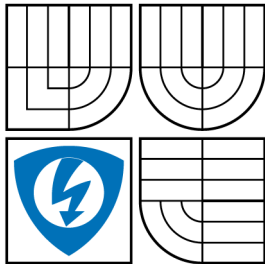


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND  
COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

REGULACE TOPNÉHO SYSTÉMU A OHŘEVU TEPLÉ  
UŽITKOVÉ VODY V INTELIGENTNÍM DOMĚ  
REGULATION OF HEATING SYSTEM AND HEATING OF HOT SERVICE WATER  
IN INTELLIGENT HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

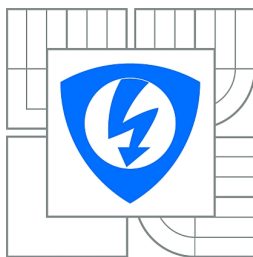
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

VIKTOR ŽÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. LUDĚK CHOMÁT

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav automatizace a měřicí techniky**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Automatizační a měřicí technika**

**Student:** Viktor Žáček

**ID:** 111170

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2009/2010

## **NÁZEV TÉMATU:**

**Regulace topného systému a ohřevu teplé užitkové vody v inteligentním domě**

## **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Seznamte se s regulací topného systému a ohřevu teplé užitkové vody v inteligentním domě. Vytvořte matematický model, ověřte pomocí Matlabu/Simulink a implementujte ho do řídicí jednotky. V programovatelném automatu s vestavěným dotykovým panelem, vytvořte řídicí algoritmus, který bude řídit tepelnou pohodu v rodinném domě s využitím solárních panelů. Vytvořte jednoduchou vizualizaci pro nastavení parametrů regulátoru. Výsledkem bakalářské práce je regulace technologického celku a ověření na modelu v laboratoři CLG.

## **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Pešek, B., Luňáček J. a kolektiv autorů: Vytápění a teplá užitková voda, jejich regulace, měření a rozúčtování v bytových objektech. Praha, SČMBD, ISBN 80-86426-07-6, 2002.

Regulátory tlakového rozdílu jako nástroj k optimalizaci tepelných soustav  
[http://cz.danfoss.com/pcmfiles/12/articles/clanek\\_2.pdf](http://cz.danfoss.com/pcmfiles/12/articles/clanek_2.pdf)

Cikhart, J.: Měření a regulace ve vytápění. Praha, SNTL, 1984.

**Termín zadání:** 8.2.2010

**Termín odevzdání:** 31.5.2010

**Vedoucí práce:** Ing. Luděk Chomát

**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## **UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá regulací topného systému v inteligentním domě. V teoretickém úvodu jsou shrnuty informace o způsobech regulace teploty v místnosti, způsoby ohřívání teplé užitkové vody a regulace její teploty.

V práci je navržen matematický model topného systému. Dále je popsáno zapsání matematického modelu do funkčního bloku v B&R Automation Studiu.

Na ten je následně vytvořen řídicí algoritmus, a vizualizace. Celý celek je pak zhodnocen z hlediska ekonomičnosti a přesnosti regulace.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Regulace topného systému, vizualizace, matematický model topného systému, B&R Automation Studio, regulace, řídicí algoritmus.

## **ABSTRACT**

Work deal about control of heating system in inteligent house. In theoretic prelude are summarized information about ways of control temperature in room, ways of heating hot service water and regulation of her temperature.

In work is proposed mathematical model of heating system. Next is described inscription of mathematical model into function block in B&R Automation Studio.

On it is consequently created controlling algorithm, and visualization. Whole complex is then evaulated in therm of economics and preciseness of regulation

## **KEYWORDS**

Control of heating system, visualization, mathematical model of heating system, Matlab, B&R Automation Studio, regulation, control algorithm.

ŽÁČEK, V. *Regulace topného systému a ohřevu teplé užitkové vody v inteligentním domě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 81 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Luděk Chomát.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Regulace topného systému a ohřevu teplé užitkové vody v inteligentním domě“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, Ing. Ludku Chomátovi, za podnětné připomínky k práci.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## OBSAH

<b>1 Úvod</b>	<b>13</b>
<b>2 Regulace topného systému</b>	<b>14</b>
2.1 Úvod . . . . .	14
2.2 Regulace teploty otopné vody . . . . .	14
2.3 Regulace podle vnitřní teploty vzduchu . . . . .	14
2.4 Regulace podle venkovní teploty - Ekvitermní regulace . . . . .	15
2.5 Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu . . . . .	17
<b>3 Způsoby ohřevu TUV a regulace její teploty</b>	<b>18</b>
3.1 Úvod . . . . .	18
3.2 Průtočný ohřev . . . . .	18
3.3 Akumululační ohřev . . . . .	18
3.4 Průtočný ohřev s malou akumulací nádrží . . . . .	19
3.5 Ohřev TUV ve výměníku tepla s paralelní akumulací nádobou . . . . .	20
3.6 Regulace teploty TUV . . . . .	20
<b>4 Teplo</b>	<b>22</b>
4.1 Základní pojmy . . . . .	22
4.2 Sdílení tepla vedením . . . . .	23
4.3 Sdílení tepla prouděním . . . . .	23
4.4 Sdílení tepla sáláním . . . . .	24
<b>5 Návrh otopné soustavy</b>	<b>25</b>
5.1 Základní prvky soustavy . . . . .	25
5.2 Topologie soustavy . . . . .	26
5.3 Ventily . . . . .	26
5.4 Snímače . . . . .	28
5.5 Navržená soustava . . . . .	29

<b>6</b>	<b>Návrh Matematického modelu</b>	<b>30</b>
6.1	Návrh místnosti . . . . .	30
6.1.1	Úvod . . . . .	30
6.1.2	Prostup tepla stěnou . . . . .	30
6.1.3	Návrh radiátoru . . . . .	32
6.1.4	Kapacita místnosti . . . . .	33
6.2	Návrh ohřívače TUV . . . . .	34
6.3	Návrh kotle . . . . .	35
6.4	Návrh solárního kolektoru . . . . .	36
6.5	Návrh krbu . . . . .	38
6.6	Návrh akumulční nádoby . . . . .	39
6.7	Průtoky a ventily . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Realizace modelu v Matlabu a Automation Studiu</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Řídící Algoritmus</b>	<b>44</b>
8.1	Úvod . . . . .	44
8.2	První úroveň . . . . .	45
8.2.1	Regulátor kotle . . . . .	45
8.2.2	Regulátor krbové vložky . . . . .	46
8.2.3	Regulátory radiátoru . . . . .	47
8.2.4	Regulátor průtoku boilerem . . . . .	49
8.3	Druhá úroveň . . . . .	50
8.3.1	Řízení kotle . . . . .	50
8.3.2	Řízení solárního kolektoru . . . . .	51
8.3.3	Řízení krbové vložky . . . . .	52
8.3.4	Řízení ohřevu TUV . . . . .	53
8.3.5	Havarijní stavy . . . . .	54
8.4	Regulace teploty v místnosti . . . . .	56
8.4.1	Ekvitermní regulace . . . . .	56
8.4.2	Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu . . . . .	57
8.4.3	Ekvitermní regulace s PS regulátorem . . . . .	58



8.4.4	Inteligentní algoritmus . . . . .	58
8.4.5	Srovnání . . . . .	59
<b>9</b>	<b>Vizualizace</b>	<b>61</b>
9.1	Hlavní menu . . . . .	61
9.2	Nastavení teploty . . . . .	62
9.3	Náhled na soustavu, Grafy . . . . .	62
9.4	Nastavení regulace . . . . .	64
<b>10</b>	<b>Simulace jednoho dne</b>	<b>65</b>
<b>11</b>	<b>Výsledky studentské práce</b>	<b>68</b>
11.1	Matematický model . . . . .	68
11.1.1	Místnost . . . . .	68
11.1.2	Boiler . . . . .	68
11.1.3	Kotel . . . . .	69
11.1.4	Solární kolektor . . . . .	69
11.1.5	Krb . . . . .	69
11.1.6	Akumulační nádoba . . . . .	70
11.2	Realizace modelu . . . . .	71
11.3	Řídící algoritmus . . . . .	71
11.4	Zhodnocení . . . . .	71
<b>12</b>	<b>Závěr</b>	<b>72</b>
	<b>Literatura</b>	<b>73</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>74</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>76</b>
<b>A</b>	<b>Příloha: Vstupy a výstupy modelu</b>	<b>77</b>
<b>B</b>	<b>Příloha: Kódy regulátorů</b>	<b>79</b>

**C Příloha: Elektronická příloha**

**80**

## SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Ekvitermní křivka . . . . .	17
5.1	Navržená soustava . . . . .	29
6.1	Prostup tepla stěnou . . . . .	31
7.1	Základní model v matlabu . . . . .	43
8.1	Schéma programu . . . . .	44
8.2	Odezva regulátoru teploty vstupní vody do kotle na jednotkový skok žádané hodnoty . . . . .	46
8.3	Odezva regulátoru teploty vstupní vody do krbu na jednotkový skok žá- dané hodnoty . . . . .	47
8.4	Odezva regulátoru teploty vratné vody z radiátoru na jednotkový skok žádané hodnoty . . . . .	48
8.5	Odezva regulátoru teploty vstupní vody do radiátoru na jednotkový skok žádané hodnoty . . . . .	49
8.6	Odezva regulátoru teploty vratné vody z boileru na jednotkový skok žá- dané hodnoty . . . . .	50
8.7	Ukázka algoritmu pro řízení kotle . . . . .	51
8.8	Ukázka algoritmu pro řízení panelu . . . . .	52
8.9	Ukázka algoritmu pro řízení panelu . . . . .	53
8.10	Regulace teploty TUV . . . . .	54
8.11	Přechodová charakteristika při použití ekvitermní regulace . . . . .	56
8.12	Přechodová charakteristika při použití ekvitermní regulace s vazbou na vnitřní teplotu . . . . .	57
8.13	Přechodová charakteristika při použití ekvitermní regulace s PS regulátorem	58
8.14	Přechodová charakteristika teploty v místnosti při správně nastavené ekvi- termní křivce . . . . .	59
8.15	Přechodová charakteristika teploty v místnosti při špatně nastavené ekvi- termní křivce . . . . .	60
9.1	Hlavní menu . . . . .	61
9.2	Nastavení teploty . . . . .	62

9.3	Náhled na soustavu . . . . .	63
9.4	Nastavení regulace místnosti . . . . .	64
10.1	Modelovaný den, část 1 . . . . .	66
10.2	Modelovaný den, část 2 . . . . .	67

## SEZNAM TABULEK

2.1	Tabulka teplotních exponentů soustavy n . . . . .	16
5.1	Tabulka spotřebitelů a zdrojů tepla v modelu . . . . .	25
5.2	Tabulka čerpadel . . . . .	26
5.3	Tabulka ventilů . . . . .	27
5.4	Tabulka snímačů . . . . .	28
6.1	Tabulka použitých materiálů ve stěně . . . . .	31
8.1	Kotlový regulátor . . . . .	46
8.2	Krbový regulátor . . . . .	47
8.3	Regulátor průtoku radiátorem . . . . .	48
8.4	Regulátor teploty vstupní vody do radiátoru . . . . .	49
8.5	Regulátor průtoku boilerem . . . . .	50
8.6	Srovnání regulátorů teploty v místnosti . . . . .	60
10.1	Srovnání podílu zdrojů tepla na výtopu . . . . .	65
A.1	Tabulka vstupů modelu . . . . .	77
A.2	Tabulka výstupů modelu . . . . .	78

## 1 ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem matematického modelu topné soustavy a následně jeho regulací. Vytápění je obstaráváno klasickým kotlem, slunečními kolektory a krbovou vložkou. Je kladen velký důraz na využití netradičních zdrojů tepla, tento fakt je brán v potaz již od samotného návrhu soustavy. Matematický model je realizován v B&R Automation Studiu pomocí funkčního bloku, použitý jazyk je ANSIC. V B&R Automation Studiu je následně vytvořen řídicí algoritmus. Sestává se ze tří částí: regulátorů, hlavního řídicího programu a vizualizace. Použitý jazyk, je stejně jako v případě modelu, ANSIC.

Řídicí algoritmus poskytuje čtyři možnosti regulace teploty v místnosti. První je ekvitermní regulace, druhou je ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu. Další dvě jsou mnou vytvořené metody vycházející z ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu, ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu s PI regulátorem a inteligentní algoritmus. Výpočet modelu a řídicího algoritmu obstarává jedno PLC.

Výsledkem práce je zhodnocení regulačních dějů, a využitelnosti solárních kolektorů a krbové vložky.

## 2 REGULACE TOPNÉHO SYSTÉMU

### 2.1 Úvod

Je mnoho způsobů regulace topného systému, některé mají přímou vazbu na teplotu v místnosti, některé ne. Většinou je to však teplota v místnosti která nás zajímá nejvíce, nicméně regulace bez přímé vazby na teplotu místnosti bývají podstatně jednodušší, a proto pro některé budovy i nejvýhodnější. Dále jsou uvedeny základní způsoby této regulace, uvedené v [4]. Níže uvedené způsoby lze samozřejmě rozšiřovat a kombinovat aby byl výsledek regulace co nejbližší námi požadovanému.

### 2.2 Regulace teploty otopné vody

Proces spalování v kotli je řízen v závislosti na teplotě vody v přívodním potrubí otopné soustavy. Teplota topné vody se drží na konstantní výši. Požadovaná hodnota je nastavena podle počasí (teploty, vlhkosti, etc. ). Regulace je obstarávána čidlem které měří teplotu vody na vstupu do otopné soustavy, na základě toho je např. upraven přívod plynu v plynovém kotli, přivřena či pootevřena klapka u kamen na tuhé paliva, atd.. Tento typ regulace nemá vazbu na teplotu v místnosti a výsledek tedy závisí na nastavení vhodné teploty uživatelem, nicméně je tato regulace velmi jednoduchá.

### 2.3 Regulace podle vnitřní teploty vzduchu

Narozdíl od předchozí metody tato přináší přesnější výsledek co se týče teploty v místnosti, a tedy i větší komfort pro obyvatele domu. Lze ji kombinovat i s venkovním čidlem, které při náhlé změně venkovní teploty, dá regulátoru pokyn na protipatření s dostatečným předstihem, dříve než se vyčerpá akumulární schopnost budovy. Tento způsob regulace má slabiny při vytápění větších objektů. Výkon kotle můžeme regulovat přímo, ale pro složitější soustavy s více rozvody je vhodnější použít regulaci teploty vstupní vody

do otopné soustavy, a zdroj tepla regulovat zvlášť. To lze provést například přimícháváním ochlazené vratné vody do vody vystupující z kotle. Tento způsob má další výhodu a to v ohřívání TUV (teplá užitková voda). Pokud by jsme požadovali teplotu TUV například  $65^{\circ}\text{C}$ , a používáme k ohřevu TUV vody z topné soustavy, pak je minimální teplota vody v topné soustavě vyšší než  $65^{\circ}\text{C}$ , k vytápění místnosti na určenou hodnotu ale potřebujeme vodu o nižší teplotě, toto dilema tedy opět řešíme přimícháváním studené vratné vody. Pokud požadujeme přesnou regulaci ve více místnostech je možné vybavit topné tělesa v každé místnosti vlastním čidlem a regulátorem, který reguluje průtok radiátorem.

## 2.4 Regulace podle venkovní teploty - Ekvitermní regulace

Venkovní teplota má největší vliv na výši potřebného tepla ve vytápěné budově. Tato regulace reguluje teplotu otopné vody na základě venkovní teploty, závislost mezi teplotou otopné vody a teplotou venkovní se nazývá tzv. ekvitermní (otopnou) křivkou. Tato křivka je definována pouze pro jednu teplotu v místnosti, např. pro  $20^{\circ}\text{C}$ , pokud požadujeme vytápění na jinou teplotu pak se ekvitermní křivka paralelně posune. Její tvar je dán použitými otopnými plochami, vlastnostmi samotného vytápěného objektu a projektovaným teplotním spádem. V podstatě nám ekvitermní křivka zajišťuje rovnováhu mezi výrobou a spotřebou tepla. Ekvitermní křivku zpravidla vypočteme podle projektu, nicméně je jí nutno ještě doladit v praxi. Křivku lze velmi snadno poupravit změnou sklonu nebo jejím posunutím. Tyto úpravy už většinou zvládne sám uživatel objektu. Regulovat teplotu topné vody lze jak regulací spalování v kotli, tak přimícháváním studené vratné vody. Teplotní čidlo měřící venkovní teplotu se umísťuje obvykle na fasádu budovy, další čidlo je umístěno na výstupu vody z kotle. U velkých objektů je možno respektovat i polohu místností vzhledem k světovým stranám. Pak lze rozdělit topnou soustavu na dvě nebo více částí (severní/jižní a podobně), a regulovat je zvlášť. Aby regulace nebyla náchylná na krátké teplotní výkyvy, lze použít upravení aktuální venkovní teploty na geometrickou venkovní teplotu. Pro zlepšení regulace lze uvažovat krom teploty i sílu slunečního záření,



sílu a směr větru, vlhkost. Ekvitermní regulace, případně s dalšími funkcemi, je v dnešní době nejběžnější. Ukázka a výpočtová rovnice ekvitermní křivky podle [9].

Ochlazení teploty látky:

$$\Delta t = (t_{w1,max} - t_{w2,max}) \frac{t_e - t_i}{t_{e,min} - t_i} \quad (2.1)$$

Střední teplota teploty látky

$$t_m = t_i + \left( \frac{t_{w1,max} + t_{w2,max}}{2} - t_i \right) \left( \frac{t_e - t_i}{t_{e,min} - t_i} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2.2)$$

$t_i$  - Minimální venkovní výpočtová teplota [°C]

$t_{e,min}$  - Minimální venkovní výpočtová teplota [°C]

$t_{w1,max}$  - Maximální teplota přívodu otopné vody [°C]

$t_{w2,max}$  - Maximální teplota zpátečky otopné vody [°C]

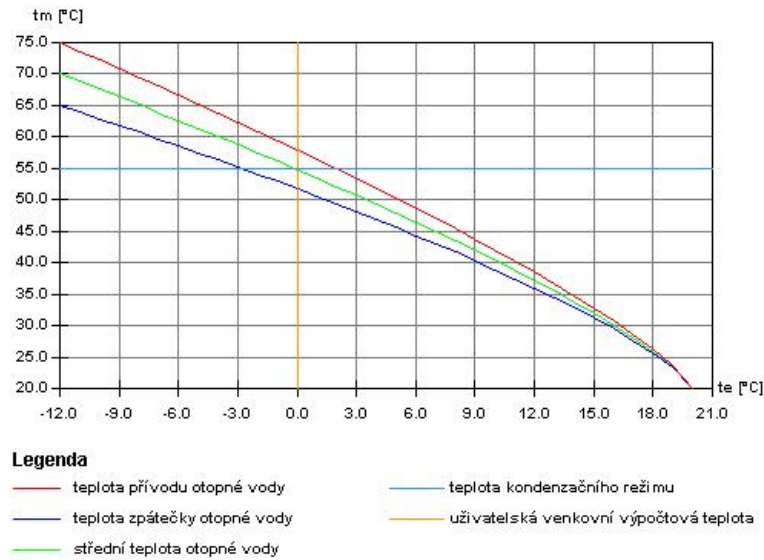
$n$  - Teplotní exponent soustavy [-]

$t_m$  - Střední teplota teploty látky [°C]

$\Delta t$  - Ochlazení teploty látky [°C]

podlahová otopná plocha	$n = 1.10$
desková otopná tělesa	$n = 1.26$ až $1.33$
trubková koupelnová otopná tělesa	$n = 1.20$ až $1.30$
tělesa podle DIN 4703	$n = 1.30$
konvektory	$n = 1.30$ až $1.50$

Tab. 2.1: Tabulka teplotních exponentů soustavy  $n$



Obr. 2.1: Ekvitermní křivka

## 2.5 Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu

Tato regulace není čistá ekvitermní regulace, ale jde o její modifikovanou podobu. Ekvitermní regulace je upravována na základě teploty v místnosti. Můžeme rozlišit dva způsoby upravení ekvitermní regulace. Prvním je upravení ekvitermní křivky, na základě dlouhodobého rozdílu v teplotě v místnosti od její teoretické hodnoty. Druhý je záležitost krátkodobá, jde o upravení žádané teploty v prostoru podle vzorce publikovaného v [4]:

$$t_{i,wk} = t_{i,w} + \frac{K}{2} * (t_{i,w} - t_{i,x}) \quad (2.3)$$

$t_{i,w}$  -žádaná teplota v prostoru [°C]

$t_{i,wk}$  -korigovaná žádaná teplota v prostoru [°C]

$t_{i,x}$  -aktuální teplota v prostoru [°C]

K -faktor vlivu prostorové teploty [-]

Jde tedy o paralelní posouvání ekvitermní křivky na základě odchylky teploty v místnosti od teploty požadované. Vliv odchylky teplot je nastavován pomocí proměnné K.

## 3 ZPŮSOBY OHŘEVU TUV A REGULACE JEJÍ TE- PLOTY

### 3.1 Úvod

Platí že TUV by měla být připravována co nejbliž spotřebě. Kvůli výši tepelných ztrát a životnosti potrubí by neměly teploty výstupu kolísat ve větším intervalu než 2-3K. Rozdělení a způsoby ohřevu TUV podle [8].

### 3.2 Průtočný ohřev

Dá se řešit napojením z primární části výměňkové stanice, kde je výkon regulován škrťicím ventilem, nebo případně ventilem směšovacím. Cílem řešení regulace průtočného ohřevu je, aby dokázala reagovat s předstihem na rychlé a velké změny požadavku na výkon tepelného zdroje ohříváče.

Výhody průtočného ohřívání:

- Menší náklady, není potřeba zásobník ani doplňovací čerpadlo.
- Nemožnost množení se bakterií.

Nevýhody průtočného ohřívání:

- Pokles tlaku při špičkových odběrech.
- Nutnost dimenzovat výkon tepelného zdroje na odběrovou špičku.

Z toho vyplývá i hlavní využitelnost tohoto způsobu ohřevu TUV, tento způsob se nejvíce hodí pro ohřev TUV v rodinných domcích.

### 3.3 Akumululační ohřev

Nejstarší typ ohřevu. Ohřátá voda je skladována v akumululační nádobě, a je připravena pokrýt i velké výkyvy ve spotřebě TUV. V dnešní době se kvůli velkému počtu nevýhod

opouští. Využití nachází především ve větších objektech kde jsou velké odběrové špičky a průtočný ohřev by tak musel být dimenzován na velký výkon.

Výhody akumulačního ohřevu:

- Snížení potřebného výkonu zdroje tepla ve výměníku TUV.
- Stejný tlak studené i teplé vody.

Nevýhody akumulačního ohřevu:

- Velké náklady spojené s akumulační nádobou a tím i větší požadavky na místo.
- Možnost růstu bakterií.
- Poměrně malý výkon topných vložek.

### 3.4 Průtočný ohřev s malou akumulační nádrží

Tento typ je podobný průtočnému ohřevu, ale jako dodatek je k němu sériově připojená malá akumulační nádoba (do 200l). Slouží k pokrytí odběrových špiček, které by průtokové ohřívání nezvládalo plně pokrýt.

Výhody průtočného ohřevu s malou akumulační nádrží:

- Díky malé akumulační nádobě nedochází k tvoření tzv. špuntů studené a teplé vody.
- Většinou nedochází k teplotnímu překmitu za akumulační nádobou.
- Příznivé pořizovací náklady.
- Nemožnost množení bakterií.
- Vhodné do kompaktních výměníkových stanic.

Nevýhody průtočného ohřevu s malou akumulační nádrží:

- Pokles tlaku při špičkových odběrech.
- Nutnost dimenzování na odběrovou špičku.

### 3.5 Ohřev TUV ve výměníku tepla s paralelní akumulací nádobou

Spojuje výhody akumulčního ohřevu TUV (odběrové špičky pokrývá zásobník), a díky oddělenému výměníku pro ohřev lze být dimenzován na podstatně vyšší výkon než vložka boileru, která je výkonově omezená. Díky tomu může být zásobník podstatně menšího objemu. Ohřev TUV bývá obvykle řešen deskovým výměníkem, a výstupní teplota TUV je řízena trojcestným ventilem. Tento systém je velice stabilní a bezproblémový na regulování. V současné době má široké využití, od objektů bytové výstavby přes plavecké bazény, lázně, hotely, ubytovny, i školy.

Výhody ohřevu TUV ve výměníku tepla s paralelní akumulací nádobou:

- Pokrytí výkonových špiček.
- Velký výkon výměníku.
- Malá velikost akumulční nádoby.

Nevýhody ohřevu TUV ve výměníku tepla s paralelní akumulací nádobou:

- Decentralizace oběhových, nabíjecích a cirkulačních čerpadel, což může vést k poruchám.

### 3.6 Regulace teploty TUV

Podle [5]. Pro regulaci teploty v akumulční nádobě je nejjednodušším způsobem regulace dvoupolohová. Dokud není dosaženo požadované maximální teploty TUV je ventil otevřen. Nevýhoda tohoto systému je v nedostatečném ochlazením teplotnosné látky. Při provozu se snižuje teplotní rozdíl mezi primární a sekundární teplotnosnou látkou, čímž se snižuje množství sdíleného tepla i ochlazení primární teplotnosné látky. Tento problém lze odstranit použitím spojitě regulace. Regulován je průtok primární teplotnosné látky ohříváčem, v závislosti na teplotě vratné primární teplotnosné látky. Kromě toho je regulována i teplota TUV a to dvojpolehově, tato regulace je nadřazená regulaci teploty vratné primární vody. Jakmile dosáhne teplota TUV požadované hodnoty

je průtok ohřivačem řízen pouze požadavkem na udržení požadované teploty TUV. U regulace průtokové lze buď využít regulační ventil (regulace průtoku), nebo směšovací trojcestný ventil (regulace teploty primární teplotnosné látky).

## 4 TEPLO

### 4.1 Základní pojmy

Teplu je fyzikální veličinou popisující změnu termodynamického stavu systému. Zdroje ze kterých jsem čerpal v této kapitole jsou [7] a [3].

- Značka: Q
- Základní jednotka: J - Joule

Taktéž se používá jednotka kilokalorie, značí se kcal. Vyjadřuje množství tepla, které je potřeba k ohřátí 1kg čisté vody o 1°C (přesně z 14.5 °C na 15.5 °C). Malá kalorie nebo gramkalorie se značí cal a vyjadřuje množství tepla potřebného k ohřátí 1g vody o 1°C.

1 kcal=4187 J

Watt hodina Wh: Odpovídá práci s výkonem jeden watt po dobu jedné hodiny, tedy 3600 Joulům. Jeden Joule odpovídá wattsekundě. V praxi je nejpoužívanější kilowatt hodina kWh, odpovídá 1000 Wh a tedy 3 600 000 Joulům.

1 kWh = 1000 Wh = 3 600 000 J = 860 kcal

Měrná tepelná kapacita (měrné teplo): Je to množství tepla potřebné pro ohřátí 1kg látky o 1°C. Značí se c, základní jednotka je Joule na kilogram a kelvin,  $J.Kg^{-1}.K^{-1}$ .

$$Q = m.c.\Delta T \quad (4.1)$$

Q - přijaté/odevzdané teplo [J]

m - hmotnost tělesa [kg]

c - měrná tepelná kapacita tělesa [ $J.kg^{-1}.K^{-1}$ ]

$\delta T$  - změna teploty tělesa [K]

Tepelná kapacita: vyjadřuje množství tepla, kterým se těleso ohřeje o 1 kelvin.

$$C = m.c \quad (4.2)$$

C - tepelná kapacita [ $J.K^{-1}$ ]

m - hmotnost tělesa [kg]

c - měrná tepelná kapacita tělesa [ $J.kg^{-1}.K^{-1}$ ]

## 4.2 Sdílení tepla vedením

Teplu se šíří od částičky k částičce, přičemž ty jsou vůči sobě v relativním klidu. Jen vedením se teplo může šířit pouze v pevných tělesech. Množství prošlého tepla je závislé na velikosti průchozí plochy, na rozdílu teplot látek (tepelný spád), na tepelné vodivosti látky a nepřímo na tloušťce stěny.

$$Q_v = F \frac{\lambda}{s} (t_1 - t_2) \quad (4.3)$$

$Q_v$  - prošlé teplo [W]

$F$  - styčná plocha [ $m^2$ ]

$\lambda$  - tepelná vodivost látky [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

$t_1$  - teplota tělesa 1 [ $^{\circ}C$ ]

$t_2$  - teplota tělesa 2 [ $^{\circ}C$ ]

$s$  - tloušťka stěny [m]

## 4.3 Sdílení tepla prouděním

Vzniká při styku pevného tělesa a tekutiny (plynu). Svou teplotu mění pouze tenká vrstva kapaliny při stěně. Díky tomuto rozdílu dochází k přirozenému proudění. Umělým prouděním se přestup tepla zvyšuje.

$$Q = \alpha \cdot F (t - t') \quad (4.4)$$

$Q$  - prošlé teplo [W]

$\alpha$  - součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$F$  - styčná plocha [ $m^2$ ]

$t$  - teplota teplotonosné látky [ $^{\circ}C$ ]

$t'$  - teplota pevné látky [ $^{\circ}C$ ]

Součinitel přestupu  $\alpha$ , závisí na druhu tekutiny, na rychlosti proudění (s vyšší prudce stoupá), na teplotě kapaliny (s rostoucí teplotou stoupá), na hustotě kapaliny, na tvaru styčných ploch atd.. Odvozuje se obvykle z různých empirických vzorců.



## 4.4 Sdílení tepla sáláním

Teplé těleso vysílá do svého okolí tepelné paprsky, jako elektromagnetické vlny, o přibližně stejné vlnové délce, jako má světlo. Těleso, na které záření dopadá, část pohltí a část odrazí.

$$Q = c \left( \frac{T}{100} \right)^4 \quad (4.5)$$

Q - celkové množství sálavého tepla

c - součinitel sálání [ $W \cdot K^{-4}$ ]

T - teplota tělesa [K]

## 5 NÁVRH OTOPNÉ SOUSTAVY

### 5.1 Základní prvky soustavy

Prvním krokem je stanovit v naší soustavě všechny zdroje tepla a všechny spotřebitele tepla.

Zdroje tepla	Spotřebitelé tepla
Plynový kotel	Boiler
Krbová vložka	Místnost
Solární kolektor	

Tab. 5.1: Tabulka spotřebitelů a zdrojů tepla v modelu

V soustavě jsou dva zdroje tepla, solární kolektor a krbová vložka, které nemůžeme regulovat a mnohdy dodávají teplo tehdy, když ho není potřeba. Proto je nutno soustavu vybavit akumulací nádobou, která slouží k uchování přebytečného tepla. V soustavě jsem se rozhodl použít neregulovatelný plynový kotel, u kterého je možná pouze dvoupolohová regulace výkonu. Také je třeba určit tepelný spád soustavy, zvolil jsem běžný 75/65 °C.

## 5.2 Topologie soustavy

Nyní je třeba stanovit jak budou prvky na sebe vzájemně napojeny, v této části práce jsem čerpal z článku [6]. Vzhledem k tomu, že využíváme nemodulární kotel, je třeba připojit jej před akumulární nádobu, stejně jako solární kolektor a krb. Přitom větev se solárním kolektorem musí být oddělená, protože solární kolektor nevyužívá jako teplotonosné látky vodu (např. propylenglykolový roztok) a pracuje v jiných provozních tlacích. Solární kolektor je tedy připojen k akumulární nádobě pomocí vestavěného výměníku tepla. Za akumulární nádobou je pak připojeno topení a boiler. Pro zajištění oběhu teplotonosné látky je třeba každou větev vybavit oběhovým čerpadlem. Číslování čerpadel v tabulce koresponduje s obrázkem 5.1.

c1	čerpadlo kotlové a krbové větve
c2	čerpadlo větve solárního kolektoru
c3	čerpadlo topné větve

Tab. 5.2: Tabulka čerpadel

## 5.3 Ventily

Pro správný chod soustavy a pro její regulaci, ji musíme osadit ventily.

Kotlová větev je vybavena dvěma ventily. první ventil, v1, je dvoupolohový a slouží pouze k uzavření kotlové větve. Druhý, v2, je trojcestný a slouží k přimíchávání teplé vody do vratné vody. Tento ventil slouží k zabránění teplotní koroze kotle (pokud je kotel rozehrát na provozní teplotu a vstupuje do něj příliš studená voda, má to neblahý vliv na jeho životnost).

Krbová větev je obdobou kotlové. Proti přehřátí, které narozdíl od kotle nemůžeme řešit pouhým vypnutím plamene, je kotlová vložka vybavena dvojicí ventilů v9 a v10, ventil v9 vpustí do kotlové vložky studenou vodu a ventil v10 otvírá odtok vody z kotlové vložky do odpadního potrubí.

Větev solárního kolektoru je vybavena pouze ventilem pro její odstavení, v5.

Větev pro topení v místnosti je vybavena trojcestným ventilem v6. Tento ventil reguluje teplotu vody vstupující do radiátoru a to přimícháváním studené vratné vody. Dále je

vybavena ventilem v7, pro regulaci průtoku radiátorem. Tyto dva ventily jsou nutné pro možnost ekvitermní regulace teploty v místnosti.

Větev pro ohřev TUV je vybavena pouze ventilem v8, který reguluje průtok boilerem.

Číslování ventilů koresponduje s obrázkem 5.1.

v1	ventil pro uzavření kotlové větve
v2	trojcestný ventil pro regulaci vratné kotlové vody
v3	ventil pro uzavření krbové větve
v4	trojcestný ventil pro regulaci vratné krbové vody
v5	ventil pro uzavření větve solárního kolektoru
v6	trojcestný ventil pro regulaci teploty vody vstupující do radiátoru
v7	ventil pro regulaci průtoku radiátorem
v8	ventil pro regulaci průtoku boilerem
v9	bezpečnostní ventil studené vody v krbové vložce
v10	bezpečnostní ventil pro odtok vody z krbové vložky do kanalizace

Tab. 5.3: Tabulka ventilů

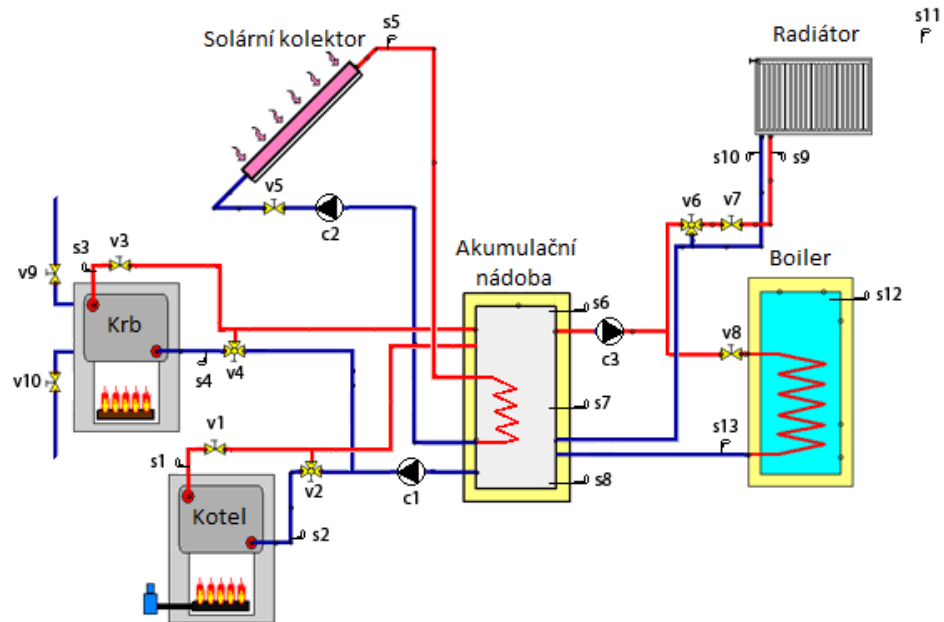
## 5.4 Snímače

Pro zajištění zpětné vazby regulace od soustavy je nutno ji vybavit snímači. Číslování snímačů koresponduje s obrázkem 5.1.

s1	snímač teploty výstupní vody z kotle
s2	snímač teploty vstupní vody do kotle
s3	snímač teploty výstupní vody z krbu
s4	snímač teploty vstupní vody do krbu
s5	snímač teploty výstupního média ze solárního kolektoru
s6	horní snímač teploty v akumulátoru
s7	střední snímač teploty v akumulátoru
s8	spodní snímač teploty v akumulátoru
s9	snímač teploty vstupní vody do radiátoru
s10	snímač teploty vratné vody z radiátoru
s11	snímač teploty v místnosti
s12	snímač teploty TUV
s13	snímač teploty vratné vody z boileru

Tab. 5.4: Tabulka snímačů

## 5.5 Navržená soustava



Obr. 5.1: Navržená soustava

## 6 NÁVRH MATEMATICKÉHO MODELU

### 6.1 Návrh místnosti

#### 6.1.1 Úvod

Při návrhu místnosti musíme vzít v potaz tři části, návrh radiátoru, zjištění tepelné kapacity místnosti a stanovení prostupu tepla stěnami místnosti.

Přitom musíme postupovat odzadu. První určíme prostup tepla stěnami, a dle námi zjištěné hodnoty navrhne radiátor, tak aby byl schopný tuto ztrátu pokrýt. Tepelná kapacita místnosti nám udává časovou konstantu soustavy.

Pro navržení tohoto matematického modelu je zřejmé, že potřebujeme znát plochu sdílení (plochu vnějších stěn) a materiály zdiva a izolace.

#### 6.1.2 Prostup tepla stěnou

Vycházíme z rovnice pro sdílení tepla prouděním, kde teplý vzduch v místnosti předává teplo stěně a ta studenému venkovnímu vzduchu.

$$Q = \alpha \cdot F(t - t') \quad (6.1)$$

Koeficient získáme podle vzorce uvedeném v [7]:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha'} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} \quad (6.2)$$

$k$  - součinitel prostupu tepla [ $W/m^2 \cdot K$ ]

$\alpha'$  - vnější součinitel prostupu tepla [ $W/m \cdot K$ ]

$\lambda$  - součinitel vodivosti tepla stavební hmoty ze které je konstrukce zhotovena [ $W/m \cdot K$ ]

$s$  - šířka vrstvy [m]

$\alpha$  - vnitřní součinitel prostupu tepla [ $W/m \cdot K$ ]

Pro náš model musíme zvolit materiály a tloušťky jednotlivých vrstev stěny. Hodnoty součinitelů tepelné vodivosti jsem získal z [10]

materiál vrstvy	$\lambda [W/m.K]$	s [m]
omítka vápencová (vnitřní)	0,88	0,01
pískový pórobeton (plynobeton)	0,24	0,5
pěnový polystyren	0,039	0,05
omítka vápencová (vnější)	0,01	0,88

Tab. 6.1: Tabulka použitých materiálu ve stěně

Pro výpočet součinitele prostupu ještě zbývá znát součinitele pro vnější a vnitřní prostup, ty se dle [7] volí např 20 a 7.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha'} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \frac{s_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha} \quad (6.3)$$

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{20} + \frac{0,01}{0,88} + \frac{0,5}{0,24} + \frac{0,05}{0,039} + \frac{0,01}{0,88} + \frac{1}{7}$$

$$\frac{1}{k} = 3,58$$

$$k = 0,28W/m^2.K$$

Prostup tepla stěnou vygenerovaný pomocí [10], pro vnitřní teplotu vzduchu 21 °C a venkovní teplotu 0°C.



Obr. 6.1: Prostup tepla stěnou



Dále je nutno určit prostupnou plochu tu jsem zvolil  $60m^2$ . Nyní už můžeme zapsat finální rovnici výstupního tepla:

$$Q_v = k \cdot F (t_{mis} - t_{venk})$$
$$Q_v = 0,28.60(t_{mis} - t_{venk}) \quad (6.4)$$

$Q_v$  - výstupní teplo [W]

$k$  - součinitel prostupu [ $W/m^2 \cdot K$ ]

$F$  - plocha sdílení [ $m^2$ ]

$t_{mis}$  - teplota v místnosti [ $^{\circ}C$ ]

$t_{venk}$  - venkovní teplota [ $^{\circ}C$ ]

### 6.1.3 Návrh radiátoru

Pro návrh radiátoru je nejdříve nutno určit maximální tepelné ztráty v dané místnosti. Tímto problémem se podrobně zabývá ČSN 06 0210. Pro potřeby modelu postačí jednoduše určit maximální požadovanou teplotu v místnosti a minimální venkovní teplotu. Pro tyto teploty pak určíme ztráty tepla.

Zvolil jsem  $t_{mis} = 24^{\circ}C$  a  $t_{venk} = -15^{\circ}C$

Dosadíme do vzorce ztráty místnosti:

$$Q_v = 0,28.60(24 - (-15)) = 655,2W \quad (6.5)$$

Nyní tedy známe ztráty pro námi uvažované krajní podmínky, radiátor tedy musí být schopný dodat stejné nebo vyšší teplo. Z katalogů dostupných na [2] jsem vybral radiátor RADIK 20 klasik:

- výška 500mm
- délka 800mm
- $Q = 670W$  pro spád 75/65
- objem 4,1 l
- výhřevná plocha  $1,8m^2$

- součinitel prostupu tepla  $5,32 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Pro rovnici jsou potřebné pouze parametry: výhřevná plocha a součinitel prostupu tepla. Jakmile známe tyto dva parametry můžeme zapsat finální rovnici pro teplo dodané do místnosti:

$$Q_d = 5,32 \cdot 1,8 \left( \frac{t_r + t_z}{2} \right) - t_{mis} \quad (6.6)$$

$Q_d$  - dodané teplo [W]

$t_r$  - teplota vstupní vody do radiátoru [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_z$  - teplota výstupní vody z radiátoru [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{mis}$  - teplota v místnosti [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Ochlazení otopné vody z radiátoru řeším pomocí vzorce pro změnu teploty. Tepelná kapacita je dána průtokem za sekundu a měrnou tepelnou kapacitou vody. Rovnice pro ochlazení vody pak vypadá následovně:

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c}$$

$$\Delta T = \frac{Q_d}{p \cdot 4186} \quad (6.7)$$

$Q_d$  - teplo vydané radiátorem [W]

$p$  - průtok tělesem [l/s]

$c$  - měrná tepelná kapacita vody [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

Rovnice pro teplotu zpátečky pak je jednoduše:

$$t_z = t_r - \frac{Q_d}{p \cdot 4186} \quad (6.8)$$

## 6.1.4 Kapacita místnosti

Určuje časovou konstantu místnosti, a tedy tím i rychlost s jakou se místnost ohřeje a s jakou vychladne. V praxi je tato časová konstanta poměrně slušně změřitelná a není tak potřeba nějakých sotisfikovaných propočtů, v mém případě jsem si pro orientaci spočetl kapacitu vzduchu v objektu, kapacitu stěn a kapacitu zařízení místnosti, a následně podle přechodové charakteristiky teploty v místnosti kapacitu poupravil tak aby odezvy byly

reálné. Dospěl jsem ke kapacitě  $C=12\ 500\ J.K^{-1}$ .

Vzorec pro změnu teploty v místnosti pak vypadá:

$$\Delta T = \frac{Q_d - Q_v}{C}$$
$$\Delta T = \frac{Q_d - Q_v}{12500} \quad (6.9)$$

$Q_d$  - Teplo dodané radiátorem [W]

$Q_v$  - Tepelné ztráty [W]

$C$  - kapacita místnosti [ $J.K^{-1}$ ]

$\Delta T$  - Změna teploty v místnosti [K]

## 6.2 Návrh ohříváče TUV

Z různých typů ohřívání TUV uvedených v kapitole 3 jsem zvolil akumulární ohřev. Pro napsání matematického modelu potřebujeme znát několik věcí, objem zásobníku vody, teplosměnnou plochu vložky a součinitel přestupu tepla vložky. Je třeba brát v úvahu i odběr teplé vody ze zásobníku a dále si tedy musíme ujasnit doplňování vody v zásobníku studenou vodou, její teplota je pro nás taktéž důležitá.

Jako první si zvolíme nějaký typ akumulární nádrže s ohříváčem a jeho velikost. Vybral jsem menší 200 litrový boiler z katalogů [2].

- ACV SMART
- objem 203 litrů
- teplosměnná plocha  $F\ 1.94\ m^2$
- koeficient přestupu tepla  $k\ 325\ W/m^2.K$

Nyní můžeme spočítat tepelnou kapacitu vody v boileru, měrná tepelná kapacita vody je  $4186\ J.kg^{-1}.K^{-1}$ .

$$C = m.c$$
$$C = 203.4186W/m^2K \quad (6.10)$$

A taktéž můžeme napsat rovnici pro dodané teplo:

$$Q_d = k.F.(t' - t)$$

$$Q_d = 325.1,94\left(\frac{t_r + t_z}{2} - t_{tuv}\right) \quad (6.11)$$

$t_r$  - Teplota vstupní vody do ohřívače TUV [°C]

$t_z$  - Teplota vratné vody z ohřívače TUV [°C]

$Q_d$  - Dodané teplo [W]

Podobně jako u radiátoru stanovíme ochlazení primární teplotonosné látky:

$$t_z = t_r - \frac{Q_d}{p \cdot 4186} \quad (6.12)$$

Nyní je potřeba vyřešit odběr vody z nádrže, ten jsem realizoval jako úbytek tepla. Když odebereme určité množství vody a nahradíme ho stejným množstvím studenější vody, můžeme to chápat pouze jako odebrání určitého tepla závislého na rozdílu teplot a na hmotnosti odebrané vody. Studenou vodu jsem volil o teplotě 10°C. Zapsáno vzorcem:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q_v = (t_{tuv} - 10) \cdot 4186 \cdot p \quad (6.13)$$

$Q_v$  - odebrané teplo [W]

$t_{tuv}$  - teplota TUV [°C]

$p$  - odtok [l/s]

Poslední věcí je zapsání vzorce pro změnu teploty v akumulární nádobě:

$$\Delta T = \frac{Q_{vstup} - Q_{vyst}}{203 \cdot 4186} \quad (6.14)$$

### 6.3 Návrh kotle

Matematický model kotle je podstatně jednodušší, v podstatě nás zajímá jen výkon kotle a průtok jím. Výkon kotle je třeba určit z krajního požadavku na dodávku tepla. Pro vytápění sem se rozhodl použít plynový kotel.

Z katalogů [2] jsem zvolil kotel Logamax U152 s výkonem 20 kW, tento kotel je nemodulární. Běží tedy buď na plném výkonu nebo jenom udržuje plamen. Pro ohřátí vody lze pak jednoduše psát rovnici:

$$\Delta T = \frac{Q_d}{p \cdot c}$$
$$\Delta T = \frac{Q_d}{p \cdot 4186} \quad (6.15)$$

$Q_d$  je výkon kotle (0 nebo 20kW).

$p$  - průtok kotlem [l/s]

Rovnice pro teplotu výstupní vody:

$$t_z = t_r + \Delta T \quad (6.16)$$

$t_r$  - Teplota vstupní vody do kotle [°C]

$t_z$  - Teplota výstupní vody z kotle [°C]

## 6.4 Návrh solárního kolektoru

U solárního kolektoru musíme vzít v potaz výkon dodaný sluncem, ztráty prostupem tepla ze solárního kolektoru, jeho tepelnou kapacitu a odběr tepla ze solárního kolektoru. Výkon dodaný solárnímu panelu je daný jeho plochou, absorpční schopností a intenzitou slunečního záření. Absorpční schopnost se u solárních kolektorů pohybuje okolo 95%. Výkon dodaný na 1 m<sup>2</sup> při bezmračné obloze je zhruba 1kW. Vybral jsem 6 vakuových kolektorů KTU10, vakuové kolektory se vyznačují malými tepelnými ztrátami a malým obsahem teplonosné látky.

- KTU 10
- objem 1,7 litrů
- účinná plocha trubíc 0,82 m<sup>2</sup>

Rovnice pro vstupující teplo:

$$Q_d = F \cdot I \cdot \eta$$

$$Q_d = 5 \cdot I \cdot 0,95 \quad (6.17)$$

$Q_d$  - dodané teplo [W]

$I$  - Intenzita záření [ $W/m^2$ ]

$F$  - plocha kolektorů [ $m^2$ ]

$\eta$  - absorpční schopnost kolektorů [-]

Ztrátový výkon je dán rozdílem teplot teplotnosné látky v kolektoru a venkovní teplotou, součinitelem prostupu tepla a plochou kolektorů. Součinitel prostupu tepla není v katalogu uveden, nicméně jsem jej odhadl na základě minimální intenzity svitu, pro který jsou solární vakuové kolektory schopny dodávat teplo.

$$Q_z = F \cdot k \cdot (t_s - t_v)$$

$$Q_z = 5 \cdot 1,42 \cdot (t_s - t_v) \quad (6.18)$$

$Q_z$  - ztrátové teplo [W]

$k$  - součinitel prostupu tepla [ $W/m^2K$ ]

$t_s$  - teplota teplotnosné látky v kolektoru [ $^{\circ}C$ ]

$t_v$  - venkovní teplota [ $^{\circ}C$ ]

Teplo odebrané z kolektoru je dáno rozdílem teplot teplotnosné látky přitékající a odebírané ze solárního kolektoru a jejím průtokem.

$$Q_o = p \cdot (t_z - t_d) \cdot c$$

$$Q_o = p \cdot (t_z - t_d) \cdot 4186 \quad (6.19)$$

$Q_o$  - odebrané teplo [W]

$p$  - průtok solárním panelem [l/s]

$t_d$  - teplota teplotnosné látky vstupující do solárního kolektoru [ $^{\circ}C$ ]

$t_z$  - teplota teplotnosné látky vystupující ze solárního kolektoru [ $^{\circ}C$ ]

$c$  - měrná tepelná kapacita teplotnosné látky [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

Tepelná kapacita solárního kolektoru je dána objemem teplotnosné látky v něm obsažené, ta je uvedena v katalogu [1]. Pak tedy můžeme zapsat rovnici pro změnu teploty v solárním kolektoru:

$$\Delta T = \frac{Q_d - Q_o - Q_z}{m \cdot 4186}$$

$$\Delta T = \frac{Q_d - Q_o - Q_z}{10,2 \cdot 4186} \quad (6.20)$$

Rovnice pro teplotu vody v solárním kolektoru (tedy i teplota výstupní vody):

$$t_s = t_s^{-1} + \Delta T \quad (6.21)$$

$t_s$  - teplota vody v solárním článku [ $^{\circ}\text{C}$ ]

## 6.5 Návrh krbu

Matematicky se velmi podobá solárnímu kolektoru. Matematicky popsat musíme teplo dodané hořením, kapacitu krbové vložky a teplo odebrané. Zdrojem tepla je hoření tuhého paliva, dřeva. Pro nějaký obecný přehled o možném výkonu jsem zjistil v [7] a v [2] výhřevnost dřeva a účinnost kotlů na pevné paliva (u krbu ještě podstatně menší). Výhřevnost dřeva je 14-15 MJ/kg. Účinnost krbu jsem odhadl na 50%. Při zohlednění doby trvání hoření dřeva jsem dospěl k rozsahu dodaného tepla  $Q_d=0-10\text{kW}$ .

Rovnice pro odebrané teplo, to je dáno rozdílem teplot teplotnosné látky přitékající a odebírané z krbové vložky a jejím průtokem.

$$Q_o = p \cdot (t_z - t_r) \cdot c$$

$$Q_o = p \cdot (t_z - t_r) \cdot 4186 \quad (6.22)$$

$Q_o$  - odebrané teplo [W]

$p$  - průtok krbovou vložkou [l/s]

$t_r$  - teplota teplotnosné látky vstupující do krbu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_z$  - teplota teplotnosné látky vystupující z krbu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$c$  - měrná tepelná kapacita teplotnosné látky [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

Teplná kapacita krbové vložky je dána objemem teplotnosné látky v ní obsažené. U krbových vložek s teplovodním výměníkem se objem vody pohybuje zhruba od 2 do 10 litrů v závislosti na velikosti. Zvolil jsem objem výměníku 10l. Pak tedy můžeme zapsat rovnici pro změnu teploty v krbové vložce:

$$\begin{aligned}\Delta T &= \frac{Q_d - Q_o}{m \cdot 4186} \\ \Delta T &= \frac{Q_d - Q_o}{10 \cdot 4186}\end{aligned}\quad (6.23)$$

Rovnice pro teplotu vody v krbové vložce (tedy i teplota výstupní vody):

$$t_k = t_k^{-1} + \Delta T \quad (6.24)$$

$t_k$  - teplota vody v krbu [°C]

## 6.6 Návrh akumulární nádoby

Akumulární nádoba slouží pro spojení všech okruhů topného systému a k akumulaci přebytečného tepla. Zvolil jsem akumulární nádobu o objemu 500 litrů. Akumulární nádoby jsou konstruovány tak aby se v nich voda mísila jen minimálně, drží se podle své teploty v určité výši v nádrži (to je dosaženo pomocí stratifikačního válce). Při vytváření matematického modelu to musíme respektovat. Proto jsem rozdělil akumulární nádobu na tři vrstvy vody, přičemž každá má svou vlastní teplotu. Teplota vrchní vrstvy je dána přímo teplotou vody přicházející z kotle a krbu. Teplota spodní vrstvy je pak dána teplotou vratné vody z radiátoru a boileru. Teplota střední vrstvy pak reprezentuje vlastní naakumulované teplo a je upravována podle toho, zda je více tepla dodáváno, či odebíráno. Pokud se nerovná přítok teplé vody z krbu a kotle odtoku teplé vody do radiátoru a boileru, upravuje se teplota horní, respektive spodní vrstvy v závislosti na tom, zda je větší odtok či přítok (jde si to představit jako vnitřní proud v akumulární nádobě který promíchává vodu).

Větev solárního kolektoru je k akumulární nádobě připojena pomocí výměníku. Tento výměník je umístěn v nádobě co nejnižší (aby byl rozdíl teplot co největší). Součinitel prostupu tepla a jeho plocha byli opět voleny z katalogů [2]. Teplo dodané tímto výměníkem



je pak:

$$Q_s = 147.1,7 \left( \frac{t_r + t_z}{2} - t_3 \right) \quad (6.25)$$

$Q_s$  - Teplo dodané výměníkem do akumulární nádoby [W]

$t_r$  - Teplota vstupní vody do výměníku [°C]

$t_z$  - Teplota vratné vody z výměníku [°C]

$t_3$  - Teplota spodní vrstvy vody v akumulární nádobě [°C]

A teplota vratné vody z výměníku je pak dána rovnicí:

$$t_z = \frac{t_z + t_r}{2} - \frac{Q_s}{p \cdot 4186} \quad (6.26)$$

Teplota horní části akumulární nádoby je dána váženým průměrem přítoků z kotle a krbu:

$$t_1 = \frac{(t_{zk} \cdot p_k) + (t_{zkr} \cdot p_{kr})}{p_k + p_{kr}} \quad (6.27)$$

$t_1$  - Teplota horní vrstvy vody v akumulární nádobě [°C]

$t_{zk}$  - Teplota vody přitékající z kotle [°C]

$t_{zkr}$  - Teplota vody přitékající z krbu [°C]

$p_k$  - Průtok kotlem [l/s]

$p_{kr}$  - Průtok krbem [l/s]

V případě že je přítok teplé vody z krbu a kotle menší než odtok teplé vody do radiátoru a boileru, dochází k přimíšení vody ze střední části, to je popsáno vzorcem:

$$t_1 = \frac{t_1 \cdot (p_k + p_{kr}) - \Delta p \cdot t_2}{p_k + p_{kr} - \Delta p} \quad (6.28)$$

$t_2$  - Teplota střední vrstvy vody v akumulární nádobě [°C]

$\Delta p$  - Rozdíl průtoků [l/s]

Teplota spodní části akumulární nádoby je dána váženým průměrem přítoků vratné vody z radiátoru a boileru:

$$t_3 = \frac{(t_{zr} \cdot p_r) + (t_{zb} \cdot p_b)}{p_r + p_b} \quad (6.29)$$

$t_{zr}$  - Teplota vody přitékající z radiátoru [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{zb}$  - Teplota vody přitékající z boileru [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$p_r$  - Průtok kotlem [l/s]

$p_b$  - Průtok krbem [l/s]

V případě že je přítok teplé vody z krbu a kotle větší než odtok teplé vody do radiátoru a boileru, dochází k přimíšení vody ze střední části, to je popsáno vzorcem:

$$t_3 = \frac{(t_{zb} \cdot p_b) + (t_{zr} \cdot p_r) + (t_2 \cdot \Delta p)}{p_r + p_b + \Delta p} \quad (6.30)$$

Teplota střední části je dána teplem naakumulovaném v nádobě. Změna této teploty tedy závisí na poměru přijatého a odebraného tepla z akumulární nádoby, v potaz je samozřejmě brána i její kapacita.

Přijaté teplo je dáno součtem tepla dodaného z výměníku solární větve a ze součtu všech přítoků vody do akumulární nádoby, přičemž je zohledněn jejich průtok a teplota.

$$Q_d = Q_s + ((p_k \cdot t_{zk} + p_{kr} \cdot t_{zkr} + t_{zr} \cdot p_r + t_{zb} \cdot p_b) \cdot 4186) \quad (6.31)$$

$Q_d$  - dodané teplo [W]

Odebrané teplo je podobně dáno součtem všech odtoků vody z akumulární nádoby:

$$Q_o = (p_k \cdot t_k + p_{kr} \cdot t_{kr} + t_r \cdot p_r + t_b \cdot p_b) \cdot 4186 \quad (6.32)$$

$Q_o$  - odebrané teplo [W]

Změna teploty je pak dána rozdílem těchto dvou tepel, s přihlédnutím na tepelnou kapacitu akumulátoru.

$$\Delta T_2 = \frac{Q_d - Q_o}{500 \cdot 4186} \quad (6.33)$$

$\Delta T_2$  - Změna teploty střední vrstvy akumulární nádoby [K]

Teplota v akumulární nádobě je pak:

$$t_2 = t_2^{-1} + \Delta T_2 \quad (6.34)$$

## 6.7 Průtoky a ventily

Výpočet průtoku je realizován velmi zjednodušeně, každé čerpadlo má dáno svůj tlak a každá větev pak svůj hydrodynamický odpor, ten je dále zvětšen odporem ventilu a vypočten průtok. Výpočet je zjednodušený, jeho jediným účelem je výpočet průtoku dle nastavení ventilu, jinak se hydrostatickými a hydrodynamickými poměry soustavy nezabýváme.

Trojcestný ventil upravuje teplotu vody na jeho výstupu v závislosti na teplotě dvou vstupů a na nastavení ventilu.

$$t_y = (t_u \cdot (1 - \frac{V}{100})) + (t_{u2} \cdot (\frac{V}{100})) \quad (6.35)$$

$t_y$  - teplota na výstupu [°C]

$t_u$  - teplota na vstupu [°C]

$t_{u2}$  - teplota na druhém vstupu [°C]

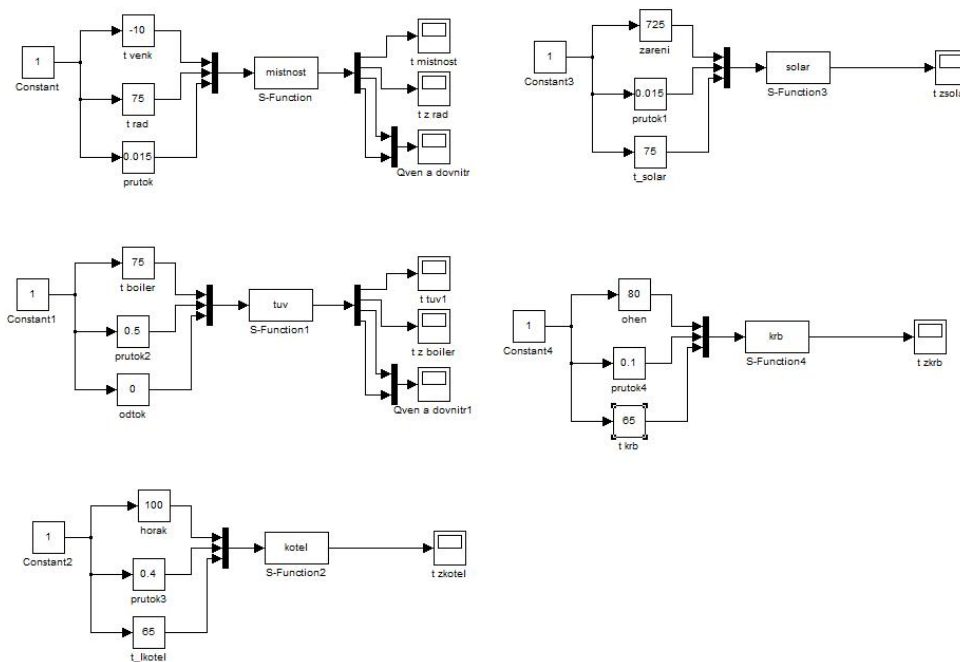
$V$  - otevření ventilu [%]

## 7 REALIZACE MODELU V MATLABU A AUTOMATION STUDIU

Pro ověření závislostí a průběhů veličin jsem model realizoval v Matlab Simulink. Následně jsem pak v B&R Automation Studiu vytvořil knihovnu model a v ní funkční blok dum. Funkční blok je zapsán v jazyku ANSIC. Do modelu je zapracována i topologie soustavy, rovnice jednotlivých ventilů, výpočty průtoku atd. Seznam vstupů a výstupů z modelu jsou v příloze A.

Matematický model bylo třeba rozšířit o značné množství podmínek. Jednalo se především o ošetření při dělení nulou, a o ošetření stavů jenž vznikali kvůli diskrétním výpočtům, například výpočet maximální množství sdílitelného tepla a porovnání s vypočteným množstvím tepla.

Model byl dále upraven tak aby umožňoval upravení velikosti výpočtového kroku a tím i možnost urychlit simulaci procesu. Docílno to bylo přidáním nastavitelného multiplikátoru ke všem rovnicím změny teploty. Implicitně je nastaven na 6, což při výpočtovém cyklu 0.1s znamená 60-krát urychlenou simulaci (10 výpočtů za sekundu, každý po kroku 6sekund).

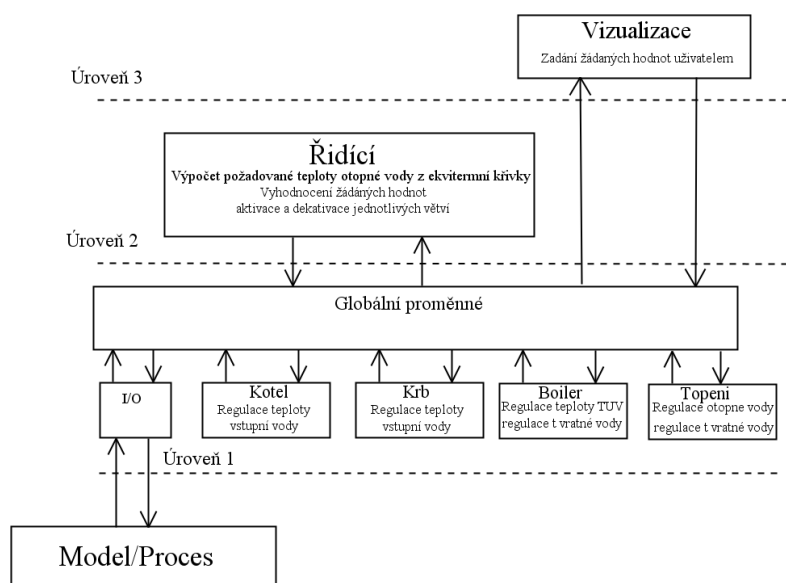


Obr. 7.1: Základní model v matlabu

## 8 ŘÍDÍCÍ ALGORITMUS

### 8.1 Úvod

Řídící algoritmus je řešen v Automation Studiu. Je naprogramován v jazyku ANSI C. Skládá se z několika dílčích programů, mezi kterými je zajištěna komunikace pomocí globálních proměnných. Řídící algoritmus lze rozdělit na tři úrovně. První úroveň je úroveň regulace, obsahuje jednoduché regulátory které se starají o požadovanou teplotu otopné vody, teplotu TUV atd., tato úroveň ovládá přímo akční členy v soustavě. Druhá úroveň je úroveň řízení procesu, obsahuje hlavní řídicí algoritmus, který regulátorům, v závislosti na požadovaném výsledku procesu, nastavuje žádané hodnoty, připojuje a odpojuje periferní větve k soustavě a kontroluje kritické stavy. Sám však neovládá žádné akční členy, pouze posílá na nižší úroveň informace, která větve soustavy se má připojit, zda se má zapnout ohřev TUV a podobně. Výjimkou jsou pouze kritické stavy, a řízení solárního panelu, při nichž sám obsluhuje jednotlivé akční členy a obchází tak první úroveň. Třetí úroveň je pak úroveň komunikace s uživatelem, jedná se o vizualizaci jenž umožňuje uživateli nastavovat žádané výsledky procesu (teplota v místnosti, teplota TUV) a zároveň taktéž kontrolovat stav procesu.



Obr. 8.1: Schéma programu

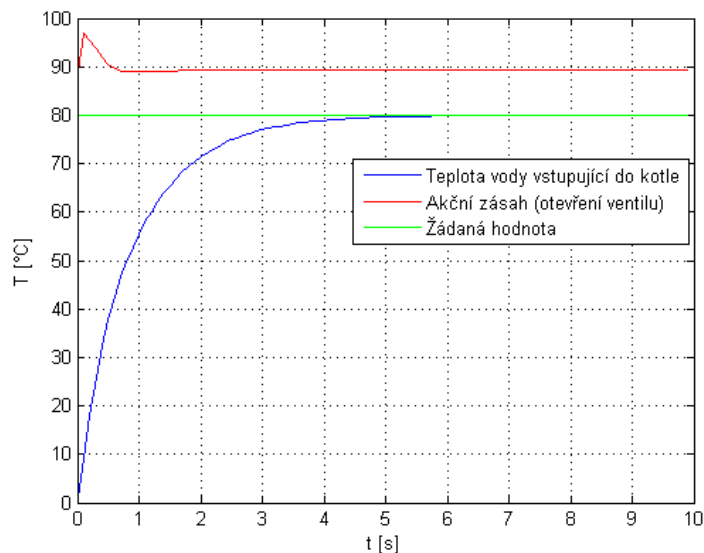
## 8.2 První úroveň

V této podkapitole jsou rozepsány jednotlivé regulátory první úrovně. Použité regulátory jsou dvojpohové, v případě spojitě regulace jsou použity PS regulátory viz. příklad **B.1**. Požadavky na nastavení regulátorů byli co nejmenší překmit a co největší stabilita. Stabilita je důležitá zejména vzhledem k tomu že regulovaná soustava mění své parametry. Regulátory byli proto vždy nastaveny pro krajní podmínky (například maximální rozdíl teplot). Použití regulátorů s diferenční složkou se mi neosvědčilo, požadoval jsem pozvolné průběhy, rychlé změny akční veličiny mají neblahý vliv na životnost akčních členů.

### 8.2.1 Regulátor kotle

Na základě příkazů z druhé úrovně zapíná či vypíná kotel (otevření/zavření ventilu, zapnutí/vypnutí hořáku). Kromě toho se stará o správnou teplotu vratné vody, vstupující do kotle. Ta je regulována pomocí kotlového trojcestného ventilu. Regulace je prováděna pomocí PS regulátoru. Na tento regulátor jsou kladeny největší nároky z hlediska překmitu, proto je charakteristika volená velmi pozvolná. Regulátor je realizován v balíčku *Kotel*, v souborech *KotelCyclic.c* a *KotelInit.c*.

Odezva na jednotkový skok při žádané hodnotě 80 °C, teplota studené vody 0°C.



Obr. 8.2: Odezva regulátoru teploty vstupní vody do kotle na jednotkový skok žádané hodnoty

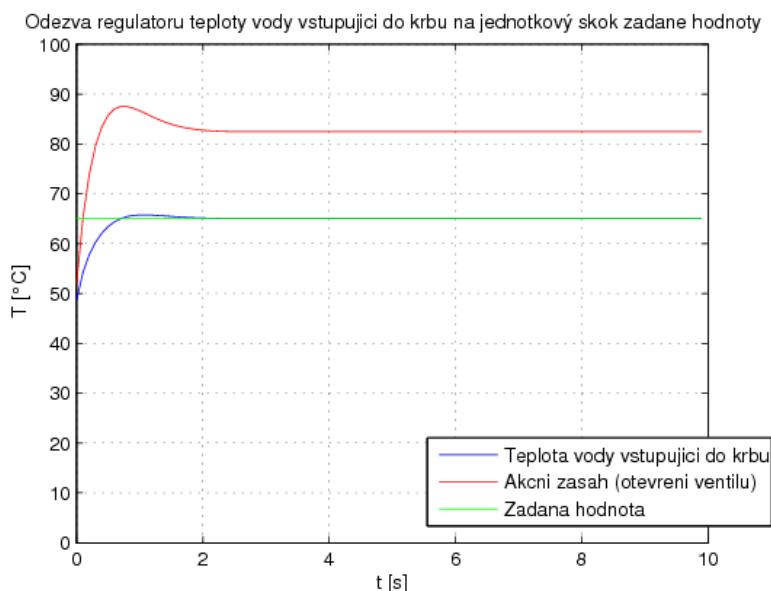
K	Ti	Překmit	Doba ustálení
1.1	1	0%	4.8s

Tab. 8.1: Kotlový regulátor

## 8.2.2 Regulátor krbové vložky

Na základě příkazů z druhé úrovně připojuje krb k soustavě. Kromě toho se stará o správnou teplotu vratné vody, vstupující do krbu. Ta je regulována pomocí krbového trojcestného ventilu. Regulace je prováděna pomocí PS regulátoru. Regulátor je realizován v balíčku *Krb*, v souborech *Krb2Cyclic.c* a *Krb2Init.c*.

Odezva na jednotkový skok při žádané hodnotě 65 °C, teplota studené vody 0°C, intenzita hoření 100%.



Obr. 8.3: Odezva regulátoru teploty vstupní vody do krbu na jednotkový skok žádané hodnoty

K	Ti	Překmit	Doba ustálení
0.8	0.1	1.3%	1.8s

Tab. 8.2: Krbový regulátor

### 8.2.3 Regulátory radiátoru

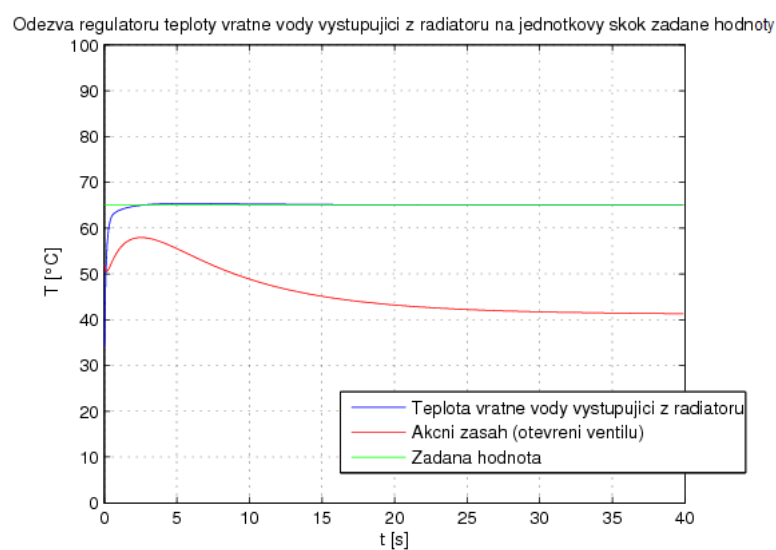
U radiátoru jsou dva akční členy jenž regulujeme, klasický ventil který řídí průtok radiátorem a trojcestný ventil který přimíchává ochlazenou vratnou vodu k vodě z akumulátoru. Jedná se o PS regulátory. Oba dva dohromady umožňují ekvitermní regulaci teploty v místnosti. Tyto regulátory jsou realizovány v balíčku *Topeni* a *Topeni2*, ve zdrojových souborech *TopeniInit.c* a *TopeniCyclic.c*.

Pomocí prvního ventilu regulujeme teplotu vratné vody z radiátoru. Čím menší průtok, tím je na výstupu z radiátoru voda chladnější (odebrané teplo je sice o něco menší, ale množství látky ze které bylo teplo odebráno je podstatně nižší). Tento regulátor je důležitý



kvůli správné funkci ekvitermní regulace, soustava je navržena na určitý teplotní rozdíl ( $10^{\circ}\text{C}$  v našem případě). Teplo vydané z radiátoru totiž záleží na střední teplotě vody v radiátoru, ne jen na teplotě vstupní.

Odezva na jednotkový skok při žádané hodnotě  $65^{\circ}\text{C}$ , teplota vstupní vody do radiátoru  $75^{\circ}\text{C}$ .

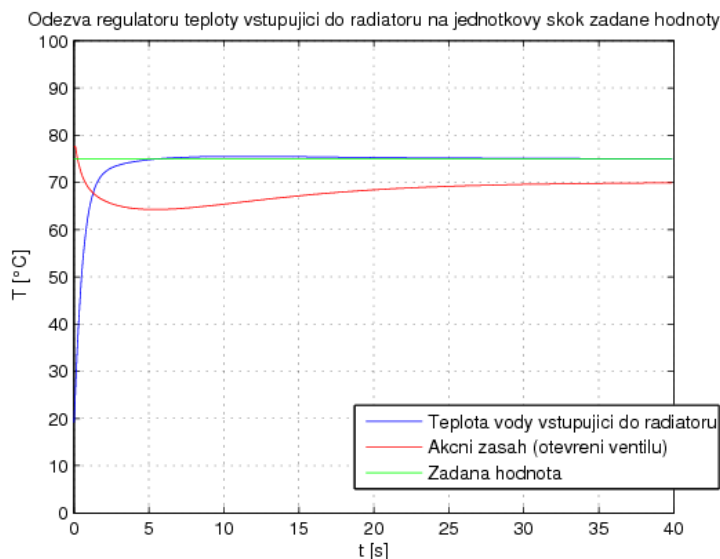


Obr. 8.4: Odezva regulátoru teploty vratné vody z radiátoru na jednotkový skok žádané hodnoty

K	T <sub>i</sub>	Překmit	Doba ustálení
0.8	0.2	0.2%	4.2s

Tab. 8.3: Regulátor průtoku radiátorem

Trojcestný ventil slouží přímo k regulaci teploty vody vstupující do radiátoru.  
Odezva na jednotkový skok při žádané hodnotě 75 °C, teplota teplé vody (před trojcestným ventilem) 90°C.



Obr. 8.5: Odezva regulátoru teploty vstupní vody do radiátoru na jednotkový skok žádané hodnoty

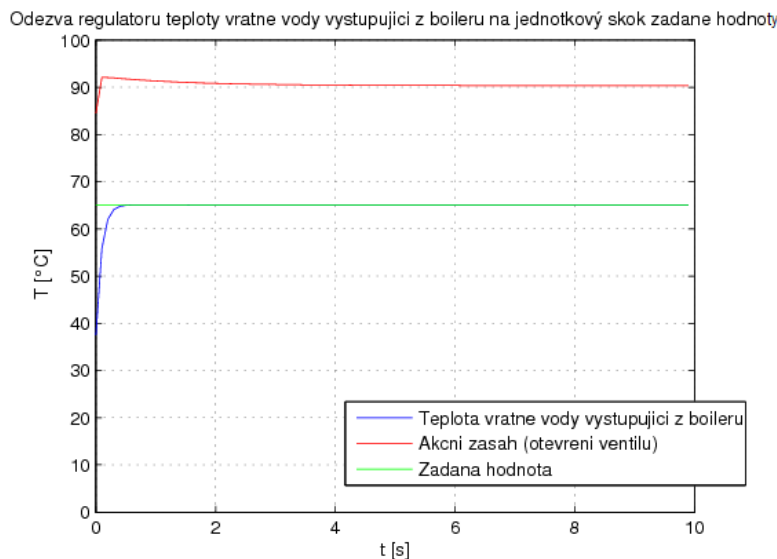
K	Ti	Překmit	Doba ustálení
0.3	0.4	0.7%	7.2s

Tab. 8.4: Regulátor teploty vstupní vody do radiátoru

## 8.2.4 Regulátor průtoku boilerem

Tento PS regulátor reguluje průtok teplé vody boilerem, je realizován v balíčku *boiler*, ve zdrojových souborech *boilerCyclic.c* a *boilerInit.c*. Obdobně jako průtokový regulátor u radiátoru se stará o dostatečné ochlazení vody během průtoku. Regulaci samotné teploty TUV obstarává hlavní program, a to tím že posílá informaci o tom kdy má být spuštěna tato regulace, v případě že není je ventil plně uzavřen.

Odezva na jednotkový skok při žádané hodnotě 65 °C, teplota teplé vody 75°C, teplota TUV 70°C.



Obr. 8.6: Odezva regulátoru teploty vratné vody z boileru na jednotkový skok žádané hodnoty

K	Ti	Překmit	Doba ustálení
1.3	0.15	0.4%	1.8s

Tab. 8.5: Regulátor průtoku boilerem

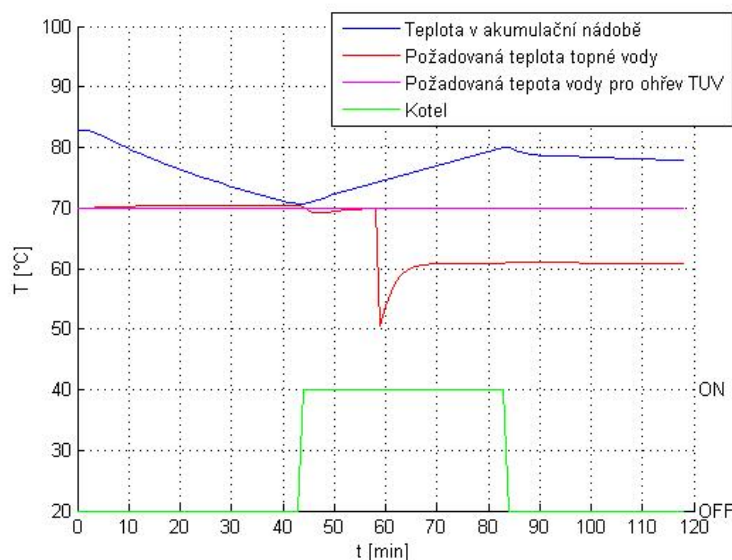
## 8.3 Druhá úroveň

Druhá úroveň řídicího algoritmu obsahuje hlavní řídicí program. V této kapitole budou rozebrány jednotlivé části tohoto programu. Tento program je realizován v balíčku *Ridici*, ve zdrojových souborech *RidiciCyclic.c* a *RidiciInit.c*.

### 8.3.1 Řízení kotle

Tato část programu zapíná kotel v závislosti na teplotě vody v akumulátoru. Pokud je požadavek na teplotu vody vyšší než aktuální hodnota v akumulátoru je kotel zapnut, a pokračuje v ohřívání vody do té doby, dokud není teplota vody v akumulátoru vyšší o 10°C než požadovaná teplota vody. Požadovaná teplota teplé vody je buď teplota vody potřebná pro vytápění místnosti, nebo teplota vody potřebná pro ohřev TUV, podle toho která je vyšší. Řídicí program také vypočítává teplotu vstupní vody do kotle. Ta je o 10°C nižší než jaká je požadovaná teplota teplé vody. Informaci o tom zda má být kotel zapnut

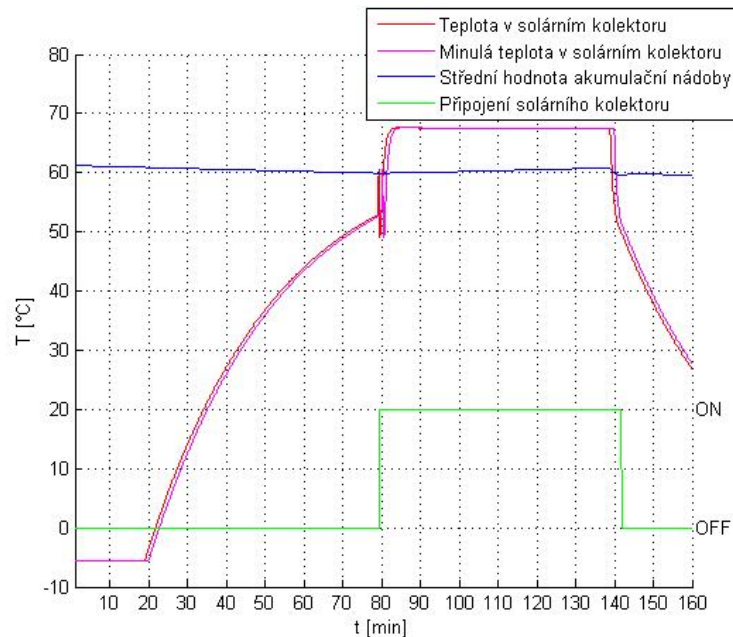
a hodnotu požadované teploty vstupní vody do kotle ukládá řídicí program do globálních proměnných, ze kterých jsou čteny kotlovým regulátorem.



Obr. 8.7: Ukázka algoritmu pro řízení kotle

### 8.3.2 Řízení solárního kolektoru

Jak bylo uvedeno v kapitole 8.1, je solární panel řízen přímo z řídicího programu. Je to z toho důvodu že se jedná pouze o zapínání a vypínání čerpadla. Podmínkou pro zapojení solárního kolektoru do soustavy je jednak teplota v kolektoru ale také to jak se mění. Teplota vody v kolektoru musí být vyšší než střední teplota v akumulaciční nádobě, a teplota v kolektoru musí růst. Pokud jsou obě tyto podmínky splněny spustí se čerpadlo solární větve. Podmínka vypnutí je obdobná, teplota v solárním kolektoru musí klesat a zároveň musí být nižší než teplota studené vody plus 5°C. Pokud je tato podmínka splněna po 1 minutu dojde k vypnutí čerpadla a solární kolektor je odstaven. Od 19. do 79. minuty je intenzita záření  $100 \text{ W/m}^2$  od 79. minuty po 139. je to  $1000 \text{ W/m}^2$ . Proto od 19. minuty vidíme lehký nárůst teploty v solárním kolektoru, taktéž jde vidět že je aktuální teplota v solárním kolektoru vyšší než minulá. Jedna část podmínky je tedy splněna. Rozkmit který je vidět na grafu je způsoben velkou změnou intenzity záření, skok dolů je pak způsoben zapnutím čerpadla, kdy dojde k velkému ochlazení vody v kolektoru, následně se teplota stabilizuje. Prudký pokles teploty od 140 minuty je způsoben tím že intenzita

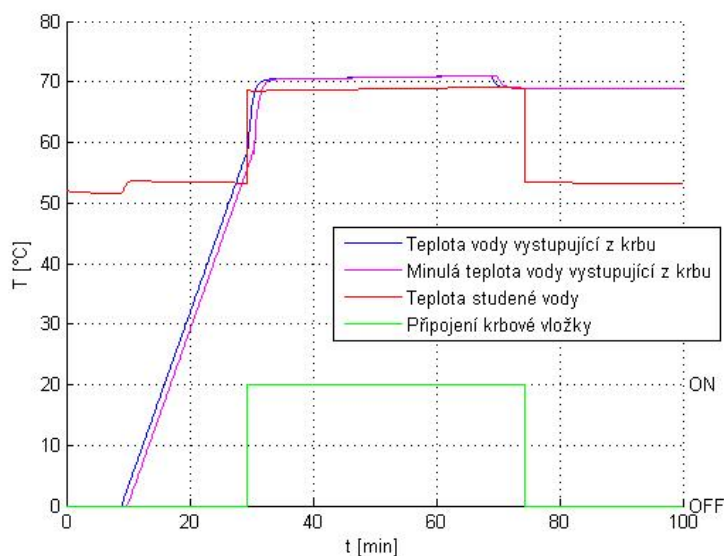


Obr. 8.8: Ukázka algoritmu pro řízení panelu

záření spadla na  $0W/m^2$  ale čerpadlo stále běží a voda tak odevzdává své zbývající teplo akumulární nádobě. K vypnutí čerpadla solárního kolektoru dojde ve 141. minutě kdy je minutu splněna podmínka o vypnutí, pozvolný pokles který pak následuje je způsoben tepelnými ztrátami solárního kolektoru, určité teplo je vyzařováno do okolí.

### 8.3.3 Řízení krbové vložky

Tato část řídicího programu vypočítává žádanou hodnotu vstupní vody do krbové vložky, a rozhoduje o tom kdy má být krbová vložka zapojena do soustavy. Tyto informace pak ukládá do globálních proměnných ze kterých jsou čteny krbovým regulátorem. Žádaná teplota vstupní vody je stejně jako v případě kotle o  $10^{\circ}C$  nižší než požadovaná teplota teplé vody. Podmínkou pro zapojení krbové vložky do soustavy je jednak to že se musí voda v krbu ohřívat (srovnání aktuální a minulé hodnoty) a to že musí být teplota v krbové vložce větší než teplota studené vody plus  $5^{\circ}C$ . V případě splnění je otevřen krbový ventil a zapnuto čerpadlo. Podmínky pro vypnutí jsou, že musí být teplota vody z kotle nižší než teplota vstupní vody plus  $1^{\circ}C$  (dochází k menšímu ohřátí než  $1^{\circ}C$ ), a musí docházet ke klesání výstupní teploty z krbu (srovnání aktuální a minulé hodnoty). Z grafu je patrné že se krbová vložka připojí v okamžiku kdy teplota z krbu překročí teplotu studené vody o

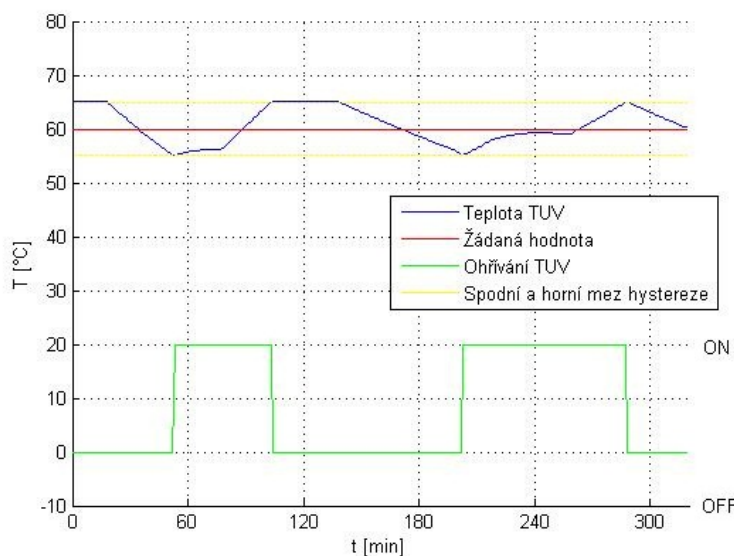


Obr. 8.9: Ukázka algoritmu pro řízení panelu

5°C (28. minuta). Spojeno je to s vzrůstem teploty právě studené vody, to je způsobeno nepoměrem přítoku a odtoku teplé vody, podrobněji je tento jev popsán v kapitole věnující se modelu akumulární nádoby 6.5. K vypnutí pak dochází 3minuty po okamžiku kdy se výstup vody z kotle začne ochlazovat a teplota spadne pod teplotu vstupní vody plus 1°C (72. minuta).

### 8.3.4 Řízení ohřevu TUV

Řízení ohřevu TUV je složeno ze dvou částí. První je dvojpohová regulace teploty TUV, druhou je spojitá regulace teploty vratné vody z boileru. V řídicím programu je vypočítávána požadovaná teplota vratné vody, která je o 10°C nižší než teplota teplé vody, a je v něm realizována dvojpohová regulace teploty TUV.



Obr. 8.10: Regulace teploty TUV

Poklesy teploty TUV jsou způsobeny odběrem teplé vody.

### 8.3.5 Havarijní stavy

Řídicí program má také za účel kontrolovat havarijní stavy soustavy. V případě poruchy je daná část soustavy kompletně odstavena a není možnost sní pracovat dokud ji obsluha neodblokuje pomocí vizualizace. Části soustavy na nichž může dojít k havarijnímu stavu:

- **Kotel:** Pokud teplota z kotle přesáhne bezpečnou teplotu je okamžitě vypnut hořák a kotel odstaven od soustavy (zaškrcením ventilu). Kritická teplota pro tuto soustavu byla stanovena na 110  $^{\circ}\text{C}$  (bod varu je vyšší díky tlaku v soustavě).
- **Krb:** Stejně jako u kotle se kontroluje teplota výstupní vody. Při přesáhnutí kritické hodnoty je uzavřen krbový ventil. Avšak vzhledem k tomu že oheň v krbu není možno vypnout jako hořák u kotle, je krb vybaven bezpečnostními ventily, ty se v případě kritického stavu otevřou a pustí do krbové vložky studenou vodu, druhým bezpečnostním ventilem pak voda odtéká do kanalizace.
- **Solární kolektor:** Opět kontrolujeme teplotu v solárním kolektoru a v případě přesažení kritické meze je vypnuto čerpadlo. Vakuové solární kolektory se vyznačují

malým objemem teplotnosné kapaliny, proto si můžeme dovolit nechat kapalinu odpařit, zvětšení objemu bez problémů pokryje expanzní nádobka. Následně počkáme dokud teplota v solárním kolektoru neklesne a pára se nesrazí (např. v noci).

- **Akumulační nádoba:** Byť by se teoreticky teplota v ní neměla vyšplhat nad kritickou mez díky kontrole stavů všech zdrojů tepla, je pro jistotu kontrolována i teplota v akumulační nádobě. V případě že by překročila kritickou mez je odstavena celá topná soustava. Všechny ventily se uzavřou a všechny čerpadla vypnou.



## 8.4 Regulace teploty v místnosti

Tato část spadá taktéž do druhé úrovně, nicméně je natolik obsáhlá že je jí vyhrazena zvláštní podkapitola. Možnosti regulace teploty v místnosti byli zhrnuty v kapitole 2. Základní regulací je ekvitermní pro zlepšení výsledku regulace je pak dále modifikována.

### 8.4.1 Ekvitermní regulace

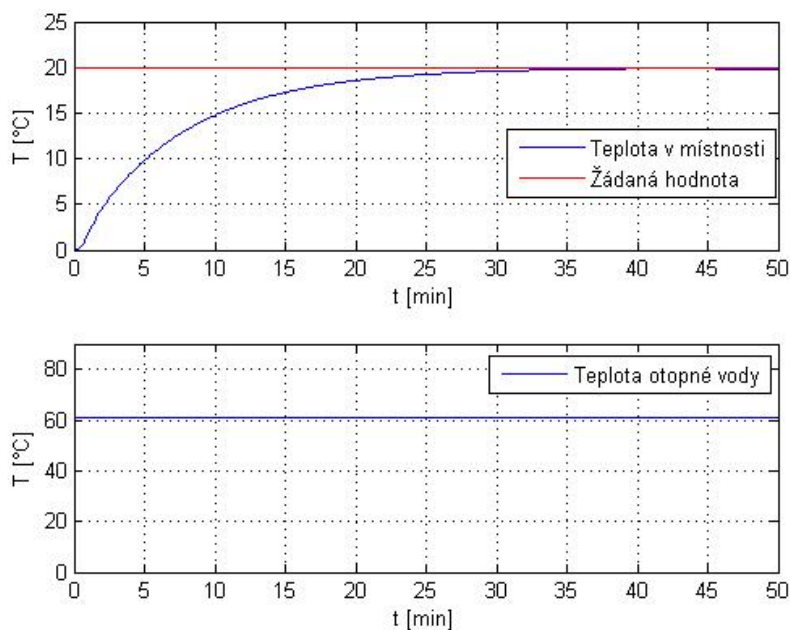
Její teoretický princip je uveden v 2.4. Nevýhodou ekvitermní regulace je to, že nemá žádnou zpětnou vazbu z místnosti. Výsledek regulace tedy závisí pouze na správném nastavení ekvitermní regulace a na absenci poruch. Rovnice ekvitermní křivky pro modelovaný objekt je:

$$t_t = -1,792.t_v + 2,8.t_p + 60,83 \quad (8.1)$$

$t_t$  - požadovaná teplota topné vody [°C]

$t_v$  - venkovní teplota [°C]

$t_p$  - požadovaná teplota v místnosti [°C]



Obr. 8.11: Přechodová charakteristika při použití ekvitermní regulace

### 8.4.2 Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu

Její teoretický princip je uveden v 2.5. V podstatě jde o P regulátor se statickým offsetem daným ekvitermní křivkou. Proporciální složka nám jednak zrychlí přechodový děj a jednak zmenší odchylku od žádané hodnoty při špatně nastavené ekvitermní křivce či poruše. Nicméně vzhledem k absenci integrační (sumační) složky, pracuje s ustálenou odchylkou. Rovnice ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu:

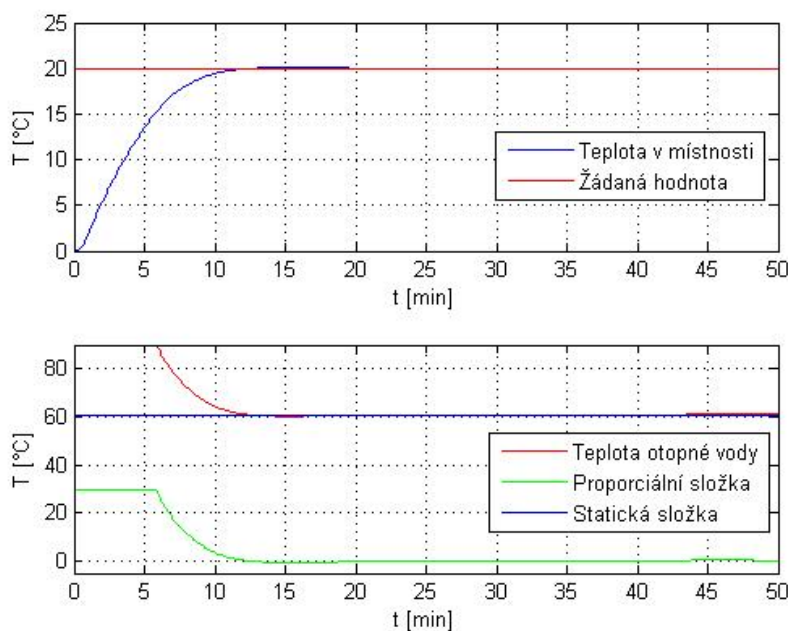
$$t_t = t_{ekv} + \delta \cdot (t_s - t_p) \quad (8.2)$$

$t_t$  - požadovaná teplota topné vody [°C]

$t_{ekv}$  - požadovaná teplota topné vody získaná z ekvitermní křivky [°C]

$t_s$  - skutečná teplota v místnosti [°C]

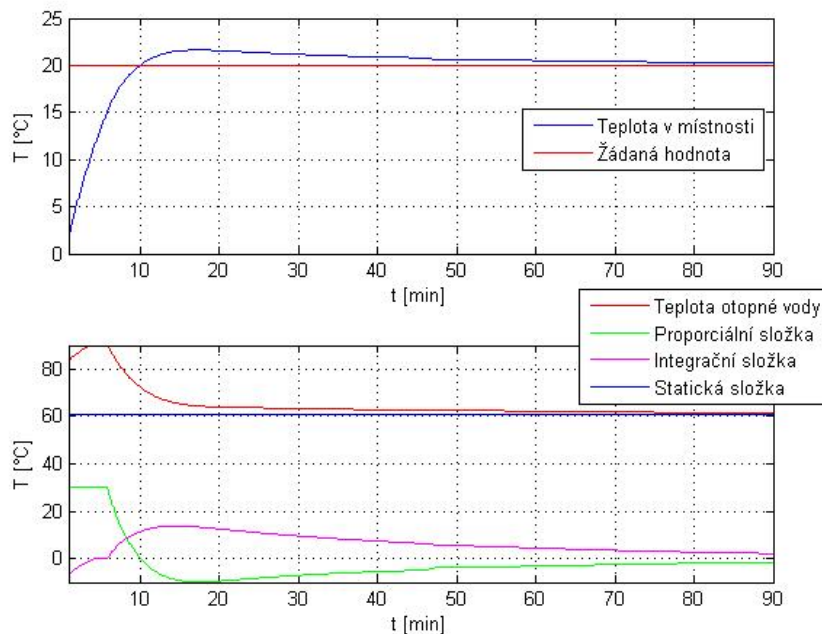
$t_p$  - požadovaná teplota v místnosti [°C]



Obr. 8.12: Přechodová charakteristika při použití ekvitermní regulace s vazbou na vnitřní teplotu

### 8.4.3 Ekvitermní regulace s PS regulátorem

Modifikovaná verze ekvitermní regulace se zpětnou vazbou. Místo pouze proporciální složky jsem použil PS regulátor s dynamickým omezením integrační složky viz. příklad **B.2**. Takováto regulace sice odstraní případnou poruchu, nicméně má velký překmit.



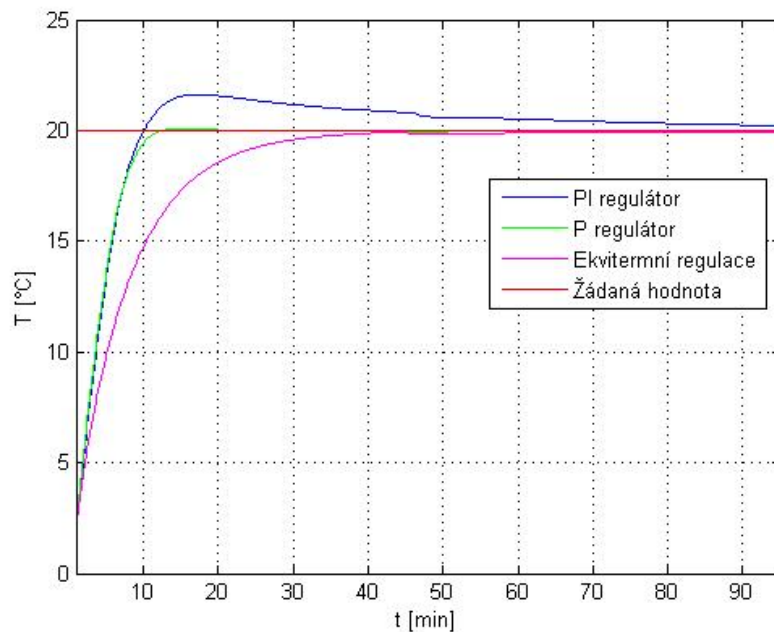
Obr. 8.13: Přechodová charakteristika při použití ekvitermní regulace s PS regulátorem

### 8.4.4 Inteligentní algoritmus

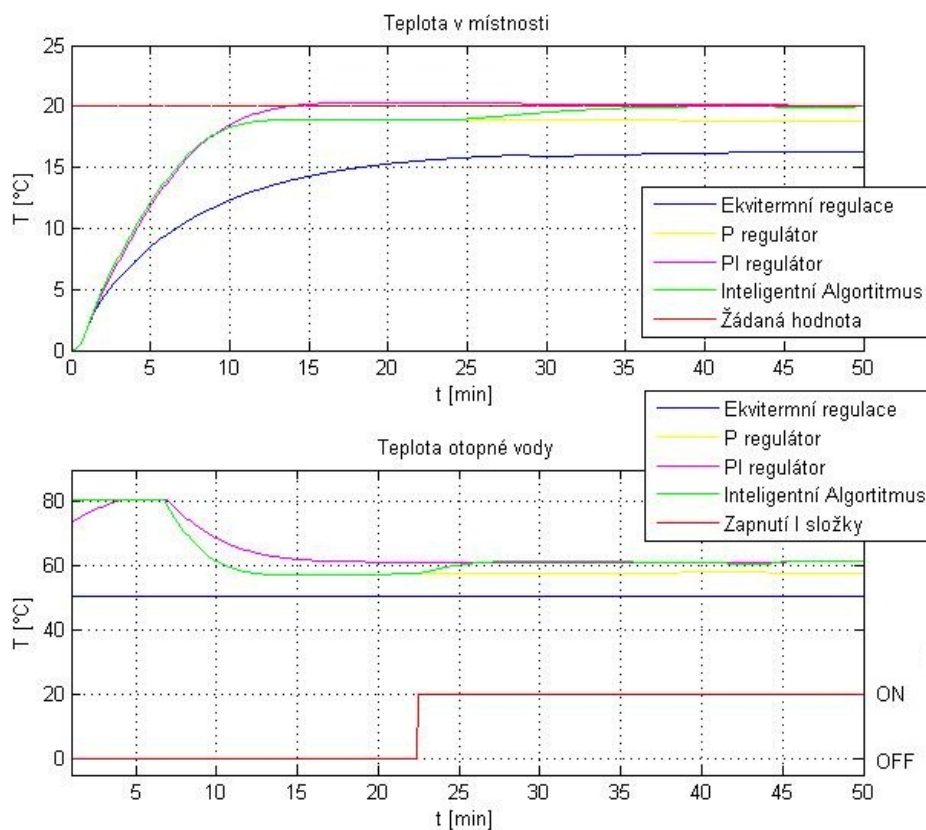
Spojuje výhody ekvitermní regulace s P a PS regulátorem. Normálně se chová jako ekvitermní regulace s proporciální složkou, nicméně pokud se přechodový děj ustálí a stále zde existuje odchylka od žádané hodnoty, připojí se k regulátoru i sumační složka regulátoru a odchylku odstraní. Při změně žádané hodnoty je vždy sumační složka nulována a vypnuta. Spojuje tedy v sobě velmi rychlý přechodový děj bez překmitu a nulovou ustálenou odchylku poruchy.

### 8.4.5 Srovnání

V grafech jsou uvedeny názvy pouze přídavné regulace, tedy PI regulátorem je myšlena ekvitermní regulace s PI (PS) regulátorem. Na druhém grafu je demonstrována funkce inteligentního algoritmu, co se týče přechodové charakteristiky je totožná s ekvitermní regulací se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu, nicméně po ustálení přechodového děje se zapne sumační složka a odchylku dointegruje. Inteligentní algoritmus měl tedy ze všech nejlepší výsledky a proto jsem jej zvolil jako základní typ regulace, nicméně je možnost si pomocí vizualizace vybrat jakýkoliv z výše uvedených čtyř typů.



Obr. 8.14: Přechodová charakteristika teploty v místnosti při správně nastavené ekvitermní křivce



Obr. 8.15: Přechodová charakteristika teploty v místnosti při špatně nastavené ekvitermní křivce

Regulace	K	Ti	Překmit	Doba ustálení	Ustálená odchylka
Ekvitermní	-	-	0%	40min	ano
P	6	-	0.3%	13min	ano
PI	6	25	0%	114min	ne
Inteligentní alg.	6	5	0.3%	13min	ne

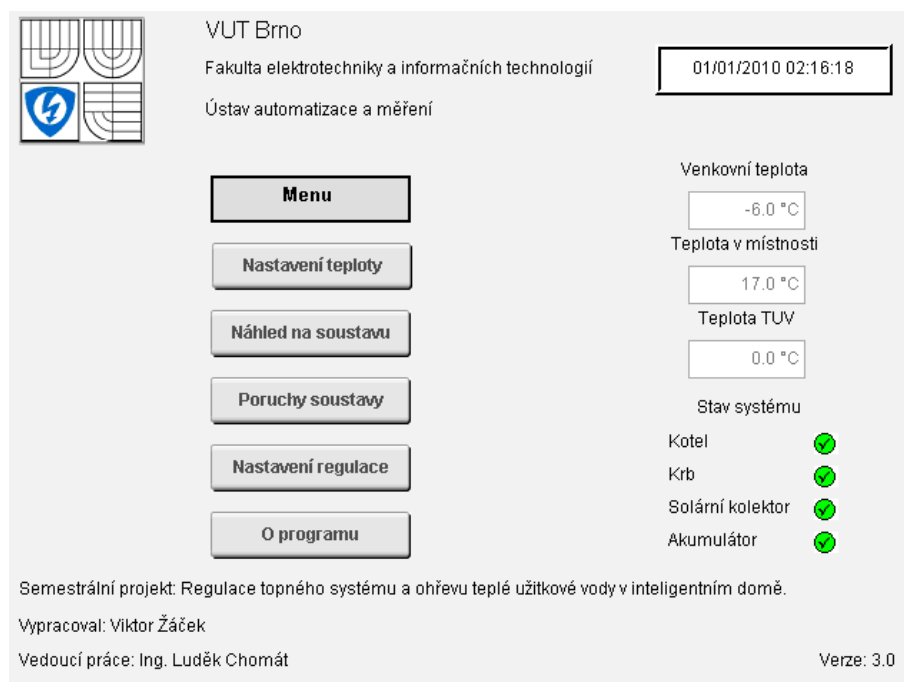
Tab. 8.6: Srovnání regulátorů teploty v místnosti

## 9 VIZUALIZACE

Vizualizace spadá do třetí vrstvy řízení procesu, umožňuje uživateli nastavovat požadované výsledky procesu a sledovat aktuální stav soustavy. Vizualizace je vytvořena pomocí B&R Vizual Components. Vizualizace byla vytvořena s ohledem na přehlednost a srozumitelnost, ale zároveň se snahou obsáhnout všechny potřebné prvky. Celá vizualizace se sestává z celkem 16-ti samostatných stránek, záhlaví je společné pro všechny stránky. V následujících podkapitolách jsou lehce popsány hlavní části vizualizace.

### 9.1 Hlavní menu

Základní stránka vizualizace. Jsou zde zobrazeny základní tři teploty a havarijní stavy soustavy. K dalším stránkám se dostaneme pomocí tlačítek.



VUT Brno  
Fakulta elektrotechniky a informačních technologií  
Ústav automatizace a měření

01/01/2010 02:16:18

Menu

Nastavení teploty

Náhled na soustavu

Poruchy soustavy

Nastavení regulace

O programu

Venkovní teplota  
-6.0 °C

Teplota v místnosti  
17.0 °C

Teplota TUV  
0.0 °C

Stav systému

Kotel

Krb

Solární kolektor

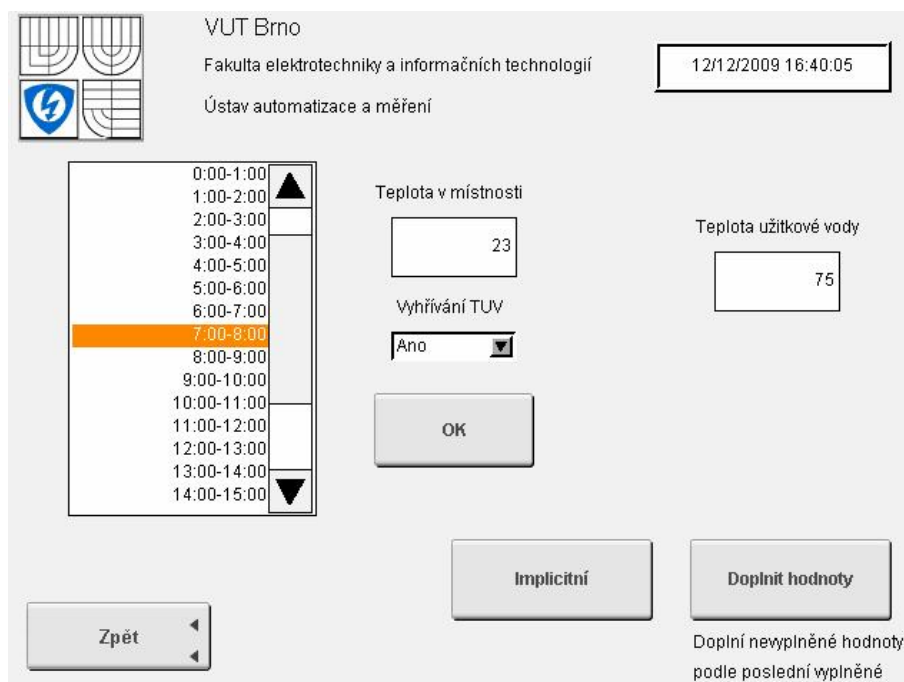
Akumulátor

Semestrální projekt: Regulace topného systému a ohřevu teplé užitkové vody v inteligentním domě.  
Vypracoval: Viktor Žáček  
Vedoucí práce: Ing. Luděk Chomát  
Verze: 3.0

Obr. 9.1: Hlavní menu

## 9.2 Nastavení teploty

Posuvný listbox vlevo umožňuje vybrat hodnotu pro kterou chceme nastavit teplotu v místnosti a zapnout nebo vypnout ohřívání TUV. Tlačítkem OK se požadované hodnoty uloží k vybrané hodině. Vpravo je pak nastavitelná teplota TUV, ta není nastavitelná pro každou hodinu zvlášť. Tlačítko Implicitní obnoví původní nastavení. Tlačítko Doplnit hodnoty doplní uživatelem nenastavené hodnoty na hodnoty uložené pro nejbližší hodinu. Pokud by jsme například nastavili na 6:00 požadovanou teplotu v místnosti na 20 °C, a v 18:00 na 18 °C, pak bude požadovaná teplota v místnosti vypadat 6:00-18:00 20°C a 18:00-6:00 18°C.



VUT Brno  
Fakulta elektrotechniky a informačních technologií  
Ústav automatizace a měření

12/12/2009 16:40:05

0:00-1:00 ▲  
1:00-2:00  
2:00-3:00  
3:00-4:00  
4:00-5:00  
5:00-6:00  
6:00-7:00  
7:00-8:00  
8:00-9:00  
9:00-10:00  
10:00-11:00  
11:00-12:00  
12:00-13:00  
13:00-14:00  
14:00-15:00 ▼

Teplota v místnosti  
23

Teplota užitkové vody  
75

Vyhřívání TUV  
Áno ▼

OK

Implicitní

Doplnit hodnoty

Doplní newyplněné hodnoty podle poslední vyplněné

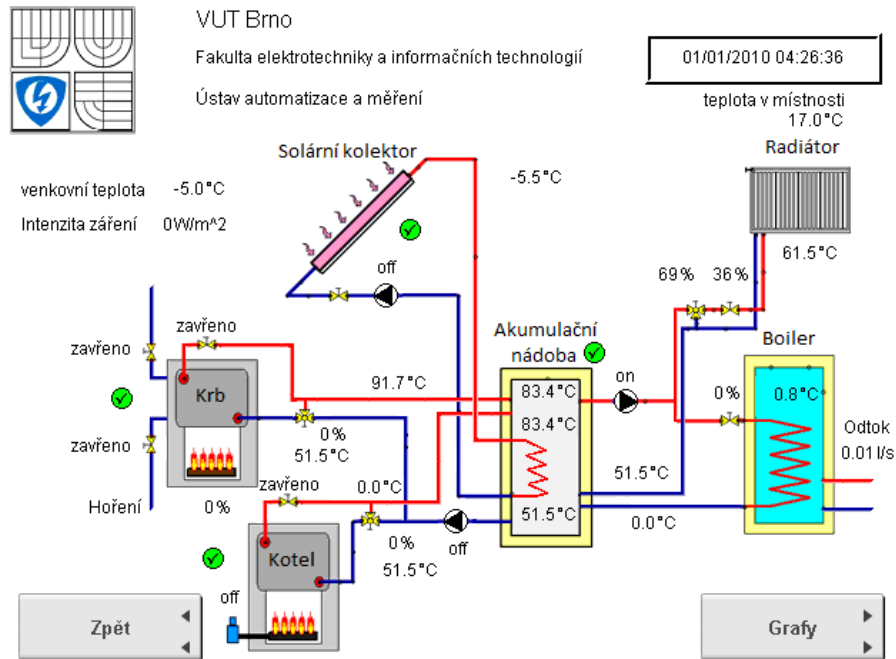
Zpět ◀

Obr. 9.2: Nastavení teploty

## 9.3 Náhled na soustavu, Grafy

Slouží k náhledu na soustavu, zobrazuje všechny dílčí teploty, a taktéž zobrazuje stav jednotlivých ventilů. Tlačítkem zpět se dostaneme do menu, tlačítkem Grafy se dostaneme na stránku Grafy.

Na stránce Grafy najdeme tři grafy, závislost teploty v místnosti na čase, závislost teploty TUV na čase a závislost teploty v akumulční nádobě na čase. Mezi nimi můžeme libovolně přepínat, tlačítkem zpět se dostaneme zpět na náhled soustavy.



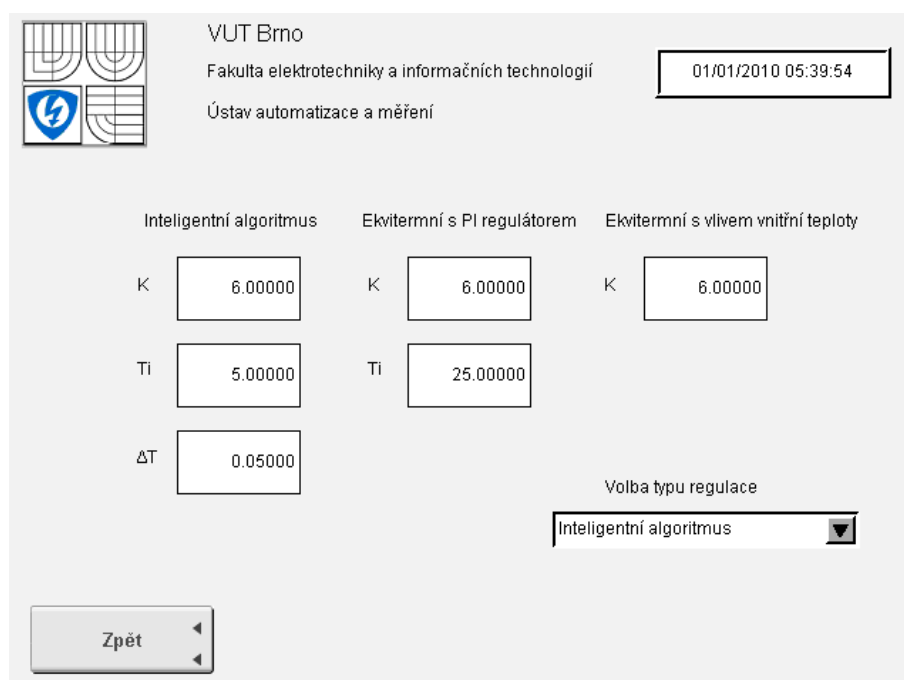
Obr. 9.3: Náhled na soustavu



## 9.4 Nastavení regulace

Zobrazí menu, ze kterého je možnost výběru všech regulátorů obsažených v soustavě, a následně upravit jejich koeficienty. Taktéž je možno upravit nastavení ekvitermní křivky, či nastavit čas. Tlačítkem zpět se dostaneme zpět do hlavního menu. Položky menu:

- **Kotel:** Nastavení regulátoru kotlového trojcestného ventilu, viz. kapitola 8.2.1.
- **Krb:** Nastavení regulátoru krbového trojcestného ventilu, viz. kapitola 8.2.2.
- **Topení:** Nastavení regulátorů průtoku a teploty v radiátoru viz. kapitola 8.2.3.
- **Boiler:** Nastavení regulátoru průtoku boilerem, viz. kapitola 8.2.4, a nastavení hystereze teploty TUV.
- **Místnost:** Výběr a nastavení regulátoru teploty v místnosti, viz. kapitola 8.4.
- **Ekvitermní křivka:** Nastavení koeficientů ekvitermní křivky.
- **Nastavení času:** Nastavení času a datumu.



VUT Brno  
Fakulta elektrotechniky a informačních technologií  
Ústav automatizace a měření

01/01/2010 05:39:54

Intelligentní algoritmus	Ekvitermní s PI regulátorem	Ekvitermní s vlivem vnitřní teploty
K: 6.00000	K: 6.00000	K: 6.00000
Ti: 5.00000	Ti: 25.00000	
ΔT: 0.05000		

Volba typu regulace: Intelligentní algoritmus

Zpět

Obr. 9.4: Nastavení regulace místnosti

## 10 SIMULACE JEDNOHO DNE

V této kapitole je vyhodnocena simulace jednoho dne. Je zde demonstrována funkčnost řídicího algoritmu a zhodnocena užitečnost použití krbové vložky a solárních kolektorů.

Průměrná venkovní teplota byla  $-0.125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Úhrn slunečního záření v tomto dni byl  $5.3\text{ kWh/m}^2$ . Celková energie pohlcená slunečními kolektory byla 26.5 kWh. Celková energie pohlcená krbovým výměníkem byla 20.5 kWh. Kotel běžel 222min což odpovídá dodanému výkonu 74kWh. Celkový příkon dodaný do soustavy tedy byl 121 kWh. Z boileru jsme odebrali celkem 360 litrů o teplotě zhruba  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což se rovná odběru 18.8 kWh.

Nicméně zatímco na začátku dne byla soustava vychladlá, po tomto dni v ní zůstalo naakumulované velké množství tepla, zejména v akumulární nádobě a v boileru. V boileru to činí 13 kWh, v akumulární nádobě 45.9 kWh. Z toho je tedy patrné že při stejných podmínkách by byl potřebný příkon o 58.9 kWh menší, skoro tedy o polovinu.

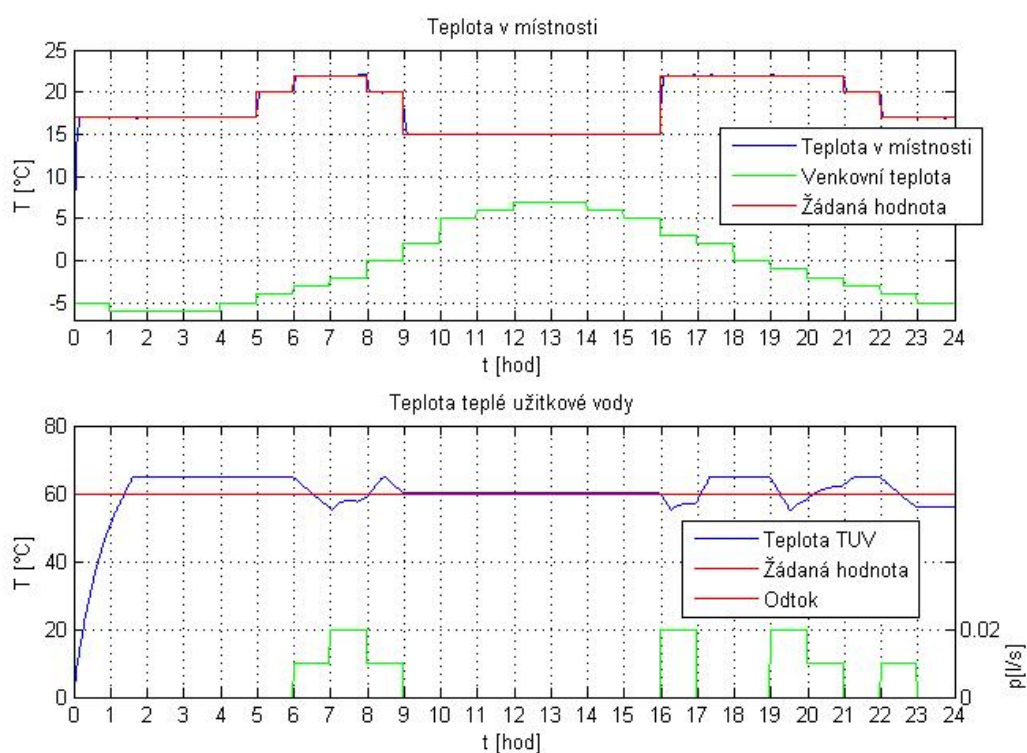
Při srovnání dodaného tepla a tepla odebraného z boileru můžeme zhruba určit ztráty místnosti, které činí asi 43.3 kWh.

	První den		následující dny	
Zdroj	Výkon	Podíl na výtopu	Výkon	Podíl na výtopu
Sluneční kolektor	26.5kWh	21.9%	26.5kWh	42.7%
Krb	20.5 kWh	16.9%	20.5kWh	33%
Kotel	74kWh	61.2%	11.9 kWh	19.2 %

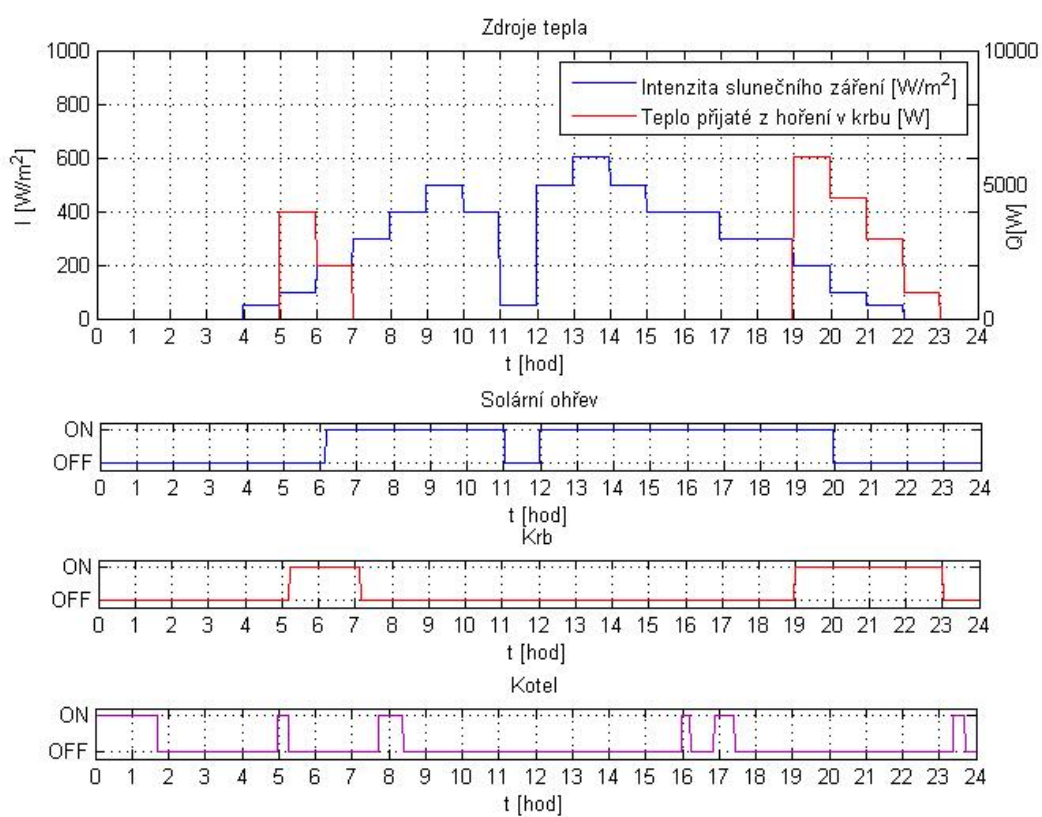
Tab. 10.1: Srovnání podílu zdrojů tepla na výtopu

Z tabulky je zřejmé že zatímco při prvním dni byl hlavním zdrojem tepla kotel, v nadcházejících dnech by tomu bylo přesně naopak. Je potřeba si však uvědomit, že modelovaný den byl velmi slunečný a dvakrát se zatápělo v krbu. Dalším významným faktorem je to že objekt má velmi malé tepelné ztráty, je to dané jednak volenými materiály a izolací, a jednak jeho rozměry. Naopak odběr TUV je normovaný na 50 l/osoba/den, v modelovaném dni byl tedy poměrně velký.

Následují grafy se závislostmi z modelovaného dne.



Obr. 10.1: Modelovaný den, část 1



Obr. 10.2: Modelovaný den, část 2

## 11 VÝSLEDKY STUDENTSKÉ PRÁCE

### 11.1 Matematický model

Matematicky jsem popsal topný systém skládající se z kotle, krbové vložky, solárního kolektoru, ohřívače TUV, akumulární nádoby, radiátoru a vyhřívané místnosti. Podrobně je způsob návrhu popsán v 6.

#### 11.1.1 Místnost

Rovnice pro ztráty místnosti:

$$Q_v = 0,28.60(t_{mis} - t_{venk}) \quad (11.1)$$

Rovnice pro teplo dodané radiátorem:

$$Q_d = 5,32.1,8\left(\frac{t_r + t_z}{2}\right) - t_{mis} \quad (11.2)$$

změna teploty v místnosti:

$$\Delta T = \frac{Q_d - Q_v}{12500} \quad (11.3)$$

teplota výstupní vody z radiátoru:

$$t_z = t_r - \frac{Q_d}{p.4186} \quad (11.4)$$

#### 11.1.2 Boiler

Rovnice pro dodané teplo:

$$Q_d = 325.1,94\left(\frac{t_r + t_z}{2}\right) - t_{tuv} \quad (11.5)$$

Rovnice ochlazení primární teplotonosné látky:

$$t_z = t_r - \frac{Q_{vstup}}{p.4186} \quad (11.6)$$

Rovnice spotřeby tepla:

$$Q_v = (t_{tuv} - 10).4186.p \quad (11.7)$$

Rovnice změny teploty v akumulární nádobě:

$$\Delta T = \frac{Q_{vstup} - Q_{vyst}}{203.4186} \quad (11.8)$$

### 11.1.3 Kotel

Rovnice ohřátí teplotnosné látky:

$$\Delta T = \frac{Q_d}{p \cdot 4186} \quad (11.9)$$

Rovnice pro teplotu výstupní vody:

$$t_z = t_r + \Delta T \quad (11.10)$$

### 11.1.4 Solární kolektor

Rovnice pro vstupující teplo:

$$Q_d = 5.1 \cdot 0,95 \quad (11.11)$$

Rovnice ztrátového tepla:

$$Q_z = 5.1 \cdot 42 \cdot (t_s - t_v) \quad (11.12)$$

Rovnice odebraného tepla:

$$Q_o = p \cdot (t_z - t_d) \cdot 4186 \quad (11.13)$$

Rovnice změny teploty v solárním kolektoru:

$$\Delta T = \frac{Q_d - Q_o - Q_z}{10 \cdot 2 \cdot 4186} \quad (11.14)$$

Rovnice pro teplotu výstupní vody:

$$t_s = t_s^{-1} + \Delta T \quad (11.15)$$

### 11.1.5 Krb

Rovnice odebraného tepla:

$$Q_o = p \cdot (t_z - t_r) \cdot 4186 \quad (11.16)$$

Rovnice změny teploty v křbové vložce:

$$\Delta T = \frac{Q_d - Q_o}{10 \cdot 4186} \quad (11.17)$$

Rovnice pro teplotu výstupní vody:

$$t_k = t_k^{-1} + \Delta T \quad (11.18)$$

### 11.1.6 Akumulační nádoba

Rovnice pro výpočet teplo dodané ze solární větve:

$$Q_s = 147.1,7 \left( \left( \frac{t_r + t_z}{2} \right) - t_3 \right) \quad (11.19)$$

Rovnice pro teplotu vratné vody z výměníku solární větve:

$$t_z = \frac{t_z + t_r}{2} - \frac{Q_s}{p \cdot 4186} \quad (11.20)$$

Rovnice teploty horní části akumulací nádoby:

$$t_1 = \frac{(t_{zk} \cdot p_k) + (t_{zkr} \cdot p_{kr})}{p_k + p_{kr}} \quad (11.21)$$

Rovnice pro úpravu teploty horní části akumulací nádoby při nerovnosti přítoků:

$$t_1 = \frac{t_1 \cdot (p_k + p_{kr}) - \Delta p \cdot t_2}{p_k + p_{kr} - \Delta p} \quad (11.22)$$

Rovnice teploty spodní části akumulací nádoby:

$$t_3 = \frac{(t_{zr} \cdot p_r) + (t_{zb} \cdot p_b)}{p_r + p_b} \quad (11.23)$$

Rovnice pro úpravu teploty spodní části akumulací nádoby při nerovnosti přítoků:

$$t_3 = \frac{(t_{zb} \cdot p_b) + (t_{zr} \cdot p_r) + (t_2 \cdot \Delta p)}{p_r + p_b + \Delta p} \quad (11.24)$$

Rovnice pro přijaté teplo akumulací nádobou:

$$Q_d = Q_s + ((p_k \cdot t_{zk} + p_{kr} \cdot t_{zkr} + t_{zr} \cdot p_r + t_{zb} \cdot p_b) \cdot 4186) \quad (11.25)$$

Rovnice pro odebrané teplo z akumulací nádoby:

$$Q_o = (p_k \cdot t_k + p_{kr} \cdot t_{kr} + t_r \cdot p_r + t_b \cdot p_b) \cdot 4186 \quad (11.26)$$

Rovnice pro změnu teploty střední části akumulací nádoby:

$$\Delta T_2 = \frac{Q_d - Q_o}{500 \cdot 4186} \quad (11.27)$$

Rovnice teploty střední části akumulací nádoby:

$$t_2 = t_2^{-1} + \Delta T_2 \quad (11.28)$$

## 11.2 Realizace modelu

Vytvořil jsem model v prostředí Matlab simulink a ověřil funkčnost matematického modelu. Následně jsem model zapsal jako funkční blok v softwaru B&R Automation Studiu. Podrobný popis viz kapitola 7.

## 11.3 Řídící algoritmus

Je popsán v kapitole 8. Řídící algoritmus obstarává kompletní řízení procesu. Navrhl jsem a nastavil jednotlivé regulátory a regulační algoritmy. Celkem jsem použil čtyři různé způsoby regulace místnosti. Jejich zhodnocení je uvedeno taktéž v této kapitole. Součástí řídicího algoritmu je také vizualizace která je popsána v kapitole 9.

## 11.4 Zhodnocení

Na závěr je provedena simulace jednoho dne a je zhodnocena užitečnost netradičních zdrojů energie, zastoupené krbovou vložkou a solárními kolektory. Rozbor simulace je proveden v kapitole 10.



## 12 ZÁVĚR

Navrhl jsem topnou soustavu s ohledem na maximální využitelnost netradičních zdrojů energie, zastoupené solárními kolektory a krbovou vložkou s výměníkem. Hlavním jádrem soustavy je akumulární nádoba která uchovává přebytečnou energii právě z těchto zdrojů tepla. Soustava je vybavena také nemedulárním kotlem. Spotřebiteli tepla jsou pak boiler pro ohřev TUV a vytápěná místnost. Pro ohřev TUV jsem zvolil akumulární ohřev. Soustavu jsem následně osadil snímači a akčními členy nutnými pro regulaci soustavy.

Tuto topnou soustavu jsem následně popsal pomocí matematických závislostí.

Tento matematický model jsem nejdříve nasimuloval pomocí prostředí Matlab simulink, a vněm si ověřil funkčnost matematického modelu. Dále jsem tento model přepsal do jazyka ANSI C a vytvořil z něj funkční blok v B&R Automation Studiu. Model v matlabu již plně nekoresponduje s modelem v B&R Automation Studiu jelikož na něm bylo provedeno mnoho dalších úprav a vylepšení.

Na model realizovaný funkčním blokem jsem vytvořil řídicí algoritmus v B&R Automation Studiu . Ten se skládá ze tří vrstev. První je vrstva nejnižší regulace. V té jsou jednoduché PS regulátory regulující jednotlivé dílčí veličiny. Přesněji teplotu vstupní vody do kotle, krbu a radiátoru, teplotu vratné vody z radiátoru a boileru. Druhá vrstva je vrstvou řízení procesu, v té je hlavní řídicí algoritmus který rozhoduje o tom které větve mají být aktivní a předává první vrstvě žádané hodnoty regulace. V této vrstvě jsou realizovány čtyři algoritmy regulace teploty v místnosti, ekvitermní, ekvitermní se zpětnou vazbou na teplotu v místnosti, ekvitermní s PS regulátorem a inteligentní algoritmus. Provedl jsem srovnání těchto algoritmů. Třetí vrstva komunikuje s uživatelem a umožňuje mu řídit proces jako celek, ta je tvořena vizualizací.

Výsledkem práce je pak simulace celého jednoho dne, na němž je demonstrována funkčnost řídicího algoritmu a vlastnosti navržené soustavy. Solární kolektory a krbová vložka se ukázaly jako velmi dobrý zdroj tepla a při příhodných podmínkách byli hlavními dodavateli tepla, zatímco kotel byl pouze doplňkový.

## LITERATURA

- [1] Solární kolektory Alter-eko. [online].  
URL <http://www.alter-eko.cz/>
- [2] technická zařízení budov. [online].  
URL <http://vytapeni.tzb-info.cz/>
- [3] Wikipedia. [online].  
URL <http://www.wikipedia.org/>
- [4] BAŠTA, J.: Možnosti moderních způsobů regulace. [online], 2007.  
URL <http://vytapeni.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4360>
- [5] CIKHART, J.: *Měření a regulace ve vytápění*. Praha : SNTL, 1984, ISBN 04-249-84.
- [6] KALINA, J.: Zapojení obnovitelných zdrojů energie do otopné soustavy a význam akumulární nádrže. [online], 2009.  
URL <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=5489>
- [7] LEBR, J.: *Ústřední vytápění*. Praha : SNTL, 1962, ISBN 04-745-62.
- [8] Pešek, L. J. a. k. a., B.: *Vytápění a teplá užitková voda, jejich regulace, měření a rozúčtování v bytových objektech*. Praha : ŠEL, 2002, ISBN 80-86426-07-6.
- [9] REINBERK, Z.: Ekvitermní křivky. [online], 2002.  
URL <http://vytapeni.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=50&h=38&obor=5>
- [10] REINBERK, Z.: Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci. [online], 2003.  
URL <http://vytapeni.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=68&h=38>

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

$TUV$	teplá užitková voda
$t_{e,min}$	minimální venkovní výpočtová teplota
$t_{w1,max}$	maximální teplota přívodu otopné vody
$t_{w2,max}$	maximální teplota zpátečky otopné vody
$n$	teplotní exponent soustavy
$t_m$	střední teplota teplonosné látky
$\Delta t$	Ochlazení teplonosné látky
$t_{i,w}$	žádaná teplota v prostoru
$t_{i,wk}$	korigovaná žádaná teplota v prostoru
$t_{i,x}$	aktuální teplota v prostoru
$K$	faktor vlivu prostorové teploty
$t_{k,w}$	žádaná teplota otopné vody
$t_{k,w,ekv}$	žádaná teplota otopné vody podle ekvitermního řízení
$t_{k,w,zat}$	žádaná teplota otopné vody podle zatěžovacího řízení
$Q$	teplo
$m$	hmotnost tělesa
$c$	měrná tepelná kapacita tělesa
$C$	tepelná kapacita
$Q_v$	odebrané teplo
$F$	styčná plocha
$\lambda$	tepelná vodivost látky
$s$	tloušťka stěny
$c$	součinitel sálání
$T$	teplota tělesa
$k$	součinitel prostupu tepla
$t_r$	teplota vstupní vody
$t_z$	teplota vratné vody

$\alpha'$	vnější součinitel prostupu tepla
$\alpha$	součinitel přestupu tepla
$\eta$	absorpční schopnost kolektorů
$t_{mis}$	teplota v místnosti
$Q_d$	teplo dodané
$Q_z$	ztrátové teplo
$Q_o$	odebrané teplo
$p$	průtok
$I$	intenzita záření
$C^\circ$	stupeň Celsia
$K$	Kelvin
$W$	Watt

## SEZNAM PŘÍLOH

<b>A Příloha: Vstupy a výstupy modelu</b>	<b>77</b>
<b>B Příloha: Kódy regulátorů</b>	<b>79</b>
<b>C Příloha: Elektronická příloha</b>	<b>80</b>

## A PŘÍLOHA: VSTUPY A VÝSTUPY MODELU

Název	Typ	Rozsah	Popis
t_venk	REAL	-	venkovní teplota
odtok	REAL	-	odběr TUV
zareni	REAL	-	Intenzita slunečního záření
ohen	REAL	-	Intenzita hoření v kotli
ventil_rad	REAL	0-100	ventil pro průtok radiátorem
ventil_mesovac	REAL	0-100	trojcestný ventil pro správnou teplotu vody v radiátoru
ventil_boiler	REAL	0-100	ventil pro průtok boilerem
ventil_kotel	BOOL	-	ventil pro otevření průtoku kotlem
ventil_krb	BOOL	-	ventil pro otevření průtoku krbem
ventil_horak	BOOL	-	ventil hořáku kotle
cas	REAL	-	časový krok (např 1 = jeden výpočet = 1s)
ventil_krbvrat	REAL	0-100	trojcestný ventil pro správnou teplotu vratné vody krbu
ventil_kotelvrat	REAL	0-100	trojcestný ventil pro správnou teplotu vratné vody kotle
ventil_krbbez	BOOL	-	bezpečnostní ventil v krbu
cerpadlo_panel	BOOL	-	čerpadlo solárního okruhu
cerpadlo_otopna	BOOL	-	čerpadlo otopné soustavy (radiátor a boiler)
cerpadlo_topna	BOOL	-	čerpadlo topné soustavy (kotel a krb)

Tab. A.1: Tabulka vstupů modelu

Název	Typ	Rozsah	Popis
t_mistnost	REAL	-	teplota v místnosti
t_rad	REAL	-	teplota vody vstupující do radiátoru
t_zrad	REAL	-	teplota vody vystupující z radiátoru
t_tuv	REAL	-	teplota TUV
t_zboiler	REAL	-	teplota vody vystupující z boileru
t_zkotel	REAL	-	teplota vody vystupující z kotle
t_zsolar	REAL	-	teplota vody vystupující ze solárního kolektoru
t_zkrb	REAL	-	teplota vody vystupující z krbu
t_tepla	REAL	-	teplota teplé vody (v akumulátoru)
t_studena	REAL	-	teplota studené vody (v akumulátoru)
t_aku	REAL	-	teplota vody v akumulátoru
t_kotel	REAL	-	teplota vody vstupující do kotle
t_krb	REAL	-	teplota vody vstupující do krbu

Tab. A.2: Tabulka výstupů modelu

## B PŘÍLOHA: KÓDY REGULÁTORŮ

### Příklad B.1: Kód PS regulátoru

```
e=w-y;  
u=K*e+suma;  
suma=suma+K*(Tvz/Ti)*e;  
if (suma>max) suma=max;  
if (suma<min) suma=min;  
if (u>max) u=max;  
if (u<min) u=min;
```

### Příklad B.2: Kód PS regulátoru s dynamickým omezením integrační složky

```
e=w-y;  
p=Ki*e;  
if (p>max) p=max;  
if (p<min) p=min;  
u1=p+sumaPI;  
sumaPI=sumaPI+Ki*(Tvz/Ti)*e-(tau*(u1-u));  
u=u1;  
if (sumaPI>max) sumaPI=max;  
if (sumaPI<min) sumaPI=min;  
if (u>max) u=max;  
if (u<min) u=min;
```



## C PŘÍLOHA: ELEKTRONICKÁ PŘÍLOHA

Elektronická příloha(CD) obsahuje:

- Projekt do B&R Automation Studia.
- Knihovnu s funkčním blokem obsahující model domu.
- Elektronickou verzi bakalářské práce.
- Modely v matlabu.
- Obrázky šablony na panelu s potenciometry ve formátu PSD a PNG.
- Popis panelu s potenciometry a popis propojení s PLC.
- Šablona s modelem a vizualizací pro studenty.
- Návod a zadání pro práci s šablonou pro studenty.