

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra kybernetiky

Bakalářská práce

Plzeň 2013

Ing. Veronika Vítková Dis.

Prohlášení :

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím odborné literatury a pramenu, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Plzni dne:

.....

Ing. Veronika Vítková Dis.

.....

Ráda bych poděkovala panu Prof. Ing. M. Schlegelovi, Csc za jeho čas, rady a velmi milý přístup v rámci přípravy a zpracování mé bakalářské práce.

Abstrakt :

Tato bakalářská práce se zabývá ohřevem vody v zásobníku teplé užitkové vody pro domácnost. Bylo vytvořeno několik modelů zásobníku vody, kde teplota horké vody je řízena pomocí dvoupolohové regulace, přívod elektrické energie je závislý na hromadném dálkovém ovládní a spotřeba horké vody se řídí reálným provozem domácnosti. Nejdříve je zadána pevně daná hodnota teploty pro ohřev horké vody a průběhy teploty a spotřeby energie v čase jsou odečteny z modelu vytvořeného v Matlabu – Simscape. V dalším modelu je uvažován algoritmus, kde systém zpracovává data (průběh teploty horké vody) v časovém úseku prvního týdne provozu. Po uplynutí prvního týdne provozu systém změní maximální teplotu horké vody tak, aby byla stále k dispozici horká voda o teplotě 40°C.

Klíčová slova :

Model zásobníku teplé užitkové vody, matematické modelování, fyzikální modelování, vedení tepla, dvoupolohová regulace, model spotřeby vody v domácnosti, hromadné dálkové ovládní, spotřeba energie na ohřev vody

Abstract :

This Bachelor's thesis deals with domestic hot water tanks. Several models are created (Matlab – Simscape) to simulate a temperature of heating water in a water tank. Inner temperature is controlled by a two – position controller using ripple control. Hot water consumption corresponds to the real situation in the household. In order to determine the temperature of hot water in the course of time is specified the maximum temperature for heating water. In another model is considered algorithm that processes data in the first week. If the temperature of hot water in the first week is less than 40 ° C, automatically sets the maximum heating temperature higher.

Key words :

Model hot water tank, mathematical modeling, physical modeling, heat conduction, position control, model household water consumption, ripple control, energy consumption for water heating

OBSAH

1. Úvod.....	5
2. Popis systému	6
2.1. Zásobníkový ohřívač vody.....	6
2.2. Hromadné dálkové ovládání	7
2.3. Spotřeba vody v domácnosti.....	8
3. Tepelné procesy v mechatronických soustavách	10
3.1. Základní vztah termodynamiky	10
3.2. První termodynamický zákon – zákon zachování energie.....	10
3.3. Sdílení tepla.....	12
3.3.1. Vedení tepla	12
3.3.2. Proudění tepla.....	13
3.3.3. Sálání tepla	13
4. Model ohřevu a spotřeby teplé vody s pevně danou hodnotou teploty horké vody v zásobníku	14
4.1. Zásobník vody.....	14
4.2. Regulační prvky	15
4.3. Odběr vody ze zásobníku.....	19
4.4. Spotřeba tepla a odběr tepla ze zásobníku	20
4.5. Matematický model.....	23
4.6. Výsledky	25
4.6.1 Zásobník s HDO, 125l, referenční teplota 55°C	25
4.6.2. Zásobník bez HDO, 125l, 55°C	29
4.6.3. Zásobník 160l, s HDO, 55°C	30
4.6.4. Zásobník 160l, s HDO, 65°C	31
4.6.5. Porovnání energetické náročnosti	32
5. Model ohřevu a spotřeby teplé vody s automaticky nastavitelnou hodnotou teploty horké vody v zásobníku	35
5.1. Model ohřevu vody v zásobníku 160l, s HDO, včetně algoritmu s automaticky měnitelnou referenční teplotou ohřevu po 1.týdnu provozu (55-65°C).....	35
5.2. Model ohřevu vody v zásobníku 160l, s HDO, včetně algoritmu s automaticky měnitelnou referenční teplotou ohřevu po 1.týdnu provozu (55-70°C).....	38
6. Závěr	40

1. Úvod

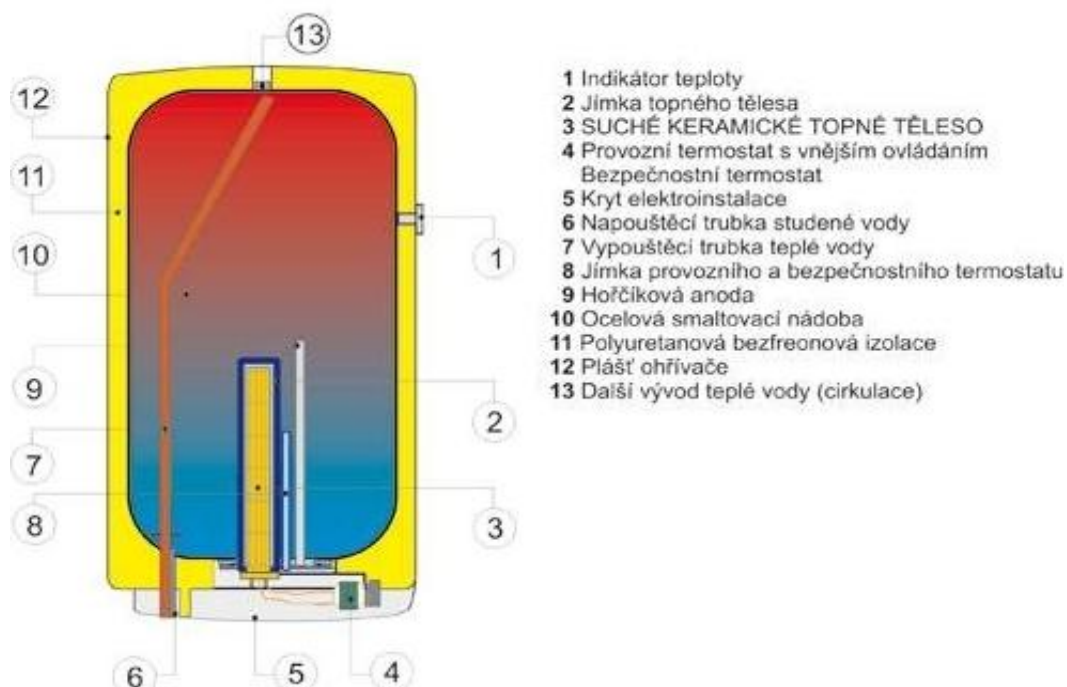
Teplá voda se stala v současné době téměř samozřejmostí. Při otočení vodovodním kohoutkem si většinou ani neuvědomíme, že ještě před pár desítkami let se teplá voda připravovala docela pracným způsobem. Kdy bylo třeba vodu ručně přinést od zdroje vody až ke kamnům, kde bylo možné ohřát pouze omezené množství vody. V současné době nám při každodenní spotřebě pomáhají technologie, které umožnily namáhavou fyzickou práci odstranit. Způsobů ohřevu teplé užitkové vody v domácnosti je více. Ve městech, kde je umístěna centrální výtopna je možné nainstalovat v domech výměňkovou stanici, která zajišťuje ohřev teplé užitkové vody i samotné vytápění budovy. Toto řešení nelze ovšem uplatnit tam, kde není k dispozici vedení horké vody ve veřejném řadu. Proto přichází na řadu zásobníkové ohřívače vody, které akumulují teplou vodu v zásobnících od okolního prostředí oddělených tepelnou izolací. Samotný ohřev je zajišťován buď horkou vodou vedenou z kotle na plynná či pevná paliva, nebo pomocí elektrické energie. Další možností je ohřev pomocí solárních panelů nebo kombinace elektroohřevu a výměníku zásobovaného horkou vodou z kotle.

Vzhledem k tomu, že cena energií stoupá, je nutné zabývat se úsporou teplé vody. V této práci se budu zabývat simulací ohřevu vody v zásobníku teplé užitkové vody a úsporou elektrické energie, která je zapotřebí pro ohřev vody v domácnosti pro 2-3 osoby. Úsporu lze dosáhnout pomocí návrhu vhodného objemu zásobníku a hodnoty teploty horké vody. Vzhledem k tomu, že elektrárenské společnosti nabízejí nižší cenové tarify elektrické energie v rámci hromadného dálkového ovládání, algoritmus ohřevu studené vody v zásobníku bude závislý na impulsu hromadného dálkového ovládání. Na závěr práce je poté vyhodnocení výsledků simulace.

2. Základní popis systému

2.1. Zásobníkový ohřivač vody

Zásobníkový ohřivač vody je systém jednoho zásobníku. V zásobníku je uložena teplá voda až do jeho odběru. Vzhledem k tomu, že zásobník je opatřen tepelnou izolací, chladnutí horké vody je velmi pozvolné. Proto je možné ohřát studenou vodu mimo čas, kdy je horká voda skutečně spotřebovávána. Způsobů ohřevu studené vody je několik. Buď je uvnitř zásobníku umístěn výměník horké vody, která je přiváděna ze samostatného kotle, nebo ohřev vody zajišťuje topné těleso.



obr. č. 1 : Zásobníkový ohřivač vody

Na obrázku č. 1 je umístěno topné těleso ve spodní části zásobníku, kde je také přívod studené vody. Ohřátá horká voda stoupá k horní části zásobníku, kde je také odebírána. Po odebrání části horké vody dojde k doplnění zásobníku studenou vodou stejného objemu ve spodní části zásobníku.

Dle výrobců současných zásobníkových ohřivačů je elektrický ohřev vody možno ovládat několika způsoby. Elektrický termostat umožňuje různé režimy provozu.

- V běžném režimu udržuje termostat teplotu vody v ohřivači na konstantní uživatelem nastavené hodnotě v rozmezí 5-65°C.
- V režimu hromadného dálkového ovládání termostat udržuje teplotu vody v rozmezí 5-65°C pouze, pokud je k dispozici elektrická energie.
- V ekologickém módu je možno kombinovat maximálně nastavitelnou teplotou, např. na 55°C s běžným režimem nebo s režimem hromadného dálkového ovládání.
- Dalším způsobem je aplikace algoritmu v ovládání ohřevu vody v zásobníku, který rozděluje provoz zásobníku na dvě fáze. V první fázi se během jednoho kalendářního týdne udržuje teplota vody na pevně dané hodnotě a řídicí elektronika sleduje spotřebu vody. Tyto informace jsou zaznamenávány a dále použity ve druhé fázi. V této druhé fázi počínaje dalším kalendářním týdnem, je upravena referenční teplota horké vody tak, aby spotřebitel měl k dispozici dostatek teplé vody. Jedná se u učící se systém.
- Učící se systém pracuje v režimu hromadného dálkového ovládání, který omezuje dodávku elektrické energie.
- Režim antifrost umožňuje udržování teploty na minimální hodnotě např. 5°C, která zabraňuje zamrznutí vody v zásobníku.

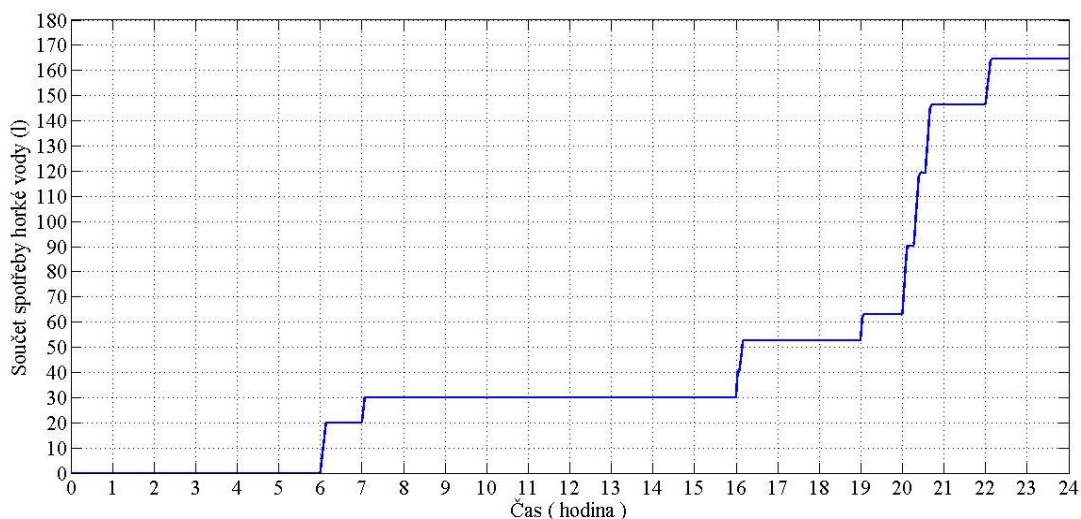
2.2. Hromadné dálkové ovládání HDO

Zkratka HDO značí pojem hromadné dálkové ovládání. Systém HDO používá pro přenos informace silová vedení energetické sítě. Impulsní kód je vysílán s frekvencí v řádu kilohertz z vysílače HDO a je přeměněn na základní frekvence energetické sítě v České republice na 50 Hz. Signál HDO je vysílán do každé fáze do distribuční sítě (22kV). Informace se šíří do všech částí distribuční sítě a přes transformátor se signál HDO dostává i do sítí nízkého napětí (400/230 V) až k místu odběru elektrické energie. Informaci HDO je možno rozlišit v libovolném místě energetické sítě. Po vyslání povelu do rozvodné soustavy dojde k zapnutí nebo k vypnutí všech spotřebičů, které jsou přes stykač připojeny k přijímači HDO, který reaguje na vyslanou frekvenci. Přijímač HDO je umístěn v elektroměrovém rozvaděči u odběratele a umožňuje zapínání spotřebičů (jističů) v časech vysokého tarifu (VT) a nízkého tarifu (NT, dříve nazývaného noční proud). Pomocí HDO lze uspořít množství spotřebované elektřiny,

protože elektrárenské společnosti poskytují nižší sazby za spotřebu elektřiny v době nízkého tarifu.

2.3. Spotřeba vody v domácnosti

Dle statistických údajů spotřebuje jedna osoba zhruba 108l vody za jeden den. Jedná se o studenou vodu, která z části je ohřívána. Pro přípravu teplé vody o teplotě 40°C, která vytéká ze směšovacích baterií, je třeba zhruba 1/3 objemu studené vody o teplotě 10°C a 2/3objemu horké vody o teplotě 55°C. V domácnosti se samozřejmě nespotřebovává jen teplá voda. Studená voda je potřeba např. pro splachování záchodů apod. Proto spotřeba horké vody 55°C ze zásobníku byla stanovena na cca 40-55 l/osobu/den.



obr. č. 2: Součtová křivka spotřeby horké vody v domácnosti

Na obrázku č.2 je uvedena součtová křivka spotřeby vody o teplotě 55°C ze zásobníku v rámci jednoho dne ve tří až čtyřčlenné domácnosti. Jak je patrné, nejvyšší spotřeba je ve večerních hodinách, kdy se obyvatelé domácnosti sprchují, myjí nádobí apod. Odběr horké vody v čase respektuje skutečný provoz domácnosti. Pro výše uvedené hodnoty byly použity údaje z následujících tabulek na obrázcích č.3.

Charakteristiky výtoku

Tab. 5.1

Parametr	Značka	Jednotka	Baterie pro			
			umyvadlo	dřez	sprchu	vanu
Teplota na výtoku	t_4	°C	40	55 – 80 ¹⁾	40	40
Průtok vody o teplotě t_4 na výtoku	U_v	dm ³ ·s ⁻¹	0,06	0,08	0,095	0,2
		m ³ ·h ⁻¹	0,21	0,30	0,34	0,20
Přítok vody s teplotou 55 °C do výtoku	U_o	dm ³ ·s ⁻¹	0,04	0,08	0,065	0,13
		m ³ ·h ⁻¹	0,14	0,30	0,23	0,47
Tepelný výkon přítoku teplé vody	q_v	kW	7,3	15,7 – 24,4	12,0	24,6

¹⁾ pouze pro sterilizaci nádobíPotřeba vody o teplotě $t_3 = 55$ °C¹⁾

Tab. 5.2

Činnost	Doba dodávky τ_d		Objem dávky V_d		Teplu v dávce E_2 (kWh)
	(s)	(h)	(l)	(m ³)	
Mytí osob • v umyvadle $U_o = 0,14$ m ³ ·h ⁻¹ mytí rukou mytí těla • ve sprše $U_o = 0,23$ m ³ ·h ⁻¹ • ve vaně $U_o = 0,47$ m ³ ·h ⁻¹ (délka vany 1600 mm)	50	0,014	2	0,002	0,10
	260	0,071	10	0,010	0,52
	400	0,110	25	0,025	1,32
	300	0,085	40	0,040	2,10
	610	0,170	80	0,080	4,20
Mytí nádobí • pouze výdej jídel • vaření + výdej	$U_o = 0,30$ m ³ ·h ⁻¹ $t_4 = 55$ až 80 °C na jedno jedlo		1	0,001	0,05
			2	0,002	0,10
Mytí podlahy + úklid	$U_o = 0,30$ m ³ ·h ⁻¹ $t_4 = 55$ °C na 100 m ²		20	0,020	1,05

¹⁾ Objem teplé vody o teplotě 40 °C připravený smíšením se studenou vodou je 1,5násobný.

Bilance potřeby tepla a teplé vody

Tab. 5.3

Druh objektu	Měrná jednotka	Činnost	Spotřeba V_{zp} (m ³ ·osoba ⁻¹)	Teplu E_{zp} (kWh·osoba ⁻¹)	Součinitel současnosti s
Stavby pro bydlení	1 osoba	umývání vaření, úklid	0,082	4,3	do 35 osob = 1,0 až 1000 osob = 0,2
Stavby pro dočasné ubytování internáty svobodárny hotely	1 osoba	sprchování	0,06	2,5	internát = 1,0
	1 osoba	umývání			svobodárna = 0,6
	1 osoba	koupání	0,1	3,5	hotel do 50 lůžek = 1,0 více než 50 lůžek = 0,8
	100 m ²	úklid	0,02	0,8	
Školy	1 žák	umývání	0,02	0,8	podle vybav. 0,2 – 1,0
	100 m ²	úklid	0,02	0,8	úklid = 1,0
Polikliniky	1 vyšetřený	umývání včetně personálu	0,02	0,7	1,0
Nemocnice	1 lůžko	umývání	ležící 0,02	0,7	1,0
	1 lůžko	umývání + sprcha	chodící 0,05	1,8	1,0
	1 lůžko	umývání včetně personálu	0,25	10	komplexní činnost ¹⁾ = 1,0
Domovy důchodců	1 lůžko	umývání včetně personálu	0,2	7	komplexní činnost = 1,0
Ozdravovny	1 lůžko	umývání včetně personálu	0,1	3,5	komplexní činnost = 1,0
Kojenecké ústavy	1 dítě	umývání včetně personálu	0,125	5	komplexní činnost = 1,0
Jesle, dětské domovy	1 dítě	umývání včetně personálu	0,07	2,5	komplexní činnost = 1,0
	100 m ²	úklid	0,02	0,8	1,2 – 1,5
Očistné lázně	1 osoba	2 × sprcha + vana	0,16	6,5	1,0
	100 m ²	úklid	0,02	0,8	1,2
Vaření a mytí nádobí • jen výdej	1 jídlo	mytí jídelního nádobí	0,001 – 80 °C	0,1	bez myčky nádobí = 1,0 s myčkou nádobí = 0,5
	• příprava a výdej (malý sortiment jídel)	1 jídlo	mytí varného a jídelního nádobí	0,0015 – 80 °C	0,15
			0,002 – 80 °C	0,2	s myčkou nádobí = 0,8
• restaurační provoz	100 m ²	úklid		0,8	1,0
Sociální zařízení	1 os./směna	umývání	0,02	0,8	1,0
podniků a sportovních zařízení	1 os./směna	sprchování	0,04	1,4	1,0
	100 m ²	úklid	0,02	0,8	1,0

Poznámka: Součinitel prodloužení doby dodávky p_g pro čistý provoz 1; špinavý provoz 1,5; značně špinavý provoz 2.¹⁾ Pod pojmem komplexní činnost se rozumí umývání osob, umývání nádobí a úklid.

Obr.č.3: Tabulky spotřeby vody

3. Tepelné procesy v mechatronických soustavách

3.1. Základní vztah termodynamiky

Při modelování tepelných procesů vycházíme ze zákonů termomechaniky, která se zabývá změnou vlastností látek přívodem nebo odvodem tepla, přeměnou tepelné energie v jiné druhy energií a sdílením tepla. Teplo Q je zvláštním druhem energie. Množství tepla přivedeného nebo odvedeného látky o hmotnosti m a měrném teple c při rozdílu teplot Δt je určen vztahem:

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

veličiny :

Q	teplo	[J, m ² kg/s ² , Ws]
m	hmotnost tělesa	[kg]
c	měrná tepelná kapacita	[J/kgK]
ΔT	rozdíl teplot	[K]

Měrné teplo c je množství tepla, které je nutné přivést látky o hmotnosti 1kg, aby se ohřála o 1°C. Vzhledem k tomu, že u většiny látek měrné teplo roste se stoupající teplotou, v technických výpočtech se proto užívá střední měrné teplo.

3.2. První termodynamický zákon – zákon zachování energie

První termodynamický zákon je platný pro uzavřenou soustavu, kde nedochází k výměně hmotnosti s okolím. Zavedeme-li pojem kontrolní objem, tedy oblast prostoru ohraničenou kontrolním povrchem, jímž může procházet látka i energie. V každém časovém okamžiku musí být rovnováha mezi toky energie. Rovnice bilance toků energie lze napsat v následujícím tvaru:

$$\dot{Q}_{in} + \dot{Q}_g - \dot{Q}_{out} = \dot{Q}_{ak} = \frac{dQ}{dt}$$

veličiny :

$\dot{Q}_{in}, \dot{Q}_{out}$	tepelný tok vstupující a vystupující z kontr. objemu	[J/s, W]
-------------------------------	--	-----------

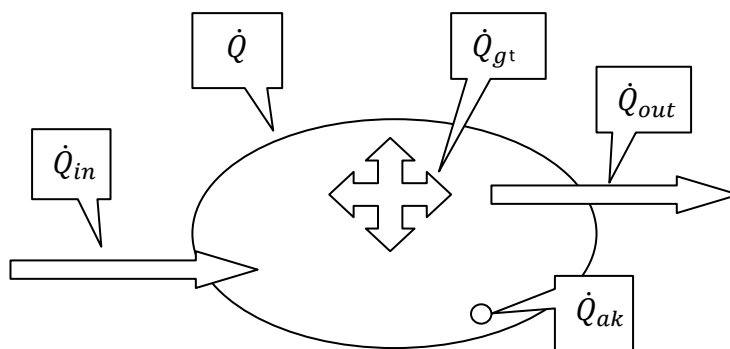
\dot{Q}_g	generovaný tepelný tok	[J/s, W]
\dot{Q}_{ak}	akumulované teplo	[J/s, W]

Pokud je nutné znát množství tepla přeneseného za určitý čas určitou plochou, je zaveden pojem plošná hustota :

$$\mathbf{q} = \frac{dQ}{S * dt} = \frac{\dot{Q}}{S}$$

veličiny :

Q	teplo	[J]
q	plošná hustota tepelného toku	[J/S m2 = W/m2]
S	plocha	[m2]



obr. č. 4 : Zákon zachování energie v kontrolním objemu

Toky \dot{Q}_{in} a \dot{Q}_{out} představují toky energie vstupující a vystupující z kontrolního objemu. \dot{Q}_g představuje rychlost, s jakou dochází k přeměně nějaké energie v energii tepelnou v daném kontrolním objemu. \dot{Q}_{ak} představuje akumulaci energie v daném kontrolním objemu, ve kterém teplota stoupá, nebo naopak klesá. V ustáleném stavu je akumulovaná energie vždy nulová.

3.3. Sdílení tepla

K základním typům sdílení tepla patří :

- Kondukce – vedení
- Konvekce – proudění
- Sálání – radiace

3.3.1. Vedení tepla

Vedení tepla je popsáno Fourierovo zákonem. Tepelný tok je přímo úměrný velikosti teplotního gradientu a má opačné znaménko než tento gradient.

$$\mathbf{q} = -\lambda * \frac{dT}{dx}$$

veličiny :

q	plošná hustota tepelného toku	[J/S m ² = W/m ²]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[W/mK]
$\frac{dT}{dx}$	teplotní spád (gradient teploty)	[K/m]

Součinitel tepelné vodivosti látky je veličina, která udává schopnost látky vést teplo. Jedná se o teplo, které projde látkou z jednoho povrchu na druhý při teplotním spádu 1K/m. V rámci zjednodušení budeme předpokládat pouze stacionární vedení tepla v jednom směru. Hustota tepelného toku ustáleného vedení tepla je rovna:

$$\mathbf{q} = \lambda * \frac{T1 - T2}{d}$$

Výsledný tepelný tok vedení tepla :

$$\dot{Q} = \lambda * \frac{T1 - T2}{d} * S$$

$\dot{Q}S$	tepelný tok , plocha	[J/s = W, m ²]
T1, T2	teplota na vnitřním a na vnějším povrchu	[K]
d	tloušťka prostředí, kde prochází teplo	[m]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[W/mK]

Pokud se jedná o stěnu, která je složena z více materiálů (v tomto případě ze dvou vrstev) o rozdílných fyzikálních vlastnostech, je možné vztah upravit :

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2}} * S$$

3.3.2. Proudění tepla

Při konvekci přirozené je pohyb tekutiny vyvolán vztlakem v důsledku změny hustoty tekutiny při jejím ohřevu. V případě nucené konvekce je pohyb tekutiny vyvolán vnějším tlakovým rozdílem. Pro proudění platí Newtonův zákon:

$$\dot{Q} = \alpha * S * (T_2 - T_1)$$

\dot{Q}, S	tepelný tok, plocha	[J/s = W, m ²]
T_1, T_2	teplota na vnitřním a na vnějším povrchu	[K]
α	součinitel přestupu tepla	[W/m ² K]

3.3.3. Sálání tepla

V této práci je přenos tepla pomocí radiace a konvekce zanedbáván, přesto zde uvádím základní vztah. Jedná se o proces, kdy látka vyzařuje do svého okolí energii ve formě elektromagnetického vlnění. Sálání tepla je popsáno pomocí Stefan-Bolzmannova zákona. Tento zákon lze přepsat do tvaru pro tepelný tok :

$$\dot{Q} = \varepsilon * \sigma * S * T^4$$

\dot{Q}	tepelný tok	[J/s = W]
S	plocha	[m ²]
σ	Stefan-Bolzmannova konstanta	[W/m ² K ⁴]
ε	emisivita předmětu	[-]

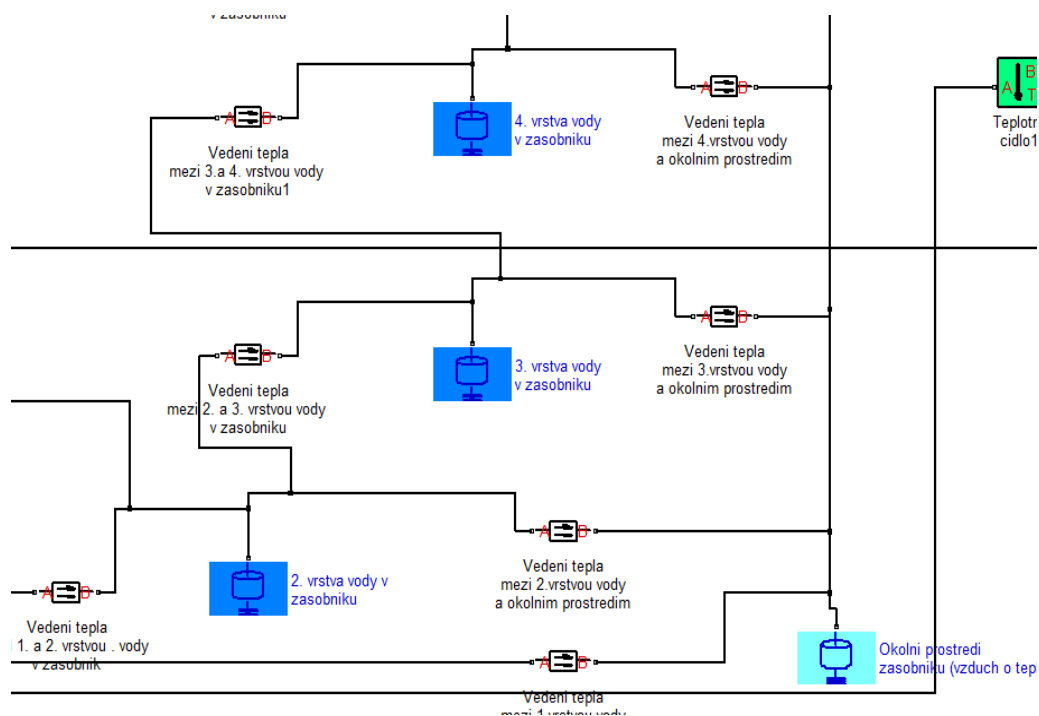
4. Model ohřevu a spotřeby teplé vody s pevně danou hodnotou teploty horké vody v zásobníku

4.1. Zásobník vody

Fyzikální parametry		Fyzikální parametry	
Tl. tepelné izolace	55 mm	Objem zásobníku	125 l
Součinitel tep. vodivosti izolace	0,035 W/mK	Vnitřní plocha zásobníku	1,52 m ²
Součinitel tep. vodivosti vody	0,6 W/mK	Počáteční teplota studené vody	10 °C
Součinitel tep. vodivosti železa	80,2 W/mK	Počáteční teplota topného tělesa	10 °C
Měrná tep. kapacita železa	450 J/kgK	Hmotnost topného tělesa	2 kg
Měrná tep. kapacita vody	4 180 J/kgK	Počáteční teplota okol. vzduchu	15 °C
Měrná tep. kapacitu vzduchu	1003 J/kgK	Referenční teplota horké vody	55 °C

V této části bude využit předešlý teoretický základ. Nejdříve je nutné vytvořit model zásobníkového ohříváče vody. Samotný zásobník byl rozdělen na 5 částí – vrstev vody o objemu 25l. Základní teplota vody je 10°C a její měrná tepelná kapacita je rovna 4180 J/kgK. Aby bylo možné simulovat průběh teplot v zásobníku, bylo nutné tyto vrstvy vody propojit jak mezi sebou, tak i s okolním prostředím. Jednotlivé vrstvy vody jsou tedy navzájem propojeny pomocí bloků, které reprezentují vedení tepla mezi vrstvami vody. Další bloky umožňují vedení tepla mezi vnitřkem zásobníku a okolním vzduchem o teplotě 15°C. V tomto modelu je tedy uvažováno pouze vedení tepla, proudění a sálání tepla je zde zanedbáno. V rámci vedení tepla tepelnou izolací vnějšího pláště zásobníku byly zadány hodnoty 0,055m tl. tepelné izolace a součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$.

Vzhledem k zanedbání proudění tepla, bylo nutné v blocích propojujících vrstvy vody navzájem, volit hodnoty tepelné vodivosti a tloušťky pomyslné izolační vrstvy tak, aby teplo bylo předáváno z nižší vrstvy do vyšší velmi rychle, přesto s určitým zpožděním ve srovnání s rychlostí ohřevu kovovou spirálou v 1. a ve 2. vrstvě vody. Teplo ze dvou nejnižších vrstev vody je tedy postupně předáváno do 3. vrstvy, poté do 4. vrstvy vody a následně do poslední 5. vrstvy vody. Dochází zde tedy k mírnému zpoždění ohřevu vody ve vyšších vrstvách, čímž je simulováno skutečné proudění horké vody směrem vzhůru – viz obr. č. 5.



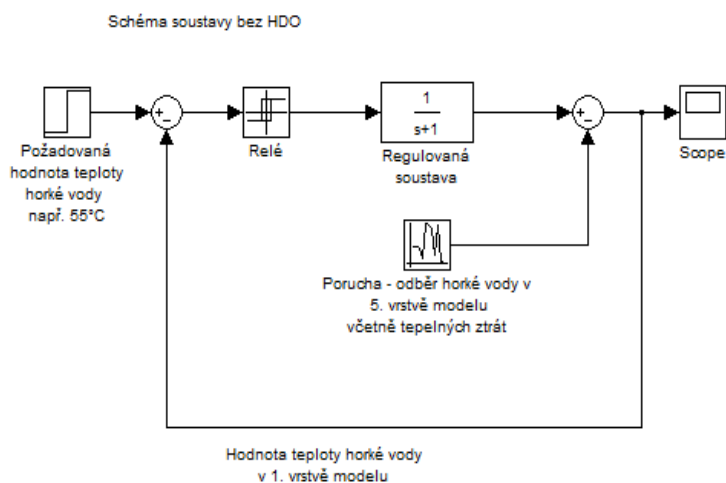
Obr. č. 5. : Část modelu s bloky, které reprezentují vrstvy vody, okolní prostředí a vedení tepla.

4.2. Regulační prvky

Technické parametry	
Regulace	Dvoustavová (zapnuto/vypnuto)
Regulační systém	uzavřený
Regulátor	Teplotní čidlo, relé s hysterezí
HDO	ano
Velikost hystereze	1 °C
Příkon topné spirály	2 000 W

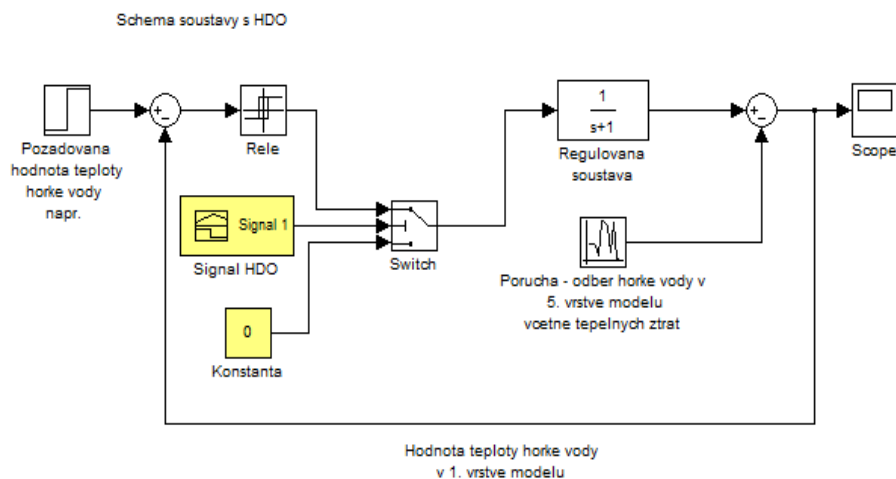
Regulátor je zařízení, které provádí regulaci prostřednictvím akční veličiny působící na regulovanou soustavu tak, aby se regulovaná veličina udržovala na předepsané hodnotě. Regulační odchylka by měla být nulová nebo co nejmenší. Podle obr. č. 6 se regulační obvod modelu ohřevu vody v zásobníku skládá z regulované soustavy a regulátoru. Vlivem poruchy dojde ke změně regulované veličiny. Odběr horké vody v 5.vrstvě vody modelu včetně tepelných ztrát vlivem rozdílných teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím zásobníku způsobuje pokles teploty horké vody z dané hodnoty např. 55°C na hodnoty nižší. Není-li tedy regulační odchylka nulová, vznikl rozdíl mezi

požadovanou hodnotou teploty horké vody a skutečnou teplotou v 5.vrstvě vody modelu.



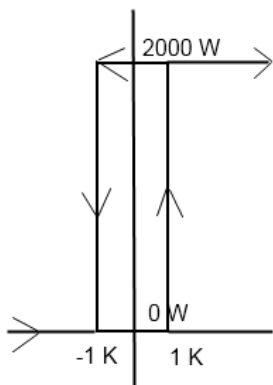
Obr. č.6: Zjednodušené schéma regulačního obvodu systému bez HDO

Na obrázku č. 6 je regulace na konstantní teplotu, při níž je teplota ohřevu vody daná konstantní hodnotou např. 55°C. Pokud by nepůsobila porucha, nebylo by tedy nutné soustavu regulovat. Na obrázku č. 7 je navíc uvažován systém HDO.



Obr. č.7: Zjednodušené schéma regulačního obvodu systému s HDO

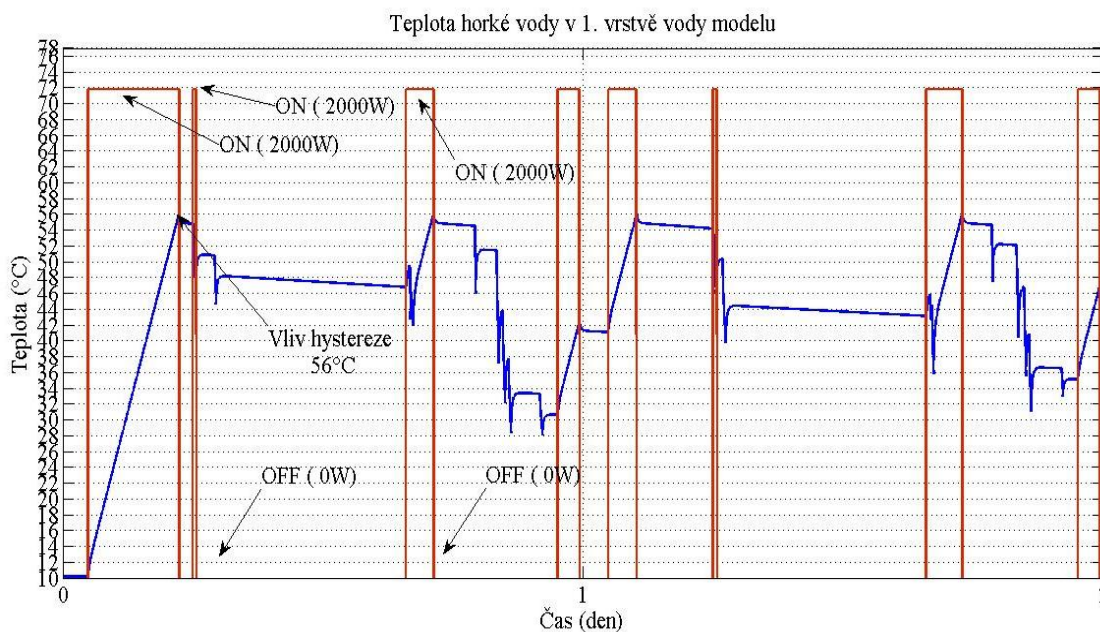
Na obrázku č. 7 je taktéž regulace na konstantní teplotu, při níž je teplota ohřevu opět konstantní. Signál řízení je ale závislý nejenom na regulační odchylce, ale i na signálu HDO. V tomto případě, pokud není k dispozici elektrická energie, nebo regulační odchylka je nulová, není možné či nutné soustavu regulovat.



Výše uvedené regulační obvody jsou nelineární, protože relé patří mezi prvky s nelineární statickou charakteristikou. Z hlediska matematického je nelineární charakteristika taková, kterou nelze popsat v celém rozsahu změn vstupních veličin pomocí jedné přímky. Statická charakteristika relé v modelu zásobníku byla zvolena ve tvaru typické nelinearity s hysterezí. Viz obrázek č. 8.

Obr. č. 8: Hysterezní smyčka relé v regulačním obvodu

V modelech je použita tzv. dvoustavová regulace. Měřená hodnota (teplota horké vody v 1.vrstvě vody modelu) kmitá kolem žádané hodnoty (např. 55°C). Není tedy možné dosáhnout nulové regulační odchylky, lze pouze měnit její velikost šířkou hystereze relé. Čím je ale smyčka hystereze užší, tím se projeví častější spínání výkonových členů, což vede k rychlejšímu opotřebování.

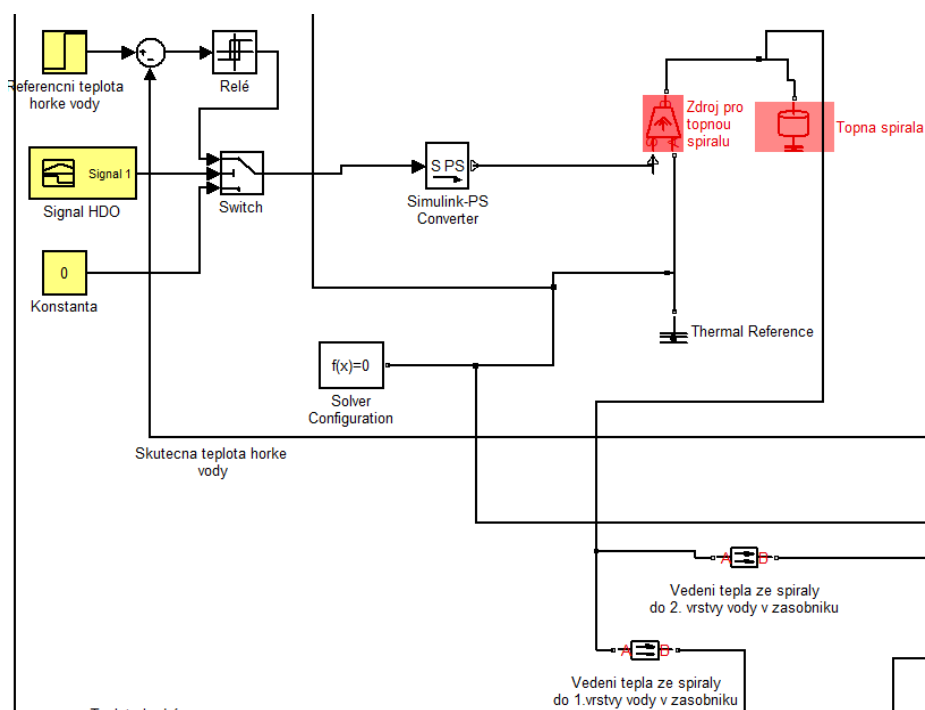


Obr. č. 9: Teplota horké vody v 1.vrstvě vody modelu včetně signálu výstupu s HDO viz obr. č. 7

Na obrázku č. 9 je uveden graf teploty vody (modrá barva) v 1.vrstvě vody modelu, kde je umístěno čidlo teploměru. Červenou barvou je znázorněn stav regulačního

výstupu. Signál regulačního výstupu nabývá nulové hodnoty, pokud teplota vody dosáhne $55+1^{\circ}\text{C}=56^{\circ}\text{C}$.

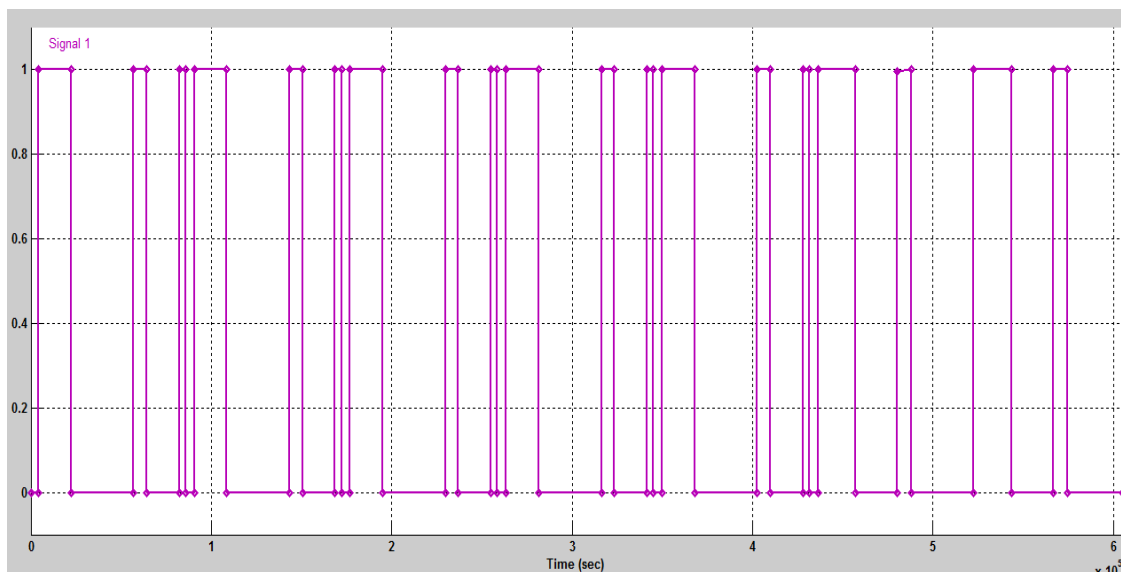
Kovová spirála je zde nahrazena hmotou o měrné tepelné kapacitě 450 J/kgK , 2 kg hmotnosti a inicializační teplotou 10°C . Teplo dodávané spirálou do spodní části zásobníku ohřívá přímo 1. a 2. vrstvu vody. Referenční teplota horké vody je nastavena na 55°C . Čidlo teploty je ve spodní části zásobníku z důvodu bezpečnosti provozu. Pokud by byla umístěno ve vyšších vrstvách zásobníku, mohlo by docházet k přehřátí spodní vrstvy vody. Viz obr. č.10.



Obr. č. 10: Část modelu - regulace ohřevu vody v zásobníku

Dalším prvkem uzavřené regulační smyčky je signál HDO. Pokud je hodnota signálu vyšší jak 0, v případě regulační odchylky relé sepne topnou spirálu pro ohřev vody ve spodní části zásobníku. Pokud ovšem signál HDO nabývá nulových hodnot, i v případě záporné regulační odchylky není možno zapnout ohřev vody, protože v tento časový úsek není k dispozici elektrická energie. Na obr. č. 11. je zobrazen signál HDO, který odpovídá skutečnosti, dle elektrárenské společnosti. Na tomto obrázku je vykreslen

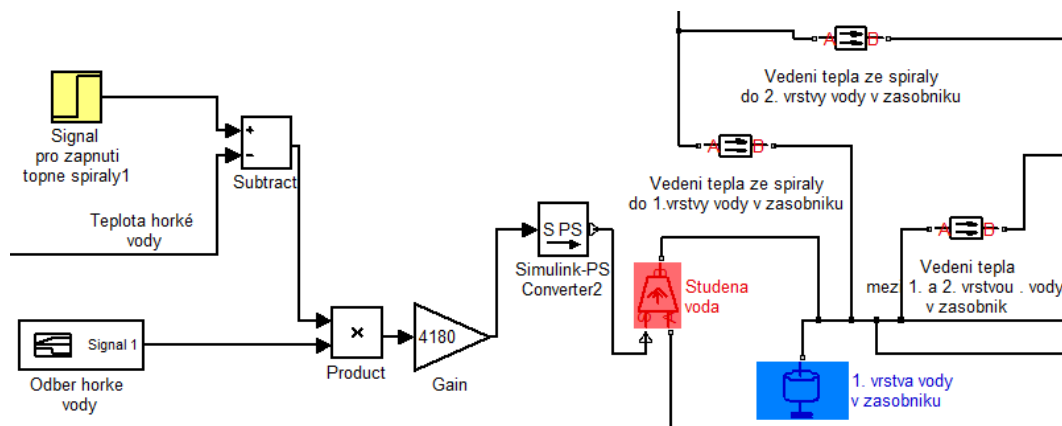
průběh pro jeden týden, 5 všedních dnů včetně víkendu. V případě, že je k dispozici elektrická energie, signál nabývá hodnoty 1, v opačném případě hodnoty 0.



Obr. č.11: Signál HDO – simulace v průběhu jednoho týdne

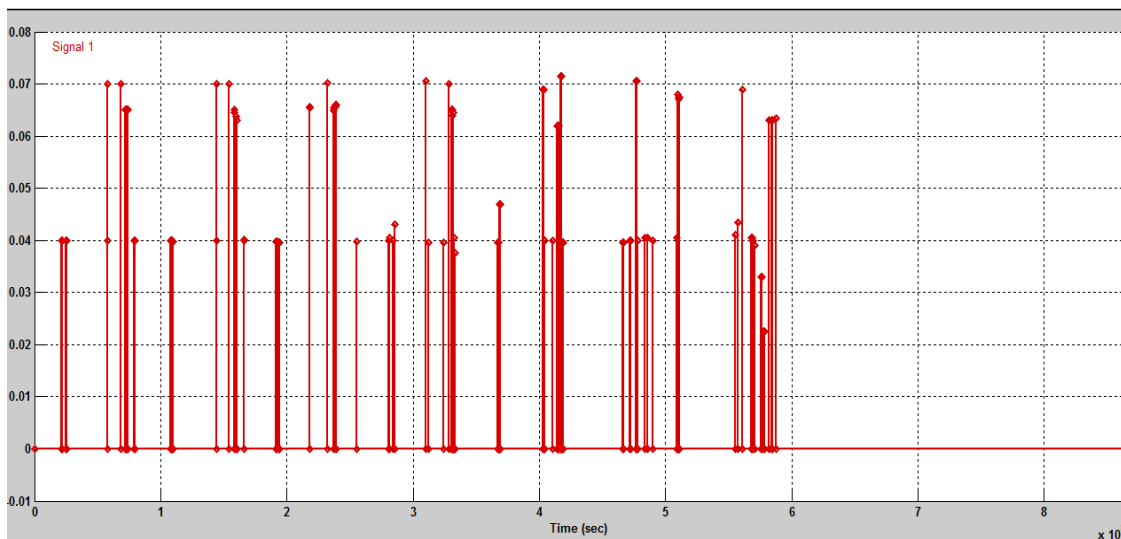
4.3. Odběr horké vody ze zásobníku

Odebírání horké vody, které je ve skutečnosti umístěno v horní části zásobníku, a vstup studené vody ve spodní části, je modelováno pouze jako ztráta tepla ve spodní části zásobníku. Ztráta tepla je závislá na odběru horké vody a na rozdílu teplot horké a studené vody v zásobníku. Viz obr. č.12.



Obr. č. 12: Část modelu simulující odběr horké vody

Simulace spotřeby horké vody pro domácnost byla stanovena dle možných skutečných odběrů viz obr. č.13. Na vodorovné ose je čas v sekundách ($\cdot 10^5$), na svislé ose je odběr horké vody ze zásobníku v l/s. Odběr ve všední dni byl stanoven dle možné spotřeby rodiny v daných časových intervalech. Stejným způsobem bylo postupováno i o víkendech, kdy odběry jsou častější.



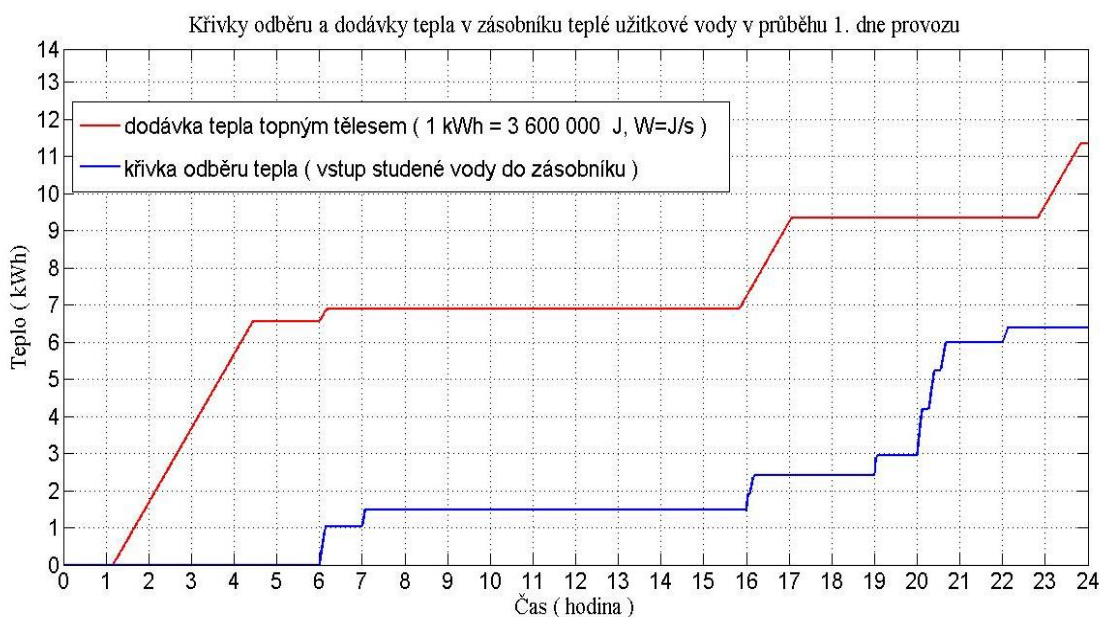
Obr. č.13: Signal 1 – simulace odběru horké vody pro domácnost v rámci jednoho týdne

4.4. Spotřeba tepla a dodávka tepla do zásobníku

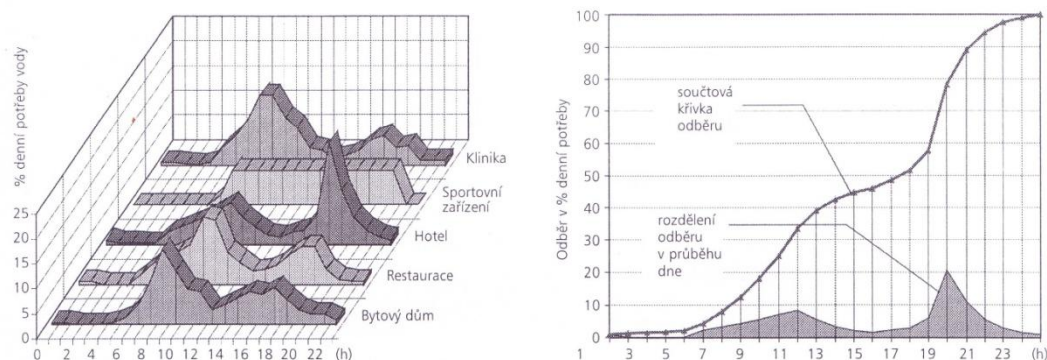
Z výše uvedeného vyplývá, že ohřev vody je závislý na systému HDO. Pokud není k dispozici elektrická energie, není možný ohřev vody. Proto je třeba navrhnout dle spotřeby vody vhodný objem zásobníku teplé užitkové vody, který pokryje potřebu teplé vody v rámci celého dne, týdne.

Jak již bylo výše uvedeno, jedná se o uzavřenou regulační smyčku, kde zpětná vazba je reprezentována skutečnou teplotou horké vody ve spodní části zásobníku. Spodní část zásobníku byla zvolena z důvodů bezpečnosti, aby bylo zabráněno přehřátí spodních vrstev vody blízko topného tělesa. Regulační odchylka spíná relé, kde je nastaven příkon topné spirály – 2000W. Sepnutí je ale možné pouze v případě, kdy je k dispozici elektrická energie v rámci systému HDO. Při každém odběru horké vody je simulována tepelná ztráta ve spodní části zásobníku. Referenční hodnota horké vody je zvolena na 55°C. Tato hodnota je po celou dobu simulace konstantní.

Na obr. č. 14 jsou znázorněny součtové křivky odběru a dodávky tepla první den simulace. Křivky jsou vztaženy k původní hodnotě teploty vody 10°C. Požadovaná teplota vody po ohřátí je 55°C. Množství spotřebované teplé vody bylo voleno každý den s určitou mírou náhody. Byl respektován provoz rodiny v ranních, odpoledních a ve večerních hodinách a množství spotřebované horké vody bylo voleno následovně. Pro osprchování postačuje 0,065 l/s, pro mytí rukou 0,04 l/s, pro mytí nádobí 0,07 l/s. Čas, po který je horká voda spotřebována, byl volen náhodně. Např. mytí rukou 50s, sprchování 5min apod.



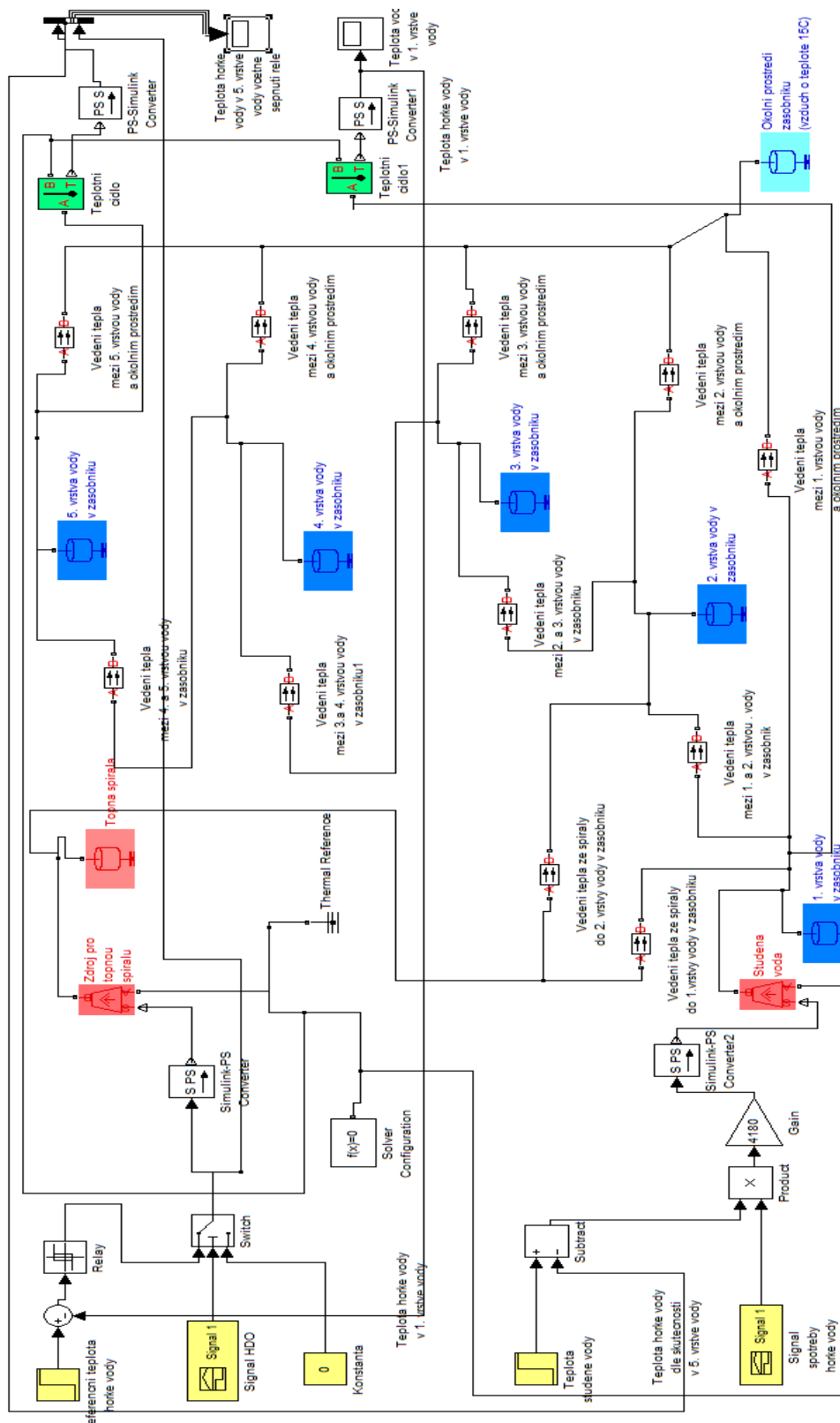
Obr. č. 14: Křivka odběru a dodávky tepla v zásobníku horké vody



Obr. č. 15: Příklady odběru vody z literatury

Na obrázku č. 15 jsou pro porovnání zobrazeny odběry vody pro budovy různých účelů.

Na obr. č. 16 je zobrazen celý model zásobníku teplé vody včetně regulačních prvků a prvků pro odečtení dat.



Obr. č. 16: Celkové schéma modelu zásobníku

4.5. Matematický model systému

Matematická rovnice 1.vrstvy vody modelu

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= c_{\text{voda}} * m_{\text{voda}} * \frac{dT_1}{dt} = \\ &\frac{S_{\text{stěna1}}}{d_{\text{stěna}}} * \lambda_{\text{stěna}} * (T_{\text{místnosti}(15^\circ\text{C})} - T_1) + \\ &c_{\text{voda}} * \text{Odber}_{\text{vody}}(\text{dle reálné situace (l/s)}) * (T_{\text{studená voda}(10^\circ\text{C})} - T_5) + \\ &Q_{\text{tepel.tok mezi vrstvami}(1350 \text{ J/s}) * (T_2 - T_1) + \\ &Q_{\text{tepel.tok mezi topným tělesem a vodou}(800 \text{ J/s}) \\ \frac{dT_1}{dt} &= \frac{1}{c_{\text{voda}} * m_{\text{voda}}(25\text{kg})} * \left(\frac{S_{\text{stěna1}}}{d_{\text{stěna}}} * \lambda_{\text{stěna}} * (T_{\text{místnosti}} - T_1) + \right. \\ &c_{\text{voda}} * \text{Odber}_{\text{vody}} * (T_{\text{studená voda}} - T_5) + \\ &Q_{\text{tepel.tok mezi vrstvami}} * (T_2 - T_1) + \\ &\left. Q_{\text{tepel.tok mezi topným tělesem a vodou}} \right) \end{aligned}$$

Matematická rovnice 2.vrstvy vody modelu

$$\begin{aligned} \frac{dT_2}{dt} &= \frac{1}{c_{\text{voda}} * m_{\text{voda}}} * \left(\frac{S_{\text{stěna2}}}{d_{\text{stěna}}} * \lambda_{\text{stěna}} * (T_{\text{místnosti}} - T_2) + \right. \\ &Q_{\text{tepel.tok mezi vrstvami}} * (T_3 - T_2) + \\ &Q_{\text{tepel.tok mezi vrstvami}} * (T_1 - T_2) + \\ &\left. Q_{\text{tepel.tok mezi topným tělesem a vodou}} \right) \end{aligned}$$

Matematická rovnice 3.vrstvy vody modelu

$$\begin{aligned} \frac{dT_3}{dt} &= \frac{1}{c_{\text{voda}} * m_{\text{voda}}} * \left(\frac{S_{\text{stěna3}}}{d_{\text{stěna}}} * \lambda_{\text{stěna}} * (T_{\text{místnosti}} - T_3) + \right. \\ &Q_{\text{tepel.tok mezi vrstvami}} * (T_4 - T_3) + \\ &\left. Q_{\text{tepel.tok mezi vrstvami}} * (T_2 - T_3) \right) \end{aligned}$$

Matematická rovnice 4.vrstvy vody modelu

$$\begin{aligned} \frac{dT_4}{dt} &= \frac{1}{c_{\text{voda}} * m_{\text{voda}}} * \left(\frac{S_{\text{stěna4}}}{d_{\text{stěna}}} * \lambda_{\text{stěna}} * (T_{\text{místnosti}} - T_4) + \right. \\ &Q_{\text{tepel.tok mezi vrstvami}} * (T_5 - T_4) + \\ &\left. Q_{\text{tepel.tok mezi vrstvami}} * (T_3 - T_4) \right) \end{aligned}$$

Matematická rovnice 5.vrstvy vody modelu

$$\frac{dT_5}{dt} = \frac{1}{c_{\text{voda}} * m_{\text{voda}}} * \left(\frac{S_{\text{stěna}}}{d_{\text{stěna}}} * \lambda_{\text{stěna}} * (T_{\text{místnosti}} - T_5) + Q_{\text{tepel.tok mezi vrstvami}} * (T_4 - T_5) \right)$$

veličiny :

Q	tepelný tok	[J/s]
S _{stěna}	plocha stěny vrstvy zásobníku	[m ²]
Q _{tepelný tok mezi vrstvami}	hodnota tepelného toku mezi vrstvami vody v zásobníku	[J/s]
Q _{tepelný tok mezi topným tělesem a vodou}	hodnota tepelného toku mezi topným tělesem	[J/s]
λ _{stěna}	součinitel tepelné vodivosti tepelné izolace	[W/mK]
T ₄	teplota 4.vrstvy vody modelu	[K]
c _{vody}	měrná tepelná kapacita vody	[J/kgK]
m _{vody}	hmotnost vrstvy vody v zásobníku	[kg]
Odber _{vody}	spotřeba horké vody	[l/s]

Matematický model systému je ekvivalentní k modelu vytvořenému v Matlab-Simulink-Simscape. Vzhledem k tomu, že byl zanedbán vliv proudění a záření tepla, byly zvoleny hodnoty tepelného toku mezi jednotlivými vrstvami vody, a mezi topným tělesem a 1.a 2.vrstvou vody v modelu tak, aby co nejvíce odpovídaly reálné situaci. Při ohřevu vody byla respektována celková doba ohřevu celého objemu zásobníku, kterou udává výrobce zásobníku. Dále rychlost ohřevu byla porovnávána např. s rychlostí ohřevu menších objemů u rychlovarných konvic s příkonem topného tělesa 2000W. Hodnoty Q_{tepelný tok mezi vrstvami} = 1350 J/s a Q_{tepelný tok mezi topným tělesem a vodou} = 800 J/s byly zvoleny po řadě experimentů s modelem v Matlab-Simulink-Simscape.

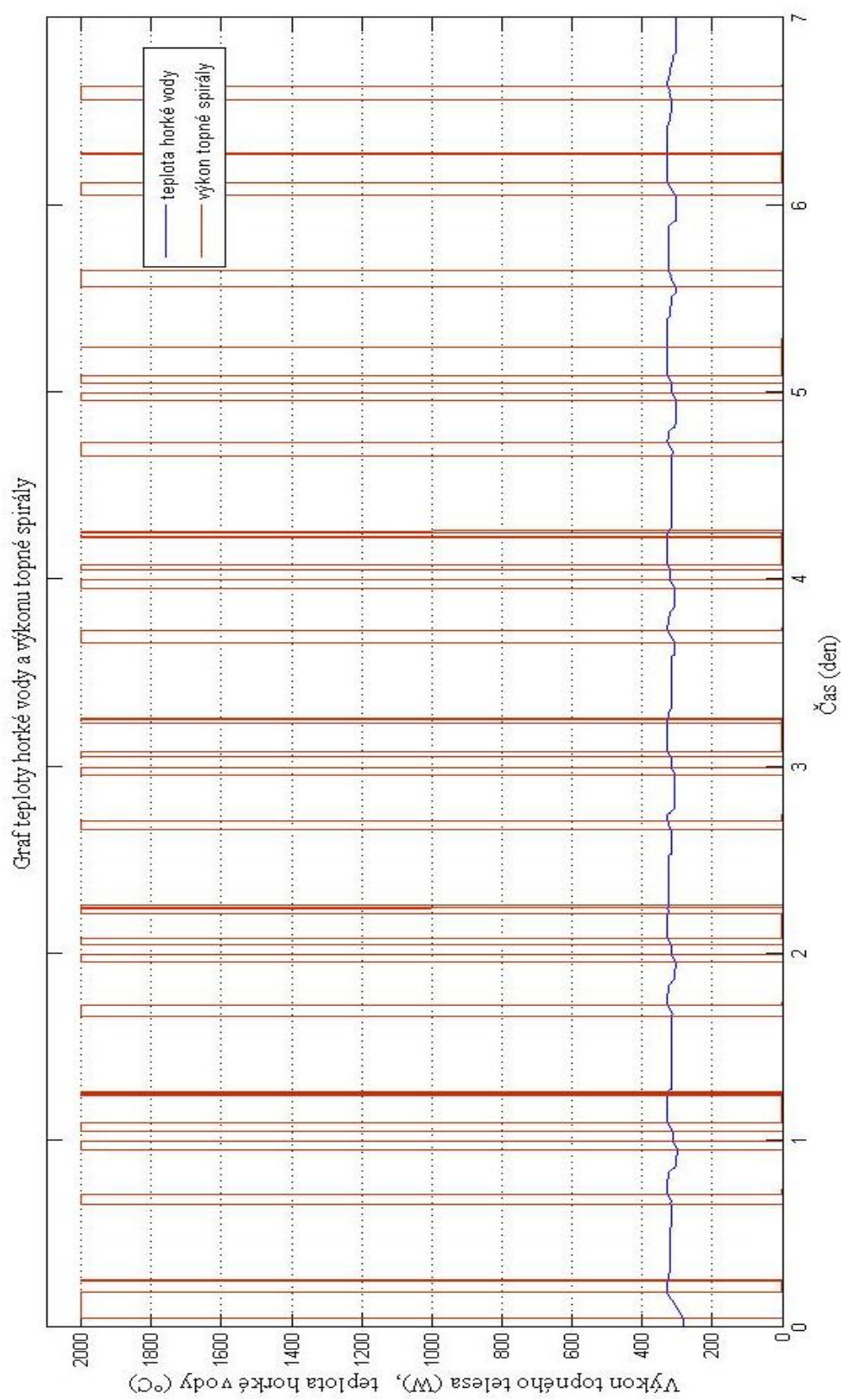
4.6. Výsledky

4.6.1 Zásobník s HDO, 125l, referenční teplota 55°C

Parametry modelu	
Objem zásobníku	125 l
Hromadné dálkové ovládání	ano
Nastavitelná teplota horké vody	55°C
Teplota vnějšího prostředí	15°C
Teplota studené vody	10°C
Výkon topné spirály	2 000 W

Na obr. č.17 je graf teploty horké v 5.vrstvě vody v zásobníku včetně signálu řízení. Přenos tepla z topného tělesa je možný pouze v případě, kdy HDO umožní vstup elektrické energie do systému. Pokud teplota horké vody v 1.vrstvě klesne pod 54°C, topné těleso je zapnuto pomocí termostatu ovládaného relé. Pokles teploty horké vody v 5.vrstvě způsobí odběr vody v domácnosti a tepelné ztráty vlivem rozdílných teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím zásobníku.

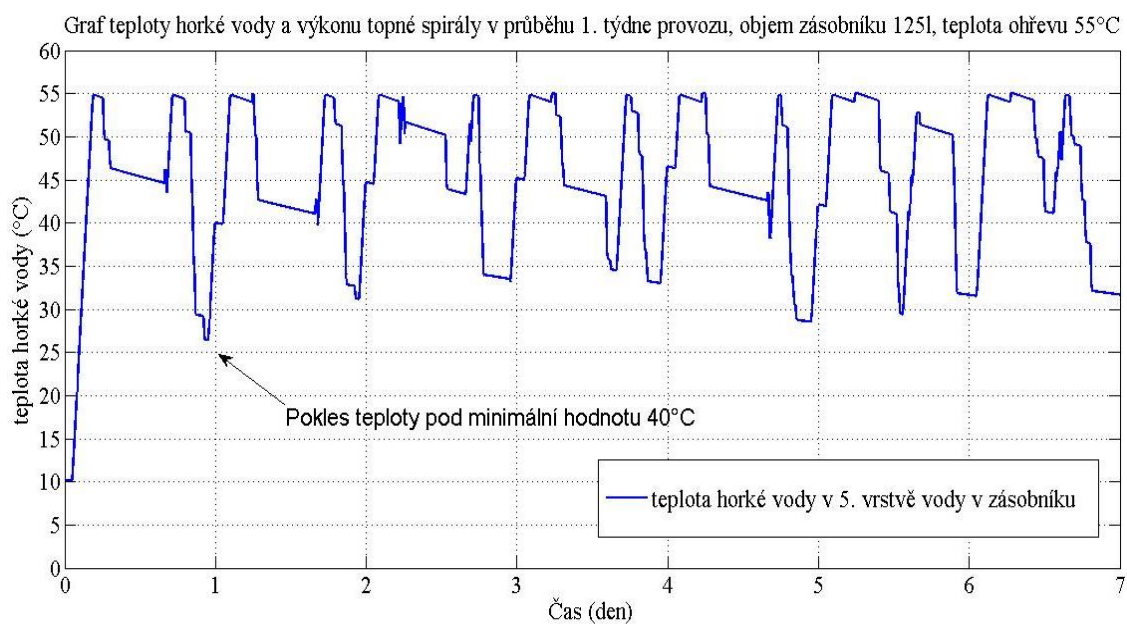
Další částí grafu na obr. č.17 je křivka teploty horké vody v 5. vrstvě vody v zásobníku. Křivka je závislá na odběru teplé vody v domácnosti a také na tepelných ztrátách vlivem rozdílných teplot vody v zásobníku a okolního vzduchu o teplotě 15°C.



Obr. č.17 : Graf výkonu topného tělesa (W) a teploty horké vody(K)

V zásobníku je nastavena požadovaná teplota horké vody na 55°C. Pomocí směšovací baterie je namíchána teplá voda pro sprchování, mytí rukou a nádobí na hodnotu přibližně 40°C. Proto teplota horké vody v zásobníku by neměla být nižší než 40°C.

Na obr. č. 18 je křivka teploty horké vody v 5. vrstvě vody v zásobníku. Jak je z obrázku patrné, ke konci dne je vlivem kumulace spotřeby teplé vody v domácnosti teplota horké vody pod požadovanou hodnotou 40°C (313K). Okolo 22h večerní klesne teplota vody zhruba až na 25°C, což znemožňuje pohodlné osprchování či mytí nádobí nebo rukou.



Obr. č. 18 : Graf teploty horké vody v zásobníku 125l v průběhu týdne, teplota ohřevu horké vody - 55°C

Jak je z výpočtu patrné, teplota horké vody v zásobníku nevyhovuje skutečným požadavkům domácnosti. Jedním ze způsobů, jak zvýšit teplotu vody v zásobníku, je zlepšit tepelnou izolaci ve vnějším plášti. V modelu je uvažováno s 55mm izolace – polystyrenu, který vykazuje výborné izolační vlastnosti.

Tepelný tok skrz tepelnou izolaci vnějšího pláště :

$$\dot{Q} = \lambda * \frac{T1 - T2}{d} * S$$

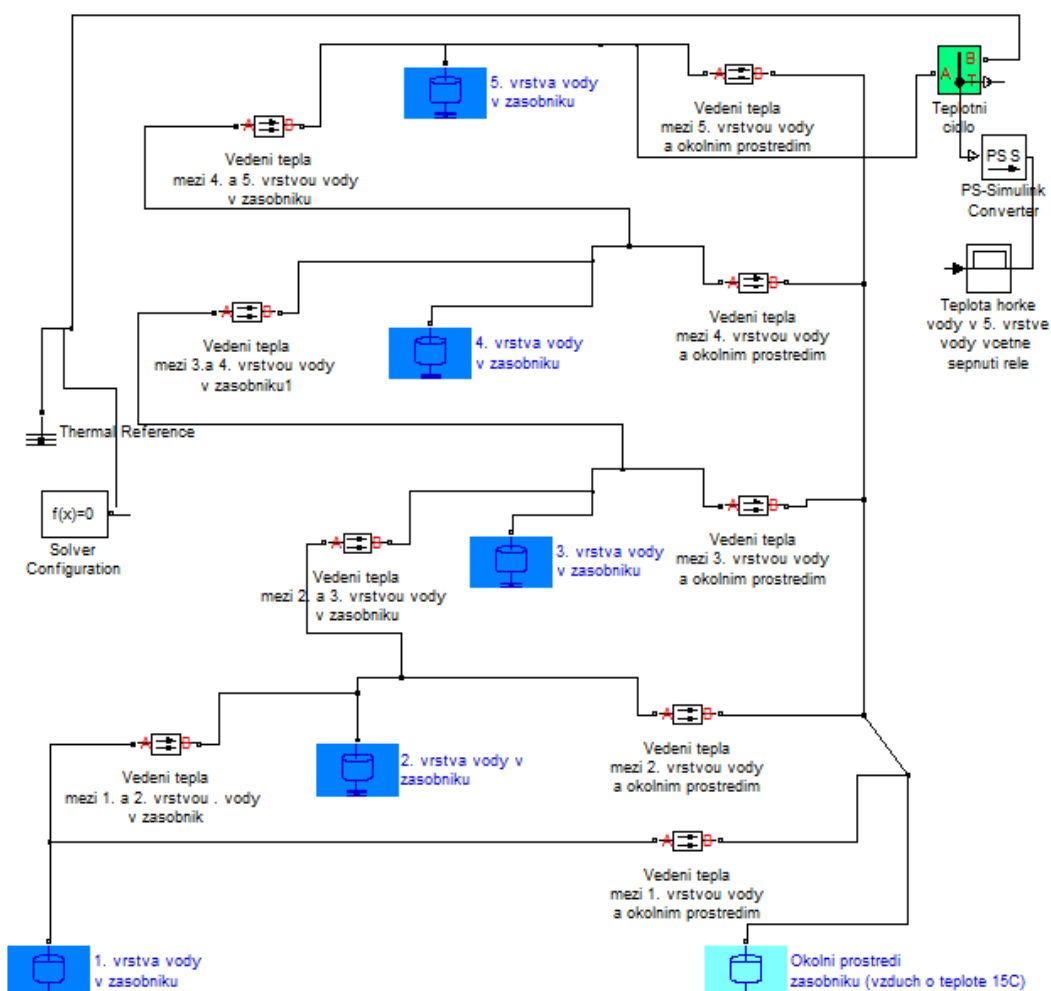
Teplná ztráta vlivem vedení tepla skrz tepelnou izolaci vnějšího pláště :

$$\dot{Q} = 0,035 * \frac{55 - 15}{0,055} * 1,52 = 38,6 \text{ W , J/s}$$

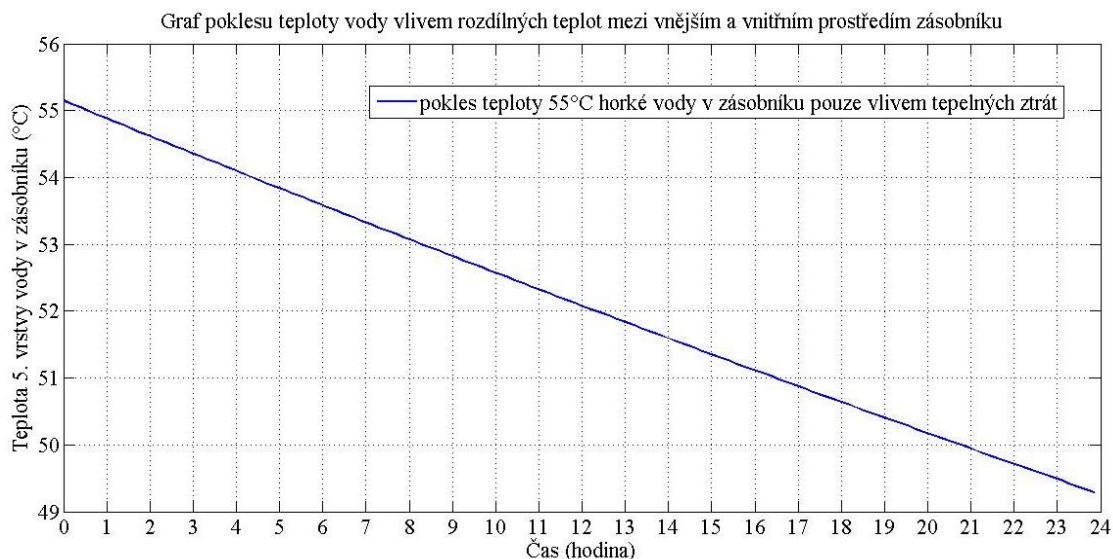
Přibližný pokles teploty během 24h provozu zásobníku vody bez odběru horké vody :

$$\Delta T = \frac{-38,6}{4180 * 125} * 3600 * 24 = -6,3^{\circ}\text{C}$$

Ověření na modelu zásobníku, kde není uvažován odběr horké vody, teplota vody ve všech vrstvách je dána 55°C, teplota okolního prostředí je 15°C. viz obr. č.15, 16.



Obr. č.19 : Model zásobníku pro simulaci ztráty tepla vlivem rozdílných teplot vnějšího a vnitřního prostředí.



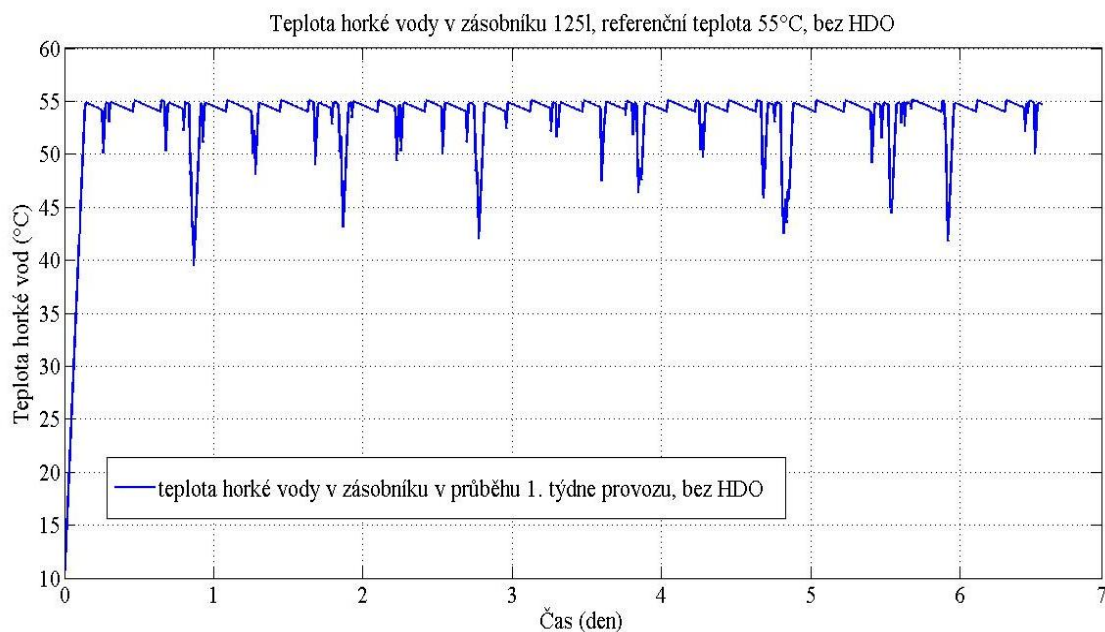
Obr. č.20 : Pokles teploty vlivem tepelných ztrát, které jsou způsobeny rozdílnou teplotou vnějšího a vnitřního prostředí zásobníku.

Vlivem tepelných ztrát je pokles teploty velmi pozvolný a zesílením tepelné izolace by tento pokles bylo možno pouze velmi málo zmírnit. V modelu je uvažován polystyren tloušťky 55mm. Zvětšením tepelné izolace by došlo ke zvětšení objemu zásobníku vody nemůměrným způsobem. Proto původní návrh tepelné izolace je ponechán.

4.6.2. Zásobník bez HDO, 125l, 55°C

Parametry modelu	
Objem zásobníku	125 l
Hromadné dálkové ovládání	ne
Nastavitelná teplota horké vody	55°C
Teplota vnějšího prostředí	15°C
Teplota studené vody	10°C
Výkon topné spirály	2 000 W

Dalším možným způsobem, jak zabránit poklesu teploty při největším odběru vody, je vyřadit systém HDO, který omezuje dodávku elektrické energie do systému a tudíž i ohřev vody. Toto řešení ale není možné, protože zadání této bakalářské práce vyžaduje tento systém HDO použít. Podle obr. č. 21 je patrné, že toto řešení by bylo vyhovující. I v případě nejvyššího odběru horké vody v domácnosti je k dispozici stále horká voda o min. teplotě 40°C (313K).

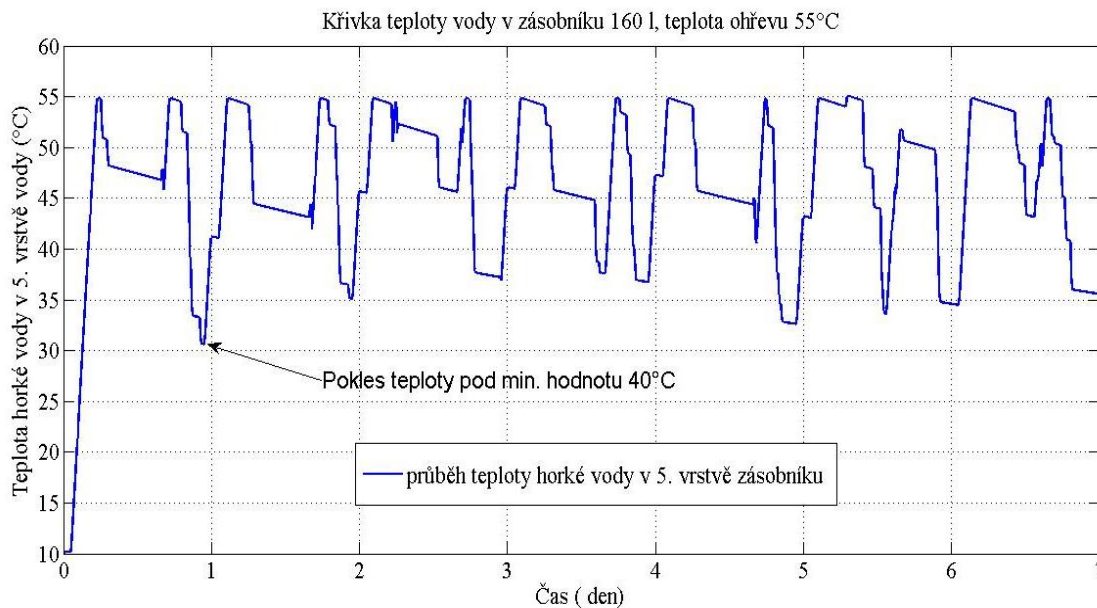


Obr. č. 21: Teplota horké vody v 5.vrstvě vody v zásobníku, bez HDO, referenční teplota 55°C

4.6.3. Zásobník 160l, s HDO, 55°C

Parametry modelu	
Objem zásobníku	160 l
Hromadné dálkové ovládání	ano
Nastavitelná teplota horké vody	55°C
Teplota vnějšího prostředí	15°C
Teplota studené vody	10°C
Výkon topné spirály	2 000 W

Další možností, jak zvýšit teplotu v zásobníku pro večerní odběr, je zvětšit objem zásobníku ze 125 l na 160 l vody. Tudiž každá vrstva vody bude obsahovat místo 25 l vody 32 l vody. Větší množství vody je schopné naakumulovat větší množství tepla. Následující graf křivka teploty horké vody v 5. vrstvě zásobníku poté, co byla hodnota objemu vody v každé vrstvě zvýšena na 32l.



Obr. č.22 : Teplota horké vody v 5. vrstvě vody v zásobníku o objemu 160l, referenční teplota 55°C, HDO

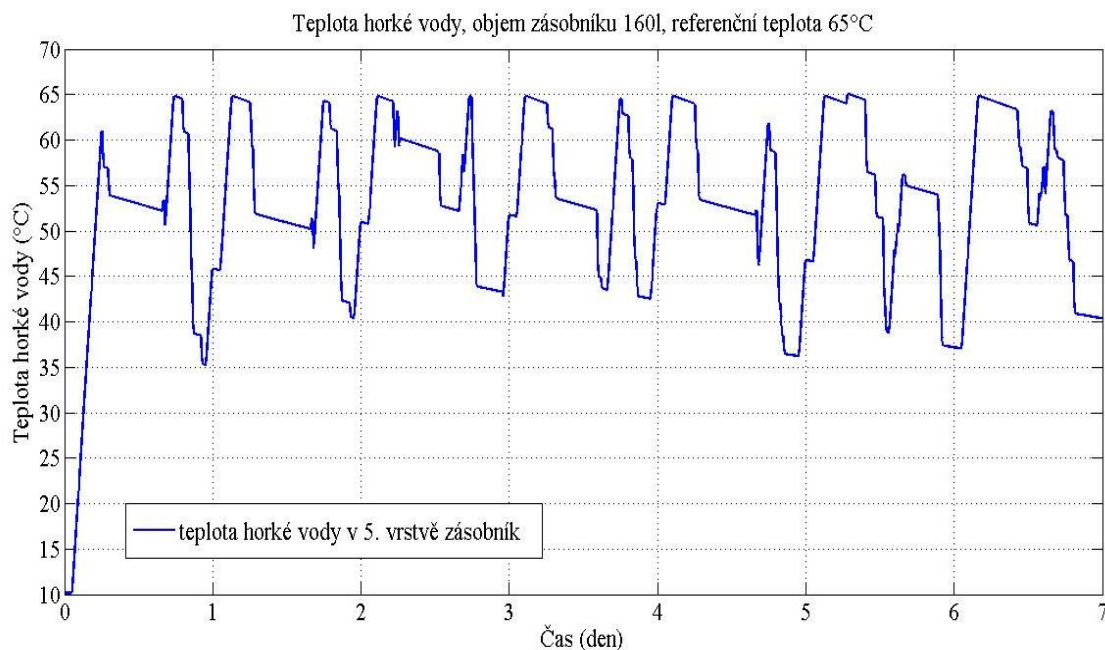
Jak je z obr. č. 22 patrné, větší množství vody v zásobníku způsobí i větší množství naakumulovaného tepla. Požadovaná teplota horké vody je nastavena na 55°C. Přesto je ve večerních hodinách stále velký pokles teploty, kdy minimální požadovaná teplota ve směšovací baterii nemůže dosáhnout 40°C (313 K), protože horká voda dosahuje teploty pouze zhruba 32°C (305 K).

4.6.4. Zásobník 160l, s HDO, 65°C

Parametry modelu	
Objem zásobníku	160 l
Hromadné dálkové ovládání	ano
Nastavitelná teplota horké vody	65°C
Teplota vnějšího prostředí	15°C
Teplota studené vody	10°C
Výkon topné spirály	2 000 W

Tento nevyhovující stav je samozřejmě způsoben velkou spotřebou horké vody, která je největší ve večerních hodinách, kdy není k dispozici elektrická energie pro ohřev vody. Řešením je tedy buď snížit spotřebu horké vody, nebo zvýšit referenční teplotu vody z 55°C na hodnotu podstatně vyšší. Toto řešení má ale také svá omezení. Výrobce daná

maximální provozní teplota je 74°C. Horká voda o teplotě 74°C je ale nebezpečná z hlediska opaření osob. Takto horká voda již může způsobit zranění, proto je v této práci raději uvažována maximální teplota 65°C. Vzhledem k tomu, že směšovací baterie je přímo napojená na zásobník, při otočení vodovodní baterie do krajní polohy vytéká přímo do vany, umyvadla či dřezu takto horká voda.



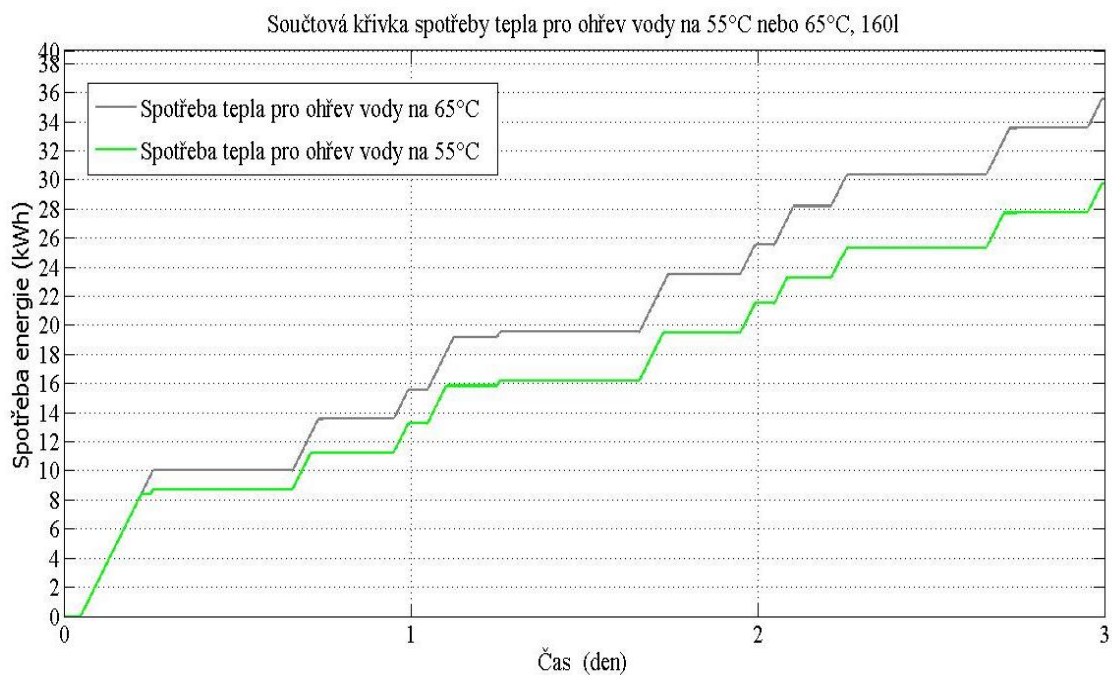
Obr. č.23: Teplota horké vody v zásobníku o objemu 160l, referenční teplota 65°C, s HDO.

Z výše uvedeného obrázku č.23 vyplývá, že teplota horké vody ve večerních hodinách již většinou dosahuje požadovaných 40°C (313K), která je nutná pro pohodlné osprchování či mytí rukou nebo nádobí. V případě největší spotřeby horké vody, je nutné směšovací baterii otočit až do krajní polohy, aby vytékala teplá voda o teplotě zhruba 40°C. Referenční teplota je nastavena na hodnotu 65°C.

4.6.5. Porovnání energetické náročnosti

Při zvýšení referenční teploty dochází ale také k výraznému růstu spotřeby tepla a tedy i elektrické energie. Následující příklad je porovnání stejného zásobníku vody o objemu 160l, při různých referenčních teplotách.

Parametry modelu		Parametry modelu	
Objem zásobníku	160 l	Objem zásobníku	160 l
Hromadné dálkové ovládání	ano	Hromadné dálkové ovládání	ano
Nastavitelná teplota horké vody	55°C	Nastavitelná teplota horké vody	65°C
Teplota vnějšího prostředí	15°C	Teplota vnějšího prostředí	15°C
Teplota studené vody	10°C	Teplota studené vody	10°C
Výkon topné spirály	2 000 W	Výkon topné spirály	2 000 W

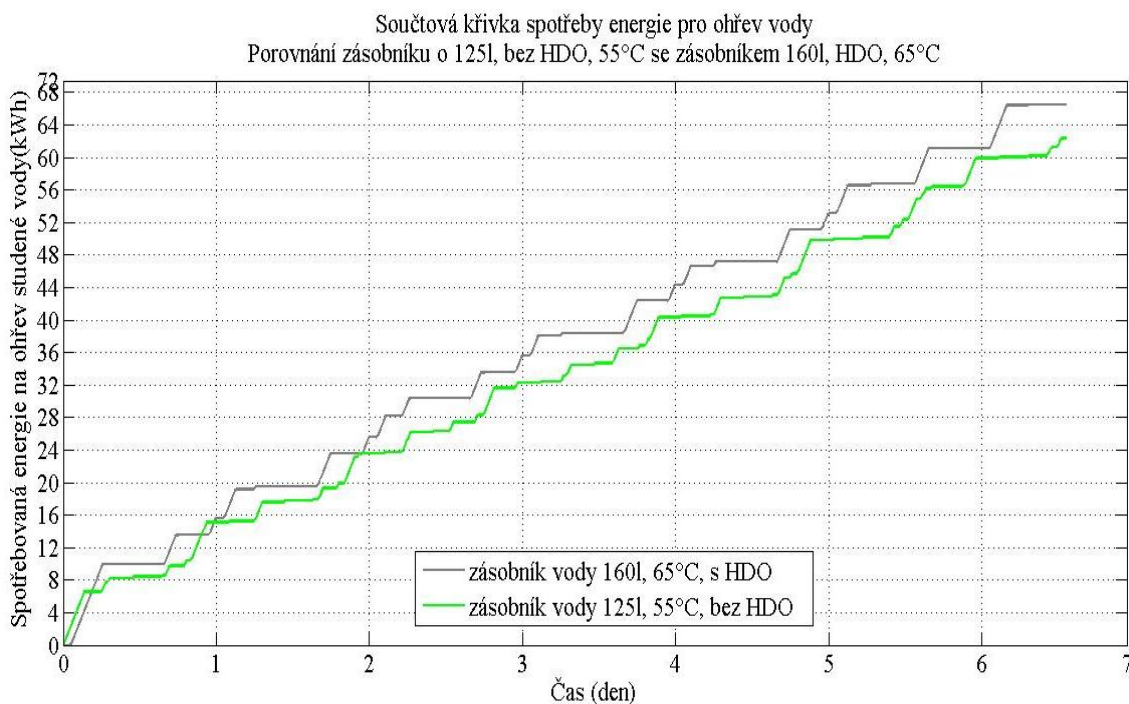


Obr.č.24: Součtová křivka spotřeby tepla při různé referenční teplotě, systém HDO, zásobník o objemu 160l.

Na obr. č.24 Jsou křivky spotřeby tepla pro referenční teplotu ohřevu 55°C a 65°C s použitím HDO. Již po skončení 3. Dne provozu je jasně patrné, že dochází ke znatelnému nárůstu spotřeby tepla a tudíž i elektrické energie.

Pro porovnání je uveden graf součtových křivek spotřeby tepla pro ohřev vody, kdy oba dva případy jsou vyhovující pro potřeby uvažované domácnosti. Na obr.25 je křivka pro zásobník o objemu 125l, bez HDO, s nastavenou referenční teplotou 55°C a křivka pro zásobník o objemu 160l, s HDO, 65°C. Oba dva systémy vyhovují požadavku na minimální teplotu horké vody v zásobníku ve večerních hodinách 40°C.

Parametry modelu		Parametry modelu	
Objem zásobníku	160 l	Objem zásobníku	125 l
Hromadné dálkové ovládání	ano	Hromadné dálkové ovládání	ne
Nastavitelná teplota horké vody	65°C	Nastavitelná teplota horké vody	55°C
Teplota vnějšího prostředí	15°C	Teplota vnějšího prostředí	15°C
Teplota studené vody	10°C	Teplota studené vody	10°C
Výkon topné spirály	2 000 W	Výkon topné spirály	2 000 W



Obr. č 25: Součtová křivka spotřeby energie pro ohřev vody

Pokud tedy vyřadíme ze systému HDO, je možno snížit objem zásobníku a snížit referenční teplotu za cenu mnohem častějšího spínání termostatu. Přesto je ale spotřebovaná energie pro ohřev vody v průběhu času nižší, než u systému s HDO.

Jak je z grafů teploty horké vody v zásobníku patrné, lze pomocí referenční teploty, kterou je možno na ovládání zásobníku manuálně zadat, ovlivnit výslednou teplotu horké vody v průběhu dne či týdne. V současné době jsou ale již na trhu zásobníky teplé vody s ovládáním, které obsahují algoritmy samostatně učící se ze skutečného provozu domácnosti. Tyto algoritmy jsou schopny upravit nastavení referenční teploty tak, aby i v případě nejvyšší spotřeby horké vody byla k dispozici ve výtoku směšovací baterie voda o teplotě min. 40°C.

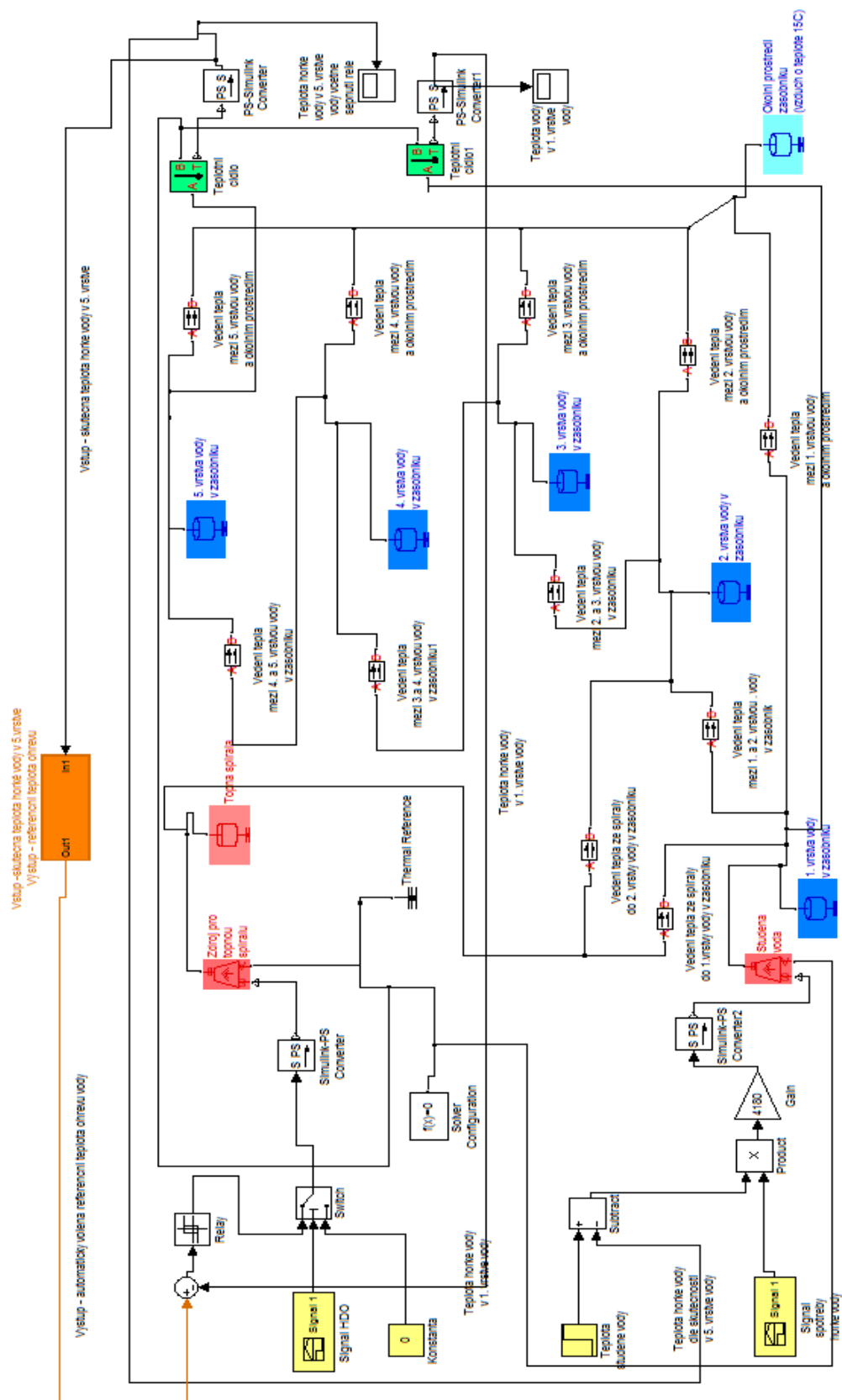
5. Model ohřevu a spotřeby teplé vody s automaticky nastavitelnou hodnotou teploty horké vody v zásobníku

Jak je patrné z výše uvedených výpočtů, teplota ohřevu velmi ovlivňuje průběh v čase hodnoty teplot horké vody v 5. vrstvě zásobníku. Problémem je pokles teploty horké vody ve večerních hodinách, kdy je odběr horké vody největší. Teplota by mohla poklesnout až pod minimální hodnotu 40°C, která je nutná pro pohodlné osprchování či mytí rukou a nádobí. Referenční teplotu ohřevu, výše uvedené výpočty byly na základě dvou hodnot – 55°C, 65°C, je možno nastavit ručně, kdy topné těleso ohřívá vodu vždy na konstantní teplotu, nebo lze referenční teplotu měnit automaticky, nezávisle na uživateli.

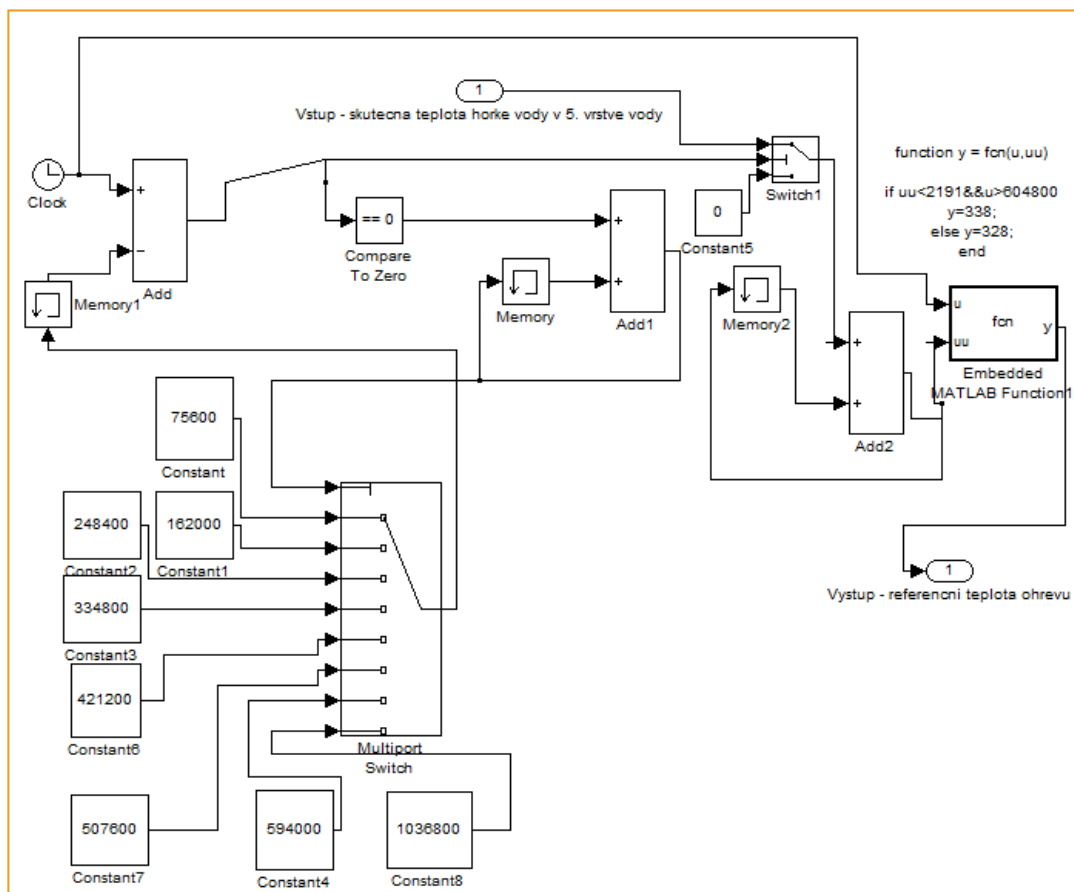
5.1. Model ohřevu vody v zásobníku 160l, s HDO, včetně algoritmu s automaticky měnitelnou referenční teplotou ohřevu po 1.týdnu provozu (55°C nebo 65°C)

Součástí ovládání zásobníku je algoritmus, který mění referenční teplotu na základě dat z předchozích dnů. Algoritmus shromažďuje data z časového průběhu teploty horké vody v 5. vrstvě vody v zásobníku v průběhu prvních 7 dní. Poté vyhodnotí, zda ve večerních hodinách prvního týdne provozu byla k dispozici horká voda o minimální teplotě 40°C (teplota ohřevu 55°C). Pokud nebyla k dispozici, automaticky pro následující dni a týdny referenční teplotu zvýší referenční teplotu z hodnoty 55°C na hodnotu 65°C. Pokud byla k dispozici, teplota ohřevu zůstává na hodnotě 55°C. Teplota horké vody v průběhu prvních 10dnů provozu je na obrázku č. 26.

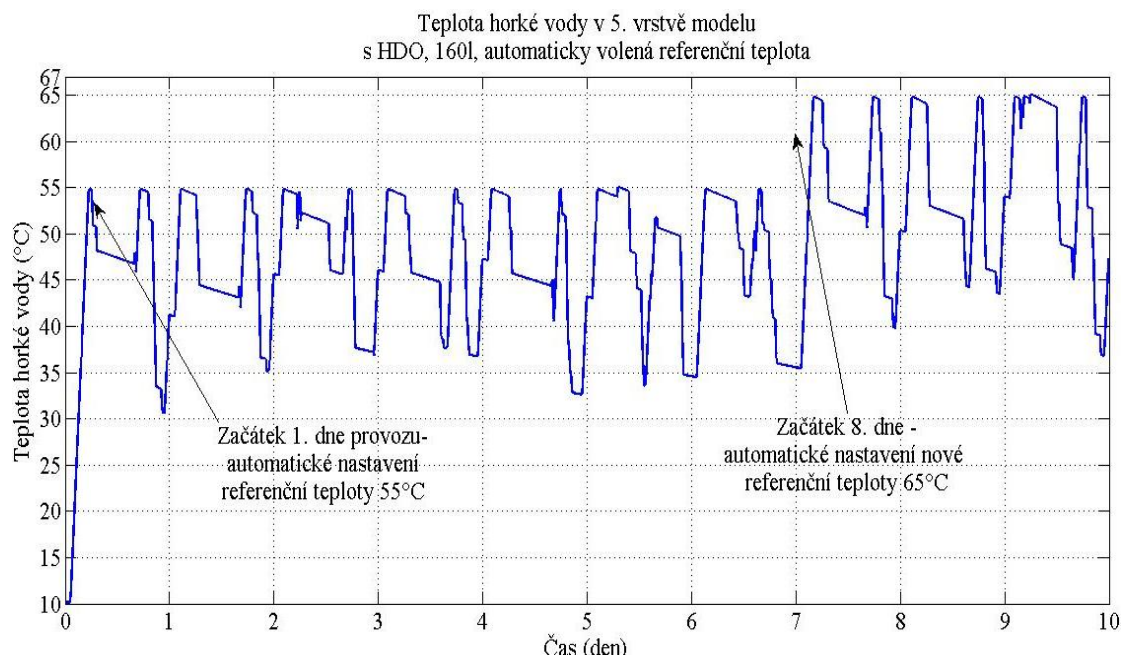
Parametry modelu	
Objem zásobníku	160 l
Hromadné dálkové ovládání	ano
Nastavitelná teplota horké vody	55-65°C
Teplota vnějšího prostředí	15°C
Teplota studené vody	10°C
Výkon topné spirály	2 000 W



Obr. č 26: Celkový model zásobníku – 160l, S HDO, algoritmus pro automatické volení referenční teploty



Obr. č. 27: Algoritmus pro automatické volení referenční teploty ohřevu, hodnoty u přepínače 75600, 16200 ... čas v sekundách pro 21. hodinu v každém dni



Obr. č. 28: Teplota horké vody, s HDO, algoritmus autom. nastavení refer. teploty

Na obr. č. 26 je zobrazen model zásobníku vody, kde pevně zvolená teplota ohřevu je nahrazena algoritmem – vyznačeno oranžovou barvou. Na obr. č. 27 je umístěn detail algoritmu, který sčítá hodnoty teploty vody každý den v 21h večer. Pokud po prvních 7 dnech provozu je součet teplot v kelvinech nižší jak 2191 ($7 \cdot 313 \text{ K} = 7 \cdot 40^\circ\text{C}$), zvýší se 8. den provozu teplota ohřevu o 10°C . V opačném případě zůstává teplota ohřevu 55°C . V algoritmu lze samozřejmě měnit hodnotu 2191K v případě, kdy je nutno připočítat rezervu.

Na obr. č. 28 je znázorněn průběh teploty horké vody v 5.vrstvě vody. Na začátku 8.dne je již nastavena vyšší teplota ohřevu z 55°C na 65°C , což samozřejmě koresponduje s předchozími výpočty, kdy teplotu ohřevu vody ve 160l zásobníku bylo nutno zvýšit z 55°C na 65°C . Z obrázku je patrné, že je stále k dispozici teplá voda a min. teplotě 40°C .

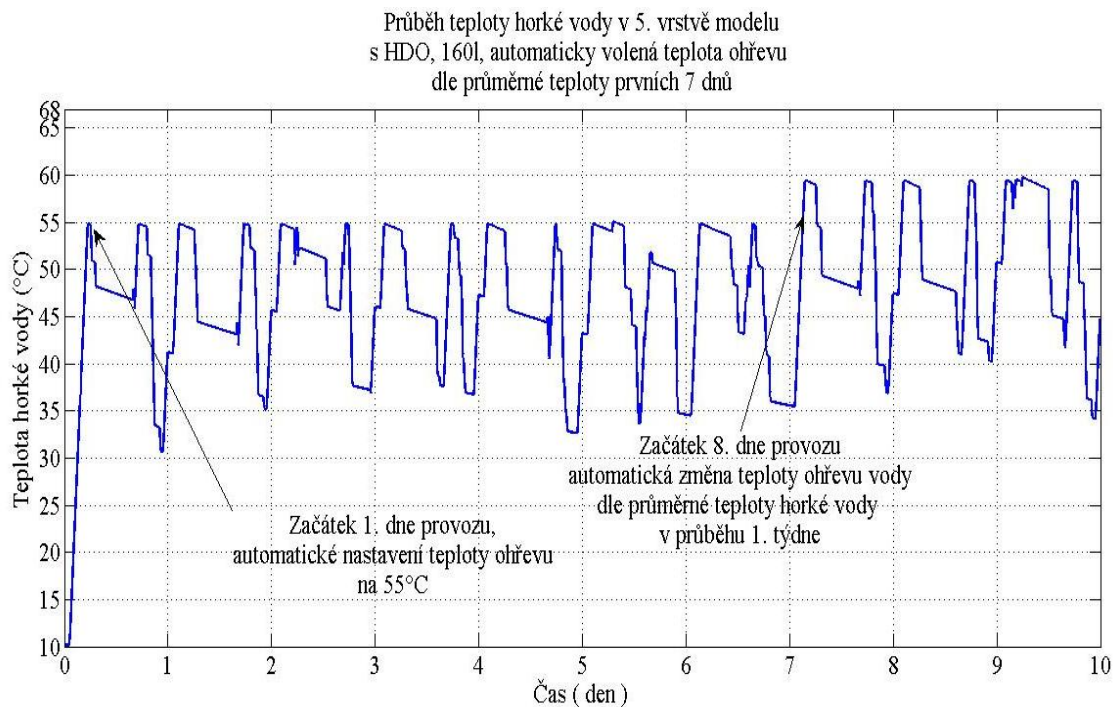
5.2. Model ohřevu vody v zásobníku 160l, s HDO, včetně algoritmu s automaticky měnitelnou referenční teplotou ohřevu po 1.týdnu provozu (55°C - 70°C)

Algoritmus je téměř totožný s algoritmem z kapitoly 5.1. Pouze čas, kdy jsou vyhodnocena data z provozu prvního týdne, se posunul o jednu hodinu později. Teplota horké vody v 5. vrstvě vody v zásobníku je vyhodnocována každý den prvního týdne provozu ve 22. hodině. Teplota ohřevu (referenční teplota) v dalším týdnu je volena automaticky, dle průměrné hodnoty horké vody v prvním týdnu provozu. Tentokrát je povolena maximální teplota ohřevu 70°C (namísto 65°C). Čím je tedy hodnota průměrné teploty horké vody nižší, tím je automaticky volena vyšší teplota ohřevu pro následující týden tak, aby bylo dosaženo minimální hodnoty horké vody 40°C .

Algoritmus pro automatickou změnu teploty ohřevu :

```
function y = fcn(u,uu)
y=328;
pom=uu/7;
if pom>=313&&u>604800
    y=328;
end
if pom<=298&&u>604800
    y= 343;
end
if pom>298&&pom<313&&u>604800
    y=328-(pom-313);
end
```

Obrázky modelu z kapitoly 5.1. jsou použitelné i pro kapitolu 5.2. Změna je pouze v tom, že hodnoty u přepínače na obrázku č. 23 jsou změněny (z 21h v rámci dne na 22h) a přepis algoritmu pro automatický výpočet nové teploty ohřevu v dalším týdnu provozu.



Obr. č. 29: Teplota horké vody, s HDO, algoritmus s automatickým nastavením teploty ohřevu dle průměrné teploty horké vody v prvním týdnu provozu.

Na obrázku č. 29 je průběh teploty horké vody v 5. vrstvě vody modelu. Jak je patrné, v dalším týdnu není vždy k dispozici horká voda o teplotě 40°C. Pomocí algoritmu je v dalším týdnu provozu zvolena teplota ohřevu vody taková, která v době největšího odběru ve večerních hodinách nepostačuje. Je to dáno tím, že nelze přesně určit, kdy dojde k největšímu poklesu teploty horké vody během dne. Odběr vody je nepravidelný, protože chod domácnosti nelze přesně naplánovat v rámci dne a týdne. Taktéž nastavení maximální teploty ohřevu nelze zvyšovat z důvodů bezpečnosti osob v domácnosti.

6. Závěr

V rámci přípravy teplé užitkové vody hraje velkou roli několik faktorů. Pokud je elektrická energie závislá na HDO, může dojít k poklesu teploty horké vody v případě, velkého odběru horké vody, kdy není elektrická energie k dispozici. Proto je nutné buď zvýšit teplotu ohřevu (referenční teplotu) nebo navýšit objem zásobníku. Obě dvě varianty znamenají nárůst provozních a pořizovacích nákladů. Další variantou je absence HDO, tedy elektrická energie je stále k dispozici a topné těleso mnohem častěji dodává teplo studené vodě v zásobníku. V tomto případě je ale nutné zvážit, zda není výhodnější variantou přímý ohřev vody v průtokovém elektrickém ohřivači studené vody, protože výhodou HDO je zejména nižší tarifní sazba v rámci smlouvy s elektrárenskou společností.

Ve všech modelech bylo zanedbáno proudění a sálání tepla. Bylo uvažováno pouze s vedením tepla. Řešení pomocí vedení tepla v případě tepelných ztrát vlivem rozdílných teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím zásobníku je správně. Ale tím, že procesy uvnitř zásobníku byly popsány pouze pomocí vedení tepla, došlo k velkému zjednodušení. Nebyl vůbec uvažován vliv gravitace. Studená voda je ve spodní části zásobníku ohřívána na požadovanou teplotu a ve skutečnosti vlivem rozdílné hustoty stoupá do vyšších vrstev zásobníku, kde je odebrána. Zároveň ve spodní části je doplňována studená voda ve stejném objemu jako byl odběr horké vody. V modelech je ale uvažováno pouze předávání tepla mezi vrstvami v rámci vedení tepla. Horká voda tedy může předávat v modelech více tepla spodním vrstvám studené vody, než je tomu ve skutečnosti. Zejména v době, kdy není k dispozici elektrická energie, je studená voda ve spodní části modelu ohřívána horkou vodou v horní části. Při simulaci dochází vlivem nastavených parametrů vedení tepla k rychlé ztrátě tepla horké vody v horních vrstvách ve prospěch studené vody ve spodních vrstvách. Dochází k rychlému promíchávání studené a horké vody. V reálném zásobníku vody tedy nedochází k promíchávání horké a studené vody vlivem rozdílných hustot různých teplých vrstev vody v zásobníku. Horká voda v reálném případě zůstává v horních vrstvách, dokud není vypotřebována v rámci odběru. Horká voda zůstává naakumulována v horních vrstvách zásobníku bez výrazných tepelných ztrát směrem ke spodním vrstvám studené vody.

Toto zjednodušení způsobuje, že při simulaci je k dispozici při odběru vody vždy horká voda o teplotě nižší a po kratší dobu, než by tomu bylo v reálné situaci. Proto je možné, že i když díky simulaci byly modely zásobníků s HDO vyhodnoceny jako energeticky náročnější, než modely bez HDO, by rozdíly nebyly až tak veliké.

Na konci této práce je uvažován složitější model včetně algoritmu, který umožňuje automatické nastavení teploty tak, aby po prvním týdnu provozu a učení se, byla v dalším týdnu provozu nastavena vyšší teplota ohřevu. Vyšší teplota je nastavena v případě, kdy ve večerních hodinách není k dispozici požadované množství horké vody. Tento algoritmus je možné navrhnout v mnoha verzích. Čas, kdy je první týden provozu vyhodnocována průměrná teplota v 5.vrstvě vody modelu, je možné volit různým způsobem. Taktéž způsob změny teploty ohřevu na začátku 8.dne provozu je možné libovolně volit. Každá změna v algoritmu výpočtu se samozřejmě promítne do výsledného stavu horké vody v zásobníku. Vzhledem k tomu, že se jedná o systém s velkou mírou nepravidelnosti, nelze nikdy zaručit, že vždy bude k dispozici i v době největšího odběru horké vody dostatek teplé vody o minimální teplotě 40°C.

Literatura

- [1] <http://www.tzb-info.cz/>
- [2] <http://www.buderus.cz/>
- [3] <http://www.dumtechno.cz>
- [4] <http://www.dzd.cz>
- [5] Wikipedie : Otevřená encyklopedie
<http://cs.wikipedia.org>
- [6] M. Houšková, I. Koubková (1999): Technická zařízení budov, cvičení 1
Vydavatelství ČVUT, Zikova 4, 166 36 Praha 6, 127 stran
- [7] J. Valášek a kolektiv (2001): Zdravotně technická zařízení a instalace
Vydavatelství Jaga group, v.o.s., Starohorská 2, 810 05 Bratislava
- [8] Regulace
<http://valter.byl.cz/sites/default/files/regulace.pdf>
- [9] I. Švarc, R. Matoušek, M. Šeda, M. Vítečková (2011): Automatické řízení
CERM Akademické nakladatelství, Brno 2011
- [10] <http://www.cezdistribuce.cz/cs/technicky-dispecink/hromadne-dalkove-ovladani.html>