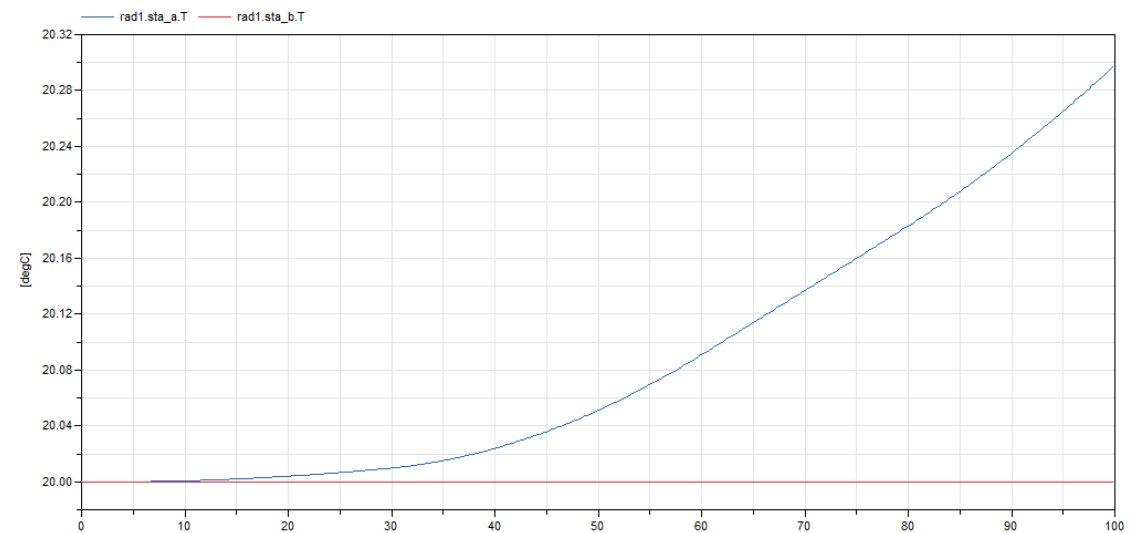
6. Obrázek grafu tepelného přenosu výkonu předaného prostředí radiátorem v čase (1. simulace)



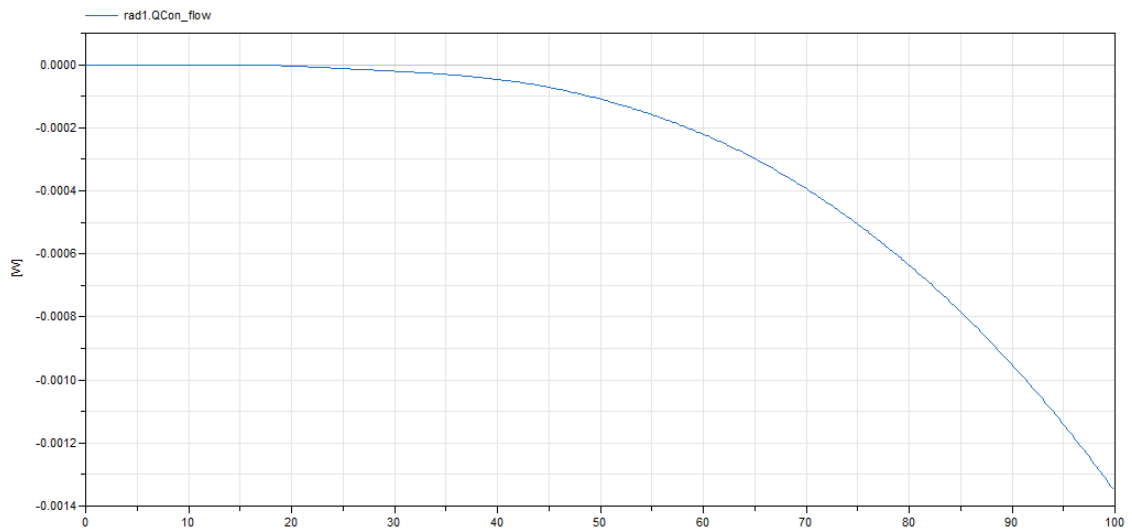
7. Obrázek grafu spouštění ohřevu média v čase na zdroji tepla (2. simulace)



8. Obrázek grafu tepelného výkonu zdroje tepla v čase (2. simulace)



9. Obrázek grafu teploty média na vstupu a výstupu radiátoru (2. simulace)



10. Obrázek grafu tepelného přenosu výkonu předaného prostředí radiátorem v čase (2. simulace)

## **Závěr**

Cílem semestrální práce je seznámit a rozšířit znalosti studenta o nové znalosti. Už při zadávání této semestrální práce bylo zřejmé, že se jedná o rozsáhlé a obtížné téma. Úplné splnění této semestrální práce vyžadovalo nejenom porozumění knihovně Modelica Buildings, ale i doplnění znalostí z návrhu otopných soustav.

Kvůli komplexnosti knihovny Modelica Buildings se mi bohužel dlouhou dobu nedařilo zprovoznit model v prostředí Open Modelica. Teprve až při poslední konzultaci jsem dostal přístup vývojovému prostředí Dymola s univerzitní licencí. Díky tomuto prostředí se mi pak podařilo zprovoznit model natolik, abych byl schopen model opravit a dokončit patřičné úpravy, tak aby bylo možné prezentovat částečné výsledky své práce.

# Bibliografie

*Bekeley lab* [online]. 2015. [cit. 2016]. Dostupné z:

<http://simulationresearch.lbl.gov/modelica>

KOLEKTIV. 2001. *Topenářská příručka*. Praha: GAS s.r.o. 8086176827.

RADA, Václav. 2015. *VUT BRNO* [online]. [cit. 2015]. Dostupné z:

[www.fce.vutbr.cz/tst/rada.v/mar/w-mar-sl24-5t6-reg3p.ppt](http://www.fce.vutbr.cz/tst/rada.v/mar/w-mar-sl24-5t6-reg3p.ppt)

UNKNOWN. 2015. *VUT BRNO* [online]. [cit. 2015]. Dostupné z:

[http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/ST51/5\\_otopne%20soustavy.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/ST51/5_otopne%20soustavy.pdf)

VAVŘIČKA, Roman. 2015. *ČVUT Praha* [online]. Praha [cit. 2015]. Dostupné z:

<http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Kurz%20Vytapeni/Otopne%20soustavy%20teplovodni%20-%20Kurz%20vytapeni.pdf>

WETTER, Michael. 2009. A Modelica-based Model Library for Building Energy and Control Systems. In: . Glasgow: Eleventh International IBPSA Conference, s. 652-659.

WETTER, Michael a Wangda ZUO. 2011. Recent Developments of the Modelica “Buildings” Library for Building Energy and Control Systems. In: . Dresden: Proceedings 8th Modelica Conference, s. 266-275.