

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta

Bakalářská práce

**Návrh systému vytápění a ohřevu
teplé užitkové vody pro rodinný
dům**

Jakub Petrovič

školitel: Ing. Ladislav Ptáček

České Budějovice 2014

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Přírodovědeckou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum 18.4.2014

.....
podpis

Petrovič J. 2014: Návrh systému vytápění a ohřevu teplé užitkové vody pro rodinný dům

[Design for heating system and domestic water heating in a family house. Bc. Thesis, in Czech.] – 65 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

ANOTACE

V závislosti na požadavcích projektu se tato práce zabývá návrhem soustavy vytápění v modelovém nízkoenergetickém rodinném domě za pomoci tepelného čerpadla (vzduch/voda) a solárního vytápění, které bude podpůrným prvkem pro tepelné čerpadlo. Jako bivalentní zdroj tepla budou užity elektrické patrony. Součástí návrhu bude měření a regulace vytápění a ohřevu teplé užitkové vody. To vše s pomocí volně programovatelného regulátoru UVR 1611 a vhodně zvolených regulačních prvků. Závěrečná část je věnována zhodnocení pořizovacích nákladů, provozních nákladů a návratnosti celé investice

klíčová slova: Tepelné čerpadlo, regulace tepla, automatizace, Obnovitelné zdroje energie

ANNOTATION

Based on the requirements of the project, the work deals with the design of the heating system in the model low-energy family house by the help of heat pump (air / water) and solar collectors, which will be a supporting element for the heat pump. As a bivalent heat source will be used electric patrons. The design incorporates a measurement and control of heating and hot water. Everything with the help of the freely programmable control UVR 1611 and suitably selected control elements. The final section is devoted to the estimation of purchase costs, operating costs and return on whole investment

Key words: Heat pump, heat control, automation, renewable resources of energy

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Ladislavu Ptáčkovy za odborné vedení práce a firmě Sviták měření a regulace tepla s.r.o. za věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

OBSAH

1 Úvod	1
2 Teorie	3
2. 1. Definice tepelného čerpadla	3
2. 2. Historie tepelných čerpadel	3
2. 3. Rozdělení tepelných čerpadel	5
2.3.1. Tepelné čerpadlo vzduch/voda	5
2.3.2. Tepelné čerpadlo voda/voda	6
2.3.3. Tepelné čerpadlo země/voda	8
2.3.4. Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch	9
2. 4. Regulace	10
2.4.1. PID regulace	12
2.4.2. Ekvitermní regulace	18
2. 5. Solární ohřev	19
3 Požadavky na projekt	22
4 Návrh soustavy vytápění	26
4. 1. Použité přístroje	26
4.1.1. Akumulační nádrž	26
4.1.2. Elektrické spirály	28
4.1.3. Regulace UVR 1611	30
4.1.4. Tepelné čerpadlo	34
4. 2. Vývojové diagramy	36
4.2.1. Vývojový diagram solární okruh	36
4.2.2. Vývojový diagram ústřední topení	38
5 Elektroinstalace	41
5. 1. Elektrické schéma skutečného zapojení rozvaděče pro měření a regulaci	41
5.1.1. Napájení regulace	46
5.1.2. Vstupní prvky regulace	46
5.1.3. Okruh pro tepelné čerpadlo a elektrické spirály	47
5.1.4. Okruh ústředního topení	48
5.1.5. Okruh solárních kolektorů	49

5. 2. Bloková schéma.....	50
5.2.1. Blokové schéma systému regulace	50
5.2.2. Blokové schéma skutečného zapojení rozvodu vody	51
6 Výpočet ročních nákladů na provoz tepelného čerpadla a návratnosti solárních kolektorů	52
6. 1. Určení pořizovacích nákladů	52
6. 2. Určení spotřeby tepla za jeden rok.....	54
6. 3. Porovnání ročních nákladů jednotlivých zdrojů tepla	57
6. 4. Určení návratnosti soustavy solárních kolektorů	58
7 Závěr.....	60
8 Seznam tabulek obrázků a grafů	62
9 Seznam použité literatury	64

1 ÚVOD

Globální oteplování, které probíhá v posledních dekáдах, má za následek obrovské dopady na životní prostředí a klimatické změny naší planety. Dle vědecké obce má na tomto oteplování silný podíl lidská aktivita, díky které se množství skleníkových plynů obsažených v naší atmosféře rapidně zvyšuje. Jako hlavní příčina jsou chápány emise oxidu uhličitého CO₂, které vznikají mimo jiné odlesňováním krajiny, ale především důsledkem spalování fosilních paliv, mezi které se řadí ropa, uhlí či zemní plyn. S příchodem průmyslové revoluce došlo k masivnímu využití těchto paliv, jelikož dřevo jako zdroj tepla čím dál více nestačilo vyhovovat našim požadavkům na výhřevnost a dosažitelnost v dostatečném množství. S tím jak rostou ceny energií a jak se lidské vědění a technologie stále posouvají dopředu je v dnešní době kladen stále větší důraz na využití obnovitelných zdrojů energie, které nabízí oproti fosilním palivům celou řadu výhod. Vedle výhod ekologických jsou to rovněž výhody ekonomického charakteru spojené se stále se zvyšující cenou paliv důsledkem snižujících se zásob surovin a náklady potřebnými k dopravě. V neposlední řadě se nesmí opomenout výhody strategického rázu, jelikož zásoby paliv v jednotlivých regionech lze považovat za nerovnoměrné.

Tato práce nabízí možnosti širšího rozhledu v oblasti tepelných čerpadel a solárních kolektorů, jakožto dvou příkladů obnovitelných zdrojů energie fungujících společně k ohřívání teplé užitkové vody a vody určené k vytápění. Cílem je poskytnout dostatek teoretických informací k tomu jak se orientovat v problematice, úskalích a podmínkách spojených s výběrem vhodného tepelného čerpadla a jeho následnou instalací. Pro tyto účely bude využito modelového příkladu, který byl skutečně realizován v obci Loket v létě roku 2013. V tomto příkladu budou specifikovány jednotlivé prvky systému dle blokového schéma pro rozvod vody v objektu a vysvětleno následné řízení tohoto systému pomocí volně programovatelného regulátoru UVR 1611. Pro lepší představu je poskytnuto schéma skutečného provedení této regulace, na kterém bude lépe vidět to, jak systém funguje. Následující stránky obsahují vývojové diagramy řízení jednak části ústředního topení, ale také větve pro solární kolektory. Závěrem práce bude provedeno zhodnocení nákladů na realizaci a následná roční bilance při námi

stanoveném množství energie nutné k vytápění oproti jiným alternativám, které jsou dostupné na trhu v oblasti vytápění objektů. Pro lepší přehled o dané problematice bude proveden rovněž výpočet návratnosti nainstalovaných solárních kolektorů.

2 TEORIE

2.1 Definice tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je cyklický stroj, využívající nízko potenciální energii okolního prostředí a fungující dle druhého zákona termodynamiky. Čili je to takový stroj, který převádí energii v podobě tepla mezi dvěma prostředími o různé energetické hladině a to tak, že ve většině případů z prostředí nižším potenciálem (chladnějšího) do prostředí s vyšším potenciálem (teplejšího). To jak tepelné čerpadlo skutečně funguje, bude vysvětleno v následujících řádkách.

2.2 Historie tepelných čerpadel

První zmínky o tepelných čerpadlech se vztahují až k polovině 19. století, kdy byl popsán jejich princip lordem Kelvinem (William Thomson) pomocí tzv. termodynamického zákona. Bavíme-li se však o praktickém využití tepelných čerpadel musíme časem dopředu a to až do 40. let minulého století, kdy bylo zkonstruováno první skutečné tepelné čerpadlo k získávání tepla a jak už tomu tak bývá, stalo se tomu v podstatě náhodou. Robert C. Webber tenkrát prováděl pokusy s velmi silným zamražením, sáhl si omylem na výstupní trubku mrazícího zařízení a popálil si svou dlaň. Což ho přivedlo na onu myšlenku, jak zkonstruovat první tepelné čerpadlo svého druhu. K masovému používání ovšem vedla ještě dlouhá cesta, která byla dána zejména postupným a zdoluhavým vývojem tepelných čerpadel a kompresorů. Špičkové firmy se zabývají vývojem několik desetiletí. Dalším faktorem byl počátek rozdělování dotací na obnovitelné zdroje. Přičemž, ne všechny státy šli stejnou cestou, zatímco v některých státech nebylo potřeba dotace rozdělovat, vzhledem k už tak vysokým cenám ostatních paliv, tak například ve Finsku vlastník po zabudování tepelného čerpadla nemusel 2 roky platit energie spojené s vytápěním. České Republice se dotace řeší skrz program zelená úsporám. Tento program u nás funguje od roku 2000 s tím, že z počátku měl velké problémy v podmínkách pro získání dotace. Vzhledem k tomuhle a vzhledem ke každoročně měnící se velikosti dotací bývají tyto podmínky každoročně upravovány a není zrovna lehké se v nich orientovat. Obecně lze však říci, že majitel tepelného čerpadla odebírá energii na jeho provoz ve sníženém

energetickém režimu. V západní Evropě se tepelná čerpadla na rodinné domy začala montovat kolem roku 1980, v tehdejší Československu od roku 1991.[2]

Druhý termodynamický zákon se opírá o některé základní přírodní zákony. Podle Thomsonovy formulace je mimo jiné řečeno, že „*Není možné sestavit periodicky pracující tepelný stroj, který by jen přijímal teplo od určitého tělesa a měnil by je v ekvivalentní práci*“. Což v praxi popisuje entropii systému a znamená to, že u jakéhokoliv stroje nikdy nebude dodaná energie od ohřivače (média vhodného pro ohřev) stejně velká jako energie, která se přeměnila na teplo. Tato energie bude vždy nižší a je to dáno tím, že určitá energie se ztratí v chladiči, který je zapotřebí k cyklické práci a efektivnosti tepelného čerpadla, přičemž vždy musí platit, že teplota chladiče je vždy menší než teplota ohřivače. Druhý termodynamický zákon dále říká, že „*Teplo nemůže samovolně přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší*.“ Pokud bychom chtěli, aby to tak bylo, museli bychom tomu určitým způsobem pomoci. [1]

Tepelná čerpadla se dělí do více kategorií dle způsobu, jakým je teplo získáváno a následně předáváno do systému pro vytápění a ohřev TUV. Všechny typy však mají jednu charakteristickou vlastnost a tou vlastností je topný faktor. V souvislosti s topným faktorem se můžeme běžně shledávat se zkratkou COP (z anglického Coefficient of performance). Matematický vztah pro COP je dán vztahem [1]. V podstatě se jedná o poměr mezi výkonem a příkonem tepelného čerpadla.

$$COP = \frac{|\Delta Q|}{\Delta W} \quad [1]$$

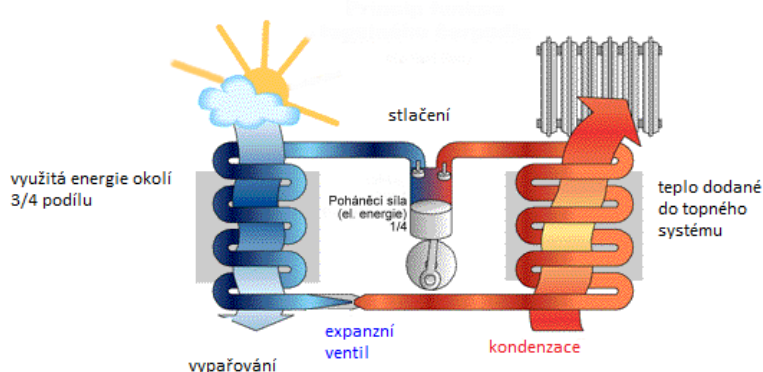
Kde absolutní hodnota ΔQ udává změnu tepla vyrobeného tepelným čerpadlem. Tato změna je udána v absolutní hodnotě, protože některé typy jednotek mohou v letních měsících rovněž chladit. Zatímco ΔW je změna mechanická práce, kterou dané zařízení spotřebovalo (příkon kompresoru). Ze vztahu je vidět, že právě příkon je nepřímo úměrný topnému faktoru. Čím bude příkon nižší, tím bude topný faktor vyšší, což je právě požadavek na tepelná čerpadla. Obecně lze říci, bavíme-li se o návratnosti, že COP by měl dosahovat hodnoty 3 a vyšší. Nutno také podotknout, že velikost topného faktoru se liší pro různé typy tepelných čerpadel.

2.3 Rozdělení tepelných čerpadel

2.3.1 Tepelné čerpadlo vzduch/voda

Toto čerpadlo lze považovat za neekologičtější zdroj tepla, jelikož ke svému provozu nepotřebuje žádný dodatečný zdroj energie a využívá vzduchu okolního prostředí, který se nemusí vyrábět, je zadarmo a je ho prakticky nevyčerpatelná zásoba.

Samotný provoz a funkce tepelného čerpadla jsou rozděleny do čtyř jednotlivých fází. Na primárním okruhu se nachází výparník, obvykle v kombinaci s axiálním větrákem. Tím pádem celý systém nevyužívá pouze potenciál vnitřního a venkovního prostředí, ale i potenciál změny vlhkosti vzduchu díky větráku. V trubkách výparníku je uloženo chladivo v podobě kapaliny, mající nízký bod varu, který musí být nižší než teplota venkovního prostředí.



Obrázek č. 1 Princip činnosti vzduch/voda [3]

Před vstupem do primárního okruhu je chladivo v kapalném stavu. Ve výparníku dochází k přeměně této látky do skupenství plynného. Páry vznikající tímto procesem tak představují nositele tepelné energie a proudí směrem ke kompresoru. V kompresoru vlivem stlačování těchto par dochází ke zvýšení tlaku a teploty. Takto ohřátá látka plyne do kondenzátoru. Zde dochází k výměně dodané energie pomocí stlačeného chladiva v plynném stavu, na energii pro ohřev neustále cirkulujícího sekundárního okruhu tepelného čerpadla, který slouží k přímému vytápění jednotlivých místností nebo vytápění akumulární nádrže.

V kondenzátoru rovněž dochází ke kondenzaci chladicího média zpět na kapalinu. Tato kapalina putuje k expanznímu ventilu, zde chladicí médium přijde o takové množství tlaku a teploty, aby mělo chladivo opět nižší teplotu než okolní prostředí a tím i schopnost se vypařit ve výparníku. Tlakový ventil tedy udržuje rozdíl mezi vysokotlakou a nízkotlakou složkou oběhového systému. Reguluje průtok chladiva mezi kondenzátorem a výparníkem podle toho jaká teplota se nachází na výstupní straně výparníku. Zajišťuje přehřátí paliva ve výparníku.

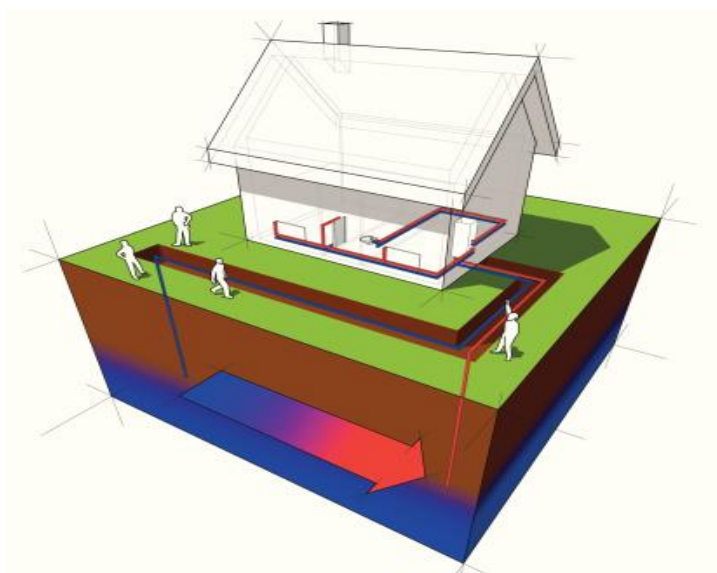
Tepelné čerpadlo vyrábí energii pro ohřev vody z větší části z okolního prostředí. Tato energie je zdarma, ale k celkové energii vyrobené tepelným čerpadlem přispívá přibližně čtvrtinovým podílem také hnací elektrická energie. Za problém se dá považovat, že čerpadlo má nejmenší výkon a tím pádem i nejmenší topný faktor právě v období, kdy jsou nároky na jeho provoz nejvyšší tedy v zimě. V neposlední řadě nesmíme opomenout hluk tepelného čerpadla. Pro námi zvolenou jednotku se dle [4] pohybuje v rozmezí 52 až 58 dB. Úroveň akustického tlaku byla naměřena ve volném poli při 100% výkonu tepelného čerpadla ve vzdálenosti 1 metru od jednotky ve výšce 1,5 metru. Vzhledem k tomu je zapotřebí brát zřetel na umístění a provedení instalace zdroje tepla tak, aby nedocházelo nežádoucímu narušení akustické pohody (umístění do technické místnosti, odhlučnění, apod.).

2.3.2 Tepelné čerpadlo voda/voda

Patří taktéž k levným a velmi ekologickým zdrojům tepelné energie. Princip funkce tepelného čerpadla voda/voda je stejný jako systém vzduch/voda s tím rozdílem, že teplo je odebíráno z vody. Tato voda je limitována vydatností pramene. Podle oficiálních stránek jednoho z dodavatelů elektrické energie a zemního plynu je vydatnost podmíněna 0,5 litry za sekundu [6]. Vydatnost pramene se ověřuje dlouhodobými čerpacími zkouškami. Teplo lze odebírat z jezera, rybníka, řeky, studní či dokonce geotermálních vod, kde teplota vody dosahuje i 30 °C. Způsob odběru záleží na lokalitě. Praktické využití tohoto systému je omezené počtem vhodných míst vyskytujících se na území České Republiky.

Jako vhodný zdroj pro tepelná čerpadla se jeví lokality s podzemní vodou, kde teploty vody dosahují celoročně teploty okolo 10 °C a nehrozí tak zamrznutí vody ať už vlivem počasí nebo vlivem odběru tepla tepelným čerpadlem. K chlazení dochází klidně i o 5°C. Systém voda/voda velmi často dosahuje nejvyšší průměrné hodnoty topného faktoru. Je to dáno i tím, že voda snáze přenáší teplo než vzduch. Chceme-li aplikovat systém voda/voda je zapotřebí dvou studní o dostatečné hloubce v závislosti na hloubce uložení spodní vody o námi požadované teplotě, přičemž jedna studna je zdrojová a druhá je vsakovací. V těchto studních je soustava s chladicí kapalinou, která odebírá teplo z vody.

Rovněž je ze zdrojové studny odčerpávána voda do primárního výměníku, kde je z ní odebíráno teplo a předáno chladicímu médiu. Následně je voda přepuštěna do druhé vsakovací studně. Výhodou studňového systému v porovnání s vrty jsou pořizovací náklady. Jako nevýhoda se naopak můžou jevit nároky na dostatek, teplotu a čistotu vody. Tyto čerpadla rovněž musí mít pravidelnou údržbu, čištění filtrů a jsou náchylnější na poruchy, zejména část sacích čerpadel.

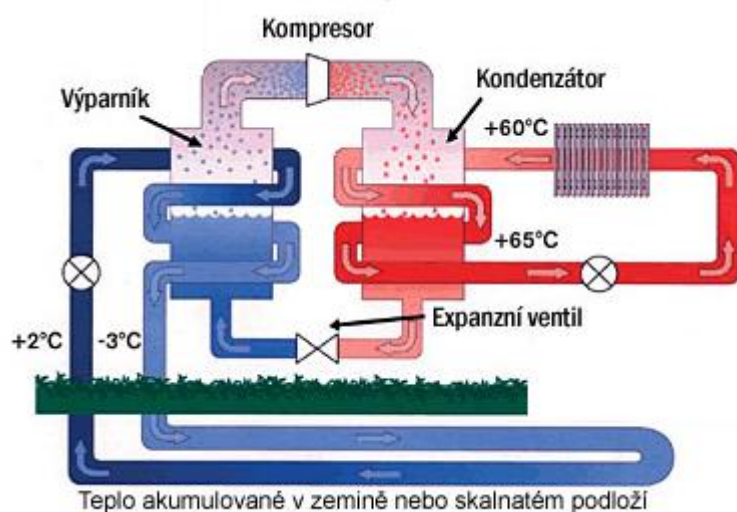


Obrázek č.2 Schéma provedení TČ voda/voda [5]

Jako další a levnější variantu pro systém voda/voda než vrty se nabízí povrchové vody, mezi které patří řeky či rybníky. Zde však výraznou roli hraje počasí a zamrzání vody v zimních měsících. V takovýchto situacích se umístí na dno potrubní systém s chladicí kapalinou. V tomto případě ovšem hrozí ekologické znečištění vody. Také je potřeba počítat s nutností platit vodohospodářské poplatky.

2.3.3 Tepelné čerpadlo země/voda

Další variantou jak trvale snížit náklady na vytápění a ohřev vody je možnost instalace Tepelného čerpadla země/voda. Primárním zdrojem tepla je geotermální energie. Tato energie má tu výhodu, že je absolutně nezávislá na okolním prostředí, je tedy jedno zda je léto či zima, protože čerpadlo by mělo pracovat na stejném topném faktoru po celý rok. V podstatě se nabízejí dvě varianty, jak tohoto tepla využít.



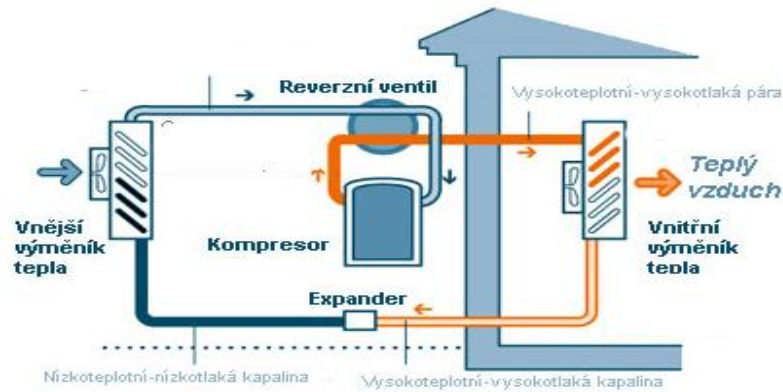
Obrázek č. 3 Princip činnosti TČ země/voda [6]

V každém případě systému země/voda se chladicí kapalina v zemi vypařuje a získává teplo okolí, takto putuje až ke kompresoru, kde dojde ke stažení a zahřátí na potřebnou hodnotu, aby následně v kondenzátoru, došlo k předání tepla vhodné topné soustavě. Po předání tepla se plyny zchladí, dojde k přeměně na kapalinu a putují zpět expanznímu ventilu, kde dochází k přeměně na páry a celý proces se opakuje znovu. Jako vhodnou topnou soustavou pro tepelná čerpadla země/voda se jeví podlahové vytápění.

První variantou jsou hlubinné vrty. Na vrty jsou pevně dané požadavky spojené s hydrogeologickým posudkem, pakliže je posudek pozitivní a sledává podloží stabilním, musí být přístup k vykonání vrtu o hloubce mezi 50-200 metry. Stane-li se, že geologické vlastnosti nedovolují takto hluboké vrty, nabízí se varianta, více mělčích vrtů v dostatečně bezpečné vzdálenosti od sebe. Dle [7] je na jeden kW energie zapotřebí přibližně 12 vrtů nepřesahující hloubku sta metrů o průměru 150 milimetrů. Další možností čerpání tepla je umístění plošných kolektorů pod povrch země. Oproti vrtům, je tato volba levnější, avšak nároky na rozlohu nejsou nejmenší s tím, že na daném místě se v budoucnu nebude moci stavět. Kolektory se umísťují 1,5 metru do podloží a čerpají solární energii, nikoliv energii geotermální. Panují rovněž obavy, že kolektory umístěné pod povrchem země ochlazují okolní půdu a zabraňují tak správnému růstu vegetace nad nimi rostoucí. Tak jako tak, vzhledem k tomu, že se jedná o náročnou stavbu, jsou požadavky na životnost co možná největší a to nejen na vrty, ale i na zemní kolektory, které jsou do vrtů potažmo pod povrch ukládány. Jejich výrobci slibují životnost v řádech desítek let. Achillovou patou tohoto systému, se tak zdá kompresor, jelikož bývá opotřebován. Kompresor se však dá opravit a tak, lze využívat tepelného čerpadla dále.

2.3.4 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch

Pod touto variantou si lze obecně představit jakoukoliv klimatizaci, mající schopnosti otopné i chladicí. Využití tohoto typu je vhodné pro garsonky, chaty, dílny a sklady s jednou maximálně dvěma místnostmi s velkým společným průchodem mající nízké nároky na vytápění. V dnešní době technologie postoupila natolik, že tyto jednotky dokážou čistit vzduch v místnosti od znečištění, alergenů či různých virů a škodlivin. Další výhodou mohou být pořizovací náklady, a způsob instalace. Naopak nevýhodou je neschopnost vytápění oddělených prostor a hlučnost zařízení.

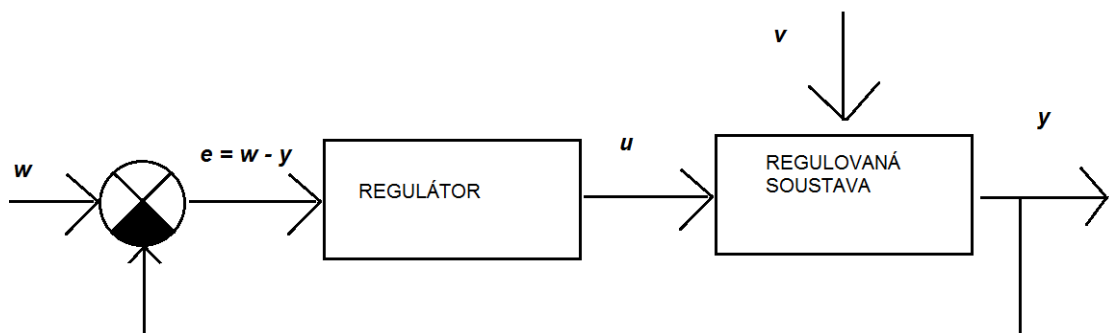


Obrázek č.4 Princip činnosti TČ vzduch/vzduch[6]

Pro vybrání vhodného tepelného čerpadla do vhodné otopné soustavy existuje celá řada faktorů, jež budou probrány v následujících stánkách této práce a budou názorně ukázány na vzorovém případě.

2.4 Regulace

Slovo regulace, pochází z latinského slova regula (pravítko nebo pravidlo) Ještě dříve nežli budou v této teoretické části, zmíněny nejčastější typy regulace, jejich princip a jejich vliv na regulační smyčku, je potřeba si říci co tento pojem vlastně znamená obecně. Řekne-li se regulace, leckomu jistě vyběhnou synonyma jako usměrnění, jistý druh úpravy či řízení. S regulací se můžeme setkávat denně kolem nás a to nejen v problematice topných systémů a dalších technických oblastech, ale také v oblastech jako jsou ekonomika, právo, zemědělství či kultura. Na následujících stránkách budou popsány regulační obvod, PID regulace a optimální křivka. Jedna z kapitol bude rovněž věnována ekvitermní regulaci.



Obrázek č. 5 Blokové schéma regulačního obvodu a jeho logika se zpětnou vazbou

Na obrázku č. 5 je vyznačen regulační obvod mající zpětnou vazbu. V obrázku vystupuje pár veličin, značených různými písmeny, proto je potřeba objasnit si jejich význam.

$w(t)$ – řídicí veličina (žádaná hodnota)

$e(t)$ – regulační odchylka jde o rozdíl mezi žádanou a skutečnou hodnotou regulované veličiny

$$e = w - y \quad [2]$$

$u(t)$ – akční veličina (výstupní veličina z řídicí jednotky a zároveň vstupní veličina regulované soustavy)

$v(t)$ – poruchová veličina (faktory ovlivňující optimální chod obvodu)

$y(t)$ – regulovaná veličina (veličina ovlivněná požadavky regulace)

Regulační obvod se obvykle skládá z dvou prvků a to regulátoru a regulované soustavy. Regulátor usnadňuje obsluhu, není potřeba nepřetržitý dohled obsluhy a ani ruční korekce. Typickým příkladem je bytový termostat nebo tempomat v autě. Úlohou regulace je na základě rozdílu mezi regulovanou a požadovanou hodnotou měřené veličiny v čase t nastavit akční veličinu (typickým příkladem akčního členu je trojcestný ventil), tak aby platilo, že regulovaná veličina je rovna žádané veličině. Tím pádem lze regulační odchylku považovat za nulovou.

Na vstup regulátoru je přiveden kromě informace o požadované hodnotě $w(t)$ také skutečná hodnota na výstupu regulační smyčky $y(t)$. Tuto informaci nám předává zpětná vazba, která bývá povětšinou konstruována tak aby byla záporná. Velikost zpětné vazby je dána součtem regulační odchylky a poruchové veličiny. Požadovaná hodnota $w(t)$ ve skutečnosti značí hodnotu, na které chceme, aby se nacházela skutečná hodnota regulované veličiny. V případě, že si tyto hodnoty nejsou rovny, nachází se ve smyčce určitá regulační odchylka $e(t)$. (viz rovnice 2.) Příčinou vzniku regulační odchylky může být záměrná změna velikosti regulované veličiny nebo její porucha. V závislosti na odchylce se mění akční regulace obvodu. Obecně lze říci, že regulační obvody lze dělit na spojitě a diskrétní. Za

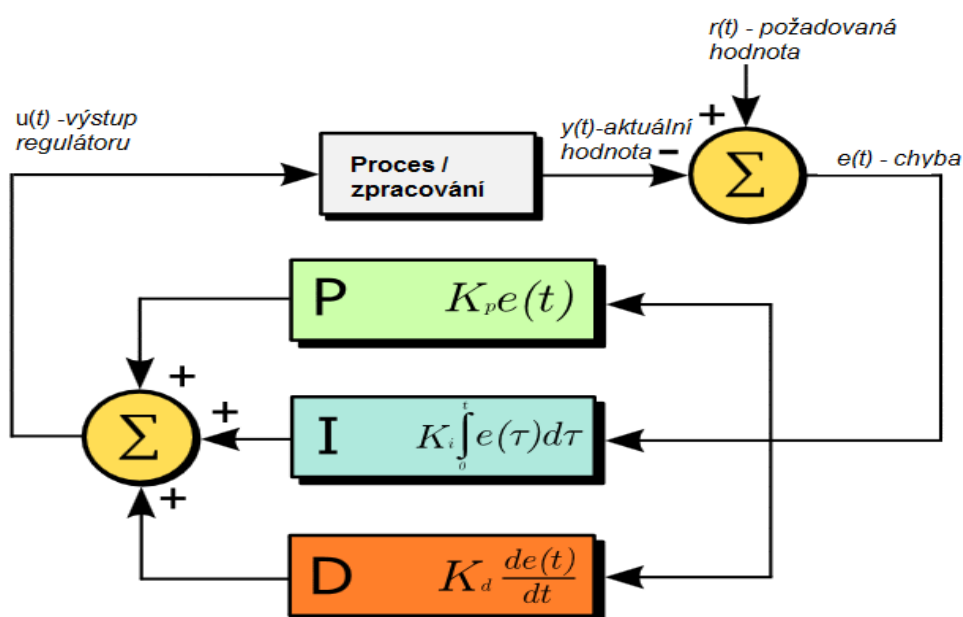
spojitý obvod, lze považovat takový obvod, ve kterém velikost změny regulované veličiny probíhá spojitě v čase t (typickým příkladem sinusový signál). Zatímco jako diskrétní obvod, je chápán takový, u kterého dochází ke skokovým změnám regulované veličiny (pro bližší představu si lze představit obdélkový signál).

2.4.1 PID Regulace

Zkratka PID je v řídicí technice všeobecně používána pro tří složkovou regulaci. Třísložková regulace je v automatizaci užívána v celé řadě aplikací. V dobách, kdy bylo automatické řízení teprve ve svých počátcích, se PID regulátory navrhovali jako mechanická zařízení ve formě různých pružin či pák často poháněných stlačeným vzduchem. První zmínky o PID regulaci pocházejí z počátků 20 století, kdy byly navrhovány první automatické řídicí systémy pro Americké námořnictvo rusko-americkým inženýrem Nicolasem Minorským. Minorsky založil princip řízení na pozorování kormidelníků a zjištění, že kormidelník řídí loď nejen na základě aktuální odchylky, ale i na základě odchylek minulých a rychlosti aktuálních změn. Bohužel pro něj, však tato regulace nebyla armádou přijata a to kvůli odporu personálu. V současné době jsou elektronické analogové regulátory konstruovány z odporů, kapacit, elektronkových zesilovačů, ale především z polovodičových operačních zesilovačů, obsahující tranzistory různé technologie výroby. Technologie výroby tranzistorů má u zesilovačů vliv na jejich vstupní, výstupní a dynamické parametry. [9]

Pod písmenem P se ukrývá proporcionální složka regulace závisící na hodnotě současné chyby. I značí složku integrační, která je závislá na hromadění chyb minulých a D složka derivační, starající se o predikci chyb budoucích. Čili PID regulace je kombinace 3 způsobů, jak reagovat na vznik a změnu regulační odchylky. Každá z těchto 3 složek má svůj podíl na výsledné chování regulátoru. Poměr těchto 3 složek na vhodné chování smyčky, lze nastavit pomocí konstant (parametrů regulátoru) ve vhodném poměru. Důležité PID parametry regulátoru jsou zesílení K_p , integrační časová konstanta K_i a derivační konstanta K_d . Zatímco zesílení má vliv a v podstatě řídí proporcionální složku regulace, tak K_i ovládá integrační složku a K_d složku derivační. Tyto 3 složky P, I a D se skládají ve výslednou akční veličinu a společně podmiňují průběh a funkčnost regulační

smyčky, která reaguje na chybu neboli rozdíl mezi aktuální zregulovanou hodnotou a požadovanou hodnotou. Jak je možno vidět z blokového schématu PID regulátoru, který je znázorněn na obrázku č. 6. Součet těchto 3 složek se využívá pro nastavení procesu pomocí ovládacích prvků jako výkon dodávaný do topného okruhu, klapka, nebo trojcestný regulační ventil. Průběh závisí rovněž na specifických vlastnostech soustavy. Některým procesům mohou stačit pouze jedna či dvě složky k zajištění stability systému kontroly. Toho se dá docílit vynulováním jednotlivých konstant P, I nebo D v takovém případě, se bude jednat o regulátor typu PI užívaný tam, kde je měření velmi závislé na šumu, PD, P či I.



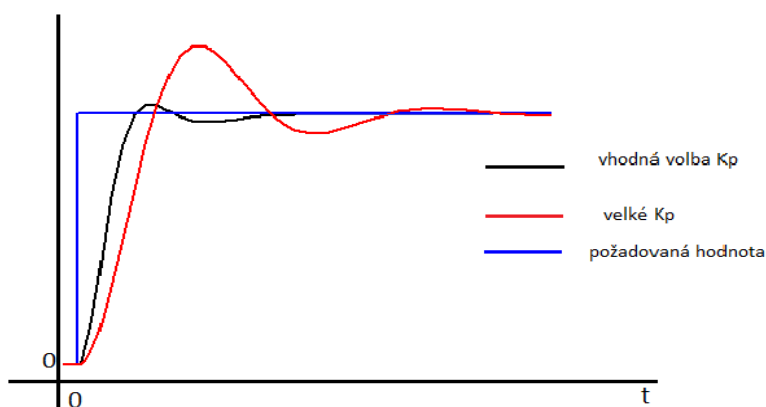
Obrázek č. 6 Blokové schéma PID regulace[12]

Při proporcionální regulaci je velikost akčního členu přímo úměrná součinu regulační odchylky a jejímu zesílení jak je znázorněno v matematickém vztahu [3]. Platí, že zvětšení proporcionální složky, lze dosáhnout zvětšením zesílení, nebo zúžením pásma proporcionality, které se obvykle značí P_b . (z anglického Proportional band) pásmo proporcionality udává, o kolik se musí změnit regulační odchylka, aby se akční veličina změnila v celém svém rozsahu dáno v procentech. Popsáno rovnicí 4. Proporcionální regulace je nejjednodušším typem regulace.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad [3]$$

$$P_b = \frac{1}{K} \cdot 100\% \quad [4]$$

Konstanta K_p závisí na aktuální hodnotě chyby, ale zároveň i na hromadění chyb minulých. A je to poměr mezi akční veličinou a regulační odchylkou. Obecně lze říci, že se zvyšující se hodnotou K_p se snižuje velikost regulační odchylky, to ale může často výstup rozkmitat, což vede ke ztrátě stability. Bude-li při dané konstantě K_p požadovaná hodnota na výstupu malá, značí to nízkou citlivost regulace.



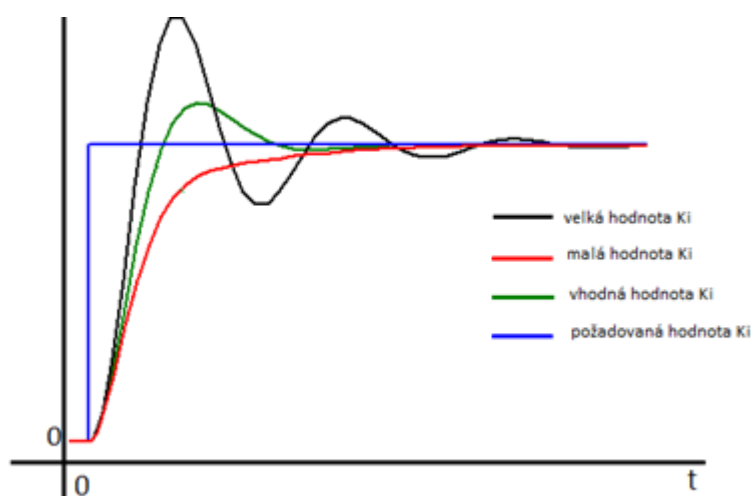
Obrázek č. 7 Průběh PID regulace s konstantními velikostmi K_p a K_d a různou velikostí K_i [9]

Obrázek č. 7 popisuje chování PID regulace, kde v jednom případě, byla vhodně zvolená proporcionální konstanta, naopak v druhé situaci, byla konstanta zvolena poněkud větší. U obou křivek jsou velikosti K_i a K_d konstantní. Jak vidíme proces s větší hodnotou K_p přinese na výstup velkou změnu a vlivem překmitů je doba ustálení proporcionální složky větší. V optimálním případě, kdy je regulační odchylka velká, je z počátku zapotřebí velký výkon na zvýšení měřené veličiny, čím více se však měřená veličina bude blížit požadované hodnotě, tím více bude výkon klesat. Po zregulování takového procesu nastane minimum překmitů kolem žádané hodnoty a dojde k ustálení výkonu na hodnotě vhodné danému požadavku. Funkce nezačíná v nulových hodnotách což je dáno Offsetem neboli chybou nuly regulátoru. Funkce tedy začíná v mezích, které jsou stanoveny normou.

Příspěvek integrační složky PID regulace je přímo úměrný jednak velikosti odchyly, ale přímá úměra platí rovněž pro dobu trvání odchyly. Matematický ekvivalent dané problematiky je znázorněn v rovnici [5].

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) \cdot dt + u(0) \quad [5]$$

Integrál PID regulátoru je součtem všech hodnot odchylek v průběhu času daného úseku, dokud nebyla odchyly rovna 0. To znamená požadovaná hodnota je rovna hodnotě regulované. Do té doby dokud požadovaná hodnota je menší, než regulovaná, tak velikost integrační složky bude růst. Nebude-li odchyly



Obrázek č. 8 Průběh PID regulace s konstantními velikostmi K_p a K_d a různou velikostí K_i [9]

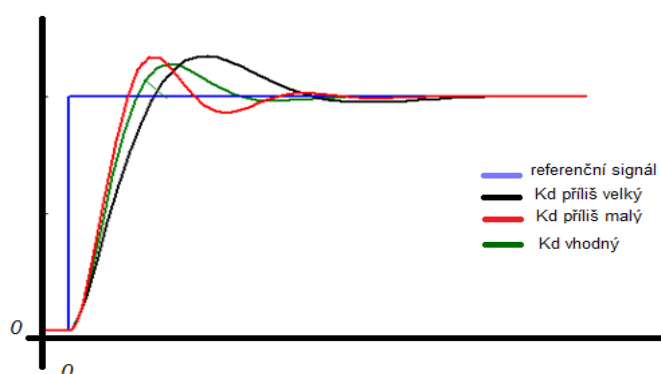
záporná, ale požadovaná hodnota bude větší, než regulovaná, bude se integrační složka snižovat. Velikost akčního členu v počátečním čase je rovna $u(0)$. Rychlost změny odchyly závisí na velikosti odchyly. Obecně platí, že čím větší odchyly, tím větší rychlost změny. Pokud by byl regulátor pouze integrační, bude zprvu odchyly klesat pouze pozvolně, ale postupně bude její změna k nulové hodnotě rychlejší. V případě, že velikost integrační časové konstanty K_i bude příliš velká, dojde k dosažení požadované hodnoty dříve, a však překmit bude velký, což bude mít za následek delší dobu ustálení a vyrovnání regulace. V optimálním případě sice překmit nastane, ale nebude tak patrný.

Jak vidíme z obrázku č. 8, v případě velké integrační časové konstanty sice dosáhneme požadované hodnoty dříve, avšak překmit bude velký a doba ustálení bude dlouhá stejně tak jako v případě černého průběhu. Proporcionální a derivační konstanta mají stálou hodnotu ve všech třech případech. Zvolíme-li malou konstantu, dosáhneme sice požadované hodnoty v delším úseku, avšak regulace bude probíhat plynule bez nároku na spínací části obvodu. Zelená křivka značí vhodné nastavení integrační složky, kde konstanta K_i je zvolena tak, že sice doba regulace na požadovanou hodnotu je zpočátku delší oproti průběhu předdimenzované integrační konstanty. A však ve výsledku je doba ustálení na požadovanou hodnotu kratší a nároky na spínací prvky regulace rovněž menší. To vše díky lepší citlivosti soustavy reagovat na změny v systému. Jinak řečeno, jakmile regulace dosáhne požadované hodnoty, tak v ideálním případě nastává sice překmit a však tento překmit již není tak výrazný, a proto doba poklesu toho překmitu je daleko menší než u černého průběhu křivky s nastavením integrační konstanty na zbytečně velkou hodnotu.

Jak už bylo zmíněno výše derivační složka značená D , se stará o predikci chyb budoucích. Což má za následek zrychlení celkového průběhu děje PID regulace a hlavně lepší stabilitu celého systému. Jinak řečeno derivační složka, má za úkol reagovat co nejpřesněji na prudkost změny akční veličiny v průběhu času. Tato definice je matematicky vyjádřena ve vztahu [6].

$$u(t) = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad [6]$$

Vhodným případem tohoto vyjádření je například brzdový systém u aut, kde stejně jako u derivační regulace platí, že o co více zmáčkne brzdou, tím kratší dobu budeme muset čekat, než dosáhneme požadovaného brždění. A však derivační složka řízení se v praxi zavádí zřídka kdy. Je to dáno především její potřebou čistého akčního signálu, který nesmí dosahovat šumu. Šum má za následek zkreslení signálu, ale především má za následek ztrátu výkonu regulace a hlavně ztrátu stability celého systému.



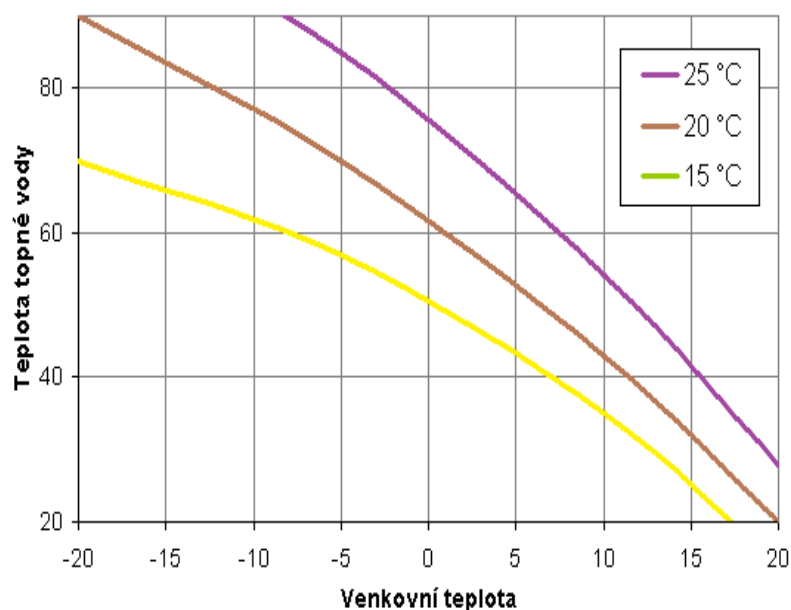
Obrázek č.9. Průběh regulace při proměnné konstantě K_d a konstantním K_p a K_i . [9]

Obrázek č. 9 udává průběh regulace akční veličiny na požadovanou referenční hodnotu v závislosti na proměnné hodnotě derivační konstanty, přičemž integrační složka I a proporcionální složka P (zesílení) zůstávají konstantní. Z grafu je vidět že nastavením vhodné konstanty D značené zeleně lze dosáhnout relativně rychlé doby ustálení na požadované hodnotě, ačkoliv počáteční dosažení referenční hodnoty probíhá pomaleji, než při nastavení nepatrně menší než vhodné hodnoty K_d značené červeně. Jelikož však při vhodné zvolené konstantě nedochází k takové oscilaci, doba celkového ustálení je kratší a nároky na spínací prvky regulace jsou menší. Při větším než vhodném nastavení K_d , která je značená černě, dochází sice rovněž pouze k jednomu překmitu, ale tento překmit je vyšší. Počáteční doba dosažení reference je delší. Vezmeme-li v potaz tyto dvě skutečnosti, lze si snadno vysvětlit důsledek delší doby ustálení.

Vhodné nastavení těchto 3 složek dohromady, tak aby regulační systém byl co nejefektivnější, nejpresnější a nejrychlejší, bývá v praxi kolikrát pořádní alchymie, jelikož různé systémy představují různé nároky na parametry řízení. U moderních PID regulací je regulační prostředí implementováno pomocí programovatelných logických automatů (PLC). Tyto automaty mají několik výhod jako je cena a zejména flexibilita pakliže se jedná o samotné provádění PID algoritmů. Elektronická smyčka analogových PID regulátoru bývá často součástí daleko komplexnějších prvků, jako je polohování čtecí hlavy disku, či obvod pro detekci u moderních seismometrů.[9]

2.4.2 Ekvitermní regulace

Princip ekvitermní regulace teploty v prostoru vychází z nastavení teploty topné vody pomocí regulace zdroje tepla v závislosti na venkovní teplotě. Při nižší venkovní teplotě je zapotřebí větší množství tepla dodávaného do otopného systému, tak aby byly navzájem vykompenzovány tepelné ztráty unikající z vyhřívání prostoru pomocí v podobě tepla a přitom teplota v místnosti zůstala na konstantní hodnotě.



Obrázek 10. Ekvitermní křivky popisující různé teploty v místnosti [10]

Pro každou místnost lze sestavit soustavu ekvitermních křivek pro různé hodnoty požadované teploty v místnosti. Tato soustava se vytváří podle potřebné teploty v místnosti a rovněž podle nejnižší teploty, která byla v dané lokalitě historicky naměřena. V grafu je znázorněn průběh tří různých teplot v místnosti konkrétně pro teploty 15, 20 a 25 °C. Soustava těchto křivek je poté následně zavedena do paměti zařízení, kterým se říká ekvitermní regulátory. Takto implementované křivky jsou v daném regulátoru nejčastěji značeny čísly pro jejich rozlišení. Na základě těchto křivek zdroj tepla dodává různý výkon, tak aby otopná tělesa, dosáhli požadované teploty v prostoru. Tato teplota je upravována za pomoci přímého nebo směšovacího okruhu. Směšovací okruh míchá vodu jdoucí

přívodním potrubím do systému s vodou na vratném okruhu, který vrací vodu zpět do akumulární nádrže, tepelného výměníku, či kotle. Toto vše se děje za pomoci směšovacího ventilu regulovaným regulátorem. Úlohou regulátoru je v podstatě řízení zdroje tepla v závislosti na zvolené aktuální venkovní teplotě a zvolené ekvitemní křivce. Některé regulátory rovněž mají možnost upravovat tvar ekvitemní křivky.

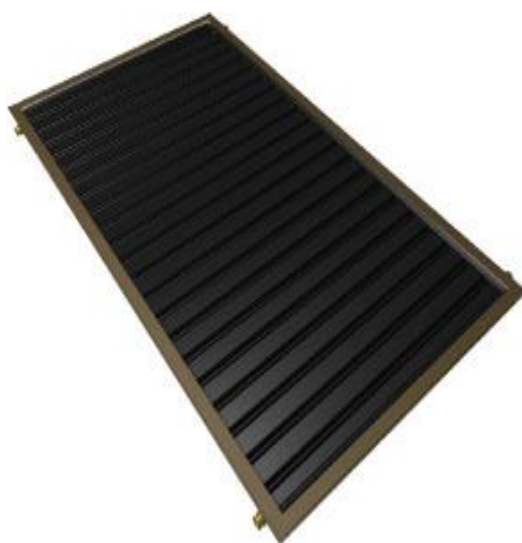
2.5 Solární ohřev

Další velmi vhodnou formou využití obnovitelných zdrojů energie, v našich zeměpisných podmínkách je využití energie slunce. Sluneční záření představuje největší dostupnou formu energie na zemi. Na území České Republiky představuje nejvhodnější lokalitu Jihomoravský kraj dle dat poskytnutých Českým Hydrometeorologickým ústavem.

Solární ohřev může být využit, k přitápění domu, ohřevu teplé užitkové vody nebo k vyhřívání bazénu. V praxi je snaha o co nejefektivnější využití systému. Princip solárního ohřevu je následující. Solární kolektory umístěné na střeše odebírají sluneční energii a převádějí ji na teplo dodané nemrznoucí teplotonosné kapalině vedené potrubím. Takto kapalina koluje systémem do solárního výměníku. Zde dochází k výměně tepla mezi nemrznoucí kapalinou a užitkovou vodou, která je uložena ve výměníku. Odtud ochlazená nemrznoucí směs koluje zpět ke kolektorům, kde se celý proces opakuje. Tento princip je ovšem velmi zjednodušený a ve skutečnosti by to takto nefungovalo. Celý systém je složen z více částí, které samy o sobě ovlivňují chod systému, jako celku. Všechny tyto části a jejich úloha na chod a výběr vhodného systému budou popsány v následujících řádcích a stránkách této práce. Základním dílem funkčního systému je kolektor. Správná orientace a sklon kolektoru podstatně ovlivňují tepelné ztráty. Proto je zapotřebí, aby kolektory byly vždy orientovány na jih a ve vhodném úhlu α . Tento úhel má být takový aby paprsky na něj dopadající dopadali vždy kolmo. Vzhledem k tomu, že α se mění jak v průběhu dne, tak v průběhu roku, bývá velikost sklonu volena v rozmezí 30 - 45°, což odpovídá spíše sklonu slunce v letních měsících. Zvolíme-li mírnější sklon, máme možnost zajistit rovnoměrnější zisk v průběhu roku na úkor letním špičkám. V případě, že kolektor

nemůže být z nějakého důvodu orientován přímo na jih, lze toto částečně kompenzovat strmějším sklonem. Sklon je však povětšinou dán strmostí střechy. V případě, rovné střechy je možné uchycení kolektorů na konstrukci, kde si daný úhel vybereme. [11]

Kolektory jsou navrhovány v různých typových řadách podle jejich využití v praxi. Na trhu se vyskytují kolektory ploché, kde je v obdélníkovém rámu kolektoru uloženo měděné potrubí. Toto potrubí mající tvar meandru odebírá teplo, které zachytí absorbér, což je vrchní strana rámu mající tmavou až černou barvu. Absorbér je opatřen speciální selektivní vrstvou, která má za úkol eliminovat tepelné ztráty a dosahovat tak větší účinnosti. V lepším případě je prostor kolektoru vyplněn vakuem což, ještě zvýší jeho efektivitu. Stále častější uplatnění mají kolektory trubicové využívající obdobného principu. Na trhu ovšem najdeme i vyspělejší systémy kolektorů uložených ve střešní krytině či systému využívajících Fresnelových čoček umožňující průchod světla do interiéru.



Obrázek č.11 a 12 na levé straně plochý vakuový kolektor na pravé trubicový vakuový kolektor [12],[13]

Samotné potrubí pro rozvod solární kapaliny do výměníku může být, buďto měděné nebo tvořené nerezovými flexibilními trubkami. Toto nerezové potrubí je konstruováno tak aby splňovalo co nejlepší hydrodynamické vlastnosti systému jako, jsou tlak a průtok. Je rovněž nutná jeho izolace. Izolace se provádí černou kaučukovou látkou, která je odolná vůči vysokým teplotám a slunečnímu záření.

Pomocí rozvodů je kapalina vedena do výměníku. Ten bývá kombinovaný už vzhledem k tomu, že solární ohřev sám osobě se nedoporučuje jako jediný zdroj pro výrobu tepla a teplé užitkové vody. Velikost zásobníků závisí na požadavcích uživatele pro odběr vody.

3 POŽADAVKY NA PROJEKT

Tato práce má za úkol zabývat se výběrem vhodného zdroje tepla pro vytápění a ohřev teplé vody pro novostavbu rodinného domu ve městě Loket. Novostavba má tvar písmena L s plochou střechou a její součástí je atrium uprostřed. Zároveň je potřeba vybrat vhodný regulačním systémem, který zajistí co největší komfort a úspory za účty na vytápění pro majitele této stavby, který je zároveň jejím investorem. Město Loket se nachází v Karlovarském kraji, konkrétně v severovýchodní části okresu Sokolov. Stejně jako celá Česká republika, tak i Loket se nachází v mírném podnebním pásu a průměrná roční teplota se zde pohybuje kolem +7,9 °C za posledních 15 let. Při zvažování jednotlivých alternativ byl brán zřetel na umístění lokality stavby, finanční možnosti a požadavky majitele a samozřejmě předpokládanou návratnost investice. [14]

Vzhledem k tomu, že se novostavba nalézá v doposud nepřiliš zastavěné části města, postrádala tato parcela plynovou přípojku. S ohledem na to, že při vybudování nové plynové přípojky je potřeba vykonat spousta legislativních úkonů a s každým přibývajícím metrem cena na její realizaci roste, byla volba vytápění za pomoci plynového kotle automaticky zamítnuta. Stejně tak jako varianta s vytápěním pomocí elektrického proudu. Ceny za vytápění elektrickými přímotopy patří tradičně na vrchol, co se ceny týče, proto lze tuto volbu považovat za nesmyslnou. Jako další varianta by se mohlo jevit užití kotle na tuhá paliva se zásobníkem na uhlí či speciální pelety, které mají velmi dobrou výhřevnost při jejich malém spalování. Rovněž cena za vytápění pomocí dřeva se zdá rozumná a nízká, ne-li jedna z nejnižších pro veškeré alternativy, které se vyskytují na trhu. A však pro volbu tepelného čerpadla mluví hned několik faktorů.

Protože tato stavba byla realizována firmou Barx constructions s.r.o., která se specializuje na výstavbu typových nízkoenergetických domů, je samozřejmostí že tato budova má provedené profesionální zateplení, které má na starosti zabránit tepelným ztrátám objektu a pokud možno snížit jejich počet na minimum. Budova rovněž má tzv. euro okna, které také potlačují tepelné ztráty objektu. Samotný výpočet tepelných ztrát budovy je složitější proces zohledňující více faktorů, proto nebude součástí této práce. Jednou z nejdůležitějších podmínek je

pohodlí majitele obydlí. Přeci jenom tepelné čerpadlo s vhodně provedenou regulací nepotřebuje každodenní údržbu pro jeho správnou funkčnost na rozdíl od kotle na tuhá paliva, i když má zásobník a podavač a dokonce i časové programy na jeho dávkování. Další důležitým faktorem je to, že majitelovo výslovným přáním byla realizace podlahového vytápění pro vytápění jednotlivých místností. Kombinace tepelného čerpadla a podlahového vytápění je v současnosti nejlepší možná kombinace s ohledem na maximální výkon topné soustavy a minimálními nároky na provoz tepelného čerpadla. Investor si rovněž nepřál ekologicky zatěžovat ovzduší. Při volbě určitého typu tepelného čerpadla padla volba na tepelné čerpadlo vzduch/voda, jelikož proti tepelnému čerpadlu země/voda hovoří malá rozloha pozemku, která nedovoluje dostatečně velkou zahradu a samozřejmě vyšší počáteční náklady na realizaci. Naproti tomu systém voda/voda není realizovatelný kvůli nízkým zásobám spodní vody. Při výběru tepelného čerpadla, je rovněž důležité plánovat kolik lidí, bude obývat společné prostory, jelikož s větším počtem obyvatel rostou nároky na teplou vodu. Rovněž je důležité hned na počátku se rozhodnout, zda někdy v budoucnu bude probíhat nějaká přístavba, protože s větším prostorem stoupají i požadavky na výkon systému. V neposlední řadě je při návrhu nutné myslet na další spotřebiče tepla, jako jsou bazén, vzduchotechnika či jiné technologie, které by se mohli v lokalitě vyskytovat. V našem případě se však takovéto spotřebiče nevyskytují. Také je podstatné, aby v celé budově byl malý teplotní spád.

Dalším požadavkem investora bylo, aby tepelné čerpadlo, které bude umístěné na střeše, bylo ještě doplněno soustavou solárních kolektorů pro ohřev teplé užitkové vody zejména v letních měsících. Solární panely budou uloženy taktéž na střeše obydlí. Takovéto umístění je nejenom vhodné díky tvaru střechy, jenž je plochý, ale zároveň takto dosáhneme eliminací hluku vzniklého provozem tepelného čerpadla. Kolektory by rovněž měli sloužit jako podpora k systému vzduch voda a snížit tak požadavek na jeho využívání. Tyto panely, stejně jako tepelné čerpadlo musí být na střeše ukotveny, tak aby byli stabilní vůči poryvům větru. Rovněž je důležité navrhnout cirkulační čerpadlo pro solární okruh s dostatečným průtokem, aby nedocházelo k přehřívání solární kapaliny, jelikož přehřívání může mít za následek následné nevratné poškození kolektorů. Toto

cirkulační čerpadlo bude spínat v závislosti na teplotě kolektorů, která bude snímána čidlem přímo na solárních kolektorech umístěných na střeše budovy.

Protože se jedná o systém, který by měl zajišťovat jak vytápění v zimních měsících tak ohřívání teplé užitkové vody, je s ohledem na nedostatek volného místa v technické místnosti potřeba volit speciální akumulární nádrž, která ve své podstatě obsahuje dvě nádrže v sobě. Vnější bojler slouží jako úložiště pro otopnou vodu a vnitřní nádrž pro úložiště teplé užitkové vody. Teplá užitková voda bude ohřívána vodou určenou pro vytápění a zároveň solárními kolektory, jejichž okruh bude spirálovitě obepínat vnitřní bojler. Zároveň tato nádrž musí mít dostatek výstupů, tak aby dokázala obsloužit celý systém s podlahovým vytápěním, tepelným čerpadlem a solárními kolektory zároveň. Po konzultaci s investorem, který bude uživatelem topného systému, byla vybrána akumulární nádrž o objemu 150 litrů, což je objem, jež by měl zajistit dostatečnou zásobu pro 3 lidi, kteří zde budou permanentně přebývat. Zároveň ve zdrži budou umístěny dvě čidla pro snímání teploty a to ve spodní části a ve vrchní části bojleru. Spodní čidlo bude mít za úkol hlídat minimální teplotu vody uvnitř. Jakmile teplota na této úrovni klesne pod požadované minimum, regulace vyšle požadavek na přitopení. Vrchní čidlo naopak hlídá maximální teplotu v nádrži a slouží jako úroveň pro zrušení vytápění a zároveň jako detektor pro spínání oběhového čerpadla solárních kolektorů. Vhodnou volbou těchto teplot se jednak zkrátí doba potřebná na vyhřátí akumulárního bojleru a zároveň se sníží energetické nároky pro tento proces.

Dalším zásadním požadavkem, je požadavek na topné spirály, neboli elektrické přímotopy, které mají za úkol zabezpečit dostatek teplé vody v situacích, kdy z nějakého důvodu nebude provoz tepleného čerpadla vzduch/voda možný a zároveň solární okruh nebude dodávat takový výkon, který je potřeba pro dostatek teplé užitkové vody. Topné spirály v tomto případě slouží jako bivalentní zdroj tepla. Patrony budou rovněž součástí regulace a jejich spínání bude hlídáno termostatem na smyčce teplé užitkové vody. Je rovněž zapotřebí vypočítat a navrhnout elektrické spirály o vhodné dimenzi, tak aby požadovaný příkon topných těles byl dostatečný pro naše požadavky. Tento výpočet bude součástí této práce a bude mu věnována zevrubnější pozornost na dalších stránkách.

Regulace bude mít samozřejmě na starosti regulovat vytápění celé budovy a to jak podle požadavků zákazníka, ale také ekvitemě, neboli v závislosti na venkovní teplotě, která bude snímána teplotním čidlem uloženým na severní straně objektu. Při nižší venkovní teplotě, bude do topného systému dodáváno více energie, tak aby došlo ke kompenzaci tepelných ztrát, které jsou rovněž závislé na venkovní teplotě. Změna požadavku na vytápění bude prováděna za pomoci soustavy teplotního čidla na okruhu pro podlahové vytápění, cirkulačního čerpadla v tomto okruhu a směšovacího ventilu, neboli mixu, který bude upravovat teplotu vody mícháním teplé a studené dle potřeb toho, kdo ovládá regulaci. Regulace by si rovněž měla hlídat takzvaný horní a dolní odběr sítě, který je dán dodavatelem elektrické energie. Jeho podstata je takové, že během dne je elektřina dodávána v různých tarifech a naše regulace by měla hlídat, aby tepelné čerpadlo fungovalo výhradně v dolní sazbě ceny za elektrickou energii, nebude-li dáno jinak. Posledním ale stejně důležitým požadavkem jako všechny ostatní je obstarat ochranu systému proti zásahu bleskem. Tato ochrana se provádí uzemněním jednotlivých vodivých částí, ať už na střeše či v technické místnosti. Jinak řečeno je zapotřebí zemnicího drátu, uzemnit na hromosvodnou soustavu solární kolektory, tepelné čerpadlo a rozvodnou stanici, tak aby nedošlo k poškození systému a případnému požáru v případě úderu blesku.

4 NÁVRH SOUSTAVY VYTÁPĚNÍ

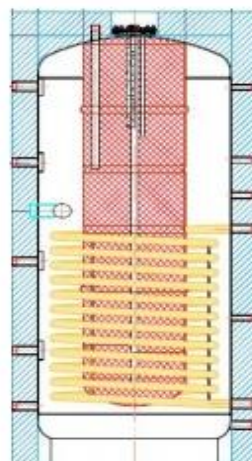
Následující řádky a stránky budou věnovány jednotlivým komponentům, které byly zvoleny pro realizaci této práce.

4.1 Použité přístroje

4.1.1 Akumulační nádrž

Jak už sám název uvádí, tak akumulace nádrž slouží k hromadění tepla od různých zdrojů. V našem případě se jedná o solární kolektory, tepelné čerpadlo a v určitých situacích o elektrické spirály. Jedná se v podstatě o tlakový bojler o námi zvoleném objemu. Tento zásobník má za úkol, zachovávat teplo od jeho zdrojů až do doby kdy bude potřebné k vytápění budovy, nebo spotřebování užitkové vody na vaření mytí, či jiné aktivity.

Pro naše potřeby bude akumulace nádrž užívána společně s tepelným čerpadlem a solárním kolektory a bude tak tvořit společný systém. Díky tomuto lze využít specifických funkcí zásobníku. Jelikož slunce lze považovat za nestabilní zdroj tepla, který bývá k dispozici obvykle v situacích, kdy je jeho energie k vytápění potřebná nejméně. Právě proto je potřeba tuto energii nahromadit a následně využít k vytápění v situacích kdy bude zapotřebí. Navíc využíváme-li akumulace nádrž v kombinaci s tepelným čerpadlem, lze bezpečně využít hned 3 základních funkcí této nádrže. První je modulace neboli vyrovnání výkonu vyrobeném tepelným čerpadlem vůči potřebnému výkonu, v momentech kdy je potřeba vytápět. Takto dojde k omezení častého spínání kompresoru, což může mít za následek prodloužení životnosti tepelného čerpadla. Další funkcí je hydraulické vyrovnávání průtoků ať už při průchodu přes tepelné čerpadlo, ale i při průtoku podlahovým vytápěním. V neposlední řadě, lze využít akumulace nádrž k uchování energie, po dobu trvání vysokého tarifu cen elektrické energie, jelikož v těchto situacích tepelné čerpadlo nebude k dispozici.



Obrázek č 13.
Akumulační zásobník
DUO-E 600/150 [15]

Nakonec byl zvolen akumulční zásobník značky Regulus typové řady DUO- E, konkrétně typ o objemu 600 litrů, přičemž vnitřní nádrž má objem 150 litrů a je určena pro teplou užitkovou vodu. Kolem ní je omotán ocelový topný had vhodný pro připojení solárních kolektorů. Pro lepší představu vnitřního uspořádání akumulčního zásobníku, je bojler znázorněn v řezu na obrázku č 13. Tento typ rovněž umožňuje instalaci elektrického topného tělesa. Celkově obsahuje 14 přípojních míst pro několik různých zdrojů tepla, otopný systém, expanzní nádobu či elektrické patrony.

Podle katalogového listu výrobce tohoto zásobníku, je vnitřní povrch nádrže pro teplou užitkovou vodu chráněn smaltováním dle příslušných norem a magneziovou anodou uloženou v tomto prostoru. Anoda má za úkol chránit nádobu před korozi, kterou může zapříčinit kyslík z čerstvě přitékající vody. Izolace nádrže je pro lepší manipulaci se zásobníkem konstruována snímatelnou měkkou izolací z polyuretanu. Tato izolace je navrch opatřena vnějším koženkovým obalem opatřeným zipem. Před tím než bude celá nádrž naplněna je potřeba nejprve naplnit vnitřní nádobu pro teplou užitkovou vodu, tak aby nedošlo k poškození ochranného povrchu vnořené nádrže. Rovněž je potřeba brát zřetel na určité konstrukční parametry, jejichž výčet je vypsán níže dle [18].

Maximální provozní teplota nádrže a výměníku	95 °C
Maximální provozní tlak nádrže	3 bar
Plocha topného hada	2,4 m²
Objem topného hada	14,5 litrů
Maximální provozní tlak topného hada	10 bar
Objem vnitřní nádrže	150 litrů
Maximální provozní tlak nádrže pro teplou vodu	8 bar

Jak už bylo řečeno výše, tak bojler je určený k akumulaci vody pro vytápění a užitkem, avšak ve všech případech se jedná o uzavřené tlakové okruhy s nuceným oběhem. Otopná voda ohřívá vnořenou nádobu teplé užitkové vody. Tato vnořená část se připojuje šroubením na studenou vodu, v případě, že se

jedná o odběrnou lokalitu, tak šroubením na teplou vodu. Jakmile dojde k odebírání teplé vody z vnořené zásobníku odběrným místem, tak v ten samý okamžik do něj přitéká studená voda rovna objemu vody odebrané. Tato studená voda se ve vnořené nádrži ohřeje na teplotu nastavenou termostatem umístěným v jímce zásobníku teplé vody. Od výrobce bývá doporučeno nastavit hodnotu na termostatu v rozmezí 60 – 65 °C, čímž by měl být zaručen optimální provoz zásobníku a zároveň by měla být provedena prevence proti tvorbě bakterie zvané legionella.

4.1.2 Elektrické spirály

Pro potřeby této práce je důležitým faktorem správně zvolit dvojici elektrických spirál o vhodném příkonu, tak aby tento příkon byl dostatečný pro nahřátí akumulární nádrže, která má objem 600 litrů a zároveň představuje zásobárnu teplé užitkové vody a topné vody pro okruh podlahového vytápění.



Obrázek č. 14 ilustrační
obrázek pro výpočet příkonu
elektrických patron

Z toho 150 litrů je obsaženo v nádobě pro užitkovou vodu. Elektrické patrony představují bivalentní zdroj tepla v situacích, kdy námi zvolené tepelné čerpadlo nebude schopné provozu

Pro následující výpočty bude potřeba definovat si hodnoty jednotlivých konstant, jako jsou například účinnost ohřevu daného média pro ohřev měrná tepelná kapacita vody či skutečná hmotnost vody uložené v nádrži. Tyto konstanty bývají uváděny v technických tabulkách a pro naše potřeby byly převzaty z [19]. Ilustrační obrázek představuje skutečnou akumulární nádrž a vstupní a výstupní

teplota jsou ve skutečnosti reprezentovány teplotními snímači umístěnými na vrchu a spodku zásobníku. Jak je znázorněno v hydraulickém schématu rozvodu vody.

Podle toho jaké teploty budou nastaveny, regulace dává povel ke spouštění (dle vstupní teploty) nebo vypínání (výstupní teplota) spirál. Výstupní teplota je definována na základě výrobce akumulární nádrže. Ten doporučuje výstupní

teplotu maximálně 95 °C. Naproti tomu vstupní teplota je definovaná na takové hodnotě, která zaručuje prakticky nepřetržitý přístup k teplé vodě, jelikož k zatopení na námi požadovanou hodnotu je potřeba relativně krátká doba v řádu několika hodin na vytopení celé nádrže na požadovanou hodnotu například 65°C. Při objemu 600 litrů vody dosahuje hmotnosti $m = 595,1 \text{ kg}$. Výstupní teplota bude zvolena na 65°C a vstupní na 15°C. Doba požadovaná na úplné vyhřátí je rovna čtyřem hodinám. Měrná tepelná kapacita vody $c = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$, chceme-li provést převod z Joulů na watthodiny je potřeba tuto hodnotu podělit počtem sekund obsažených v jedné hodině. Viz vztah 7.

$$c_{Wh} = \frac{4186 \text{ W}\cdot\text{h}}{3600 \text{ kg}\cdot\text{K}} = 1,163 \frac{\text{W}\cdot\text{h}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \quad [7]$$

Potřebná energie pro ohřátí vody na námi požadovanou teplotu je dána rovnicí [8].

$$E = m \cdot c_{Wh}(t_1 - t_2)[\text{W} \cdot \text{h}] \quad [8]$$

Dosadíme-li námi definované a již vypočtené hodnoty, tak dojdeme k závěru, že potřebná energie $E = 34,6 \text{ kW} \cdot \text{h}$. Tuto energii následně dosadíme do matematického vztahu [9], díky které dosáhneme výpočtu námi požadovaného příkonu pro elektrické spirály.

$$P = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{E}{\tau} [\text{W}] \quad [9]$$

η - udává účinnost ohřevu daným médiem. V našem případě se jedná o elektřinu a má hodnotu 0,98.

τ - čas potřebný pro ohřev [h], v tomto případě se jedná o 4 hodiny.



Obrázekč. 15 elektrická spirála pro ohříváče vody [19]

Dosadíme-li tyto hodnoty do rovnice 9. Dostaneme výsledný potřebný příkon pro ohřev vody o objemu 600 litrů. Konkrétně se jedná o příkon $P = 8,8 \text{ kW}$. Vezmeme-li v potaz, v jakých řadách o různých příkonech se elektrické spirály vyrábějí, a zároveň, že je zapotřebí tyto patrony ještě poněkud příkonově nadsadit, aby systém fungoval správně. Dojdeme k závěru, že je zapotřebí do akumulární nádrže dodat dvě patrony, přičemž každá z patron bude dosahovat příkonu 4,5 kW.

4.1.3 Regulace UVR 1611

Co se týče z hlediska počtu výstupů z a počtu do vstupů našeho systému, tak naše požadavky na vhodný regulátor zcela jistě splňuje volně programovatelná univerzální regulace UVR 1611 s LCD displejem ovládaná se pomocí rolovacího kolečka. Tento regulátor je schopen díky tomu že každý funkční modul dovoluje několika násobnou adresaci ovládat až 11 výstupů, v závislosti až na 16 teplotních čidlech. Lze ho považovat za vhodný pro řízení poněkud složitějších topných či solárních systémů. Regulátor umožňuje dodatečné přidání dalšího relé modulu s dvěma dalšími výstupy. UVR 1611 rovněž nabízí možnost výměny dat mezi dalšími regulátory UVR 1611 přes interní komunikační síť CAN - Bus nebo upravování vlastností topného systému přes internet. Součástí regulace je rovněž integrovaný potenciostat, jenž představuje elektrickou ochranu proti korozi. Pro aktualizaci a přenášení softwarových dat lze využít integrovaného infračerveného portu. Pro prvotní zavedení dat do regulace se potřeba využít tzv. bootloader BL-NET.



Obrázek č. 16 Regulace UVR1611 [20]

Výhoda bootloaderu je kromě zálohování a aktualizace dat na PC rovněž v umožnění ethernetového rozhraní, které dovoluje správci přímý přístup k informacím o systému přes internetový prohlížeč. Bootloader rovněž obsahuje GSM modul, který umožňuje správu regulovaného systému pomocí SMS zpráv. V neposlední řadě lze regulaci UVR 1611 dovybavit CAN monitorem, což je prostorový termostat, neboli zobrazovací a nahrávací jednotka pro UVR 1611, která dokáže zároveň i snímat teplotu v prostoru. S regulací UVR 1611 komunikuje pomocí komunikace CAN – Bus. Následkem využití CAN monitoru je možnost ovládání a přístup do regulace z více zobrazovacích jednotek. Stejně tak je možno z jednoho monitoru přistupovat k více regulacím v komunikační síti. Pro parametrizaci a programování kompletní funkce regulace se využívá grafického rozhraní TAPPS.



Obrázek č.17 Bootloader BL-NET a CAN monitor [21]

Mezi charakteristické vlastnosti regulátoru UVR 1611 patří jeho 16 senzorových vstupů, pro čidla řady KTY a nebo PT1000. Tyto vstupy lze rovněž využít jako digitální vstupy. Dva ze vstupů (konkrétně vstupy S15 a S16) jsou konstrukčně provedeny rovněž jako impulzní a jeden vstup (S8) jako proudová smyčka s rozsahem 10 – 20 mA či jako řídicí napětí v rozmezí 0 – 10 V. Řada KTY je označení pro tepelně závislé křemíkové čidlo s kladným teplotním koeficientem. Tyto senzory se vyrábějí v různých typech přičemž, každý typ má různou rezistivitu normovanou pro určitou teplotu (obvykle se jedná o 25 °C) a různý rozsah pracovních teplot. Oproti tomu řada PTY značí platinový teplotní senzor. Čidla řady PT jsou mezi odpory vyrobenými z kovu nejpoužívanější. Mezi jejich hlavní výhody patří veliký rozsah teplot, časová stálost, chemická netečnost a vysoká teplota tání. [22]



Obrázek č.18 senzor řady PT1000

Mezi výstupy univerzální volně programovatelné regulace patří 4 výstupy nabízející možnost regulace otáček a 7 reléových výstupů, každý s odlišnými vlastnostmi a využitím. Pro lepší představu budou jednotlivé výstupy zavedeny v následující tabulce udávající jejich specifické vlastnosti.

A1	umožňuje regulaci otáček a však pouze do 0,7 A, obsahuje odrušovací filtr, rovněž vhodný k regulaci větrání s fázovým řízením
A2,A6,A7	umožňují regulaci otáček pro čerpadla
A3	spínací reléový výstup pro různé spotřebiče
A4	spínací reléový výstup pro různé spotřebiče, zejména vhodný pro ventily bez zpětné pružiny
A5	bezpotenciální reléový výstup, spínací a rozpínací pro ohřev s předepsaným odstupem od síťového napětí
A8,A9	spínací reléový výstup pro různé spotřebiče
A10,A11	A10 spínací reléový výstup, A11 spínací a rozpínací pro libovolné spotřebiče. Vhodný pro míchací motory, vzhledem ke společné nulovací svěrce pro oba výstupy

Tabulka č. 1. Seznam výstupů UVR 1611 a jejich vlastnosti

Regulace UVR 1611 rovněž obsahuje několik v podstatě speciálních výstupů. Tyto výstupy regulátoru jsou značeny PTS, HIREL 1 a 2, DL a 0-10V. PTS je zkratkou pro již výše zmíněný potenciostat, což není nic jiného než titanová elektroda, která má zabránit korozi v zásobníku pro teplou užitkovou vodu náhradou za magnesiiovou anodu, jejíž funkce byla vysvětlena v odstavcích věnovaných akumulární nádrži.

Hirel 1 a 2 jsou zjednodušeno řídicí vedení umožňující připojení modulu, který umožňuje obsluhování dalších vstupů a výstupů. Nazývá se CAN I/O a je vyráběn ve dvou typech CAN I/O 44 a CAN I/O 35. První číslice za názvem značí počet vstupů a druhá počet výstupů. Výstupy vždy obsahují 3 digitální výstupy a zbytek výstupů je analogových. Tento přídatný modul využívá komunikace CAN – Bus.



Obrázek č.19 přídatný modul k regulaci UVR 1611 CAN I/O 44 [16]

DL výstup slouží jako jednoduché datové vedení pro sledování informací neboli dat prostřednictvím Bootloaderu a výstup 0 – 10 V, který lze považovat jako řídicí mající normovanou úroveň napětí a může sloužit například k modulaci topení.

4.1.4 Tepelné čerpadlo

Vzhledem k tepelným ztrátám objektu nízkoenergetického domu, které nepřesahují 7,5 kW a s ohledem na podlahové vytápění, nakonec bylo vybráno tepelné čerpadlo od firmy Mitsubshi Electric, typ Zubadan PUAZ – SHW112YHA. Toto čerpadlo je instalováno na střechu domu, čímž prakticky zcela omezí nežádoucí účinky akustického tlaku, který tepelné čerpadlo produkuje. Jedná se o invertorové tepelné čerpadlo umožňující frekvenční řízení kompresorů, díky čemuž tepelné čerpadlo dosahuje vyšší životnosti a umožňuje plynulou regulaci výkonu. Toto čerpadlo využívá takzvaný split systém, což značí, že venkovní jednotka tepelného čerpadla umístěná na střeše neobsahuje integrovaný výměník chladivo/kapalina. Dle prodejce i výrobce je garantován 100% jmenovitý topný výkon i při teplotě -15 °C.[4] Toto čerpadlo je provozu schopné i při teplotě do -25 °C a to při 75 % jmenovitém výkonu. V případě ještě nižších teplot může dojít k poškození tepelného čerpadla. Díky novým technologiím umožňují jednotky Zubadan správné využití v rozsahu od -25 °C do +35 °C

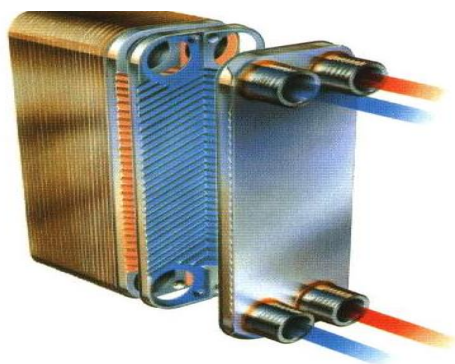
Tento typ tepelného čerpadla se vyznačuje topným výkonem až 11,2 kW a chladícím výkonem až 10 kW, při požadavcích na elektrický příkon, který činí 3,71 kW. Obě hodnoty platí pro tabulkový parametr A2/W35. Kde zkratka A2 značí průměrnou teplotu v topném období v námi zvolené lokalitě, v závislosti na výstupní teplotě +35 °C pro podlahové vytápění. Při kombinaci daných podmínek dosahuje námi vybrané tepelné čerpadlo vzduch voda topného faktoru COP 3,34. Toto je hodnota naměřená během stoprocentního výkonu tepelného čerpadla. Dle



Obrázek č. 20 Tepelné čerpadlo PUHZ- SHW112YHA [24]

výrobce tyto čerpadla dosahují akustického tlaku v rozmezí 52 až 58 dB ve vzdálenosti 1 metru a výšce 1,5 metru. Konstrukční vlastnosti tepelného čerpadla umožňují vést chladicí kapalinu až do vzdálenosti 75 m. Jako chladicí kapalinu, využívá tepelné čerpadlo ekologické chladivo R410a. Příklad ke svému provozu potřebuje tři fázový zdroj napětí a doporučení jištění je udáváno 16 A jističem, vzhledem k tomu že maximální provozní proud dle výrobce může dosáhnout 13 A.

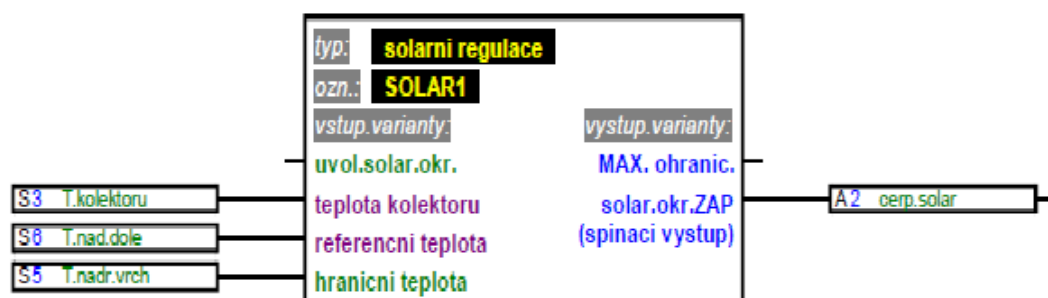
Další neméně důležitou částí celého systému je zvolení vhodného výměníku pro předávání energie mezi okruhem tepelného čerpadla a okruhem teplé vody. Stejně jako tepelné čerpadlo, tak i deskový výměník má svůj vliv a podíl na skutečné hodnotě topného faktoru COP. Pro naše potřeby byl zvolen deskový výměník tepla značený B25THx40. Standardním materiálem pro jednotlivé desky výměníku je nerezová ocel. Jednotlivé desky jsou vakuově pájené čistou mědí nebo pájkou fungující na bázi niklu. Principiálně je výměník tvořen svazkem desek mající vlnitý tvar. Tyto vlny tvoří ve struktuře jakési kanály mezi přední a zadní krycí deskou. Krycí deska je ve své podstatě těsnící deska. Počet jednotlivých vlnitých a krycích desek závisí na velikosti výměníku. Vzhledem k tomu, že chceme co nejvyšší hodnotu topného faktoru COP je potřeba provést jednak tepelnou izolaci výměníku, ale rovněž tepelnou izolaci celého potrubí, pro rozvod vody.



Obrázek č. 21 Ilustrační obrázek deskového výměníku [23]

4.2 Vývojové diagramy

4.2.1 Vývojový diagram solárního okruhu

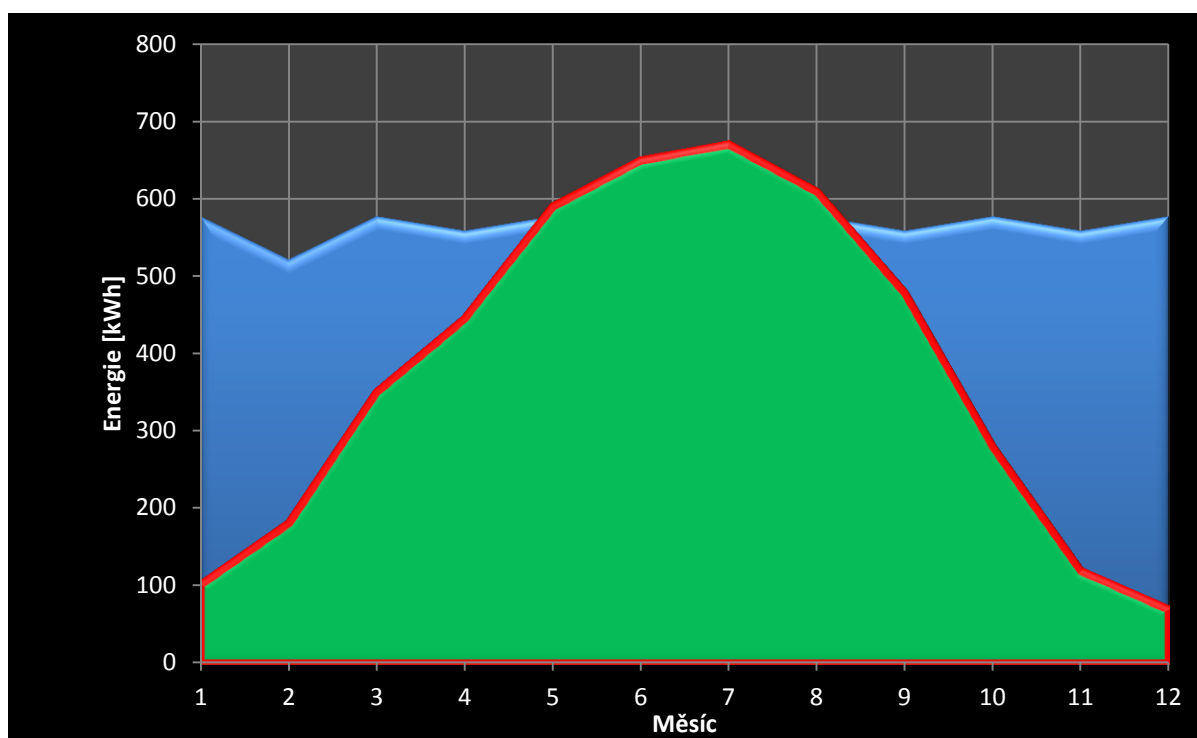


Obrázek č. 22 Vývojový diagram regulace solárního okruhu prostřednictvím grafického prostředí TAPPS

Solární okruh je regulován na základě informací o teplotách v jednotlivých sekcích systému. Rozhodující pro chod oběhového čerpadla solárního systému jsou teploty na vrchu kolektoru a teplota na nádrži dole. Jako hraniční teplotu lze považovat velikost námi požadované teploty na vrchu akumulární nádrže. Regulace sleduje diferenci teplot mezi teplotou na solárních kolektorech a teplotou v nádrži, jestliže je mezi těmito teplotami rozdíl 10°C a více, pak běží oběhové čerpadlo solárních kolektorů, jakmile je tato diference nižší, tak toto oběhové čerpadlo je vypnuté. Solární kolektory slouží jako podpora pro ohřev teplé vody k vytápění a teplé užitkové vody v zimních měsících a v letních měsících nám v ideálních podmínkách počasí pokrývá ohřev teplé užitkové vody a snižuje tak

nároky na spínání tepelného čerpadla a tím nabízí další úsporu energie, kterou by tepelné čerpadlo spotřebovalo.

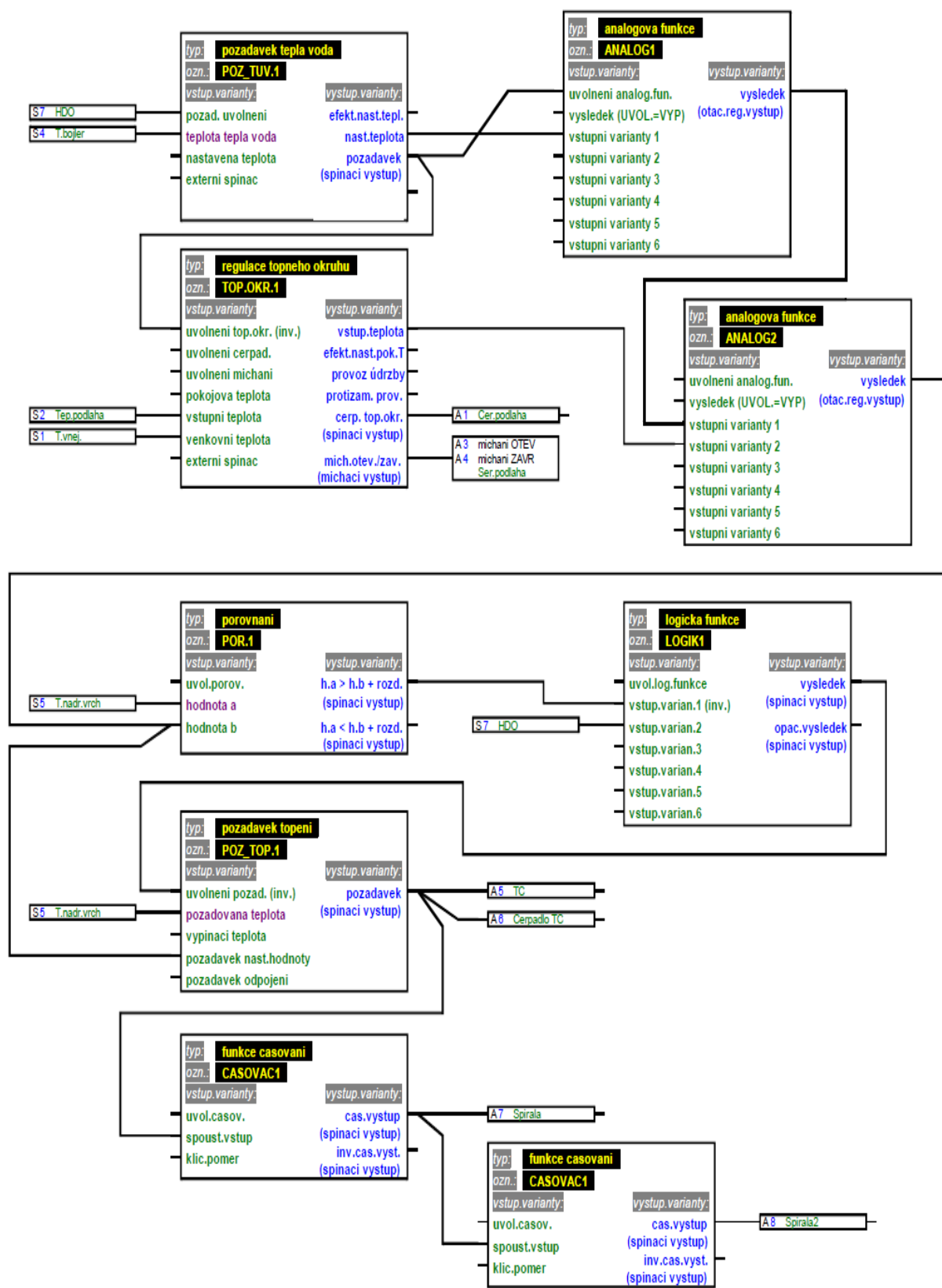
Modelový graf, který znázorňuje pokrytí vyrobeného tepla pomocí solárních kolektorů v průběhu roku je vyobrazen pod tímto odstavcem. V grafu je modře znázorněna očekávaná potřeba energie, která je nutná na ohřev 150 litrů teplé užitkové vody v průběhu roku. Zatímco červená oblast znázorňuje teplo, které je soustava 3 solárních kolektorů schopná dodat v průběhu roku. Z modelu je patrné že během letních měsíců jsou solární kolektory při dobrém počasí schopny dodat dostatečné množství tepla, tak aby pokryly veškerou spotřebu. Přebytečná energie, je využita tak, že dochází k přetopení zásobníku nad námi požadovanou hodnotu a v podstatě tak zajišťuje akumulaci velkého množství tepla po delší dobu. Zeleně je značena oblast energie, kterou pokrývá energie vyrobená tepelným čerpadlem.



Graf č. 1 Modelový graf, který předpovídá množství energie vyrobené solární soustavou v průběhu roku a zároveň mapuje pokrytí v závislosti na předpokládaném potřebném množství energie

4.2.2 Vývojový diagram ústřední topení

Následující řádky budou věnovány popisu vývojového diagramu, který byl vytvořen v grafickém prostředí TAPPS určeném přímo pro programování funkce regulace UVR 1611. Regulace topného okruhu s podlahovým vytápěním funguje ekvitermě v závislosti na venkovní teplotě. Takže máme-li venkovní teplotu nižší než například 18 °C, dojde k sepnutí oběhového čerpadla určeného pro podlahové vytápění a zároveň začne trojcestný směšovací ventil směšovat, dokud nedojde k vyhřátí na námi požadovanou teplotu, jak je znázorněno v bloku označeném jako TOP. OKR. 1. Navzdory tomuto platí, že teplá užitková voda uložená ve vnořeném zásobníku má vždy přednost před vodou určenou k vytápění, což je dáno právě konstrukcí zásobníku. K tomuto účelu právě slouží analogová funkce značená v diagramu jako ANALOG 1, která uchovává informaci o námi požadované hodnotě teploty teplé užitkové vody plus informaci o její odchylce. V případě, že definujeme požadavek na teplotu užitkové vody například na hodnotu 60 °C a ve skutečnosti dojde k poklesu této hodnoty o více jak 3 stupně nastane situace, kdy dojde k vytápění nádrže pro TUV, tím pádem vypne oběhové čerpadlo ústředního topení a trojcestný ventil přestane směšovat a uzavře se. Analogová funkce značená jako ANALOG 2 má za úkol porovnávat informace o teplotě teplé užitkové vody a teplotě vody určené k vytápění. Přičemž vyšší z těchto teplot bere regulace jako nominální a pracuje s ní v dalším vývoji.



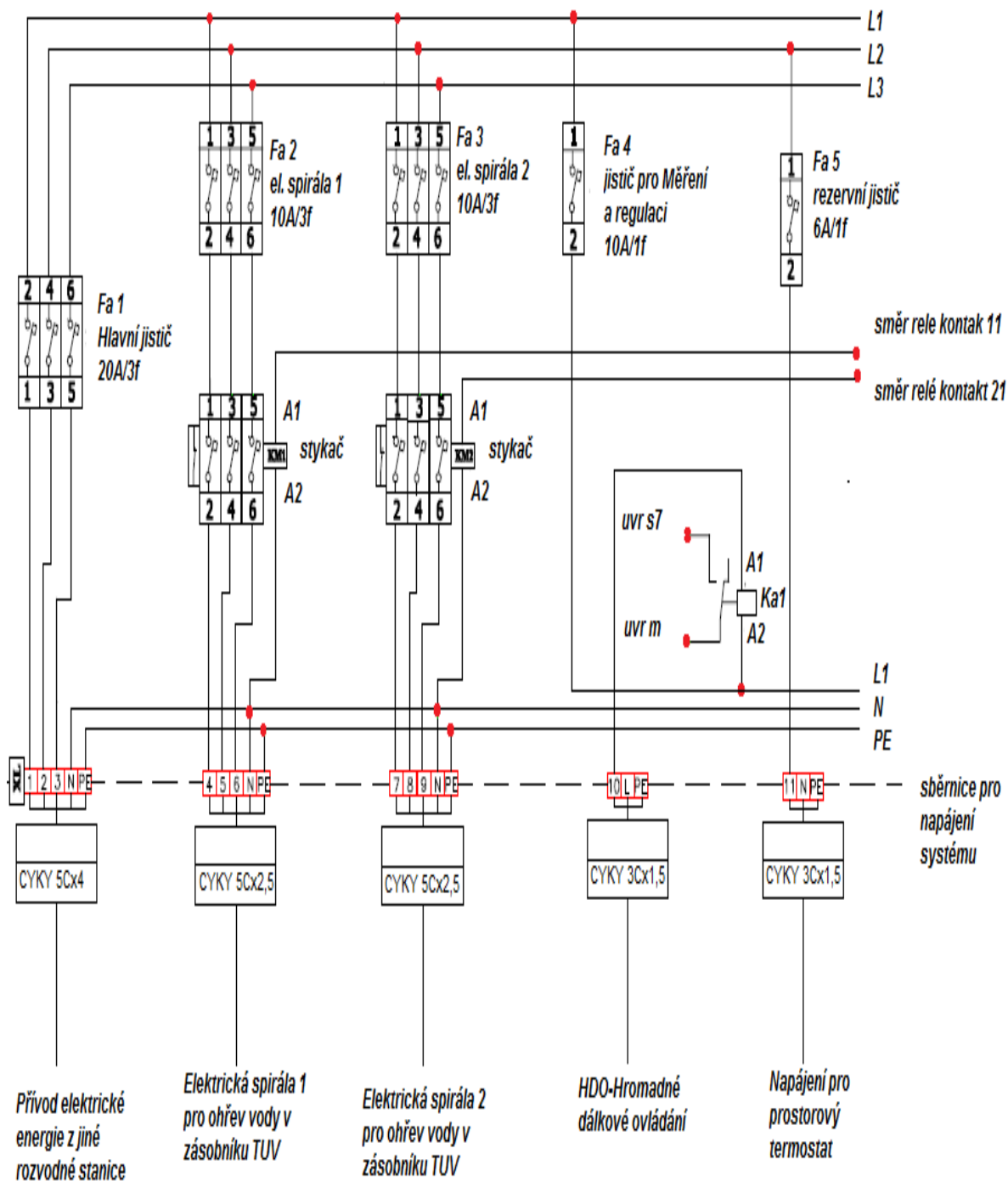
Obrázek č. 23 Vývojový diagram regulace topného okruhu podlahového vytápění navržený ve vývojovém prostředí TAPPS

V další fázi dochází k porovnání teploty námi požadované na vrchní úrovni nádrže s teplotou nominální, kterou nám určila analogová funkce ANALOG 2. Zde platí, že pokud je požadovaná hodnota teploty na vrchu nádrže větší, než teplota skutečná na vrchu nádrže plus rozdíl což jsou právě ty 3 °C, přichází na řadu logická funkce značená LOGIK 1, jejíž úkolem je vyhodnotit situaci, kdy je splněná předchozí podmínka $h.a > h.b + \text{rozdíl}$ a zároveň je splněna podmínka o dolní sazbě za cenu elektrické energie. V případě, že jsou obě s těchto podmínek splněny, nastává uvolnění požadavku na topení a v tom případě dochází jednak k sepnutí tepelného čerpadla a za druhé k sepnutí oběhového čerpadla přidruženému k okruhu tepelného čerpadla. Nastane-li situace, že námi zvolená jednotka nebude schopna dodat dostatek energie k vytopení nádrže pro otopnou vodu na požadovanou hodnotu za námi definovaný čas pomocí časovací funkce CASOVAC 1, dochází k sepnutí první ze dvou elektrických spirál. V případě, že ani v tentokrát už kratším časovém intervalu nedojde ke splnění našich požadavků, dojde k sepnutí druhé elektrické patrony. Jako vhodný časový interval pro sepnutí první z elektrických spirál se jeví interval v řádu hodin, konkrétně 3 až 4 hodiny. Zatímco interval před sepnutím druhé spirály je o poznání kratší a dosahuje řádu desítky minut. Postupné spínání jednotlivých spirál by mělo omezit náklady na elektrickou energii.

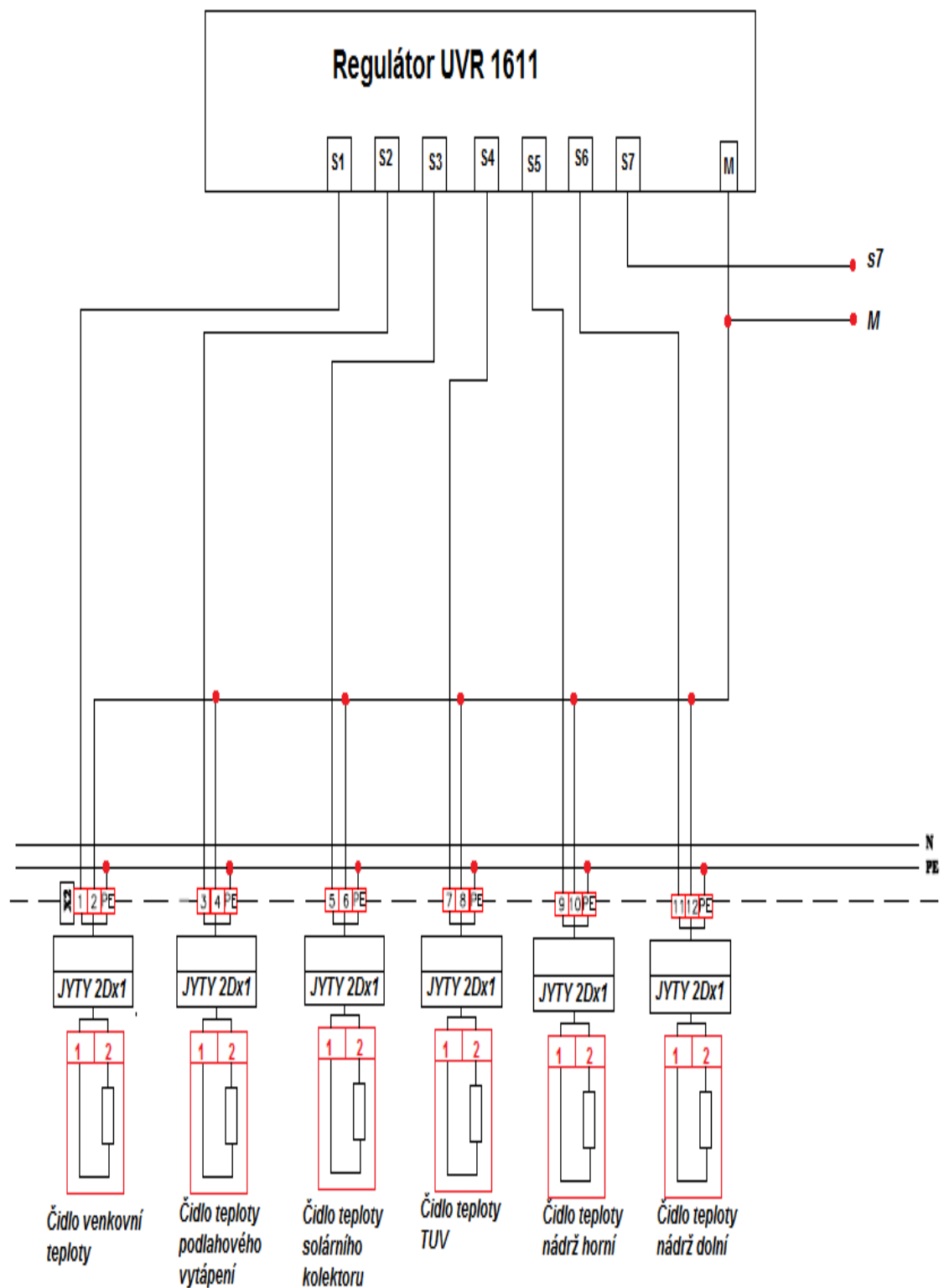
5 ELEKTROINSTALACE

5.1 Elektrické schéma skutečného zapojení rozvaděče pro měření a regulaci

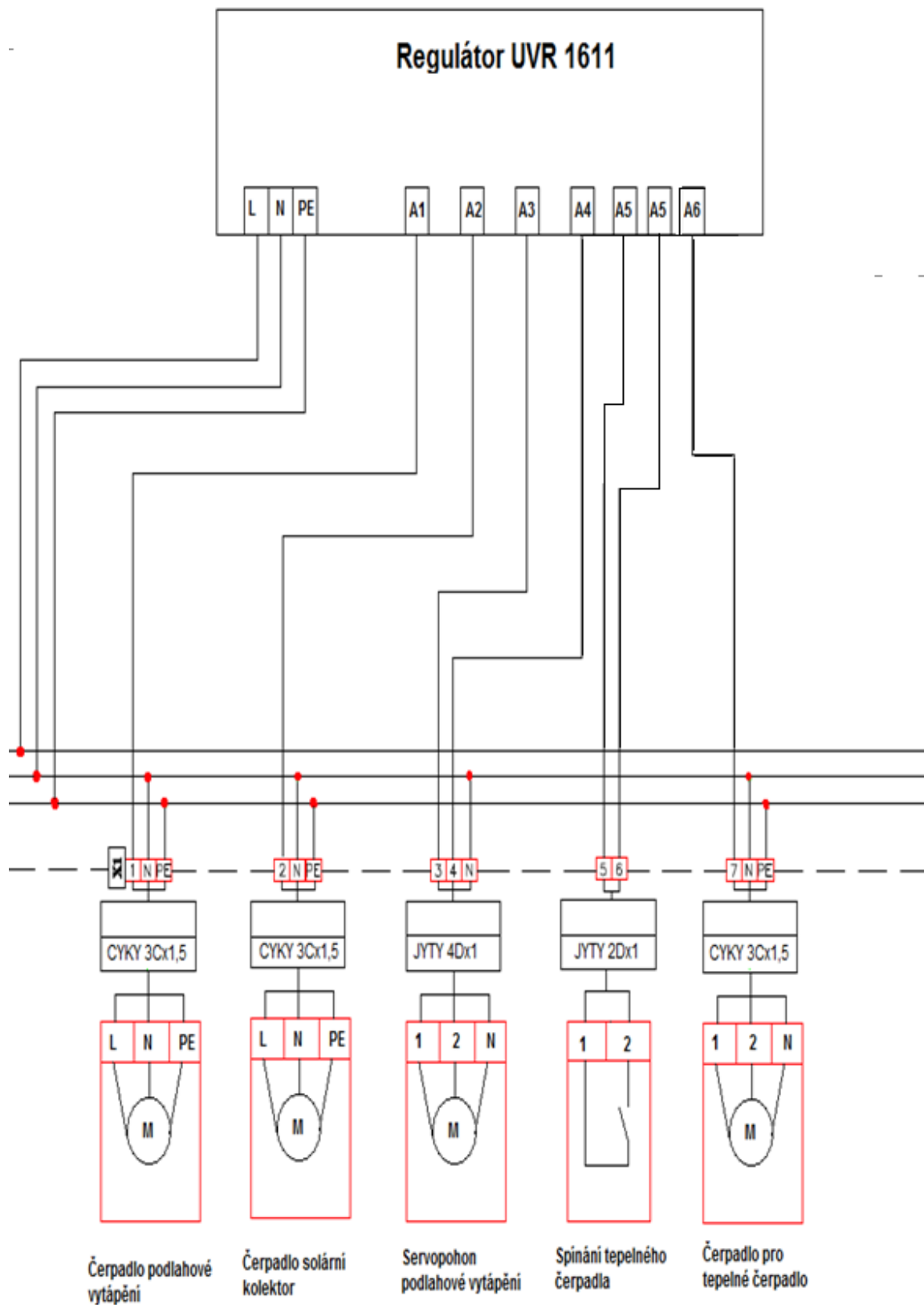
Na následujících obrázcích je vyobrazeno schéma skutečného zapojení pro konkrétní příklad této bakalářské práce. Toto schéma je vytvořeno svépomocí a je součástí regulačního rozvaděče a je skutečně provedeno a ozkoušeno v nízkoenergetickém rodinném domku v městě Loket, jenž se nalézá v Karlovarském kraji, konkrétně v severovýchodní části okresu Sokolov. Rozvaděč je uložen v plastovém boxu určenému pro povrchovou montáž. Box má rozměry 400 milimetrů šířky, 600 milimetrů výšky a 250 milimetrů hloubky. Tento úložný prostor rovněž dosahuje krytí IP 35. Pod pojmem krytí si je možno představit konstrukční provedení poskytující ochranu před dotykem živých částí, či před vniknutím cizích předmětů, jako jsou prach, voda, či jiné nežádoucí materiály, které mohou poškodit a narušit správný chod rozvodny. V našem konkrétním případě zkratka IP značí normu a číslovka 35 značí stupeň ochrany. První číslo, tedy 3 znamená, že zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 2,5mm a větších a před dotykem nástrojem. Druhé číslo, neboli v našem případě 5, dle zdroje značí, že box chrání před tryskající vodou a jejímu vniknutí do rozvodny. Což se dá považovat za dostatečné krytí vzhledem k tomu, že rozvaděč se nachází ve stejné místnosti, jako se nachází zásobník pro teplou užitkovou vodu. [25]



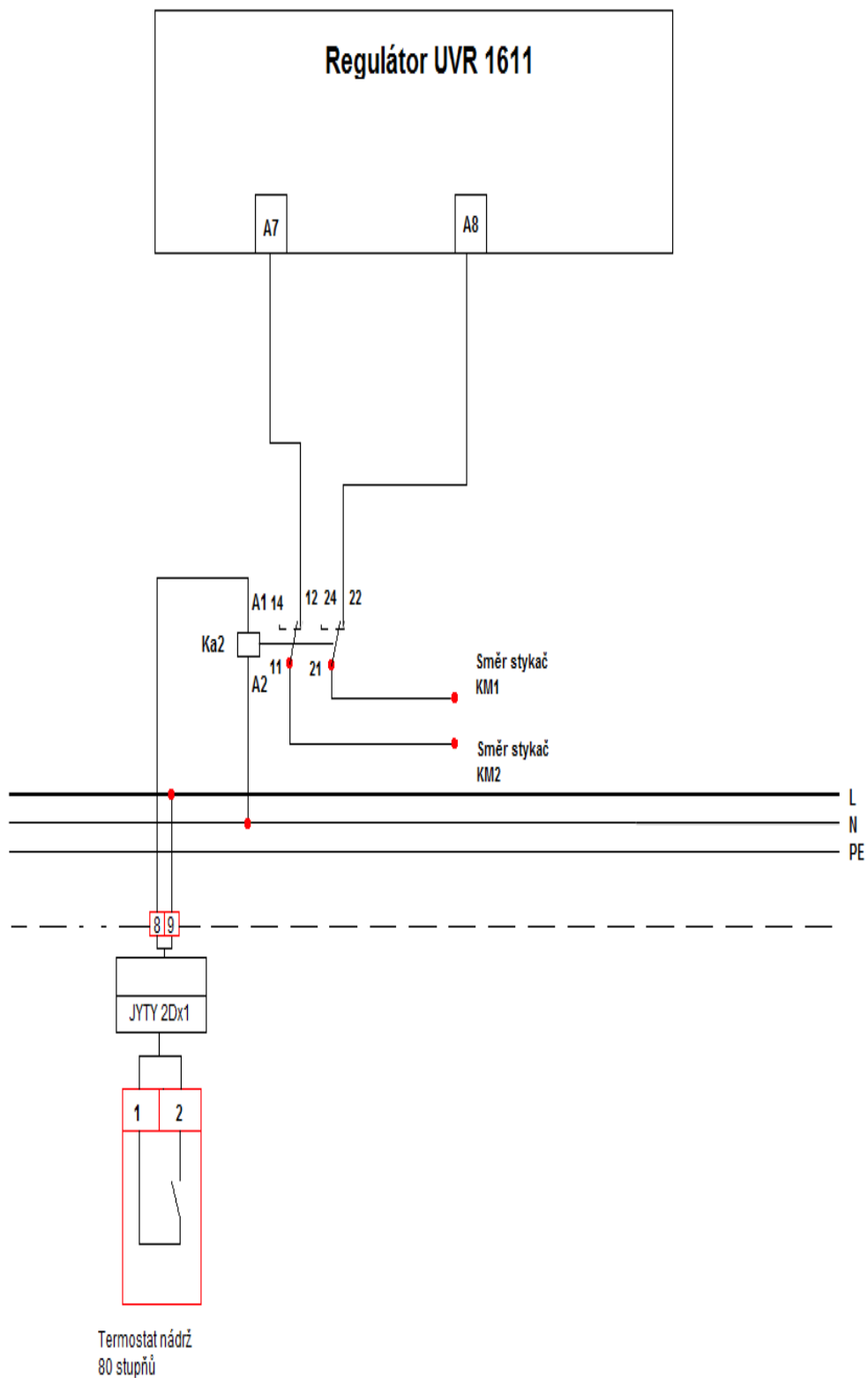
Obrázek č. 24 Schéma skutečného zapojení rozvodné stanice pro měření a regulaci tepelného čerpadla a solárních kolektorů 1. část



Obrázek č. 25 Schéma skutečného zapojení rozvodné stanice pro měření a regulaci tepelného čerpadla a solárních kolektorů 2. část



Obrázek č. 26 Schéma skutečného zapojení rozvodné stanice pro měření a regulaci tepelného čerpadla a solárních kolektorů 3. část



Obrázek č. 27 Schéma skutečného zapojení rozvodné stanice pro měření a regulaci tepelného čerpadla a solárních kolektorů 4. část

5.1.1 Napájení regulace

Podíváme-li se na dané schéma podrobně, tak můžeme vidět, že daný obvod musí splňovat hned několik požadavků na správnou funkčnost. Jako zásadní a nezbytné se jeví napájení rozvaděče. Toto napájení bylo obstaráno z rozvaděče pro elektroinstalaci rozvodů v domě a je řešeno pomocí tří fázového silového kabelu značeného CYKY5Cx4. CYKY značí typ kabelu, tohoto kabelu se využívá pro všechny silová zařízení a je charakteristický černou barvou izolace a měděnými pevnými žilami. Číslice 5 znamená počet žil, písmeno C odkazuje na způsob značení jednotlivých žil. V našem případě se jedná o kombinaci hnědá, černá a šedivá pro značení fází, modrá barva pro nulovou žílu a zelenožlutá pro zemnicí drát. Koncová číslice 4 značí průměr jedné žíly kabelu. Průměr užitého drátu ovlivňuje proudovou zatížitelnost dané smyčky jmenovitým proudem a ovlivňuje správné dimenzování jističe pro danou smyčku. Nebude-li uvedeno jinak, tak toto schéma značení platí pro všechny použité kabely.

Vzhledem k požadavkům zákazníka a samotného regulačního systému, byl nakonec vybrán pro regulaci volně programovatelný regulátor UVR 1611, jehož specifikaci je věnována samostatná kapitola. Nyní však pro správné pochopení elektrického zapojení je alespoň potřeba si určit jaké parametry bude náš regulátor považovat za vstupní a jaké parametry bude považovat za výstupní. Dané rozdělení je provedeno v následující tabulce 1., které odpovídá i danému značení ve schématu pro schéma zapojení rozvodu vody. Pro lepší pochopení bude na následujících stránkách přidáno blokové schéma.

5.1.2 Vstupní prvky regulace

Jako vstupní parametry jsou brány povětšinou snímače teploty, jejichž funkcí je snímat aktuální teplotu v prostoru pro ně přiděleném. Informace o teplotě je okamžitě ve formě napětí posílána na vstup regulátoru, který tuto informaci vyhodnotí jako nějakou hodnotu, či číslo a podle toho jedná. Vyhodnotí-li regulátor číslo jako „dostatečné“, tak aby vyhovovalo požadavkům nastavení regulátoru, lze celý systém považovat za stabilní. Nastane-li však situace, která nebude

vyhovovat námi vyžadovanému nastavení, je potřeba do systému zasáhnout a právě k tomu nám slouží výstupy regulace. Veškeré elektrické vedení pro předávání informace mezi snímači a regulátorem je tažené kabelem typu JYTY 2Dx1.

Tabulka vstupů a výstupů pro regulátor UVR 1611	
Číslo vstupů	Označení vstupů
1	Teplota venkovní
2	Teplota topení
3	Teplota solární kolektory
4	Teplota teplé užitkové vody
5	Teplota v zásobníku nahoře
6	Teplota v zásobníku dole
7	Hromadné dálkové ovládání (HDO)
Číslo výstupů	Označení výstupů
1	Čerpadlo topení
2	Čerpadlo pro solární kolektory
3	Servopohon topení - (otvírá)
4	Servopohon topení - (zavírá)
5	Zapnutí tepelného čerpadla
6	Čerpadlo tepelného čerpadla
7	El. Spirála 1
8	El. Spirála 2

Tabulka č 2. Vstupy a výstupy UVR1611

5.1.3 Okruh pro tepelné čerpadlo a elektrické spirály

V našem případě, lze jako vzorový výstup regulace považovat požadavek na sepnutí tepelného čerpadla a přidruženého oběhového čerpadla k tepelnému čerpadlu. K sepnutí nastane pouze v případě, že bude splněn požadavek na dolní sazbu za cenu elektrické energie. Tepelné čerpadlo bude spínat na základě porovnání teplot v nádrži pro teplou užitkovou vodu a vodu pro vytápění. Zároveň

bude spínat s ohledem na množství energie, které dodá do systému okruh elektrických spirál. Pro lepší představu bude proveden popis funkce spínání tepelného čerpadla v závislosti na jednotlivých prvcích v řádcích věnovaných vývojovému diagramu regulace.

Dalším případem výstupu regulace je okruh elektrických spirál. Jeho úkolem je zajistit ohřev teplé užitkové vody a vody pro vytápění v situacích, kdy z nějakého důvodu není možno užívat tepelné čerpadlo. Například když je venku -10 až -20 °C a počasí nedovoluje jejich správné užívání, jelikož bývají dimenzována maximálně do těchto hodnot podle typu a výrobce. V tomto případě je spínání a vypínání spirál hlídáno za pomoci termostatu pro teplou užitkovou vodu, jakmile termostat sepne, vyšle signál relé KA2 které ovládá okruh stykačů KM1 a KM2, které slouží ke spínání silových okruhů elektrických spirál. Ve stykači je uložena cívka, na kterou je přes relé přiveden proud o malém napětí. Díky tomuto procesu se kolem cívky začne indukovat magnetické pole, které má tendenci přitahovat pohyblivou kotvu směrem k pevné kotvě. Jakmile dojde k přitažení, obvody spirál přecházejí do sepnutého stavu a mohou dodávat příkon do akumulární nádrže. Tento příkon se projeví jako uložené teplo.

5.1.4 Okruh ústředního topení

Náš regulátor UVR 1611 má na starosti řídit teplotu vodu v otopné soustavě ekvitermě, neboli v závislosti na venkovní teplotě a zvolené křivce. Pro úspěšnou regulaci vody okruhu podlahového topení znázorněného v blokovém schématu skutečného zapojení rozvodu vody jsou zcela zásadní prvky tři prvky. Těmito prvky jsou snímač teploty okruhu podlahového vytápění, cirkulační čerpadlo pro tento okruh a směšovací ventil. Jakmile teplota topné vody dosáhne určité úrovně, tak zapřičiní otevření směšovacího ventilu. Následně dojde k sepnutí cirkulačního čerpadla, čímž je zajištěna dodávka teplé vody do otopné soustavy, která má na starosti předávání tepla do prostoru. Teplota směšovacího okruhu je snímána, takže pokavád' je teplota vody na vratné smyčce pouze nepatrně nižší než teplota na přívodní smyčce, dojde k přivření směšovacího ventilu a množství topné vody dodané do okruhu se zmenší. Naproti tomu, jakmile bude rozdíl teplot mezi přívodní a vratnou smyčkou značný, tak se směšovací ventil začne pootvírat

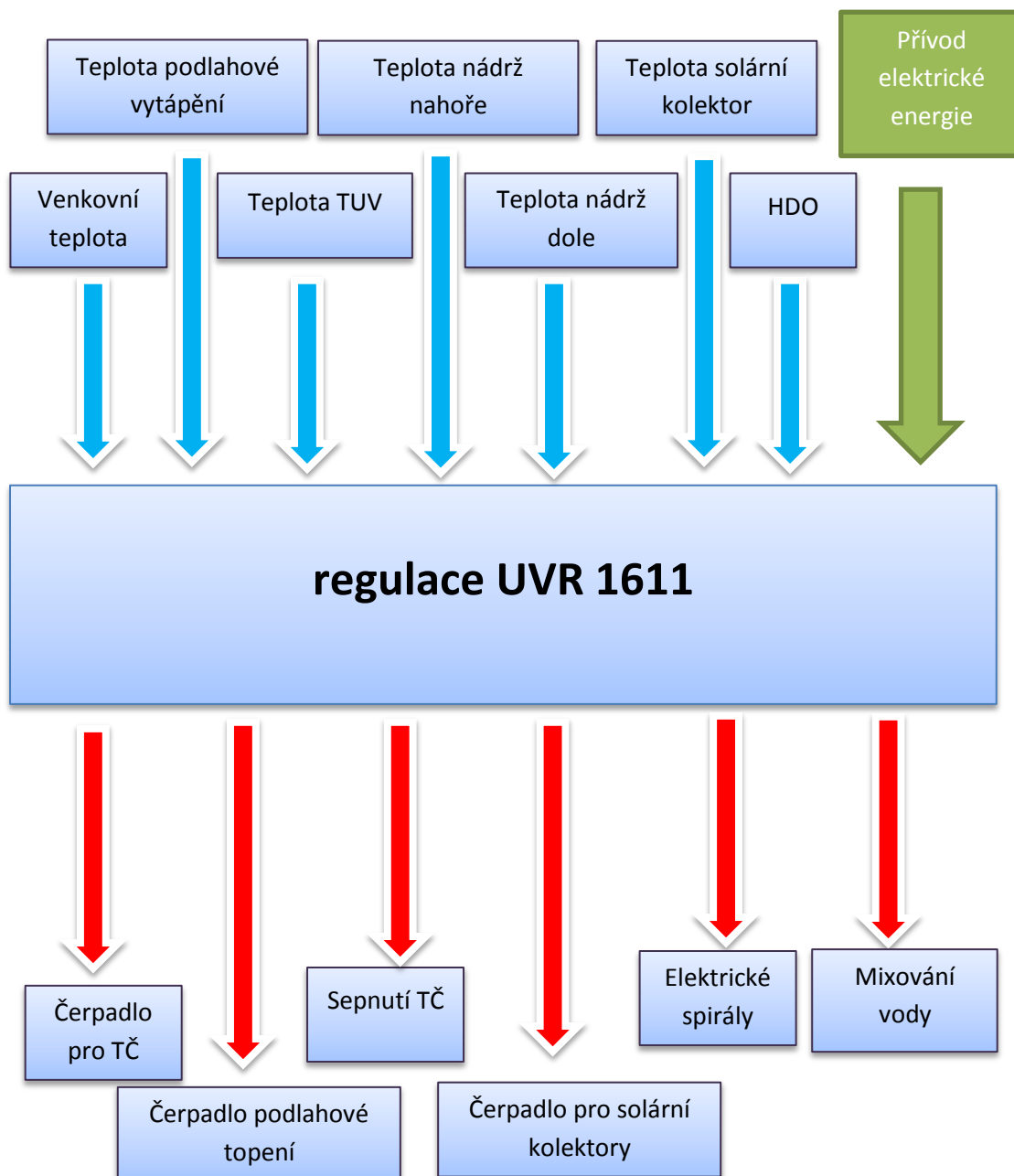
a množství teplé vody v okruhu poroste. Rozdíl teplot na přívodu a vratné smyčce, si lze jednoduše vysvětlit předáním tepla otopným tělesem neboli podlahovým topením do prostoru. Jednoduše shrnuto starostí regulátoru je na základě snímané teploty na vratném okruhu dávat povely na spínání čerpadla a otvírání nebo přivírání směšovacího ventilu v závislosti na požadavcích regulace.

5.1.5 Okruh solárních kolektorů

Další starostí UVR 1611 bude řídit smyčku obsluhující solární kolektory. Jak už bylo řečeno výše, tak v potrubí této smyčky koluje solární kapalina, která je náchylná na teploty. Dojde-li k přehřátí solárního systému, dojde zároveň k přeměně solární kapaliny na páru a následnému uvolnění ze vzdušníku, který tyto páry uvolňuje ven ze systému, aby nedošlo k přetlaku v okruhu. Jakmile ovšem dojde k opětovnému ochlazení těchto par zpět na kapalinu, může vzniknout jakási vzduchová kapsa, která by mohla následně zapříčinit zavzdušnění systému, což by vedlo k jeho nesprávné funkci. Proto je zapotřebí do systému přidat snímač teploty solárních kolektorů, který je v reálu umístěn na vstupu kapaliny do solárního kolektoru. Tento senzor hlídá, aby nedošlo k výše zmíněnému přehřátí systému. Jakmile teplota dosáhne, nebo překročí námi požadovanou teplotu, je povinností regulace dát podnět neboli impulz na spínání cirkulačního čerpadla solárního okruhu, následkem čehož ohřátá kapalina začne obíhat systémem a předávat teplo skrz žebrový do akumulární nádrže.

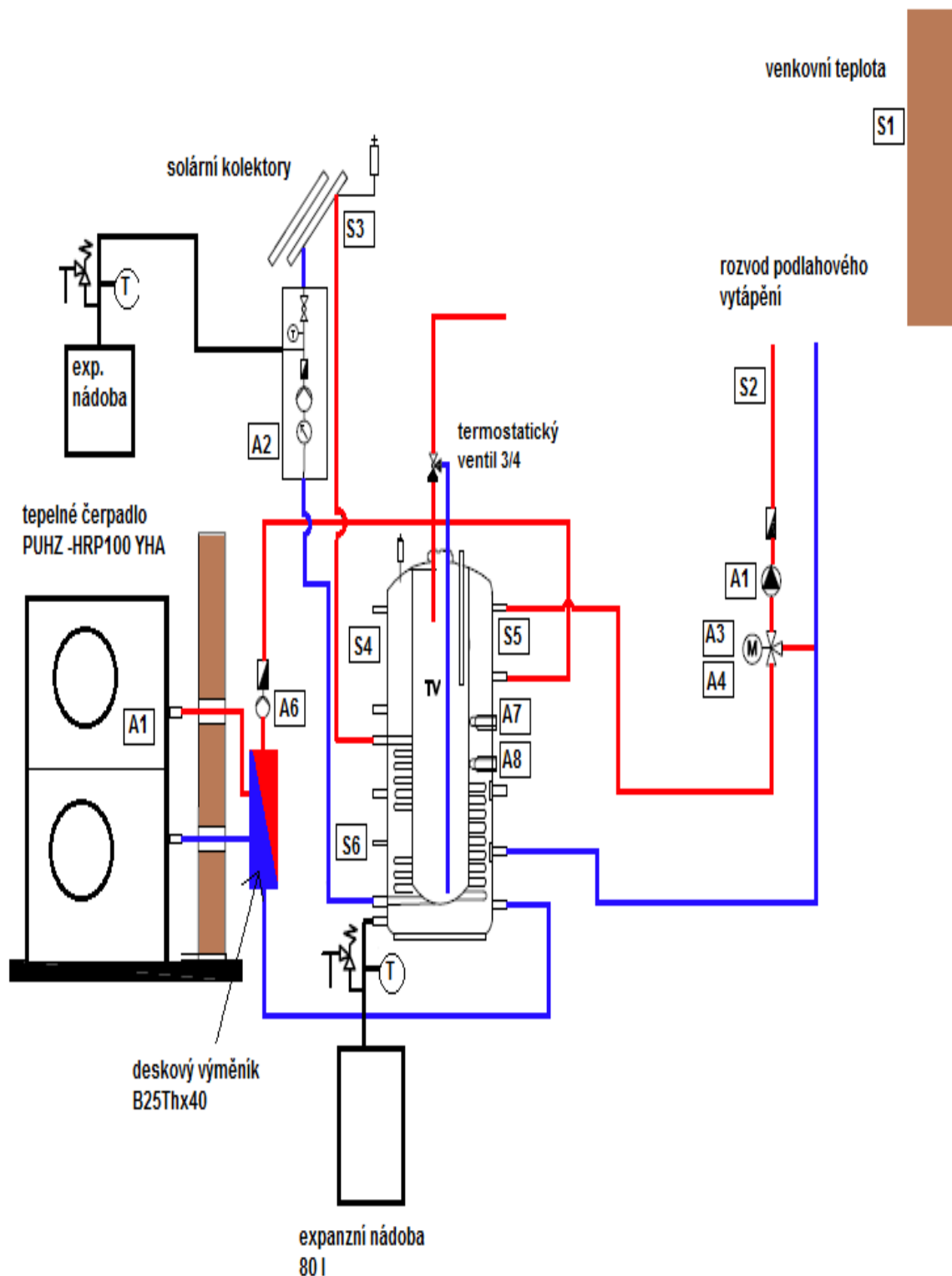
5.2 Bloková schéma

5.2.1 Blokové schéma systému regulace



Obrázek č. 28 Blokové schéma regulace systému pomocí UVR 1611

5.2.2 Blokové schéma skutečného zapojení rozvodu vody



Obrázek č. 29 Blokové schéma skutečného zapojení rozvodu vody

6 VÝPOČET ROČNÍCH NÁKLADŮ NA PROVOZ TEPELNÉHO ČERPADLA A NÁVRATNOSTI SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

6.1 Určení pořizovacích nákladů

Pro výpočet návratnosti tepelného čerpadla je zapotřebí zohlednit hned několik faktorů, které mohou ovlivnit, celkovou návratnost zvoleného systému. Nejdůležitějším faktorem, tak jak už tomu bývá, jsou pořizovací náklady na celý systém. V našem případě, jako pořizovací náklady chápeme výdaje za technologie ústředního topení, výdaje za technologie solárního systému a v neposlední řadě výdaje potřebné na samotnou regulaci systému ať už samotnou regulaci UVR 1611 a čidla k jejímu řízení, ale i prostorový termostat a elektrické hlavice potřebné pro úpravu požadavků na podlahové vytápění. Dále se do nákladů samozřejmě projeví náklady na realizaci, montáž, uvedení do provozu plus potřebné administrativní úkony jako jsou revizní zprávy, či technické dokumentace. Vše je pro lepší přehled znázorněno v následujících tabulkách.

<i>Materiál</i>	Jednotková cena	kusů	celkem	
<i>Technologie ÚT</i>				
1	Akumulační nádrž Duo e 600 l/150 l TUV vč. izolace	43 000 Kč	1	43 000 Kč
2	Topná spirála TUV4,5 kW	800 Kč	2	1 600 Kč
3	Tepelné čerpadlo 4,5-11 kW	125 000 Kč	1	125 000 Kč
4	Řídící jednotka pro tepelné čerpadlo	30 000 Kč	1	30 000 Kč
5	Freonové vedení cena za 1bm vč. izolace a chráničky	210 Kč	30	6 300 Kč
6	Deskový výměník tepelně izolovaný	7 900 Kč	1	7 900 Kč
7	TERMOMIX 3/4 - termostatický ventil TV 38-65°C, připojení G 3/4"	690 Kč	1	690 Kč
8	provozní termostat kapilárový,0-90°C, kapilára 1m IP40	360 Kč	1	360 Kč
10	Čerpadlo oběhové GRUNDFOS UPS 25-40	3 200 Kč	1	3 200 Kč
11	Čerpadlo oběhové GRUNDFOS ALPHA 25-40	4 649 Kč	1	4 649 Kč
12	Servopohon ESBE	2 460 Kč	1	2 460 Kč
13	Směšovací armatury trojcestné 3MG 25-12 ESBE	888 Kč	1	888 Kč
14	Teploměr d 80 mm. 0-150°C	266 Kč	6	1 596 Kč
15	Expanzní nádoba 50 l	2 500 Kč	1	2 500 Kč
	Montáž technologie ústředního topení			48 000 Kč
	Doprava a přesun materiálu			4 500 Kč
	cena bez DPH			282 643 Kč

Tabulka č. 3 Seznam položek a nákladů potřebných k realizaci ústředního topení

Tabulka č. 3 obsahuje seznam položek, které jsou potřebné k realizaci ústředního topení, rovněž ukazují orientační ceny nabízené specializovanou firmou. Jednotlivé ceny jsou udávány bez daně z přidané hodnoty. Tyto ceny byly předloženy investorovi a byly jím následně schváleny, a po realizaci i uhrazeny. Skutečná cena jednotlivých položek se může lišit a závisí na smluvních podmínkách daných mezi firmou, co stavbu realizuje a dodavatelem, který dodává jednotlivé armatury. Tento projekt nepočítá s cenou podlahového vytápění, jelikož její realizace byla zadavatelem určena někomu jinému.

Měření a regulace

16	UVR 1611 - Volně programovatelný regulátor	12 300 Kč	1	12 300 Kč
17	Čidlo teploty jímkové	330 Kč	3	990 Kč
18	Čidlo teploty podlahové vytápění	482 Kč	1	482,00 Kč
19	Čidlo teploty solární kolektor	625 Kč	1	625 Kč
20	Čidlo teploty venkovní	275 Kč	1	275 Kč
21	Prostorový termostat základní regulace kolečkem	350	6	2 100 Kč
22	Elektrické hlavice na podlahové vytápění	857,00 Kč	8	6 850 Kč
	Kabely a kabelové trasy			6 500 Kč
	Montáž měření a regulace včetně rozvodné stanice			15 000 Kč
	Dokumentace, zprovoznění regulace, zaškolení, revize			13 000 Kč
	Doprava a přesun materiálu			4 500 Kč
	<u>cena bez DPH</u>			62 622 Kč

Tabulka č. 4 Seznam položek a nákladů potřebných k realizaci měření a regulace

Solární systém

23	Sluneční kolektor KPS 11	11900	3	35 700,00 Kč
24	Držák trojúhelníkový 25 °C	1490	4	5 960,00 Kč
25	Kolektorová montážní sada	3 660 Kč	1	3 660,00 Kč
26	Odvzdušňovací ventil solární	569 Kč	1	569,00 Kč
27	Kulový kohout solární	260 Kč	1	260,00 Kč
28	Náplň do kolektoru 9 (v litrech)	97 Kč	50	4 850,00 Kč
29	Čerpadlová skupina	5 900 Kč	1	5 900,00 Kč
30	Expanzní nádoba 18l	999 Kč	1	999,00 Kč
31	Drobný montážní materiál	1 000 Kč	1	1 000,00 Kč
	montáž solárních kolektorů			18 000,00 Kč
	doprava a přesun materiálu			4 500,00 Kč
	<u>cena bez DPH</u>			81 398,00 Kč
	<u>celková cena bez DPH</u>			426 663 Kč
	<u>cena s 10% sazbou DPH</u>			469 329 Kč

Tabulka č. 5 Seznam položek a nákladů potřebných k realizaci soustavy solárních kolektorů + celková cena celého projektu bez a s DPH

Pro tabulky 4 a 5 platí stejné informace, jako jsou uvedeny k tabulce 3 s tím rozdílem, že obsahují rozpis položek pro měření a regulaci potažmo pro solární kolektory. Je zde zahrnuta rovněž celková cena bez DPH, tato cena je součtem cen jednotlivých částí systému, které jsou rovněž udávány bez DPH. K této ceně, je následně provedená 10% přírůžka k ceně, které činí daň z přidané hodnoty.

6.2 Určení spotřeby tepla za jeden rok

K určení návratnosti je zapotřebí docela složitých postupů, proto pro následující výpočty bylo využito tabulek z [26], které jsou vysoce propracované. Pro naše účely je zapotřebí říci, že daná lokalita se nachází v Karlovarském kraji. Zde je počítáno s délkou otopného období $d=254$ dní s průměrnou teplotou během otopného období $t_{es} = 3,8$ °C a střední venkovní teplotou pro začátek a konec otopného období $t_{em} = 13$ °C. Jedná se o nízkoenergetický dům, neboli pasivní, tak počítejme, že tepelné ztráty v objektu nepřesahují $Q_c = 7,5$ kW a průměrná vnitřní teplota, kterou chceme udržet a budeme podle ní počítat činní $t_{is} = 19$ °C, jelikož pro obytné budovy by se měla pohybovat v rozmezí 18,2 až 19,1 °C.

Pro další postup je potřeba si definovat *denostupeň*, který se dále bude značit D . Tak jak už sám název napovídá, jedná se o hodnotu, která je přímo úměrná počtu dní udávajících otopné období d a rozdílu teplot mezi průměrnou vnitřní výpočtovou teplotou t_{is} a průměrnou teplotou během otopného období t_{es} . Matematicky je dána následujícím vztahem.

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad [10]$$

K určení celkového množství energie potřebného k vytápění, je dále zapotřebí si definovat opravný součinitel a účinnosti systému pro účinnost obsluhy $\mu_0 = 0,95$, jež je dán provedením regulace a účinností rozvodu $\mu_r = 0,95$, který je dán provedením rozvodu vytápění. Jako opravný součinitel ε se rozumí součin jednotlivých složek e_i, e_t, e_d , kde e_i značí nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem. Tepelná ztráta infiltrací obvykle tvoří 10 až 20 % celkové tepelné ztráty a volí se v rozmezí 0,8 až 0,9. Zatímco e_t označuje snížení teploty v místnosti během dne potažmo během noci. Tato konstanta se volí v rozmezí od 0,8 do 1 s ohledem na to, po jakou dobu dne vyžadujeme

stoprocentní výkon námi zvolené otopné soustavy. Poslední z konstant e_d se udává pro vytápění u objektů, které mají přestávky v provozu řádu dní. Pro rodinné domy s ekvitermní regulací z praxe vyplývá, že ε je přibližně rovno 0,67.

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad [11]$$

Vzorec pro určení potřebné energie[MWh/rok] na vytápění je následující

$$Q_{VYTr} = \frac{\varepsilon}{\mu_o \cdot \mu_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \quad [12]$$

ε - opravný součinitel

μ_o - účinnost obsluhy

μ_r - účinnost rozvodu

Q_c - tepelné ztráty objektu [kW]

D - denostupeň

t_{is} - průměrná vnitřní výpočtová teplota [°C]

t_e - venkovní výpočtová teplota [°C]

Po dosazení námi definovaných hodnot dojde k závěru, že roční spotřeba energie, která je určená na vytápění činí 54,6 GJ/rok či 15,2 MWh/rok

Pro naše potřeby je však rovněž důležité, jaké kvantum energie spotřebuje ohřev teplé vody. Toto množství energie je závislé zejména na způsobu regulace samotného systému. Budeme-li ohřívat studenou vodu o počáteční teplotě například 10°C na námi zvolenou úroveň, budeme logicky potřebovat více energie, aby se voda ohřála, než kdyby počáteční teplota byla 20°C. S ohledem na naše potřeby, budeme nyní uvažovat, že teplota studené vody $t_1=15^\circ\text{C}$ a teplota teplé vody, neboli teplota na kterou budeme nádrž vytápět $t_2= 60^\circ\text{C}$. Měrná hustota vody $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ a měrná tepelná kapacita vody je dle tabulek $c = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$. Budeme-li uvažovat, že je potřeba ohřívat vodu pro 3 lidi, pak celková potřeba teplé vody na jeden činí $V_{2p} = 0,246 \frac{\text{m}^3}{\text{den}}$, jelikož dle [26] lze uvažovat v obytné

stavbě $0,082 \frac{m^3}{den}$ pro jednu osobu. Dále je zapotřebí si definovat koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody, který závisí na stylu provedení rozvodu vody a době její cirkulace. Běžně se tento koeficient pohybuje v rozmezí 50 až 100%. Pro novostavby tento koeficient dosahuje maximálně hodnoty $z = 0,5$. Na základě těchto informací můžeme dosadit do následujícího vzorce a určit tak velikost tepla, které je potřebné pro ohřev teplé vody na jeden den.

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [13]$$

Po výpočtu zjistíme, že denní potřeba tepla činí 19,3 kWh. Nyní je však potřeba si určit jaké kvantum energie je zapotřebí pro celý rok a to zjistíme dle následující rovnice.

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} (N - d) \quad [14]$$

$Q_{TUV,r}$ – roční spotřeba tepla pro ohřev teplé vody [MWh/rok]

$Q_{TUV,d}$ – denní spotřeba tepla pro ohřev teplé vody [kWh]

d – délka topného období v našem případě 254 dní

t_2 – teplota teplé vody 60°C

t_{svl} – teplota studené vody během letních měsíců 15°C

t_{svz} – teplota studené vody během zimních měsíců 5°C

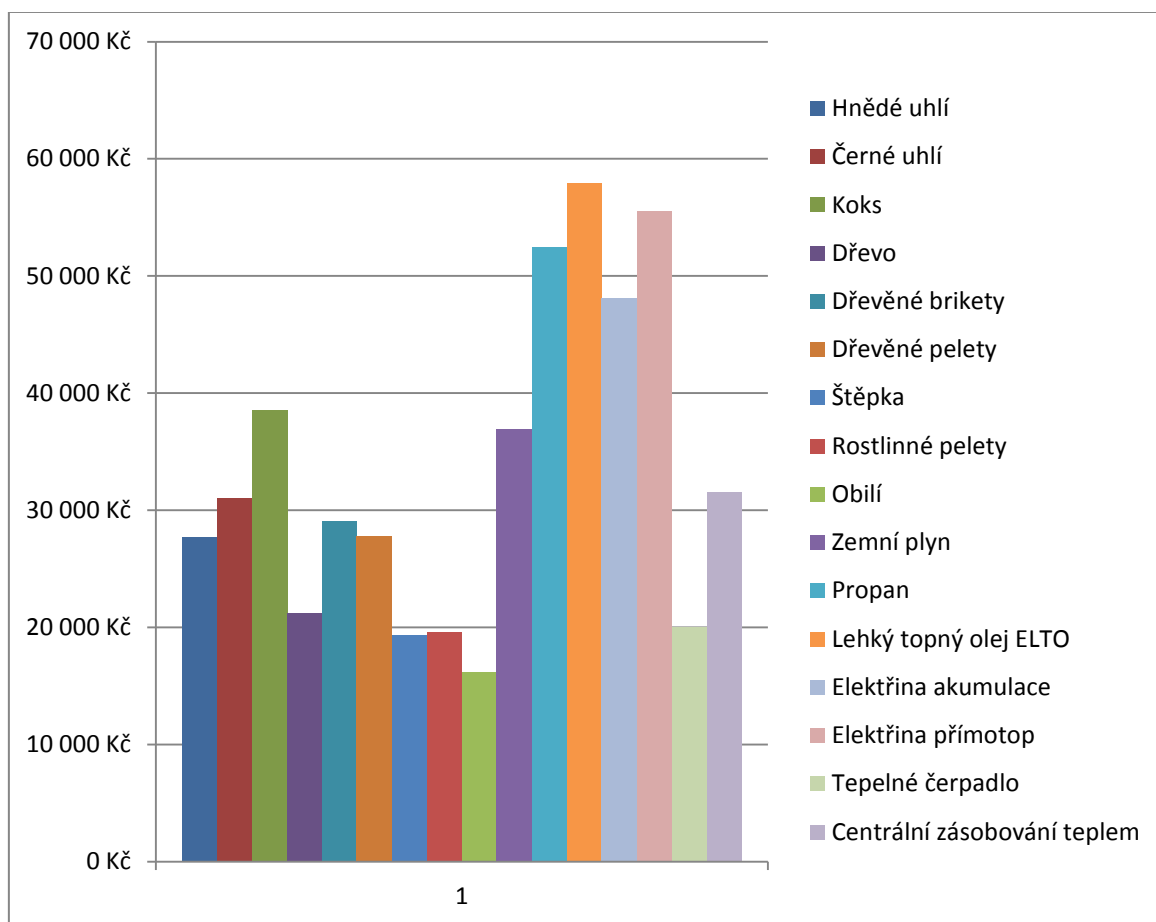
N – počet dní, během kterých by měla naše soustava pracovat (365 dní)

Po dosazení a výpočtu zjistíme, že pro ohřev teplé vody bude ročně zapotřebí 22,7 GJ/rok neboli 6,3 MWh/rok. Sečtením nákladů na vytápění a nákladů na ohřev teplé užitkové vody dostaneme energetickou potřebu obydlí na jeden rok.

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = 77,3 \frac{GJ}{rok} = 21,5 \frac{MWh}{rok} \quad [15]$$

6.3 Porovnání ročních nákladů jednotlivých zdrojů tepla

Nyní je zapotřebí provést porovnání peněžních nákladů jednotlivých zdrojů energie při dané potřebě tepla. K tomu použijeme ceny dodavatelů energie a zemního plynu platné k 1. 4. 2014. Ceny ostatních zdrojů energie jsou orientační, jelikož ne zcela přesně určit ceny nastavené prodejcem dřeva či štěpky. Porovnání je provedeno v následující tabulce a následujícím sloupcovém grafu, pro lepší rozlišení jednotlivých cen.



Graf č.2 Graf znázorňující vypočtené roční náklady na energii v závislosti na zvoleném palivu a zdroji energie [27]

Hnědé uhlí	Černé uhlí	Koks	Dřevo	Dřevěné brikety	Dřevěné pelety	Štěpka	Rostlinné pelety
27 719 Kč	31 030 Kč	38 537 Kč	21 178 Kč	29 101 Kč	27 817 Kč	19 325 Kč	19 593 Kč
Obilí	Zemní plyn	Propan	ELTO	Elektřina akumulace	Elektřina přímotop	Tepelné čerpadlo	Centrální zásobování teplem
16 167 Kč	36 922 Kč	52 412 Kč	57 903 Kč	48 111 Kč	55 499 Kč	19 984 Kč	31 551 Kč

Tabulka č. 6 Znárodnující roční náklady jednotlivých zdrojů tepla na provoz při námi stanovené potřebě tepla

Z tohoto porovnání můžeme vyčíst, že tepelné čerpadlo není, co se týče finančních nákladů nejlevnější variantou. Toto vše při třífázovém jističi pro tepelné čerpadlo, který nepřesahuje 16 A. Poněvadž volba jističe ovlivňuje cenu tarifu elektrické energie. V porovnání s dřevem lze dokonce tvrdit, že co do cenové náročnosti jsou relativně srovnatelné, dokonce lze považovat tepelné čerpadlo jako levnější variantu. A však systém s tepelným čerpadlem nabízí díky možnosti regulace vyšší komfort investorovy, potažmo uživateli systému. Výhody námi zvolené jednotky se ovšem začnou rapidně projevovat, budeme-li porovnávat náklady na vytápění a ohřev teplé užitkové vody například vůči elektrické energii nebo zemnímu plynu. V takovémto případě, lze říci, že náklady při používání tepelného čerpadla jsou téměř poloviční v porovnání s plynovým kotlem a dokonce třetinové oproti elektrické energii. Z grafu je rovněž vidět i cenový rozdíl nákladů na roční provoz mezi jednotlivými zdroji tepelné energie. Nutno ovšem poznamenat, že pořizovací náklady na přímotop, či plynový kotel, jsou o nižší, než co se týče tepelného čerpadla vzduch voda.

6.4 Určení návratnosti soustavy solárních kolektorů

Pro naše potřeby bylo využito tří solárních kolektorů, které by měli sloužit jako podpora k tepelnému čerpadlu při ohřívání 150 litrů teplé užitkové vody pro 3 lidi. Podle modelového grafu 1, vyskytujícího se v sekci vývojových diagramů, který předpovídá množství energie vyrobené solární soustavou v průběhu roku a zároveň mapuje pokrytí v závislosti na předpokládaném potřebném množství

energie lze předpokládat, že tyto kolektory dodají v průběhu roku 3178 kWh energie. Takovéto množství energie představuje při cenové relaci elektrické energie 2,43 Kč za jeden kilowatt při nízkém tarifu roční úsporu 7723 Kč.

rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
roční úspory v CZK	7723	8109	8514	8940	9387	9856	10349	10866	11410	11980	12579
součet	7723	15831	24345	33285	42672	52528	62877	73743	85153	97133	109712

Tabulka č. 7 určení doby návratnosti okruhu solárních kolektorů

Cena elektrické energie je platná ke konci roku 2013 dle webových stránek ČEZ, který je dodavatelem elektrické energie[17]. Tarif d56d je speciální tarif pro tepelná čerpadla vybudována po roce 2005 a přináší 22 hodinovou sazbu nízkého odběru. Budeme-li počítat že náklady na instalaci solárních kolektorů činí 81 398 Kč bez DPH, tak po následné 10% přírážce za DPH zjistíme, že skutečné náklady činí 89 538 Kč. Porovnáme-li tedy roční úsporu 7723 Kč a připočteme-li k ní za každý rok 5% jako předpokládaný růst cen energií zjistíme, že solární kolektory si na svůj provoz vydělají zpět po 9 až 10 letech provozu. Tento trend je pro lepší představu znázorněn v následující tabulce.

7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo popsat informace k problematice návrhu automatického řízení soustavy vytápění a ohřevu teplé užitkové vody za pomoci tepelného čerpadla a soustavy solárních kolektorů. Byl použit volně programovatelný regulátor UVR 1611 s možností regulace teploty v každé místnosti ekvitermně. K tomuto účelu bylo užito modelového příkladu na rodinném domě, který byl skutečně realizován ve městě Locket a majitel tohoto objektu využívá zvoleného systému do dnešních dnů bez větších problémů, co se funkčnosti regulace týče. Na základě požadavků na projekt byla provedena cenová analýza jednotlivých prvků regulace a definována následná roční úspora za vytápění a ohřev vody vůči ostatním alternativním zdrojům tepla. Díky analýze bylo zjištěno, že u systému řízeným regulátorem UVR 1611, který obsahuje podlahové vytápění, akumulární nádrž o objemu 600 litrů s vnořeným 150 litrovým zásobníkem pro teplou užitkovou vodu, dále pak tepelné čerpadlo typu vzduch voda a soustavu 3 solárních kolektorů se cena šplhá k 470 000,- Kč. Nutno podotknout, že tato cena není vzorovou pro každý takovýto systém, jelikož tato částka je proměnlivá s ohledem na to kolik lidí systém využívá. Svou roli rovněž hrají tepelné ztráty objektu a rozloha objektu.

Při výpočtu ročních úspor za vytápění pomocí tepelného čerpadla bylo za pomoci výpočtů stanoveno množství vyrobeného tepla ročně, které činí 21,5 MWh/rok. Při této úrovni energie úspory tepelného čerpadla vůči vytápění plynem 16 938,-Kč oproti elektrickému přímotopu činí dokonce 35 515,-Kč. V porovnání při vytápění dřevem a tepelným čerpadlem nám roční bilance přijdou v podstatě srovnatelné, ale i tak tepelné čerpadlo s faktorem 3 vychází jako nejlepší, připočteme-li fakt, že tepelné čerpadlo poskytuje uživateli o poznání větší komfort, díky tomu, že není potřeba řešit náklady na dopravu a úpravu topného média. Nemluvě o další úspoře spojené s cenovým tarifem d56d.

Topný faktor výrazně ovlivňuje způsob regulace a volba ústředního topení a tepelné ztráty objektu. Paradoxně-lze říci že čím nižší tepelné ztráty v objektu jsou, tím nižší úsporu v porovnání ostatními zdroji tepelné čerpadlo přináší. Dle této studie lze říci, že varianta tepelného čerpadla v kombinaci se

solárními kolektory sloužícími jako přehřev a podpora tepelnému čerpadlu se zdá jako vhodná. Náklady na realizaci okruhu solárních kolektorů nejsou sice zanedbatelné. Dle výpočtu ovšem zjistíme, že si na sebe solární kolektory zpět vydělají za 10 let, ačkoliv volba tepelného čerpadla snižuje tarif za cenu elektrické energie na tarif d56d s 22 hodinovým nízkým odběrem a tím prodlužuje dobu návratnosti solárních kolektorů, které mají dobu životnosti mezi 25 až 30 lety. Na základě toho lze říci, že zvolené solární kolektory si za dobu svého provozu můžou 2 krát až 3 vydělat.

Nutno podotknout, že do výpočtů nebyly zahrnuty náklady na údržbu tepelného čerpadla a solárních kolektorů jako jsou drobné opravy či výměna solární kapaliny. Taktéž do výpočtu nebyly zahrnuty výdaje za elektrickou energii odebranou ostatními elektrickými spotřebiči běžně užívanými v domácnosti. Tato cena bude také nižší, díky již výše zmíněnému tarifu d56d, který přináší podstatnou úsporu. Na druhou stranu nelze zcela odhadnout, jakým směrem se bude ubírat budoucnost, co se týče výzkumu dalších alternativních zdrojů energie, mezi které patří například studená fúze. Do budoucna by bylo určitě vhodné provést podrobnější měření na tomto objektu a sledovat tak podrobně vývoj úspor systému. Co se vylepšení systému týče, nabízí se například za pomoci bootladeru ovládat systém vytápění dálkově přes internet.

8 SEZNAM TABULEK OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Tabulky

Tabulka č. 1. Seznam výstupů UVR 1611 a jejich vlastnosti

Tabulka č. 2. Vstupy a výstupy UVR1611

Tabulka č. 3 Seznam položek a nákladů potřebných k realizaci ústředního topení (strana 57)

Tabulka č. 4 Seznam položek a nákladů potřebných k realizaci měření a regulace (strana 58)

Tabulka č. 5 Seznam položek a nákladů potřebných k realizaci soustavy solárních kolektorů + celková cena celého projektu bez a s DPH (strana 58)

Tabulka č. 6 Znázorňující roční náklady jednotlivých zdrojů tepla na provoz při námi stanovené potřebě tepla (strana 63)

Tabulka č. 7 určení doby návratnosti okruhu solárních kolektorů (strana 64)

Obrázky

Obrázek č.1 Princip činnosti vzduch/voda

Obrázek č.2 Schéma provedení TČ voda/voda

Obrázek č. 3 Princip činnosti TČ země/voda

Obrázek č. 4 Princip činnosti TČ vzduch/vzduch

Obrázek č. 5 Blokové schéma regulačního obvodu a jeho logika se zpětnou vazbou

Obrázek č. 6 Blokové schéma PID regulace

Obrázek č. 7 Průběh PID regulace s konstantními velikostmi K_p a K_d a různou velikostí K_i

Obrázek č. 8 Průběh PID regulace s konstantními velikostmi K_p a K_d a různou velikostí K_i

Obrázek č.9. Průběh regulace při proměnné konstantě K_d a konstantním K_p a K_i

Obrázek 10. Ekvitermní křivky popisující různé teploty v místnosti

Obrázek č.11 plochý vakuový kolektor

Obrázek č. 12 trubicový vakuový kolektor

Obrázek č 13. Akumulační zásobník DUO-E 600/150 I

Obrázek č. 14 ilustrační obrázek pro výpočet příkonu elektrických patron

Obrázek č. 15 elektrická spirála pro ohřivače vody

Obrázek č. 16 Regulace UVR1611

Obrázek č. 17 Bootloader BL-NET a CAN monitor

Obrázek č. 18 senzor řady PT1000

Obrázek č. 19 přídatný modul k regulaci UVR 1611 CAN I/O 44 [16]

Obrázek č. 20 Tepelné čerpadlo PUHZ- SHW112YHA

Obrázek č. 21 Ilustrační obrázek deskového výměníku

Obrázek č. 22 Vývojový diagram regulace solárního okruhu prostřednictvím grafického prostředí TAPPS

Obrázek č. 23 Vývojový diagram regulace topného okruhu podlahového vytápění navržený ve vývojovém prostředí TAPPS

Obrázek č. 24 Schéma skutečného zapojení rozvodné stanice pro měření a regulaci tepelného čerpadla a solárních kolektorů 1. Část

Obrázek č. 25 Schéma skutečného zapojení rozvodné stanice pro měření a regulaci tepelného čerpadla a solárních kolektorů 2. Část

Obrázek č. 26 Schéma skutečného zapojení rozvodné stanice pro měření a regulaci tepelného čerpadla a solárních kolektorů 3. Část

Obrázek č. 27 Schéma skutečného zapojení rozvodné stanice pro měření a regulaci tepelného čerpadla a solárních kolektorů 4. Část

Obrázek č. 28 Blokové schéma regulace systému pomocí UVR 1611

Obrázek č. 29 Blokové schéma skutečného zapojení rozvodu vody

Obrázek č. 30 Graf znázorňující vypočtené roční náklady na energii v závislosti na zvoleném palivu a zdroji energie

Grafy

Graf č. 1 Modelový graf, který předpovídá množství energie vyrobené solární soustavou v průběhu roku a zároveň mapuje pokrytí v závislosti na předpokládaném potřebném množství energie

Graf č.2 Graf znázorňující vypočtené roční náklady na energii v závislosti na zvoleném palivu a zdroji energie

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/610-druhy-termodynamicky-zakon>
- [2] <http://www.asb-portal.cz/tzb/vytapeni/historie-avyvoj-tepelnych-cerpadel-vcr-aeu>
- [3] <http://www.taas.cz/cs7-Princip-tepelneho-cerpadla.html>
- [4] <http://www.sinop.cz/technicke-parametry?confirm=e6206528c1ec76e54d4a57b2540a451086349012>
- [6] <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla/zeme-voda.php>
- [5] <http://www.ekobonus.cz/tepelne-cerpadlo-voda-voda-dobra-volba-vyzadujici-specificke-prirodni-podminky-odebrano>
- [7] <http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda>
- [8] <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch>
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller
- [10] <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ekviterm.png>
- [11] http://www.econet2012.cz/ThermoSolarSystems_CollectorTypes.htm
- [12] <http://www.solarenavi.cz/slunecni-kolektory/typy-slunecnich-kolektoru/ploche-vakuovane-kolektory/>
- [13] <http://solarobchod.webnode.cz/products/produkt-1/>
- [14] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Loket_\(okres_Sokolov\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Loket_(okres_Sokolov))
- [15] <http://www.ohrej.se/akumulacni-zasobniky-aku-s-vnorenym-bojlerem-2-katskupR600000101.php>
- [16] <http://haustechnik-binder.de/de/Heizung/Heizungsregelung/TA-CAN-I/O-44-Erweiterungsmodul>
- [17] <http://www.cez.cz/cs/elektrina/cez-fix/cenik/2013/d-tepelne-cerpadlo.html>

- [18] <http://www.kamody.cz/soubory/relatedfile/akumulacni-nadrze-duo-e-s-vnor.zas.tv-cz.pdf>
- [19] <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-ohrev-vody>
- [20] <http://www.4t.cz/termika/regulace/solarni-regulatory/regulator-uvr-1611/>
- [21] <http://kleinanzeigen.ebay.de/anzeigen/s-anzeige/ta-uvr-1611-bootloader-bl-net-uvr1611-neuwertig+rechnungskopie/176807371-87-1028>
- [22] Měření teploty – senzory a měřící obvody. BEN,2005
- [23] <http://www.bcb-plzen.eu/alfalaval/pajene.htm>
- [24] <http://www.mitsubishi-zubadan.cz/cz/produkty/aveon-high-power-heat/aveon-45hp>
- [25] <http://elektrika.cz/data/clanky/krip030918/view>
- [26] <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [27] http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/139-porovnani-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva?energie_gj=126.8