



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií ■

# Měření teplot v ohřivačích vody

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2612 – Elektrotechnika a informatika  
*Studijní obor:* 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy  
*Autor práce:* **Vojtěch Vitek**  
*Vedoucí práce:* Ing. Zbyněk Mader, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechatronics, Informatics  
and Interdisciplinary Studies ■

# Temperature measurement in water heaters

## Bachelor thesis

*Study programme:* B2612 – Electrical Engineering and Informatics  
*Study branch:* 2612R011 – Electronic Information and Control Systems  
*Author:* **Vojtěch Vitek**  
*Supervisor:* Ing. Zbyněk Mader, Ph.D.



**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch Víték**  
Osobní číslo: **M12000315**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**  
Název tématu: **Měření teplot v ohřivačích vody**  
Zadávací katedra: **Ústav informačních technologií a elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište ohřivače vody, různé typy a velikosti.
2. Proveďte měření teplot na vybraném ohřivači (ve zkušebně DZ Dražice). Vyhodnoťte vrstvení teplé vody při aktivním ohřevu topného tělesa, ustálení teplot a tepelné ztráty podložené snímkami z termokamery.
3. Vytvořte matematický model pro různé velikosti bojlerů a výsledné simulace porovnejte s naměřenými hodnotami.
4. Z dosažených výsledků vyhodnoťte optimální řešení ohřevu topného tělesa a navrhnete technologické uspořádání.

Rozsah grafických prací: Dle potřeby dokumentace  
Rozsah pracovní zprávy: cca 30-40 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

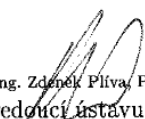
- [1] Miroslav Balda. Úvod do MATLABu. Plzeň, Vydavatelství Západočeské univerzity, 1991 ISBN 80-7082-404-2.
- [2] Ohřívání užitkové vody, zásady pro navrhování CTI 1998 ČSN 06 1010 Zásobníkové ohřivače vody
- [3] Alois Šourek, Elektrické ohřívání vody, Praha : Technicko-vědecké vydavatelství, 1951

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zbyněk Mader, Ph.D.  
Ústav informačních technologií a elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 14. září 2015  
Termín odevzdání bakalářské práce: 16. května 2016

  
prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.  
děkan



  
prof. Ing. Zdeněk Pliva, Ph.D.  
vedoucí ústavu

V Liberci dne 14. září 2015

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 4.1.2016

Podpis: 

# Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval panu Ing. Zbyňkovi Maderovi, Ph.D za odborné rady, věcné připomínky a konzultace při zpracování této bakalářské práce. Děkuji také panu Ing. Lukášovi Hubkovi, Ph.D za pomoc s matematickým modelem. Dále mé velké díky patří Družstevním závodům Dražice-strojírna, s.r.o., které mi poskytly možnost měření v jejich laboratoři. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mým rodičům za velkou trpělivost a podporu v době celého bakalářského studia.

# Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tepelnými jevy probíhající v zásobníku teplé užitkové vody v domácnostech. V Rešeršní části jsou popsány jednotlivé druhy ohřívačů, jejich funkce a základní principy přenosu tepla. Experimentální část obsahuje popis měření tepelných ztrát dle normy ČSN EN 12897 ve firemní laboratoři Družstevních závodů Dražice. Na základě získaných poznatků je sestaven matematický model v programu Matlab – Simulink – Simscape. V závěru práce jsou navrženy technologické úpravy pro zlepšení izolačních vlastností ohřívače vody, vedoucí ke snížení celkových tepelných ztrát a energetických úspor.

## Klíčová slova

Zásobník teplé užitkové vody, topné těleso, tepelné ztráty, matematický model, vedení tepla, spotřeba energie pro ohřev teplé vody, tepelná izolace.

## Annotation

This Bachelor's thesis deals with thermal phenomena taking place in the domestic hot water in homes. The retrieval section describes the different types of heaters, their functions and basic principles of heat transfer. The experimental section contains a description of the measurement of heat loss according to DIN EN 12897 in the company's lab Cooperative of Dražice. Based on this knowledge is built mathematical model in Matlab - Simulink - Simscape. In conclusion, the proposed technological adjustments to improve the insulating properties of the water heater to reduce overall heat loss and energy savings.

## Key words

Domestic hot water heater, heat loss, a mathematical model of heat conduction, energy consumption for water heating, thermal insulation.

# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>8</b>
<b>Seznam použitých obrázků .....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam použitých tabulek.....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam použitých symbolů, zkratk a termínů .....</b>	<b>11</b>

<b>Úvod .....</b>	<b>12</b>
-------------------	-----------

## REŠERŠNÍ ČÁST

<b>1 Seznámení s ohřivači vody .....</b>	<b>13</b>
1.1 Způsoby ohřevů vody .....	13
1.2 Ohřev vody elektrickou energií .....	13
1.3 Hromadné dálkové ovládání .....	13
1.4 Další typy ohřevu .....	14
1.5 Velikosti ohřivačů vody .....	14
<b>2 Základní popis systému ohřivače vody .....</b>	<b>17</b>
2.1 Konstrukce zásobníkového ohřivače vody .....	17
2.2 Ideální ohřivač vody .....	17
2.3 Tepelné ztráty .....	18
2.4 Tepelné procesy a sdílení tepla .....	18
2.5 Sdílení tepla vedením .....	19
2.6 Sdílení tepla prouděním .....	19
2.7 Sdílení tepla sáláním .....	20
2.8 Úspora teplé užitkové vody a vody všeobecně .....	20

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

<b>3 Měření na ohřivači.....</b>	<b>21</b>
3.1 Příprava k měření .....	21
3.2 Měřicí stanoviště .....	23
3.3 Napuštění zásobníku .....	25
3.4 První ohřev vody v zásobníku a ustálení teplot.....	25
3.5 Měření tepelných ztrát ohřivače OKCE 100 .....	27
3.6 Výpočet tepelné ztráty ohřivače vody OKCE100 podle ČSN EN 12897 .....	30
3.7 Termosnímky z průběhu zkoušky .....	31
3.8 Zhodnocení měření.....	33
<b>4 Simulace ohřevu vody v OKCE 100 .....</b>	<b>34</b>
4.1 Příprava na simulaci .....	34
4.2 Základní model regulačního obvodu.....	34
4.3 Návrh modelu pro jednotlivé vrstvy teplé vody.....	36



<b>5</b>	<b>Zpracovaný matematický model pro jednorázový ohřev modelu ohřivače OKCE 100.....</b>	<b>37</b>
5.1	Model pro výpočet tepelných ztrát modelu ohřivače OKCE 100 .....	39
<b>6</b>	<b>Zhodnocení výsledků matematického modelu .....</b>	<b>41</b>
6.1	Využití matematického modelu .....	41
<b>7</b>	<b>Návrhy pro šetření energie při ohřevu TUV .....</b>	<b>42</b>
7.1	Návrhy zlepšení ohřivače vody .....	42
7.2	Způsoby šetření energie .....	42
7.3	Optimální řešení ohřevu topného tělesa .....	42
	<b>Závěr .....</b>	<b>44</b>
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>45</b>
	<b>Seznam Příloh.....</b>	<b>47</b>

## Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 - Zásobníkový ohřívač vody.....	17
Obrázek 2 - Nalepení termočlánků na nádobu I.....	21
Obrázek 3 - Nalepení termočlánků na nádobu II.....	22
Obrázek 4 - ochrana před vypěněním.....	22
Obrázek 5 - Výkres Řezu ohřívače s termočlánky.....	23
Obrázek 6 - Zapojení ohřívače OKCE 100 v laboratoři DZD.....	24
Obrázek 7 - Graf teplot při napouštění ohřívače.....	25
Obrázek 8 - Ohřev vody v OKCE 100.....	26
Obrázek 9 - Ustálení teplot po čtvrtém cyklu ohřevu.....	27
Obrázek 10 - Záznam pro výpočet tepelných ztrát.....	28
Obrázek 11 - Přiblížený dohřev.....	29
Obrázek 12 - Naměřené hodnoty.....	30
Obrázek 13 - Termosnímek závěsu ohřívače – pravá strana.....	32
Obrázek 14 - Termosnímek závěsu ohřívače - levá strana.....	32
Obrázek 15 - Termosnímek horní části ohřívače.....	32
Obrázek 16 - Termosnímek indikátoru teploty.....	32
Obrázek 17 - Termosnímek otevřených dvířek ohřívače.....	32
Obrázek 18 - Termosnímek zavřených dvířek ohřívače.....	32
Obrázek 19 - Termosnímek spodní části ohřívače.....	33
Obrázek 20 - Základní schéma regulačního obvodu.....	35
Obrázek 21- Výstupy ze základního regulačního obvodu.....	35
Obrázek 22 - model s bloky simscape pro jednorázový ohřev modelu OKCE 100.....	37
Obrázek 23 - Jednorázový ohřev modelu ohřívače OKCE 100.....	38
Obrázek 24 - model s bloky simscape se zpětnou vazbou pro výpočet tepelných ztrát modelu ohřívače OKCE 100.....	39
Obrázek 25 - Přiblížený druhý ohřev z matematického modelu pro výpočet tepelných ztrát.....	40

## Seznam použitých tabulek

Tabulka 1 - velikosti zásobníků.....	14
Tabulka 2 - spotřeba teplé vody I.....	15
Tabulka 3 - Parametry ohřívače vody OKCE 100.....	34
Tabulka 4 - Rozdíl při ohřevu na 55°C, 65°C a 75°C.....	43

## Seznam použitých symbolů, zkratek a termínů

DZD	- Družstevní závody Dražice
VT	- Vysoký tarif
NT	- Nízký tarif
TUV	- Teplá užitková voda
HDO	- Hromadné dálkové ovládání
PUR	- Polyuretanová pěna
CFD	- Computational Fluid Dynamics (proudění tekutin)
Q [W]	- Energie
m [kg]	- Hmotnost
c [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	- Měrná tepelná kapacita
$\Delta T$ [°C]	- Rozdíl teplot
$\Delta U$ [W]	- Změna vnitřní energie
A [J]	- Práce
$\phi$ [W]	- Tepelný tok
$\lambda$ [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	- Měrná tepelná vodivost
S [m <sup>2</sup> ]	- Plocha
grad T [K.m <sup>-1</sup> ]	- Teplotní gradient
t [s]	- Čas
T [°C]	- Teplota
$k_s$	- Součinitel prostupu tepla
$\sigma$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-4</sup> ]	- Stefan-Boltzmanova konstanta
E [Wh/24h]	- Energie spotřebovaná za 24hodin
Q <sub>st</sub> [Wh/24hod]	- Tepelná ztráta
T <sub>w</sub> [°C]	- Střední teplota horké vody v průběhu 24h zkušební periody
T <sub>A</sub> [°C]	- střední teplota okolního prostředí v průběhu 24h zkušební periody

# Úvod

V současné době je ohřev vody důležitou součástí běžného života lidí, kteří si zvykli na využívání teplé vody. Vodu lze v menším množství ohřát v hrnci na kamnech nebo v rychlovarné konvici. V těchto případech se teplo okamžitě odpařuje a šíří do okolí.

Pro větší odběry teplé vody dnes slouží ohříváče vody, lidově řečeno „bojlery“. Tyto akumulární nádoby jsou určeny k uchování nahřáté teplé vody po nezbytnou dobu. Ohříváče vody zajišťují zásobu teplé užitkové vody TUV pro domácnost.

Voda je jedna z nezákladnějších kapalin na zemi sloužící k životu celému světu. Tam kde není voda, není ani život. Voda je tedy nesmírně důležitá i pro lidský organismus. Lidské tělo se skládá z více než 70% z vody. Dokáže se změnit z pevné látky v podobě ledu na kapalnou anebo i plynou v podobě páry. Tyto skupenské proměny dokáže voda jen na základě teploty okolí. V podobě vody vlivem teploty mění svůj objem, což je někdy výhodou a někdy naopak ne. Vodním paprskem se dají řezat i velmi tvrdé materiály, využívá se tedy nejen konzumačně, ale i ve všech typech průmyslu, ať až k ohřevu, chlazení, nebo třeba k výrobě elektrické energie.

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou změn teplot vody v zásobníku teplé užitkové vody. Práce je rozdělena na dvě části. V rešeršní části jsou popsány termodynamické jevy, které byly dále prověřeny testováním na ohříváči vody typu OKCE 100 Družstevní závody Dražice-strojírna s.r.o.

Na základě poznatků získaných ze zkoumání změn teplot v různých vrstvách zásobníku bude sestaven matematický model v programu Matlab Simulink, který by měl být parametrizovatelný pro různé typy a velikosti zásobníků TUV. Pomocí tohoto modelu lze simulovat ohřev vody, měřit teploty v různých hladinách ohříváče a nastavovat velikost vedení tepla mezi jednotlivými vrstvami a okolním prostředím, v kterém je ohříváč umístěn. Díky simulaci ohříváče vody typu OKCE 100 bude možné vypočítat tepelné ztráty, které budou porovnány se skutečnými ztrátami. Skutečné celkové ztráty budou naměřeny ve firemní laboratoři Družstevních závodů Dražice dle normované metodiky měření ČSN EN 12897.

Z dosažených výsledků bude možné navrhnout řešení optimálního elektrického ohřevu TUV zásobníku vody a doporučit technologické úpravy pro úsporu energie.

# 1 Seznámení s ohříváči vody

## 1.1 Způsoby ohřevů vody

V dnešní době je spotřebiteli žádoucí, aby byla ohřátá voda ihned i dispozici. Dříve používané způsoby ohřevu vody jsou pro větší množství vody velmi pomalé. Nutností každé běžné domácnosti je zásobník teplé vody.

Současné ohříváče vody, dokáží ohřívat teplou užitkovou vodu následujícími základními způsoby. Pomocí elektrické energie, anebo pomocí teplovodního výměníku který ohřívá vodu pomocí jiného média (může být i voda).

## 1.2 Ohřev vody elektrickou energií

Elektrické energie ohřívá vodu za pomoci topného tělesa. Topné těleso je namotaný odporový vodič, který po připojení do sítě mění elektrickou energii na tepelnou a předává ji do teplé užitkové vody v zásobníkovém ohříváči. Z ohříváče vody se stává elektrický spotřebič, který má jmenovitý příkon podle typu a velikosti namotaného odporového vodiče v topném tělese.

Odporový vodič topného tělesa je navinut do sestavy keramických válečků, které jsou pak vsunuty do jímky umožňující styk s ohřívanou vodou. Tato tělesa se označují jako suchá keramická tělesa. Dalším typem jsou tzv. tělesa mokrá. Jsou to tělesa, která mají přímý kontakt s vodou. Mokrá tělesa jsou také složena z odporových vodičů, které jsou však v rezu odolných pouzdrech zasypané pískem, aby nedošlo ke zkratu.

## 1.3 Hromadné dálkové ovládání

V České republice a také v dalších evropských zemích se rozšířilo tzv. hromadné dálkové ovládání – HDO, které se využívá pro akumulaci tepla z elektrické energie. Systém HDO používá pro přenos informace silová vedení energetické sítě. Informace ve tvaru impulsního kódu je vysílána s frekvencí v řádu stovek hertz (až kilohertz) z vysílače HDO a je superponována na základní frekvenci elektrické rozvodné sítě (v České republice a v Evropě 50 Hz, např. v USA 60 Hz). Signál HDO je vyslán do každé fáze z rozvodu 110/22 kV do distribuční sítě (22 kV). Při vhodně zvolené pracovní frekvenci se informace spolehlivě 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 (spotřeby) elektrické energie. Informaci HDO je tedy možno identifikovat v libovolném místě této energetické sítě. Po vyslání povelu do rozvodné soustavy dojde k zapnutí, resp. vypnutí všech spotřebičů, které jsou přes stykač připojeny k přijímači HDO reagujícího na vyslanou frekvenci. Přijímač HDO je obvykle umístěn v elektroměrovém rozvaděči u odběratele. Nízká frekvence, na které je HDO provozováno dostačuje jen na jednoduché povely. Šíření signálu je v desítkách i stovkách km. [1]

System HDO využívá hromadný efekt, to znamená, že na vysílání jedné informace reagují v dané energetické síti přijímače, které jsou pro její příjem příslušně nastaveny. Počet přijímačů v energetické síti přitom není omezen výkonem vysílače, závisí pouze na zájmu nebo možnostech odběratelů (druh odběru, tarifní politika, apod.). Distributoři elektrické energie mají jednotlivé frekvence rozděleny tak, aby nedocházelo k ovlivňování dálkově řízených spotřebičů u jiných distributorů. HDO umožňuje zapínání spotřebičů (stykačů) v časech vysokého tarifu (VT) a nízkého tarifu (NT, dříve nazývaného noční proud), a tak ekonomicky rozvrhnout spotřebu. (HDO - hromadné dálkové ovládání, 2015) [2]

#### 1.4 Další typy ohřevu

Nejpoužívanějším typem ohřevu vody je elektrický a výměňkový ohřev. Méně používané jsou například ohřevy průtokové, které ohřívají vodu většinou přímo tam, kde je aktuálně potřeba. Tyto způsoby ohřevu jsou na svůj provoz velmi nákladné a úsporu mohou přinést, pouze pokud je jiný zdroj teplé vody hodně daleko. V současné době se na ohřev teplé užitkové vody používají vzhledem k úsporám energie solární systémy, fotovoltaické panely a různé kombinace s tepelnými čerpadly. Kombinace ohřevů je v dnešní době moderní a velmi zajímavá z hlediska značných energetických úspor.

#### 1.5 Velikosti ohřivačů vody

Volba velikosti ohřivače vody by měla být taková, aby byl teplé vody vždy dostatek a zároveň malý přebytek. K volbě velikosti ohřivače slouží tabulky, které jednoduše ukazují na velikost zásobníku v domácnostech podle počtu lidí a typu ohřevu.

Tabulka 1 - velikosti zásobníků

Způsob ohřevu		Elektrický						Plyn, dřevo, uhlí (celoročně neomezeně)
		malá		střední		vysoká		
Předpoklad spotřeby		malá		střední		vysoká		
Denní/noční proud		denní	noční	denní	noční	denní	noční	
Počet osob	1	20	50	50	80	100	160	80
	2	20	50	80	125	125	200	100
	3	50	80	100	160	160	200	100
	4	80	125	125	180	180	250	125
	5	100	160	160	200	250	300	160
	6	125	180	200	300	300	500	200
	7 >	projekt	projekt	projekt	projekt	projekt	projekt	projekt

Tabulka 1 je součástí webových stránek Društveních závodů Dražice [3] a je návodem, jak vybrat správný typ ohřivače vody. Rozšířenější verze, která zahrnuje také konkrétní spotřeby v domácnostech, je obsažena v normě ČSN 06 0320. V této české normě tabulky ukazují na odběr teplé vody ze zásobníku za různé činnosti jako je sprchování, mytí rukou, nebo mytí nádobí. Z tabulek 2 a 3 vyplývá průměrná statistická spotřeba teplé vody o teplotě 55°C ze zásobníku o velikosti cca 40-55l na osobu za den.

**Tabulka 2 - spotřeba teplé vody I**

Potřeba TUV o teplotě $t_3 = 55^\circ \text{C}$ <sup>1)</sup>					Tab. č2
Činnost	Doba dodávky $t_d$		Objem dávky $V_d$		Teplo v dávce $E_2$
	sec	hod	dm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	kWh
Mytí osob Umyvadlo $U_o = 0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	50	0,014	2	0,002	0,10
mytí rukou					
mytí těla	260	0,071	10	0,010	0,52
Sprcha $U_o = 0,23 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	400	0,110	25	0,025	1,32
Vana $U_o = 0,47 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	300	0,085	40	0,040	2,10
(délka vany 1600 mm)	610	0,170	80	0,080	4,20
Mytí nádobí Pouze výdej jídel	$U_o = 0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ $t_4 = 55 \text{ až } 80^\circ \text{C}$ na jedno jídlo		1	0,001	0,05
Vaření + výdej			2	0,002	0,10
Mytí podlahy + úklid	$U_o = 0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ $t_4 = 55^\circ \text{C}$ na $100 \text{ m}^2$		20	0,020	1,05

<sup>1)</sup> Objem teplé vody o teplotě  $40^\circ \text{C}$  připravený smíšením se studenou vodou je 1,5 násobný

[4]

**Tabulka 3 - spotřeba teplé vody II**

Bilance potřeby TUV a tepla					Tab.č 3
Druh objektu	Měrná jednotka	Činnost	Spotřeba	Teplo	Součinitel současnosti s
			$V_{2p}$ m <sup>3</sup> .per. <sup>-1</sup>	$E_{2p}$ kWh.per. <sup>-1</sup>	
Stavby pro bydlení	1 osoba	umývání vaření úklid	0,082	4,3	do 35 os.= 1,0 až 1000 os.=0,2 viz tabulku 5
Stavby pro dočasné ubyt.					internát = 1,0
Internáty	1 osoba	sprchy umývání vany	0,06 0,1	2,5 3,5	Svobodárna = 0,6
Svobodárny	1 osoba				Hotel do 50 lůžek = 1,0
hotely	1 osoba				přes 50 lůžek = 0,8
	100 m <sup>2</sup>	úklid	0,02	0,8	
Školy	1 žák	umývání	0,02	0,8	podle vybav.0,2-1,0
	100 m <sup>2</sup>	úklid	0,02	0,8	Úklid = 1,0
Zdravotnictví polikliniky	1 vyšetřený	umývání včetně personálu	0,02	0,7	1,0
nemocnice	1 lůžko	umývání	ležící 0,02	0,7	mytí = 1,0
	1 lůžko	umývání + sprcha	chodící 0,05	1,8	mytí + 1sprcha = 1,0
	1 lůžko	umývání včetně personálu	0,25	10	<sup>1)</sup> komplexní činnost = 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
Očistné lázně	100 m <sup>2</sup>	úklid	0,02	0,8	úklid = 1,2- 1,5
	1 osoba	2 x sprcha + vana	0,16	6,5	1,0
	100 m <sup>2</sup>	úklid	0,02	0,8	úklid = 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
malý sortiment jídel příprava a výdej restaurační provoz	1 jídlo	Mytí varného a jídelního nádobí	0,0015-80° C	0,15	Bez myčky nádobí = 1,0 S myčkou nádobí = 0,7
	1 jídlo		0,002 -80° C	0,2	S myčkou nádobí = 0,8
	100 m <sup>2</sup>	úklid		0,8	úklid = 1,0
Sociální zařízení podniků a sportovních zařízení	1 os./sm	umyvadla	0,02	0,8	1,0
	1 os./sm	sprchy	0,04	1,4	1,0
	100 m <sup>2</sup>	úklid	0,02	0,8	úklid = 1,0

Součinitel prodloužení doby dodávky  $p_d$  : čistý provoz 1 ; špinavý provoz 1,5 ; značně špinavý provoz 2.

<sup>1)</sup> Pod pojmem komplexní činnost se rozumí umývání osob, umývání nádobí a úklid.

[4]

Pro správně zvolený typ a velikost ohřívače vody je potřeba znát mnoho informací. Pokud je zásobník zvolen špatně, může docházet k nedostatku, nebo přebytku teplé vody.

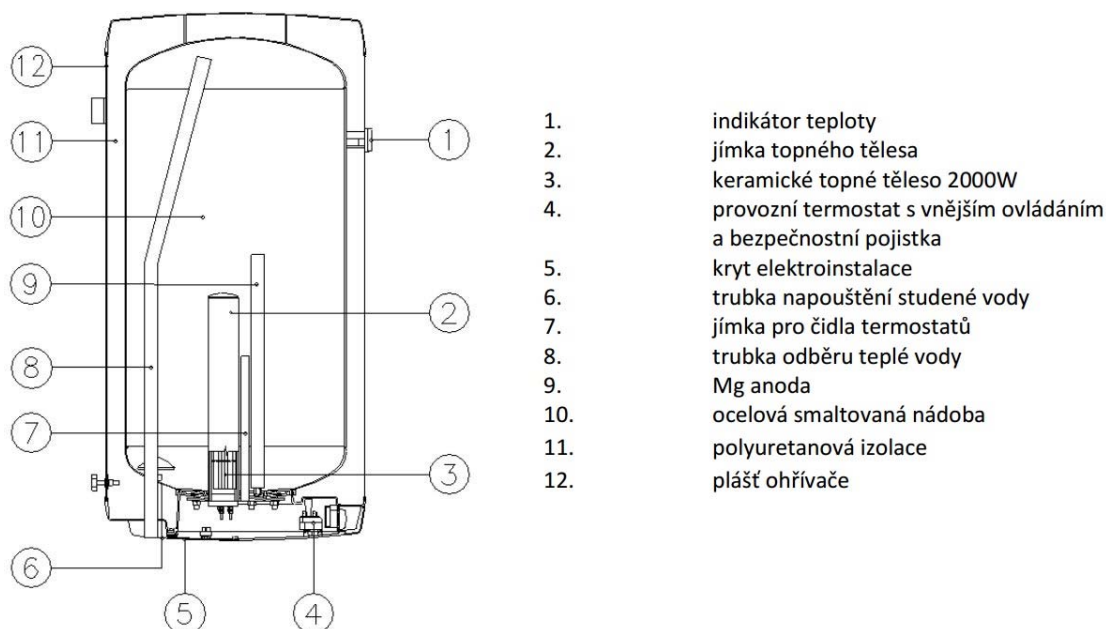
V této práci se budu dále zabývat elektrickým zásobníkovým ohřívačem OKCE 100 od výrobce DZ Dražice. Tento typ ohřívače vychází z řady oválných, závěsných zásobníků.



## 2 Základní popis systému ohřivače vody

### 2.1 Konstrukce zásobníkového ohřivače vody

Základním prvkem zásobníkového ohřivače vody je zásobník vody. Do spodní části zásobníku vstupuje studená voda a následně se ohřátá voda poté vypouští přes vypouštěcí trubku z horní části. Ohřev vody v tomto případě probíhá pomocí topného tělesa. Celý systém je zaizolován tepelnou izolací, která chrání teplou vodu před vychladnutím. Schéma zásobníkového ohřivače vody lze vidět na obrázku 1.



Obrázek 1 - Zásobníkový ohřivač vody

[5]

### 2.2 Ideální ohřivač vody

Vzhledem k fyzikální podstatě, teplá voda má menší hustotu než studená a stoupá vzhůru. Právě proto je voda v zásobníku vždy teplejší v horní části. Zásobník ohřivače vody je vyroben tak, že nejteplejší voda je odebírána z nejvyšší části nádoby (vrchlíku). Studená voda ve stejném poměru přitéká přes napouštěcí trubku do nejspodnější části. V napouštěcí trubce je vložka sloužící k rovnoměrnému rozvrstvení studené vody do spodní části zásobníku.

V případě dokonalého ohřivače vody je vždy celý válec nahřátý na požadovanou teplotu nastavenou termostatem. Po odběru teplé vody přitéká do spodní části ohřivače nová studená voda, která postupně začíná vytlačovat válec teplé vody směrem vzhůru. Po dosažení nastavené teploty čidlo termostatu reaguje na změnu teploty a spustí ohřev topného tělesa, které dohřívá spodní část vody na požadovanou teplotu. U ideálního

ohříváče by neměla probíhat žádná tepelná výměna s okolním prostředím. Ideální ohříváč vody má tedy nulové tepelné ztráty.

### 2.3 Tepelné ztráty

Teplo, které uniká z ohříváče vody, je definované statickou tepelnou ztrátou ohříváče vody. Tyto ztráty a jejich výpočet jsou definované českou technickou normou ČSN 06 1010 – *Zásobníkové ohříváče vody s vodním a parním ohřevem a kombinované s elektrickým ohřevem*. Tato norma je stále platná, přesněji definovaný postup měření a výpočtu uvádí novější norma ČSN EN 12897 – *Zásobování vodou – Nepřímě ohřívání uzavřené zásobníkové ohříváče vody*. Kompletní postup a výpočet statické tepelné ztráty je k dispozici v příloze č.1. [6] [7]

### 2.4 Tepelné procesy a sdílení tepla

Úniky energie z ohříváče vody ve formě tepla jsou šířené hned několika způsoby, které vychází ze základů termodynamiky. Termodynamika je částí termomechaniky, která se zabývá přeměnou tepelné energie v jiné druhy energií, sdílením tepla a zpětnou vlastností látek vlivem přivedeného, nebo odvedeného tepla.

Teplo  $Q$  je druh energie a množství přivedeného nebo odvedeného tepla látky o hmotnosti  $m$  a rozdílu tepla  $\Delta T$  je určeno rovnicí:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

Kde měrná tepelná kapacita  $c$  udává množství tepla, které je nutno přivést látky o hmotnosti  $1\text{kg}$  aby se ohřála o  $1\text{K}$  ( $1^\circ\text{C}$ ).

Rozměr měrné tepelné kapacity je  $[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$ . Velikost měrné tepelné kapacity není konstantní, ale je mírně závislá na teplotě látky. [8]

První zákon termodynamiky popisuje princip sdílení tepla a je zvláštním případem zákona zachování energie pro uzavřenou termomechanickou soustavu, kdy nedochází k výměně hmotnosti s okolím. Podle prvního zákona termodynamiky je možné změnu vnitřní energie  $\Delta U$  termodynamické soustavy provést převedením (odvedením) tepla  $Q$  nebo vykonáním práce  $A$ . Matematický zápis prvního zákona termodynamiky je:

$$Q = \Delta U + A \quad (2)$$

Druhý zákon termodynamiky udává, jakým směrem probíhají tepelné děje v termodynamické soustavě. Podle druhého zákona termodynamiky teplo nemůže samovolně přecházet z tělesa o teplotě nižší na těleso o teplotě vyšší.

Existují tři způsoby sdílení tepla:

1. Vedení (kondukcí), při němž se teplo šíří pouze v důsledku tepelného pohybu částic hmoty (molekul, atomů a volných elektronů).

2. Prouděním (konvekci), při němž se teplo šíří účinkem tepelné vodivosti a bezprostředního směřování molárních částí prostředí z jedné oblasti prostoru do druhé (například nastává v pohybujících se kapalinách nebo plynech).
3. Sáláním (radiací), při němž se teplo přenáší z jednoho tělesa na druhé účinkem elektromagnetického vlnění mezilehlým prostředím, jímž může tepelné záření procházet. Může se šířit vakuem na rozdíl od předchozích způsobů sdílení tepla. [8]

## 2.5 Sdílení tepla vedením

Základní teorie vedení tepla popisuje Fourierův zákon:

$$\frac{dQ}{dt} = \phi = -\lambda \cdot S \cdot \text{grad}T \quad (3)$$

Kde  $\phi$  je tepelný tok  $[W]$ ,  $\lambda$  je měrná tepelná kapacita  $[J.kg^{-1}.K^{-1}]$ ,  $S$  je plocha kolmá ke směru tepelného toku  $[m^2]$  a  $-\text{grad} T$  je teplotní gradient  $[K.m^{-1}]$ , který je záporný, jelikož teplota ve směru toku klesá.

Vedení tepla jednoduchou rovinou stěnou neproměnného průřezu  $S$  a tloušťkou  $\delta$  je popsáno rovnicí (4)

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot S \cdot (T_1 - T_2) \quad (4)$$

## 2.6 Sdílení tepla prouděním

Teplo se sdílí pohybem makroskopických částic látky a to pouze u kapalin a plynů. V praxi se nejčastěji vyskytuje přestup tepla ze stěny do tekutiny nebo naopak. Tepelný tok lze vyjádřit vztahem (5)

$$\frac{dQ}{dt} = \phi = \alpha \cdot S \cdot (T_1 - T_2) \quad (5)$$

Kde  $\alpha$  je součinitel přestupu tepla  $[W.m^{-2}.K^{-1}]$ ,  $S$  je plocha kolmá ke směru tepelného toku  $[m^2]$ . Pokud má kapalina teplotu  $T_1$  a přiléhající stěna teplotu  $T_2$  pak výše uvedený vztah udává množství tepla, které projde z kapaliny do stěny za jednotku času.

Prostup tepla stěnou složenou z přiléhajících vrstev, které jsou omývány z obou stran kapalinou, lze popsat vztahem (6)

$$\frac{dQ}{dt} = \phi = k_s \cdot S \cdot (T_1 - T_2) \quad (6)$$

Kde  $T_1$  a  $T_2$  jsou teploty teplejší a chladnější kapaliny a  $k_s$ , je součinitel prostupu tepla rovinou stěnou, která se dá vyjádřit následujícím vztahem (7).

$$k_s = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (7)$$

Kde  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  jsou součinitelé přestupu tepla teplejší a chladnější strany stěny,  $\delta_i$  je tloušťka  $i$ -té vrstvy stěny a  $\lambda_i$  je měrná tepelná vodivost  $i$ -té vrstvy stěny. [8] [9]

## 2.7 Sdílení tepla sáláním

Velikost energie za jednotku času, která je tělesem vyzářena do okolí, lze vyjádřit vzorcem:

$$\phi = \sigma \cdot S \cdot T^4 \quad (8)$$

Kde  $T$  je absolutní teplota tělesa [K],  $S$  je plocha tělesa [ $m^2$ ] a  $\sigma$  je Stefan-Boltzmanova konstanta sálání [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ ]. [8]

## 2.8 Úspora teplé užitkové vody a vody všeobecně

Spotřeba energie pro přípravu teplé užitkové vody činí přibližně 25 % z celkové spotřeby energie české domácnosti. Šetrné zacházení s teplou vodou může tedy přinést výrazné úspory energie a i vody. Ušetřit lze správně nastavenou teplotou vody ohříváče. Za optimální považujeme teplotu 55 °C.

Při ohřevu vody v ohříváči dochází ke zvětšování jejího objemu, což se projevuje kapajícím pojistným ventilem (jeho správná funkce). Takto nám může uniknout až 1 % z nahřívání objemu. Instalací expanzní nádoby lze odstranit problém kapajícího pojistného ventilu a zároveň je možné šetřit s vodou. Úspory budou vyšší při častějších a větších odběrech. Důležitá je vzdálenost odběrného místa od ohříváče vody. Tepelné ztráty výrazně narůstají při vzdálenosti 2m a více. Nutné je věnovat pozornost dobré izolaci trubek (zde opravdu platí – čím více, tím lépe).

Pákové baterie, které zkracují dobu potřebnou k nastavení požadované teploty vody, jsou přibližně o 40 % úspornější než normální baterie (při spotřebě energie pro ohřev teplé vody), nehledě na úsporu vody samotné. Úspory lze zvýšit pomocí termostatické baterie. U tohoto typu baterií je možné nastavit požadovanou teplotu vody. Baterie automaticky míchá teplou a studenou vodu. V porovnání s pákovými bateriemi ušetří termostatické baterie až 50 % vody.

V šetření s vodou pomáhají také tzv. perlátory, ve kterých je voda tekoucí z kohoutku promíchána se vzduchem a dochází k omezení spotřeby vody. [10]

### 3 Měření na ohřivači

Cílem této bakalářské práce je navržení technologických změn konstrukce v ohřivačích vody, které vylepší funkci ohřevu, anebo zlepši tepelné ztráty za účelem úspory energie. Bylo tedy nutné vybraný ohřivač podrobit důkladnému zkoumání. Postup měření bude dále rozepsán v následujících podkapitolách.

#### 3.1 Příprava k měření

Jedním z prvotních nápadů bylo využití teplotních čidel přímo v ohřivači vody. Tyto čidla by však musely být opatřeny ochranou proti vniknutí vody. Vzhledem k proudění vody, tedy stoupání teplé a vzestup studené by docházelo k velmi nepřesnému měření.

Po zvážení, jak nejpřesněji analyzovat ohřev a chladnutí v nádobě ohřivače vody, bylo vybráno řešení s měřením teploty na vnější straně nádoby. Problémem však byl přesun tepla skrz nádobu, který by mohl ovlivňovat průběh měření.

Před zaizolováním vnitřní nádoby do polyuretanové pěny byla nádoba ohřivače OKCE 100 oblepena nalepovacími termočládky. Tyto kalibrované termočládky SA1XL – K – 120 - SRTC od americké firmy OMEGA [11] byly vlepeny rovnoměrně v jedné rovině od spodní části nádoby po vrchní. Nalepené termočládky na ohřivači lze vidět na obrázku 2 a 3. Poté bylo možné měřením zjistit změny teplot v různých výškách nádoby.



Obrázek 2 - Nalepení termočládků na nádobu I



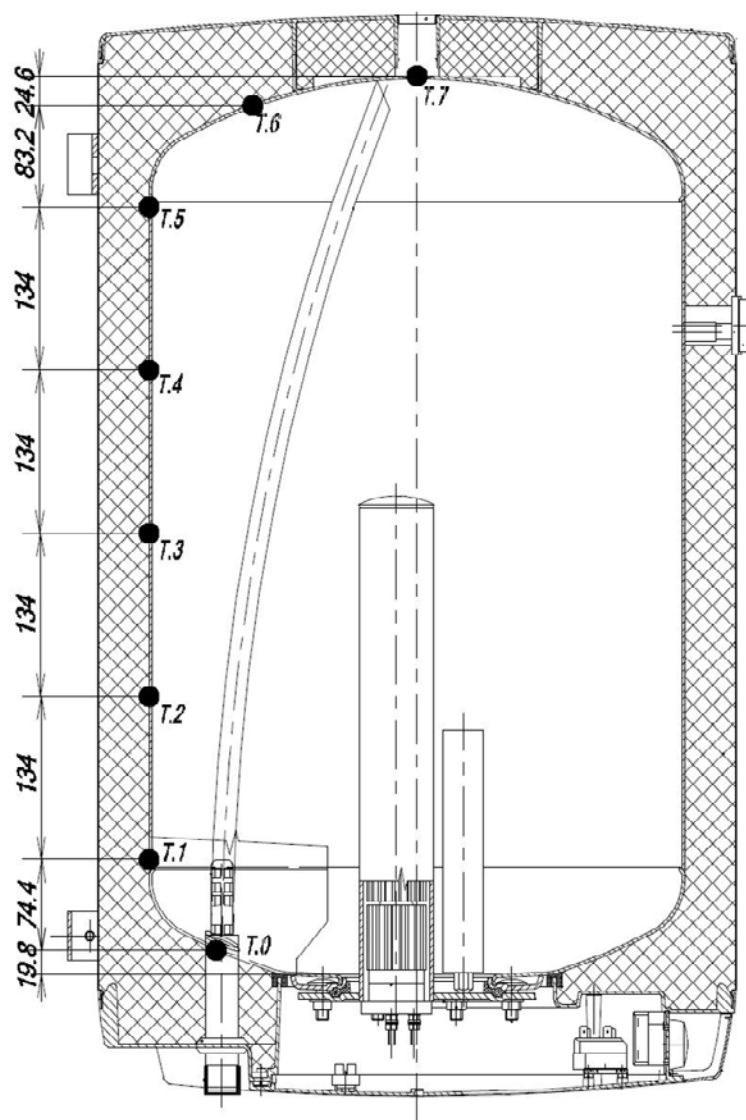
**Obrázek 3 - Nalepení termočlánků na nádobu II**

Celkem 8ks termočlánků jsem po nalepení zabezpečil lepicí páskou, aby v průběhu manipulace po výrobní lince a v procesu vypěnění nedošlo k jejich poškození či posunutí. Tento krok lze pozorovat na obrázku 4. Druhé konce termočlánků jsem vyvedl u příruby pro topné těleso, kde je možné jejich následné vyústění skrz průchodku pro přívod přívodního kabelu.



**Obrázek 4 - ochrana před vypěněním**

Po vypěnění a dokompletování celého ohřívače včetně elektrické části bylo možné přejít k samotnému testování a zkoumání teplot ve zkušebně DZ Dražice. Pro přehled nalepených termočlánků v jednotlivých vrstvách byl upraven výkres sestavy ohřívače vody OKCE 100, do kterého bylo přidáno umístění termočlánků včetně kót a popisků. Tento výkres lze vidět na obrázku 5.



Obrázek 5 – Výkres Řezu ohřivače s termočlánky

### 3.2 Měřící stanoviště

Tato kapitola bude popisovat samotné provedené měření ohřivače vody v laboratoři. V laboratoři byla k dispozici měřící a záznamová ústředna MS55D firmy Comet system s.r.o. Tyto záznamové ústředny jsou určeny pro měření, záznam, vyhodnocení a následné zpracování vstupních elektrických veličin, které podléhají relativně pomalým změnám ( $>1s$ ). Ve spojení s patřičnými snímači a převodníky jsou vhodné pro monitoring fyzikálních veličin. Zařízení obsahuje kalibrační list od výrobce s deklarovanými metrologickými návaznostmi etalonů a vychází z požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025. Kalibrační list je vždy dle osazených modulů. [12]

Testovaný ohřivač byl zavěšen na ocelový stojan určený k měření závěsných ohřivačů vody. Následně bylo zapojeno všech osm termočlánků do ústředny a byla vyzkoušena jejich funkce.



Pro kontrolu výstupní teploty vody z ohřívače bylo připojeno další čidlo. Do vstupů ústředny byl zapojen také snímač *TO220*, také od firmy *Comet s.r.o.*, který umí snímat relativní prostorovou teplotu a vlhkost okolního vzduchu. Do dalšího volného vstupu záznamové ústředny byl zapojen elektroměr, respektive pulsy z třífázového elektroměru (*3F DTS-353-L 80A 4M*). Elektroměr dodává ústředně informaci o dodané energii spotřebované elektrickým tělesem. V softwaru dodávanému k ústředně byly zapnuty a nastaveny všechny popisované vstupy a frekvence odečítání hodnot byla nastavena na 1 vteřinu. Program pracuje záznamově, ale dokáže vykreslovat graf v reálném čase a je tedy vhodný na pozorování aktuálních změn všech zapojených vstupních veličin.

Ohřívač byl zapojen do klasického obvodu pro ohřev TUV, včetně pojistného přetlakového ventilu na vstupu studené vody. Ten v průběhu ohřevu vody odkapává, protože tlak vody by v nádobě ohřevem neustále rostl. Zapojení ohřívače vody je zobrazeno na obrázku 6.



**Obrázek 6 - Zapojení ohřívače OKCE 100 v laboratoři DZD**

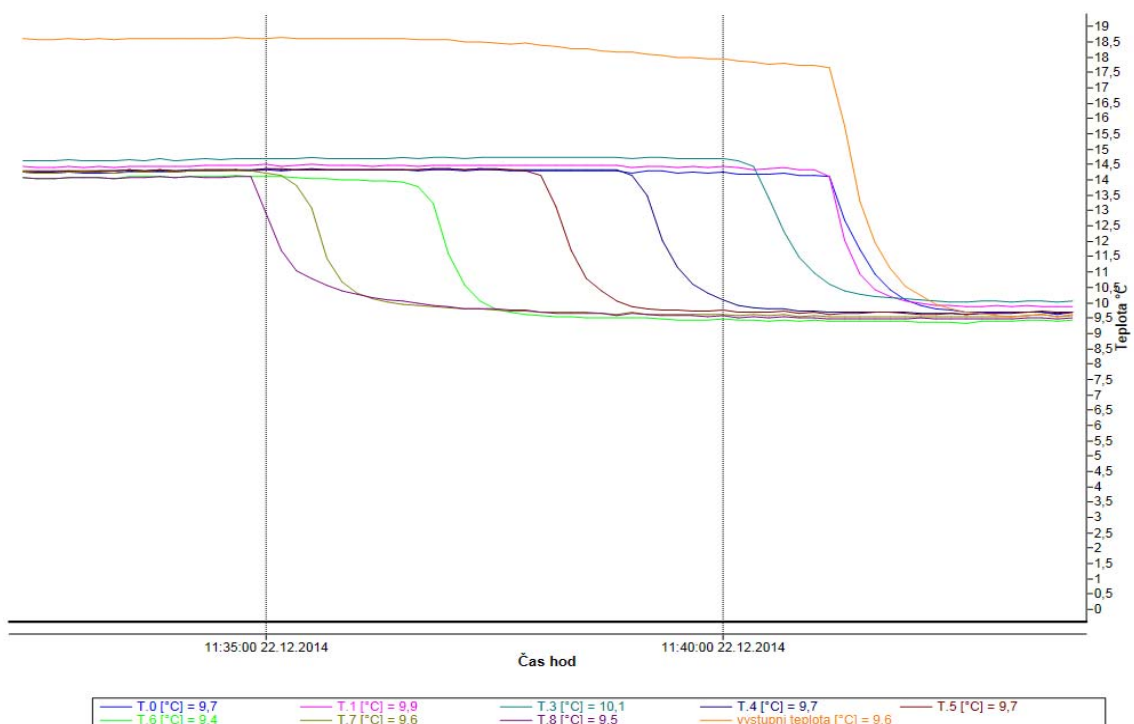
Tímto byly přípravy hotové a mohlo dojít k prvním testům, tedy napuštění ohřívače studenou vodou z vodovodního řádu.



### 3.3 Napuštění zásobníku

Při napouštění zásobníku lze pozorovat první změny teplot na různých vrstvách zásobníku. V legendě pod obrázkem 7 jsou zaznamenány všechny výše popisované vstupní veličiny. Teplota a vlhkost okolí jsou pro tuto část napouštění nezajímavé, proto jsou skryty. Místo nich lze vidět detail změn teplot, v době kdy se voda v ohřivači dostávala na úroveň jednotlivých termočlánků. Vstupní přítok vody byl po celou dobu  $1\text{ l}/\text{min}$  o konstantní teplotě  $10^\circ\text{C}$ , což odpovídá teplotě na konci měřeného záznamu.

Na začátku měření je z obrázku 7 možné vypočítat teplotu termočlánků pohybující se kolem  $14^\circ\text{C}$ . To odpovídá tomu, že byl ohřivač před měřením v chladném prostředí. Oranžově označená výstupní teplota pak ukazuje teplotu potrubí (téměř teplota okolí ve zkušebně) na začátku měření. Dále lze z obrázku grafu sledovat postupné pomalé ochlazování proudícím studeným vzduchem z ohřivače a poté rychlou změnou teploty v době, kdy byl ohřivač plně napuštěn.



Obrázek 7 - Graf teplot při napouštění ohřivače

Ohřivač nikde netekl, po uzavření ventilu u výstupu teplé vody držel stabilní tlak a všechny termočlánky ukazovaly logicky hodnoty, které by ve skutečnosti měly mít. Bylo tedy možné přejít k ohřevu vody a dalšímu zkoumání změn teplot v jednotlivých vrstvách.

### 3.4 První ohřev vody v zásobníku a ustálení teplot

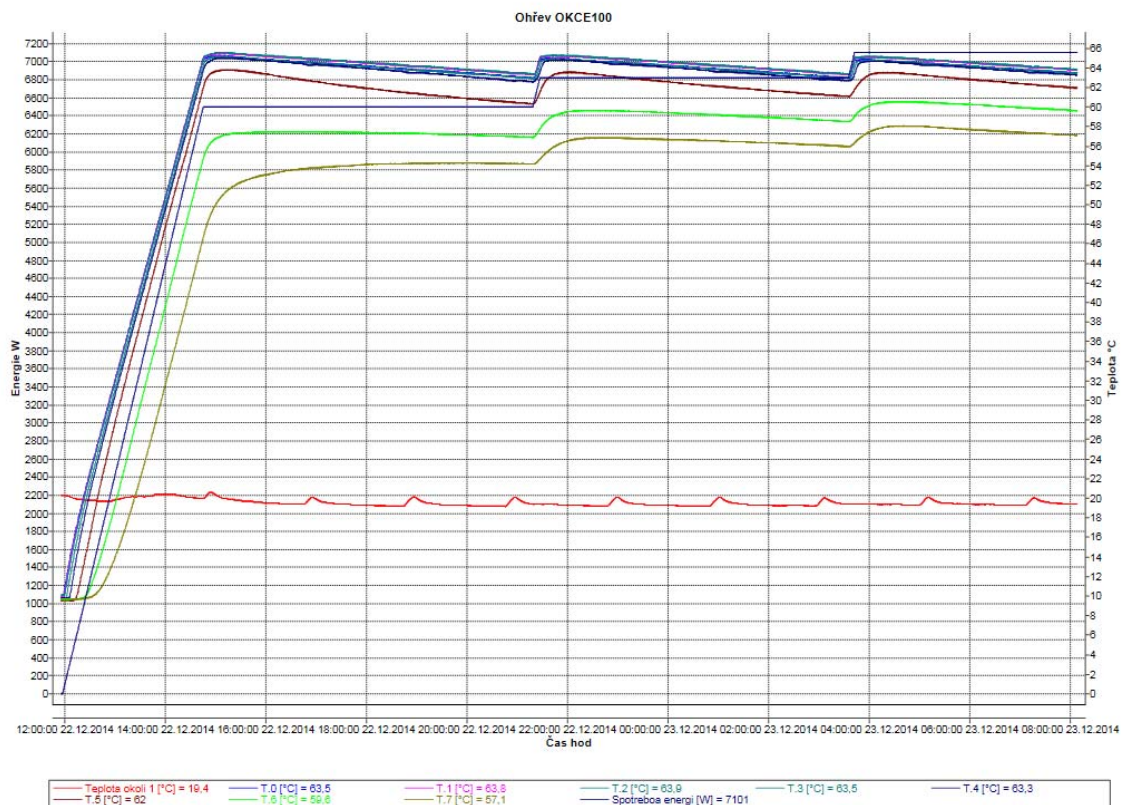
V následujících grafech je vždy na vodorovné ose čas  $t$  [hod datum]. Na svislých osách po levé straně Energie  $E$  [W] a po pravé teplota  $T$  [°C]. Obrázek 8 ukazuje na záznam hodnot při prvním ohřevu vody v zásobníkovém ohřivači OKCE 100.

Na začátku tohoto měření byla teplota vody v ohřivači ve všech vrstvách  $10^\circ\text{C}$ . Přibližně v čase  $12:00:00$  byl spuštěn ohřev přivedením elektrické energie na topné těleso. Čítač přidané energie začal ihned reagovat, což lze vidět na tmavě modré

vzrůstající křivce, která začíná na nulové hodnotě s hodnotami na levé svislé ose. Energie stoupá až do hodnoty přibližně  $6500W$ , kdy zareagoval softwarově nastavený termostat na teplotu  $65^{\circ}C$ . Pro termočlánek  $T.0$  tedy teplota na vrchlíku ohřívače (popsáno v přípravě měření). Ohřev byl opět spuštěn po vychladnutí vody v místě vrchlíku ( $T.0$ ) na teplotu  $63^{\circ}C$ . Hystereze softwarového termostatu byla nastavena na  $2^{\circ}C$ . V tomto záznamu hodnot je možné pozorovat dva cykly spínání softwarového termostatu.

Z obrázku 8 je dále možné pozorovat následující změny teplot:

- 1) Ohřev vody je ze začátku rovnoměrný ve všech vrstvách, kromě poslední ( $T.7$ )
- 2) Teplota ve spodní vrstvě reaguje zpožděně
- 3) V době kdy byl ohřev vody vypnut, teplota ve spodní části stále rostla
- 4) V cyklech ohřevu je vidět ustálení teplot, ke kterému dochází postupně
- 5) Teplota okolí označená červeně reaguje na spínání klimatizace ve zkušebně



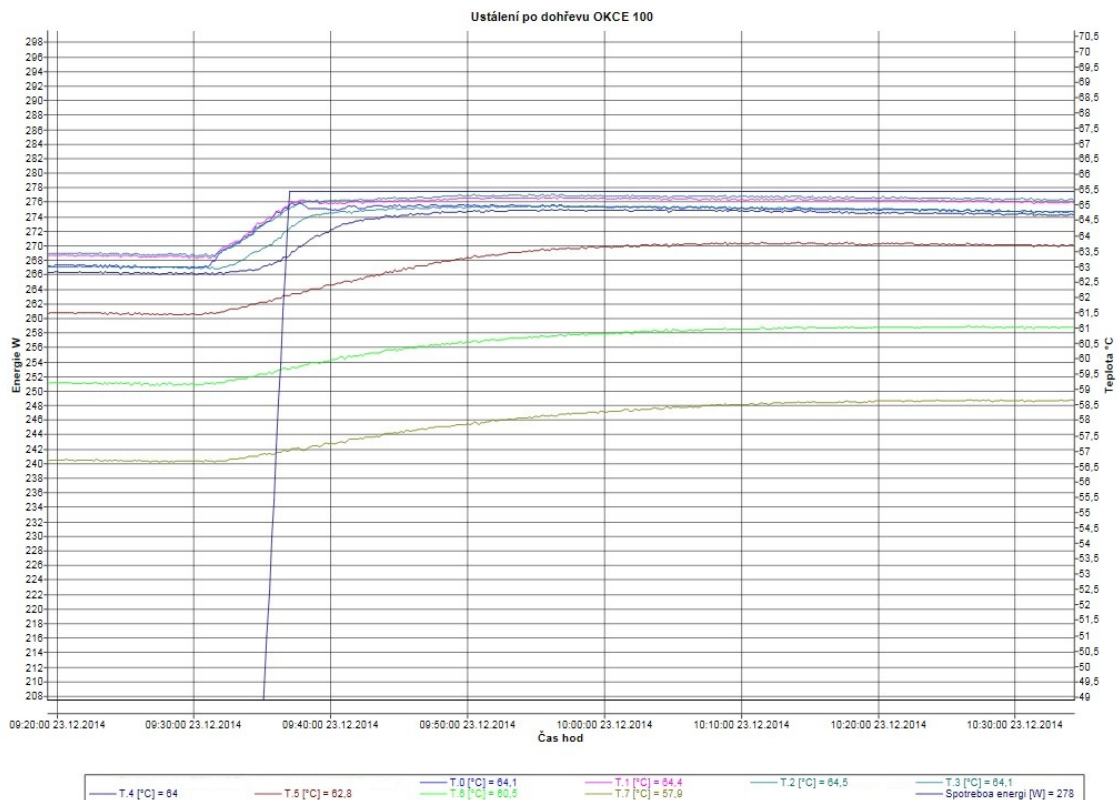
**Obrázek 8 - Ohřev vody v OKCE 100**

Následující obrázek 9 ukazuje na detail změn během a po třetím sepnutí topného tělesa. Lze opět pozorovat opožděný ohřev ve spodních vrstvách a to již od termočláneku ( $T.1$ ). V nižších vrstvách je opoždění daleko znatelnější. V ustáleném stavu se pak teploty vody v ohřívači pohybují v rozmezí od  $58,5^{\circ}C$  do  $65^{\circ}C$ , což je relativně velký rozdíl způsobený fyzikálními vlastnostmi vody. Teplá voda stoupá vzhůru a studená klesá dolů (viz kapitola termodynamiky v tepelných ztrátách).

Ze záznamu na obrázku 9 je také patrné, že v době ohřevu i v době chladnutí probíhají stále změny teploty a tepelné výměny probíhají v každé vrstvě odlišně. Tyto jevy je téměř nemožné popsat jednoduchou matematikou. Neustálé změny teplot nejsou pouze v jednotlivých vrstvách ohřívače vody (termočláneky  $T.0 - T.7$ ), ale probíhají

v každé molekule vody, které se neustále mísí a ovlivňují sami sebe. Toto proudění tepla vzniká pohybem tekutiny a je vyvoláno vztahem v důsledku změny hustoty tekutiny při jejím ohřevu nebo chladnutí. V matematickém modelu, který je součástí této bakalářské práce byl tento jev sdílení tepla prouděním zanedbán.

Teplu se nešíří pouze v nádobě, dostává se skrz nádobu k polyuretanové izolaci a následně do okolního prostředí. Proudění tepla, které projde látkou z jednoho povrchu na druhý při určitém teplotním spádu. Toto vedení tepla probíhá do všech směrů, což je pro matematický model složitě definovatelné. Matematický model bude v rámci zjednodušení předpokládat pouze stacionární vedení tepla v jednom směru. Teplotou okolí je po celou dobu měření hlídána klimatizační jednotkou na teplotu kolem  $20^{\circ}\text{C}$ .

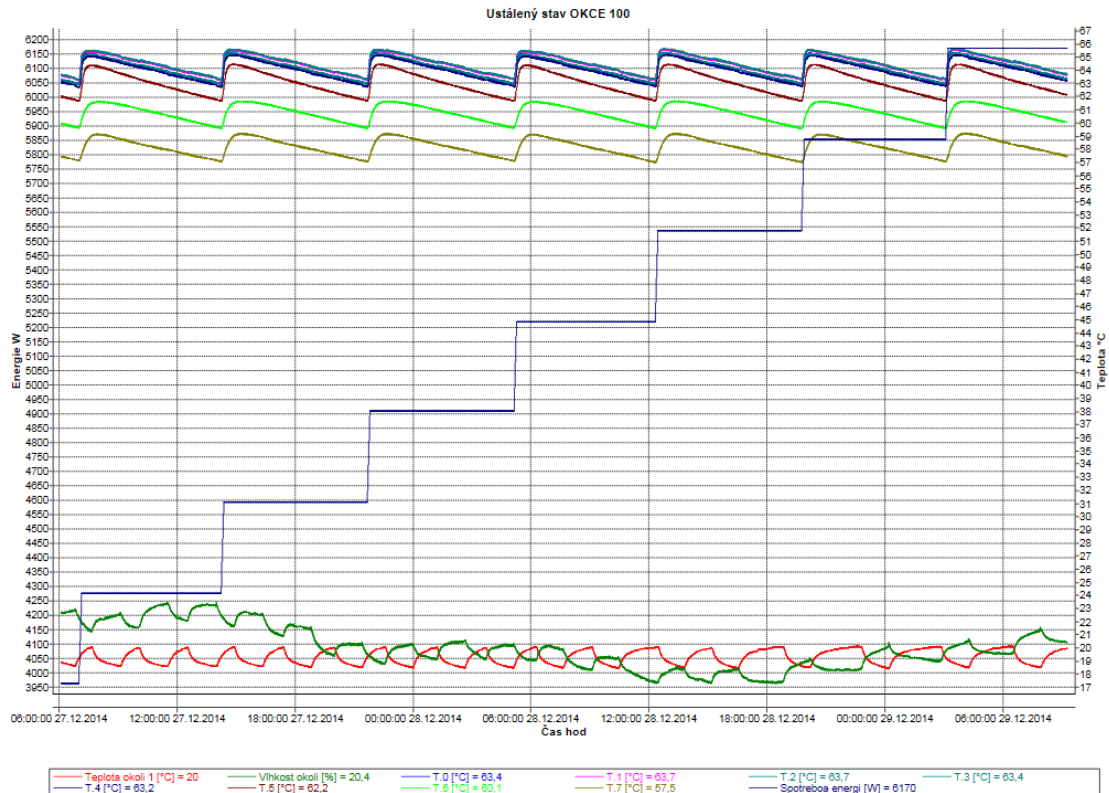


Obrázek 9 - Ustálení teplot po čtvrtém cyklu ohřevu

### 3.5 Měření tepelných ztrát ohřivače OKCE 100

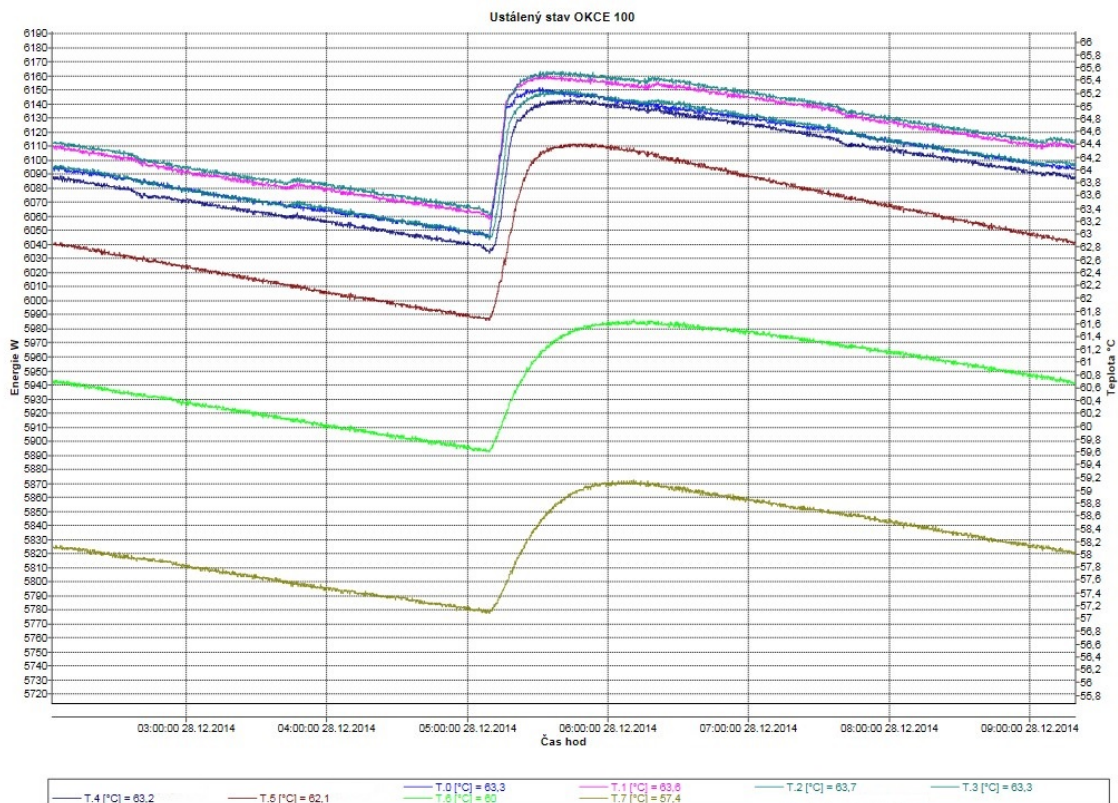
Podle české technické normy ČSN EN 12897 – *Zásobování vodou – Nepřímo ohřívání uzavřené zásobníkové ohřivače vody* byly naměřeny a vypočítány tepelné ztráty zkoumaného ohřivače OKCE 100. Tepelná ztráta je definovaná jako energie, která je z ohřivače vody vyzářena do okolí za 24hodin. Udává se tedy ve  $Wh/24hod$ . V době měření je teplota okolí udržována na stabilní teplotě  $20^{\circ}\text{C}$ . V případě provedení měření byla teplota udržována klimatizační jednotkou. Teplota v ohřivači byla po celou dobu zkoušky hlídána softwarovým termostatem definovaným k termočlátku  $T.0$  na referenční teplotu  $65^{\circ}\text{C}$  s hysterezí  $2^{\circ}\text{C}$ . Průběh po stabilizaci teplot v jednotlivých vrstvách (viz ustálení teplot) je možné sledovat na následujícím záznamu obrázku 10. V legendě tohoto záznamu jsou přidány všechny termočlánky jednotlivých vrstev ( $T.0 - T.7$ ), teplota a vlhkost okolí, a také čítač spotřeby elektrické energie.

Pravidelné poklesy teplot v jednotlivých vrstvách, které znázorňují vyzářené teplo z ohřívače do okolí, jsou pravidelně střídány nárůstem tepla dodaným elektrickým topným tělesem. Z dvoudenního záznamu hodnot lze odečíst všechny hodnoty k získání hodnoty tepelné ztráty.



Obrázek 10 - Záznam pro výpočet tepelných ztrát





**Obrázek 11 - Přibližný dohřev**

Na obrázku 11 je záznam hodnot v době, kdy se teplota na termočlátku  $T.0$  dostala pod hranici  $63^{\circ}\text{C}$ . V tento moment byl sepnut přívod elektrické energie do topného tělesa, které dodalo energii do ohřívače vody, což se projevilo na následné vzrůstající teplotě. V době, kdy teplota na termočlátku dosáhla hodnoty  $65^{\circ}\text{C}$  byl přívod elektrické energie do topného tělesa odpojen.

Pro výpočet tepelných ztrát byly použity hodnoty od 27.12.2014 21:48:49 do 29.12.2014 3:13:39 a tyto data byly zpracovány do tabulky naměřených hodnot (obrázek 12). V tabulce na obrázku 12 jsou zobrazeny všechny termočlánky a jejich minimální, maximální a průměrná naměřená teplota. Průměr je aritmetický, udávaný z počtu vzorků, které jsou také zaznamenány v tomto obrázku tabulky.

Hodnota spotřebované energie byla 27.12.2014 21:48:49 rovna  $4905\text{W}$  a na konci zkoušky 29.12.2014 3:13:39  $6160\text{W}$ . Celkem bylo tedy dodáno do ohřívače v době tohoto testování  $1255\text{W}$ . Po přepočtu na dodanou energii za 24hodin vyjde  $E = 1,024\text{ kWh}/24\text{h}$ .

Jméno ústředny: DataLogger Výrobní číslo: 12550037 Typ: MS55D  Soubor: C:\Users\zkusebna\Documents\CometLoggers\MSPlus\DataLogger\bakalářka OKCE 100\ustálení.msx Interval: od 27.12.2014 21:48:49 do 29.12.2014 3:13:39					
Kanál	Minimum	Maximum	Průměr	Směrodatná odchylka	Počet vzorků
Teplota okolí 1 [°C]	18.4	20.1	19.4	0.6	11401
Vlhkost okolí [%]	17.3	20.5	18.4	0.8	11401
T.0 [°C]	62.9	65.3	64.1	0.7	28502
T.1 [°C]	63.2	65.6	64.4	0.7	28502
T.2 [°C]	63.3	65.7	64.5	0.7	28502
T.3 [°C]	62.9	65.4	64.1	0.7	28502
T.4 [°C]	62.8	65.2	64.0	0.7	28502
T.5 [°C]	61.6	64.5	63.0	0.9	28502
T.6 [°C]	59.5	61.7	60.7	0.7	28502
T.7 [°C]	57.0	59.2	58.1	0.7	28440
vystupni teplota [°C]	16.4	18.4	17.5	0.6	28502
Spotreboa energi [W]	0	5	0	1	11401
Prutokomer [l]	0.0	0.0	0.0	0.0	56940

Obrázek 12 - Naměřené hodnoty

### 3.6 Výpočet tepelné ztráty ohříváče vody OKCE100 podle ČSN EN 12897

Tepelná ztráta

$$Q_{st} = E \left( \frac{45}{T_W - T_A} \right) \quad (9)$$

Kde:

$E = 1,024 \text{ kWh/24h}$

energie spotřebovaná za 24 h, v kWh

$T_W = 64,1^\circ\text{C}$

střední teplota horké vody v průběhu 24h zkušební periody, v °C

$T_A = 19,4^\circ\text{C}$

střední teplota okolního prostředí v průběhu 24h zkušební periody, v °C

Výpočet tepelné ztráty podle vzorce (9) z ČSN EN 12897

$$Q_{st} = 1,024 \left( \frac{45}{64,1 - 19,4} \right)$$

$$Q_{st} = 1,03 \text{ kWh/24h}$$

[7]

Celková tepelná ztráta elektrického ohříváče OKCE 100 je **1,03 kWh/24h**.

Vypracovaný protokol o zkoušce je přiložen v příloze B.

### 3.7 Termosnímky z průběhu zkoušky

Při předchozím testování byl ohřívač vody OKCE 100 sledován také pomocí termokamery. Díky termokameře bylo možné prověřit a odhalit úniky tepla zkoumaného ohřívače. K měření byla použita termokamer typu *Fluke Ti105*, -20 až +250 °C, 160 x 120 px s bolometrickou maticí. Nejzajímavější termosnímky s největšími tepelnými mosty byly v softwaru Fluke SmartView IR analyzovány. Byly přiřazeny významné body s označením teploty v °C a převedeny do formátu obrázku s koncovkou \*.jpg. [13]

Na obrázcích níže jsou vidět největší tepelné mosty, které termokamera ukázala. Na obrázku 13 a 14 je možné vidět závěs ohřívače vody, který ovlivňuje tepelné ztráty. Vysoká teplota, kterou poukazuje oranžová až červená barva na termosnímku ukazuje na teplo, které uniká z vnitřní nádoby do pláště ohřívače a samotného závěsu.

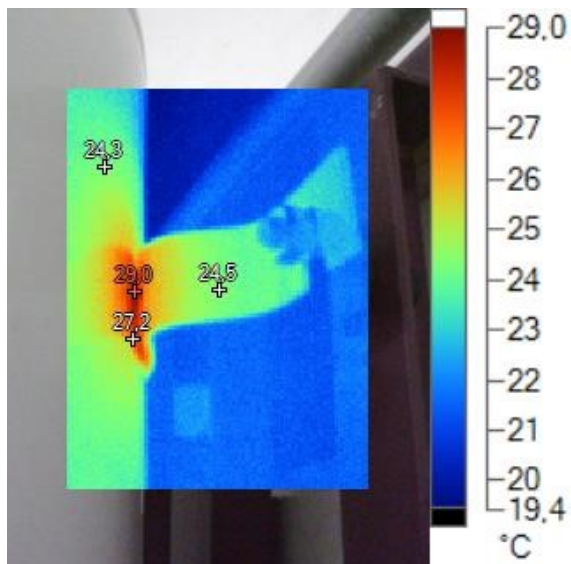
Závěs je uchycen šrouby propojenými přímo s vnitřní nádobou, proto je tedy spoj pouze železo a železo. Velký únik tepla je v tomto případě pochopitelný.

Na obrázku 16 je termosnímek zobrazující vrchní plastové víko ohřívače. Kruh o teplotě okolo 25°C, který je na termosnímku zřetelný, ukazuje na lehký únik tepla. Tento únik je dán polystyrénovým kroužkem, který v ohřívači při výrobě slouží jako ustavení před vypěněním polyuretanovou pěnou. Kroužek má uprostřed otvor, kterým je usazen do plastového víka. Tento otvor je na termosnímku také zřetelný s unikem tepla o teplotě kolem 28°C. Také je možné vidět přechod mezi polystyrénovým kroužkem a polyuretanem, kde se teplota dostala k hodnotě 23,7°C. Vzhledem k tomu, že teplo vstoupá vzhůru, bude mít tento tepelný most velký vliv na tepelné ztráty.

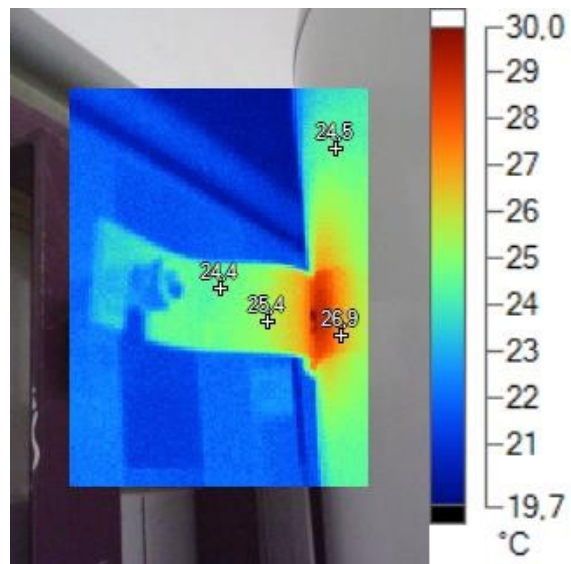
Na dalších obrázcích 16 až 18 jsou vidět tepelné mosty u indikátoru teploty a u zavřených a otevřených dvířek ovládacího ohřívače vody.

Na obrázku 17 je možné sledovat termosnímek pořízený ze spodní části ohřívače. Je na něm vidět vyšší teplota krytu elektroinstalace, která je dána nezaizolovanou vzduchovou kapsou. V této kapse je umístěna veškerá elektronika včetně topného keramického tělesa. V průměru je teplota krytu elektroinstalace 29,6°C. Další únik tepla je pozorovatelný na vodovodní instalaci, kde se na teplé (výstupní) hadici vyšplhala teplota až na 40,5°C.

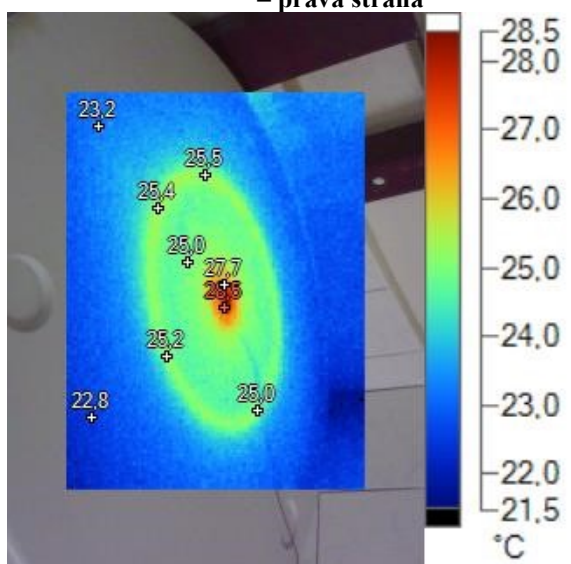
Všechny tyto tepelné mosty vyzařují určitou část tepla z ohřívače do okolí. Pro nejlepší výsledky tepelných ztrát by bylo nejlepší se všech těchto tepelných mostů zbavit, nebo je alespoň snížit, tak aby vyzařovaly co nejméně tepla.



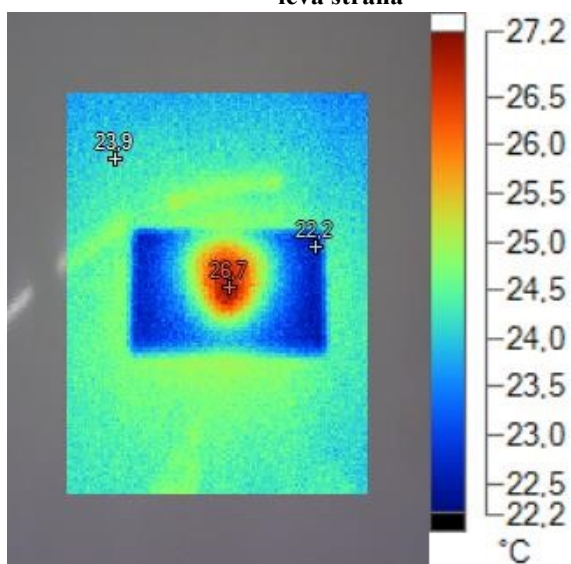
Obrázek 13 - Termosnímek závěsu ohřívače – pravá strana



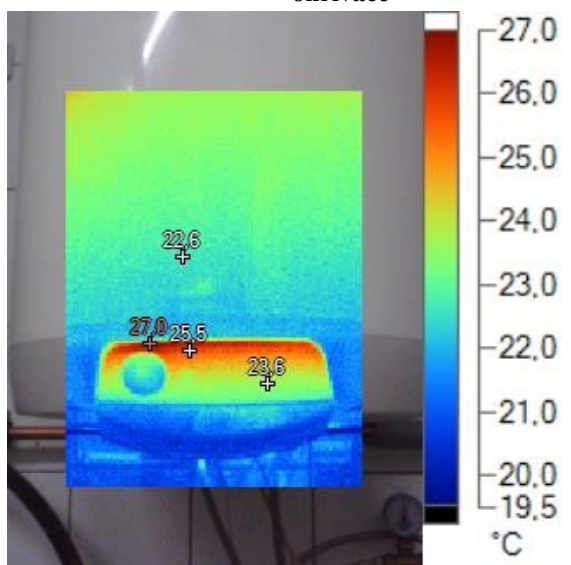
Obrázek 14 - Termosnímek závěsu ohřívače - levá strana



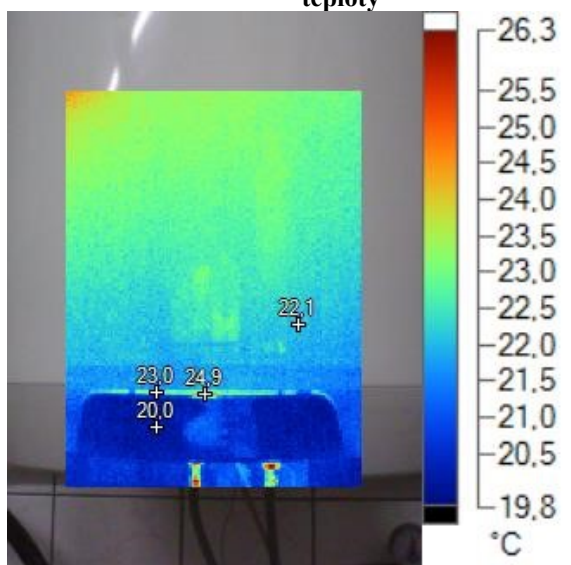
Obrázek 15 - Termosnímek horní části ohřívače



Obrázek 16 - Termosnímek indikátoru teploty

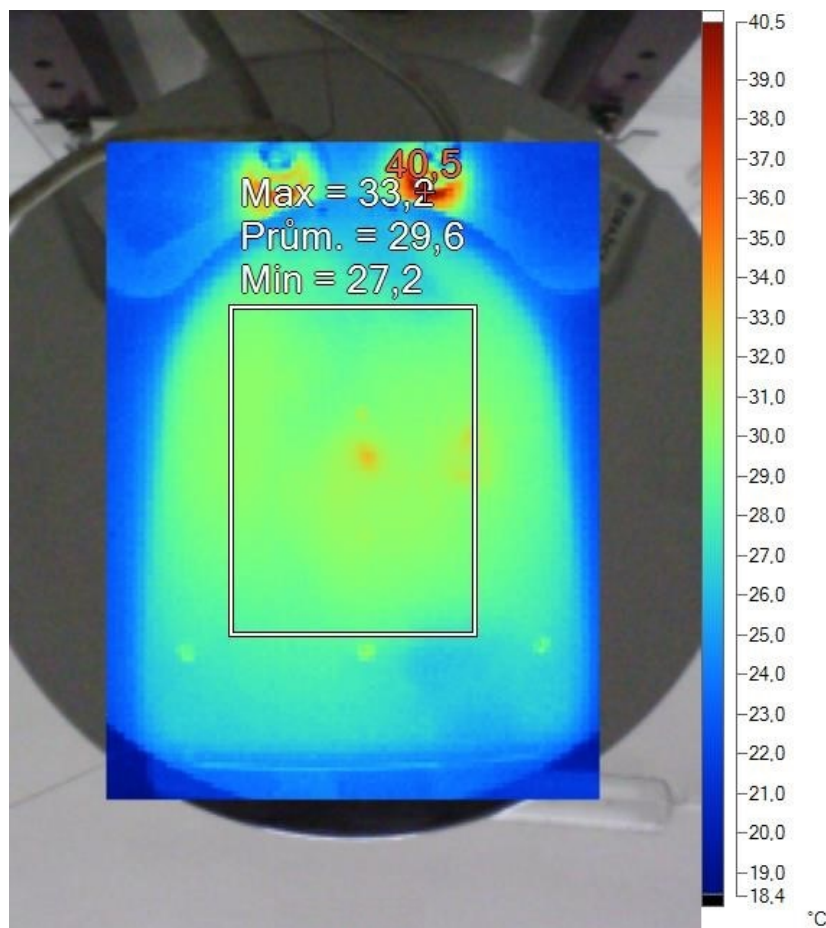


Obrázek 17 - Termosnímek otevřených dveří ohřívače



Obrázek 18 - Termosnímek zavřených dveří ohřívače





Obrázek 19 - Termosnímek spodní části ohřivače

### 3.8 Zhodnocení měření

Při zkoumání změn teplot v ohřivači vody bylo zjištěno několik zásadních faktorů, které ovlivňují průběhy tepelných procesů. Vrstvení teplé vody je znatelné i po ustálení, tedy po několika cyklech ohřátí. Ve vrchní vrstvě je teplota vždy v průměru o 6°C vyšší než v první nejspodnější vrstvě.

Teplota ve spodních vrstvách i po rozepnutí přívodu elektřiny do topného tělesa stále roste. To je dané setrvačností keramického tělesa, které je rozžhavené ještě více jak hodinu po vypnutí ohřevu.

Měření pomocí termočlánků nalepených na nádobě není nejpřesnější metodou, ale pro účely tohoto výzkumu je dostačující. Termosnímky ukázaly nejslabší místa tepelné izolace u ohřivače, které ovlivňují celkové tepelné ztráty.

Celkové tepelné ztráty po vypočítání dle přiložené části normy ČSN EN 18679 v příloze A, vychází na **1,03 kWh/24h**.

## 4 Simulace ohřevu vody v OKCE 100

### 4.1 Příprava na simulaci

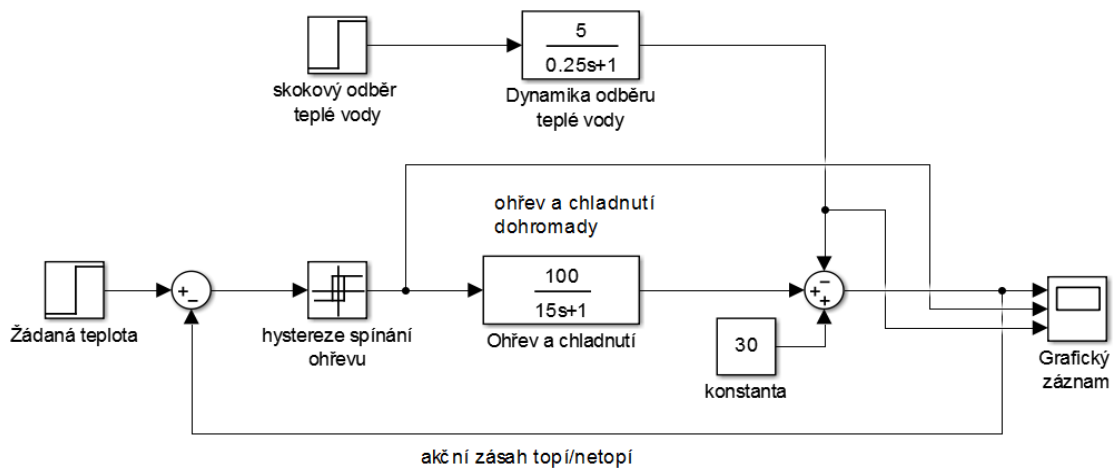
V této části práce se bude využívat všech předešlých základních znalostí z teoretického výkladu i ze zkoumání naměřených hodnot po měření v laboratoři. Pro vytvoření matematického modelu byla použita studentská verze programu *Matlab Simulink* s knihovnamí pro modelování termoregulačních soustav *Simscape* ve verzi pro studentské účely. Pro vytvoření matematického modelu je důležité nejen sestavení samotného blokového schéma modelu, ale také správné nastavení parametrů, které ovlivňují veškeré matematické operace. Použité parametry jsou zaznamenány v tabulce 3. [5] [9]

**Tabulka 3 - Parametry ohříváče vody OKCE 100**

Výkon topného tělesa	2000W
Objem zásobníku	100l
Průměr nádoby	440mm
Výška nádoby	761mm
Plocha dna nádoby	125mm
Počáteční teplota vody v zásobníku	20°C
Teplota studené vody	10°C
Referenční teplota horké vody	65°C
Teplota okolního vzduchu	20°C
Měrná tepelná kapacita vody	4180 J/kg/K
Měrná tepelná kapacita železa	450 J/kg/K
Měrná tepelná kapacita vzduchu	1003 J/kg/K
Tloušťka tepelné izolace	55mm
Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,035W/mK
Součinitel tepelné vodivosti vody	0,6W/mK
Součinitel tepelné vodivosti železa	80,2W/mK

### 4.2 Základní model regulačního obvodu

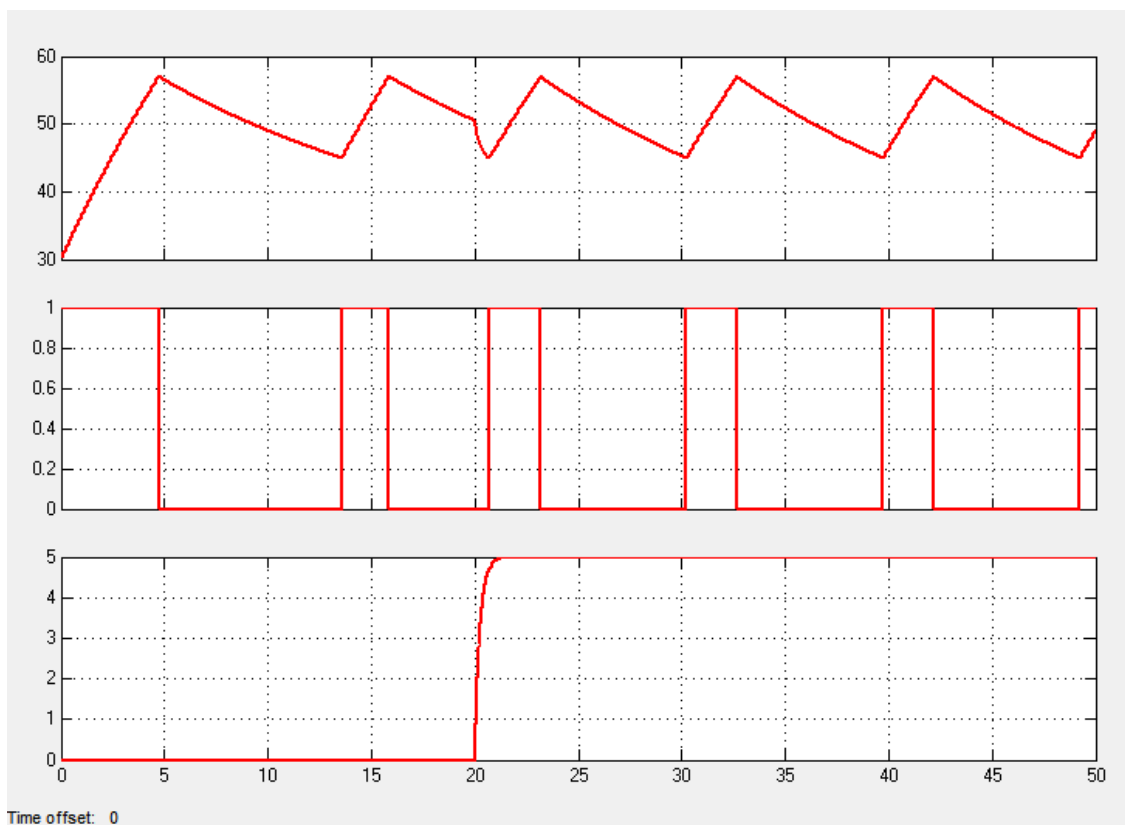
Regulátor v matematickém modelu provádí regulaci pomocí akčních veličin působící na regulovanou soustavu tak, aby se regulované veličiny udržovaly na předepsaných hodnotách. Regulační odchylka by se měla blížit k nule. Základní regulační obvod je schématicky znázorněn na obrázku 22. Skládá se z regulované soustavy a regulátoru.



**Obrázek 20 - Základní schéma regulačního obvodu**

Tento regulační obvod používá stejnou dynamiku jak na chlazení, tak i na topení pomocí bloku *Transfer Fcn*. Ovládání regulátoru je závislé na vstupu do bloku *Transfer Fcn*, který nabývá hodnot 0 nebo 1. Tento vstup je definován blokem *Relay*, který hlídá hodnotu teploty vody v ohřívači. Žádaná teplota v bloku *Step* je definovaná na hodnotu 55. K soustavě je dále přidána konstanta blokem *constant* o hodnotě 30, která definuje pokles simulující úniky tepla z ohřívače.

Dále je zde hodnota poklesu teploty simulující odběr vody z ohřívače daná dynamikou, kterou udává *Transfer Fcn1*. Blok *Transfer Fcn1* začne reagovat v čase 20, kdy se skokově změní vstup do tohoto bloku pomocí dalšího bloku *Step1*. Všechny důležité změny jsou zobrazeny v grafech na obrázku 21, udávající blok *Scope*. [14]



Time offset: 0

**Obrázek 21- Výstupy ze základního regulačního obvodu**

První ze tří průběhů na obrázku 21 zobrazuje teplotu vody v ohřívači, která se mění vlivem simulace ohřevu, tepelných ztrát a odběru tepla. Prostřední záznam znázorňuje spínání bloku *Relay*, tedy simulaci spínání topného tělesa. Na posledním záznamu je znázorněna porucha daná blokem *Transfer Fcn1*, kdy v čase 20 bylo odebráno částečné množství tepla, což se projevuje i poklesem hodnoty ve stejné době v prvním záznamu.

Tento jednoduchý regulační obvod je jedna z možností, která umožňuje nejjednodušeji nasimulovat ohřívač vody. U tohoto typu obvodu jsou však zanedbány téměř všechny termodynamické a fyzikální jevy, které provoz u reálného ohřívače vody značně ovlivňují.

Pro získání reálnějších výsledků nestačí základní matematické bloky z knihovny *Matlab simulink*, ale je nutné použít další bloky z knihovny určené přímo pro termoregulaci - *simscape/thermal*. [15]

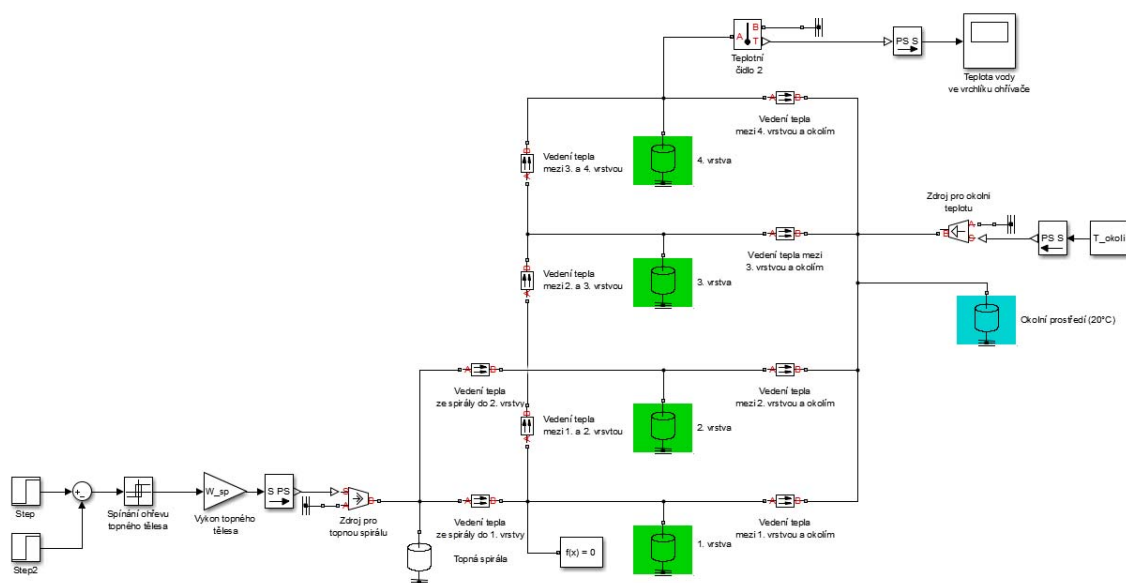
### 4.3 Návrh modelu pro jednotlivé vrstvy teplé vody

Ze zkoumání ohřívače vody v laboratoři DZD bylo zjištěno, jak se mění teplota vody v různých vrstvách ohřívače. Vzhledem k tomu, že bylo nutné se co nejvíce přiblížit reálnému stavu, bylo využito těchto vrstev i v následujícím modelu. Přejechod tepla z jedné vrstvy do druhé je definován blokem vedení tepla vždy směrem do další vrchní vrstvy.

Stejně bloky pro vedení tepla jsou použity i pro vedení tepla z topné spirály do vrstev vody i pro celkové vedení tepla z ohřívače do okolního vzduchu a to ze všech vrstev. Obecně platí, že čím více vrstev v modelu bude, tím lépe. Pro zjednodušení byly použity čtyři vrstvy, přičemž do prvních dvou vrstev zasahuje vedení tepla z topného tělesa. Bloky pro jednotlivé vrstvy jsou propojeny tak, aby odpovídali co nejvíce realitě vedení tepla v ohřívači.

V modelu je zanedbáno proudění a sálání tepla. Zahrnutí těchto faktorů by sice vedlo k přesnějším výsledkům, ale vzhledem k velikosti a obsahu bakalářské práce by byl model příliš složitý. Vedl by k míchání teplé vody v ohřívači k CFD simulacím a dalším složitějším operacím v matematickém modelu.

## 5 Zpracovaný matematický model pro jednorázový ohřev modelu ohřivače OKCE 100

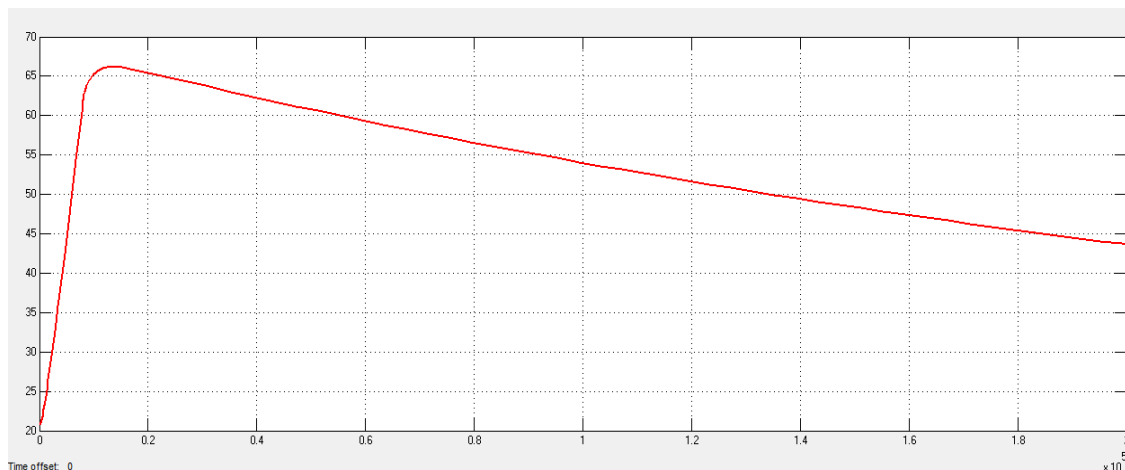


Obrázek 22 - model s bloky *simscape* pro jednorázový ohřev modelu OKCE 100

Na obrázku 22 je zobrazen model, který využívá bloky knihovny *simscape* v *Matlab simulink* a jsou v něm nastaveny parametry, které se dají libovolně měnit pro různé typy a velikosti ohřivačů vody. Základní parametry pro simulaci byly zvoleny podle tabulky 3, která udává hodnoty pro zkoumaný ohřivač OKCE 100.

Ve schématu modelu s bloky *simscape* jsou zeleně označeny jednotlivé bloky vrstev ohřivače vody, v kterých probíhá vedení tepla od spodní první vrstvy směrem vzhůru k horní čtvrté vrstvě. Z každé vrstvy probíhá další vedení tepla směrem ven z ohřivače do okolního prostředí, které má definovanou teplotu  $20^{\circ}\text{C}$ . Další vedení tepla je definované ohřevem topné spirály, tedy konvekcí tepla z topného tělesa do vody.

V řezu ohřivačem dle obrázku 5 je patrné, že topné těleso zasahuje do poloviny nádoby ohřivače OKCE 100. I v modelu bylo tedy propojeno vedení tepla z topného tělesa do poloviny ohřivače, tedy do dvou spodních vrstev. Model nemá zpětnou vazbu a funguje pouze na jednorázový ohřev definovaný hodnotami v blocích *step*, které udávají požadovanou hodnotu ve vrchlíku nádoby. V nejvyšší vrstvě číslo 4 na hodnotě  $65^{\circ}\text{C}$ .



**Obrázek 23 - Jednorázový ohřev modelu ohřivače OKCE 100**

Při spuštění simulace teplota vody v ohřivači nejprve vzrůstá dodáváním energie topným tělesem až na hodnotu  $65^{\circ}\text{C}$ , kdy se ohřev zastaví. V grafickém zobrazení vrchní vrstvy ohřivače viditelné na obrázku 23 je pozorovatelný překmit teploty nad hodnotou  $65^{\circ}\text{C}$ , což je dáno setrvačností vedení tepla spodních vrstev. Po překmitu teploty nad hodnotou  $65^{\circ}\text{C}$  následuje pozvolný pokles teploty daný ztrátami tepla, které se převedou z vnitřní nádoby do okolního prostředí.

Model jednorázového ohřevu lze ověřit předpokladem, že doba ohřevu vody vyplývá ze vztahu (1)  $Q=m*c*\Delta T$  s rozdílem teplot  $45^{\circ}\text{C}$  je zhruba  $2,6h$ . V přepočtu na vteřiny, které jsou na vodorovné ose grafu je hodnota  $2,6h$  rovna  $9360s$ , což odpovídá prováděné simulaci. Následný pokles teploty je pak závislý na parametrizaci odevzdávání tepla do okolního prostředí.

### Parametrizace pro model jednorázového ohřevu modelu OKCE 100:

```

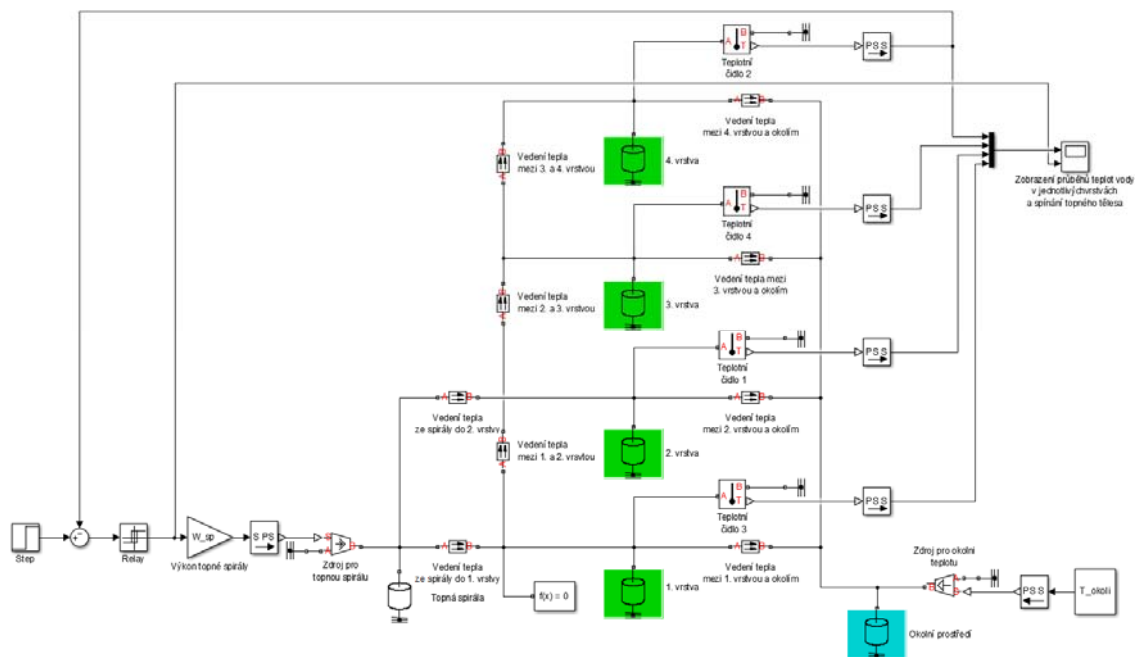
%% bojler
V=100/1000; % bojler 100 l
r=0.44; % vnitřní polomer nádoby
S=pi*r^2; % plocha dna
L=V/S; % výška nádoby
n=4; % počet vrstev
Ln=L/n; % výška jedné vrstvy
Tc=0.6062; % vod. koef.
Soout=2*pi*r*Ln; % povrch jedné vnitřní vrstvy (kontakt s okolím)
Soin=pi*r^2+2*pi*r*Ln; % povrch spodní a horní vrstvy - přidány dna
do=Ln;
do=55e-3; % tloušťka vrstvy
To=0.6062; % vod. koef.
c_voda=4180; % měrná tep. kap. vody (specific heat)
rho_voda=1000; % hustota vody
m_voda=rho_voda*V/n; % hmotnost vody v boileru
% To=0.085;
%% spirála
Ssp=2*pi*(20e-3)*0.8; % povrch spirály
d=0.1;
d1=0.1e-3; % tloušťka vrstvy (přenos tepla mezi vrstvami)
Tcs=380;

```

$T_{cs}=80$ ; % vod. koef.  
 $m_{sp}=1.5$ ; % hmotnost spiraly  
 $c_{sp}=400$ ; % merna tep. kap. spiraly  
 $W_{sp}=2000$ ; % el. prikon (=tep. výkon) spiraly  
 %% okoli  
 $T_{okoli}=20$ ; % teplota okolního vzduchu

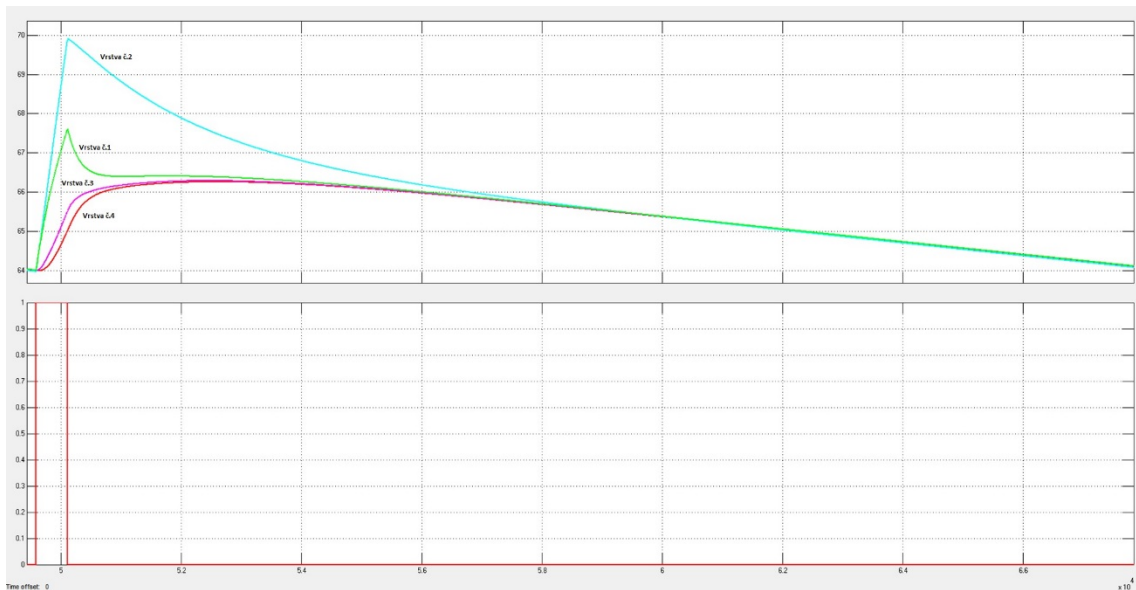
### 5.1 Model pro výpočet tepelných ztrát modelu ohřivače OKCE 100

Pro výpočet tepelných ztrát bylo nutné uzavřít regulační obvod zpětnou vazbou, tak aby probíhal ohřev vody vždy, když teplota ve vrchní vrstvě klesne pod teplotu hystereze nastavenou na hodnotu  $65-2^{\circ}C$ .



**Obrázek 24 - model s bloky simscape se zpětnou vazbou pro výpočet tepelných ztrát modelu ohřivače OKCE 100**

Do modelu byly navíc přidány bloky teplotních čidel, které snímají změny teplot ve všech čtyřech vrstvách.



**Obrázek 25 - Přibližný druhý ohřev z matematického modelu pro výpočet tepelných ztrát**

Obrázek 25 ukazuje na část přibližného záznamu z obrázku 24. Konkrétně jde o přibližný první opětovný ohřev na  $65^{\circ}\text{C}$ . Opět jde o dva záznamy. V prvním záznamu jsou zaznamenány průběhy teplot ve všech čtyřech vrstvách, kdy je vidět, že rychleji se natápí spodní dvě vrstvy, přičemž vrstva č. 2 (v záznamu tyrkysově) má nejrychlejší růst teploty a ohřeje se téměř na  $70^{\circ}\text{C}$ . To je dáno vazbou topného tělesa do dvou spodních vrstev, a zároveň přestupem tepla z první vrstvy do druhé. Další dvě vrstvy se ohřívají postupně jedna od druhé. Po ustálení se pak všechny vrstvy vyrovnají do stejné teploty a jsou ovlivňovány pouze tepelnou ztrátou danou vedením tepla skrz tepelnou izolaci. Spodní záznam znázorňuje opět čas, kdy bylo sepnuto topné těleso. Hodnota 1 topí, hodnota 0 netopí. Je tedy vidět, že i po vypnutí topného tělesa se stále mění teplota vody ve všech vrstvách.

Z tohoto matematického modelu lze již spočítat podobně jako u naměřených hodnot v laboratoři DZD tepelnou ztrátu simulovaného ohříváče vody.

Po odečtení hodnot ze simulace se výsledná energie dodaná do ohříváče v přepočtu na 24 hodin byla **0,82 kWh**. Tato hodnota tepelné ztráty je o více jak 20% lepší než hodnota naměřená. Musíme brát ale v potaz, že v simulaci bylo zanedbáno sdílení a proudění tepla. Dále byla simulace ohřevu zpracována na dokonalý válec, který je ze všech stran rovnoměrně obalen izolací, což ve skutečnosti tak není. Matematický model nepočítá ani s žádnými tepelnými mosty jako u měřeného ohříváče v laboratoři DZD. Ztráty tepla, které unikají tepelnými mosty, jsou tedy značnou chybou v simulaci.



## 6 Zhodnocení výsledků matematického modelu

Výsledek, který byl spočítán matematickým modelem v programu Matlab je reálný pro nastupované parametry s vědomím zanedbání tepelných mostů, proudění a sálání tepla. Pro vylepšení matematického modelu by bylo možné do jednotlivých vrstev (tedy ve stejné výšce nádoby) přidat bloky *Thermal mass*, znázorňující další vrstvy. V těchto přechodech by přenos tepla vedením byl rychlejší než přenos skrz polyuretanovou izolaci. Tyto úpravy modelu by po správném nastavení mohly výsledek simulovaných tepelných ztrát ještě více přiblížit skutečné naměřené hodnotě v laboratoři.

Ze zkoumání teplot v ohřivači vody bylo také zjištěno, že se spodní vrstvy ohřívají i po vypnutí ohřevu, což je dáno předáváním tepla z nahřátého keramického topného tělesa, které dodává teplo do spodních vrstev až do vyrovnání teplot. V ohřivači také probíhá cirkulace teplé a studené vody, kdy teplá voda stoupá prostředkem válce nádoby vzhůru a vytlačuje po stranách studenou vodu směrem dolů. Tyto a další mnohem složitější jevy nejsou v matematickém modelu popsány, proto výsledná hodnota tepelné ztráty je o více jak **20%** lepší než skutečný naměřený stav.

### 6.1 Využití matematického modelu

Přesto, že výsledek tepelných ztrát simulace není roven skutečnému naměřenému výsledku, lze matematický model využívat pro různé orientační zkoušky a výpočty. Přepsáním parametrů se dají podobně spočítat tepelné ztráty na různých průměrech a objemech ohřivačů vody s různou tloušťkou tepelné izolace. Je možné změnit nejen výkon topného tělesa, ale také jeho účinnost v různých vrstvách. Jednoduchým přepojením lze těleso nastavit tak, aby předávalo teplo jen do spodní vrstvy, anebo do všech vrstev. Lze také změnit místo hlídání požadované teploty pro spínání ohřevu, daným pomocí bloku pro simulovaný termostat *Ideal Temperature Sensor*. Tímto způsobem lze také zjistit, zda se ohřivač ve vrchních vrstvách nepřehřívá, nebo naopak zda je teplá voda rovnoměrně rozprostřena v celém objemu nádoby.

Sestavený model je tedy orientační, ale pro další účely zkoušení návrhů změn v ohřivači vody je dostatečný. Pro zkoušení tepelných ztrát a dalších tabulkových hodnot (například doba ohřevu) je pro přesný výsledek nutné ohřivač vody otestovat podle normalizovaných zkušebních postupů.

# 7 Návrhy pro šetření energie při ohřevu TUV

## 7.1 Návrhy zlepšení ohřivače vody

Pro dosažení nižších tepelných ztrát (takových, aby se naměřená hodnota blížila výsledku z matematického modelu) je nutné zbavit se všech tepelných mostů, které jsou blíže popsány v kapitole 3.7. Tepelné mosty jsou největší slabinou všech typů ohřivačů vody a akumulacních nádrží. Obecně platí, že čím méně a menších tepelných mostů je na ohřivači vody, tím lepší je celková energetická spotřeba. Je tedy žádoucí, aby nádoba byla kvalitně zaizolovaná.

U tepelných mostů, zkoumaného ohřivače OKCE 100 by se lepších výsledků mohlo docílit náhradou polystyrenového kroužku ve vrchní části ohřivače za PUR kroužek, včetně vyplněného prostředku. V tomto případě by se muselo najít řešení pro ustavení vnitřní nádoby na montážní lince.

U závěsu ohřivače vody lze docílit nulového tepelného mostu tím, že závěs nebude propojen až na vnitřní nádobu a bude držet pouze za vnější plášť ohřivače.

Indikátor teploty lze nahradit například kapilárním teploměrem, který bude snímat teplotu v jímce určené pro kapiláru termostatu. Ukazatel teploty by pak byl umístěn za dvířky ve spodní části, stejně jako ovládání termostatu ohřivače.

Pod kryt elektroinstalace by bylo vhodné vložit izolační materiál, který by byl odolný teplotě rozžhaveného keramického tělesa a utěsnil by celý prostor spodní části ohřivače vody.

Nízké tepelné ztráty ohřivače vody pro TUV v domácnostech jsou jedním z důležitých faktorů pro šetření elektrických energií. Následující kapitola se bude věnovat dalším možnostem, jak snížit spotřebu energie.

## 7.2 Způsoby šetření energie

Jako základní způsob šetření energie pro ohřev TUV je už samotný výběr velikosti zásobníku. Je důležité si tedy zvolit správný typ a velikost zásobníku pro danou domácnost, ve které bude ohřivač vody plnit svou funkci. Například pro tříčlennou domácnost (podle tabulky 1) se střední energetickou spotřebou a celodenním přívodem elektrické energie je vhodný ohřivač o objemu 100L. V případě, že si uživatel zvolí větší objem zásobníku, může dosahovat větších tepelných ztrát. Naopak, pokud by zvolil menší objem zásobníku, mohlo by při spínání ohřevu na noční proud HDO dojít k nedostatku teplé vody.

Po vybrání správného typu a velikosti je nutné se zamyslet nad samotným umístěním ohřivače. Pokud to prostor dovolí, je nejvhodnější ohřivač umístit co nejbliž k odběrným místům teplé vody, což bývá prostor mezi koupelnou a kuchyní. V těchto místnostech je teplá voda potřeba.

Ve velkých obytných domech a hotelech, kde je zásobník velmi vzdálen odběrným místům, se využívá cirkulace teplé vody. U této varianty dopravy teplé vody se nemusí čekat na dopravení teplé vody od zdroje potrubím. Šetří se tedy náklady za studenou vodu, která by zbytečně protekla potrubím po dobu čekání na vodu teplou. Při cirkulaci teplé vody se teplá voda neustále ochlazuje v potrubí, které je pro cirkulaci

určené. Každý metr potrubí navíc představuje další tepelné ztráty. Pohodlí v podobě teplé vody ihned po otočení kohoutku je tedy finančně nákladné.

Po správném vytipování a umístění zásobníku je potřeba ještě vhodně nastavit požadovanou teplotu, na kterou by měl ohřívač TUV ohřívat. Výrobce obvykle udává teplotu v pozici *ECO*, což je teplota okolo hodnoty  $55^{\circ}\text{C}$ . Pozice *ECO* je daná u všech ohřívačů vody stanovením legislativy *EU No 813/2013*. [16]. Tato ideální teplota je spočítána a navržena tak, aby ohřívač nenahříval zbytečně na vysokou teplotu, při které by byly daleko větší teploty s okolím, a naopak na ne tak nízkou hodnotu, aby teplé vody bylo málo. To však platí jen pro ty, kteří budou striktně dodržovat normu a spotřebují například pro vysprchování přesně  $1,32\text{kWh}$  energie v teplé vodě (viz tabulka 2).

### 7.3 Optimální řešení ohřevu topného tělesa

Optimální řešení ohřevu je úzce spojené s nastavením hodnoty termostatu, který udává horní mez ohřevu vody. Pomocí navrhnutého matematického modelu bylo zjištěno, že zkoumaný ohřívač vody *OKCE 100* při okolní teplotě  $20^{\circ}\text{C}$  a nastavením termostatu na  $65^{\circ}\text{C}$  má celkovou tepelnou ztrátu za 24 hodin  $0,82\text{kWh}$ . Pokud se přenastaví hodnota nastavená termostatem na  $55^{\circ}\text{C}$  (*ECO* pozice) je tepelná ztráta rovna  $0,76\text{kWh}$  za 24h. Po nastavení teploty na vyšší stupeň, například na  $75^{\circ}\text{C}$ , jsou celkové tepelné ztráty vyšší a to o  $0,93\text{kWh}$  za 24h. Hodnoty tepelných ztrát jsou spočítané matematickým modelem (tedy orientačně) a jsou zaznamenány v tabulce níže. V tabulce 4 je také spočteno, kolik zaplatíme za pouhé udržování teplé vody v ohřívači v nízkém a vysokém tarifu elektrické energie.

Aktuální cena elektřiny byla zjištěna dle ceníku platného od 1. 1. 2016, dostupného na webových stránkách skupiny ČEZ. Za  $1\text{MWh}$  v nízkém tarifu je cena  $1\,348,59\text{Kč}$  a ve vysokém tarifu  $4\,013,71\text{Kč}$ . [17]

Tabulka 4 - Rozdíl při ohřevu na  $55^{\circ}\text{C}$ ,  $65^{\circ}\text{C}$  a  $75^{\circ}\text{C}$

Nastavená teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Tepelné ztráty za 24 hodin [kWh]	Tepelné ztráty za rok [kWh]	V přepočtu na koruny za rok v nízkém tarifu [Kč]	V přepočtu na koruny za rok ve vysokém tarifu [Kč]
55	0,76	277,4	374,1	1113,4
65	0,82	299,3	403,6	1201,3
75	0,93	339,5	457,8	1362,7

Z tabulky 4 je patrné, že je důležité z ekonomických důvodů, aby ohřívač vody natápěl v době nízkého tarifu (v době HDO). Dále z tabulky vyplývá, že změnou teploty z *ECO* pozice tedy  $55^{\circ}\text{C}$  na hodnotu vyšší se zvyšují náklady na samotném udržování teplé vody, což je dáno vyššími tepelnými ztrátami. Nutností tedy je vždy zhodnotit množství teplé vody a nastavit termostat na správnou hodnotu, aby teplé vody u daného odběrného místa bylo přiměřeně.

Pro ekonomičtější ohřev TUV lze použít ohřívače vody označené jako SMART ohřívače, které jsou vybaveny řídicí elektronikou. Tato elektronika ovládá spínání topného tělesa. Řídicí jednotka je vybavena samoučícím algoritmem, který se během prvního týdne provozu naučí, kdy a jaké množství teplé vody domácnost odebírá a v dalších týdnech ji ohřívá až před plánovaným odběrem. Tento algoritmus se neustále aktualizuje podle odběrů TUV v domácnosti. Tímto způsobem dokáže značně snížit tepelné ztráty v době, kdy teplá voda není potřeba.

# Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo popsat jednotlivé typy a velikosti ohřivačů vody, popsat jejich základní funkce a vlastnosti. Tyto informace byly blíže popsány v jednotlivých kapitolách obsažených v rešeršní části.

Experimentální část této práce se zabývala testováním konkrétního typu ohřivače – OKCE 100. Ohřivač byl upraven již při jeho výrobě tím, že se na jeho vnější stranu plášť nádoby nalepily termočlánky pro získání hodnot teplot v různých vrstvách. Po dokončení standartní výroby ohřivače byl tento speciálně upravený ohřivač přesunut do laboratoře DZ Dražice a zapojen k datalogeru. Dále byl podroben důkladnému testování s ohřevem elektrického topného tělesa.

Během testování byly změřeny tepelné ztráty dle metodiky měření ČSN EN 12897. Zjišťovány také byly fyzikální vlastnosti vrstvení teplé vody při aktivním i neaktivním ohřevu topného tělesa. Během měření bylo pořízeno několik termosnímků z termokamery, které poukazují na největší úniky tepla z ohřivače vody v různých místech.

Na základě všech poznatků ze zkoumání teplot v reálném ohřivači vody a také ze základů termodynamiky byl navržen matematický model v programu Matlab Simulink. Model byl nejprve sestaven ze základních bloků matematických knihoven. Tento způsob se však jevil jako nepřesný, proto bylo v další verzi modelu použito bloků z knihovny Simscape, které jsou přímo určeny pro vedení tepla. V případě závěrečného modelu sestaveného v této práci byl model parametrizován tak, aby simuloval reálně zkoumaný ohřivač OKCE 100. Vzhledem k zanedbání tepelných mostů, proudění a sálání tepla v matematickém modelu bylo naměřeno nižších tepelných ztrát simulovaným ohřivačem.

Model je možné parametrizovat na různé typy a velikosti ohřivačů vody. Také může sloužit ke zkoumání ohřevu různých výkonů těles s různými vstupními podmínkami (například počáteční teploty teplé vody, nebo teploty okolního prostředí). Z matematického modelu byly vypočítány roční tepelné ztráty za provoz udržování teplé vody v OKCE 100, které se mění s nastavením požadované teploty teplé vody termostatem. Hodnoty roční energetické spotřeby byly také přepočítány na koruny, podle aktuálního ceníku elektřiny v nízkém i vysokém tarifu.

Po analyzování naměřených výsledků bylo možné navrhnout technologické úpravy, které by vedly k úspoře energie během provozování elektrického ohřivače vody v běžných domácnostech.

## Použitá literatura

- [1] Hromadné dálkové ovládání. Leporelo[online]. [cit. 18.11.2015]. Dostupné na internetu <<https://leporelo.info/hromadne-dalkove-ovladani>>
- [2] Hromadné dálkové ovládání. ČEZ [online]. [cit. 18.11.2015]. Dostupné na internetu <<http://www.cezdistribuce.cz/cs/technicky-dispecink/hromadne-dalkove-ovladani.html>>
- [3] Výběr ohřívače. DZD [online]. [cit. 21.11.2015]. Dostupné na internetu <<http://www.dzd.cz/cs/profil/vyber-ohrivace>>
- [4] ČSN 06 0320. *Teplné soustavy v budovách – Příprava teplé vody - Navrhování a projektování*, Praha: Vydavatelství Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2006.
- [5] Návod k obsluze a instalace, zásobníkový ohřívač vody pro svislou montáž. DZD [online]. [cit. 3.12.2014]. Dostupné na internetu <[http://www.dzd.cz/images/download/OKCE\\_OKHE\\_novy-zaves\\_12-10-2014.pdf](http://www.dzd.cz/images/download/OKCE_OKHE_novy-zaves_12-10-2014.pdf)>
- [6] ČSN 06 1010. *Zásobníkové ohřívače vody: Ohřívání užitkové vody, zásady pro navrhování CTI*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 1998.
- [7] ČSN EN 12897. *Zásobování vodou: Nepřímo ohřívání uzavřené zásobníkové ohřívače vody*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2007.
- [8] NOŽIČKA J., *Základy termodynamiky*. Studijní materiály ČVUT. Praha 2001.
- [9] MIKULČÁK J., *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Prometheus 1988. 3. Vydání, ISBN 80-85849-84-4
- [10] Úspora vody. DZD [online]. [cit. 21.11.2015]. Dostupné na internetu <<http://www.dzd.cz/cs/profil/uspora-vody>>
- [11] Nalepovací termočlánky. OMEGAENG [online]. [cit. 15.12.2015]. Dostupné na internetu <<http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=salxl>>
- [12] Comestsystem ústředna MS55D. Comet [online]. [cit. 1.12.2015]. Dostupné na internetu <<http://www.comestsystem.cz/produkty/monitorovaci-systemy/ms55d-merici-a-zaznamova-ustredna/reg-MS55D>>
- [13] Termokamery – Fluke. Fluke [online]. [cit. 15.12.2015]. Dostupné na internetu <[http://www.termokamery-fluke.cz/zakladni-termokamery/11-termokamerafluketi105.html?utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&utm\\_campaign=ti105](http://www.termokamery-fluke.cz/zakladni-termokamery/11-termokamerafluketi105.html?utm_source=adwords&utm_medium=ppc&utm_campaign=ti105)>

- [14] BALDA M. *Úvod do MATLABu*. Plzeň: Studijní materiály ČZU 1998. ISBN 80-7082-404-2
- [15] KUPKA, L., JANEČEK, J. *Matlab & Simulink: řešené příklady*. Lanškroun: TG tisk a SOŠ a SOU, 2007. ISBN 978-80-239-8871-0.
- [16] COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) No 813/2013
- [17] Ceník elektřiny. ČEZ [online]. [cit. 27.12.2015]. Dostupné na internetu <<http://www.cez.cz/cs/elektrina/comfort/cenik.html#p3>>

# Seznam příloh

Příloha A - Výňatek z ČSN EN 12897 – Zásobování vodou – Nepřímo ohřívané uzavřené zásobníkové ohřivače vody

Příloha B - Protokol o provedení zkoušky o měření tepelných ztrát

Příloha C – CD s přiloženou prací ve formátu PDF a přiloženými matematickými modely spustitelné v programu Matlab.

## Příloha A

ČSN EN 12897

### Měření tepelné ztráty

#### B.1 Všeobecně

Tato příloha určuje požadavky na měření tepelné ztráty nepřímo vytápěných zásobníků teplé vody. Zkouška by měla být realizována v podmínkách, které se pokud možno co nejvíce blíží podmínkám podle EN 60379 pro elektricky ohřívání vody určené pro použití v domácnosti. Zásobník s vnitřním vzduchovým prostorem musí být zkoušen za normálních provozních podmínek, což znamená, že tlak před začátkem ohřevu odpovídá pracovnímu tlaku.

#### B.2 Zkušební zařízení

Zkouška musí být provedena se zásobníkem vybaveným horizontálně namontovaným topným článkem nebo stacionárním elektrickým topným článkem o výkonu 3kW uzpůsobeném pro ohřátí nejméně stejného množství vody, jako je množství určené ve zkoušce podle A.5.1. Zásobníkové ohřivače až do objemu 250 l musí používat topné články o výkonu 3 kW. Pro větší ohřivače může být podle doporučení výrobce použit větší výkon.

Tyto podmínky musí být ověřeny vytápěním zásobníku pomocí topného článku dokud teplota, měřená na vrcholu zásobníku ( $T_2$  na obrázku A.1), nedosáhne 65 °C, potom se provede zkouška vypouštěním podle A.5.1.

S výjimkou vloženého elektrického topného článku, musí být všechny ostatní konstrukční prvky zásobníkových ohřivačů pokud možno identické, částečně s ohledem na vlastnosti tepelné izolace. V případě, kdy je nemožné použít vložený topný článek, může být nahrazen externím elektrickým průtokovým ohřivačem doplněným oběhovým čerpadlem jak je nakresleno na obrázku B.1. Tento elektrický průtokový ohřivač musí být řízen tak, že dodává energii v závislosti na teplotě  $T_w$ .

Když průtokový ohřivač dodává energii, musí být oběhové čerpadlo v provozu. V tomto případě se musí měřit pouze množství elektrické energie spotřebované v průtokovém ohřivači.

Veškeré spojovací potrubí, průtokový ohřivač a oběhové čerpadlo musí být velmi dobře tepelně izolovány.

Zkoušené zařízení musí být upevněno na plochou podložku o tloušťce 20 mm z dřevovláknité desky o střední hustotě ve výšce  $(400 \pm 100)$  mm nad úroveň podlahy nebo připevněno na zeď podle montážních pokynů výrobce. To by mělo být provedeno s dočasnými prostředky pro plnění a velmi dobře tepelně izolovanou odvětrávací/přepadovou trubkou o průměru 22 mm podle obrázku B.1. Pokud je požadováno, může být uzavírací ventil na vstupním potrubí po naplnění okruhu dočasně tepelně izolován.

Zkušební zařízení musí být umístěno ve volném prostředí, stíněném proti přímému tepelnému záření a v průběhu zkoušky musí mít regulovanou okolní teplotu v rozmezí  $(20 \pm 2)$  °C.

Pokud není zkoušený ohřivač vody připevněn na zeď podle montážních pokynů výrobce, musí být umístěn nejméně 700 mm od jakékoliv zdi nebo vertikální konstrukce.

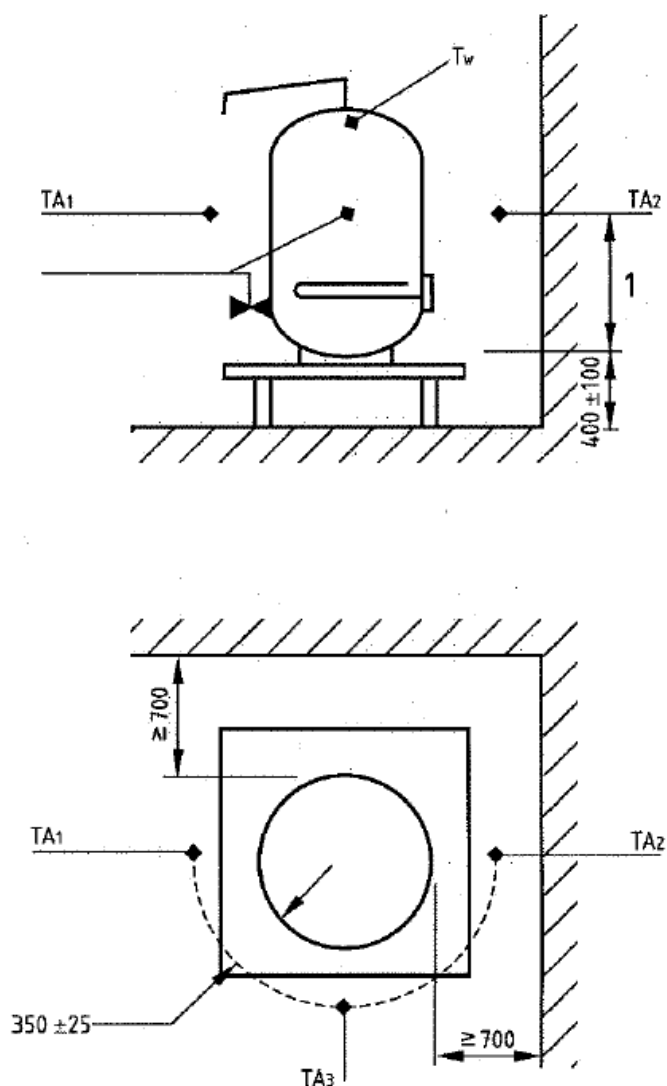
Tři termočlánky ( $TA_1$ ,  $TA_2$ ,  $TA_3$ ) nebo podobná měřicí zařízení, schopná měřit teplotu s přesností  $\pm 1$  °C musí být umístěna kolem válcového zásobníku ve výšce odpovídající polovině výšky zásobníku ( $\pm 25$  mm) ve vzdálenosti  $(350 \pm 25)$  mm od vnější strany tepelné izolace/obalu zásobníku. Tato zařízení musí být umístěna ve vzdálenosti od jakékoliv vertikální stěny nebo povrchu podle obrázku B.1.

Termočlánek ( $T_w$ ) nebo podobné měřicí zařízení, schopné měřit teplotu s přesností  $\pm 1$  °C musí být umístěno na povrchu nebo uvnitř nádoby na místě přibližně 25 mm pod výstupem potrubí teplé vody podle obrázku B.1.

**POZNÁMKA** Pro případ snadnějšího nastavení stabilní teploty může být vhodné regulovat činnost topného článku pomocí vhodného regulačního mechanismu měřícího teplotu  $T_w$  nebo připojením druhého regulačního senzoru naproti  $T_w$ .

Napájení topného článku musí být připojeno přes elektroměr, měřící s přesností  $\pm 0,01$  kW.





#### Legenda

1 Polovina výšky ohřivače

POZNÁMKA Místa připojení vodního potrubí jsou naznačena pouze schematicky a v některých případech mohou být na spodku zásobníku. Pokud je použit zásobníkový ohřivač v provedení na zeď, potom TA<sub>2</sub> může být umístěno do poloviční vzdálenosti mezi ohřivač vody a zeď.

Obrázek B.1 – Schéma zkušebního zařízení

#### B.3 Zkušební postup

Zkušební zařízení se naplní studenou vodou pomocí dočasného připojení na uzavírací ventil na vstupu vody do zásobníkového ohřivače nebo jiným vhodným způsobem.

Zásobníkový ohřivač je naplněn ve chvíli, kdy začne voda vytékat odvodňovací/přepadovou trubicí, v takovém případě může být plnění vodou ukončeno.

Topný článek musí být zapnut a ovládání teploty nastaveno na  $(65 \pm 2) ^\circ\text{C}$ .

POZNÁMKA Během počáteční fáze zkoušky bude voda kapat z přepadu ven, zatímco je zařízení ohříváno, takže může být zapotřebí vhodná nádoba nebo odvodňovací zařízení.

Určení trvalých tepelných ztrát pomocí po sobě jdoucích 24 hodinových period se provede následujícím způsobem. Po stabilizační periodě, trvající nejdéle 24 h, ověřené souvislým sledováním teploty, se zapíše počáteční stav elektroměru s přesností na 0,01 kWh.

Stav elektroměru se zapisuje po 24 h intervalech a odečtením se stanoví spotřeba energie ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  atd.) v jednotlivých intervalech.

Pro každý 24 h interval se vypočítá a zaznamená střední teplota okolního prostředí  $TA$  (je to střední hodnota z  $TA_1$ ,  $TA_2$  a  $TA_3$ ) a zapíše se hodnota  $T_W$ .

Zkoušení pokračuje, dokud se tepelná ztráta, vypočtená podle B.4, liší nejvýše o 2 % nejméně v posledních dvou po sobě jdoucích měřicích periodách. Trvalá tepelná ztráta musí být stanovena jako střední hodnota. Pokud není možné získat výsledky lišící se navzájem o méně než 2 %, prodlouží se zkouška na dobu 168 h a pro výpočet tepelné ztráty se použijí hodnoty, získané v posledních třech 24 h periodách.

#### B.4 Výpočet výsledků

Tepelná ztráta, korigovaná na 45 °C rozdíl mezi horkou vodou a okolním prostředím, se pro každou zkušební periodu vypočte následujícím způsobem:

$$\text{Tepelná ztráta } Q_{st} = E \left( \frac{45}{T_W - TA} \right)$$

Kde

$E$  je energie, spotřebovaná za 24 h, v kWh

$T_W$  střední teplota horké vody v průběhu 24 h zkušební periody, v °C

$TA$  střední teplota okolního prostředí v průběhu 24 h zkušební periody, v °C

## Příloha B



Družstevní závody Dražice - strojírna s.r.o.

Dražice 69, 294 71 Benátky nad Jizerou IČ: 45148465

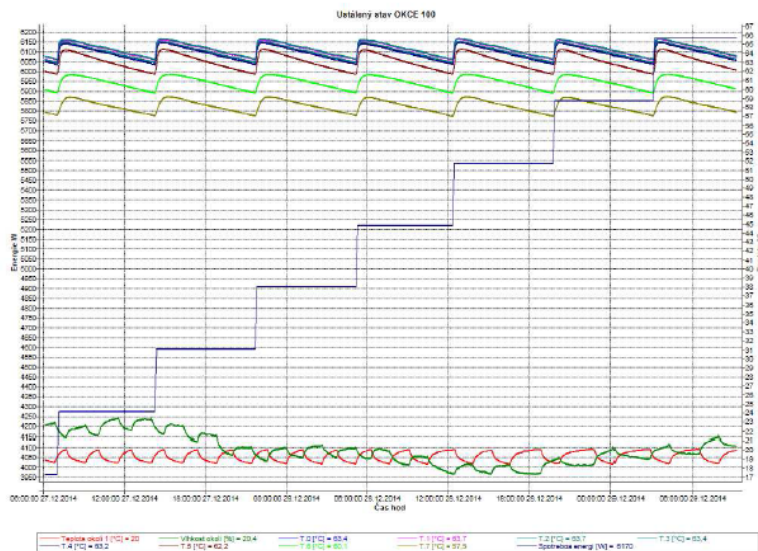
### PROTOKOL O ZKOUŠCE

Číslo protokolu:	12-2014/004
Název ohřívače, zásobníku:	OKCE 100
Typové číslo:	_____
Datum výroby nádoby:	listopad 2014
Poznámka:	pro studijní účely
Počet stran:	2

Typ zkoušky:	Tepelná ztráta
Předpis, norma:	ČSN EN 12897
Datum zkoušky:	27.12. - 29.12. 2014

#### Energie za 24 hodin - výpočet

Začátek zkoušky	<b>27.12.2014 21:48</b>	Dodaná energie do ustálení teploty	<b>4 905 Wh</b>
Konec zkoušky	<b>29.12.2014 3:13</b>	Energie dodaná během měření	<b>6 160 Wh</b>
Trvání zkoušky	<b>29:24:50</b> hod	Dodaná energie celkem	<b>1 255 Wh</b>
		Energie dodaná za 24 hodin	<b>1024,006 Wh</b>



### Výpočet tepelné ztráty korigované na 45°C

Průměrná teplota okolí	19,40 °C
Průměrná teplota ve vrchlíku	64,10 °C
Skutečný objem ohříváče (nádoby)	100 l
Korigovaná energie dodaná za 24 hodin	1030,88 Wh
	1,03 kWh
Jednotková korigovaná energie dodaná za 24 hodin	10,31 Wh/l

### Pro kombinované a nepřímotopné ohříváče s touto izolací platí:

	min(W)	max(W)
A+	0,00	25,44
A	25,44	35,32
B	35,32	49,42
C	49,42	69,22
D	69,22	86,18
E	86,18	112,19
F	112,19	136,12
G	136,12	

Třída en. účinnosti	B
Objem	100 l
Statická ztráta za 1 hodinu	43 W

Poznámka:

Protokol vystavil: **Vojtěch Víték**

Datum: **30.12.2014**

## **Příloha C**

Zde nalepte kapsu s CD