


# Řízení paralelního zapojení solárních kolektorů a komínového výměníku

Radim Pešek

---

Bakalářská práce  
2014

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radim PEŠEK**  
Osobní číslo: **A10093**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Řízení paralelního zapojení solárních kolektorů  
a komínového výměníku**

### Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s technologickým pozadím řešené problematiky a vypracujte stručný přehled současného stavu systému.
2. Provedte analýzu současného stavu systému, který bude předmětem řízení.
3. Na základě předchozí analýzy a následného měření navrhnete inovaci, která přispěje k dosažení maximálního energetického zisku soustavy.
4. Provedte výběr vhodné řídicí jednotky, komínového výměníku a dalších komponentů pro realizaci řešení navrženého v předcházejícím bodě.
5. Navrhnete zapojení jednotlivých komponentů systému.
6. Naprogramujte softwarové vybavení pro řídicí jednotku v souladu se zadáním práce.
7. Simulačně otestujte výsledný software a zkontrolujte jeho správnost.
8. Vypracujte závěrečné zhodnocení navržené inovace a doporučte postup její následné aplikace.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. PLC a automatizace. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999, 223 s. ISBN 80-86056-58-9.
2. CIHELKA, Jaromír. Sluneční vytápěcí systémy. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984, 206 s.
3. LADENER, Heinz a Frank SPÄTE. Solární zařízení. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 267 s. ISBN 80-247-0362-9.
4. HRUŠKA, František. Senzory: fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití (e-book). 2. rozš. vyd. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, [202] s. ISBN 978-80-7454-096-7.
5. CIPRA, Tomáš. Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 246 s.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Bc. Pavel Vařacha, Ph.D.**

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání bakalářské práce:

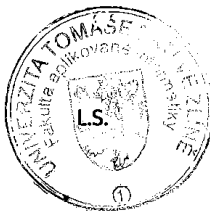
**28. února 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**13. června 2014**

Ve Zlíně dne 28. února 2014

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové/bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá inovativním návrhem přidruženého komínového výměníku. Výměník je navázán na systém ohřevu teplé užitkové vody pomocí solárních kolektorů. V první části je zpracován stručný přehled solárních zařízení, slunečních vytápěcích systémů a řídicích jednotek PLC. V praktické části práce je analýza stávajícího systému pro ohřev TUV a návrh inovativního řešení pro připojení komínového výměníku ke stávajícímu systému ohřevu TUV pomocí solárních kolektorů. Další částí práce je návrh hardwarového a softwarového vybavení řídicího systému: komínový výměník – TUV – solární kolektory.

*Klíčová slova: solární energie, solární kolektory, PLC, ohřev TUV, řízení solárního systému, teplovodní výměník.*

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the innovative prototype of chimney heat exchanger. The exchanger is attached to the non-potable water heating system using solar collectors. In the first part an overview of solar devices as well as solar heat systems and PLC control units is provided. In the practical part of the thesis the currently used system for heating of non-potable water is analysed and innovative solution of connection of chimney heat exchanger to the aforementioned non-potable heat water system is provided. In another part, the thesis provides the proposal on hardware and software solution for the control system: chimney exchanger – non-potable water - solar collectors.

*Keywords: solar energy, solar collectors, PLC, heating of non-potable water, solar system control, heat exchanger*

Ing. Pavlu Vařachovi Ph.D děkuji za cenné připomínky a podnětné rady. Své rodině děkuji za podporu, kterou mi při studiu vždy poskytovala.

# OBSAH

ÚVOD.....	9
<b>I. TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>10</b>
<b>1 SLUNCE JAKO ZDROJ ENERGIE .....</b>	<b>11</b>
1.1 INTENZITA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA ZEMI.....	11
1.2 MNOŽSTVÍ ZÁŘENÍ NA ÚZEMÍ ČR.....	13
1.2.1 Délka slunečního svitu na území ČR.....	13
1.2.2 Intenzita zářivé energie na území ČR.....	14
1.3 SOLÁRNÍ SYSTÉMY A ZAŘÍZENÍ .....	14
1.3.1 Pasivní využití sluneční energie.....	14
1.3.2 Aktivní využití sluneční energie .....	15
1.4 TYPY SLUNEČNÍCH KOLEKTORŮ .....	16
1.4.1 Ploché kolektory.....	19
<b>2 TEPELNÝ VÝMĚNÍK.....</b>	<b>21</b>
2.1 TRUBKOVÝ TEPELNÝ VÝMĚNÍK.....	21
2.2 DESKOVÝ TEPELNÝ VÝMĚNÍK.....	22
<b>3 PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY.....</b>	<b>23</b>
3.1 PLC A ŘÍZENÍ .....	23
3.2 MIKRO PLC.....	25
3.3 KOMPAKTNÍ PLC .....	25
3.4 MODULÁRNÍ PLC.....	25
<b>II. PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>27</b>
<b>4 POPIS STÁVAJÍCÍHO SYSTÉMU.....</b>	<b>28</b>
4.1 PLOCHÝ SLUNEČNÍ KOLEKTOR MIKROSKAL 1914 .....	28
4.2 SMALTOVÁ TLAKOVÁ NÁDOBA OKC 200/1M <sup>2</sup> .....	29
4.3 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA A OVLÁDACÍ PROGRAM SOLAR 02 .....	30
4.4 SPARTHERM VARIA AH 3S.....	31
4.5 OSTATNÍ PRVKY SOLÁRNÍHO SYSTÉMU PRO OHŘEV TUV .....	31
<b>5 MĚŘENÍ TEPLoty SPALIN .....</b>	<b>33</b>
5.1 UCHYCENÍ TEPLOTNÍHO ČIDLA.....	33
5.2 PŘEVODNÍK P5102.....	33
5.3 PRŮBĚH MĚŘENÍ TEPLoty SPALIN .....	34
5.4 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....	35

5.4.1	<i>Oprava chyb v grafickém znázornění</i> .....	35
5.5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ TEPLoty SPALIN.....	37
5.6	MAXIMÁLNÍ ENERGETICKÝ ZISK.....	37
<b>6</b>	<b>VÝBĚR KOMPONENTŮ A ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY</b> .....	<b>39</b>
6.1	TEPELNÝ VÝMĚNÍK .....	39
6.2	ČIDLA PT 100.....	40
6.3	TERMOSTATICKÝ SMĚŠOVACÍ VENTIL .....	41
6.4	OBĚHOVÉ ČERPADLO PRO VÝMĚNÍKOVÝ OKRUH.....	41
6.5	TROJCESTNÝ VENTIL.....	42
6.6	ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA PLC TECO FOXTROT CP-1005.....	43
6.7	ZÁLOŽNÍ ZDROJ ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	43
<b>7</b>	<b>SCHÉMA ZAPOJENÍ INOVATIVNÍHO NÁVRHU</b> .....	<b>44</b>
<b>8</b>	<b>PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY</b> .....	<b>46</b>
8.1	OHŘEV TUV POMOCÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ.....	46
8.2	OHŘEV TUV POMOCÍ TEPLOVODNÍHO VÝMĚNÍKU.....	47
<b>9</b>	<b>SIMULACE UŽIVATELSKÉHO PROGRAMU</b> .....	<b>48</b>
9.1	ZHODNOCENÍ SIMULACE .....	50
<b>10</b>	<b>FINANČNÍ ROZVAHA NAVRŽENÉ INOVACE</b> .....	<b>51</b>
10.1	STRUČNÝ POSTUP INSTALACE INOVACE .....	51
10.1.1	<i>Instalace infrastruktury navržené instalace</i> .....	51
10.1.2	<i>Zapojení PLC</i> .....	52
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>53</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>54</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>56</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>57</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>59</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>60</b>

## ÚVOD

Solární systémy pracují na principu přeměny sluneční energie na teplo, které předávají do teplotnosné kapaliny a tuto tepelnou energii je možné dále využít. V dnešní době je vybaveno mnoho staveb o solární systémy, které využívají toto teplo např. k ohřevu teplé užitkové vody (dále jen TUV) a bazénů. Technické nároky na využití solární energie pro ohřev TUV jsou znatelně vyšší než nároky pro ohřev bazénů pomocí jednoduchého absorberů s velkým množstvím malých kanálků. Od tohoto systému požadujeme, aby byl schopen ohřát vodu na 45-50 °C.

V poslední době roste zájem o topení v krbu nebo v kamnech. Přitom vzniká velké množství odpadní energie, která pokud není dále využita, je vypouštěna bez dalšího užitku. Přitom je možné tuto vyzářenou odpadní energii dále využít např. k vytápění vzdálenějších místností pomocí radiátorů napojených na ústřední topení nebo k ohřevu TUV a skladovat ji v akumulacní nádobě. Využití odpadního tepla je možno dosáhnout několika způsoby, které se liší hlavně tím, kde je výměník umístěn.

V případě, že objekt obsahuje již systém pro ohřev TUV pomocí solárního kolektoru, je výhodné tyto dva systémy propojit a nevyužité teplo, které vzniká při spalování dřeva využít pro ohřev TUV. Je nutné rozšířit systém o již zmíněný výměník, který napojíme ke stávajícímu systému ohřevu TUV přes solární kolektor. Systém bude nutné dovybavit o trojcestné ventily, které budou usměrňovat tok teplotnosné kapaliny. Hlavním úkolem je, dle požadavků majitele ke stávajícímu systému a řízení vytápění TUV pomocí solárních kolektorů, navrhnout systém ohřevu TUV pomocí výměníku, který bude umístěn v komínové části krbové vložky. Takový systém bude nutné nějakým způsobem řídit. Ovládací program bude rozhodovat na základě údajů teplot z komínové části, kde je umístěn výměník a solárního kolektoru o tom, přes který systém se bude ohřívát TUV.

## I. TEORETICKÁ ČÁST

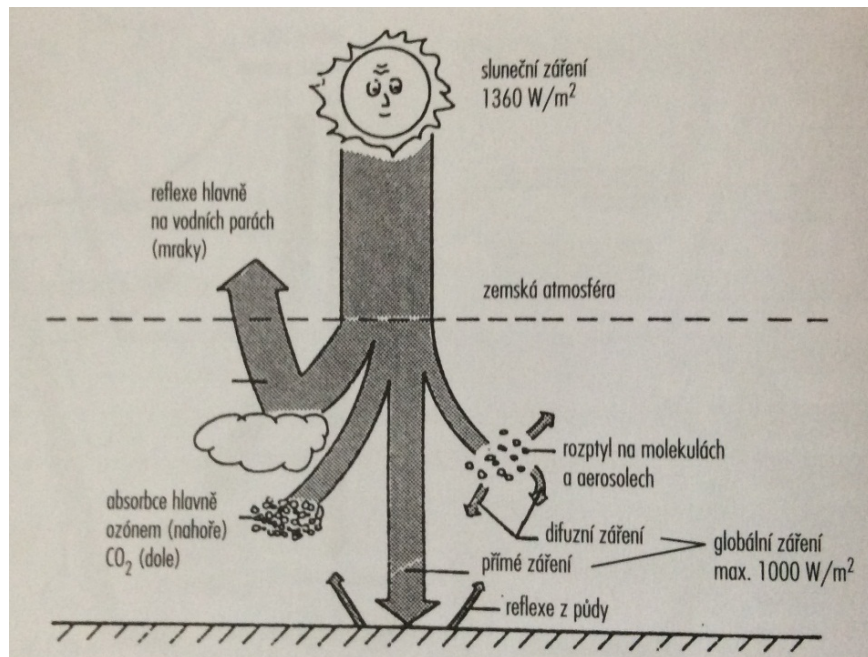
## 1 SLUNCE JAKO ZDROJ ENERGIE

Slunce je středem naší planetární soustavy, je nejbližší hvězdou a je pro nás nejdůležitější. Je největším zdrojem tepelné a světelné energie na Zemi. Energie putuje z povrchu Slunce tzv. fotosféry k povrchu Země vzdálené 150 miliónů kilometrů. Energie, která zasáhne Zemi je ve značně zmenšené intenzitě. Sluneční energie vzniká díky termojaderné reakci, při které se mění atomy vodíku na hélium [1].

Teplota na povrchu slunce dosahuje teploty přibližně 6000 K, celkový výkon, který Slunce vyzařuje je  $3,8 \cdot 10^{23}$  kW. Energie, která putuje od Slunce k Zemi, ztrácí na své intenzitě a množství energie dopadající na Zemi je asi  $1,8 \cdot 10^{11}$  kW. Můžeme tedy říci, že k Zemi se dostane pouze jedna dvoumiliardtina záření ze Slunce [2]. Při měření solárního záření mimo zemskou atmosféru, přibližně ve výšce satelitů, se vyskytuje proud energie cca  $1360 \text{ W/m}^2$  [1].

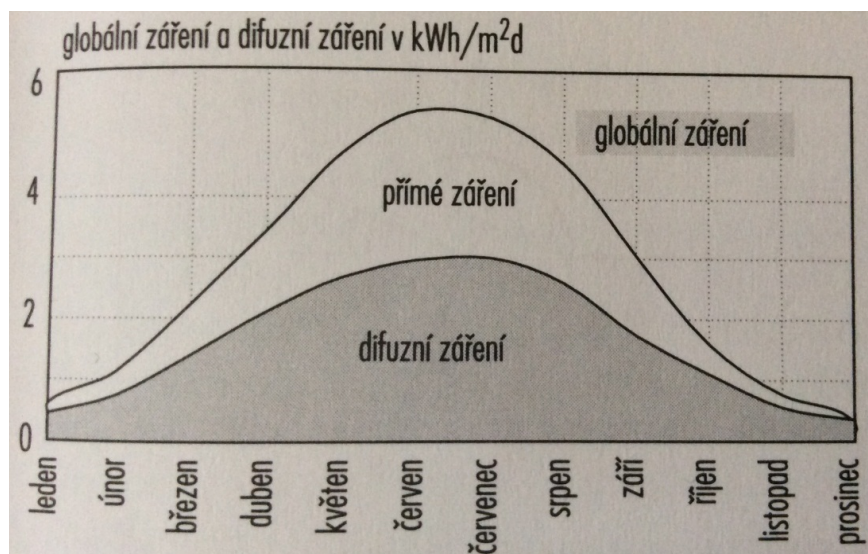
### 1.1 Intenzita slunečního záření na Zemi

Síla sluneční energie dopadající ve formě záření nepřetržitě na zemský povrch klesá díky zemské atmosféře, která sahá do výšky 1 000 km. Atmosféra je složena především z kyslíku a dusíku. Ve výškách nad 60 km pohlcují atmosférické plyny ultrafialové a rentgenové záření. Níže v atmosféře ve výškách 20 – 30 km se zachycuje ultrafialové záření. V nejvyšších vrstvách atmosféry dochází k pohlcování a reflexi slunečního záření vodní parou, oxidem uhličitým, prachem a kapkami vody v mracích. Z celkové intenzity se v atmosféře pohltí 19 % záření [2].



Obr. 1. Ztráty solárního záření při průchodu atmosférou [1]

Při jasné, bezmračné obloze dopadá na Zemi přímé záření, které nemění svůj směr. Toto záření lze koncentrovat zrcadly nebo čočkami. Záření, které se v atmosféře rozptýlí, se nazývá difuzní záření. Toto záření přichází ze všech směrů a nelze ho koncentrovat. Poměr difuzního záření je závislý na povětrnostních podmínkách, oblačnosti a množství vodní páry v atmosféře. Souhrn přímého a difuzního záření označujeme jako globální záření. Na obrázku (Obr. 2) můžeme vidět poměr difuzního a přímého záření [1].



Obr. 2. Poměr difuzního a přímého záření v průběhu roku [1]

## 1.2 Množství záření na území ČR

Pro navrhování solárních soustav je potřeba znát množství záření, které dopadá na určitou oblast. Na meteorologických stanicích po celém světě jsou měřeny především hodnoty délka slunečního svitu a zářivá energie.

### 1.2.1 Délka slunečního svitu na území ČR

Délka slunečního svitu je měřena a udává se v počtech hodin za den, měsíc nebo rok, po které přímé sluneční záření dosahovalo zemského povrchu. Trvání slunečního svitu záleží na délce dne, výskytu oblačnosti a na překážkách v okolí místa pozorování [3]. V tabulce (Tab. 1) pozorujeme délku slunečního svitu od roku 2007 po současnost [4].

Trvání a doba slunečního svitu se měří slunoměry, které mohou být různých typů:

- **Campbellův-stokesův slunoměr** – využívá účinku tepelných paprsků soustředěných koulí, v jejímž ohnisku je umístěný registrační pásek z tenkého kartonu k propalování tohoto pásku [3].
- **Marvinův slunoměr** – zaznamenává dopadající sluneční záření pomocí registračního kontaktního elektrického teploměru [3].
- **Jordanův slunoměr** – exponuje sluneční paprsky na speciální fotovoltaický papír [3].

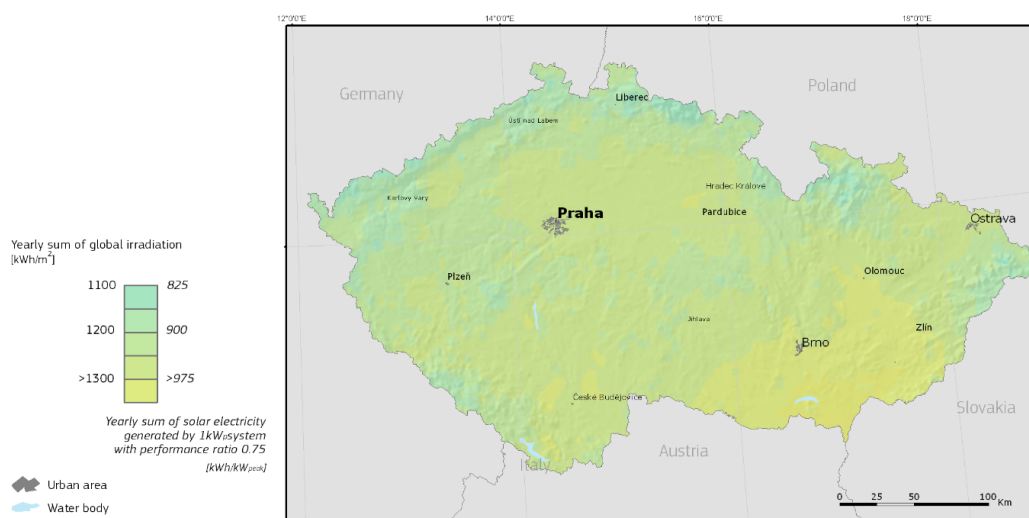
Tab. 1. Délka slunečního svitu na území ČR [4].

Rok	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Leden	22,2	24,5	36,3	24,4	38	65,1	21,9	27,5
Únor	34,9	92,7	21,3	43,8	66,2	107,2	36,7	52,8
Březen	87,7	84,3	42,5	105,7	113,1	164,2	63	115,1
Duben	234,1	120,7	210,6	149,9	210,3	171,4	81,4	N
Květen	185,5	172,8	134,7	52,8	167,5	209,5	79,2	N
Červen	185,7	163,3	103,9	122,6	168,8	177,5	119,3	N
Červenec	189,6	159,2	144,1	170	128,2	170,7	176	N
Srpen	172,6	168,9	174	109	188,4	221,7	156,1	N
Září	114,9	103,4	122,7	72,4	152,6	157,3	71,3	N
Říjen	66,9	91,5	41	83,6	103,2	106,2	90,2	N
Listopad	23,4	25,5	59,6	35,5	79,7	51,5	22,2	N
Prosinec	20,9	37,5	31,5	25,1	43,1	60,7	22,1	N
Celkem [h]	1338,4	1244,3	1121	991,1	1459,1	1664	940	295

### 1.2.2 Intenzita zářivé energie na území ČR

Celkové množství sluneční energie dopadající na území ČR není rovnoměrně rozloženo. Množství intenzity závisí na různých faktorech, které tuto energii ovlivňují. Mezi tyto faktory patří roční období, klimatické podmínky, čistota atmosféry, orientace zařízení a sklon zařízení [1].

Na obrázku (Obr. 3) můžeme pozorovat roční průměrné hodnoty dopadajícího slunečního záření na území ČR [5].



Obr. 3. Roční souhrn slunečního záření na území ČR [5]

## 1.3 Solární systémy a zařízení

Základem každého solárního systému jsou solární kolektory, které záření absorbují a mění na teplo, odváděné pomocí teplonosné kapaliny k místu využití. Správnou cirkulaci teplonosné kapaliny soustavou zajišťuje čerpadlová skupina, která kromě čerpadla obsahuje zejména elektronickou regulaci napojenou na teplotní čidla a také expanzní nádobu kvůli objemové tepelné roztažnosti kapalin. Tepelná energie absorbovaná kolektory se zpravidla pomocí výměníku předává do akumulární nádrže nebo zásobníku TUV. Ohřátá voda v zásobníku je pak využívána buď přímo jako TUV nebo jako předehřátá voda topná. V praxi rozdělujeme využití solární energie do dvou základních skupin, pasivní a aktivní [1][6].

### 1.3.1 Pasivní využití sluneční energie

Problematikou pasivního využití sluneční energie se zabývá zvláštní obor nazývaný „solární architektura“. Hlavním úkolem je pasivní využití sluneční energie k vytápění, při-

padně chlazení budov. Tzv. sluneční domy jsou navrženy tak, aby k jejich provozu bylo potřeba co nejméně energie k jeho vytopení a využilo co nejvíce energie ze slunečního záření. Energie se zachycuje hlavně na jižních stěnách a částech střechy. Pro maximální využití jsou jižní strany fasády speciálně navrženy tak, aby propouštěly velké množství slunečního záření (Obr. 4). Zachycená energie se akumuluje do stěn a stropů. Zahřáté stěny pak v případě potřeby ohřívají místnosti. Většina těchto slunečních domů kombinuje další metody využití sluneční energie, jako sluneční kolektory nebo fotovoltaické panely [6].

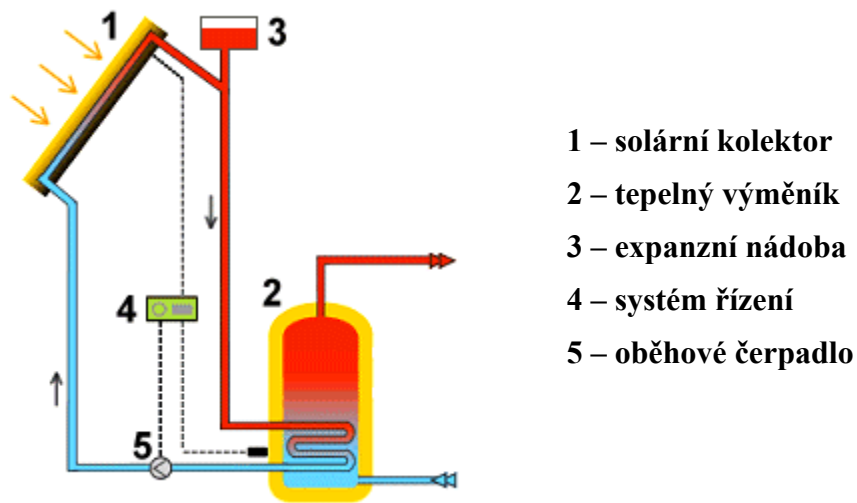


*Obr. 4. Jižní stěna pasivního využití sluneční energie [6]*

### 1.3.2 Aktivní využití sluneční energie

Mezi hlavní zařízení pro aktivní využití sluneční energie nepatří pouze sluneční kolektor. Je zapotřebí připojit i další prvky do topné soustavy, které dohromady vytvoří solární systém. Mezi hlavní prvky solárního systému patří sluneční kolektor, tepelný výměník, zásobník, potrubí, expanzní nádoba, regulační prvky a oběhové čerpadlo.

Různými parametry těchto komponentů a jejich kombinacemi lze vytvořit systémy, které slouží pro ohřev bazénu, sezónní vytápění, celoroční vytápění. Solární ohřev vody může být kombinovaný s jinými systémy pro ohřev TUV, jako např. ohřev elektrickou energií, plynem. Na obrázku (Obr. 5) můžeme vidět příklad nepoužívanějšího dvouokruhového kapalinového solárního systému pro celoroční ohřev TUV [6].



Obr. 5. Schéma dvouokruhového kapalinového solárního systému [6]

#### 1.4 Typy slunečních kolektorů

Sluneční tepelný kolektor je zařízení, které je určené k pohlcení a přeměně slunečního záření na tepelnou energii. Sluneční energie dopadá na plochu absorberu, ten je spojen s trubkovým rozvodem kolektoru. Přenos dopadající energie je zajištěn prostřednictvím kapalného teplotnosného média, které proudí mezi kolektorem a tepelným výměníkem, ten je umístěn v akumulaci nádrži. Kolektory jsou umístěny na slunných místech, většinou na střechách bytových domů, budov a průmyslových objektů. Sluneční kolektory dělíme podle:

##### 1) Teplonosné látky:

- **kapalinové** - v těchto typech je použita kapalina jako teplotnosná látka. Může být použita voda, nemrznoucí směs vody a propylenglykolu. Tyto sluneční kapalinové kolektory se využívají pro naprostou většinu aplikací v budovách.
- **vzduchové** – solární vzduchové kolektory jsou na českém území využívány pouze okrajově. Využívají se pro předehřívání čerstvého vzduchu pro větrání nebo cirkulační vytápění (teplotovzdušné, sálavé – hypoakustické) [7].

##### 2) Konstrukce:

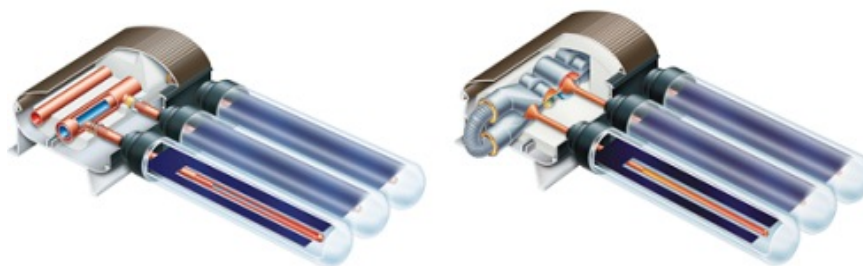
- **ploché** – ploché sluneční kolektory jsou vhodné pro přípravu TUV, ohřev bazénů a přitápění. Ploché kolektory jsou výhodnější než trubicové kolektory díky své jednoduché konstrukci. Nevýhodou je jejich menší účinnost při

nízkých venkovních teplotách. Kolektory jsou určeny k uchycení na střechu objektu nebo kamkoli na volné prostranství pomocí standardizovaných háků a držáků [1].



*Obr. 6. Plochý vakuový kolektor [7]*

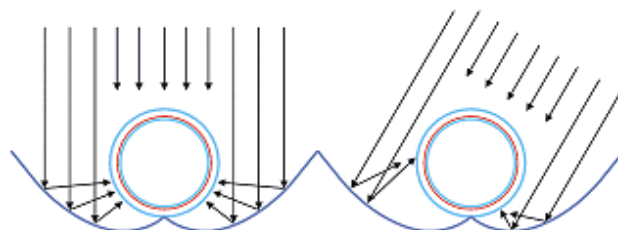
- **trubicové** – trubicové vakuové kolektory jsou vhodné pro přípravu TUV a přitápění. Absorpční vrstva kolektoru je chráněna vakuem, díky tomu mají kolektory velmi malou tepelnou ztrátu. Výhodou tohoto řešení je jejich účinnost při nízkých venkovních teplotách a snížené intenzitě slunečního záření [1].



*Obr. 7. Trubicový vakuový kolektor [7]*

- **koncentrační** – koncentrační (soustředující) kolektory jsou vhodné pro přípravu TUV a přitápění. Obsahují systém pro sledování polohy slunce. Výhodou těchto kolektorů je, že před dopadem na absorbér je sluneční záření zkoncentrováno na co nejmenší absorbér. Ten má díky svým rozměrům daleko menší ztráty a rychlejší ohřev teplotnosné kapaliny než plochý kolektor. Díky tomu má vysokou účinnost i při nízkých venkovních teplotách a snížené intenzitě slunečního záření. Používá se pro celoročně pro ohřev TUV.

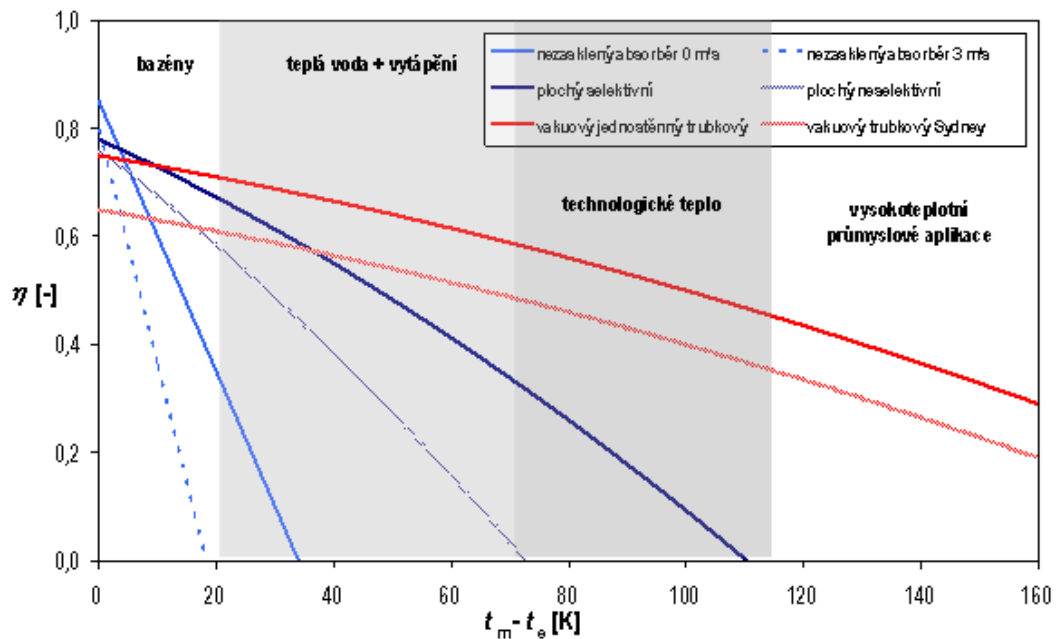
Nevýhodou jsou větší nároky na prostor, nutnost natáčečícího systému pro sledování slunce a neefektivní využití difuzního záření [7].



*Obr. 8. Koncentrační solární Sydney kolektor s reflektorem [6]*

### 3) Sluneční kapalinové kolektory můžeme dále dělit na:

- **nekrytý kolektor** – jedná se o plastovou rohož bez zasklení. Používá se pro sezónní ohřev bazénové vody [8].
- **neselektivní kolektor** – jedná se o zasklený kolektor s kovovým absorberem s černým pohltivým nátěrem. Používá se pro sezónní ohřev vody při nízké teplotní úrovni [8].
- **selektivní kolektor** – jedná se o zasklený kolektor s kovovým absorberem se spektrálně selektivním povlakem. Používá se pro celoroční ohřev vody a vytápění s provozními teplotami do 60 °C [8].



Obr. 9. Křivky účinnosti různých druhů slunečních kolektorů [9]

#### 1.4.1 Ploché kolektory

Plochému kolektoru se budeme věnovat podrobněji. Tento typ kolektoru je součástí systému v praktické části práce. Konkrétně se jedná o kolektor se selektivní vrstvou (Obr. 10).

Základem plochých solárních kolektorů je absorpční plocha tzv. absorbér. Na jeho povrchu se sluneční záření, a to jak přímé, tak difuzní, mění na teplo. Kvalitní, moderní kolektor má tuto plochu opatřenou spektrálně selektivním povlakem. Kolektory levnější a s horší účinností mají plochu opatřenou černou barvou. Výhodou pro selektivní povlak je, že černá barva se selektivním povlakem dobře pohltí tepelné záření a uzavře ho uvnitř. Černá barva bez selektivního povlaku dobře pohlcuje tepelné záření, ale stejně ochotně tepelné záření vydává zpět [1].

V absorbéru nebo na něm jsou připevněny trubky, kterými protéká teplotně nosná kapalina. Tyto trubky jsou vyráběny z teplo-vodivých materiálů, jako hliník, ocel nebo měď. S ohledem na vysoké teploty při možném chodu naprázdno se volí výhradně tyto materiály, aby teplotně nosná kapalina dobře odváděla teplo z absorbéru. Z konstrukčního hlediska dělíme absorbéry:

- podle tvaru:

- **lamelový absorbér** – sestavuje se z korozně odolné měděné trubky a absorpčního pásu – lamely z mědi nebo lehčího a levnějšího hliníku.
  - **deskový absorbér** – sestavuje se z mědi nebo oceli se zalisovaným nebo naletovaným systémem měděných trubek.
  - **polštářový absorbér** – sestavuje se z běžné nebo ušlechtilé oceli.
  - **válcový absorbér** – sestavuje se z hliníkového plechu.
- podle průtoku:
    - **serpentinový (meandrový) absorbér**
    - **žebříkový absorbér**

Aby se ztráty minimalizovaly, je absorbér vestavěn do ze všech stran uzavřené skříně, po stranách a na zadní straně dobře tepelně izolované [1].



*Obr. 10. Plochý solární kolektor MIROSKAL 1914*

## 2 TEPELNÝ VÝMĚNÍK

Tepelný výměník se využívá pro převod tepelné energie, kde není možné předat teplo přímo ze zdroje do spotřebiče. U žádného tepelného výměníku nelze dosáhnout 100 % účinnosti. Vždy existuje malý teplotní rozdíl mezi vstupní topnou kapalinou a výstupní kapalinou. Návrh tepelného výměníku je v každém systému velice důležitý a většinou na něm závisí funkčnost a účinnost celého systému [10].

Typickým příkladem takové závislosti jsou solární systémy. Pokud se do otopného systému nenainstaluje dostatečně velký výměník, který nestačí předávat energii, pak se vrací příliš vysoká teplota kapaliny a nutí celý systém pracovat při vyšší teplotě než by měl. To má vliv na účinnost celého systému.

Existují dva základní typy tepelných výměníků, trubkový a deskový. Liší svou konstrukcí, základními parametry a různým využitím v systémech pro výměnu tepelné energie.

### 2.1 Trubkový tepelný výměník

Trubkový tepelný výměník je jednoduché zařízení sestavené z jedné či více stočených trubek. Přestupní plochu tvoří vnější plášť trubky. Výměník se využívá v integrovaných zásobnících teplé vody nebo v akumulacích nádržích. Výhodou těchto výměníků je, že mají malou tlakovou ztrátu a jsou levné [10].

Nevýhodou je nízký přestupní koeficient, díky tomu potřebují k předání relativně malého výkonu velkou přestupní plochu. Kvůli nízkému koeficientu se tyto výměníky využívají hlavně v systémech, které pracují maximálně v řádech několika kilowatt a zároveň není kladen vysoký požadavek na malý teplotní rozdíl mezi topnou a ohřívanou kapalinou. Využívají se hlavně u malých solárních systémů. Pro představu 1 kolektor potřebuje pro optimální provoz cca 0,5 m<sup>2</sup> trubkového výměníku.



Obr. 11. Trubkový tepelný výměník [10]

## 2.2 Deskový tepelný výměník

Výkon a efektivita deskových tepelných výměníků je oproti trubkovým mnohem vyšší. Tyto typy mají přestupní koeficient až 10x vyšší než trubkové výměníky. Předávací výkon může být až v řádech stovek kW. Nevýhodou deskových výměníků je, že je nelze použít jako integrované. Je to z důvodu použití oběhového čerpadla, jak na topnou stranu, tak i na ohřívanou stranu. Z toho vyplývá i cena výměníku, která je díky tomu vyšší. Na ceně se promítnou i celkové provozní náklady, jelikož je potřeba počítat s dvojnásobnými provozními náklady na elektrický příkon pohonu oběhových čerpadel.

Naopak obrovskou výhodou deskových výměníků je velká variabilita ve velikostech a typech provedení. Je možné výměník navrhnout na extrémně malý teplotní spád, z toho vyplývá maximální zisk např. solárního systému a předání velkého topného výkonu [10].



Obr. 12. Deskový tepelný výměník [10]

### 3 PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY

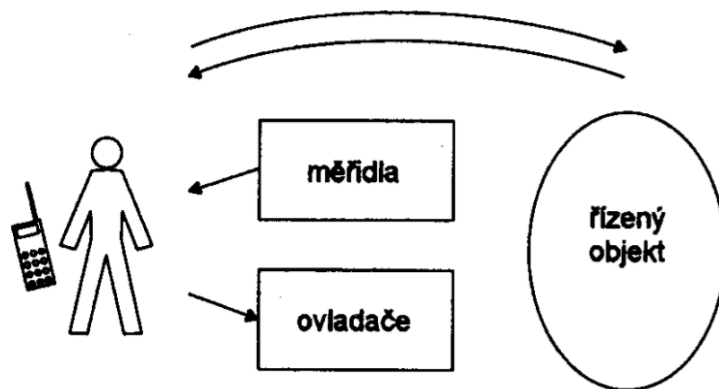
Programovatelný automat (dále jen PLC) je volně programovatelný řídicí systém připůsobený pro řízení průmyslových a technologických procesů, mnohdy specializovaný na úlohy převážně logického typu, hlavně u starších typů a nejmenších systémů. Označuje se zkratkou PLC (Programmable Logic Controller). Menší systémy bývají řešeny jako kompaktní, větší jako modulární (stavebnice).

Hlavní předností PLC je možnost rychlé realizace systému. Technické vybavení nemusí uživatel vyvíjet. Stačí navrhnout a objednat vhodnou sestavu modulů PLC, zvolit konfiguraci pro danou aplikaci, vytvořit projekt, napsat a odladit uživatelský program a to vše realizovat a uvést do chodu.

PLC jsou extrémně spolehlivé i v drsných průmyslových podmínkách, jsou odolné proti rušení i poruchám, vyznačují se robustností a spolehlivostí [11].

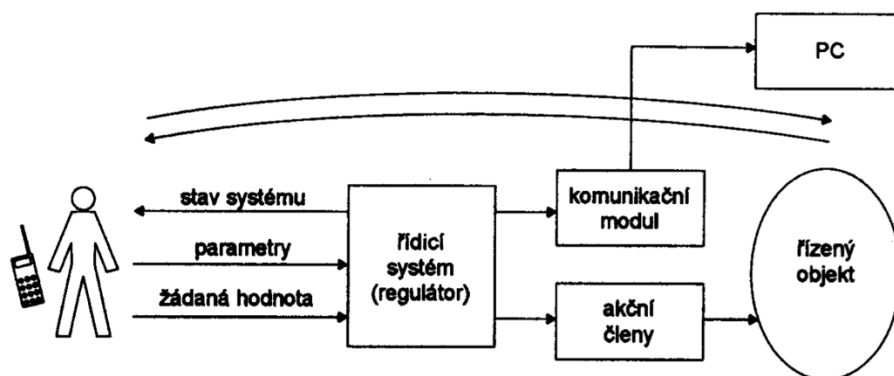
#### 3.1 PLC a řízení

Začlenění PLC do systému řízení je znázorněno na obrázku (Obr. 13). Při ručním řízení vykonává všechny operace člověk.



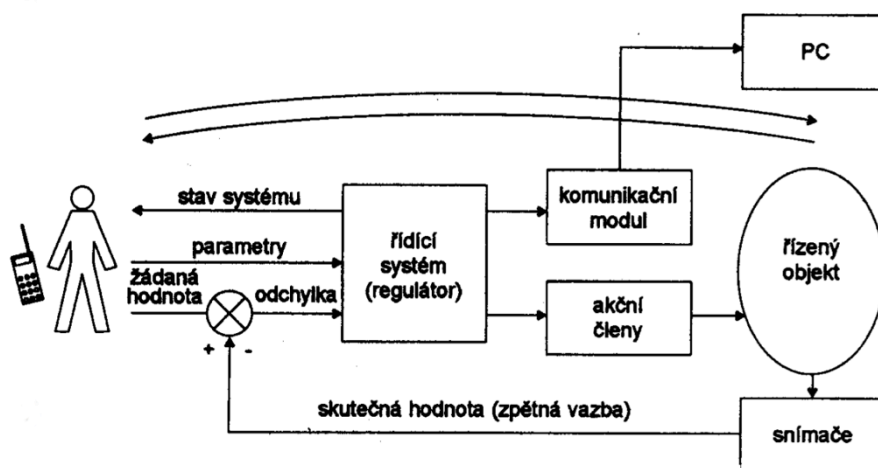
Obr. 13. Principiální schéma pro ruční řízení [11].

Při přímém (dopředném) řízení (Obr. 14) působí PLC na řízený objekt jednosměrně, jen jej ovládá a nekontroluje dosažený stav. Mezi systémem a řízeným objektem jsou zařazeny jen akční členy.



Obr. 14. Principiální schéma pro dopředné řízení [11]

Při zpětnovazebním řízení (Obr. 15) získává řídicí systém zpětnou informaci o stavu řízeného objektu (realizuje zpětnou vazbu, uzavírá zpětnovazební smyčku). Porovnává požadovaný stav se skutečným a podle zjištěné odchylky upravuje své akční zásahy tak, aby dosáhl požadovaného stavu (nebo se mu alespoň co možná nejvíce přiblížil). Zpětnovazební řízení je typické pro regulační úlohy [11]



Obr. 15. Principiální schéma pro zpětnovazební řízení [11]

Při použití PLC to znamená, že zadání žádané hodnoty je provedeno v číslicové formě, s číselnou informací systém operuje i při zpracování skutečné hodnoty a odchylky, ale i při výpočtech pomocných veličin potřebných k realizaci regulačního algoritmu. Řízený

objekt je proto třeba doplnit o potřebné snímače pro měření stavu sledovaných veličin např. teploty, hladiny, polohy nebo tlaku [11].

### 3.2 Mikro PLC

Nejmenší a nejlevnější PLC systémy (tzv. mikro PLC) nabízejí uživateli pevnou sestavu vstupů a výstupů, obvykle jen binárních, např. 6 binárních vstupů/výstupů pro nejmenší systém. Uživatel se v tomto případě může rozhodnout pro jeden typ systému, který již nemůže dodatečně rozšiřovat. Svým kompaktním provedením, malými rozměry a nízkou cenou (v jednotkách tisíc Kč) se mikro PLC řadí do kategorie „spotřebního materiálu“. Jejich funkční a programátorský komfort je obvykle redukován na nezbytné minimum, komunikační možnosti mnohdy chybějí.

Typickým použitím PLC nejnižší kategorie (mikro PLC) je realizace logické výbavy jednoduchých strojů a mechanismů, která se tradičně řešila pevnou reléovou logikou. Vezmeme-li v úvahu ceny ovládacích prvků, relé, stykačů, časových relé a časových programátorů, pak je zjevné, že použití mikro PLC je účelné již u nejprostších aplikací, kde nahrazuje „hrst relé“ [11].

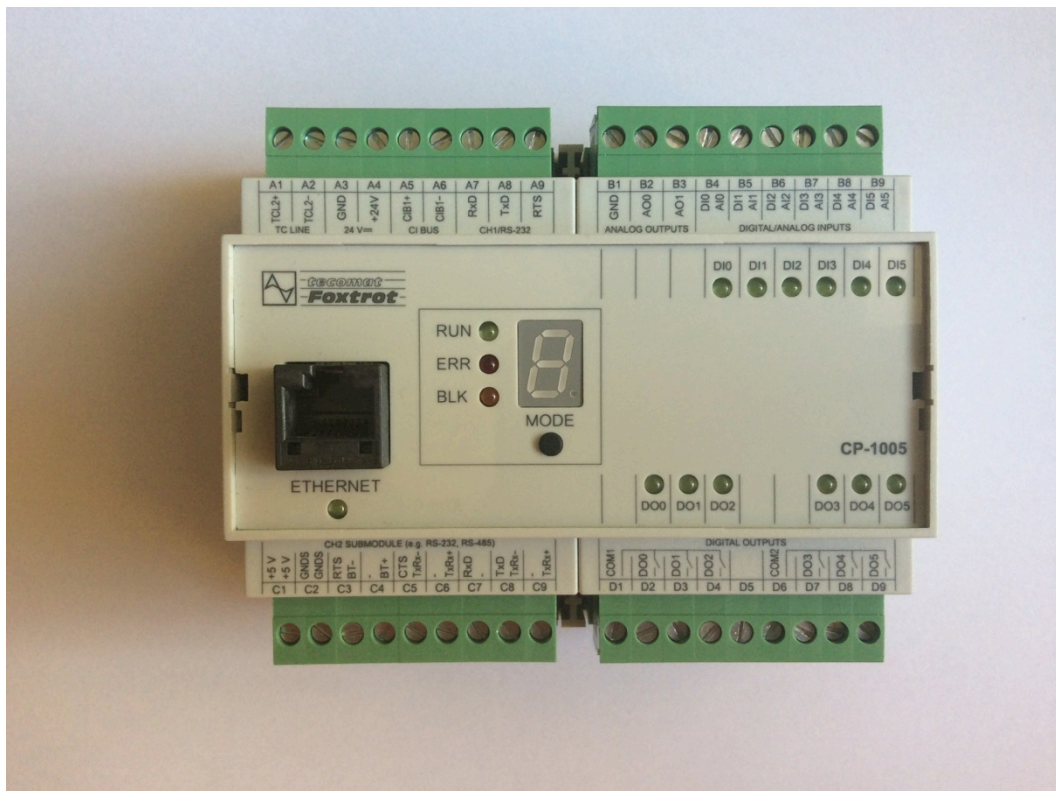
### 3.3 Kompaktní PLC

Ostatní PLC v kompaktním provedení nabízejí určitou, i když omezenou variabilitu ve volbě konfigurace. Uživatel může k základnímu modulu připojit jeden nebo několik přídatných modulů z omezeného sortimentu s pevnou kombinací vstupů a výstupů, např. modul s 8 binárními vstupy/výstupy (tranzistorovými nebo reléovými), modul rychlých čítačů, analogový vstupní nebo výstupní modul, modul regulátoru apod. Některé kompaktní systémy se navíc vyznačují ještě vnitřní modulárností, kdy konfiguraci základního modulu lze sestavit osazením základní desky násuvnými moduly vhodného typu („piggy-back“) [11].

### 3.4 Modulární PLC

Nesrovnatelně větší volnost ve volbě konfigurace poskytují modulární PLC. Do různých variant plochého zadního rámu lze zasouvat libovolné moduly (typicky v počtu 4, 6, 8 a 11 modulů). U některých variant může být jeden systém tvořen několika rámy (základní a rozšiřovací moduly). Rozšiřovací moduly mohou být připojeny na vzdálenosti stovek

metrů. Místo rozšiřujících modulů mohou být připojeny podsystémy tvořené kteroukoliv z variant. Tak lze vytvářet různě strukturované distribuované systémy[11].



Obr. 16. Modulární PLC Tecomat Foxtrot CP-1005

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 POPIS STÁVAJÍCÍHO SYSTÉMU

Stávající systém je nainstalován a realizován v místě Uherské Hradiště. Dne 15.11.2012 byla provedena prohlídka systému. Systém je určen pro ohřev TUV pomocí solárních kolektorů umístěných na střeše domu. Majitel popsali funkci jednotlivých prvků systému a předal kompletní dokumentaci ke každému prvku systému.

Během prohlídky majitel přednesl svoji představu o inovaci systému. Ta má spočívat v zabudování tepelného výměníku do komínu a tento výměník zapojit do stávajícího systému ohřevu TUV pomocí solárních kolektorů (dále jen SK). Nespotřebovaná odpadní energie krbové vložky bude využita pro ohřev TUV.

Solární systém byl dodán a nainstalován firmou Solar Plus. Jedná se o skleněné solární články MIKROSKAL 1914. Součástí systému je tlaková smaltovaná nádoba OKC 200/1m<sup>2</sup> o objemu 200 litrů, elektrická topná jednotka TJ6/4“, solární expanzní nádoba Varem, mokroběžné oběhové čerpadlo Wilo-Star RS, membránový pojistný ventil a celý tento systém je řízený termostatem pro řízení a regulaci.

### 4.1 Plochý sluneční kolektor Mikroskal 1914

Mikroskal 1914 je plochý SK, který je určen do samotížných a nucených okruhů. Je umístěn na střeše domu. Absorbér je potažen selektivní vrstvou Mirothem a v něm je zalísován měděný registr v hliníkovém plechu. Absorptivita povrchu je 95%. Krycí vrstva je kalené sklo tloušťky 4mm. Náplň potrubí je vyplněna celoročně ekologickou nemrznoucí směsí CPM Product Frix.

Kolektor je namontován pod úhlem 35° orientován na jižní stranu. Hmotnost kolektoru bez výplně je 41 kg, rozměry s přípojovacím potrubím jsou 1070x1991x92 mm, plocha kolektoru je 2,13 m<sup>2</sup>, z toho absorpční plocha 1,85 m<sup>2</sup>. Maximální výkon kolektoru je 78% - 1400W/h, maximální stagnační teplota 167°C.

Na obrázku (Obr.17) můžeme vidět solární kolektor instalovaný na střeše., který se skládá ze dvou solárních článků. Celková absorpční plocha je 3,70m<sup>2</sup> a maximální udávaný výkon kolektoru je 2800 W/h. SK obsahuje teplotní čidlo PT 100 připojené na řídicí jednotku SOLAR 02.



*Obr. 17. Plochý solární kolektor Mikroskal 1914*

#### **4.2 Smaltová tlaková nádoba OKC 200/1m<sup>2</sup>**

Smaltová tlaková nádoba slouží k akumulaci ohřevu vody přes tepelný výměník. Je vyrobena z ocelového plechu a zkoušena předlakem 0,9 MPa. Vnitřek nádoby je posmaltován. Zásobník je izolován tvrdou polyuretanovou pěnou. U tohoto typu je v tlakové nádobě přivařen výměník tepla. Jmenovitý objem nádoby je 195 litrů. [12]. Nádoba obsahuje odporové teplotní čidlo PT 100. Toto čidlo je připojeno na řídicí jednotku. Nádoba je vybavena topným tělesem. Pomocí termostatu je nastavena konstantní teplota na hodnotě 45 °C.



*Obr. 18. Smaltová tlaková nádoba OKC 200/1m<sup>2</sup>*

### 4.3 Řídící jednotka a ovládací program SOLAR 02

Řídící jednotka je procesorový dvoučidlový termostat měřící a zobrazující teplotu solárního kolektoru a nádrže. Ovládací program SOLAR 02 kontroluje teplotu SK a TUV v nádrži. Převýší-li teplota na SK teplotu TUV v nádrži o nastavenou teplotu, čerpadlo spíná. Dojde-li k přiblížení teplot TUV a SK na nastavenou hodnotu, čerpadlo vypíná. Automatika čeká na opětovný nárůst teploty na SK. Jakmile teplota na SK naroste o nastavenou hodnotu, celý cyklus se opakuje.



Obr. 19. Řídící jednotka SOLAR 02

Ovládací panel termostatu (Obr. 19) obsahuje tlačítka, kterými lze nastavit spínací teplotu pro vypnutí čerpadla v rozsahu 3-15 °C, dále rozsah teploty pro spínání čerpadla v rozsahu 3-20 °C. Ovládací termostat je vybaven režimem prochlazování TUV, tzn. jestliže je teplota na kolektoru nižší než 40 °C a teplota TUV vyšší jak 40 °C, sepne se v tomto režimu termostat oběhového čerpadla a dochází k prochlazování TUV (nedochází k přehřívání), klesne-li TUV na teplotu 38 °C čerpadlo vypíná. Tento režim si může nastavit uživatel, pokud plánuje delší nepřítomnost. Průběh teplot pro spínání čerpadla můžeme pozorovat v tabulce (Tab.2) [13].

Tab. 2. Teploty pro spínání čerpadla

Teplota TUV	Průběh teplot	
	Čerpadlo vypíná	Čerpadlo spíná
20	23,3	30,3
35	38	45
47,8	50,8	57,8
53,5	56,5	63,5
70	73	80

#### 4.4 Spartherm Varia Ah 3S

Spartherm Varia Ah 3S je krbová vložka (Obr. 20) umístěná v největší místnosti budovy. Jmenovitý výkon této vložky je 10-12 kW. Materiál vložky je zkonstruován z ocele + šamotu. Pro správný odvod spalin je krbová vložka napojena na komín s průměrem 200 mm. Celková výška komína je 6 m. Hmotnost celého zařízení je 240 kg.



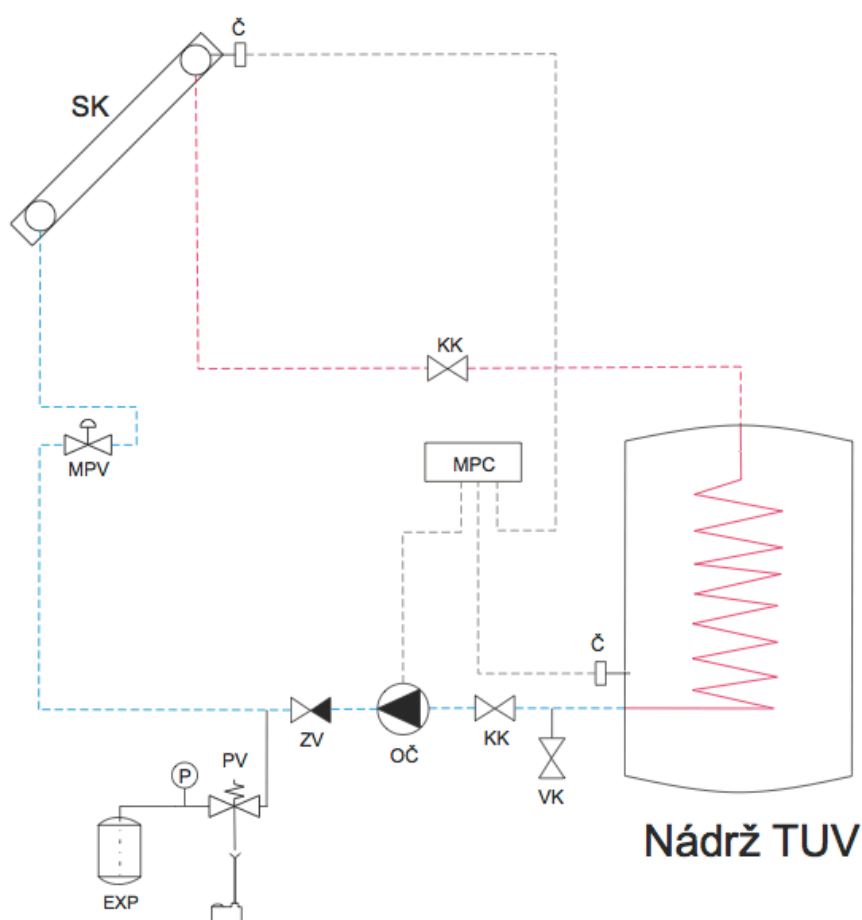
Obr. 20. Krbová vložka Spartherm Varia Ah 3s

#### 4.5 Ostatní prvky solárního systému pro ohřev TUV

Na obrázku (Obr. 21) lze vidět schéma zapojení solárního vytápěcího systému. V předchozích kapitolách byly popsány parametry solárního kolektoru a smaltové tlakové nádrže.

Solární systém dále obsahuje ochranné prvky jako solární expanzní nádobu (EXP) Va-rem, která udržuje tlak v celém systému ohřevu TUV na 2,5 barech, dále tlakoměr (P) a pojistný ventil (PV).

Mokroběžné oběhové čerpadlo Wilo-Star RS (OČ) slouží k prohánění kapaliny celým systémem. Za čerpadlem je zabudován zpětný ventil (ZV), který brání kapalině proudit ve špatném směru. Před vstupem do SK je membránový pojistný ventil (MPV), který musí být instalován v bodě nejnižší teploty nebo v nejvyšším místě. Celý tento systém je řízený termostatem pro řízení a regulaci [11].



Obr. 21. Schéma zapojení stávajícího solárního systému

<b>SK</b> – solární kolektor	<b>ZV</b> – zpětný ventil
<b>MPV</b> – membránový pojistný ventil	<b>OČ</b> – oběhové čerpadlo
<b>EXP</b> – expanzní nádobka	<b>KK</b> – kulový kohout
<b>P</b> – tlakoměr	<b>VK</b> – vypouštěcí kohout
<b>PV</b> – pojistný ventil	<b>Č</b> – teplotní čidlo (pt100)
<b>TUV</b> – teplá užitková voda	<b>MPC</b> – ovládací jednotka

## 5 MĚŘENÍ TEPLoty SPALIN

Důvodem měření bylo zjistit průběžnou teplotu spalin vně komína při spalovacím procesu, tuto teplotu zaznamenat a využít ji pro výpočet teploty spalin v krbové vložce. Tento výpočet lze využít pro optimální návrh velikosti plochy trubcového tepelného výměníku.

Měření probíhalo ve dvou fázích. První fáze probíhala od 18.1.13 – 23.1.13, tedy pouze 5 dní. Teplota v těchto dnech se pohybovala od  $-5\text{ °C}$  do  $-20\text{ °C}$ . Během tohoto měření docházelo k velmi častým chybám při přenosu dat z převodníku do PC. Druhá fáze probíhala od 7.3.13 – 10.4.13. Rtuť teploměru se pohybovala od  $5\text{ °C}$  do  $-5\text{ °C}$ .

### 5.1 Uchycení teplotního čidla

K dlouhodobému zaznamenávání dat bylo použito platinové odporové teplotní čidlo PT-100. Čidlo vykazuje při teplotě  $0\text{ °C}$  elektrický odpor  $100\ \Omega$  [14]. Čidlo bylo zavěšeno na konec komínu pomocí hliníkového držáku (Obr. 22). Držák byl navržen speciálně pro zavěšení čidla PT-100 v nejvyšším bodě ústí komína. Teplotní čidlo bylo volně zavěšeno 2 cm od okraje kruhového ústí komína.



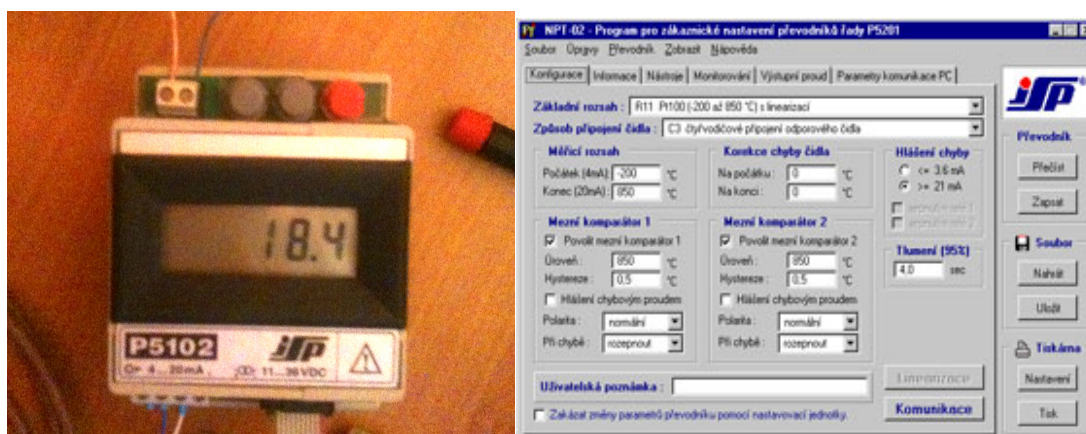
Obr. 22. Přípravek na uchycení teplotního čidla

### 5.2 Převodník P5102

Naměřené hodnoty z teplotního čidla byly zpracovány v převodníku P5102 zapůjčeného univerzitou UTB-FAI. Samotný převodník by ukazoval pouze aktuální naměřenou

teplotu s předem nastavenou periodou snímání, protože nemá paměťový prostor pro jeho ukládání.

Pro průběžné ukládání naměřených teplot bylo potřeba připojit převodník P5102 k počítači, kam by vysílal a ukládal naměřená data. Převodník lze připojit pomocí softwaru NPT-02, který je určený pro převodníky P5102 a P5201. Zde je možnost nastavit vlastní konfiguraci a tu pak nahrát do převodníku. Převodník je připojen k PC pomocí USB konektoru.



Obr. 23. Vlevo fotka převodníku P5102 a fotka programu NPT-02

### 5.3 Průběh měření teploty spalin

Celý tento systém snímání teploty a jeho záznam byl umístěn na střechu v upravené plastové nádobě. Nádoba byla upravena tak, aby bylo možné přivést napájecí kabel pro PC, kabel k připojení teplotního čidla k převodníku a ethernetový kabel pro vzdálenou správu.

Díky zavedenému ethernetovému kabelu bylo možno pozorovat průběh měření pomocí programu TeamViewer, programu pro zobrazení a ovládání vzdálené plochy. Pomocí vzdáleného ovládání se rapidně zjednodušila možnost reagovat na chyby, které se vyskytly. V průběhu měření docházelo k chybám při přenosu dat z převodníku do PC. Převodník neukládal naměřená data. Tato chyba byla způsobena velmi nízkými teplotami venkovního vzduchu pod hranicí  $-10\text{ °C}$ . Pod touto hranicí už výrobce nezaručuje bezproblémový provoz převodníku P5102. Chybu se podařilo odstranit restartováním systému, což vedlo k opětovnému záznamu teplot z převodníku do PC. Celá nádoba byla zabalena do několika vrstev alobalové izolace, aby ze stěn nádoby neunikalo teplo vyprodukované zahříváním PC.

Záznam dat byl prováděn v minimálním časovém intervalu, který byl převodník schopen zvládnout. Data byla zaznamenávána v časových intervalech  $T=2$  s.

## 5.4 Zpracování naměřených dat

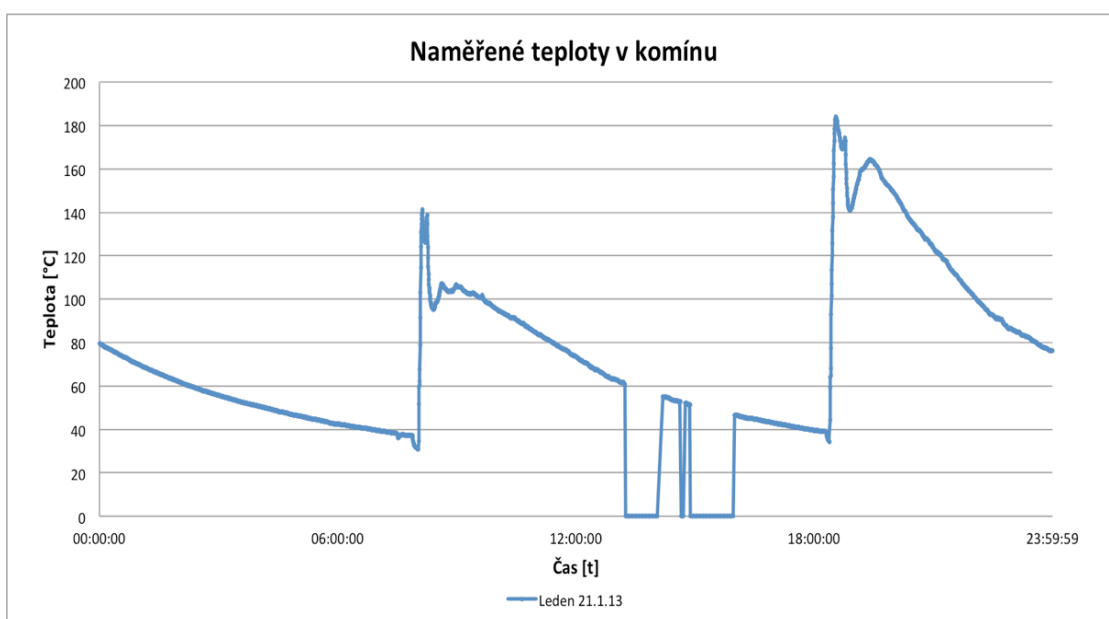
Jak již bylo zmíněno, měření probíhalo ve dvou časových intervalech. Data byla zpracovávána v tabulkovém editoru Microsoft Excel. Každá fáze měření byla rozdělena do jednotlivých dnů, tedy do 24 hodinových intervalů. Záznamy byly použity pro grafické znázornění průběhu teploty v ústí komína.

Díky velkému množství zaznamenaných dat, byla data vyfiltrována a použita každá desátá hodnota, tomu odpovídá časový interval použitých záznamů  $T=20$  s. I s tímto omezením a mírným snížením přesnosti, dosahuje měření velmi uspokojivých a zajímavých výsledků.

### 5.4.1 Oprava chyb v grafickém znázornění

Jak již bylo popsáno v přechozích kapitolách, v průběhu měření docházelo k chybám při přenosu dat z převodníku do záznamového zařízení. Tyto chyby jsou znázorněny v grafu (Obr. 24).

V grafu můžeme pozorovat, že v čase 13:14:39 došlo k chybě. Zaznamenaná hodnota byla tedy nulová a neměla žádnou vypovídací hodnotu. Chybu se podařilo opravit v čase 14:11:09.



Obr. 24. Grafické znázornění průběhu teploty spalin v ústí komína dne 21.1.13

Graf (Obr. 24) má stejnou délku časových intervalů v intervalových časových řadách. Pro ověření správnosti chybějících dat byl využit vzorec koeficient růstu (Rov. 1) a průměrný koeficient růstu (Rov. 2) [15].

$$k_t = \frac{y_t}{y_{t-1}} \quad (1)$$

kde:

$k_t$  – koeficient růstu

$y$  – hodnota v daný interval

$t$  –  $t=2,3,\dots,n$

$$\bar{k} = \sqrt[n-1]{k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n} = \sqrt[n-1]{\frac{y_n}{y_1}} \quad (2)$$

kde:

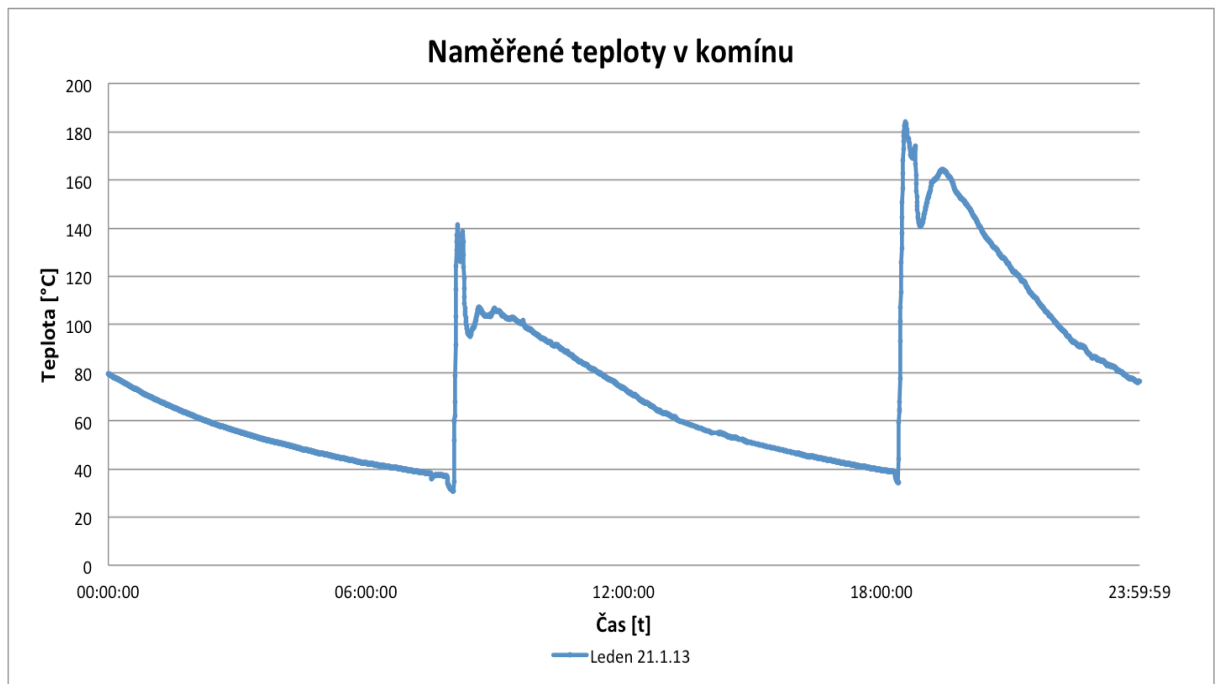
$\bar{k}$  – průměrný koeficient růstu

$y$  – hodnota v daný interval

$t$  –  $t=2,3,\dots,n$

Pro příklad výpočtu si uvedeme chybu v čase 14:37:23, tomuto času odpovídala teplota 52,8603 °C. Chyba byla zjištěna a opravena v čase 14:45:00, tomuto času odpovídala teplota 52,1611 °C. Počet chybějících záznamů je 22 s časovým intervalem 20 s, teplota celkově klesla o 0,6992 °C. Počítáme s lineárním snižování teploty. V každém intervalu teplota klesne o 0,0304 °C.

Dosadíme-li do rovnice (Rov.2), vyjde nám průměrný koeficient růstu  $\bar{k} = 0,9994$ . V našem případě je koeficient  $< 1$ , bude tedy docházet ke snižování teploty. Pro porovnání si vypočítáme průměrný koeficient růstu předcházejících 24 záznamů (než se vyskytla chyba). U těchto záznamů je průměrný koeficient růstu  $\bar{k} = 0,9997$ . Pokud bychom chybějící hodnoty dopočítali s tímto koeficientem, teplota neklesá dostatečně rychle, tak bychom po 22 chybějících záznamech dosáhli teploty 52,1611 °C, což odpovídá teplotě, kdy došlo k opětovnému záznamu měření. Důvodem jsou klimatické podmínky, které ovlivňují snižování teploty a díky tomu nelze přesně určit teploty, které byly při chybě měření. V grafu (Obr. 25) můžeme pozorovat upravený průběh teplot.



Obr. 25. Grafické znázornění opraveného průběhu teploty spalin vně komína dne 21.1.13

## 5.5 Výsledky měření teploty spalin

Z naměřených dat pozorujeme chování a průběh teplot v ústí komína. Můžeme zjistit maximální teploty systému a její průměrné hodnoty během celého průběhu spalování paliva v krbové vložce. Na základě těchto hodnot lze vybrat vhodné komponenty pro správný návrh fungujícího systému paralelního ohřevu TUV přes tepelný výměník a SK.

## 5.6 Maximální energetický zisk

V našem případě předpokládáme umístění výměníku do ústí komína. Níže si provedeme výpočty, na základě kterých se rozhodneme, kam umístit výměník aby bylo dosaženo maximálního energetického zisku. Z naměřených hodnot lze dopočítat teploty, které se v kouřovodu vyskytují. Pro výpočet použijeme maximální teplotu, kterou jsme naměřili při záznamu teploty spalin.

Pro výpočet teploty spalin v kouřovodu potřebujeme pomocný výpočet součinitele chladnutí spalin  $K$  (Rov. 3) [16].

$$K = \frac{H \cdot k \cdot U}{m \cdot c} \quad [ - ] \quad (3)$$

kde:

$H$  – výška komína od zaústění spotřebiče po korunu je 6 m.

$k$  – součinitel prostupu tepla ( $k = 1,5 - 2,0$  u tepelně izolovaných komínů).

$U$  – vnitřní obvod komínového průduchu.

$m$  – hmotnostní průtok spalin (kg/s). Výrobce udává 0,0362 kg/s.

$c$  – měrná tepelná kapacita spalin. Pro výpočet využijeme vzduch při teplotě 100 °C

(1008,86 J/Kg.K)

$$K = \frac{6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,2}{0,0362 \cdot 1008,86}$$

$$K = 0,2065$$

Pokud budeme počítat s maximální teplotou spalin v ústí komínového průduchu 184 °C, po dosazení do vzorečku pro výpočet teploty v ústí komínového průduchu a následné úpravě vzorečku (rovnice 4) [16] :

$$T_0 = T_L + (T_E - T_L) \cdot e^{-K} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4)$$

kde:

$T_0$  – teplota spalin v ústí komínového průduchu

$T_L$  – teplota spalovacího vzduchu 5 °C

$T_E$  – teplota spalin v kouřovodu.

$e^{-K}$  – funkce závislá na součiniteli chladnutí

Ze vzorečku vyjádříme teplotu spalin v kouřovodu  $T_E$ .

$$T_E = \frac{T_0 - T_L}{e^{-K}} + T_L \quad (5)$$

$$T_E = \frac{184 - 5}{e^{-0,2065}} + 5$$

$$T_E = 225,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

Aby bylo možné využít maximální energetický zisk při spalování paliva, musíme umístit tepelný výměník co nejbližší ke zdroji spalování. V našem případě bylo rozhodnuto o umístění výměníku na kouřovod krbové vložky. Toto řešení se jeví jako nejvhodnější, jelikož majitel chce změny provést s co nejmenším zásahem infrastruktury domu. Lze také vybrat z velkého množství výměníků, které jsou určeny přímo na kouřovod.

## 6 VÝBĚR KOMPONENTŮ A ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY

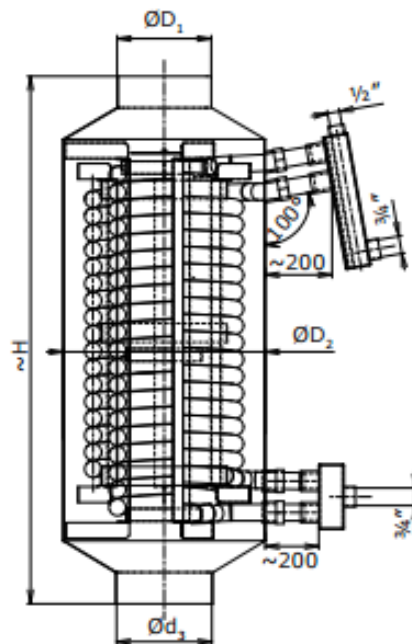
Ke stávajícímu návrhu bylo potřeba vybrat vhodné komponenty, které je možné správně propojit se stávajícím systémem ohřevu TUV. Mezi hlavní nové komponenty patří tepelný výměník vhodný k instalaci na kouřovod krbové vložky, dále 4 trojcestné ventily, které budou přepínat okruhy ohřevu, jeden trojcestný ventil, který je aktivní, pokud dojde k přehřátí akumulární nádrže, odpustí horkou vodu, do nádrže přiteče studená voda a ochladí nádrž TUV. Teplotní čidla PT 100 slouží ke snímání teploty kouřovodu a výstupu výměníku.

### 6.1 Tepelný výměník

V kapitole 5.6 Maximální energetický zisk bylo rozhodnuto o umístění teplovodního výměníku do kouřovodu krbové vložky. Aby výměník bylo možné instalovat, je nutné znát průměr kouřovodu vložky (v našem případě 200 mm) a výkon výměníku. Jelikož se v našem případě jedná o speciální systém (pouze k ohřevu TUV) výkon díky tomu musíme zohlednit.

Výběr vhodného výměníku má několik pravidel. Obecně platí, že na 50 l je potřeba výkon 1kW. Při konzultaci se zkušeným topenářem byl doporučen výměník s výkonem 6 kW. Tento parametr byl tedy stěžejní pro výběr vhodného výměníku. Dalším důležitým parametrem byla celková výška výměníku. Pro správné napojení výměníku na vstupní kloub vedoucí spaliny do komína, musela výška výměníku být do 0,5 m.

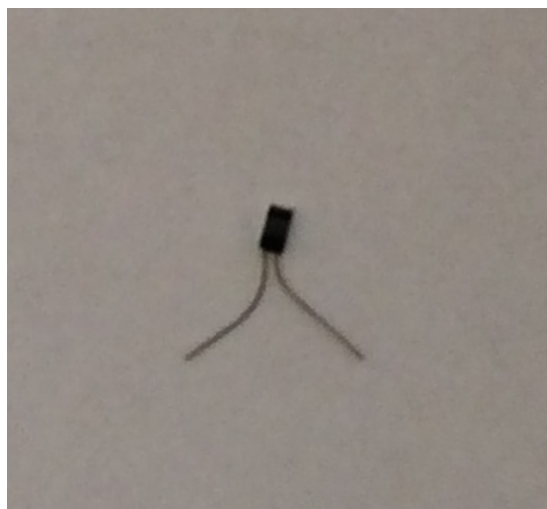
Na základě těchto parametrů byl jako vhodný teplovodní výměník vybrán typ TSV 2 – 200. Tento výměník splňuje všechny výše popsané parametry. Výměník je určen na kouřovod o průměru 200 mm, celková výška výměníku je 400 mm. Výkon se pohybuje v rozmezí 1,5-5,5 kW. Teplosměnná plocha výměníku je 0,6 m<sup>2</sup> [17].



Obr. 26. Jednořadý  
teplovodní výměník  
spalin TVS 2–200 [17]

## 6.2 Čidla PT 100

Během celého řízení je potřeba znát aktuální teploty v systému. Proto je potřeba vybavit o teplotní čidlo, které je umístěno v kouřovodu krbové vložky, abychom mohli co nejpřesněji snímat teploty spalin vycházející z krbové vložky. Stávající teplotní čidlo uvnitř solárního zařízení a čidlo umístěné v zásobníku pro sledování teploty TUV připojíme do nové řídicí jednotky. Vybraný senzor snímání teploty je standardní platinový PT100.



Obr. 27. Platinové teplotní čidlo PT 100

### 6.3 Termostatický směšovací ventil

Termostatický směšovací ventil (dále TSV) slouží k udržování vratné vody do výměníku na jmenovité teplotě. Díky tomu se zlepšuje spalování a účinnost vložky, prodlužuje se životnost a omezuje zanášení teplosměnných ploch výměníku. Při hoření se kromě jiných látek uvolňuje z paliva také voda ve formě vodní páry. Pokud je teplota spalin dostatečně vysoká, odchází pára se spalinami komínem. Pokud se však spaliny v některém místě ochladí, dojde v tomto místě ke kondenzaci vodních par. Vzniklý kondenzát obsahuje produkty spalování, které mohou být velmi agresivní a mohou způsobovat rychlou korozi a zanášení teplosměnných ploch. Zhoršuje se i účinnost a kvalita spalování.

TSV směšuje chladnou vodu, která se vrací z topného systému s horkou vodou z výstupu výměníku a udržuje tak vratnou vodu do výměníku a tím udržuje jeho teplosměnné plochy na teplotě, při které ke kondenzaci nedochází [18].



Obr. 28. Termostatický směšovací ventil [18]

### 6.4 Oběhové čerpadlo pro výměníkový okruh

Po doporučení bylo rozhodnuto vybavit okruh pro ohřev TUV přes teplovodní výměník mokroběžným OČ. Systém tedy vybavíme o druhé OČ Wilo-Star RS, které bude umístěné za TSV. Za OČ je zařazena zpětná klapka, která předchází úniku tepla v době, kdy je výměník nevyužitý.



*Obr. 29. Oběhové čerpadlo Willo Star RS*

## 6.5 Trojcestný ventil

Trojcestné ventily patří mezi spínací prvky. Do systému byl vybrán trojcestný ventil s 3/4“ závitem, pro připojení k okruhu, poháněný elektromotorem s možností manuálního otevření. Napájení ventilu je 220 – 230 V, příkon 5-6 W, provozní teplota kapaliny 5-120 °C, krátkodobě max. 150 °C.

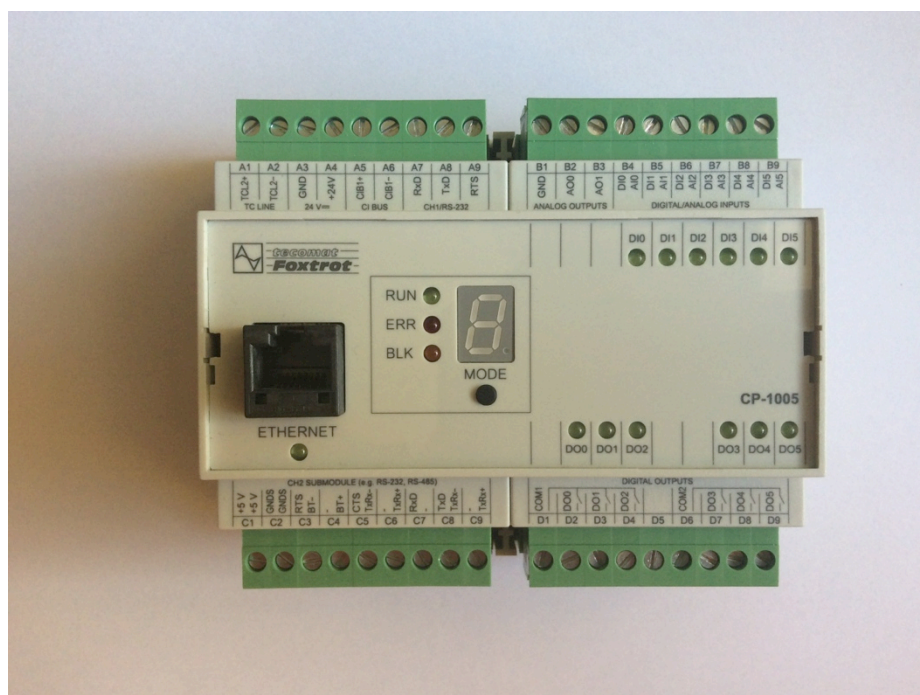


*Obr. 30. Trojcestný ventil 3/4“ A 1“ [19]*

## 6.6 Řídicí jednotka PLC TECO Foxtrot CP-1005

Modul CP-1005 patří mezi základní modulární programovatelné automaty z řady Foxtrot od českého výrobce Teco a. s. Modul je vybaven šesti víceúčelovými vstupy, z nichž každý je využitelný jako analogový, napěťový, proudový, dvěma analogovými výstupy 10 V a šesti reléovými výstupy. Srdcem modulu je centrální procesorová jednotka řady K, určená pro aplikace zaměřené na vysoký výkon.

Uživatelská data, tabulky, programy atd. se ukládají na zálohovanou paměť CMOS RAM. PLC obsahuje paměť flash pro zálohování uživatelského programu, slot pro paměťové karty MMC/SD/SDHC, dále obvod reálného času, rozhraní Ethernet, dva sériové kanály, jeden komunikační kanál pro připojení externích periférií a systémové rozhraní TCL2 určené pro připojení rozšifrovacích modulů, které zvyšují počet I/O systému. Napájecí napětí PLC je 24 V [20].



Obr. 31. Teco Foxtrot CP-1005

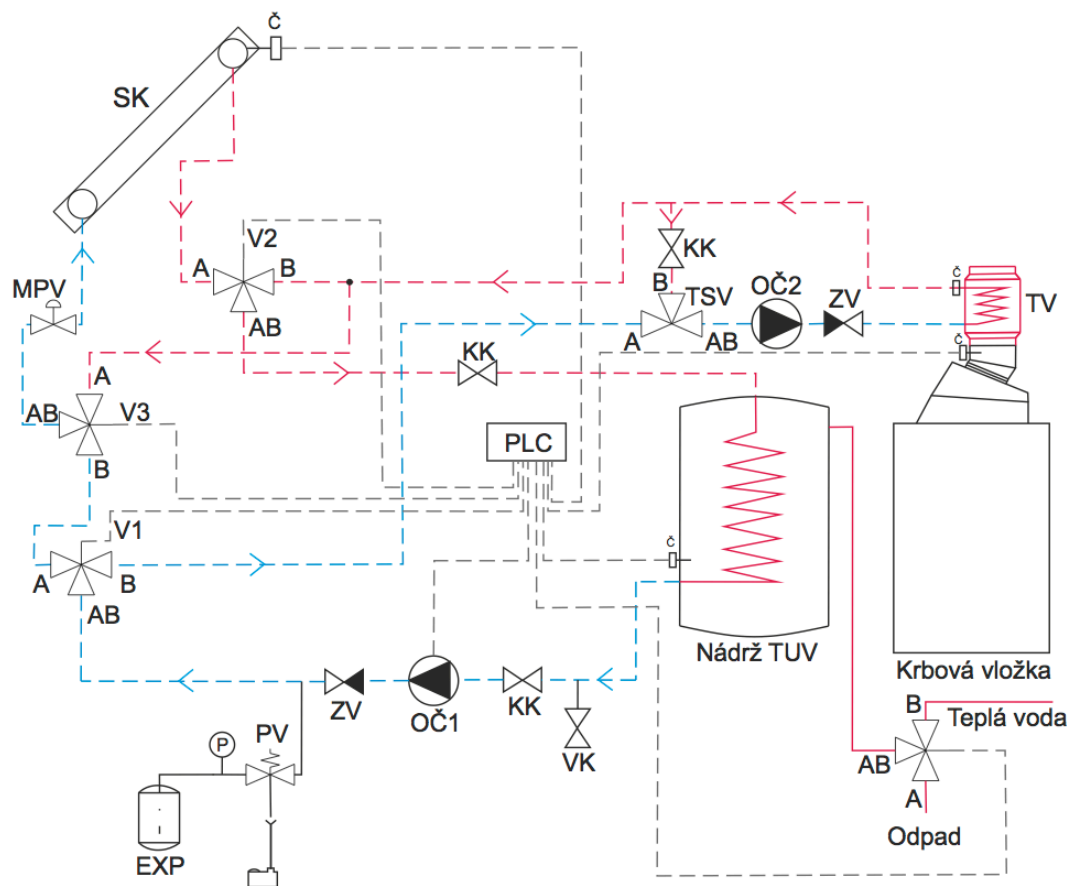
## 6.7 Záložní zdroj elektrické energie

Záložním elektrickým zdrojem je nutné vybavit systémy, které obsahují teplovodní výměník. Důvodem je ochrana výměníku před přehřátím při výpadku elektrické energie. Je nutné zajistit chod řídicí jednotky a OČ pokud dojde k odpojení elektřiny. Pro naše potřeby je vhodný např. záložní zdroj APC Back-UPS 400.

## 7 SCHÉMA ZAPOJENÍ INOVATIVNÍHO NÁVRHU

Na obrázku (Obr. 30) můžeme pozorovat schématické zapojení inovovaného systému, kde k solárnímu ohřevu byl paralelně připojen teplovodní výměník pro ohřev TUV. Celý systém je rozšířen o trojici trojcestných spínacích ventilů, které jsou řízeny modulárním PLC Foxtrot CP – 1005. Teplotní čidlo umístěné v kouřovodu zjišťuje teplotu spalin a je připojeno na vstup CP – 1005 stejně jako čidla ze solárního kolektoru a nádrže TUV. Na základě jejich teplot a naprogramovaného uživatelského programu se nastavují trojcestné ventily do požadovaných poloh.

Trojcestný spínací ventil V4 odpustí teplou vodu z nádrže TUV, přesáhne-li teplota 80 °C. Ventil TSV má zabudovanou termostatickou vložku, která zavírá vstup „A“ pokud je výstup „AB“ nižší než jmenovitá teplota. Po dosažení jmenovité teploty termostat pomalu otevírá vstup „A“ vratné vody z otopného systému tak, aby po smíchání s horkou vodou z výstupu „B“ bylo dosaženo jmenovité teploty vratné vody do výstupu „AB“. Vstup „B“ zůstává vždy otevřený. Z důvodu přimíchávání více horké vody ze vstupu „B“ je před vstupem „B“ umístěn např. kulový kohout, který slouží k optimálnímu nastavení průtoku a dosažení správné teploty na výstupu „AB“ [18].



Obr. 32. Schéma zapojení inovovaného systému pro ohřev TUV

**SK** – solární kolektor

**MPV** – membránový pojistný ventil

**EXP** – expanzní nádoba

**KK** – kulový kohout

**P** – tlakoměr

**PV** – pojistný ventil

**TSV** – termostatický směšovací ventil

**TUV** – teplá užitková voda

**ZV** – zpětný ventil

**OČ1** – oběhové čerpadlo pro ohřev přes SK

**OČ2** – oběhové čerpadlo pro ohřev přes TV

**TV** – teplovodní výměník

**VK** – vypouštěcí kohout

**Č** – teplotní čidlo (pt100)

**PLC** – řídicí jednotka Fox Trot CP-1005

## 8 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY

Uživatelský program je nastavený tak, aby na základě připojených vstupních analogových teplotních čidlech v zásobníku TUV, SK, kouřovodu a výstupu výměníku rozhodl, pomocí kterého systému bude akumulovat přebytečné teplo do nádrže.

### 8.1 Ohřev TUV pomocí solárních kolektorů

Uživatelský program pro ohřev TUV pomocí solárních kolektorů byl navržen již podle instalovaného systému.

Uživatel má přístup k webovému rozhraní celého systému, kde může pozorovat jeho chování. Má zde možnost nastavit vypínací teplotu čerpadla v rozmezí 3-15 °C, spínací teplotu čerpadla v rozmezí 3-20 °C a byla zde modifikována možnost aktivace režimu dovolená. Uživatel si nastaví rozmezí datumů ve formátu MM.DD.RRRR hh:mm, kdy nebude přítomen. Pokud aktuální čas bude v nastaveném rozmezí, režim dovolená je aktivní (Obr. 33).

**Nastavení teplot spínání**

Spínací teplota čerpadla :  °C

Vypínací teplota čerpadla :  °C

**Spuštění režimu dovolená**

Začátek dovolené :

Konec dovolené :

Obr. 33. Nastavení hodnot, webové rozhraní

Ohřev přes SK probíhá, pokud teplota SK převyší teplotu TUV o nastavenou teplotu, která se skládá ze součtu spínací teploty čerpadla a vypínací teploty čerpadla. Nastavenou hodnotu může majitel měnit a najít si tak optimální spínací a vypínací teploty. Řídící program nastaví ventily do požadované pozice tak, aby byl vytvořen uzavřený okruh ohřevu pomocí SK a spíná OČ1. Dojde-li k přiblížení teplot TUV a SK, OČ1 vypíná. Řídící systém čeká na opětovné navýšení teploty na SK, jakmile teplota SK naroste o nastavenou hodnotu, OČ1 opět spíná.

Pokud je aktivní režim dovolená, tak se program chová následovně. Jestliže je teplota na SK je nižší než 40 °C a teplota TUV je vyšší jak 40 °C, spíná OČ1 a dochází k prochlazování TUV v nádrži. Klesne-li TUV na teplota pod 38 °C, OČ1 vypíná. Jestliže teplota SK přesáhne 40 °C, systém pracuje v běžném režimu.

Průběh teplot pro spínání čerpadla můžeme pozorovat v tabulce (Tab. 3).

Tab. 3. Průběh spínacích a vypínacích teplot

Teplota TUV	Průběh teplot	
	Čerpadlo vypíná	Čerpadlo spíná
45	48	55
53,3	56,3	63,3
61,5	64,5	71,5

## 8.2 Ohřev TUV pomocí teplovodního výměníku

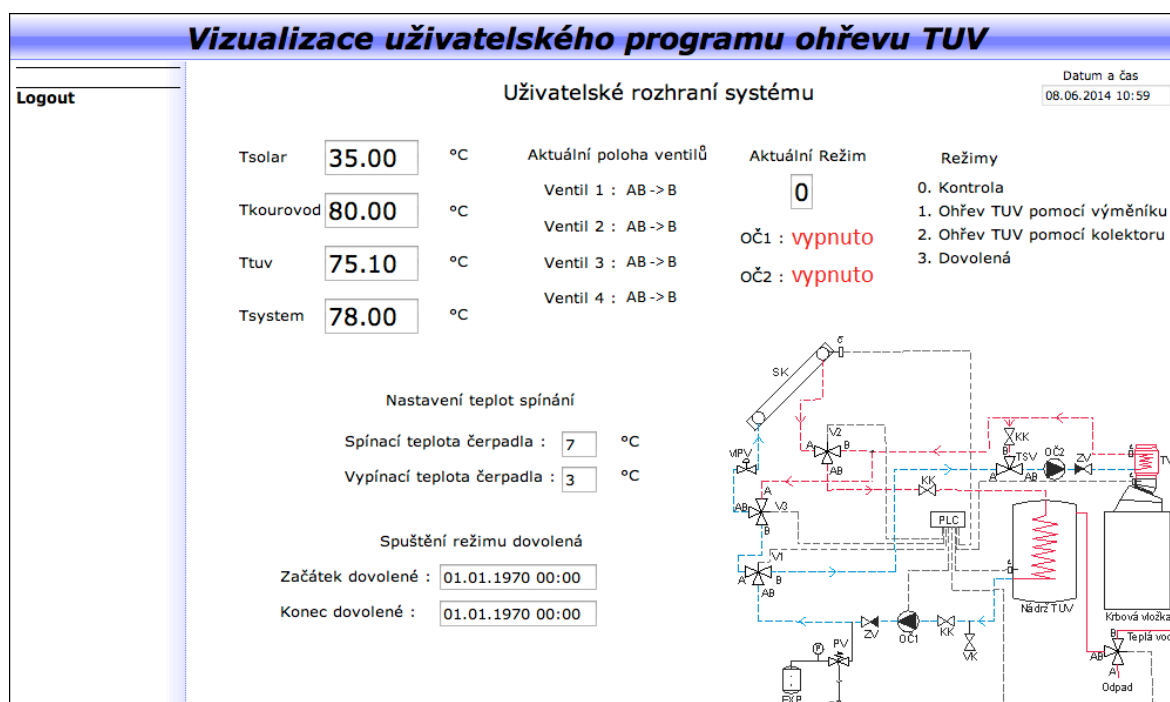
Ohřev pomocí teplovodního výměníku umístěného v kouřovodu krbové vložky bude probíhat pokud teplota v kouřovodu přesáhne teplotu 65 °C a zároveň bude tato teplota vyšší o součet spínací teploty čerpadla a vypínací teploty čerpadla. Pokud je tato podmínka splněna, řídicí program nastaví ventily do požadované pozice tak, aby byl vytvořen uzavřený okruh ohřevu pomocí teplovodního výměníku a spíná OČ2. Pokud teplota v kouřovodu klesne na úroveň menší než je teplota TUV+5, OČ2 vypíná. Řídicí systém čeká na opětovné navýšení teploty na kouřovodu, jakmile teplota přesáhne nastavenou teplotu, OČ2 opět spíná.

Probíhá-li ohřev pomocí komínového výměníku, řídicí program kontroluje teplotu na SK. Pokud, ve velmi nepravděpodobném případě teplota na SK přesáhne 95 °C, nastaví řídicí program ventily do polohy, která zajistí uzavřený okruh a teplotonosná kapalina proudí přes tepelný výměník do SK a zpátky do akumulární nádoby.

Abychom nemuseli systém dovybavit o bezpečnostní prochlazovací smyčku, pokud by došlo k přetopení kapaliny v teplovodním výměníku, je systém vybaven o čtvrtý trojcestný ventil, který je aktivní v případě, že teplota TUV přesáhne 80 °C. V tom případě ventil odpustí přebytečnou teplou vodu z nádrže a do nádrže je doplněna studená voda. Dochází k ochlazení vody v nádrži až dokud teplota TUV neklesne pod 77 °C.

## 9 SIMULACE UŽIVATELSKÉHO PROGRAMU

Uživatelský program tvoří uživatelské rozhraní a vizualizace (Obr. 34). Využívá nástroje Webmaker v prostředí Mosaic. U zvolené řídicí jednotky Foxtrot CP-1005 lze využít funkce webserveru, ke kterému je potřeba paměťová karta pro uložení souborů webových stránek. Minimální požadavky na webový prohlížeč jsou IE 7, Firefox 3, Opera 9, Safari 4 a Google Chrome. Podporuje i mobilní prohlížeče Safari (iOS), Opera Mobile 10 (Android, WP), IE Mobile 7 (WP) [21].



Obr. 34. Vizualizace nástroje WebMaker s uživatelským rozhraním

Simulace spočívala v ručním zadávání teplot na snímačích teploty. Na základě těchto nastavených teplot pozorujeme chování systému, nastavení ventilů do správných poloh, spínání a vypínání OČ1 a OČ2, spuštění aktuálního režimu. Uživatelské rozhraní umožňuje nastavení spínací a vypínací teploty čerpadla. Dále lze nastavit začátek a konec dovolené ve formátu DD.MM.RRRR hh:mm. Výsledky simulací jsou znázorněny v tabulkách (Tab. 4, Tab. 5).

Tab. 4. Přehled simulovaných situací pro ohřev pomocí SK

Teplota snímačů		Předpokládaný stav						Simulovaný stav					
Ts [°C]	Tt [°C]	V1	V2	V3	V4	Režim	OČ1	V1	V2	V3	V4	Režim	OČ1
50	45	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	0	vypnuto	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	0	vypnuto
55.1	45	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	2	zapnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	2	zapnuto
50.8	47.9	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto
57.91	47.9	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	2	zapnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	2	zapnuto
55.2	52.3	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto
62.4	52.3	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	2	zapnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	2	zapnuto
55.2	52.3	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto
36.9	52.3	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	3	zapnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	3	zapnuto
40.1	45.8	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto
26.8	45.8	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	3	zapnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	3	zapnuto
26.8	37.9	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto
48	37.9	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	2	zapnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	2	zapnuto
44.9	42	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto

Tab. 5. Přehled simulovaných situací pro ohřev pomocí TV

Teplota snímačů				Předpokládaný stav						Simulovaný stav					
Ts [°C]	Tv [°C]	Tt [°C]	Tsys [°C]	V1	V2	V3	V4	Režim	OČ2	V1	V2	V3	V4	Režim	OČ2
44.9	62	46	45	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto	AB->A	AB->A	AB->B	AB->B	0	vypnuto
44.9	66	46	55	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	1	zapnuto	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	1	zapnuto
44.9	150	62.3	82	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	1	zapnuto	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	1	zapnuto
44.9	75.9	71	72	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	0	vypnuto	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	0	vypnuto
44.9	180	71	89	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	1	zapnuto	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	1	zapnuto
44.9	169	80.1	89	AB->B	AB->B	AB->B	AB->A	1	zapnuto	AB->B	AB->B	AB->B	AB->A	1	zapnuto
44.9	148	76.9	86.9	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	1	zapnuto	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	1	zapnuto
95.1	100	76.9	80	AB->B	AB->A	AB->A	AB->B	1	zapnuto	AB->B	AB->A	AB->A	AB->B	1	zapnuto
84.9	90	78	84.9	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	1	zapnuto	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	1	zapnuto
35	80	75.1	78	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	0	vypnuto	AB->B	AB->B	AB->B	AB->B	0	vypnuto

## 9.1 Zhodnocení simulace

Jak lze vidět při porovnání tabulek (Tab. 4 a Tab. 5) řídicí program se choval korektně a podle předpokladu. Při simulovaném nastavování teplot v různých částech systému se uživatelský program choval tak, jak měl. Z toho předpokládám, že je uživatelský program nastaven správně.

## 10 FINANČNÍ ROZVAHA NAVRŽENÉ INOVACE

Abychom měli představu, jak vysoké budou náklady, vypracujeme orientační závěrečné finanční zhodnocení. Díky dobrým kontaktům, kamarádům a známým lze dosáhnout snížení nákladů na práci. Můžeme využít odborných znalostí přátel a známých, kteří nám pomohou při této instalaci. Cenu za práci nelze přesněji vyčíslit, proto budeme počítat pouze s cenou za jednotlivé komponenty a budeme předpokládat, že veškeré práce obstaráme svépomocí. V tabulce (Tab. 6) jsou uvedeny jednotlivé ceny komponentů.

Tab. 6. Předpokládaná cena jednotlivých komponentů inovace

Kalkulační položka	Počet kusů	Cena [Kč]	Celková cena [Kč]
Teplovodní výměník TSV 2 - 200	1	16 300	16 300
Trojcestný ventil 3/4“ A 1“	4	2 594	10 376
Řídící jednotka PLC Foxtrot CP-1005	1	11 600	11 600
Termostatický směšovací ventil	1	1 090	1 090
Oběhové čerpadlo Willo Star RS	1	1 690	1 690
Kulový kohout	1	1	151
Zpětný ventil	1	280	280
Teplotní čidla	2	460	920
Potrubí	10	32	320
Upevňovací materiál	1	885	885
		<b>Celkem</b>	<b>43 612</b>

### 10.1 Stručný postup instalace inovace

Instalaci navržené inovace by měla provádět osoba k těmto úkonům odborně proškolená, z důvodu práce s elektrickým napětím 230 V.

#### 10.1.1 Instalace infrastruktury navržené inovace

Před samotným zprovozněním PLC a uživatelského programu je nutné instalovat rozvodné potrubí a jednotlivé komponenty dle navržené inovace:

- napojení trojcestných ventilů ke stávajícímu systému ohřevu TUV pomocí SK, přivedení kabeláže k PLC
- instalace teplovodního výměníku na kouřovod krbové vložky.
- instalace TSV ventilu, OČ2, KK a ZV.
- propojení komponentů potrubím
- umístění teplotního čidla do kouřovodu a výstupu TV, přivedení kabeláže k PLC
- přepojení kabeláže od teplotního čidla TUV a SK do PLC.

### 10.1.2 Zapojení PLC

Pomocí následujících bodů zprovozníme PLC, uživatelský program a nastavení vstupních a výstupních komponentů. To musí být prováděno při odpojeném napájení PLC.

Postup zapojení:

- teplotní čidla připojíme na analogové vstupy AI0-AI3.
- trojcestné ventily, čerpadla OČ1 A OČ2 připojíme na binární výstupy DO0-DO5
- připojíme napájení PLC
- stažení a instalace vývojového prostředí Mosaic
- připojení PLC Teco Foxtrot CP-1005 pomocí ethernetového kabelu
- importování uživatelského programu
- pomocí tlačítka Mode zjistíme IP adresu pro připojení PLC
- přiřazení aliasů vstupním a výstupním portům PLC
- kompilace a nahrání uživatelského programu

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo ke stávajícímu systému pro ohřev TUV pomocí solárních kolektorů navrhnout inovaci, která dokáže nevyužitě odpadní teplo vznikající při spalování dřeva v krbové vložce využít a předat energii do akumulární nádrže pro ohřev TUV.

Jelikož stávající systém neobsahuje žádné prvky, pomocí kterých bychom mohli napojit inovaci a jeho řídicí jednotka je navržena pouze pro solární ohřev TUV, bylo nutné vybrat vhodné komponenty pro napojení inovace ke stávajícímu systému a vhodnou řídicí jednotku.

Tato inovace v sobě zahrnuje rozšíření stávajícího solárního systému o teplovodní výměník, dvě teplotní čidla, čtveřici trojcestných ventilů, termostatický směšovací ventil a oběhové čerpadlo. Celý systém bude řídit modulární PLC. Na efektivním využití odpadní energie má zásadní vliv umístění výměníku. Na začátku práce byl požadavek, aby byl výměník umístěn do komínové cesty. V průběhu práce bylo zjištěno, že takové umístění není vhodné pro maximální energetický zisk. Obecně platí, čím blíže umístíme výměník ke zdroji spalování vložky, tím více lze využít vyzařované tepelné energie. Bylo tedy rozhodnuto umístit výměník na kouřovod krbové vložky. Jedno teplotní čidlo bylo využito pro snímání teploty spalin v kouřovodu, druhé pro snímání teploty teplotnosného média vycházející z výměníku. Na základě teplot na solárním kolektoru, nádrži TUV a teploty spalin v kouřovodu rozhodovala řídicí jednotka o polohách trojcestných ventilů, pomocí kterých se usměrňovala teplotnosná kapalina do systému pro ohřev přes teplovodní výměník nebo solární kolektor. Termostatický směšovací ventil slouží k zajištění vratné vody do výměníku na teplotě 55 °C. Byl navržen a naprogramován uživatelský program, který rozhoduje, pomocí jakého systému bude probíhat ohřev TUV. Navržený program byl simulačně otestován a při tomto testování vykazoval požadované chování. Dále byla zpracována finanční rozvaha inovace a byl bodově popsán postup instalace.

Uživatel se může připojit přes lokální síť k webovému serveru, který obsahuje řídicí jednotka PLC Foxtrot a pozorovat aktuální hodnoty, případně nastavit parametry pro dovolenou, spínací a vypínací teplotu čerpadla. V budoucnu se může rozšířit stávající systém např. o ohřev bazénu. Už nebude nutné pořizovat novou řídicí jednotku, pouze se upraví uživatelský program a připojí nové komponenty k PLC.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] LADENER, Heinz a Frank SPÄTE. Solární zařízení. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 267 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [2] CIHELKA, Jaromír. Sluneční vytápěcí systémy. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984, 206 s.
- [3] Sluneční svit. Meteocentru [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.meteocentruhttp://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/slunecni-svit.php>
- [4] Intenzita slunečního záření: Přehled délky slunečního svitu. KALINA, Jiří. Meteostanice [online]. 2014. vyd. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://meteo-jirkalina.com/wx38.php>
- [5] Fotovoltaický geografický informační systém (PVGIS). Evropská komise [online]. [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [6] Topení ze slunce. Cez [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k22.htm>
- [7] Typy solárních kolektorů. MATUŠKA, Tomáš. Tzb-info [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/typy-solarnich-kolektoru>
- [8] Solární kolektory. ČSSE [online]. [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://www.solarnispolecnost.cz/cz/solarni-kolektory>
- [9] Parametry solárních kolektorů. MATUŠKA, Tomáš. Tzbinfo [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/parametry-solarnich-kolektoru>
- [10] Úsporné řešení pro vaše topení. Regulus [online]. [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/vymeniky-tepla>
- [11] ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. PLC a automatizace. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999, 223 s. ISBN 80-86056-58-9.
- [12] Návod k obsluze a instalaci. Dzd [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: [http://www.dzd.cz/images/download/Navod\\_OKC\\_OKCE\\_OKC1m2.pdf](http://www.dzd.cz/images/download/Navod_OKC_OKCE_OKC1m2.pdf)
- [13] Termostaty pro řízení a regulaci solárních kolektorů. Daz-elektro [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: [http://www.das-elektro.cz/termostaty/solar\\_G.pdf](http://www.das-elektro.cz/termostaty/solar_G.pdf)

- [14] HRUŠKA, František. Senzory: fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití (e-book). 2. rozš. vyd. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, [202] s. ISBN 978-80- 7454-096-7.
- [15] CIPRA, Tomáš. Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 246 s.
- [16] Výpočet spalínové cesty. Thermona [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.thermona.cz/vypocet-spalinove-cesty>
- [17] Teplovodní výměník spalin TSV 2 - 200. Rolf - ANTIKOR [online]. [cit. 2014-06-2]. Do stupné z: <http://www.rolf.cz/portals/67/Sys41/file1/1474.pdf>
- [18] TSV ventil. Romotop [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.romotop.cz/vodo-topenarske-prislusenstvi/tsv-ventil>
- [19] Trojcestný ventil 3/4" A I". Bramac [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.bramac.cz/uploads/assets/44-trojcestny-ventil-1.pdf>
- [20] PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY TECOMAT FOXTROT. Tecomat [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z : [http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00435\\_01\\_Foxtrot\\_CP\\_1005.pdf](http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00435_01_Foxtrot_CP_1005.pdf)
- [21] Nástroj WebMaker. Tecomat [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: [http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00328\\_01\\_Mosaic\\_WebMaker\\_cz.pdf](http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00328_01_Mosaic_WebMaker_cz.pdf)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

TUV	Teplá užitková voda.
PLC	Programovatelný automat (Programmable Logic Controller).
SK	Solární kolektor.
MPV	Membránový pojistný ventil.
EXP	Expanzní nádoba.
P	Tlakoměr.
PV	Pojistný ventil.
ZV	Zpětný ventil.
OČ	Oběhové čerpadlo
KK	Kulový kohout.
VK	Vypouštěcí kohout.
Č	Teplotní čidlo.
$k_t$	Koeficient růstu.
$\bar{k}$	Průměrný koeficient růstu.
K	Součinitel chladnutí.
$T_0$	Teplota spalin v ústí komínového průduchu.
$T_E$	Teplota spalin v kouřovodu.
TSV	Termostatický směšovací ventil.
TV	Teplovodní výměník.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Ztráty solárního záření při průchodu atmosférou [1].....	12
Obr. 2. Poměr difuzního a přímého záření v průběhu roku [1] .....	12
Obr. 3. Roční souhrn slunečního záření na území ČR [5] .....	14
Obr. 4. Jižní stěna pasivního využití sluneční energie [6] .....	15
Obr. 5. Schéma dvouokruhového kapalinového solárního systému [6] .....	16
Obr. 6. Plochý vakuový kolektor [7] .....	17
Obr. 7. Trubicový vakuový kolektor [7].....	17
Obr. 8. Koncentrační solární Sydey kolektor s reflektorem [6].....	18
Obr. 9. Křivky účinnosti různých druhů slunečních kolektorů [9].....	19
Obr. 10. Plochý solární kolektor MIROSKAL 1914 .....	20
Obr. 11. Trubkový tepelný výměník [10].....	22
Obr. 12. Deskový tepelný výměník [10].....	22
Obr. 13. Principiální schéma pro ruční řízení [11]. .....	23
Obr. 14. Principiální schéma pro dopředné řízení [11].....	24
Obr. 15. Principiální schéma pro zpětnovazební řízení [11] .....	24
Obr. 16. Modulární PLC Tecomat Foxtrot CP-1005 .....	26
Obr. 17. Plochý solární kolektor Mikroskal 1914 .....	29
Obr. 18. Smaltová tlaková nádoba OKC 200/1m <sup>2</sup> .....	29
Obr. 19. Řídící jednotka SOLAR 02 .....	30
Obr. 20. Krbová vložka Spartherm Varia Ah 3s.....	31
Obr. 21. Schéma zapojení stávajícího solárního systému.....	32
Obr. 22. Přípravek na uchycení teplotního čidla .....	33
Obr. 23. Vlevo fotka převodníku P5102 a fotka programu NPT-02 .....	34
Obr. 24. Grafické znázornění průběhu teploty spalin v ústí komína dne 21.1.13 .....	35
Obr. 25. Grafické znázornění opraveného průběhu teploty spalin vně komína dne 21.1.13 .....	37
Obr. 26. Jednořadý teplovodní výměník spalin TVS 2–200 [17].....	40
Obr. 27. Platinové teplotní čidlo PT 100 .....	40
Obr. 28. Termistatický směšovací ventil [18].....	41
Obr. 29. Oběhové čerpadlo Willo Star RS.....	42
Obr. 30. Trojcestný ventil 3/4“ A 1“ [19].....	42
Obr. 31. Teco Foxtrot CP-1005 .....	43

Obr. 32. Schéma zapojení inovovaného systému pro ohřev TUV.....	45
Obr. 33. Nastavení hodnot, webové rozhraní .....	46
Obr. 34. Vizualizace nástroje WebMaker s uživatelským rozhráním .....	48

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Délka slunečního svitu na území ČR [4].....	13
Tab. 2. Teploty pro spínání čerpadla .....	31
Tab. 3. Průběh spínacích a vypínacích teplot .....	47
Tab. 4. Přehled simulovaných situací pro ohřev pomocí SK.....	49
Tab. 5. Přehled simulovaných situací pro ohřev pomocí TV .....	49
Tab. 6. Předpokládaná cena jednotlivých komponentů inovace.....	51

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I Zdrojový kód – hlavní část
- P II Zdrojový kód – ohřev pomocí solárního kolektoru
- P III Zdrojový kód – ohřev pomocí výměníku
- P IV Zdrojový kód – režim dovolená

**PŘÍLOHA P I: ZDROJOVÝ KÓD – HLAVNÍ ČÁST**

```
PROGRAM prgMain

VAR
END_VAR

aktualniDatum := GetDateTime();

//kontrola, pokud je aktualni datum v rozmezi nast. hodnot
if zacatekDovolene<aktualniDatum and aktualniDatum<konecDovolene then
    rezimDovolena:=true;
else
    rezimDovolena:=false;
end_if;

//kontrola pro spusteni ohrevu TUV pomoci SK
if spustRezim=0 or spustRezim=1 then
    if Tvymenik > 65.0 and Tvymenik > Ttuv+(spiTepCer+vypTepCer) then
        spustRezim:=1;
    end_if;
end_if;

//kontrola pro spusteni ohrevu TUV pomoci TV
if spustRezim=0 or spustRezim=2 then
    if (Tsolar-Ttuv)>(spiTepCer+vypTepCer) then
        spustRezim:=2;
    end_if;
end_if;

//rezim dovolena_
if rezimDovolena and Tsolar<37.0 and Ttuv > 40.0 then
    spustRezim:=3;
end_if;

case spustRezim of

    0 : return;
    1 : zimniRezim();
    2 : letniRezim();
    3 : dovolena();

end_case;

END_PROGRAM
```

## PŘÍLOHA P II: ZDROJOVÝ KÓD – OHŘEV POMOCÍ SOLÁRNÍHO KOLEKTORU

```
FUNCTION letniRezim : BOOL

    //kontrola nastaveni ventilu
    if ventil1 and ventil2 and ventil3=false then
        cernadloSolar:=true;
    else
        ventil1:=true;
        ventil2:=true;
        ventil3:=false;
    end_if;

    //kontrola pro ukončení ohřevu TUV pomocí SK
    If (Tsolar-Ttuv)<vypTepCer then
        cernadloSolar:=false;
        spustRezim:=0;
    end_if;

END_FUNCTION
```

**PŘÍLOHA P III: ZDROJOVÝ KÓD – OHŘEV POMOCÍ VÝMĚNÍKU**

```
FUNCTION zimniRezim : BOOL

    //kontrola nastaveni ventilu
    IF ventil1 and ventil2 and ventil3=false then
        ventil1:=false;
        ventil2:=false;
        ventil3:=false;
    else
        cernadlovymenik:=true;
    end_if;

    //kontrola pro ukonceni ohrevu TUV pomoci TV
    if Ttuv+5.0>Tvymenik then
        cernadlovymenik:=false;
        spustRezim:=0;
        cernadlovymenik:=false;
    end_if;

    //Ochrana úred prehratim SK
    if Tsolar>95.0 then
        ventil2:=true;
        ventil3:=true;
    else if Tsolar<85.0 and ventil3 and ventil2 then
        ventil3:=false;
        ventil2:=false;
    end_if;
end_if;

    //Ochrana úred prehratim topneho okruhu
    if Ttuv>80.0 or Tsystem>95.0 then
        ventil4:=true;
    else if Ttuv<77.0 and ventil4 then
        ventil4:=false;
    end_if;
end_if;

END_FUNCTION
```

**PŘÍLOHA P IV: ZDROJOVÝ KÓD – REŽIM DOVOLENÁ**

```
FUNCTION dovolena : BOOL

    //nastaveni ventilu do pozadovanych poloh
    if ventil1 and ventil2 and ventil3=false then
        cernadloSolar:=true;
    else
        ventil1:=true;
        ventil2:=true;
        ventil3:=false;
    end_if;

    //Ukonceni rezimu dovolena
    if Ttuv<38.0 or Tsolar > 40.0 then
        cernadloSolar:=false;
        spustRezim:=0;
    end_if;

END_FUNCTION
```