

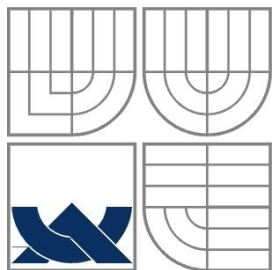
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a
komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

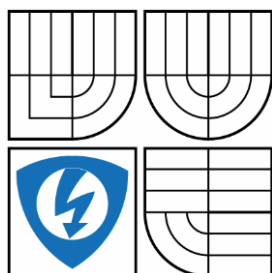
Brno, 2016

Bc. Ladislav Lebeda



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

OPTIMALIZACE KOMBINOVANÉHO SYSTÉMU OHŘEVU TUV

OPTIMIZATION OF THE WATER HEATING SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. LADISLAV LEBEDA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.

BRNO 2016



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Ladislav Lebeda

ID: 146886

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace kombinovaného systému ohřevu TUV

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou řízení solárního systému s autonomním napájením z fotovoltaických článků. Systém je určen pro ohřev TUV pro rodinný dům. Popište současný způsob řízení a definujte jeho nedostatky.
2. Navrhněte autonomní řízení optimalizující energetickou účinnost solárního systému. Je požadováno ovládání chodu oběhového čerpadla solárního okruhu, ovládání havarijního ventilu a připojování resp. odpojování externího napájecího zdroje v závislosti na výkonu dodávaném fotovoltaickými články. Řídicí systém musí umožňovat komunikaci s uživatelem prostřednictvím dotykové obrazovky.
3. Navrhněte, implementujte a odlaďte software pro řízení solárního systému.
4. Navrhněte a implementujte sběr a archivaci provozních dat a jejich prezentaci prostřednictvím webového rozhraní.
5. Vyhodnoťte dosažené výsledky navrženého řešení při provozu na skutečném solárním systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Mastný P.: Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha. ČVUT, 2011.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 16.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na optimalizaci kombinovanému systému ohřevu TUV z energetického hlediska. Úvodní část se zabývá obecnou problematikou termických solárních systémů s autonomním napájením z fotovoltaických panelů a popisem konkrétního solárního systém, na kterém je provedena energetická optimalizace. Následně je zvolena koncepce řídicího systému založená na jednodeskovém počítači Raspberry Pi, který je doplněn o pomocné měřicí a řídicí obvody. Dále je uveden návrh a implementace softwarového vybavení pro řídicí systém včetně webového rozhraní, které umožňuje vzdálené monitorování a ovládání tepelného systému.

Klíčová slova

Solární systém, řídicí jednotka, Raspberry Pi (RPi), solární kolektor, solární panel, TUV

Abstract

This thesis is aimed to enable energy optimization of combined water heating system. The first part deals with the assessment of the general view of thermal solar systems with autonomic power from photovoltaics and description of a particular solar system for energy optimization. Then there is chosen the control system conception based on single-board computer Raspberry Pi, which is complemented by auxiliary measuring and controlling circuit. In the following chapters is described design and implementation of software for control system including web interface. The remote monitoring and controlling of solar heating system is the main purpose of web interface.

Keywords

Solar hot water systems, control unit, Raspberry Pi (RPi), solar collector, solar panel, hot water

Bibliografická citace:

LEBEDA, L. *Optimalizace kombinovaného systému ohřevu TUV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 74s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Optimalizace kombinovaného systému ohřevu TUV* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujícího autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **16. května 2016**

.....
podpis autora

Poděkování

Mé poděkování patří zejména Ing. Tomášovi Machovi, Ph.D. za všestrannou pomoc a cenné rady při realizaci této diplomové práce. Dále Ing. Martinovi Knotkovi za hodnotné konzultace. Nemalé poděkování patří také mé rodině a přátelům za podporu a pomoc při studiu.

V Brně dne: **16. května 2016**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	10
2	Solární systémy	11
2.1	Sluneční energie	11
2.2	Fotovoltaické solární systémy	12
2.2.1	Princip fotovoltaického článku	13
2.2.2	Typy solárních panelů	13
2.2.3	Struktura FV panelu	13
2.2.4	Zapojení fotovoltaických systémů	14
2.3	Fototermické solární systémy	15
2.3.1	Solární kolektor	16
2.3.2	Zásobník TUV	19
2.3.3	Řídicí jednotka	19
2.3.4	Čerpadlo	19
2.3.5	Expanzní nádoba	20
2.3.6	Teplonosné médium	20
2.3.7	Spojovací potrubí	20
2.4	Popis řízeného solárního systému	20
3	Návrh úprav řízení solárního systému	25
3.1	Výběr řídicí jednotky	25
3.2	Raspberry Pi	27
3.2.1	AD převodník	28
3.2.2	Rozšiřující I/O karta	29
3.2.3	Dotyková obrazovka	30
3.3	Externí zdroj napětí	30
4	Návrh a realizace měřicích, řídicích a přizpůsobovacích obvodů	31
4.1	Teplotní čidla	32
4.2	Popis vývodů AD převodníku	34
5	Softwarové vybavení řídicího systému	37
5.1	Instalace potřebného softwarového vybavení	37
5.1.1	Instalace operačního systému	37

5.1.2	Vytvoření vzdáleného přístupu	37
5.1.3	Vývojové prostředí na RPi.....	38
5.1.4	Raspberry Pi jako server	39
5.2	Návrh a implementace software pro řízení solárního systému a sběr dat	41
5.2.1	Komunikace přes SPI a I2C.....	41
5.2.2	Vyhodnocení naměřených dat	42
5.2.3	Hlavní smyčka řídicího programu	42
5.2.4	Výměna dat s MySQL databází	43
5.2.5	Stanovení chodu čerpadla	47
5.2.6	Algoritmus ovládání externího napájení čerpadla	47
5.2.7	Výpočet energetického zisku solárního systému	49
6	Webové rozhraní pro komunikaci s řídicím systémem	51
6.1	Technologie využité při tvorbě webového rozhraní.....	51
6.2	Struktura webových stránek.....	53
6.3	Popis jednotlivých záložek webového rozhraní	53
6.3.1	Záložka Domu.....	53
6.3.2	Záložka Záznam.....	54
6.3.3	Záložka Grafy	55
6.3.4	Záložka Statistika.....	57
6.3.5	Záložka Chybová hlášení.....	58
7	Vyhodnocení dosažených výsledků	60
8	Závěr	64
	Seznam příloh.....	71
	Příloha 1: Tabulka a grafy teplotních závislostí použitých PTC a NTC odporových čidel.....	71
	Příloha 2: Fotografie provedení měřicí a řídicí jednotky.....	73
	Příloha 3: Obsah CD	74

Seznam obrázků

Obrázek 1: Roční úhrn globálního záření v ČR v kWh/m ² [5].....	12
Obrázek 2: Struktura FV panelu [8]	13
Obrázek 3: Fototermický solární systém [10].....	15
Obrázek 4: Plochý kolektor [14].....	17
Obrázek 5: Vakuový trubicový kolektor [15].....	18
Obrázek 6: Obecné zapojení konkrétního solárního systému.....	21
Obrázek 7: Raspberry Pi 2 model B [22].....	27
Obrázek 8: ADC Pi Plus [26]	29
Obrázek 9: PiFace Digital 2 [27]	30
Obrázek 11: Uspořádání solárního systému po úpravách.....	31
Obrázek 12: Zapojení teplotního čidla.....	33
Obrázek 13: Elektrické zapojení měřicího a řídicího uspořádání.....	36
Obrázek 10: Ověření funkčnosti serveru Apache2	39
Obrázek 14: Prostředí MySQL v phpMyAdmin.....	43
Obrázek 15: Obsah záložky Domu	53
Obrázek 16: Obsah záložky Záznam	55
Obrázek 17: Obsah záložky Grafy.....	56
Obrázek 18: Obsah záložky Statistika	57
Obrázek 19: Obsah záložky Chybová hlášení	59
Obrázek 20: Tepelný zisk solárního systému v jednotlivých dnech v kWh.....	62
Obrázek 21: Graf teplotní závislosti odporu PTC čidla teploty.....	72
Obrázek 22: Graf teplotní závislosti odporu NTC čidla teploty.....	72
Obrázek 23: Čelní pohled na řídicí jednotku	73
Obrázek 24: Vnitřní provedení řídicí jednotky.....	73

1 ÚVOD

Sluneční energie je jednou z nejdůležitějších forem energie, bez které by nemohl existovat život na Zemi. Pohání téměř všechny přírodní procesy. Využívání slunečního záření dopadajícího na Zemský povrch je obecně bráno jako jeden z nejekologičtějších a nejšetrnějších zdrojů energie vůbec. Z tohoto důvodu se dynamicky vyvíjejí principy pro transformaci a využití sluneční energie. Zejména se jedná o přeměnu na elektrickou a tepelnou energii.

Tato diplomová práce se zabývá energetickou optimalizací konkrétního kombinovaného systému ohřevu teplé užitkové vody. Jedná se o soustavu čtyř sběrných termických kolektorů, které získávají tepelnou energii ze slunečního záření. Následně je tato tepelná energie převedena do zásobníku TUV. Zde dochází k jejímu uskladnění a následné distribuci v podobě teplé vody. Jako napájecí zdroj pro elektrické komponenty systému (řídící jednotku, čerpadlo) slouží dvojice malých fotovoltaických panelů. Systém je tedy plně autonomní.

V minulosti bylo zjištěno [19, 25], že pro maximální energetický zisk soustavy není pouhé napájení z fotovoltaických panelů dostačující. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že se do systému přidá externí napájecí zdroj. Ten bude dodávat elektrickou energii v době nízké sluneční aktivity, kdy termické kolektory dokáží získat tepelnou energii, ale fotovoltaické články nejsou schopny vytvořit dostatek elektrické energie pro chod čerpadla, tedy přepravu tepelné energie do zásobníku TUV.

Další změnou, která měla být v soustavě provedena, bylo odebrání původní řídící jednotky, která již nedokázala splnit veškeré požadavky spojené s touto diplomovou prací. V prvním kroku tedy bylo nezbytné vybrat vhodnou náhradu, která dokáže zastoupit původní řídící jednotku, ovládat externí zdroj a prezentovat data prostřednictvím dotykové obrazovky a webového rozhraní. Dále bylo nutné sestavit adekvátní měřicí a řídící zapojení soustavy, zhotovit a odladit program pro řízení solárního systému s archivací provozních dat a vytvořit webovou aplikaci.

Důležité bylo také vyhodnocení dosažených výsledků, podle kterého je možné usuzovat, zdali měla úprava konkrétního solárního systému smysl či nikoliv.

2 SOLÁRNÍ SYSTÉMY

Jedná se o systémy založené na přeměně slunečního záření na energii, kterou lze následně využít. Zpravidla se jedná o aktivní způsob, kdy dochází k přeměně na energii elektrickou (fotovoltaické systémy) či tepelnou (termické systémy). Lze však využít i pasivní způsoby založené na skleníkovém efektu, které nacházejí uplatnění především v zemědělství a stavitelství.

2.1 Sluneční energie

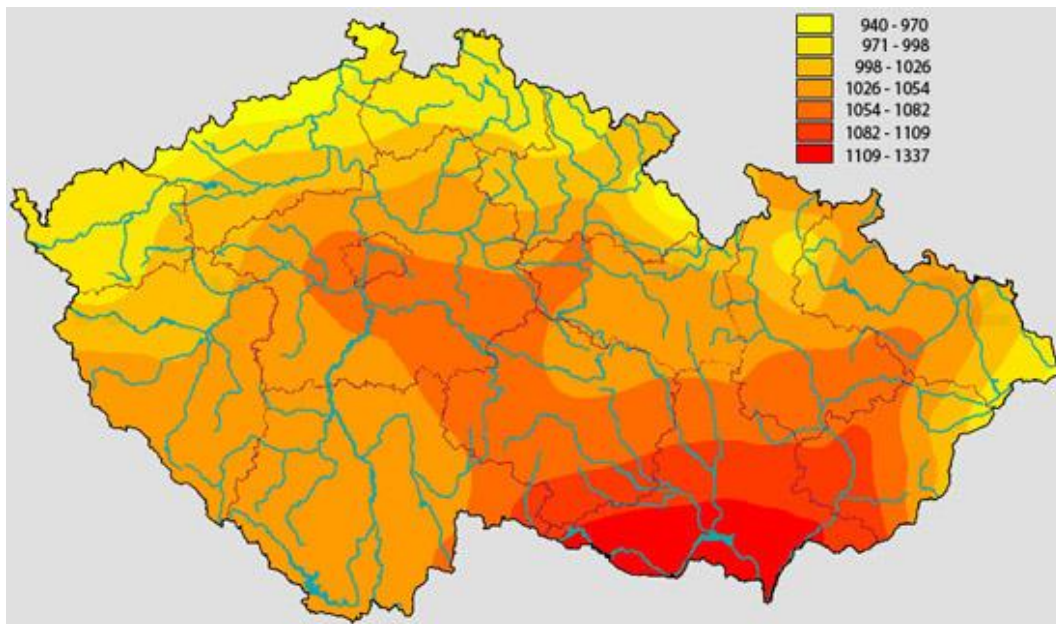
Slunce je hvězda nacházející se nejbližší k Zemi. Do všech stran vyzařuje velké množství energie v podobě elektromagnetického záření. Zářivý výkon od Slunce směrem k Zemi se pohybuje okolo 172 000 TW, přičemž část energie se odráží zpět do vesmíru či je pohlcena atmosférou. [1, 2]

Slunce je považováno za obnovitelný zdroj energie nefosilního původu. V jádru slunce probíhá za vysokých teplot a vysokého tlaku jaderná syntéza, při níž z atomů vodíku vznikají atomy helia, a zároveň se uvolňuje obrovské množství energie v podobě velmi krátkého záření gamma. Pokud se takovéto záření dostane k povrchu slunce, dojde k rozptýlení, pohlcení a opětovnému vytvoření energie obsahující celý rozsah vlnového spektra. Rozptýl zároveň způsobí oteplení povrchu slunce na teplotu okolo 5700 K. [2, 3]

Intenzita záření dopadající na zemský povrch je rovna součtu záření přímého a difuzního. Přímé záření není průchodem atmosférou odráženo ani pohlcováno a je měřeno pouze za jasné oblohy. Záření, jež se v atmosféře odráží o pevné, plynné či kapalné molekuly se nazývá difuzní. Může se jednat například o záření při zatažené obloze. [1]

Sluneční energie dopadající na zemský povrch není na všech místech planety stejná. Záleží na zeměpisné výšce a šířce, nadmořské výšce, klimatických podmínkách, ročním období atd. Pro maximální využití sluneční energie je také důležitý sklon a orientace plochy, kam sluneční záření dopadá. Největšího zisku lze dosáhnout v případě kolmosti plochy k slunečním paprskům. Pro maximální celoroční zisk se však v ČR kolektory osazují směrem na jih, nejčastěji se sklonem 30 – 45 °. [4]

Na obrázku číslo 1 je zobrazen roční úhrn globálního záření v České Republice. Jak je z obrázku patrné, nejvíce záření dopadá na území jižní Moravy.



Obrázek 1: Roční úhrn globálního záření v ČR v kWh/m² [5]

Výhody využití solárního zařízení

- Ekologický způsob vytváření energie
- Slunce je obnovitelný a „nevyčerpatelný“ zdroj energie
- Široká možnost uplatnění téměř kdekoli
- Dlouhá životnost a minimální nároky na údržbu

Nevýhody využití solárního zařízení

- Denní a roční proměnlivost intenzity slunečního záření
- Plošná náročnost
- Vysoká pořizovací cena a tím i delší doba návratnosti

2.2 Fotovoltaické solární systémy

Jak již bylo zmíněno, tyto systémy transformují sluneční záření na elektrickou energii. Původně byly určeny pouze jako zdroj energie pro satelity v kosmonautických aplikacích. Následně se jejich použití rozšířilo i do komerční sféry. V dnešní době jsou fotovoltaické systémy jedním ze základních zdrojů elektrické energie. Lze také předpokládat, že tento zdroj energie bude v budoucnosti nabývat na důležitosti.

2.2.1 Princip fotovoltaického článku

FV článek je založen na fotovoltaickém jevu, při němž dochází k uvolňování elektronů z látky v důsledku absorpce elektromagnetického záření (fotonů). Při dopadu fotonu na FV článek se v látce uvolní elektron a vzniká tak pár elektron-díra. Aby nedošlo k okamžité rekombinaci, tak se pro FV články používají polovodičové materiály s PN přechodem. [6]

Nejčastěji používaný materiál pro výrobu FV článků je křemík, který je základním prvkem zemské kůry. Článek se skládá z vrstvy P křemíku, na kterém je nanášena velmi tenká vrstva N křemíku. V místě spojů tak vzniká PN přechod.

Uvolněné elektrony, vzniklé při dopadu fotonů na povrch materiálu, produkují napětí okolo 0,6 V. V polovodiči tak vzniká elektrický náboj, který je odváděn z článku směrem ke spotřebiči. [7]

2.2.2 Typy solárních panelů

Monokrystalické – jsou složeny z makroskopických krystalů, bez poruch krystalové struktury. Mají vysokou účinnost 13 % až 17 %. Nevýhodou je však vyšší cena.

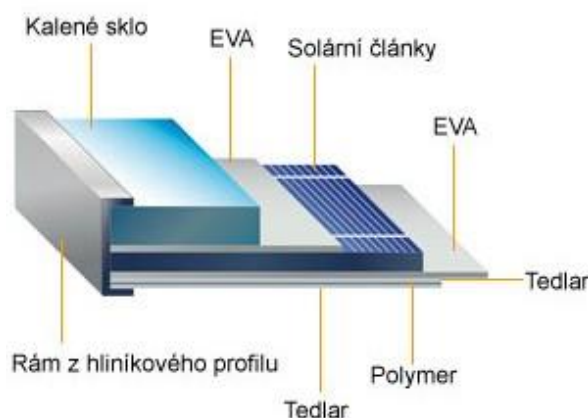
Polykrystalické – skládají se z mnoha různě orientovaných krystalů. Účinnost je v rozmezí 12 % až 14 %.

Amorfní – základem je amorfní materiál, který nemá pevnou krystalickou mřížku. Účinnost se udává okolo 7 % až 9 %. Výhodou však je malá pořizovací cena.

[8]

2.2.3 Struktura FV panelu

Fotovoltaický panel je tvořen z matice článků vzájemně spojených letovanými spoji. Z vrchní strany jsou články chráněny tvrzeným leštěným sklem. Spodní strana je tvořena pevnou podkladovou deskou. Struktura FV panelu je patrna z obrázku 2.



Obrázek 2: Struktura FV panelu [8]

Ochranné kalené sklo slouží jako ochrana FV článků proti okolním vlivům. Zároveň disponuje vysokou propustností a nízkou odrazivostí slunečních paprsků.

EVA (ethyleno-vinyl acetate) je vysoce propustný materiál, který odděluje tvrdé sklo a křehké křemíkové články tak, aby nedošlo k jejich poškození.

Spodní strana má zejména ochrannou funkci proti mechanickému poškození panelu zesponu. Je složena z několika ochranných vrstev z polyesterových pojidel.

Rám z hliníkového profilu slouží jako lehká a pevná podpora pro FV panely. Výhodou hliníku je, že nepodléhá korozi.

Dále se většinou ze spodní strany panelu nachází propojovací box, který je zpravidla vyroben z vhodného plastického materiálu.

[8]

2.2.4 Zapojení fotovoltaických systémů

V závislosti na aplikaci lze FV systémy dělit podle zapojení do tří typů:

Autonomní – Zapojení je nazýváno také jako ostrovní. Hlavními komponentami jsou FV panely, ochranný obvod, regulátor dobíjení a baterie konstruovaná pro pomalé nabíjení a vybíjení. K takovému systému lze připojit spotřebiče napájené zpravidla 12 V DC či 24 V DC. V případě použití měniče napětí lze napájet i spotřebiče konstruované na 230 V AC. Hlavní uplatnění tyto systémy nacházejí především tam, kde není možné připojení k veřejné elektrické síti. Může se jednat například o chatové objekty či dopravní signalizační prostředky.

Připojené k elektrické síti – Veškerá vyrobená elektrická energie z FV panelů se zužitkuje. Obvykle se jedná o větší systémy složené z FV panelů, ochranného obvodu, měniče napětí a zařízení pro měření a regulaci. Zapojení lze provést ve dvou variantách podle toho, zda se vytvořená energie výrobcem spotřebuje, či bude odevzdána do veřejné rozvodné sítě.

Hybridní – Jedná se o kombinaci předchozích dvou zapojení. Opět se zužitkuje veškerá energie. Na rozdíl od fotovoltaických systémů připojených k síti se však získaná energie využívá v místě výroby. Prakticky to může být provedeno například přeměnou na tepelnou energii, která je skladována v akumulaci nádobě. Do veřejné rozvodné sítě je tak dodáno pouze malé množství zbylé elektrické energie.

[6]

2.3 Fototermické solární systémy

Fototermické systémy jsou určeny k co nejdokonalejší přeměně slunečního záření na tepelnou energii, která se následně používá pro vytápění objektů, ohřevu užitkové vody či vody v bazénu, sušení atd.

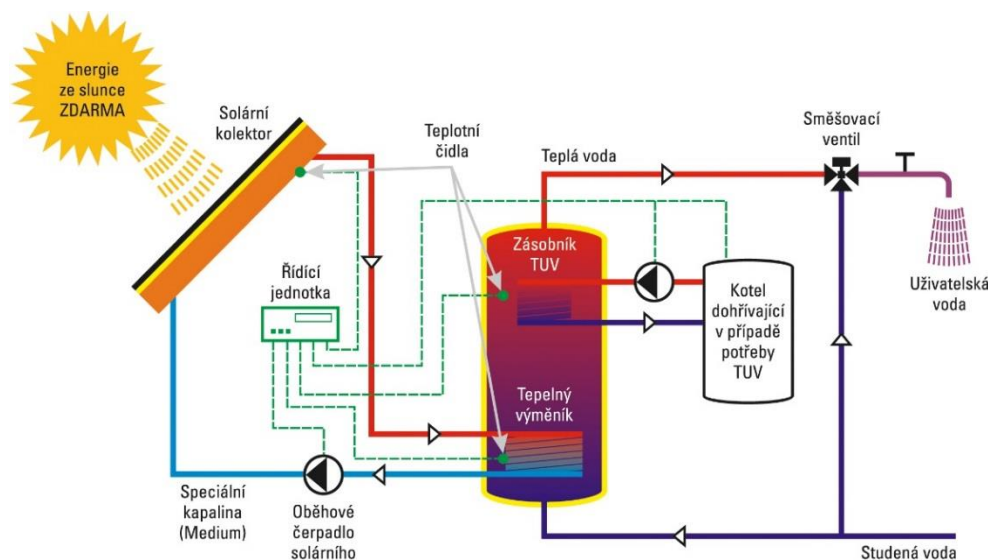
Základní částí solárních tepelných soustav je solární kolektor. K využívání sluneční energie jako zdroje tepla jsou však nezbytné další komponenty. Na obrázku 3 je zobrazeno jednoduché schéma fototermického solárního systému.

Princip

Sluneční záření dopadající na kolektor zvyšuje teplotu absorbéru. Řídicí jednotka měří za pomoci teplotních čidel teplotu v zásobníku a v kolektoru, a vyhodnocuje teplotní diferenci. V případě, kdy je na kolektoru vyšší teplota než v zásobníku, spustí řídicí jednotka oběhové čerpadlo. Proudící teplotnosné médium odvádí tepelnou energii do zásobníku teplé vody. [9]

V případě vyrovnání teplot media v zásobníku a kolektoru dojde k zastavení oběhového čerpadla a systém čeká na opětovné nahřátí kolektoru. Tento cyklus se neustále opakuje. [9]

Většina solárních systémů pro ohřev TUV obsahuje další zdroj tepla, který ohřívá vodu v zásobníku v době, kdy je malá intenzita slunečního záření. Může se jednat o plynový kotel, či elektrické dohřívání.



Solární soustavy na ohřev teplé vody lze dělit na samotížné a hnané. Samotížný systém je založen na termosifonovém efektu, kdy teplá kapalina stoupá samovolně vzhůru, přičemž ochlazená kapalina klesá dolů. Zásobník musí být umístěn nad úrovní

kolektorů. Tyto systémy mají tu výhodu, že nepotřebují elektronickou regulaci a hnací jednotku. Nedosahují však příliš velké účinnosti. Proto se používají například pro ohřev vody na chatách. Většina používaných solárních systémů jsou však konstruovány jako systémy s hnanou teplotonosnou látkou, kdy řídicí jednotka vyhodnocuje rozdíl teplot v kolektoru a v zásobníku, na jejímž základě spouští oběhové čerpadlo. [9]

Součásti tepelného solárního systému:

- Solární kolektory
- Zásobník TUV
- Řídicí jednotka
- Oběhové čerpadlo
- Expanzní nádoba
- Teplotonosné médium
- Spojovací potrubí
- Záložní zdroj tepla

2.3.1 Solární kolektor

Jak již bylo zmíněno, solární kolektor tvoří základní prvek solárního systému. Využívá absorpci slunečního záření na povrchu absorbéru (pevná látka či kapalina) a tím vzniká tepelná energie. Na spodní straně absorbéru je nejčastěji naletován trubkový rastr, ve kterém proudí teplotonosné médium (voda, nemrznoucí směs, vzduch), s jehož pomocí se následně odvádí teplo do akumulární nádoby. Přední strana kolektoru může být tvořena tvrzeným sklem, které propouští sluneční záření a zároveň zabraňuje tepelným ztrátám. Sklo však způsobuje odražení slunečních paprsků, proto se některé kolektory vytvářejí jako nekryté. [11]

Solární kolektory lze dělit podle řady hledisek:

Teplotonosná látka

- Kapalinové – voda či nemrznoucí směs
- Vzduchové

Konstrukce

- Ploché
- Trubkové
- Koncentrační

Absorbér

- Plastový
- Kovový – selektivní, neselektivní

- Akumulační

Tlak výplně

- Atmosférický
- Vakuový

Pro výrobu kolektorů existuje velké množství konstrukčních řešení s více či méně kvalitním provedením. Zde si uvedeme pouze některé.

2.3.1.1 Koncentrační kolektory

Soustředí sluneční záření pomocí soustavy zrcadel do ohniska (na absorber), které tak dosáhne vysoké teploty 250 – 800 °C. Nevýhodou je použitelnost pouze za jasného počasí a nutnost natáčení zrcadel. [12]

2.3.1.2 Ploché kolektory

Jedná se o nejpoužívanější typ kolektoru. Plochý kolektor může být v mnoha provedeních.

Klasická konstrukce je složena z hliníkové vany, absorberu, zasklení a tepelné izolace. Absorbér je většinou z hliníkového či měděného plechu, přičemž jeho plocha je téměř stejná jako plocha kolektoru. Tvrzené sklo slouží jako mechanická ochrana proti okolním vlivům a zároveň jako tepelná izolace. Snahou je, aby propustnost skla byla co největší. Některé absorbéry jsou dále opatřeny selektivním povlakem, který snižuje ztráty. [13]

Provedení může být kapalinové či vzduchové.



Obrázek 4: Plochý kolektor [14]

Plochý nekrytý kolektor je zpravidla v podobě plastové rohože bez zasklení. Vykazuje velké ztráty v závislosti na okolních podmínkách. Uplatnění nachází především pro sezónní ohřev bazénové vody. [12]

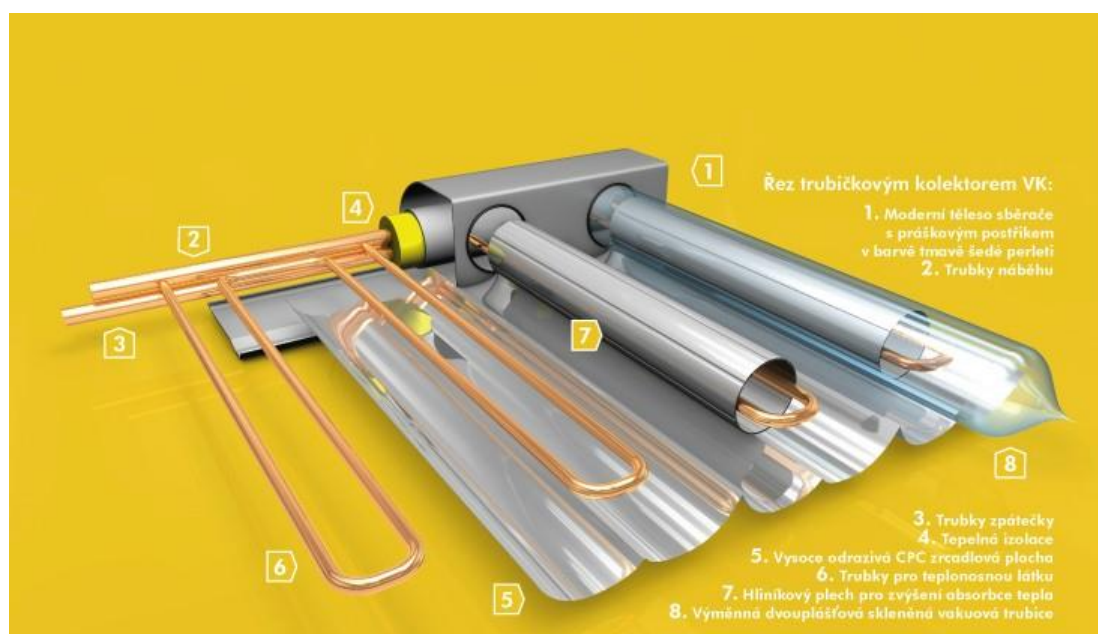
Hlavní výhodou plochých kolektorů je jejich poměr cena / výkon. V zimních měsících je však účinnost nižší než u vakuových.

2.3.1.3 Vakuové kolektory

Tyto kolektory jsou vysáty až na tlak okolo 10^{-3} Pa. Jelikož je atmosférický tlak asi 10^5 Pa, působí na konstrukci velký tlakový rozdíl. Z tohoto důvodu se vakuové kolektory vyrábějí jako trubicové.

Základní princip je založen na tepelné izolaci vakua mezi absorberem a skleněnou plochou, na které dopadá sluneční záření. Především zde vlivem absence vzduchu nedochází ke konvenci, díky čemuž tyto kolektory disponují téměř konstantní účinností při změně okolní teploty nebo při změně intenzity slunečního záření. [13]

Konstrukční řešení je v podobě uzavřené skleněné trubice, uvnitř které se nachází absorber se selektivním povrchem. Teplo je odváděno pomocí teplotnosného media protékajícího v měděném U-registru. Na spodní straně trubic se nachází vysoce odrazivá zrcadlová plocha, která zvyšuje účinnost kolektoru.



Obrázek 5: Vakuový trubičkový kolektor [15]

Uplatnění těchto kolektorů je především pro technologická použití, kde je potřeba dosáhnout vyšších pracovních teplot, než jsou schopny poskytnout kolektory ploché.

Vakuové kolektory jsou však náročné na výrobu, z čehož se odvíjí i jejich vyšší pořizovací cena. [13]

2.3.2 Zásobník TUV

Zásobník TUV je určen ke kumulaci tepelné energie získané solárními systémy v době, kdy je dostatek slunečního svitu a následnému využití této energie v době, kdy naopak slunce nesvítí (noc), nebo je sluneční svit příliš malý. Od klasických zásobníků se liší především větším objemem. Běžné solární zásobníky dokáží uchovat energii řádově na několik dnů. Čím větší je objem zásobníku, tím déle zde může být energie akumulována. [16]

Zásobník je pro celkový energetický zisk solárního termického systému velmi důležitý. Zajímají nás především vlastnosti jako velikost zásobníku, tepelné ztráty, počet výměníků, životnost a v neposlední řadě také cena. [16]

Většina solárních zásobníků obsahuje jeden výměník tepla napojený na solární kolektory a druhý výměník pro externí zdroj tepla, který vykryvá spotřebu energie v období, kdy je slunečního svitu méně (plynový kotel, elektrická patrona).

Nejčastějším tvarem je stojatý válcový ocelový zásobník. Jelikož se v nádobě používá čistá voda obsahující vzduchové bublinky, je vnitřní povrch smaltován a do zásobníku se vkládá manganová tyč, která zvyšuje životnost. Okolo celého válce je tepelná izolace zamezující úniku tepla.

2.3.3 Řídicí jednotka

Celá soustava je většinou řízena centrální řídicí jednotkou, která se stará o chod a bezpečnost systému. Hlavním úkolem je řídit oběhové čerpadlo, aby bylo dosaženo maximální efektivity získání tepla. Základní princip je založen na neustálém porovnávání teploty teplonosného média v kolektoru a teploty TUV v zásobníku. V případě, kdy je teplota v kolektoru vyšší (například o 5 °C), dojde k rozběhnutí oběhového čerpadla a to až do doby, kde se teploty vyrovnají. Tento cyklus se neustále opakuje. Některé řídicí jednotky mohou řídit i externí zdroje tepla.

2.3.4 Čerpadlo

Zajišťuje proudění teplonosného media mezi kolektorem a zásobníkem. Je nezbytné, aby bylo vhodně dimenzováno na základě požadovaného průtoku. Dále je nutná vysoká spolehlivost čerpadla. V případě selhání by mohlo dojít k přehřátí a poškození některé části systému.

2.3.5 Expanzní nádoba

Slouží k vyrovnání tlaku teplotné kapaliny při změně její teploty. Snahou je udržet tlak kapaliny v určitém rozmezí. Nádoba je tvořena z kvalitního ocelového plechu opatřeného antikoročním povlakem. Uvnitř se nachází membrána, kdy na jedné straně membrány je teplotné médium a na druhé vyrovnávací plyn. Při zvýšení teploty kapaliny se zvyšuje i její tlak, což způsobí stlačení plynu na druhé straně membrány. Při ochlazení se děje jev opačný. [17]

2.3.6 Teplotné médium

Pro celoroční provoz solárních soustav je využito nemrznoucí směsi. Ve většině systémů se pak používají vodní směsi propylenglykolu. Od teplotného média se dále požaduje vysoké měrná tepelná kapacita, vysoký bod varu a nízký bod tuhnutí, nízká viskozita atd. [18]

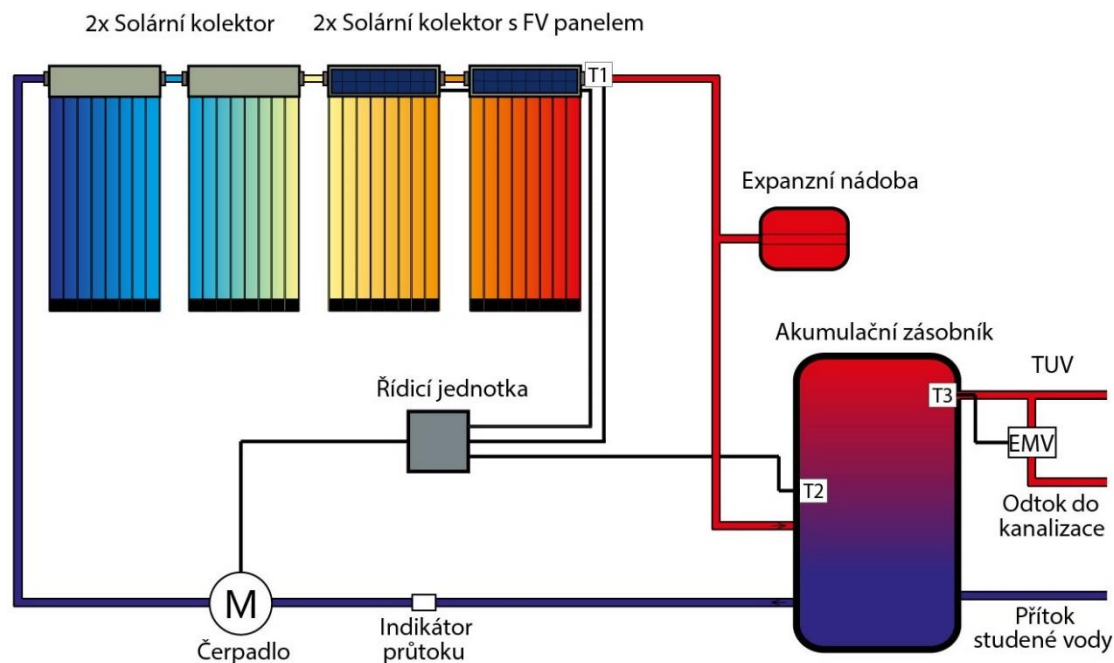
2.3.7 Spojovací potrubí

Potrubní rozvody spojují zdroj tepla (kolektor) a zásobník. Základními parametry jsou životnost a funkčnost. Potrubní systém musí být odolný vůči teplotnému médiu. Pro systémy pracující s nízkými teplotami do 60 °C (bazénový ohřev) lze použít plastové potrubí. V ostatních případech je však nutno použít kovové potrubí, kdy největší uplatnění pro výrobu trubek nachází měď.

2.4 Popis řízeného solárního systému

Solární systém, na kterém byla tato diplomová práce zpracována, je nainstalován na rodinném domě v Židlochovicích u Brna. Jak vyplývá z obrázku 1, jedná se o místo s vysokým ročním úhrnem globálního záření.

Systém je založen na aktivním termickém principu. Jeho využití je výhradně k ohřevu TUV. Celý systém byl dodán firmou Vermos s.r.o.. Obecné zapojení konkrétního solárního systému je vyobrazeno na obrázku 6.



- T1 - čidlo teploty média v kolektorech
- T2 - čidlo teploty média v zásobníku
- EMV - elektromagnetický ventil ovládaný termostatem
- T3 - čidlo teploty pro ovládnání EMV (součást termostatu)

Obrázek 6: Obecné zapojení konkrétního solárního systému

Přeměnu sluneční energie na tepelnou zprostředkovává čtveřice sériově zapojených solárních kolektorů umístěných na střeše domu. Získaná energie je přes výměník předána do akumulčního zásobníku, odkud je následně distribuován rozvod TUV. K nucenému oběhu teplotnosného média je v systému zakomponováno oběhové čerpadlo, jehož chod je ovládán prostřednictvím řídicí jednotky. Ta neustále porovnává teplotu v kolektoru s teplotou v zásobníku, a v případě vzniku dané difference, kdy je teplota média v kolektoru vyšší než teplota v zásobníku, dojde k připojení napájecího napětí pro oběhového čerpadla. Dalšími důležitými částmi systému jsou expanzní nádoba, indikační průtokoměr a v neposlední řadě spojovací potrubí a instalační materiál.

K elektrickému napájení řídicí jednotky a oběhového čerpadla jsou na dvou solárních kolektorech namontovány fotovoltaické články. Systém není napojen k žádnému dalšímu zdroji elektrické energie, z čehož vyplývá, že se jedná o autonomní systém, zcela poháněný slunečním zářením.

Solární kolektory

V systému jsou použity vakuové trubicové kolektory typu VV8, dva mají označení VV8-A a zbylé dva jsou VV8-A-F, tedy s fotovoltaickým panelem. Kolektory jsou umístěny se sklonem 28 ° a odklonem 15 ° od jihu na východ. [19]

Jednotlivé kolektory mají rozměry 1965x900x150 mm (DxŠxT) - bez započítání FV článků. Absorpční plocha každého kolektoru je 1,45 m². Celkem tak soustava disponuje absorpční plochou 5,8 m². Obecně je možné dosáhnout ročního teplotního zisku až 3244 kWh/rok. [19]

Akumulační zásobník

Jedná se o zásobník typu OKC 250 NTRR/SOL od firmy DZ Dražice s.r.o. Přesný objem zásobníku je 245 dm³. Provozní přetlak v nádobě je 1 MPa. [20]

Akumulační zásobník obsahuje dvojici tepelných výměníků. Spodní je určen pro solární systém. Do vrchního výměníku je napojen plynový kotel, který do zásobníku dodává tepelnou energii v případech, kdy není sluneční aktivita dostatečně vysoká. Výkon spodního výměníku je až 32 kW a horního až 24 kW. Maximální výkon akumulčního zásobníku tedy činí celkem 56 kW. [20]

Oběhové čerpadlo

Nucený oběh teplotnosného média je zprostředkován čerpadlem Ecocirc D5 Vario typu D5-38/700 od firmy Laing. Konstrukce je realizována kapalinou obtékaným rotorem, autostavitelným ložiskem, bezhřídelovým elektronicky komutovaným sférickým motorem s permanentním buzením. [19]

Čerpadlo je možno napájet napětím od 8 – 24 V DC, typicky však 12 V DC. Odebíraný proud čerpadlem se pohybuje okolo 0,25 A až 1,46 A. Průtok je v rozmezí 0 - 1,7 m³/hod. Maximální provozní tlak je 1 MPa. Výtlak je možný až do výšky 4 m. [19]

V tomto solárním systému je čerpadlo napojeno na řídicí jednotku, která rozhoduje o jeho běhu. Průtok je závislý na příkonu čerpadla. Tento příkon však odpovídá napětí na FV panelech, z čehož vyplývá, že průtok je úměrný sluneční aktivitě. [19]

V systému je dále použit také indikační průtokoměr v podobě průhledné části potrubí. Lze tedy vizuálně zkontrolovat, zda potrubím protéká teplotnosné médium (čerpadlo je v provozu), či nikoliv.

Ačkoli se v systému nenachází měřicí prvek, který by přímo stanovoval hodnotu průtoku, lze z příkonu a převodních charakteristik čerpadla množství proudícího média dopočítat. Podrobné informace k výpočtu průtoku systémem a převodní charakteristiky čerpadla jsou uvedeny v literatuře [19].

Řídicí jednotka

Slouží k regulaci a ovládní automatického chodu systému. Řídicí jednotka je typu AEV 0203. Hlavním úkolem jednotky je vyhodnocení teplot na teplotních čidlech, ovládní čerpadla a hlídání havarijních stavů (přehřátí zásobníku TUV nebo solárních kolektorů). [19]

Řídicí jednotka ovládá chod čerpadla v závislosti na rozdílu teplot média v kolektoru a akumulacním zásobníku. Teplotní diference je přednastavena na 5 °C. Pokud je teplota v kolektoru vyšší než teplota v zásobníku o tuto diferenci, dochází k rozběhu oběhového čerpadla. Při poklesu rozdílu teplot na 2 °C je čerpadlo zastaveno. Tuto hodnotu nelze měnit. Pro servisní účely je možné čerpadlo spínat a vypínat ručně. [19]

V případě, kdy teplota teplotnosného média v kolektorech přesáhne hodnotu 100 °C, nastává havarijní stav. Dojde tak k rozběhu čerpadla, sepnutí havarijního kontaktu a rozsvícení havarijní signalizace. Pokud následně teplota klesne pod úroveň 95 °C, vrací se systém do normálního stavu. [19]

Napájení systému

Pro účel napájení systému je použita dvojice fotovoltaických panelů. Ty jsou součástí solárních kolektorů VV8-A-F. Zapojení panelů je sériové, přičemž špičkový výkon činí až 22 W. Napětí při nulovém proudu může dosahovat hodnoty okolo 15,2 V. Rozměry každého článku jsou 122x760x20 mm (DxŠxT). [19]

Fotovoltaické panely slouží jako napájecí zdroj pro řídicí jednotku a oběhové čerpadlo. Jelikož v systému není použito žádné další externí napájení, je systém zcela autonomní. Z podstaty věci vyplývá závislost na sluneční aktivitě. Pokud je sluneční aktivita vysoká, solární kolektory vytvářejí tepelnou energii, která je prostřednictvím elektrické energie vyrobené na fotovoltaických panelech (napájení řídicí jednotky a čerpadla) přenesena do akumulacního zásobníku a dále využita. Pokud je však množství dopadajícího slunečního záření na solární kolektory a FV panely malé, není vytvářena téměř žádná tepelná energie v kolektorech a tím pádem není nutnost elektrického napájení systému. Je zřejmé, že oběhové čerpadlo nemůže být rozběhnuto v případě, kdy je malá sluneční aktivita a teplota média v kolektorech je nižší než teplota v zásobníku. Není tedy možné, aby docházelo k nežádoucímu stavu, kdy by tepelná energie byla přenášena z akumulacního zásobníku do kolektorů.

Měření teploty

Pro funkčnost systému je nezbytné měření teplot v solárním kolektoru a akumulčním zásobníku.

Čidlo teploty kolektoru

Je umístěno na výstupu posledního kolektoru. Snímá nejvyšší teplotu teplotonosného média. Čidlo je napojeno na řídicí jednotku, kde dochází k vyhodnocení signálu. [19]

Čidlo teploty zásobníku

Je umístěno ve spodní části akumulčního zásobníku, v místě kde vstupuje teplotonosné médium ze solárních kolektorů. Čidlo je opět napojeno na řídicí jednotku, kde dochází k vyhodnocení signálu. [19]

Elektromagnetický ventil

K obslužení havarijního stavu přehřátí zásobníku je na výstupu TUV ze systému instalován elektromagnetický ventil. Ten po sepnutí odpouští horkou vodu do kanalizace. Ventil je napájen síťovým napětím. Havarijní výstup řídicí jednotky však není na toto napětí dimenzován. Z tohoto důvodu je elektromagnetický ventil spínán termostatickým spínačem, umístěným společně s čidlem teploty zásobníku dohřívacího zdroje v horní části akumulčního zásobníku, kde vstupuje teplotonosné médium z plynového kotle. Jedná se o termostat KR – 230V. Termostat je nastaven na maximální teplotu vody v zásobníku. V případě překročení této teploty dochází k sepnutí a tedy otevření ventilu. [19]

Další částí napojenou na solární systém je dohřívací zdroj v podobě plynového kotle. Ten je určen k dodávání tepelné energie do akumulčního zásobníku v době, kdy je nízká sluneční aktivita. Především se jedná o chladnější zimní období. Dohřívací zdroj je pro běžný rodinný dům nezbytnou součástí systému pro ohřev TUV prostřednictvím solárního principu. Jedná se o samostatně pracující část, kterou se diplomová práce nebude zabývat.

Další technické parametry k dílčím částem solárního systému jsou uvedeny v literatuře [19].

3 NÁVRH ÚPRAV ŘÍZENÍ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

V minulých letech byly na výše zmíněném systému zpracovány dvě studentské závěrečné práce, z jejichž výsledků vyplynulo, že termické solární kolektory dokáží při málo slunečných dnech a dnech s proměnlivým počasím vyrábět nezanedbatelnou tepelnou energii. Fotovoltaické panely však v těchto případech nejsou schopny systému dodat dostatečné množství elektrické energie pro chod čerpadla.

S ohledem na nedostatky solárního systému bylo rozhodnuto, že se do soustavy přidá externí zdroj napájení. Ten je určen k pohánění čerpadla v situacích, kdy solární kolektory vyrábějí tepelnou energii, ale fotovoltaické panely nemají dostatečný elektrický výkon. Jedná se o zdroj připojený k rozvodné síti 230 V/50 Hz s výstupním napětím 12 VDC.

Další podstatnou změnou v systému bylo odebrání původní řídicí jednotky a výběr vhodné náhrady, pomocí níž bylo možné navrhnout autonomní řízení solárního systému s cílem zlepšit jeho energetickou účinnost. Původní řídicí systém totiž neumožňoval implementaci vyhodnocovacího algoritmu, ani možnost vizualizace naměřených dat na obrazovce či webovém rozhraní.

3.1 Výběr řídicí jednotky

Od nové jednotky bylo vyžadováno, aby zastala funkci řízení solárního systému popsanou v kapitole 2.3.3, byla schopna ovládat externí napájecí zdroj, umožnila implementaci vlastního řídicího algoritmu, komunikovala s uživatelem prostřednictvím dotykové obrazovky a umožňovala sběr, archivaci a prezentaci provozních dat prostřednictvím webového rozhraní. Dalšími požadovanými parametry byly také malá spotřeba energie a pochopitelně nízká cena. Obecně lze tuto jednotku realizovat několika způsoby.

Použití hotového produktu

Jako první možnost se nabízelo použití solárního regulátoru, jakožto hotového produktu. V dnešní době je na trhu velká škála jednotek, ke kterým lze přímo připojit teplotní čidla, oběhové čerpadlo, napájecí napětí a po zapnutí je ihned vykonáván předpřipravený řídicí algoritmus. Většina těchto regulačních zařízení má možnost úpravy vyhodnocovacích parametrů, jako například teplotní difference, maximální teploty zásobníku aj. Dražší varianty nabízí také grafickou vizualizaci stavu systému prostřednictvím LCD displeje. Výhody spočívají v jednoduchosti a rychlosti aplikace, dále také v odladěném a spolehlivém chování. Podstatnými nevýhodami však jsou minimální možnost vlastní úpravy řídicího algoritmu či velmi vysoká cena systémů s dotykovou obrazovkou a webovým rozhraním.

Vlastní návrh a realizace

Další možností byl návrh a realizace vlastní řídicí jednotky. Jednalo by se o kompletní vytvoření jak hardwarových, tak softwarových komponent, které by dokázaly splnit veškeré výše zmíněné požadavky. Návrh by vyžadoval stanovení požadavků na hardware a návrh vhodných komponent. Dále tvorbu a osazení desek plošných spojů. Poté oživení hardwaru a tvorba veškerých softwarových částí. Výhody, které by s sebou vlastní návrh řídicí jednotky nesl, jsou libovolná úprava řídicího algoritmu, možnost použití dotykové obrazovky a komunikace přes webové rozhraní. Prakticky by bylo možné při vhodné koncepci sestavit zařízení přesně určené pro daný účel. Nevýhodou však je velká časová náročnost a komplikovaná realizace složitějších částí. Například dotyková obrazovka by musela být pořízena jako hotový prvek.

Kompletace z modulů

Jako poslední varianta se nabízela možnost sestavit řídicí jednotku z distribuovaných modulů, které je možné spojit a zajistit tak veškeré potřebné funkce. Základním stavebním prvkem by byla procesorová jednotka s vhodnými perifériemi. K ní by dále byly připojeny nezbytné moduly s AD převodníky, vstupy, výstupy, dotyková obrazovka, Ethernet komunikační modul aj. Celkově by tak bylo docíleno stejného výsledku, jako při vlastním návrhu a realizaci řídicí jednotky s rozdílem, že by byl podstatně menší čas věnovaný návrhu hardwaru a pozornost by se tak mohla ubírat především na vývoj softwaru.

S ohledem na výše zmíněné výhody a nevýhody dílčích možností byla zvolena varianta kompletace z modulů.

Následně bylo nezbytné vybrat vhodnou základní procesorovou jednotku s perifériemi, která by se nejvíce hodila pro potřeby této diplomové práce. Dnešní trh nabízí velké množství miniaturních počítačů s velmi širokými možnostmi uplatnění a rozšíření, ale zároveň velmi přívětivou cenou. Může se jednat například o Pine A64+, CubieBoard, Raspberry Pi, Arduino Tre, Banana pi, BeagleBone Black, Odroid-C, UDOO a mnoha dalších.

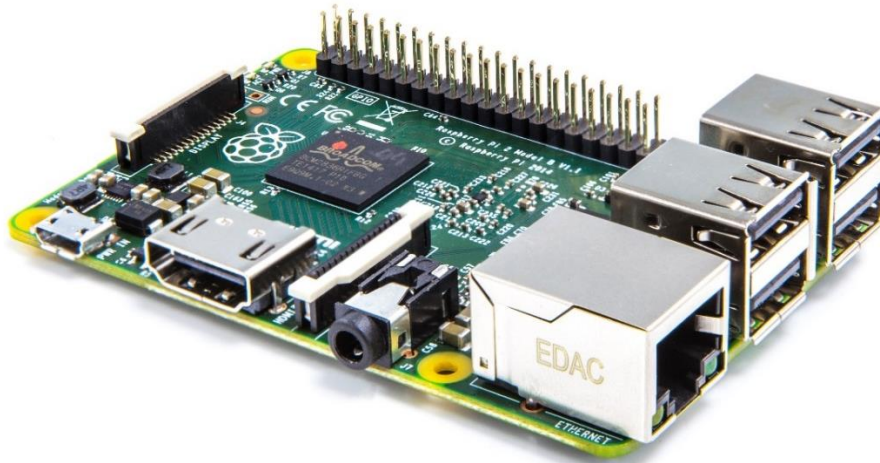
Vybrán byl nakonec Raspberry Pi 2 model B (dále RPi) a to především díky velmi rozsáhle komunitě lidí, používající tuto platformu a tím pádem také velkému množství materiálů, ze kterých lze při práci s RPi čerpat. Ovlivňujícím faktorem při volbě byly i pozitivní zkušenosti s RPi při práci na řešeném solárním systému v dřívějších letech.

3.2 Raspberry Pi

Jedná se o jednoduchý počítač o velikosti kreditní karty, který se vyznačuje malou energetickou náročností, vysokým výkonem (vzhledem k jeho velikosti), velmi rozsáhlou možností rozšíření a v neposlední řadě také nízkou cenou. Vyvinut byl nadací Raspberry Pi Foundation s cílem podpořit výuku informatiky na školách. Vzhledem k výhodám, které nabízí, však nachází uplatnění i v oblasti tzv. domácích kutilů. [21]

RPi lze používat jako alternativu stolního počítače. Díky jeho velmi nízké spotřebě je vhodný pro nonstop běžící aplikace jako webový server pro lokální stránky, či centrální prvek domácí regulace. Další možností uplatnění je jako HTPC, nebo například pro mozek robota. [21]

Pro potřebu této práce bude použit Raspberry Pi 2 Model B. Z tohoto důvodu budou v následujících odstavcích popsány vlastnosti a parametry právě tohoto konkrétního modelu.



Obrázek 7: Raspberry Pi 2 model B [22]

Volba operačního systému pro RPi je ponechána na uživateli, který si může vybrat z velkého množství systémů jako Ubuntu MATE, Fedora, Rasdroid, NetBSD či Windows 10 IoT Core. Nejčastěji se však používá Linux, resp. linuxové distribuce. Jednou z nejoblíbenějších a zároveň doporučených je Raspbian, který je na míru upraven pro hardware Raspberry Pi. RPi neobsahuje žádný pevný disk. Operační systém, programy a veškerá data jsou nainstalována a uložena na SD kartě. [23]

Technická specifikace [24]

- Procesor Broadcom BCM2836 ARMv7 Quad Core (900 MHz)
- 1 GB RAM (450MHz)
- 4 x USB 2.0 porty

- GPIO 40 pinů (UART, I2C, sběrnice SPI...)
- 4 pólový Stereo výstup a kompozitní video port
- HDMI port
- CSI kamera port
- DSI display port (možnost i dotykového displeje)
- Micro USB konektor napájení
- 10/100 Ethernetový Port
- Micro SD slot
- Audio výstup jack 3,5mm

Jak bylo uvedeno výše, v dnešní době je na trhu velké množství komponent, kterými lze RPi rozšířit. Je však nezbytné brát na zřetel kompatibilitu připojeného zařízení a RPi. Pro tuto práci bylo nezbytné rozšíření o AD převodník, desku digitálních vstupů/výstupů a dotykovou obrazovku.

Důležitou roli pro sběr a archivaci provozních dat má také přesný čas. RPi však chybí integrovaný obvod reálného času. Ten je možné dokoupit. Podstatně výhodnější je brát přesný čas z internetu, kdy při každém připojení k síti dochází k synchronizaci času.

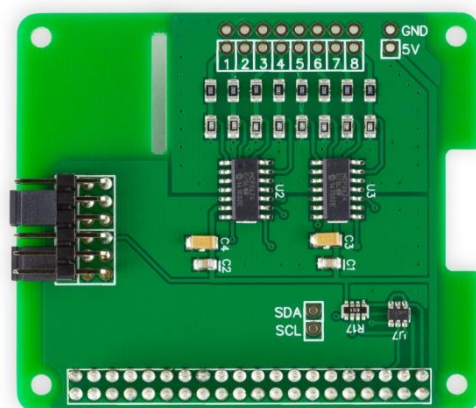
Vzhledem k tomu, že pro potřeby této práce nebylo nutné připojení žádných vstupů či výstupů přímo na GPIO, není zde uveden přesný popis jednotlivých portů. Jak AD převodník, tak rozšiřující deska I/O jsou připojeny k RPi přes kompatibilní GPIO rozhraní, přičemž uživatel nemusí jednotlivé porty zapojovat sám, nýbrž je vše hardwarově předpřipraveno.

3.2.1 AD převodník

Pro zpracování měřených analogových veličin, jako jsou teploty a napětí, je v první řadě potřebný jejich převod do digitální podoby. K tomuto účelu slouží převodník ADC Pi Plus, který je navržen pro přímé připojení k RPi prostřednictvím GPIO portu. Splňuje tzv. RPi HAT, neboli že se jedná o zařízení s možností mechanického upevnění k Raspberry Pi 2 model B. Jako komunikační rozhraní pro toto zařízení slouží sběrnice I2C. [26]

Technická specifikace [26]

- 8x analogový vstup
- Rozlišení 17 bitů
- Rozsah zpracovaných napětí od 0 V do 5 V
- Komunikace s RPi prostřednictvím I2C



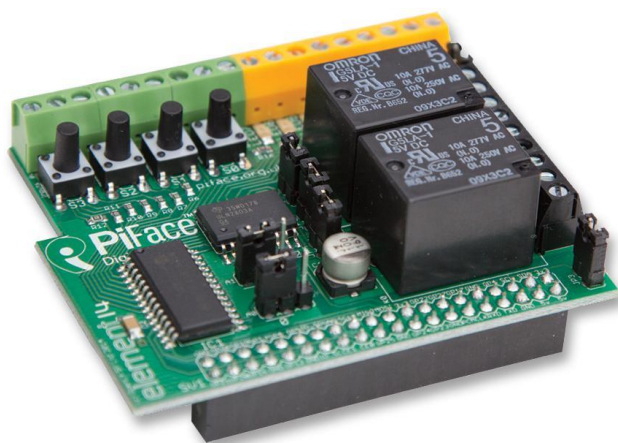
Obrázek 8: ADC Pi Plus [26]

3.2.2 Rozšiřující I/O karta

Spínání a odpínání externího zdroje napájecího napětí pro čerpadlo není možné přímo přes výstupy na GPIO portu RPi. Z tohoto důvodu musí být použity reléové kontakty. Pro tuto konkrétní aplikaci byla vybrána rozšiřující deska PiFace Digital 2, která je přímo určena pro zařízení Raspberry Pi 2 model B. Obsahuje dvojici relé s přepínacím kontaktem, 8 digitálních vstupů a 8 výstupů s otevřeným kolektorem. Připojení na RPi je prostřednictvím GPIO portu, přičemž pro komunikaci slouží SPI. [27]

Technická specifikace [27]

- 2x relé
- 4x spínač
- 8x digitální vstup
- 8x výstup s otevřeným kolektorem
- 8x indikační LED dioda
- Grafický emulátor
- Jednoduché programování v Python, scratch nebo jazyce C
- Podpora přerušení



Obrázek 9: PiFace Digital 2 [27]

3.2.3 Dotyková obrazovka

Požadavkem zadavatele této práce bylo také navržení připojení dotykové obrazovky k systému s Raspberry Pi. S ohledem na dostupné finanční prostředky a představy konzultanta byl vybrán 5“ dotykový display od firmy Adafruit. Opět se jedná o zařízení kompatibilní s RPi, připojitelné přes HDMI konektor. [28]

Technická specifikace [28]

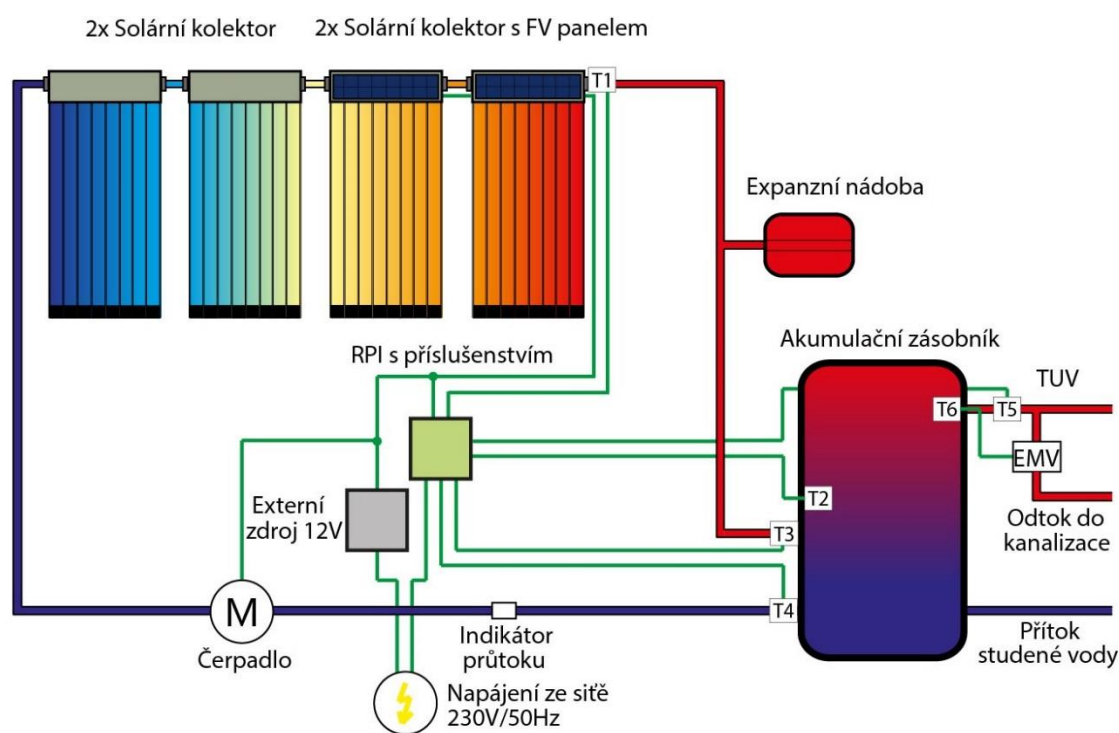
- 5 palcový display s rozlišením 800x480
- HDMI konektor
- Napájení přes micro USB
- Možnost nastavení úrovně podsvícení přes PWM
- Kompatibilita s OS Mac, Windows a Debian Linux (Rasbian)

3.3 Externí zdroj napětí

Jako externí zdroj napětí 12V DC je použit zánovní počítačový zdroj formátu SFX model LC-B200SFX. Pro jeho zapínání, respektive vypínání, slouží *Power on* pin, jehož přívod má zelené označení. Je-li tento pin spojen s nulovým potenciálem napětí, zdroj je v chodu. V opačném případě je zdroj vypnutý.

4 NÁVRH A REALIZACE MĚŘICÍCH, ŘÍDICÍCH A PŘIZPŮBOVACÍCH OBVODŮ

Solární systém byl v rámci této diplomové práce upraven dle změn popsanych v kapitole 3. Byla tedy odebrána původní řídicí jednotka, jejíž funkce je nahrazena změnou uspořádání systému a miniaturním počítačem Raspberry Pi 2 model B s příslušenstvím. Dále byl přidán externí napájecí zdroj, jež dodává elektrickou energii čerpadlu v době nízké sluneční aktivity, kdy však solární kolektory dokáží vyrábět nezanedbatelnou tepelnou energii. Nové uspořádání systému je patrné z obrázku 11.



- T1 - čidlo teploty média v kolektorech
- T2 - čidlo teploty média v zásobníku TUV
- T3 - čidlo teploty média vstupujícího do zásobníku TUV ze solárního okruhu
- T4 - čidlo teploty média vystupujícího ze zásobníku TUV ze solárního okruhu
- T5 - čidlo teploty média vystupujícího ze zásobníku TUV pro rozvod TV v domě
- EMV - elektromagnetický ventil ovládaný termostatem
- T6 - čidlo teploty pro ovládání EMV (součást termostatu)

Obrázek 10: Uspořádání solárního systému po úpravách

Další podstatnou změnou bylo přímé napojení výstupu fotovoltaických panelů na svorky čerpadla. Vzhledem k nízkému výkonu panelů není totiž možné, aby nastal reverzní stav, kdy by byla tepelná energie odváděna ze zásobníku do kolektorů (více informací je k nalezení v literatuře 19).

Fotovoltaické panely a externí zdroj jsou k čerpadlu připojeny přes oddělovací diody (viz obrázek 13). Jejich použití bylo voleno s ohledem na ochranu dílčích zdrojů a možnost měřit napětí na fotovoltaických panelech zvlášť.

Stěžejní úlohou pro řízení solárních systémů pro ohřev TUV je měření teploty. V případě tohoto konkrétním systému je měřeno a vyhodnoceno celkem pět teplot. Jedná se o teploty média v kolektoru, v zásobníku, na vstupu solárního okruhu do zásobníku, na výstupu solárního okruhu ze zásobníku a na odtoku z akumulčního zásobníku. Teplota v kolektorech a v zásobníku je určena především pro vyhodnocovací algoritmus spínání externího zdroje. Teploty na vstupu a výstupu ze zásobníku ze solárního okruhu slouží jednak pro výpočet výkonu solárního systému a dále taktéž pro vyhodnocení nutnosti spínání či odpínání externího zdroje. Teplota na odtoku z akumulčního zásobníku je měřena pouze z informativního hlediska, kdy se podle ní určuje, zdali je elektromagnetický ventil, určen pro odtok horké vody ze zásobníku do kanalizace v případě přehřátí, sepnut či nikoliv.

Měření teploty je provedeno odporovými termistorovými čidly. Jedná se tedy o převod teploty na napětí. K tomu, aby bylo možné hodnoty teplot vyhodnotit, je nezbytný jejich převod do digitální podoby. Pro tento účel je k RPi připojen AD převodník. Konkrétně se jedná o ADC Pi Plus popsány v kapitole 3.2.1.

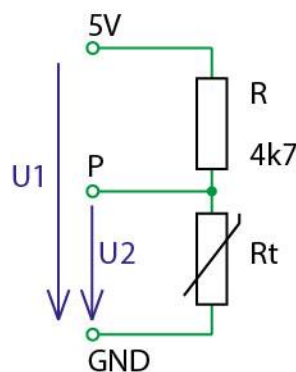
4.1 Teplotní čidla

V kolektoru a zásobníku TUV jsou pro měření teploty použita původní čidla. Jejich přesný typ však již nebyl znám. Z tohoto důvodu bylo provedeno kalibrační měření, se snahou zjistit jich převodní charakteristiky. Jedinou znalostí o zmiňovaných čidlech bylo, že se jedná o termistory typu PTC. Zároveň bylo provedeno také kontrolní měření odporových NTC termistorových čidel typu RL0503-1248-73-MS od firmy GE M&C, která jsou určena pro stanovení teploty média vstupujícího a vystupujícího z TUV zásobníku ze solárního okruhu a teploty na odtoku ze zásobníku do rozvodu TV v domě.

Měření bylo provedeno současně, vždy pro jedno čidlo od každého typu. Snahou bylo zjištění skutečných převodních charakteristik, tedy převodu měřeného napětí na stupně Celsia, pro kompletní uspořádání měřicího systému tak, jak je v reálných podmínkách použit.

Zapojení čidel

Zapojení čidel bylo při kalibraci provedeno stejným způsobem, jako tomu je nyní pro řízení systému. Použit byl napěťový dělič napájený konstantním napětím 5 V. Přes AD převodník, připojený k RPi, byla měřena hodnota napětí na odporovém čidle, kterou je možné stanovit dle rovnice (1). Princip měření je patrný z obrázku 12.



Obrázek 11: Zapojení teplotního čidla

$$R_t = \frac{U_2 \cdot R}{U_1 - U_2} \quad (1)$$

Kde: R_t Odpor čidla teploty [Ω]
 R Odpor rezistoru [Ω]
 U_1 Vstupní napětí [V]
 U_2 Výstupní napětí [V]

Hodnota odporu R je 4,7 k Ω (voleno s ohledem na vhodné proudové zatížení čidel). Vstupní napětí U_1 by teoreticky mělo být 5 V (napětí dodávané RPi). Ve skutečnosti tato hodnota kolísala okolo 4,6 V, přičemž její přesná úroveň byla pro minimalizaci chyby taktéž zároveň měřena při měření odporu čidla. U_2 je pak napětí na termistoru.

Vyhodnocení kalibrace

Kalibrace byla provedena na zařízení AMTEK ETC-125 A. Postupně byly na kalibračním zařízení nastavovány teploty od 0 °C do 105 °C po kroku 10 °C. Jelikož se nominální hodnota odporových čidel udává při teplotě 25 °C, bylo provedeno i měření právě na této teplotě. Při každé změně teploty nadcházel 5 minutový časový interval čekání, dostačující pro tepelnou výměnu a ustálení děje.

V příloze 1 je uvedena tabulka naměřených hodnota a grafy závislostí odporu na teplotě NTC a PTC snímačů. Naměřené křivky pro obě čidla byly vhodně proloženy spojnicemi trendu. Převodní charakteristiky jsou pak dány rovnicemi spojnic trendu.

PTC čidlo:

$$T = -32,48 \cdot \ln(R_t) + 268,41 \quad (2)$$

NTC čidlo:

$$T = -9 \cdot 10^{-6} R_t + 0,116 R_t - 153,06 \quad (3)$$

Hodnota odporů obou typů čidel by při 25 °C měla být okolo 2 kΩ. Jak z tabulky 2 vyplývá, skutečný naměřený odpor se v obou případech pohyboval okolo 1,780 kΩ. Je tedy zřejmé, že při měření došlo k podstatné chybě.

Jelikož kalibrační měření bylo provedeno ve stejném zapojení a za stejných podmínek, jako tomu je pro reálné měření v solárním systému, lze převodní charakteristiky bez výhrady ve výše zmíněném tvaru pro přepočítání odporu na stupně Celsia použít.

Kalibrační měření bylo provedeno při nastavování kroků teplot vzestupně, tedy od 0 °C do 105 °C. Pro kontrolu následně byly naměřeny hodnoty pro teploty 90 °C a 25 °C také při sestupném kroku. Jelikož byly naměřené hodnoty téměř stejné jako při rostoucí teplotě, lze vyloučit chybu, která by vznikla nedostatečnou dobou čekání na tepelnou výměnu a ustálení děje.

Další veličina, která je měřicí soustavou vyhodnocována, je výstupní napětí z fotovoltaických panelů. Měření této veličiny se provádí především pro zlepšení algoritmu ovládání externího zdroje. Velikost napětí značně závisí na proudovém zatížení fotovoltaického zdroje čerpadlem. Teoreticky je možné, že bude úroveň napětí FV dosahovat až 15,2 V. Maximální vstupní napětí, které lze na použitém AD převodníku zpracovat, je pouze 5 V. Z tohoto důvodu je FV napětí k AD převodníku připojeno přes napěťový dělič viz obrázek 12. Hodnoty odporů děliče jsou 470 Ω a 1 kΩ. Vyhodnocené napětí je tedy přibližně 3,12766x menší, než je napětí skutečné. Převod napětí na správnou hodnotu je proveden v řídicím programu.

4.2 Popis vývodů AD převodníku

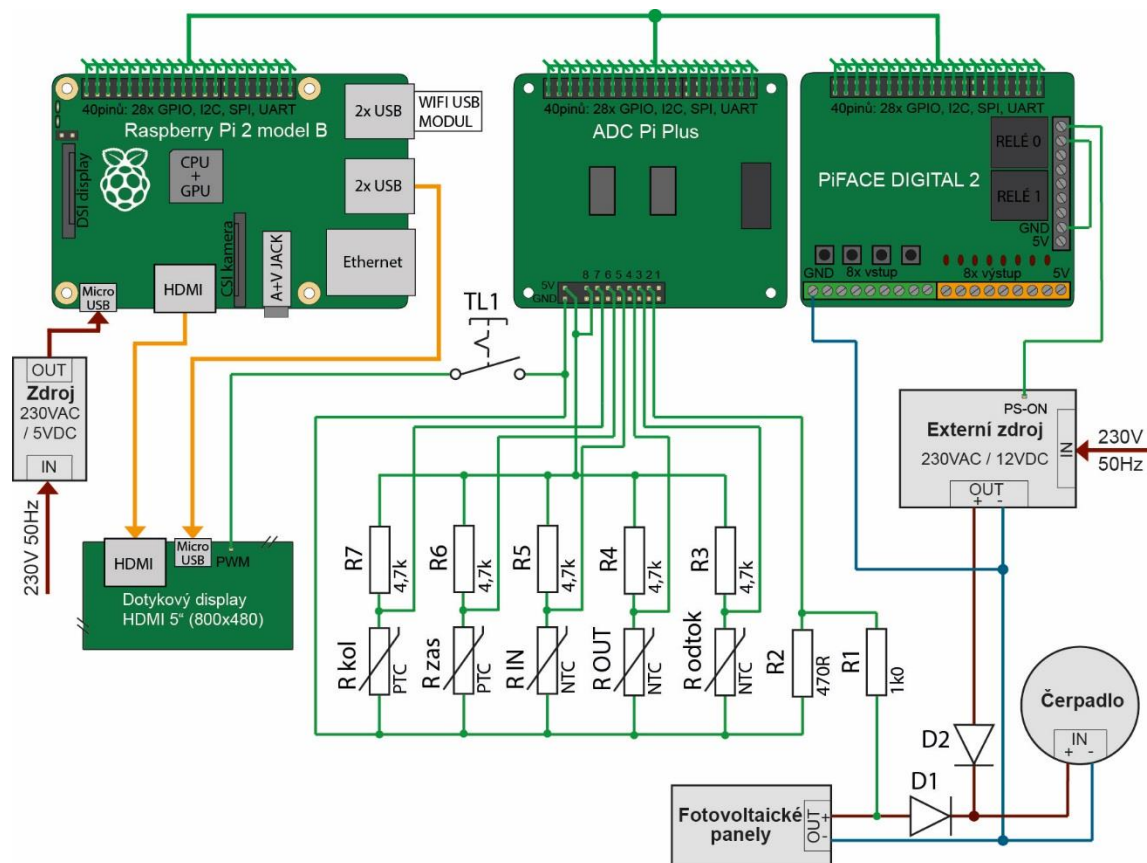
Na vývody AD převodníku jsou napojena jednotlivá čidla teploty a výstupní napětí z FV panelu. Označení P1 – P8 odpovídá pinům 1 – 8.

- **P1** – Sleduje přesné napájecí napětí ADC, které zároveň slouží i pro napájení odporových děličů teplotních čidel. V praxi totiž bylo zjištěno, že toto napětí není konstantně 5 V, nýbrž kolísá v rozmezí od 4,6 V do 5 V. Pro správné vyhodnocení odporu teplotních čidel je však znalost napájecího napětí zásadní.

- **P2** a **P3** – Slouží pro zjištění teploty teplotnosného média v kolektorech a v zásobníku TUV. Jedná se o termistorová odporová čidla typu PTC s hodnotou odporu 2 k Ω , při 25 °C. Pro nastavení vhodného proudu termistorem je v sérii připojen rezistor 4,7 k Ω .
- **P4** a **P5** – Jsou určeny pro zjištění teploty teplotnosného média na vstupu a výstupu z akumulárního zásobníku TUV ze solárního okruhu. Jedná se o termistorová odporová čidla typu NTC s hodnotou odporu 2 k Ω , při 25 °C. Pro nastavení vhodného proudu termistorem je v sérii připojen rezistor 4,7 k Ω .
- **P6** – Zde je připojeno teplotní čidlo určené pro měření teploty na výstupu z akumulárního zásobníku TUV do rozvodu TV v domě. Jedná se opět o termistorové odporové čidlo typu NTC s hodnotou odporu 2 k Ω , při 25 °C. Pro nastavení vhodného proudu termistorem je v sérii připojen rezistor 4,7 k Ω .
- **P7** – Na tento pin je přes odporový dělič s výše zmíněnými parametry připojeno výstupní napětí z FV panelů.
- **P8** – Není obsazen.

Pro potřeby spínání, respektive vypínání, externího napájecího zdroje nelze použít přímo výstupy na GPIO portech RPi. Z tohoto důvodu byla měřicí a řídicí jednotka doplněna o vstupně/výstupní modul PiFace Digital 2, popsany v kapitole 3.2.2. Pro ovládání externího zdroje je použit jeden reléový výstup. Na společnou svorku použitého relé je přiveden nulový potenciál. Dále je na svorku NO (Normally Open) připojen ovládací vodič, označený jako *Power on*, pro spínání zdroje. Přesné zapojení je patrné z obrázku 13. Pokud je tedy relé v klidovém stavu, je zdroj vypnutý. Při sepnutí relé dochází k propojení nulového potenciálu a ovládacího vodiče zdroje, což vede k sepnutí externího napájení.

K RPi je z důvodu komunikace řídicího systému s uživatelem napojena dotyková obrazovka popsaná v kapitole 3.2.3. Připojení je provedeno prostřednictvím HDMI. Pro napájení je veden z USB konektoru RPi kabelový propoj na micro USB vstup obrazovky. S ohledem na úsporu energie je na displeji nastaveno automatické zhasínání, které se provede po 10 minutách nečinnosti. Tato automatická funkce se však neuplatňuje u podsvícení obrazovky. Z tohoto důvodu je na PWM vstup displeje přiveden přes tlačítko s aretací nulový potenciál. Pokud je tedy tlačítko v poloze zapnuto, je na PWM vstup přiveden potenciál 0 V a podsvícení je vypnuté. V opačném případě, v poloze vypnuto, dojde k rozpojení a tím i zapnutí podsvícení.



Obrázek 12: Elektrické zapojení měřicího a řídicího uspořádání

Raspberry Pi je také prostřednictvím spojení s lokálním routem připojeno do internetové sítě.

RPi s příslušenstvím a dotyková obrazovka jsou umístěny v plastové krabici o rozměrech 190 x 140 x 90 mm. Tato krabice byla upravena pro možnost pevného upevnění všech komponent. Dále v krabici byly vytvořeny otvory pro přívodní kabely a jeden otvor pro odvod tepla. Fotografie celkového provedení jsou přiloženy v příloze 2.

Původním záměrem této diplomové práce bylo i ovládání havarijního ventilu, který je určen pro odpouštění příliš horké vody do kanalizace v případě přehřátí akumulčního zásobníku. Nakonec bylo ale zadavatelem práce rozhodnuto, že ovládání ventilu zůstane bez úpravy, tedy ve stejné podobě, jako je popsáno v kapitole 2.4. Důvodem je nutnost ovládání ventilu síťovým napětím 230 V / 50 Hz, na které nejsou relé na PiFace Digital 2 určené.

5 SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

5.1 Instalace potřebného softwarového vybavení

Úvodní fází používání minipočítače Raspberry Pi je instalace operačního systému. Doporučený a zároveň nejpoužívanější je Raspbian, kdy v době zpracování diplomové práce byla aktuální verze Raspbian Jessie.

Samotné RPi nemá vlastní uložení dat. Vše, od operačního systému po dílčí soubory, je uloženo na SD kartě. Pro potřeby výše definovaného operačního systému je zapotřebí použít SD kartu o kapacitě alespoň 4 GB. Dalším požadavkem na externí uložení je rychlost zápisu. Je doporučováno, aby byl tento parametr co nejvyšší. Z celkového hlediska byla vybrána SDHC karta o kapacitě 16 GB s rychlostní třídou 10.

5.1.1 Instalace operačního systému

Pro instalaci operačního systému (dále OS) na SD kartu je zapotřebí počítač s čtečkou karet. Kartu do PC vložíme a následně stáhneme obraz distribuce, který se bude instalovat. K nalezení je na stránkách www.raspberrypi.org v sekci *Downloads*. Stáhnutý obraz rozbalíme a následně pomocí vhodného programu, pro Windows například *Win32DiskImager*, nahrajeme operační systém na SD kartu.

Poté již lze RPi s vloženou SD kartou spustit. Pro první rozběh je nutno připojit externí monitor, myš a klávesnici, a to z důvodu základního nastavení konfigurace systému. Defaultně je pro nově nainstalované OS nastaveno jméno zařízení *pi* a heslo *raspberry*. Je tedy doporučeno v úvodním nastavení změnit alespoň heslo. Dále je zde možné rozšíření oddílu SD karty na maximální velikost a případně povolení SSH připojení, nezbytné pro vzdálený přístup. Po dokončení nastavení se RPi restartuje a při dalším naběhnutí již dojde ke spuštění vlastního OS, kdy se po přihlášení zobrazí příkazový řádek.

5.1.2 Vytvoření vzdáleného přístupu

Pro pohodlnější práci s RPi je výhodné vytvoření vzdáleného přístupu. Základním předpokladem je připojení Raspberry Pi na router buď prostřednictvím Ethernet připojení, nebo v případě wifi routeru je možno použít USB wifi modul. K vlastnímu vzdálenému přístupu lze, při znalosti IP adresy RPi, využít například program PuTTY (pro přístup z PC s OS Windows).

Systém Debian, používající jako jádro Linux, je obecně přizpůsoben pro práci v příkazovém řádku. Jinak tomu není ani u Raspbianu. Jelikož je však součástí této práce také grafická vizualizace na dotykové obrazovce a webovém rozhraní, bylo nezbytné

věnovat pozornost také práci přes grafické uživatelské rozhraní, dále GUI. Pro práci v GUI bylo využito taktéž vzdáleného přístupu skrz počítačovou síť pomocí VNC. Princip je založen na vytvoření grafické plochy serverem (RPi) a následné komunikaci s klientem, který plochu zobrazuje (PC). Jako program pro přenos vzdálené plochy byl použit TightVNC.

Na Raspberry Pi byl pro instalaci TightVNC serveru použit příkaz:

```
sudo apt-get install tightvncserver
```

Sudo znamená, že se příkaz vykoná s oprávněními tzv. „superuživatele“, ostatní uživatelé totiž nemají v základním nastavení oprávnění instalovat programy. Pro debian OS se software instaluje prostřednictvím balíčků. Příkaz *apt-get* nebo *aptitude* spouští stejnojmennou aplikaci, která se stará o správu těchto balíčků. *Install* znamená, že se bude instalovat nová aplikace. Dále následuje již jméno balíčku, který se má nainstalovat. Během instalace je nezbytné zadat také heslo, pomocí něhož se bude možné přes VNC připojit.

Po instalaci TightVNC serveru lze dále zadat příkaz, díky kterému se VNC server na RPi spustí:

```
tightvncserver -depth 24
```

Část příkazu *-depth 24* slouží pro zadání barevné hloubky obrazu vzdálené plochy. Pokud vše proběhne v pořádku, zobrazí se na příkazovém řádku číslo displeje, na kterém bude přenos obrazu probíhat.

Pro připojení k RPi lze následně využít libovolného VNC klienta, jako je například TightVNC Viewer.

Výše popsáný vzdálený přístup lze uskutečnit jednak přes internet, kdy je nutno znát veřejnou IP adresu RPi, nebo v lokální počítačové síti, kdy je možné pro připojení použít buď lokální IP adresu, nebo i IP adresu veřejnou. Přístup přes internet vyžaduje nastavení přesměrování routeru, ke kterému je připojen RPi. Pro TightVNC Server se jedná o port 5901.

5.1.3 Vývojové prostředí na RPi

Pro tvorbu vlastních aplikací lze na RPi použít velké množství programovacích jazyků. Nejznámějšími jsou Scratch, Python, JavaScript, Java, Perl, nebo také pochopitelně jazyk C. Požadavkem zadavatele této práce bylo vytvoření veškerých programů v jazyce C. Pro usnadnění tvorby softwaru je výhodné na RPi nainstalovat programovací prostředí s kompilátorem. Možnou variantou je například vývojové prostředí Geany, které umožňuje jednak programovací jazyky jako C, tak i možnost tvorby HTML, PHP, CSS, JavaScript a mnoho dalších.

Příkaz pro instalaci Geany:

```
sudo apt-get install geany
```

5.1.4 Raspberry Pi jako server

Pro prezentaci naměřených dat prostřednictvím webového rozhraní je nejjednodušší variantou vytvoření funkce webového serveru na minipočítači RPi. Tato funkce zde však není automaticky a je tak nezbytné doinstalovat potřebný software. Řešením, které bylo použito, je tzv. LAMP, neboli Linux, Apache, MySQL a PHP. Všechny tyto části jsou standardně obsaženy v repozitářích Raspbianu.

V příkazovém řádku se zadají příkazy:

```
sudo apt-get update && apt-get upgrade  
sudo apt-get install apache2 mysql-server mysql client php5 php5-mysql vsftpd
```

První příkaz slouží k obnovení seznamu softwarových balíčků v repozitářích a upgradu všech dosud instalovaných aplikací na nejnovější verze. Druhý příkaz slouží k instalaci dílčích aplikací:

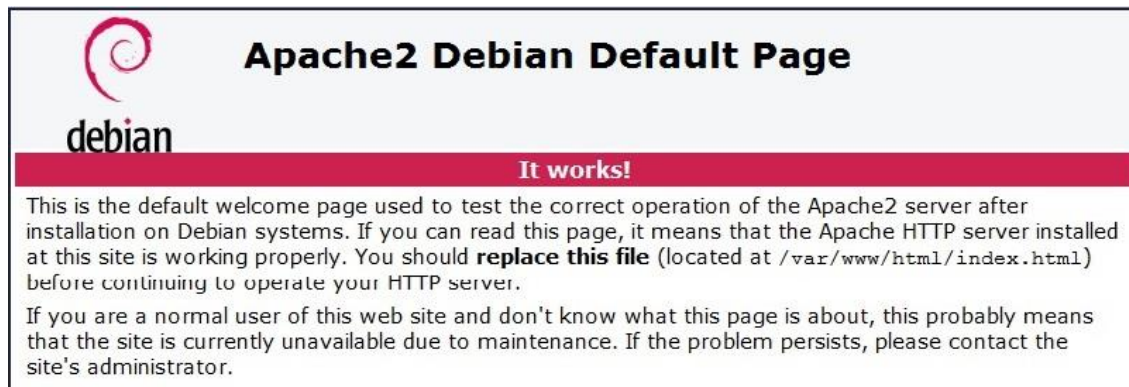
Apache 2.4.10 – aplikace zajišťující základní funkci webového serveru

MySQL 5.5.44 – databázový systém založený na SQL

PHP 5.6.17 – podpora jazyka PHP pro tvorbu webových stránek

VSFTPD 3.0.2 – FTP server

Funkčnost nainstalovaného serveru lze jednoduše zjistit tak, že do webového prohlížeče zadáme IP adresu RPi. Pokud vše proběhlo v pořádku, zobrazí se stránka podobná jako na obrázku 10.



Obrázek 13: Ověření funkčnosti serveru Apache2

Stránky, které běží na webovém serveru na RPi jsou uloženy v adresáři `/var/www/html` a nesou název `index.html`, respektive `index.php` pro stránky psané v jazyce PHP. Pro zobrazení vlastního obsahu lze soubor `index` nahradit vlastními zdrojovými kódy. Přístup k těmto webovým stránkám je opět přes IP adresu RPi.

Složku `/var/www/` je v základním nastavení možno editovat pouze s právy „superuživatele“. Z tohoto důvodu je vhodné rekurzivně změnit vlastníka složky na `pi` pomocí následujícího příkazu:

```
sudo chown -R pi /var/www
```

Pro pohodlnou práci s databází MySQL lze doinstalovat také aplikaci phpMyAdmin (použitá verze: 4.2.12) příkazem:

```
sudo apt-get install phpmyadmin
```

V průběhu instalace je nezbytné zadat jako webový server Apache2. Poté nakonfigurujeme phpMyAdmin do serveru, kdy na konec souboru `apache2.conf` dopíšeme text `Include /etc/phpmyadmin/apache.conf` a server restartujeme. Otevření konfiguračního souboru aplikace Apache2 se provede příkazem:

```
nano /etc/apache2/apache2.conf
```

Nyní již lze vytvářet či upravovat strukturu databáze. Spojení s MySQL lze navázat zadáním IP adresy RPi s příponou `/phpmyadmin` do webového prohlížeče (v našem případě: `89.190.46.160/phpmyadmin`).

Pro přístup do databáze MySQL z jazyka C je zapotřebí opět instalace vývojového balíčku. To lze provést příkazem:

```
Sudo apt-get install libmysqlclient-dev
```

5.2 Návrh a implementace software pro řízení solárního systému a sběr dat

O řízení solárního systému, tedy měření a archivaci provozních veličin a ovládání výstupního zařízení, se stará na míru vytvořená aplikace psaná v jazyce C, která běží na RPi. Tato aplikace, nesoucí název *SolarSystem*, je uzpůsobena nepřetržitému chodu. Její hlavní části jsou komunikace s AD převodníkem ADC Pi Plus přes I2C, komunikace s vstupně/výstupním modulem PiFace Digital 2 přes SPI, vyhodnocení naměřených dat, výměna dat s MySQL databází, stanovení chodu čerpadla, algoritmus pro ovládání externího zdroje a další podpůrné výpočty.

Jak již bylo zmíněno, řídicí program má název *SolarSystem*. Není tím však vytvářena žádná spojitost s významem anglického překladu tohoto sousloví. Pojmenování bylo voleno pouze z důvodu odstranění diakritiky a zkrácení českého názvu solární systém.

5.2.1 Komunikace přes SPI a I2C

Při návrhu přenosu dat mezi RPi a rozšiřujícími moduly bylo využito volně šiřitelných knihovnických souborů a funkcí, které lze získat například na stránkách www.github.com.

Pro komunikaci mezi RPi a PiFace Digital 2 se jedná o knihovny *libmcp23s17* a především *pifacedigital*. Ovládání relé (neboli i externího zdroje) lze pak provádět pomocí funkce:

```
pifacedigital_digital_write(x,y);
```

Kde *x* znamená označení relé (0 nebo 1) a *y* je stav, do kterého se má relé přepnout (0 = přepnout na kontakt Normaly Close, 1 = přepnout na kontakt Normaly Open).

Součástí souboru s *pifacedigital.h* je také *Makefile*, sloužící pro zjednodušení procesu kompilace. Tento *Makefile* byl upraven a použit pro kompilaci vytvářeného programu *SolarSystem.c*. Úprava spočívala především ve změně názvu programu a přidání matematické knihovny a knihoven pro MySQL databázi.

ADC Pi Plus si s RPi předává data prostřednictvím sběrnice I2C. Je tedy nezbytné mít na Raspberry Pi komunikaci I2C povolenou. Do programu je dále nutno přidat hlavičkový soubor *i2c-dev.h* a funkci *getadc()* s veškerými náležitostmi. Vyčítání digitalizovaných hodnot na jednotlivých vstupech AD převodníku lze za pomoci funkce:

```
getadc(int x, int y);
```

Kde x znamená označení kanálu AD převodníku (1 až 8) a y je PGA, neboli programovatelné zesílení, kterým se vynásobí vstupní hodnota ($00 = x1$, $01 = x2$, $10 = x4$, $11 = x8$).

5.2.2 Vyhodnocení naměřených dat

Výčet aktuálních hodnot měřených veličin (teplot a napětí viz kapitola 4.2) se provádí postupně vždy pro všechny kanály na AD převodníku. Solární systém nedisponuje příliš rychlými časovými změnami. Z tohoto důvodu je v každém cyklu programu po 3 vteřinách provedeno 12 měření hodnot napětí na AD převodníku na jednotlivých kanálech a výpočtů aktuálních veličin (teplot a napětí). Následuje seřazení všech dvanácti hodnot od nejmenšího po největší, odstranění nejmenší a největší hodnoty (pro minimalizaci chyby) a výpočet průměrné hodnoty ze zbylých 10 naměřených dat.

Průměrné hodnoty jsou dále testovány, zdali nedošlo k chybě při měření, například přerušením kabelu daného čidla. Dochází k jejich porovnání, zdali spadají do přípustného rozmezí. Pakliže je hodnota v pořádku, lze s ní dále pracovat. V opačném případě již nesmí být použita.

Takto otestované hodnoty lze uložit do databáze a použít pro vyhodnocení nutnosti spínání, respektive vypínání externího zdroje.

Při testování komunikace RPi s AD převodníkem bylo zjištěno, že první hodnoty po sepnutí chodu programu mohou být stanoveny chybně. Důvodem je vytíženost procesoru v daný okamžik a tím způsobené nesprávné předání dat přes I2C. Z tohoto důvodu jsou po spuštění řídicího programu vyčteny postupně všechny hodnoty na vstupech AD převodníku, které již nejsou dále použity.

5.2.3 Hlavní smyčka řídicího programu

Řídicí program je vytvořen z nekonečné smyčky, kde se neustále opakují následující kroky:

1. Načtení parametrů z konfiguračního souboru.
2. Vyčtení hodnoty přesného aktuálního času.
3. Měření a výpočet provozních veličin.
4. Vyhodnocení nutnosti zapnutí či vypnutí externího napájení čerpadla.
5. Ovládání výstupních zařízení a uložení provozních a vypočtených dat do databáze.

Průběh jednoho cyklu trvá okolo 45,75 sekund. Tento čas byl volen s ohledem na dynamiku systému. Čas cyklu je ovlivněn zejména vyhodnocením naměřených dat popsaných výše. Doba však závisí i na aktuálním vytížení procesoru.

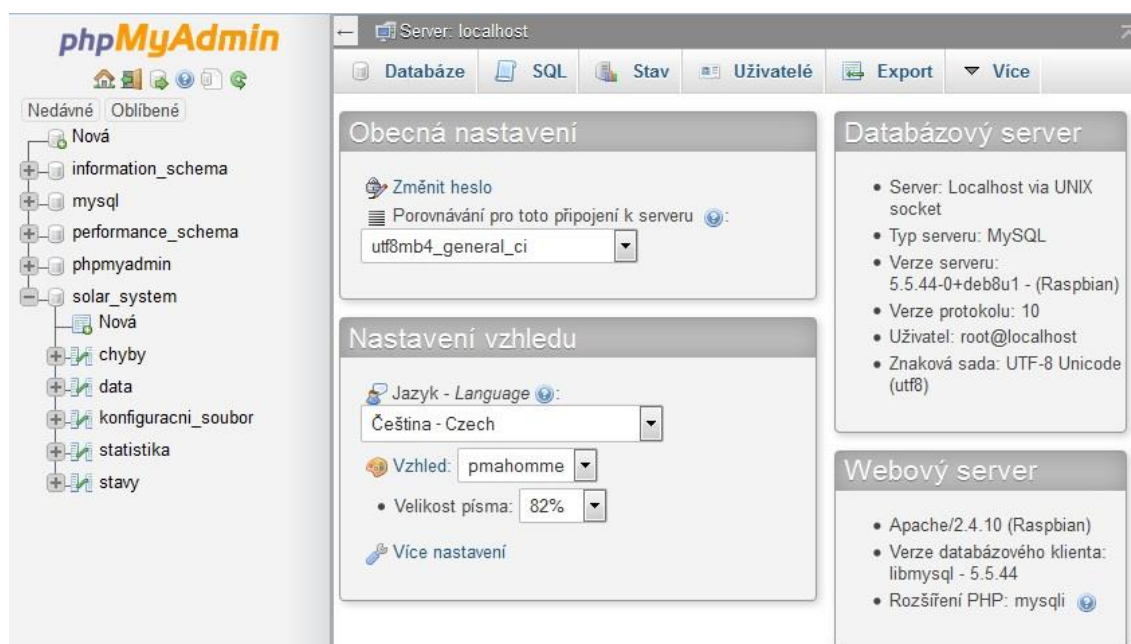
Některé části kódu programu nejsou vykonávány každý cyklus. Jedná se především o ukládání dat či chod vyhodnocovacího algoritmu pro ovládání externího zdroje. Ukládání provozních hodnot každý cyklus by znamenalo příliš velké množství uložených dat. Z tohoto důvodu se do databázové tabulky *data* vkládají hodnoty vždy po osmi cyklech a do tabulky *statistika* po dvou cyklech. Algoritmus vyhodnocení spínání a vypínání externího zdroje je vykonáván vždy každý čtvrtý cyklus, a to s ohledem na zajištění dostatečných změn vyhodnocovaných veličin. Důvodem je dynamika solárního systému, která má pomalý charakter.

Pro snížení množství nepotřebných dat a zbytečného vykonávání chodu některých úseků kódu je v programu nastaveno také časové omezení těchto částí. Jedná se o omezení v nočních hodinách, kdy solární systém žádnou tepelnou energii nevyrábí. Konkrétní časy, kdy budou omezené části kódu vykonány, je možné nastavit přes webové rozhraní.

5.2.4 Výměna dat s MySQL databází

Provozní data a konfigurační parametry řídicího programu jsou ukládány do struktury MySQL databáze. Tato forma archivace dat byla zvolena především díky snadné komunikaci programu s databází a zároveň i databází s webovým rozhraním. Další výhodou je možnost ukládání a práce s velkým objemem dat.

Správa databáze byla provedena v programovém systému phpMyAdmin. Na obrázku 14 je zobrazeno prostředí phpMyAdmin s již vytvořenou databází s názvem *solar_system*.



Obrázek 14: Prostředí MySQL v phpMyAdmin

V databázi *solar_system* se nachází celkem 5 tabulek:

chyby

Jak z názvu vyplývá, je tato tabulka určena pro zápis možných chyb vzniklých při chodu solárního systému. Může se jednat o chybu měřené veličiny (teploty, napětí) nebo chybu vzniklou přehřátím kolektorů či zásobníku. Tabulka *chyby* obsahuje celkem 4 prvky:

- index - automaticky zvyšovaný unikátní údaj o počtu a pořadí chyby
- time - automaticky přidaná informace o datu a čase zápisu chyby
- error - konkrétní popis dané chyby
- kontrola - proměnná nesoucí informaci o zpracování dané chyby

data

Do této tabulky jsou každý osmý cyklus (přibližně po 6 minutách) ukládána provozní data, která lze zobrazit přes webové rozhraní v podobě běžného záznamu či grafu. Tabulka *data* obsahuje celkem 8 prvků:

- index - automaticky zvyšovaný unikátní údaj o počtu a pořadí dat
- time - automaticky přidaná informace o datu a čase zápisu naměřených hodnot
- teplota_kolektor - teplota média v kolektoru
- teplota_zasobnik - teplota média v zásobníku
- teplota_in - teplota na vstupu do zásobníku ze solárního okruhu
- teplota_out - teplota na výstupu ze zásobníku ze solárního okruhu
- teplota_odtok - teplota na odtoku z akumulárního zásobníku do rozvodu TV
- napeti_fv - napětí na fotovoltaických panelech

konfiguracni_soubor

Tato tabulka slouží pro předávání parametrů či povelů řídicímu programu z webového rozhraní. Obsahuje celkem 10 prvků:

- rychly_gradient - parametr pro vyhodnocovací algoritmus spínání externího zdroje
- pomaly_gradient - parametr pro vyhodnocovací algoritmus spínání externího zdroje
- ovladani_cerpadla - ovládání chodu čerpadla, manuálně (zapnout, vypnout) či automaticky
- ovladani_ventilu - příprava pro možné budoucí ovládání havarijního ventilu
- rozdil_tep_zap - parametr pro vyhodnocovací algoritmus spínání externího zdroje
- rozdil_tep_vyp - parametr pro vyhodnocovací algoritmus spínání externího zdroje
- rozdil_tep_max - parametr pro vyhodnocovací algoritmus spínání externího zdroje

- rozdil_tep_pokles - parametr pro vyhodnocovací algoritmus spínání externího zdroje
- cas_od - čas, od kdy jsou vykovávány časově omezené části kódu
- cas_do - čas, do kdy jsou vykovávány časově omezené části kódu

statistika

Jedná se o tabulku určenou pro diagnostické účely solárního systému a stanovení jeho tepelného zisku. Výpis hodnot této tabulky lze provést ve webovém rozhraní v rozšířeném záznamu. Ukládání provozních veličin, vypočtených hodnot a stavů komponent systému se provádí vždy každý druhý cyklus programu, tedy přibližně po 1,5 minutě. Celkem tato tabulka obsahuje 16 prvků:

- index - automaticky zvyšovaný unikátní údaj o počtu a pořadí dat
- time - automaticky přidaná informace o datu a čase zápisu naměřených hodnot
- cyklus - číslo cyklu řídicího programu (0 až 7)
- unixtime - aktuální hodnota času v podobě UNIX time
- následuje 6 stejných provozních veličin jako v tabulce *data*: teplota_kolektor, teplota_zasobnik, teplota_in, teplota_out, teplota_odtok a napeti_fv
- gradient_kolektor - vypočtený gradient teploty média v kolektoru určený provyhodnocovací algoritmus spínání externího zdroje
- gradient_zasobnik - vypočtený gradient teploty média v zásobníku určený provyhodnocovací algoritmus spínání externího zdroje
- dále jsou 3 prvky nesoucí informaci o stavu čerpadla, ventilu a zdroje: chod_cerpadlo, ventil_otevren a chod_zdroj. Pokud je u daného prvku hodnota 1, je zdroj či čerpadlo v chodu, případně je ventil otevřen. Hodnota 0 znamená opak.
- vykon – tento prvek nese informaci o aktuálním tepelném výkonu solárního systému.

stavy

Do této tabulky se každý cyklus řídicího programu načítají aktuální provozní veličiny a stavy komponent solárního systému. Tyto hodnoty se neukládají zvlášť, ale dochází vždy k přepsání starých hodnot hodnotami novými. Tabulka *stavy* byla vytvořena pouze pro vizualizaci aktuálních veličin. Obsahuje celkem 10 prvků:

- time - automaticky přidaná informace o datu a čase zápisu naměřených hodnot
- následuje 6 stejných provozních veličin jako v tabulce *data*: teplota_kolektor, teplota_zasobnik, teplota_in, teplota_out, teplota_odtok a napeti_fv
- poté následují 3 prvky stejné jako v tabulce *statistika*: chod_cerpadlo, ventil_otevren a chod_zdroj

Pokud chceme vyčítat a zapisovat data do MySQL databáze v jazyce C, je nutné mít na RPi doinstalovaný patřičný softwarový balíček viz kapitola 5.1.4. Následně je zapotřebí přidat do programu hlavičkové soubory *mysql.h* a *my_global.h*.

Práce s databází MySQL v jazyce C

Výměna dat je umožněna až po otevření komunikace a přihlášení do příslušné databáze. To lze provést následující sérií kódu:

```
MYSQL *con = mysql_init(NULL);           /*Inicializace
komunikace*/
if(con == NULL){ finish_with_error(con); } /*Test
komunikace*/
if(mysql_real_connect(con, hostitel, uzivatel, heslo, název
databáze, 0, NULL, 0) == NULL){ finish_with_error(con); }
/*Otevření komunikace s příslušnou databází*/
```

O obsluha případných vzniklých problémů v komunikaci s databází, jako například zadání nesprávného hesla, odkaz na neexistující databázi atd., slouží funkce *finish_with_error(con)*.

Vyčtení hodnoty z databáze, konkrétně z tabulky *konfiguracni_soubor*, je pak provedeno následujícím způsobem:

```
if(mysql_query(con, "SELECT * FROM konfiguracni_soubor")){
    finish_with_error(con); }
MYSQL_RES *result = mysql_store_result(con);
if(result == NULL){ finish_with_error(con); }
MYSQL_ROW row;
while((row = mysql_fetch_row(result)))
{
    /*Zde je provedeno zapsání hodnot z databáze do příslušných
    proměnných*/
}
```

Zápis hodnot do databáze, například do tabulky *data*, lze provést takto:

```
snprintf(mysqlcommand, 512, "INSERT INTO data VALUES (DEFAULT,
DEFAULT, %2.1f, %2.1f, %2.1f, %2.1f, %2.1f, %2.1f)", t_kol,
t_zas, t_in, t_out, t_vent, u_fv);
if(mysql_query(con, mysqlcommand)){finish_with_error(con);}
```

Jak je vidět z výše uvedených částí zdrojového kódu, komunikace programu v jazyce C s databází spočívá ve vytvoření vhodného řetězce znaků a následném zadání tohoto řetězce jako příkazu SQL.

Poslední fází je ukončení komunikace. To je provedeno příkazem:

```
mysql_close(con);
```

5.2.5 Stanovení chodu čerpadla

Čerpadlo, které slouží k nucenému oběhu teplotnosného média v solárním systému, je přes oddělovací diodu napojeno přímo na fotovoltaické panely. Fakt, zdali je čerpadlo při napájení z FV v chodu či nikoliv je tedy nutné zjistit z provozních veličiny. Konkrétně jsou pro tyto potřeby využity: teplota na vstupu do zásobníku ze solárního okruhu, teplota na výstupu ze zásobníku ze solárního okruhu a napětí na fotovoltaiice.

Princip stanovení chodu čerpadla je založen na porovnání aktuální hodnoty teploty na vstupu do zásobníku a hodnoty zde naměřené před čtyřmi cykly řídicího programu (tedy před 3 minutami). Pokud je aktuální teplota vyšší alespoň o 0,9 °C, došlo k rozběhu čerpadla. Dále se pro stanovení chodu čerpadla používá také teplotní gradient v zásobníku. Pokud je teplotní gradient nyní i před osmi cykly řídicího programu větší než 0,06 °C/minutu a zároveň není spuštěno napájení z externího zdroje, je zřejmé, že je čerpadlo v chodu.

K posouzení opačného případu, tedy zdali došlo k vypnutí čerpadla, se porovnávají aktuální a předchozí (před čtyřmi cykly) teploty jednak na vstupu, tak i na výstupu ze zásobníku ze solárního okruhu. Pokud obě tyto teploty klesly o více než 0,35 °C, je zřejmé, že došlo k vypnutí čerpadla. Totéž platí i pro situaci, kdy je napětí na fotovoltaiice menší než 6,6 V. Úroveň napětí pod touto hranicí totiž k chodu čerpadla není dostačující. Poslední podmínkou, která slouží k detekci vypnutí chodu čerpadla, je porovnání teplotního gradientu zásobníku po osmi cyklech. Pokud je teplotní gradient nyní i před osmi cykly menší než 0,02 °C/minutu, je zřejmé, že došlo k vypnutí čerpadla.

V případě sepnutého externího napájení, je bezpochyby čerpadlo v chodu.

Na závěr je nutné dodat, že znalost chodu čerpadla není pro potřeby správného vyhodnocení doby sepnutí externího napájení zásadní.

5.2.6 Algoritmus ovládání externího napájení čerpadla

Řešení problému, kdy je vhodné spustit externí napájecí zdroj, je poměrně složitá záležitost. Důvodem je především velké množství situací, které mohou nastat vlivem změny počasí, odběru TUV v domácnosti atd. Z tohoto důvodu bylo nutné vyvinout algoritmus, který bude dostatečně robustní. Jelikož je tato práce vypracována v jarním

období, musí algoritmus také umožňovat nastavení dílčích parametrů pro změnu podmínek v letních či podzimních měsících.

Úvodní fází algoritmu je načtení všech parametrů z konfiguračního souboru, neboli databázové tabulky *konfiguracni_soubor*. Následuje stanovení gradientu teploty kolektoru a zásobníku. Výpočet je proveden jako poměr změny teploty vůči změně času za dobu čtyř cyklů řídicího programu.

Po vyčíslení gradientů následuje porovnání, zdali ve webovém rozhraní nebyl zadán požadavek na manuální zapnutí, či vypnutí externího zdroje. K tomuto účelu slouží v databázi parametr *ovladani_cerpadla*. Pokud by byl vznesen požadavek, dojde k zapnutí, respektive vypnutí, zdroje a algoritmus se již vykonávat nebude.

V případě, že je však nastaven automatický režim, pokračuje se dále v algoritmu. Další podmínkou je porovnání aktuálního času (hodiny), zdali spadá do rozmezí *cas_od* do *cas_do*. Pokud tomu tak je, vyhodnotí se, jestli nenastala chyba teploty na kolektoru, nebo v zásobníku. Poslední omezující podmínkou pro chod algoritmu je, jak již bylo zmíněno, také cyklus řídicího programu. Algoritmus je totiž vykonán pouze v každém čtvrtém cyklu.

Dále následuje porovnání, zdali je teplota v kolektoru větší než teplota v zásobníku o hodnotu alespoň *rozdil_tep_zap*. V případě kladného výsledku může nastat sepnutí zdroje v jedné z následujících situací:

1. Teplota v kolektorech je větší než teplota v zásobníku alespoň o hodnotu *rozdil_tep_max*.
2. Teplota v kolektorech je větší než teplota v zásobníku alespoň o hodnotu *rozdil_tep_pokles*, zároveň však čerpadlo není v chodu a teplota na kolektorech mírně klesá (snaha odčerpát maximum tepelné energie z kolektorů).
3. Gradient teploty v kolektorech byl v předchozím kroku větší než *rychly_gradient*, nyní je čerpadlo zastaveno a teplotní gradient na kolektoru je větší než hodnota *pomaly_gradient*.
4. Gradient teploty v kolektorech byl před dvěma kroky větší než *rychly_gradient*, předchozí krok byl tento gradient větší než *pomaly_gradient* a zároveň bylo v chodu čerpadlo, a nyní je stále gradient teploty v kolektorech vyšší než *pomaly_gradient* a gradient teploty v zásobníku je menší než 0,02 °C/min.

Vypnutí externího napájecího zdroje pak může nastat v situacích:

1. Napětí na fotovoltaice je větší než 10,55 V (toto napětí stačí pro rozběhnutí čerpadla).
2. Teplota na výstupu solárního okruhu ze zásobníku je větší, než teplota na vstupu solárního okruhu do zásobníku, přičemž teplota na vstupu již nepřesahuje hodnotu teploty v zásobníku alespoň o 5 °C.

3. Teplota v zásobníku je menší než teplota v kolektoru o hodnotu $rozdil_tep_vyp.$

5.2.7 Výpočet energetického zisku solárního systému

Pro možnost vyhodnocení zisku solárního systému se počítají a do databáze ukládají aktuální hodnoty tepelného energetického zisku systému. Postup výpočtu je založen na informacích získaných v literatuře 19.

Prvním úkolem pro stanovení energetického zisku je výpočet velikosti průtoku teplotonosného média. K tomuto účelu jsou použity polynomy, vypočtené z převodních charakteristik čerpadla pomocí numerické metody kubický splajn:

pro 6,6 V – 8V

$$F = 163,27 \cdot (U - 6,60)^3 - 764,29 \cdot (U - 6,60)^2 + 1500,00 \cdot (U - 6,60) \quad (4)$$

pro 8 V – 12V

$$F = 6,67 \cdot (U - 8,00)^3 - 78,57 \cdot (U - 8,00)^2 + 320,00 \cdot (U - 8,00) + 1050,00 \quad (5)$$

pro 12 V – 24V

$$F = -0,092 \cdot (U - 12,00)^3 + 1,51 \cdot (U - 12,00)^2 + 11,77 \cdot (U - 12,00) + 1500,00 \quad (6)$$

Kde: F [l/h] výsledný průtok
U [V]..... napětí na čerpadle

Poté je již možné spočítat aktuální výkon systému dle následující rovnice:

$$P = F \cdot \rho \cdot c \cdot (T_0 - T_1) \quad (7)$$

Kde: P [W] výkon
F [l/h] průtok
 ρ [kg · m³] hustota
c [J · kg⁻¹ · K⁻¹] ... měrná tepelná kapacita
T₀[K] teplota na vstupu do zásobníku ze solárního okruhu
T₁[K] teplota na výstupu ze zásobníku ze solárního okruhu

Další funkci, kterou řídicí program plní, je určení stavu havarijního ventilu. Jak bylo zmíněno výše, ventil je ovládán nezávisle na RPi termostatem KR-230V. Teplota spínání na tomto termostatu je nastavena na maximální hodnotu, a tedy 75 °C. Pokud je teplota na odtoku z akumulčního zásobníku větší než 75 °C, je ventil otevřen. Při následném poklesu teploty pod 70 °C je detekováno zavření ventilu. Určení stavu havarijního ventilu je řešen pouze z informativního hlediska.

Řídicí program *SolarSystem* je nastaven pro spínání vždy při spuštění Raspberry Pi. Toho bylo dosaženo přidáním příkazu pro spuštění do skriptu *rc.local*, který je obsažen v adresáři */etc*.

Program *SolarSystem.c* je s *Makefile* souborem k nalezení v příloze č. 3.

6 WEBOVÉ ROZHRAŇÍ PRO KOMUNIKACI S ŘÍDICÍM SYSTÉMEM

Od této práce byly dále vyžadovány prezentace provozních dat prostřednictvím webového rozhraní a možnost komunikace s uživatelem pomocí dotykové obrazovky. Oba zmíněné body byly zpracovány zároveň, v podobě veřejné webové stránky, která je jednak spuštěna na dotykové obrazovce, a současně je možné ji mít zobrazenou na kterémkoliv počítači či multimediálním zařízení s webovým prohlížečem a připojením k internetu. Tato webová stránka je dostupná přes IP adresu 89.190.46.160, a umožňuje jak úpravy parametrů řídicího programu, tak i zobrazení provozních dat, stavů komponent systému aj.

Návrhu webového rozhraní předcházela instalace serveru a dalších potřebných programů na Raspberry Pi viz kapitola 5.1. Zdrojové kódy vlastních stránek, které běží na webovém serveru na RPi, jsou uloženy v adresáři */var/www/html* a nesou název *index.html*. Pro jejich zhotovení byly použity technologie pro tvorbu webu jako HTML, PHP, CSS, JavaScript, jQuery, Chart.js a také tvorba grafiky v jazyce SVG.

6.1 Technologie využité při tvorbě webového rozhraní

HTML

Je hypertextový značkovací jazyk, používaný výhradně k tvorbě webových stránek. Skládá se z tagů, které vytvářejí význam stránky, případně mohou stránku částečně formátovat. HTML kód je vždy uvozen párovým tagem `<html></html>`. Tento jazyk umožňuje tvorbu základních částí webu. [29]

PHP

Jedná se o programovací skriptovací jazyk vykonávaný na straně serveru. PHP umožňuje dynamickou změnu obsahu webových stránek, přičemž data mohou být načítána například z databáze MySQL. Syntaxe je podobná, jako u jazyka C. PHP kód je vždy vytyčen tagy `<?php ?>`. [30]

CSS

Neboli kaskádové styly, se využívají k tvorbě či úpravě webových stránek. Jejich hlavním úkolem je oddělení vzhledu a obsahu webu. Pomocí CSS lze definovat vlastnosti jako barva, písmo, velikost a mnoho dalších, nebo také vytvářet rámečky a jiné obrazce. Pro vycílení, co je součástí CSS, slouží tagy `<style></style>`. [31]

JavaScript

Objektově orientovaný, programovací, skriptovací jazyk. Uplatnění nachází především při tvorbě www stránek, konkrétně jejich interaktivních částí. Scriptovací znamená, že se nevytváří samostatně fungující programy, ale skripty, které se vkládají například do struktury HTML. JavaScript pracuje na straně klienta, musí být tedy nejprve stažen do příslušného počítače a až poté spuštěn prohlížečem. Z toho tedy vyplývá nutnost povolení javascriptových efektů v prohlížeči. Syntaxe je opět podobná, jako u jazyka C. JavaScriptový kód je ohraničen tagy `<script></script>`. [32]

jQuery

Je nejznámější JavaScriptová knihovna, která klade důraz především na interakci mezi JavaScriptem a HTML. Výhodou jejího použití je zjednodušení programového kódu skriptu. jQuery umožňuje tvorbu animací, efektů, práci s CSS, selektory, události a mnoho dalšího. Tuto knihovnu lze bezplatně stáhnout a načíst do vlastních webových stránek. [33]

Chart.js

Chart.js je pro nekomerční účely volně šiřitelná JavaScriptová knihovna, která slouží k tvorbě spojnicových, sloupcových, paprskových a koláčových grafů. Její použití je obdobné jako u jQuery. Stačí ji tedy načíst do vlastních zdrojových kódů stránky. [34]

SVG

Scalable Vector Graphics je značkovací jazyk pro tvorbu dvojrozměrné vektorové grafiky využívající XML. Navržen byl především k tvorbě webu. SVG umožňuje integraci s dalšími technologiemi, jako scriptování (JavaScript), DOM (manipulace se všemi elementy), ICC (barevné profily). Další výhodou je podpora CSS, díky nimž lze měnit vlastnosti prvků či jejich skupin. [35]

Ačkoli je tvorba webového rozhraní značnou částí této diplomové práce, nebude zde uveden popis jednotlivých částí zdrojových kódů. Důvodem je rozsáhlost této problematiky. Veškeré zdrojové kódy jsou však přiloženy v příloze 3.

6.2 Struktura webových stránek

Stránka je v základní koncepci rozdělena do dvou částí. Jedná se o:

- **Menu** - Je situováno v horní části stránky. Umožňuje přepínání jednotlivých záložek s různými obsahy. Je zobrazeno neustále.
- **Body** - Nachází se bezprostředně pod částí menu. Jedná se o vlastní tělo HTML stránky. Obsah je závislý na aktuální záložce, na které je uživatel přepnut.

6.3 Popis jednotlivých záložek webového rozhraní

Z důvodu zpřehlednění webového rozhraní byly dílčí tematické obsahy stránky rozděleny do záložek, mezi kterými je možné se libovolně přepínat prostřednictvím menu. Konkrétně se tak jedná o záložky: *Domu*, *Záznam*, *Grafy*, *Statistika* a *Chybová hlášení*.

6.3.1 Záložka Domu

Je první záložka, která se objeví po zadání výše zmíněné IP adresy do prohlížeče. Obsah, zobrazen na obrázku 15, lze rozdělit na čtyři části: vizualizace, tabulku aktuálních hodnot a stavů, část zobrazující chybový registr a pasáž pro ovládání externího zdroje a nastavení parametrů řídicího programu.

The screenshot shows the 'Domu' (Home) page of a web interface. At the top, there is a navigation menu with tabs: 'Domu' (selected), 'Záznam', 'Grafy', 'Statistika', and 'Chybová hlášení'. The main content area is divided into three sections:

- Diagram:** A schematic of a heating system. It shows a solar collector (7.4 V), a pump (M, ON), a boiler (45 °C), and various temperature points: 55.4 °C (collector), 51.3 °C (inlet), 46.5 °C (outlet), and 47 °C (return). There are also control buttons for 'OFF' and 'ON'.
- Data Table:** A table showing current measurements and system status.
- Control Panel:** A section for manual control, including a dropdown for 'Výběr karty' (Manual control), a dropdown for 'Ovládání ext. zdroje' (Automatic), a password field, and an 'Uložit' (Save) button.

Čas měření:	2016-04-21 10:10:17
Teplota kolektoru:	55.4 °C
Teplota zásobníku:	45 °C
Teplota IN:	51.3 °C
Teplota OUT:	46.5 °C
Teplota odtok:	47 °C
Napětí FV:	7.4 V
Čerpadlo:	ZAPNUTO
Ventil:	ZAVŘEN
Externí zdroj:	VYPNUT

Nebyly zjištěny žádné chyby.

Obrázek 15: Obsah záložky Domu

Vizualizace je v levé horní části této záložky. Slouží k interaktivnímu grafickému zobrazení aktuálního dění v systému. Především se jedná o zobrazení jednotlivých teplot, napětí a stavů komponent systému (čerpadlo, externí zdroj, havarijní ventil). Hodnoty pro vizualizaci jsou načítány z databázové tabulky *stavy*. Jejich aktualizace se provádí automaticky každých pět vteřin. Při tvorbě vizualizace byl kladen důraz především na přehlednost a srozumitelnost.

V místě pod vizualizací se nachází část pro ovládání externího zdroje a nastavení parametrů řídicího programu. Jelikož se jedná o větší množství parametrů, obsahuje tato pasáž možnost „Výběr karty“. Postupně je tak možné upravit veškeré hodnoty v databázové tabulce *konfiguracni_soubor* (vyjma *ovladani_ventilu*). Aktuálně zapsané hodnoty v konfiguračním souboru jsou vždy zobrazeny za nastavovacím polem příslušného parametru. Důvodem je především informovanost uživatele při změně nastavení. Pro ukládání nových hodnot do databáze je nezbytná znalost správného hesla. Webové rozhraní je totiž určeno pro libovolného uživatele, avšak změnu parametrů a manuální ovládání ventilu smí provádět pouze správce solárního systému.

V pravé horní části záložky *Domu* se nachází přehledová tabulka aktuálních hodnot teplot, napětí a dále také stavy dílčích komponent solárního systému (čerpadlo, externí zdroj, havarijní ventil). Veškeré zde zobrazené hodnoty se dynamicky načítají z databázové tabulky *stavy* každých pět vteřin. Úvodním řádkem je datum a čas, kdy byl proveden zápis do databáze. Tento údaj slouží především pro správnou časovou orientaci uživatelů, jelikož zápis do databázové tabulky *stavy* se provádí přibližně každých 45,75 vteřin. Pokud je zadán požadavek na manuální ovládání externího zdroje, v kolonce stavu tohoto prvku se pro zdůraznění zobrazí také popis: (M).

Zbývající část, kterou obsahuje záložka *Domu*, je určena pro zobrazení posledních třech nezpracovaných chyb z databázové tabulky *chyby*. Tato část vizuálně navazuje na přehledovou tabulku popsanou výše. Problematice chyb je věnována celá samostatná záložka *Chybová hlášení*. Pokud však v solárním systému vznikne chyba, je nutné, aby o ní byl správce solárního systému co nejrychleji informován. Z tohoto důvodu jsou nejaktuálnější chyby zobrazeny i na úvodní stránce. O případných chybách jsou zde zobrazeny informace jako datum a čas vzniku a pochopitelně také popis chyb.

6.3.2 Záložka Záznam

Další záložkou webového rozhraní je *Záznam*. Jak již z názvu vyplývá, jedná se o stránku, kde lze zobrazit archivovaná data z databáze. Vzhled této záložky je vyobrazen na obrázku 16.

Uživatel má možnost výběru záznamu z dvou typů. První je běžný záznam (viz obrázek 16). Ten slouží k výpisu dat z databázové tabulky *data*. Jedná se tedy pouze o hodnoty provozních veličin a jejich příslušných indexů, data a času. Tyto hodnoty jsou měřené přibližně po šesti minutách. Běžný záznam je určen pro orientační zjištění dění

v solárním systému. Druhou variantou je záznam rozšířený. Ten vyčítá hodnoty z databázové tabulky *statistika*, která obsahuje jednak provozní veličiny, tak i stavy komponent systému, vypočtené hodnoty (aktuální výkon systému, gradienty teplot kolektoru a zásobníku) a informace o chodu řídicího programu solárního systému. Navíc jsou zde data ukládána po přibližně 1,5 minutě. Rozšířený záznam je určen zejména pro podrobný rozbor chování solárního systému.

Index [-]	Datum a čas	Teplota kolektoru [°C]	Teplota zásobníku [°C]	Teplota IN [°C]	Teplota OUT [°C]	Teplota odtok [°C]	Napětí FV [V]
2350	2016-04-21 13:05:43	71.5	61.7	65.6	61.9	49.5	8.9
2349	2016-04-21 12:59:37	71.1	61.3	65.2	61.5	49.2	8.9
2348	2016-04-21 12:53:31	70.6	60.9	64.9	61.2	48.9	8.9
2347	2016-04-21 12:47:25	70.2	60.6	64.5	60.8	48.6	8.9
2346	2016-04-21 12:41:19	69.8	60.2	64.1	60.5	48.3	9
2345	2016-04-21 12:35:12	69.4	59.9	63.8	60.1	48	8.9
2344	2016-04-21 12:29:06	69	59.5	63.4	59.7	47.8	8.9
2343	2016-04-21 12:23:00	68.5	59	63	59.4	47.5	9
2342	2016-04-21 12:16:54	68.1	58.6	62.7	59	47.2	9
2341	2016-04-21 12:10:48	67.6	58.2	62.3	58.6	47	9

Obrázek 16: Obsah záložky Záznam

Pro oba typy záznamů lze konkretizovat výběr dat, kdy lze volit počet zobrazených prvků (data naměřená v konkrétní čas) a případně vyhledávat prvky podle data. Pokud je zaškrtnuto políčko „Vyhledat podle data (rrrr-mm-dd)“, má uživatel možnost stanovit datumové rozmezí, pro které se hodnoty zobrazí. Výběr data je navíc usnadněn interaktivním kalendářem. V opačném případě, kdy políčko zaškrtnuto není, se zobrazují poslední naměřené a do databáze zaznamenané hodnoty. Eventuálně si uživatel může vybrané hodnoty seřadit podle některé z veličin.

K vykonání akce vyhledání a zobrazení hodnot slouží tlačítko s popisem „Proved“.

6.3.3 Záložka Grafy

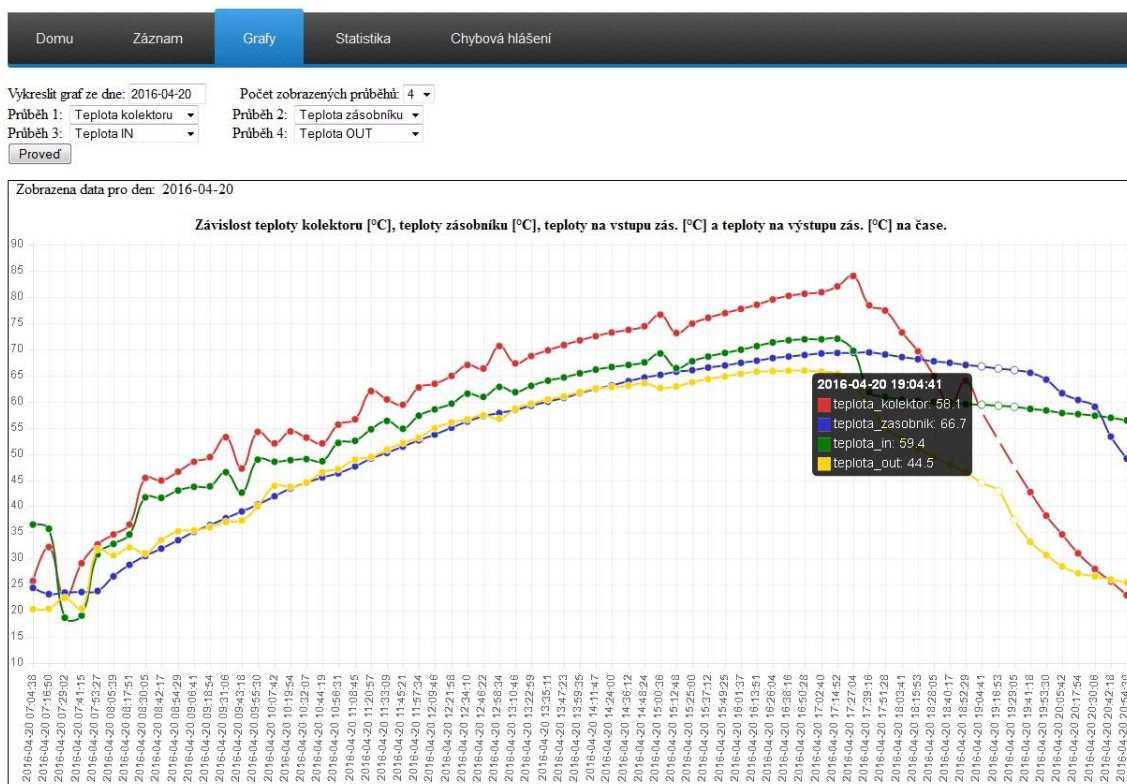
Tato záložka je určena pro vykreslení provozních veličin do grafů.

Uživatel musí v první řadě vybrat konkrétní den, pro který chce hodnoty vykreslit. Dále může stanovit kolik průběhů (od 1 do 4) chce v grafu zobrazit. Pro každý průběh lze vybrat libovolnou provozní veličinu (teplota média v kolektoru, teplota média

v zásobníku, teplota na vstupu do zásobníku ze solárního okruhu, teplota na výstupu ze zásobníku ze solárního okruhu, teplota na odtoku ze zásobníku do rozvodu TV a napětí na fotovoltice). Pro odeslání požadavku k vykreslení grafu slouží tlačítko s popisem „Proved“.

Zdrojem hodnot pro grafy je databázová tabulka *data*. S ohledem na velké množství dat naměřených za jeden den je v grafu vykreslena vždy každá druhá hodnota z této tabulky, tedy každé dva sousední body grafu jsou od sebe časově vzdáleny přibližně 12 minut. Grafy slouží k orientačnímu zobrazení provozních veličin, pro který je tento časový rozestup vyhovující.

Na obrázku 17 je zobrazena záložka *Grafy* s vykresleným průběhem hodnot teploty na kolektoru, teploty na zásobníku, teplota na vstupu do zásobníku a teploty na výstupu ze zásobníku naměřených dne 20. 4. 2016.



Obrázek 17: Obsah záložky Grafy

Výběr data je opět usnadněn interaktivním kalendářem. U zobrazeného grafu je vždy popis, pro jaký datum jsou hodnoty vykresleny. Název grafu se dynamicky mění v závislosti na vynesení průběhů. Pokud se myší najede na vykreslená data, dojde k zobrazení legendy průběhů s aktuálními hodnotami, na kterých je najeto.

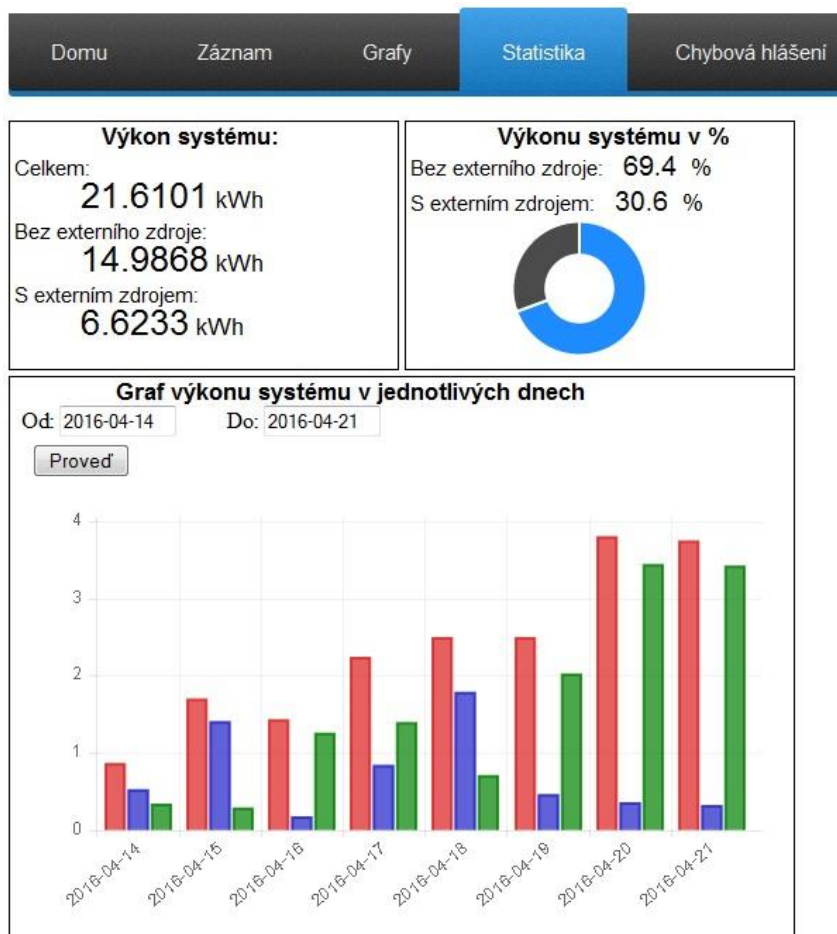
6.3.4 Záložka Statistika

Pro vyhodnocení zisku solárního systému byla vytvořena záložka *Statistika*.

V levé horní části stránky je po každém načtení dynamicky počítán energetický zisk solárního systému. Jedná se o celkové získané teplo solárním systémem, teplo získané při napájení čerpadla fotovoltaikou a teplo získané při napájení čerpadla externím zdrojem. Veškeré energetické zisky jsou počítány od 12. 4. 2016, kdy bylo RPi k solárnímu systému připojeno.

Pravá horní část záložky *Statistika* je věnována procentuálnímu vyjádření tepelného zisku solárního systému. Konkrétně se jedná o procenta získaného tepla při napájení bez externího zdroje (z fotovoltaiky) a s externím zdrojem.

Spodní část záložky pak nabízí možnost vykreslit graf tepelného zisku solárního systému v jednotlivých dnech. Zapotřebí je pouze zadat data od kdy do kdy má být graf vykreslen a stisknout tlačítko „Proved“.



Obrázek 18: Obsah záložky Statistika

Graf funguje obdobným způsobem, jako tomu bylo v záložce *Grafy*. Pokud se tedy myší najede na vykreslená data, zobrazí se legenda s příslušnými hodnotami daných sloupců.

Výpočet energetického zisku (celkového, bez externího zdroje, s externím zdrojem) solárního systému je řešen jako průměrný výkon, který působí daný čas. Jedná se tedy spíše o orientační hodnotu. Stanovení je následovné:

$$P = \frac{Q}{t} \quad (8)$$

Kde: P [W] výkon
 Q [J] teplo (tepelná energie)
 t [s] čas

Pro výpočet energie z průměrného denního výkonu pak platí:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n P}{n} \cdot n \cdot t = \sum_{i=1}^n P \cdot t \quad (9)$$

Kde: n [-] počet hodnot výkonu

Dále lze využít vztahu pro přepočtení jednotek:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J} \quad (10)$$

Energii tak lze díky výše zmíněnému přepočtu jednotek převést na kWh. Výpočet denního energetického tepelného zisku pak je:

$$Q_{\text{celkový}} = \frac{\sum_{i=1}^n P \cdot t}{3\,600\,000} \quad [\text{kWh}] \quad (11)$$

6.3.5 Záložka Chybová hlášení

Poslední záložka, která je obsažena ve webovém rozhraní, je nazvána *Chybová hlášení*.

Během chodu systému mohou nastat situace, kdy bude některá z hodnot naměřena špatně či bude překročena maximální teplota v kolektorech, nebo v zásobníku. Tyto situace jsou obecně brány jako chyby. Záložka *Chybová hlášení* slouží pro správu chyb.

V horní části stránky má uživatel možnost výběru zobrazení chyb buď nových, dříve zpracovaných či všech. Pro provedení výběru je nutné stisknout první (horní) tlačítko s popisem „Proved“^c. Vysvětlení zpracování chyb bude uvedeno na příkladu.

Pokud dojde například k přerušení vodiče k teplotnímu čidlu, bude vyhodnocená teplota na tomto čidle mimo mez přípustnosti. Dojde tedy ke vzniku chyby. Následně si správce solárního systému zobrazí nové chyby, kde již bude uveden i problém, který nastal. Poté opraví daný problém a potvrdí zapracovanost dané závady. Chyba se tedy nebude již zobrazovat v sekci „Nové“, ale přesune se do složky „Dříve zpracované“. Historie chyby tak bude zachována. Zapracování spočívá v zaškrtnutí políčka u dané chyby (zobrazeno pouze pro nové chyby) a potvrzení druhým tlačítkem „Proved“.

Základním předpokladem je však znalost správného hesla, které je stejné jako pro ukládání parametrů řídicího programu na záložce *Domu*.

Pokud si uživatel zvolí možnost zobrazit všechny chyby, dojde k výpisu jak nových, tak i zapracovaných. Na obrázku 19 je vyobrazena záložka *Chyby* s výpisem všech doposud vzniklých problémů.

Datum a čas	Popis chyby	Potvrzeno
2016-04-11 15:11:59	Chyba hodnoty teploty na odtoku ze zásobníku.	ANO

Obrázek 19: Obsah záložky *Chybová hlášení*

Výpis závad je proveden z databázové tabulky *chyby*, přičemž seřazen je podle času vzniku, a to od nejnovější po nejstarší. Pro každou chybu je vždy uveden datum a čas jejího vzniku a popis.

Velikost obsahu webového rozhraní byla uzpůsobena pro zobrazení na dotykové obrazovce, připojené k RPi. Snahou bylo především zajistit vhodné vykreslení celé vizualizace a přehledové tabulky na úvodní záložce *Domu*.

Webové rozhraní je navrženo pro možnost zobrazení na libovolném webovém prohlížeči jak na PC, tak i na chytrých telefonech, tabletech apod. (odzkoušeno na: Mozilla Firefox, Google Chrome, Internet Explorer verze 9 a novější, Epiphany). Pro bezchybné zobrazení je však nutné mít internetový prohlížeč aktuální. Jsou zde totiž použity některé moderní technologie návrhu webu.

7 VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Měření a řízení konkrétního solárního systému, určeného pro ohřev TUV, bylo uvedeno do provozu 12. 4. 2016. Z toho první den je nutné brát jako zkušební. Z naměřených a vypočtených hodnot od 13. 4. 2016 pak lze usuzovat, zdali se vyvinuté úsilí, v podobě změn v solárním systému, vyplatilo, či nikoliv.

K vyhodnocení slouží především bilance tepelného zisku, které je možné vytvořit na základě záložky *Statistika* ve webovém rozhraní.

Závěrečná práce [25], zabývající se dotyčným solárním systémem v dřívějších letech, došla k závěru, že při dnech se zataženou oblohou může vlivem poddimenzovaných fotovoltaických panelů dosahovat nevyužité teplo až 11,5 kWh. Pro dny s proměnlivou oblačností nabývalo nevyužité teplo hodnoty téměř stejné, jako tomu bylo pro teplo v těchto dnech získané. Slunečné dny pak disponovaly minimální nevyužitou tepelnou energií pohybující se okolo 0,5 kWh, při zisku solárního systému řádově 20 kWh. Nutno také podotknout, že měření v rámci práce z minulých let probíhalo v období od 17. 5. do 26. 5.. Jednalo se tedy o období s obecně více slunečním zářením, než při měření a zpracování této diplomové práce.

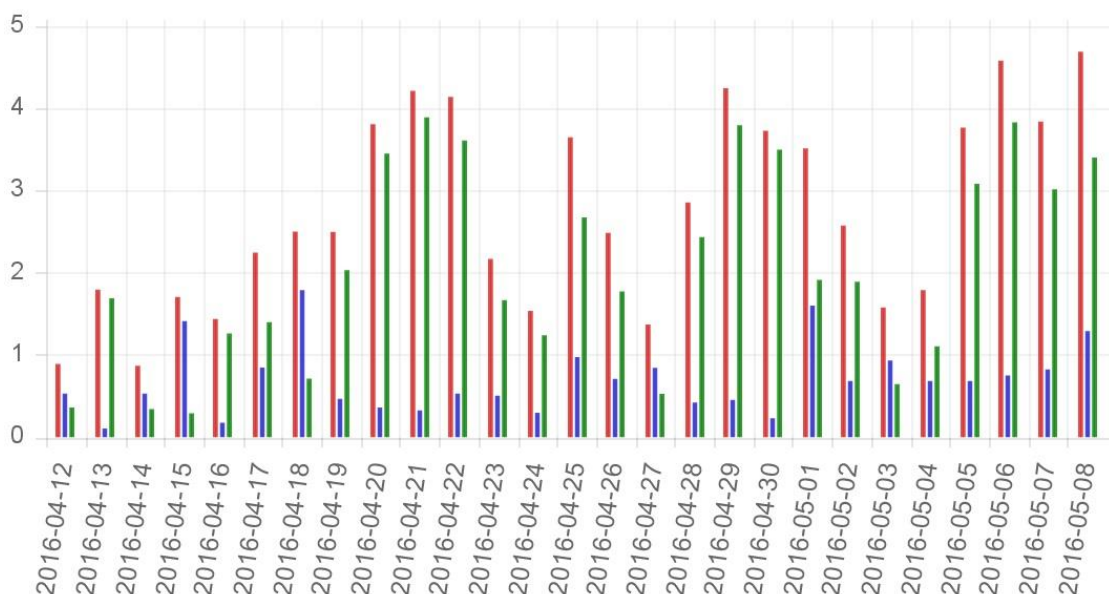
Cílem úprav konkrétního solárního systému v rámci této diplomové práce byla energetická optimalizace. Především se jednalo o snahu v co nejvyšší míře zmenšit nevyužitou tepelnou energii. Proto byl do systému přidán externí zdroj 12 VDC a byla změněna řídicí jednotka. Snahou pak bylo vytvořit takový měřicí a řídicí program, který dokáže správně vyhodnotit situace, kdy jsou solární kolektory schopny vytvářet značnou tepelnou energii, avšak fotovoltaické panely nedodávají dostatek elektrické energie pro chod systému. V těchto případech pak je čerpadlo napájeno z externího zdroje.

Tepelné zisky solárního systému pro jednotlivé dny od 13. 4. 2016 do 8. 5. 2016 jsou uvedeny v tabulce 1 a pro názornost i na obrázku 20 (červený sloupec - celkový tepelný zisk solárního systému pro daný den [kWh], modrý sloupec - tepelný zisk solárního systému při napájení čerpadla z externího zdroje [kWh], zelený sloupec - tepelný zisk solárního systému při napájení čerpadla z fotovoltaiky [kWh]).

Datum měření:	Celkový denní tepelný zisk [kWh]	Tepelný zisk při napájení čerpadla z externího zdroje [kWh]	Tepelný zisk při napájení čerpadla z FV zdroje [kWh]
13. 4. 2016	1,7961	0,1063	1,6899
14. 4. 2016	0,8704	0,5289	0,3416
15. 4. 2016	1,7052	1,4136	0,2916
16. 4. 2016	1,4368	0,1759	1,2609
17. 4. 2016	2,2458	0,8465	1,3993
18. 4. 2016	2,5018	1,7895	0,7124
19. 4. 2016	2,4982	0,4676	2,0306
20. 4. 2016	3,8094	0,3603	3,4491
21. 4. 2016	4,2151	0,3248	3,8903
22. 4. 2016	4,1406	0,5310	3,6097
23. 4. 2016	2,1702	0,5033	1,6670
24. 4. 2016	1,5353	0,2970	1,2383
25. 4. 2016	3,6471	0,9745	2,6726
26. 4. 2016	2,4854	0,7106	1,7747
27. 4. 2016	1,3704	0,8439	0,5264
28. 4. 2016	2,8547	0,4214	2,4333
29. 4. 2016	4,2474	0,4528	3,7946
30. 4. 2016	3,7287	0,2289	3,4999
1. 5. 2016	3,5144	1,6007	1,9137
2. 5. 2016	2,5763	0,6843	1,8919
3. 5. 2016	1,5784	0,9337	0,6447
4. 5. 2016	1,7887	0,6837	1,1051
5. 5. 2016	3,7683	0,6843	3,0840
6. 5. 2016	4,5802	0,7512	3,8291
7. 5. 2016	3,8401	0,8233	3,0168
8. 5. 2016	4,6908	1,2896	3,4012

Tabulka 1: Tepelný zisk solárního systému v jednotlivých dnech

Graf energetického zisku systému v jednotlivých dnech



Obrázek 20: Tepelný zisk solárního systému v jednotlivých dnech v kWh

Z hodnot tepelných zisků uvedených v tabulce 1 a na obrázku 20 jsou patrné tři typy dnů.

Prvním případem jsou dny s nízkou oblačností. Značná část získaného denního tepelného zisku je díky napájení čerpadla z fotovoltaických panelů. Energie získaná napájením z externího zdroje je pouze okolo 10 % celkového denního zisku, přičemž externí zdroj byl sepnut zejména v ranních a pozdních odpoledních hodinách, kdy je velký úhel dopadajícího slunečního záření na fotovoltaické panely. Jedná se o dny: 13. 4., 19. 4., 20. 4., 21. 4., 28. 4., 29. 4., 30. 4., 2. 5., 5. 5., 6. 5. a 7. 5. 2016.

Dalším případem jsou dny s oblačností, kdy bylo malé množství přímého slunečního záření. Na celkovém zisku solárního systému se v těchto dnech podílí především napájení čerpadla z externího zdroje. Jde až o 70 % celkového denního zisku. Jedná se o dny: 15. 4., 18. 4., 27. 4., 1. 5. a 3. 5. 2016.

V ostatních dnech bylo počasí značně proměnlivé. Převažoval zde tepelný zisk při napájení čerpadla z fotovoltaických panelů, avšak získané teplo při napájení z externího zdroje se pohybuje okolo 25 % celkového denního zisku.

Původní předpoklad, vytvořený na základě výsledku závěrečné práce v loňských letech (popsáno výše), se tedy z části naplnil. Zároveň lze také pozitivně hodnotit přínos provedených změn v systému a zejména přidání externího napájení pro čerpadlo. Díky externímu napájení je totiž možné získat se solárním systémem i dosud nevyužitou tepelnou energii, která od doby 13. 4. 2016 do 8. 5. 2016 dosahovala hodnoty okolo 25 % celkového zisku systému. Pozitivní je také skutečnost, že zvýšení zisků solárního systému

je zejména v období, kdy je nízká sluneční aktivita. V těchto dnech je tepelná energie použita pro potřeby rodinného domu vyžadována ve vyšší míře.

Předpokládané tepelné zisky solárního systému z dřívější práce jsou o poznání vyšší, než je tomu u nyní stanovených hodnot. Například pro slunečné dny byl předpoklad až 20 kWh. Skutečná hodnota vypočtená nyní je maximálně okolo 4 kWh. Základní vzorec pro stanovení tepelného zisku solárního systému je však stejný. Důvodem je, že předpokládané hodnoty jsou brány pouze jako teoretické, přičemž byly určeny pro dny v druhé polovině měsíce května, tedy znatelně teplejší období s větším množstvím slunečního záření.

Při chodu solárního systému a především v přechodových dějích vzniklých spínáním a vypínáním napájení čerpadla z externího zdroje občas dochází ke stavům, kdy je aktuální výkon systému v záporných hodnotách. Nejedná se zde však o reverzní stav, kdy by byla tepelná energie odváděna ze zásobníku TUV do kolektorů. Tento stav je způsoben příliš rychlým průtokem teplotního média solárním okruhem při napájení čerpadla 12 V. Solární kolektory jsou nahřaty na vysokou teplotu, přičemž dojde ke spuštění externího zdroje. Teplotní médium z kolektorů se následně dostává do zásobníku, kde však vlivem vysoké rychlosti protékání nedokáže předat veškerou tepelnou energii. Zároveň není dostatek slunečního svitu na ohřátí média protékajícího v tento okamžik kolektory. Dojde tak ke stavu, kdy se teplotní médium o vyšší teplotě dostane do míst výstupu solárního okruhu ze zásobníku. Teplota na výstupu tak přesáhne teplotu na vstupu, z čehož vyplývá, že vypočítaný aktuální výkon je záporný. Z celkového hlediska je však teplota v solárním okruhu vyšší než teplota v zásobníku. Reverzní stav tak nastat nemůže.

Dalším jevem, který lze pozorovat při chodu systému, je občasné zapnutí externího zdroje na malý okamžik (řádově 3 minuty). Důvodem je dostatečná teplota v solárních kolektorech a splnění některé podmínky pro zapnutí externího zdroje. Velmi rychle po zapnutí však dojde k strmému poklesu teploty v kolektorech a tím i následnému vypnutí externího zdroje. S ohledem na velké množství událostí, které vlivem počasí mohou ovlivnit výkon solárního systému se nelze těmto situacím zcela vyhnout. Navíc spínání externího zdroje i na tyto malé okamžiky způsobuje zvýšení celkové teploty v zásobníku TUV.

8 ZÁVĚR

Cílem předložené diplomové práce bylo navrhnout a implementovat řídicí systém pro optimalizaci kombinovaného ohřevu TUV rodinného domu. Záměrem optimalizace bylo co nejlepší využití solárního systému pro ohřev vody a zároveň co největší využití fotovoltaické energie pro pohon čerpadla.

V práci bylo navázáno na výsledky závěrečných prací zpracovaných na konkrétním solárním systému v minulých letech, kde bylo zjištěno, že fotovoltaické panely nejsou dostatečně dimenzovány na to, aby dokázaly elektricky napájet systém v období s nižší sluneční aktivitou, kdy však solární kolektory vytvářejí značnou tepelnou energii. Z toho důvodu byl do systému přidán 12 V externí zdroj pro napájení čerpadla v době, kdy fotovoltaické panely nedisponují dostatečným elektrickým výkonem. Ačkoli tak došlo ke ztrátě autonomnosti solárního systému, byla tím zvýšena jeho celková efektivita.

Původní řídicí jednotka byla nahrazena řídicím systémem založeným na jednodeskovém počítači Raspberry Pi 2 model B doplněným o obvody umožňující měření provozních veličin a řízení solárního systému. Pro komunikaci řídicího systému s uživatelem bylo RPi doplněno o dotykovou obrazovku. Řídicí počítač byl dále vybaven OS Raspbian a nakonfigurován vzdálený přístup pomocí protokolu SSH, HTTP a přístup přes vzdálenou plochu realizovaný programem VNC Tight Server. S ohledem na podporu tvorby řídicího programu v jazyce C a webového rozhraní došlo také k instalaci vývojového prostředí Geany. RPi slouží zároveň jako webový server, na kterém běží vytvořené webové rozhraní. Funkce serveru zde však není automaticky. Řešením byla instalace webového serveru Apache 2.4.10. Pro ukládání provozních a vypočtených dat byl zvolen databázového systému MySQL 5.5.44.

Dále byl navržen a implementován algoritmus pro ovládání externího napájecího zdroje pro čerpadlo. Po dobu téměř jednoho měsíce byl při reálném měření algoritmus laděn s ohledem na maximální tepelný zisk systému. Výsledkem je v průměru o 25 % vyšší energetický zisk solárního systému. Dalším zásadním přínosem je také fakt, že zvýšení energetického zisku je obzvláště v období nízké sluneční aktivity, tedy v době, kdy je tepelná energie využívána ve vyšší míře. Parametry algoritmu pro ovládání externího zdroje je možné měnit přes webové rozhraní. Je tedy možné maximalizovat tepelný zisk ve všech ročních obdobích s ohledem na aktuální počasí.

Značnou částí této diplomové práce byla tvorba webového rozhraní. Stránky, které byly pro tento účel zhotoveny, je možné zobrazit zadáním veřejné IP adresy 89.190.46.160 do internetového prohlížeče. Obsah celého webového rozhraní byl pro přehlednost rozdělen do pěti dílčích záložek, mezi kterými je možné se libovolně přepínat prostřednictvím menu. Úvodní záložka nabízí možnost sledovat aktuální dění v solárním systému prostřednictvím vizualizace a přehledové tabulky, nastavit konfigurační parametry algoritmu pro ovládání externího zdroje a indikovat případné chyby vzniklé při chodu solárního systému. Dále záložky *Záznam* a *Grafy* slouží

k zobrazení záznamu provozních dat v podobě tabulky či grafu. K posouzení tepelných zisků solárního systému je určena záložka *Statistika*. Při chodu solárního systému může dojít ke vzniku chyby, která by mohla způsobit nefunkčnost celého uspořádání. Z tohoto důvodu byla vytvořena také záložka *Chybová hlášení*, která je určena pro obsluhu chyb. Celkově je tak možné přes webové rozhraní sledovat dění v solárním systému jak v reálném čase, tak i ze záznamů. Zároveň toto rozhraní umožňuje ovládání systému a zprostředkovává informace o energetických vlastnostech systému. U návrhu webového rozhraní bylo snahou docílit moderního vzhledu, přehlednosti, praktičnosti a v neposlední řadě také zásadní funkčnosti. Důraz při návrhu webových stránek byl kladen také na možnost zobrazení na libovolném internetovém prohlížeči, a to jak na PC, tak i na chytrých telefonech a tabletech.

Literatura

- [1] ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie, Transformační technologie, 2006-09, [last updated 2015-02]. Brno: Jiří Škorpík, [online] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>.
- [2] TOMAN, Jakub. Slunce a jeho pozorování: Slunce. www.astronomie.cz [online]. 2009 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://slunce.astronomie.cz/slunce/slunce-jako-hvezda/>
- [3] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: 165/2012 Sb.. 2012. Dostupné také z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-165-2012-sb-a-souvisejici-predpisy>
- [4] Návrh termosolárních systémů. [Www.econet2012](http://www.econet2012.cz) [online]. 2012 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: http://www.econet2012.cz/ThermoSolarSystems_Design.htm
- [5] Sluneční mapa. Sunheat [online]. 2009 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.trubicove-kolektory.cz/mapa.html>
- [6] MASTNÝ, P. aj. Obnovitelné zdroje elektrické energie. První vydání. Praha: České vysoké učení v Praze, 2011
- [7] Fotovoltaické solární kolektory (panely). [Solární energie.info](http://www.solarni-energie.info) [online]. [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.solarni-energie.info/fotovoltaicke-solarni-panely-kolektory.php>
- [8] Solární panely. RD solar [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.rdsolar.cz/sluzby/solarni-panely/>
- [9] CHMEL, Ladislav. Fotovoltaika a fototermika. Brno. Učebnice. Střední škola informačních technologií a sociální péče.
- [10] Solární panely. ArtProfi [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.artprofi.cz/sortiment/solarni-panely>

- [11] MATUŠKA, Tomáš. Solární kolektory. Kritiny-Střechy [online]. 2014 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: http://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/solarni-kolektory/?nid=10077-solarni-kolektory-typy-a-rozdeleni-1-dil.html#.Vi3do7Um0i
- [12] MATUŠKA, Tomáš. Typy solárních kolektorů. TZB-INFO [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>
- [13] VERONIKA, ekologický institut. Svépomocné solární systémy [online]. Brno, 2003 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: http://www.tikon.eu/venkovskyzivot/download/svepomocne_solarni_systemy.pdf
- [14] Ploché solární kolektory. Junkersplus [online]. [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.junkersplus.cz/junkersplus/eshop/19-1-Ploche-solarni-kolektory>
- [15] Solární vakuové kolektory Junkers. Junkers [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: http://www.junkers.cz/pro_odborniky/cenik/regenerativni_energie/nove_solarni_vakuove_kolektory_junkers/nove_solarni_vakuove_kolektory_junkers
- [16] Solární zásobníky teplé vody (TUV). Solar/24 [online]. 2012 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://solar24.cz/technologie/solarni-zasobniky-tuv-teple-vody>
- [17] Proč expanzní nádobu. Regulus [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/expanzni-nadoby>
- [18] MATUŠKA, Tomáš. Teplonosná kapalina. Tzbinfo [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/148-teplonosna-kapalina>
- [19] MÍČKOVÁ, Petra. Kvantifikace energetického přínosu řídicí jednotky solárního systému. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [20] Solární ohřivače vody SOL. Dražice [online]. 2012 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.dzd.cz/cs/ohrivace-vody-bojlery/solarni-ohrivace-vody/ohrivace-sol#okc250ntrrsol>.
- [21] HORÁK, Milan. Raspberry Pi: Co to vlastně je. Abclinuxu [online]. 2012 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.abclinuxu.cz/clanky/raspberry-pi-co-to-vlastne-je#jak-to-cele-zacalo>

- [22] Raspberry Pi 2. RASPI [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.raspi.cz/2015/02/raspberry-pi-2-nova-turbomalina/>
- [23] RPiBlog [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://rpiblog.cz/>
- [24] RASPBERRYPI-2-MODB. Farnell [online]. 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/raspberry-pi/raspberrypi-2-modb-1gb/sbc-raspberry-pi-2-model-b-1gb/dp/2461029>
- [25] HAVLÍČEK, Lukáš. Kvantifikace energetických ztrát fototerického solárního systému ohřevu TUV při napájení fotovoltaikou. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [26] ADC Pi Plus. ABelectronicsUK [online]. 2015 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <https://www.abelectronics.co.uk/p/56/ADC-Pi-Plus---Raspberry-Pi-Analogue-to-Digital-converter>
- [27] PIFACE PIFACE DIGITAL 2 I/O EXPANSION BOARD FOR RASPBERRY PI B+. Farnell Element 14 [online]. 2015 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/piface/piface-digital-2/i-o-expansion-board-for-raspberry/dp/2434230>
- [28] HDMI 5" 800x480 Display Backpack - With Touchscreen. Adafruit [online]. 2015 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <https://www.adafruit.com/products/2260>
- [29] Jakpsátweb.cz. HTML[online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.jakpsatweb.cz/html/>
- [30] Tvorba-webu.cz. PHP[online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.tvorba-webu.cz/php/>
- [31] Jakpsátweb.cz. CSS [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.tvorba-webu.cz/css/>
- [32] Jakpsátweb.cz. JavaScript [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.jakpsatweb.cz/javascript/javascript-uvod.html>
- [33] JADRNÝ, Tomáš. JQuery návod. Úvodní článek [online]. 2010, č. 1 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://jquery-navod.cz/kategorie-ostatni-clanky/1-uvodni-clanek>

[34] Chart.js.cz. Documentation [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.chartjs.org/>

[35] HOUSE, Lorien a PEARLMAN. InformIT: Introductino to SVG [online]. 2003, s. 6, 2003-07-25 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=99036>

Seznam zkratek

- TUV - Teplá Užitková Voda
- FV - fotovoltaický
- EVA - Ethylene-Vinyl Acetate
- DC - Direct Current (stejnoseměrný proud)
- AC - Alternate Current (Střídavý proud)
- LCD - Liquid Crystal Display (Displej z tekutých krystalů)
- AD - Analog/Digital
- RPi - Raspberry Pi
- HTPC - Home Theater Personal Computer (Počítač pro multimediální aplikace)
- SD - Secure Digital (Paměťová karta)
- SDHC - Secure digital High capacity (SD karta s velkou kapacitou)
- RAM - Random Acces Memory (paměť s náhodným přístupem)
- USB - Universal Serial Bus (Univerzální sériová sběrnice)
- GPIO - General Purpose Input/Output (Vstupy a výstupy pro obecný účel)
- I2C - Inter-Integrated Circuit (Interní sběrnice mezi integrovanými obvody)
- SPI - Service Provider Interface (Rozhraní zprostředkovatele služeb)
- SDA - Synchronous Data (Synchronizovaná data)
- SCL - Synchronous Clock (Synchronizační hodiny)
- PTC - Positive Temperature Coefficient (Kladný teplotní koeficient)
- NTC - Negative Temperature Coefficient (Záporný teplotní koeficient)
- SSH - Secure Shell (Zabezpečený komunikační protokol)
- OS - Operační Systém
- PHP - Hypertext Preprocessor (Skriptovací jazyk pro tvorbu webu)
- FTP - File Transfer Protocol (Protokol pro přenos soubor)
- HDMI - High-Definition Multimedia Interface (Multimediální rozhraní s vysokým rozlišením)
- TV - Teplá Voda
- PWM - Pulse Width Modulation (Pulsně šířková modulace)
- CSS - Cascading Style Sheets (Kaskádové styly)
- XML - eXtensible Markup Language (Rozšiřitelný značkovací jazyk)
- DOM - Document Object Model (Objektový model dokumentu)
- SVG - Scalable Vector Graphics (Škálovatelná vektorová grafika)
- ICC - International Color Consortium (Mezinárodní konsorcium pro barvu)
- WWW - World Wide Web
- PC - Personal Computer (Osobní počítač)
- IP - Internet Protocol (Internetový protokol)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Tabulka a grafy teplotních závislostí použitých PTC a NTC odporových čidel.

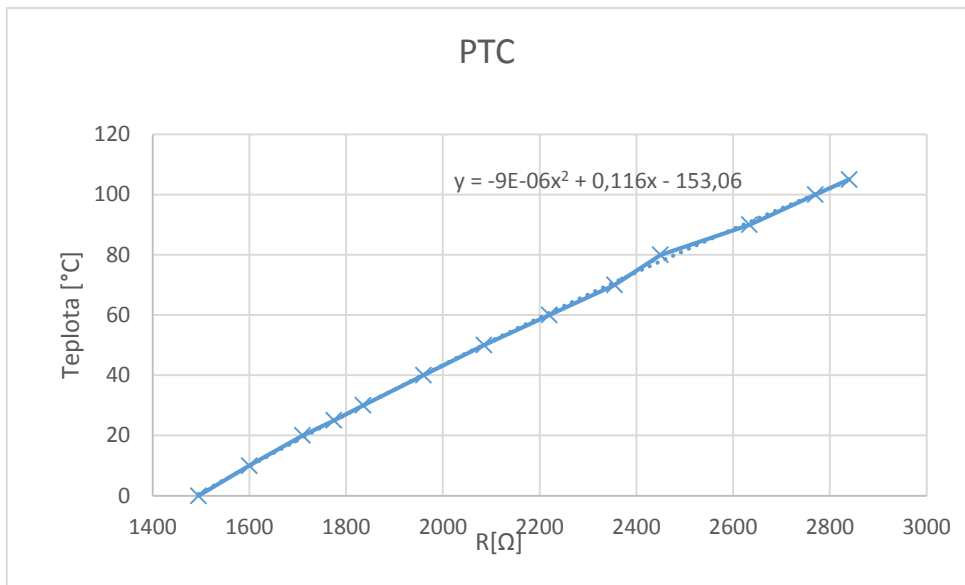
Příloha 2: Fotografie provedení měřicí a řídicí jednotky.

Příloha 3: Obsah CD.

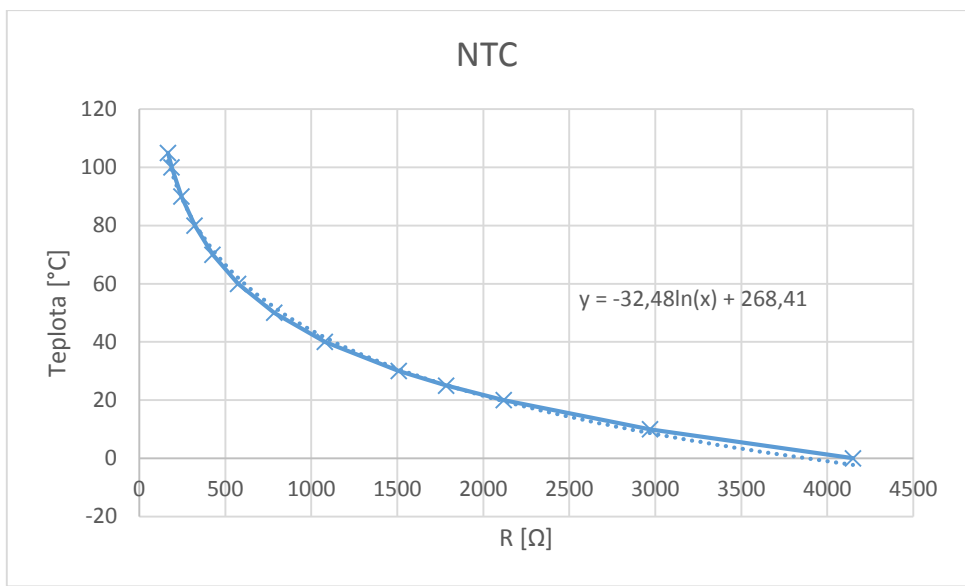
Příloha 1: Tabulka a grafy teplotních závislostí použitých PTC a NTC odporových čidel

T [°C]	NTC	PTC
	R[Ω]	R[Ω]
0	4150	1495
10	2970	1600
20	2120	1710
25	1785	1775
30	1510	1835
40	1080	1960
50	785	2085
60	575	2220
70	427	2355
80	322	2450
90	245	2634
100	188	2770
105	167	2840

Tabulka 2: Kalibrace odporových čidel PTC a NTC



Obrázek 21: Graf teplotní závislosti odporu PTC čidla teploty



Obrázek 22: Graf teplotní závislosti odporu NTC čidla teploty

Příloha 2: Fotografie provedení měřicí a řídicí jednotky



Obrázek 23: Čelní pohled na řídicí jednotku



Obrázek 24: Vnitřní provedení řídicí jednotky

Příloha 3: Obsah CD

- PDF formát diplomové práce s názvem: *DP_Lebeda_Ladislav_2016.pdf*.
- Složka „Webove rozhrani“: obsahuje veškeré zdrojové kódy pro webové rozhraní.
- Složka „Ridici program“: obsahuje zdrojové kódy pro řídicí program, tedy *SolarSystem.c* a *Makefile*.