

System automatického řízení a monitorování kotle na tuhá paliva

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

Ing. Robert Rouš

Petr Stojan

Brno 2017

Rád bych upřímně poděkoval Ing. Robertovi Roušovi za umožnění vypracování práce a jeho vstřícný přístup při psaní práce. Poděkoval bych své přítelkyni za její rady a podporu během studia. V neposlední řadě bych rád poděkoval Dr. Ing. Radvanu Kuklovi, pod jehož vedením původně práce vznikala.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **System automatického řízení a monitorování kotle na tuhá paliva**

vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 22. května 2017

Abstract

Stojan, P., The system of automatic control and monitoring of solid fuel boilers. Bachelor thesis. Brno: Mendel University, 2017.

The bachelor thesis examines the question of Automatic regulation of solid fuel boilers and its implementation on a suitably chosen hardware platform. It summarizes information from the field of construction, combustion of solid fuel boilers used today, and describes the heating system used to heat the houses with these boilers. Based on this information, an automatic boiler controller is created to control the correct operation of the boiler and the domestic heating system.

Keywords

Solid fuel boilers, regulation, control of the boiler, Rex Controls, RexDraw, Raspberry pi, UniPi, automatic solid fuel boiler, heating system, equithermal regulation

Abstrakt

Stojan, P., Systém automatického řízení a monitorování kotle na tuhá paliva. Bakalářská práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2017.

Bakalářská práce se zabývá tématem automatické regulace kotlů na tuhá paliva a jeho implementací na vhodně zvolené hardwarové platformě. Jsou shrnuty informace z oblasti konstrukce, hoření u dnes používaných kotlů na tuhá paliva a popsány topné systémy používané k vytápění obytných domů těmito kotly. Na základě těchto informací je vytvořen regulátor automatického kotle, který řídí správný chod kotle a domácí topné soustavy.

Klíčová slova

Kotle na tuhá paliva, regulace, regulátor kotle, Rex Controls, RexDraw, Raspberry pi, UniPi, automatický kotel na tuhá paliva, topný systém, ekvitermní regulace

Obsah

1	Úvod a cíl práce	13
1.1	Úvod	13
1.2	Cíl práce	14
2	Kotle na tuhá paliva	15
2.1	Dělení kotlů.....	15
2.1.1	Dle způsobu přikládání paliva	15
2.1.2	Dle použité technologie spalování paliva	15
2.1.2.1	Prohořivací kotel	16
2.1.2.2	Odhořivací kotel	16
2.1.2.3	Zplynovací kotel	17
2.1.2.4	Automatický kotel	19
2.1.3	Dle použitého materiálu	22
2.1.3.1	Ocelové	22
2.1.3.2	Litinové	22
2.1.4	Dle emisních tříd	22
2.2	Stávající způsoby regulace kotlů a topných systémů	23
3	Topné systémy	24
3.1	Rozdělení topných systémů.....	24
3.1.1	Samotižný topný systém.....	24
3.1.2	Topný systém s nuceným oběhem.....	24
3.2	Časti topných systémů.....	25
3.2.1	Malý okruh.....	25
3.2.2	Hlavní topný okruh	25
3.3	Způsoby řízení vytápění.....	26
3.3.1	Dle pevně nastavené teploty topné vody bez akumulace topné vody	26
3.3.2	Dle pevně nastavené teploty topné vody s akumulací topné vody	26
3.3.3	Ekvitermní řízení teploty	27
4	Analýza požadavků pro sběr technických dat	28

4.1	Snímače teploty	28
4.1.1	Odporové platinové	28
4.1.2	Odporové niklové.....	28
4.1.3	Polovodičové.....	28
4.1.3.1	Negative Temperatur Coefficient (NTC)	29
4.1.3.2	Positive Temperatur Coefficient (PTC)	29
4.1.4	Termoelektrické	29
4.1.5	Digitální	30
4.1.5.1	Snímač DS18B20	31
4.1.5.2	Snímač smt172	31
4.1.5.3	Snímač TMP04	32
4.1.6	Sběrnice 1-wire.....	32
4.2	Akční členy.....	32
4.2.1	Servopohony trojcestných ventilů.....	32
4.2.2	Elektromagnetické relé.....	33
4.3	Výběr hardwarové platformy pro regulátor kotle.....	33
4.3.1	Hardwarové řešení regulátoru.....	33
4.3.1.1	Platforma Controllino	34
4.3.1.2	Platforma Raspberry pi	34
4.3.1.3	Nízko úroňňová rozšiřující periferie	36
4.3.2	Řídící software REX.....	37
4.3.2.1	HMI rozhraní	38
5	Návrh řízení kotle na tuhá paliva	40
6	Závěr	47
6.1	Zhodnocení řešení regulátoru kotle	47
6.2	Možnosti budoucího rozvoje.....	47
7	Literatura	48
A	Obsah příloženého CD	51

Seznam obrázků

Obr. 1	Prohořivací kotel (LYČKA, 2012)	16
Obr. 2	Odhořivací kotel (LYČKA, 2012)	17
Obr. 3	Zplynovací kotel (LYČKA, 2012)	19
Obr. 4	Automatický kotel (LYČKA, 2012)	22
Obr. 5	Graf účinnosti emisních tříd kotlů (Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě, 2013)	23
Obr. 6	Relé (STYKAČE, 2017)	33
Obr. 7	Rasbbery pi 2 model B(Raspberry Pi 2 Model B, 2017)	35
Obr. 8	Konfigurace proměnných v HMI rozhraní	39
Obr. 9	Schéma regulátoru - termostat kotle a čerpadel	40
Obr. 10	Schéma regulátoru - řízení šneku	41
Obr. 11	Schéma regulátoru - řízení topné soustavy	42
Obr. 12	Schéma regulátoru - ochrany kotle	43
Obr. 13	Schéma regulátoru - vstupy ručního řízení	43
Obr. 14	Schéma regulátoru - relé výstupy	44

Seznam tabulek

Tab. 1	Typy termočlánků (TERMOČLÁNKY: KONSTRUKCE, VYUŽITÍ A ÚČINNOST, 2014)	30
---------------	---	-----------

1 Úvod a cíl práce

1.1 Úvod

Především v zimním období mají velký podíl na znečištění ovzduší nejen výfukové plyny a emise velkých průmyslových podniků, ale také místní lokální topeniště. Tento problém se vyskytuje zejména na vesnicích, kde je na mnoha místech používán již zastaralý teplovodní kotel. Špatným způsobem topení a topnou soustavou bez akumulace nelze ve většině případů provozovat kotel v optimálních provozních podmínkách. V zimním období je možné pozorovat tmavý dým vycházející z komína, který značí nedokonalé spalování paliva. Při nedokonalém spalování paliva vznikají jedovaté oxidy dusíku (NO a NO₂), kdy nedochází k ideálnímu vyhoření uhlíku na oxid uhličitý. (LYČKA, 2012)

V dnešní době je i díky Evropské unii snaha o co největší snížení emisí, nejen z motorové dopravy a průmyslu, ale také při topení v kotlech především na pevná paliva. Z toho důvodu se také v posledních letech rozšířili dotace na výměnu starých kotlů za nové a účinnější a ve většině případů se jedná o přechod na automatické kotle. Doba klasických kotlů s ručním přikládáním, výjimkou zplynovacích, pomalu končí. Jelikož způsob regulace spalování a samotné hoření nestačí plnit nejnovější emisní limity. Výrobci, kteří mají v nabídce starší kotle 1. a 2. emisní třídy, provádějí menší úpravy původních kotlů, především přidáním šamotu. Přidáním šamotové vyzdívky výrobci zlepšují samotný proces hoření a kotel pak patří do 3. emisní třídy. Takto upravený kotel je nabízen levněji než automatické a zplynovací kotle a lidé jej budou moci provozovat i pro roce 2022, kdy by mělo být zakázáno používat kotle patřící do 1. a 2. emisní třídy.

Při výběru kotle na tuhá paliva, pokud nemáme přístup k levnému dřevu, je nejlepší zvolit automatický kotel ať už na uhlí nebo peletky. U automatického kotle nám odpadá na rozdíl od tzv. zplynovacích práce se štípáním a sušením dřeva. Při topení dřevem by měla být jeho vlhkost nejlépe 15%, což může trvat i několik let, aby bylo jeho spalování za daných podmínek co nejefektivnější. Uživatel by měl mít dostatek místa pro uskladnění dřeva minimálně na 2 topné sezóny. Palivo do automatického kotle lze nakoupit i pytlované. Palivo v pytlech má výhody čistšího skladování a provozu kotle. Budoucnost mají i velké automatizované kotelny pro velké budovy například na vesnicích, kde je přístup k levné dřevní štěpce z místních pil, ty nabízejí lepší komfort obsluhy. Kdy dřevní štěpka je navážena do garáže, poté putuje šnekovým podavačem až do kotle a popel z něj zase dalším šnekovým dopravníkem ven do objemného kontejneru.

Náklady na pořízení automatického kotle jsou vyšší, ale především díky dotacím je přechod na ně nyní výraznější. Automatické kotle nabízí uživatelům větší komfort obsluhy kotle, kdy odpadá pravidelná obsluha a přikládání do kotle. Spalování je řízeno automaticky, aby probíhalo co nejefektivněji. Ovládání kotle je tak téměř stejné jako u plynových kotlů. U plynových kotlů jsou však vyšší provozní náklady.

Na našem trhu existují i sady sloužící k přestavbě stávajících kotlů na tuhá paliva. Sady jsou k sehnání od českých výrobců, ale také od levnějších polských společností. Rozdíly jsou především v řídicí automatice, která je většinou univerzální a nabízí základní řízení kotle.

1.2 Cíl práce

Cílem práce je seznámení s konstrukcemi domácích teplovodní kotlů a jejich technikami hoření paliva. Bude provedena analýza stávajících způsobů řízení výkonu kotlů, topné soustavy, požadavků na sběr technických dat potřebných k řízení kotle. Následně bude vhodně navrhnout způsob měření a řízení, který lze univerzálně použít u automatických teplovodních kotlů na tuhá paliva. Navržený systém řízení bude realizován na vybrané hardwarové platformě.

2 Kotle na tuhá paliva

Kotel pro ústřední vytápění na tuhá paliva je zařízení určené k ohřevu teplotnosné látky tepelnou energií uvolněnou spalováním paliva. (LYČKA, 2012) Existují kotle využívající nejen vody jako teplotnosného média například parní, teplovzdušné, horkovzdušné. Tato práce je zaměřena na kotle na tuhá paliva, která využívají vodu jako teplotnosné médium. Jiné než kotle využívající vodu jako teplosměnnou látku se v našich domácích podmínkách nevyužívají a tato práce na ně není zaměřena.

Nejdůležitější vlastností kotle je jeho schopnost řízení spalovacího procesu, tedy kontrola přísunu paliva a spalovacího vzduchu do ohniště. Čím více je kotel sám schopen optimálně řídit tento proces bez zásahu obsluhy, tím vyšší má předpoklad pro kvalitnější spalování. (LYČKA, 2012).

2.1 Dělení kotlů

Teplovodní kotle dělíme dle různých kritérií například podle materiálů, z něhož jsou vyrobeny. Zákon o ochraně ovzduší dělí kotle do emisních tříd, principiálně je lze dělit podle způsobu hoření paliva na odhořívací a prohořívací, které jsou konstrukčně zastaralé a neumožňují dostatečně efektivně spalovat palivo a z pohledu zákona o ochraně ovzduší bude u většiny těchto kotlů po roce 2022 zakázán provoz. Dále máme tedy kotle, jejichž konstrukce umožňuje dostatečně efektivní proces hoření, to jsou kotle zplynovací a automatické.

2.1.1 Dle způsobu přikládání paliva

- Kotle s ruční dodávkou paliva
- Kotle se samočinnou dodávkou paliva (LYČKA, 2012)

2.1.2 Dle použité technologie spalování paliva

U domácích kotlů se používá několik málo základních konstrukcí dle způsobu hoření paliva. Jednotlivé konstrukce jsou poté přizpůsobeny pro daný typ paliva. Nejpoužívanější konstrukce kotlů jsou prohořívací a odhořívací. Výrobci reagující na zpřísnění emisních limitů a u nově prodávaných prohořívacích a odhořívacích kotlů provedli jednoduché konstrukční vylepšení. Jedná se o šamotovou vyzdívku. Tato vyzdívka zlepšila účinnost spalování paliva a z 2. emisní třídy kotel povýšil na 3. třídu (EN303-5). Nicméně tyto typy kotlů jsou konstrukčně zastaralé, a pokud se v daném typu kotle netopí správně, dochází k velké emisi látek znečišťujících ovzduší. Pokud chceme dosáhnout vyšší účinnosti a omezit vliv špatného topení provozovatelem kotle, musíme použít elektronické řízení v kombinaci s konstrukcí kotle, které zaručuje co nejdokonalejší prohoření paliva v topeništi. Elektronicky řízený kotel udržuje stabilní proces hoření paliva po celou jeho dobu.

2.1.2.1 Prohořivací kotel

Tento typ kotle představuje levný a jednoduchý zdroj vytápění. Palivo v tomto kotli prohořívá v celé vrstvě ve stejnou dobu. Primární vzduch je přiváděn pod rošt a sekundární vzduch nad vrstvu hořícího paliva, zde probíhá druhé spalování. Při vyšších dávkách paliva nelze oddělit spalovací prostor pro zplyňování a oxidaci. Důsledkem toho je nízká účinnost a vysoké emise, které také způsobují pomalé hoření paliva. Tento kotel se nejlépe hodí pro spalování paliva s nízkým obsahem prchavé hořlaviny což je např. koks. Bohužel toto palivo je drahé a tak se v kotlích topí hnědým uhlím a dřevem. (KOLONIČNÝ, 2011)

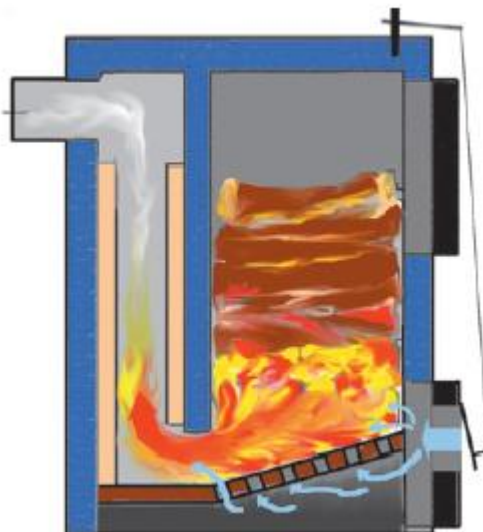
Při použití certifikované přestavbové sady na automat pro vybraný typ prohořivacího kotle se do původního topeniště přidává šamotová vyzdívka odklánějící spaliny ke stěnám kotlového tělesa a turbulátory. Ty se umísťují do výměňkové části před komínem. Turbulátor zde rozvíří a zpomalí proudění spalin, aby se dosáhlo lepšího předání tepla spalin teplotonosnému médium.



Obr. 1 Prohořivací kotel (LYČKA, 2012)

2.1.2.2 Odhořivací kotel

U odhořivacích typů kotlů vrstva paliva odhořívá ze spodní částí, kde se postupně propadá, než dojde k úplnému dohoření. Spalování a zplyňování je zde prostorově odděleno a je více stabilní, což má pozitivní vliv na účinnost a snížení množství spalin, které urazí delší vzdálenost do komína, tím spaliny předají více tepla topnému médium. Díky delší spalinové cestě je daný kotel vhodnější při případné přestavbě na kotel automatický. Kotel využívá přirozeného tahu spalin, některé kotle jsou vybaveny spalinovým ventilátorem. Odtahový ventilátor přináší i větší komfort při přikládání paliva, kdy odsává spaliny do komína, které by jinak šli do prostoru kotelny. Odhořivací kotle jsou konstruovány pro spalování dřeva, uhlí a briket.



Obr. 2 Odhořivací kotel (LYČKA, 2012)

2.1.2.3 Zplynovací kotel

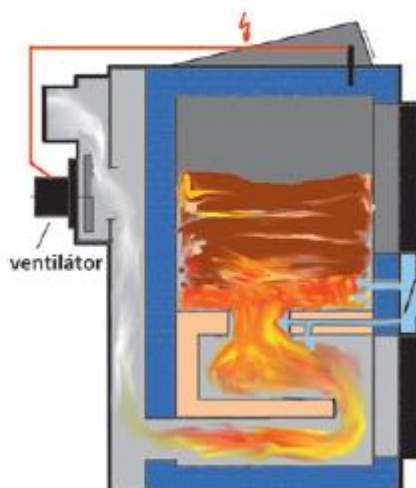
Tyto kotle jsou s ručním přikládáním, vyrábějí se převážně pro spalování dřeva. Představují nejekologičtější a neúčinnější variantu domácího vytápění. Zplynovací kotel z paliva generuje hořlavý plyn, který se poté spaluje. Tyto typy kotlů potřebují pracovat na maximální výkon po celou dobu hoření paliva, jinak dochází k jejich zanášení a k nedokonalému spalování generovaného plynu. Jejich provozní teplota je vyšší v porovnání s odhořivacími nebo prohořivacími kotly. Provozní teplota se pohybuje mezi 70-90°C a tím může dojít k jejich rychlému přetopení v případech, když je topný systém nahřát a ve vytápěném objektu není požadavek k topení. Z tohoto důvodu se doporučuje s instalací tohoto kotle také akumulární nádoba. Regulace kotle poté ohřívá akumulární nádrž, ze které se následně vytápí daný objekt.

Princip zplynování je znám již poměrně dlouho. Byl popsán roku 1839 Gustavem Bischofenem, je založen na konverzi pevných uhlíkatých látek na hořlavý plyn při teplotě až 1500°C. (RADINA, 2013) Konverze probíhá za mírného přetlaku primárního a sekundárního vzduchu, který vytváří spalínový ventilátor nebo tah komínu. (KOLONIČNÝ, 2011) Tento proces můžeme rozdělit do 4. fází:

1. Sušení – palivo se zahřívá na 200°C. V této fázi dochází k předsušení paliva. Pokud palivo obsahuje více, než 15% vody dochází ke snížení účinnosti kotle vlivem větší spotřeby energie pro odpaření vody.
2. Pyrolýza – při teplotách od 300°C-500°C nastává tepelný rozklad organických látek, zvaný suchá destilace, na dřevěné uhlí, dehty a plyny. Při teplotě do 700°C se látky suché destilace mění a štěpí až na pyrolýzní plyn, olej pocházející z kondenzace par a koks.

3. Oxidace - v této fázi probíhá spalování plynných produktů pyrolýzy a části uhlíkatého zbytku. Zde se tvoří oxidační vrstva o teplotě až 1500°C. Cílem je částečná oxidace pevného uhlíku na oxid uhelnatý.
4. Redukce – probíhají zde silně endotermické reakce snižující teplotu na 800°C-1000°C za vzniku metanu, který se následně spaluje.

Regulace zplynovacích kotlů probíhá jednodušším způsobem tak, že se hoření reguluje teplotou spalin, dle kterých se řídí přísun primárního a sekundárního vzduchu, anebo řízením na základě lambda sondy, která měří obsah kyslíku ve spalinách. Obsah kyslíku následně vyhodnotí regulace, která řídí servopohony ovládající přísun primárního a sekundárního spalovacího vzduchu. Tímto je řízen optimální přebytek vzduchu ve spalinách, důležitý pro co nejúčinnější spalování paliva. Řízení spalování na základě lambda sondy nabízí lepší možnost optimalizace procesu hoření, protože palivo jako je dřevo nemá pokaždé stejné složení jednotlivých prvků ovlivňující hoření na rozdíl od uhlí, které se bere z jednoho dolu a nedochází tak k neustálé změně kvality paliva. U většiny modelů těchto kotlů se používá spalinový ventilátor. Ten je sepnut, pokud je potřeba dosáhnou provozní teploty nebo v případě otevření dvířek při přikládání. Otáčky ventilátoru jsou podle typu regulátoru pevně nastaveny, anebo jsou řízeny PID nebo Fuzzy regulátorem na základě teploty kotle, kdy se plynule mění otáčky, aby ventilátor udržoval optimální proces hoření (stabilní dodávání tepla do akumulace a nedocházelo k cyklování natopeno-zchlazeno)



Obr. 3 Zplynovací kotel (LYČKA, 2012)

2.1.2.4 Automatický kotel

Tento kotel na tuhá paliva se skládá z kotlového tělesa, hořáku, ventilátoru, zásobníku na palivo a elektronické regulace. Použitím přestavbových sad lze udělat ze staršího odhořivacího či prohořivacího kotle automatický. Tato přestavbová sada má navíc jen podstavec s hořákem, na který se následně kotel umístí a přitmelí. Použitím certifikované přestavbové sady na určitý typ kotle, lze zvýšit emisní třídu kotle na 3. nebo 4. třídu (ČSN EN 303-05) tím se zefektivní spalování paliva. Bohužel předávací plocha mezi spaliny a topným médiem je u starých typů kotlů menší než u nových moderních kotlů v 5. emisní třídě nebo mající certifikát o ekodesignu¹. U automatického kotle se palivo sype do zásobníku. Tento zásobník je vzduchotěsný, aby uhlí neprohořivalo z hořáku přes šnek zpět do zásobníku. Proti prohoření je součástí šnekového dopravníku vosková tavná zátka, která po roztažení zalije šnek vodou. Zásobník paliva je připevněn na šnekový dopravník. Ten dopravuje palivo přímo do hořáku. U automatických kotlů se používá několik druhů hořáků především podle typu použitého paliva. V poslední řadě se ke chlazení a přívodu vzduchu do hořáku používá ventilátor s asynchronním motorem a o správné množství vzduchu se stará regulace, která řídí otáčky ventilátoru. V kotlovém tělese se nachází šamotová vyzdívka, většinou přímo nad hořákem. Dále se v kotli nachází turbulátory, které vylučují proud spaliny a tím zvětšují předávající tepelnou plochu. Turbulátory mohou být plechové ve tvaru harmoniky, ty jsou umístěny horizontálně, nebo ve tvaru šroubovice, které se umísťují do kotlového tělesa vertikálně.

¹ Ekodesign je soubor parametrů (především energetická účinnost), které musí dodržet dodavatel (výrobce nebo dovozce) výrobku spojeného se spotřebou energie při jeho uvedení na trh EU, popř. do provozu. (Ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie, 2016).

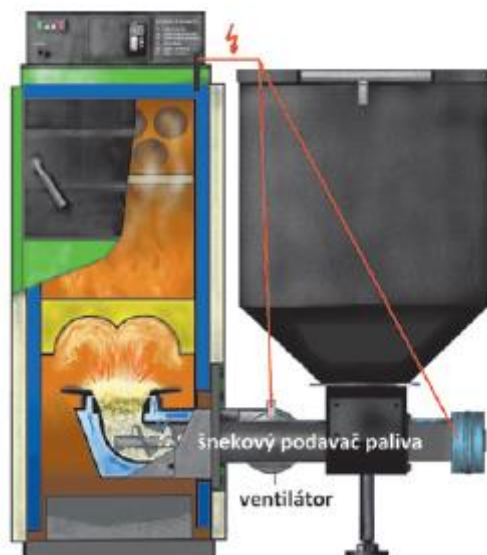
Výhoda automatického kotle je v jeho hořáku. Hořák správným nastavením regulace dokáže docílit rovnoměrného a co nejdokonalejšího hoření daného paliva. Objem paliva v hořáku není velký a tak po přerušení dodávky vzduchu dochází k okamžitému útlumu, jen malé množství paliva doutná a je připraveno k opětovnému rozhoření. Teplota paliva je v topeništi dosti vysoká cca 1000°C a probíhá zde spalování podobně jako u zplynovacího, jen s tím rozdílem, že všechny procesy probíhají řízeně v topeništi s neustálým přísunem paliva v malých dávkách. Automatické kotle patřící do 5. emisní třídy a ekodesignu mají teplotu spalin vystupující z kotle kolem 160°C. V porovnání se staršími typy odhořivacích či prohořivacích kotlů je tato teplota o polovinu nižší, což má vliv na kondenzaci vody v komínu. Doporučuje se vyložkování komínu nerezovou vložkou nebo napojení na nerezový přetlakový komín.

Dnes je nabízena široká škála druhů hořáků pro automatické kotle. Každý hořák se shodně skládá ze samotného topeniště, do kterého je tlačeno či shazováno palivo šnekovým podavačem ze zásobníku paliva. Dále se hořák skládá z elektromotoru a převodovky. Převodovka je u většiny hořáků do 37kW spřevodována a otáčí šnekem 1ot./min. Motor bývá vybaven přepínačem na reverzaci chodu pro případ uvolnění kousku paliva zaseklého mezi šnekem a stěnou podavače. Motor je také chráněn před úplným zastavením střižným kolíkem. Elektro motor pro pohon šnekového podavače bývá u malých teplovodních kotlů jednofázový asynchronní. Nevýhodou toho motoru je, že při jeho zablokování v sepnutém stavu, vinutí motoru se chová jako transformátor ve zkratu a motorovým vinutím prochází zkratový proud. Pokud v tomto stavu motor setrvá delší dobu, dojde k nenávratnému poškození izolace vinutí. Všechny druhy hořáků modulují svůj výkon hoření dobou, kdy šnekový podavač přihruje do topeniště palivo, dobou kdy se palivo nedodává a množstvím přiváděného vzduchu. Čistě peletové hořáky ještě obsahují zapalovací elektrodu s detektorem plamene, která zapálí pelety v případě jejich vyhoření v topeništi.

- Rétorový hořák - má topeniště v kruhovém tvaru. Šnekový dopravník hrne palivo do spodní části topeniště. V tomto topeništi se palivo na konci šneku drtí a je vytlačováno nahoru, kde je přiváděn vzduch a palivo zde hoří. Vysoká teplota v topeništi předsuší nižší vrstvy paliva. Vyhořelé palivo přepadává do popelníku přes horní okraj topeniště. Kolem topeniště je dutý prostor, kterým je přiváděn spalovací vzduch do topeniště, ten mimo jiné i ochlazuje části hořáku umístěné v kotlovém tělese. Hořák je schopný spalovat uhlí a velmi kvalitní dřevní pelety do průměru 30mm. Hořák má problémy se spalováním paliva, u kterého dochází ke spékání při hoření. Spékající se palivo tvoří pevnou krustu, která dovede časem uhasit topeniště. Výhodou tohoto typu hořáku je rovnoměrný přísun vzduchu díky jeho kruhovému průřezu. Proto tento typ hořáku není dnes již moc používán a nahrazují jej hořáky univerzální.
- Univerzální - tento typ hořáku se liší od rétorového tvarem topeniště, které není kruhové, ale dle výrobce buď obdélníkové, nebo čtvercové. Hořák zvládá spalovat i spékavé materiály jako pelety dřevní, rostlinné pelety, dřevoštěpku a jiné rostlinné materiály o zrnitosti většinou do 30mm. Palivo je dopravováno a

do topeniště vytlačováno stejným způsobem jako u rétorového provedení tedy ze spodu, kde dochází i k předsušování paliva. Zrnitost topného paliva, na kterou je konstruován šnekový podavač se většinou odvozuje od zrnitosti hnědého uhlí ořech², což je svou cenou nejpoužívanější palivo k topení. Přívod vzduchu je také shodný s rétorovým a jednotlivé modely se liší jen tvarem přívodních trysek pro přívod vzduchu do topeniště. Při spalování uhlí tento typ hořáku přináší výhodu, že když dojde k zastavení přísunu uhlí. Zbylé uhlí vydrží doutnat i 24 hodin, když se obnoví přísunu vzduchu a uhlí do topeniště lze bez problému doutnající uhlí znovu rozhořet.

- Peletové shazovací a hořák pro spékavé materiály - tento typ hořáku se konstrukčně odlišuje od konstrukce rétorových a univerzálních hořáku. Palivo je buď shazováno do hořáku, nebo v provedení pro spékavé materiály je palivo dopravováno příčně šnekem do topeniště. Topeniště hořáku je konstruováno tedy pro příčný přísun paliva. Větší kusy popela poté přepadávají přes opačný okraj a jemnější částice jsou odfouknuty a následně je usazují v kotlovém tělesu. Ve spodní části a z boků se nacházejí trysky pro přísun spalovacího vzduchu. Čisté peletové hořáky obsahují ještě zapalovací automatiku. Ta zajišťuje automatický zátop, když čidlo plamene nedetekuje plamen. Hořák s tímto automatickým zapalováním výrazně zpříjemní obsluhu kotle, protože peletky v hořáku bez přísunu vzduchu výrazně doutnají a v brzké době dochází k jejich rychlému vyhoření.
- Ventilátor - pohání jednofázový asynchronní motor se stíněným pólem. V konstrukci toho motoru vzniká eliptické točivé pole, což značně omezuje jeho záběrový moment a tím je vhodný pro použití v malých domácích spotřebičích a ventilátorech (ŽUŠKA,2008). U výkonnějších ventilátorů je používán asynchronní motor s kondenzátorem. Regulace mění otáčky cca od 20% do 100%. Tyto otáčky lze u asynchronního motoru řídit změnou skluzu motoru, počtu pólů či změnou frekvence napájecího proudu. Pro plynulou změnu otáček asynchronních motorů je možné použít změnu skluzu motoru nebo frekvenční měnič. Pro řízení otáček změnou skluzu motoru se používá reostat připojený na kotvu motoru, který mění její elektrický odpor. (Ing Eva Navrátilová) Tento způsob řízení je pro malé rozměry ventilátoru a elektronické řízení nevhodný. Jedinou možností řízení otáček je použití frekvenčního měniče. U moderních frekvenčních měničů lze otáčky motoru ovládat elektronicky po sběrnici nebo potenciometrem napětím 0-10V. V konstrukci ventilátoru se nachází klapka, která v jeho klidovém stavu gravitací uzavírá přívod vzduchu, aby se omezilo přirozené přisávání vzduchu, když je kotel a komín nahřátý a tím se zabránilo samovolnému vyhoření paliva v topeništi. Pokud by k tomuto došlo, palivo by nemělo prohořet šnekem až do zásobníku, protože zásobník paliva je vzduchotěsně uzavřen.



Obr. 4 Automatický kotel (LYČKA, 2012)

2.1.3 Dle použitého materiálu

2.1.3.1 Ocelové

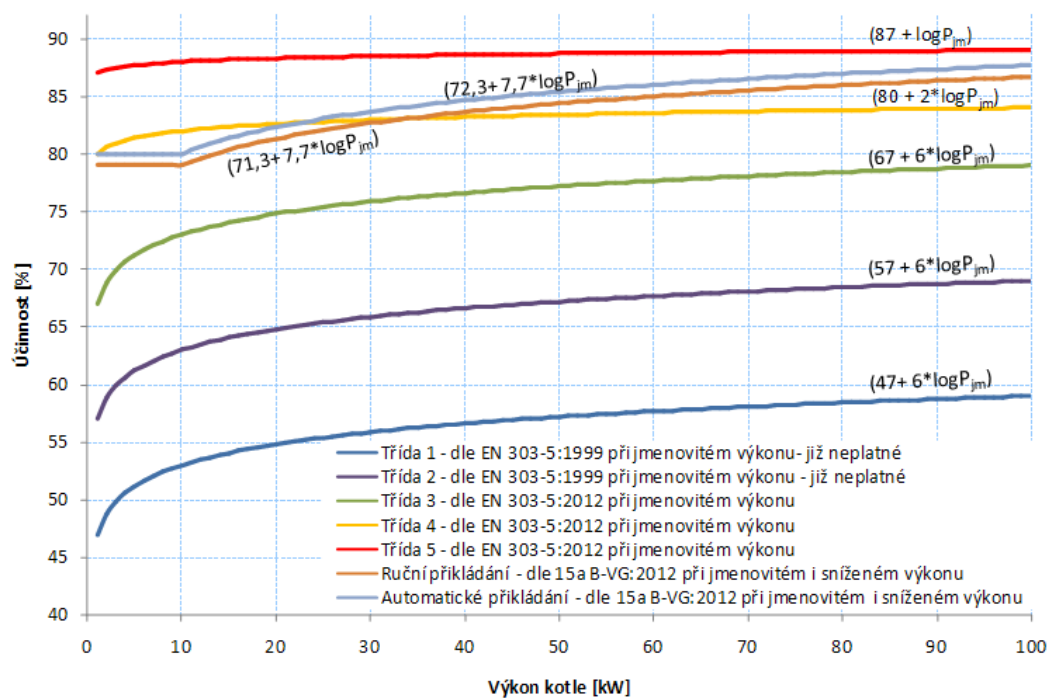
Těleso kotle je vyrobeno z ocelových plechů. S plechem se lépe pracuje, proto se používá pro dlouho plamenná paliva. Tyto paliva potřebují různě tvarované spalovací prostory, které se podstatně lépe vyrábějí svařováním z ocelových plechů.

2.1.3.2 Litinové

Těleso kotle je sestaveno z litinových článků. Litina má dobrou odolnost proti pro-pálení a kyselému kondenzátu. (LYČKA, 2012)

2.1.4 Dle emisních tříd

Norma EN 303-5 stanovuje emisní třídy pro kotle ústředního vytápění na pevná paliva s ruční či automatickou dodávkou do jmenovitého výkonu 500kW. Norma původně stanovovala jen 1., 2. a 3. emisní třídu. Nově norma po roce 2012 ruší první dvě třídy a stanovuje 4. a 5. emisní třídu. Emisní třída stanovuje minimální účinnost spalovacího zařízení vztahenou k jeho jmenovitému výkonu. (Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě, 2013)



Obr. 5 Graf účinnosti emisních tříd kotlů (Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě, 2013)

2.2 Stávající způsoby regulace kotlů a topných systémů

U většiny starších kotlů probíhá regulace výkonu kotle způsobem přiškrcením přísunu vzduchu. Tímto jednoduchým způsobem lze sice ovládat proces hoření relativně nenáročně, ale poté vzniká značné množství emisí díky nedokonalému spalování. Prohořívací a odhořívací kotle jsou způsobem hoření, kdy nedochází k řízenému vyhoření prchavé hořlaviny nevhodné vůbec používat. Použitím šamotové vyzdívky lze sice zvednout na 3. emisní třídu, ale i ta přestane splňovat stále zpřísňující se požadované ekologické limity.

3 Topné systémy

Dříve používané topné systémy byli konstruovány především pro samotižný oběh topné vody. Tento topný systém se nedal moc dobře regulovat, protože cirkulace vody probíhala na základě rozdílné hustoty vody. Postupem času se tedy přecházelo k systémům s nuceným oběhem, protože složitá konstrukce moderních kotlů neumožňují efektivní samotižné proudění topné vody. Dnešní moderní topné systémy mají co nejméně topné vody v potrubí a radiátorech. Je to z důvodu jednodušší regulace topení, kdy lze lépe a stabilněji regulovat pokojovou teplotu. Bohužel na takové moderní systémy nelze jednoduše připojit kotel na pevná paliva, protože nelze rychle regulovat okamžitý výkon kotle, vyjma automatických kotlů. Při napojení klasického kotle na moderní topný systém, poměrně rychle nastane jeho přetopení a poškození kotle. Proto u kotlů s ručním přikládáním musíme přidat do systému akumulační nádoby, kde dochází k akumulaci přebytků teplé topné vody a jejímu postupnému využití.

3.1 Rozdělení topných systémů

3.1.1 Samotižný topný systém

Oběh vody v tomto topném systému je založen na změně hustoty vody, kdy teplá voda má nižší hustotu a stoupá směrem nahoru. Když se voda zchladí, tak se hustota opět zvýší a klesá směrem dolů. Topný systém obsahuje velké množství topné vody, a proto ohřátí topné vody trvá značně dlouhou dobu. Tím tento systém není schopný rychle reagovat na požadavek teplé topné vody. Výhodné tyto systémy jsou v tom, že nepotřebují pro oběh vody čerpadlo a v minulosti, když docházelo k častým výpadkům elektrické energie, nebylo potřeba řešit záložní chod čerpadla. Aby samotižný chod topného systému byl možný, musel být kotel ve vytápěném objektu umístěn výškově níž než nejnižší radiátor. Při modernizaci domácích kotelen, kdy se ponechává stávající topný systém a je pouze vyměněn kotel za elektronicky řízený může docházet k nežádoucímu ochlazování kotle samotižným prouděním topné vody. Při úpravě tohoto systému na systém s nuceným oběhem a použitím kotle, který se nedá při výpadku okamžitě odstavit, jeho velké množství vody kotel částečně chrání proti jeho rychlému přehřátí a samotižné proudění přes čerpadlo kotel chladí a při dobře navrhnutém původním systému umožňuje jeho bezproblémový útlum.

3.1.2 Topný systém s nuceným oběhem

Oběh teplé topné vody obstarává cirkulační čerpadlo. Tento topný systém v porovnání se samotižným obsahuje malé množství vody a tak kotel nemusí dodat nárazově velké množství energie do topného systému, tím pádem je odezva na požadavek teplé vody rychlá a celý topný systém je brzy natopen na požadovanou provozní teplotu. Pokud dojde k výpadku čerpadla a kotel nelze rychle utlumit dochází k rychlému přetopení kotle a proto je důležité, aby kotel měl ochranu proti přehřátí. Daný

topný systém je nejlepší provozovat s kotlem, který umožňuje jeho rychlý útlum a pokud to daný typ neumožňuje, používat akumulční nádrže s potrubím o velkém průřezu mezi kotlem a akumulací. Akumulační nádoba vyrovnává výkyvy ve spotřebě teplé topné vody a velký průřez potrubí umožňuje samotížný oběh vody při výpadku čerpadla a tím pomáhá ochlazovat kotel při výpadku proudu nebo poruše.

3.2 Časti topných systémů

Konfigurace topného systému se odvíjí od použitého typu kotle a jeho daném typu řízení, od kterého se odvíjí jeho cena. Shodně lze říci, že topný systém pro kotle na tuhá paliva se skládá z kotle, malého okruhu, hlavního topného okruhu a ohřevu teplé užitkové vody. Malý okruh se používá na ochranu kotlového tělesa před nízkoteplotní korozi. U moderních kotlů na tuhá paliva je tento topný okruh vyžadován, ale dříve se tato část topného systému vyskytovala jen výjimečně. Hlavní topný okruh se používá pro vytápění objektu. K vytápění se používají různé varianty teplovodních topných těles a systémů, které mají své teplotní provozní parametry a regulace musí umožňovat regulovat daný systém a také musí obsahovat ochrany, aby nedošlo k poškození daného topného systému. V poslední řadě lze fungující kotel použít k výrobě teplé užitkové vody v nepřímotopném zásobníku.

3.2.1 Malý okruh

Funkce toho okruhu spočívá v ochraně kotle před nízkoteplotní korozi a tím prodlužuje životnost samotného topného tělesa. Tato koroze se projevuje uvnitř tělesa kotle, kdy při hoření paliva dochází ke kondenzaci kyselého kondenzátu. Ke kondenzaci uvnitř kotle dochází, když příliš ochlazené topné médium v našem případě vračející se topná voda ochladí stěny kotle na teplotu, kdy dochází ke kondenzaci vlhkosti uvolněné při hoření z vlhkého paliva nebo z vlhkosti obsažené v přiváděném vzduchu. Okruh se fyzicky skládá z trojcestného ventilu a čerpadla, které v závislosti na teplotě pouští do zkratu teplou vodu z výstupu kotle a tím pádem ke kondenzaci nedochází v tělesu kotle, ale dále za kotlem v kouřovodu kotle. Řízení trojcestného ventilu může být realizováno nezávisle na kotlové regulaci použitím termostatického trojcestného ventilu s vyměnitelnou bimetalovou patronou nebo směřujícím trojcestným ventilem, který je řízen servopohonem z kotlové regulace. V případě řízení směřování trojcestným ventilem je na vstupu vratné vody umístěno kotlové čerpadlo se snímačem teploty vratné vody. Pokud je kotlové čerpadlo sepnuté, regulace snímá teplotu vratné vody a pokud je teplota vratné vody nižší než nastavená, servopohon otáčí trojcestným ventilem směšování a otevírá zkrat a přivírá vstup vratné vody do kotle a naopak. Tím je dosaženo zvýšení teploty vratné vody, aby se zamezilo kondenzaci vlhkosti v kotlovém tělesu.

3.2.2 Hlavní topný okruh

Hlavní topný okruh v případě kotlů s ručním přikládáním by měl obsahovat akumulční nádobu. Kotel v případě, pokud je nahřát na teplotu sepnutí čerpadel, se pne

kotlové čerpadlo a ohřívá akumulární zásobník. Teplota vody v akumulárním zásobníku může mít i 90°C, a proto je důležité směřovat topné médium přes trojcestný ventil regulující teplotu topného média jako v případě malého topného okruhu z důvodu bezpečnosti, aby nedošlo k opaření při dotyku s topným tělesem a hlavně také dodržení správných provozních teplot topné vody například při ekvitermním řízení nebo řízení teploty topné vody v podlahovém vytápění, kdy překročení určité teploty topného média může způsobit poškození podlahy vlivem teplotní roztažnosti. Pokud je v topném systému zapojen automatický kotel, nemusí být v topném okruhu použita akumulace. Nejnižší teplota kotle je limitována nastavením malého topného okruhu. Pokud však chceme topný systém řídit dle ekvitermní regulace nebo do topného systému pouštět topné médium o nižší teplotě než je nastavená teplota vratného média, musí zde být použit opět trojcestný ventil. V případě, kdy nám v topném okruhu nevádí teplota topného média o teplotě kotle, nemusíme použít směšující ventil.

3.3 Způsoby řízení vytápění

3.3.1 Dle pevně nastavené teploty topné vody bez akumulace topné vody

Tento způsob řízení vytápění objektu lze použít nejlépe u automatických kotlů, kdy regulátor kotle čeká na pokyn pokojového termostatu k uvedení do chodu a nehrozí zde přetopení. Na tento systém bývají připojeny i kotle s ručním přikládáním bez pokojového termostatu na samotný topný systém anebo na systém s nuceným oběhem, kdy kotlové čerpadlo je spínáno kotlovým termostatem, ovšem systém musí obsahovat velké množství vody sloužící jako akumulace, aby nedošlo k jeho přetopení.

3.3.2 Dle pevně nastavené teploty topné vody s akumulací topné vody

Všechny kotle na tuhá paliva s ručním přikládáním by měli využívat toto řízení, aby kotel mohl účinně pracovat celou dobu provozu na plný výkon. Kotlová regulace spíná čerpadlo při nastavené teplotě. Čerpadlem je ohřáté teplotnosné médium hnáno do akumulárního zásobníku po celou dobu hoření paliva, což dovoluje kotli pracovat na jeho plný výkon, kdy je hoření nejúčinnější. Na akumulární nádobu je napojen směšující trojcestný ventil se servopohonem a čerpadlem, dále je pak napojen topný systém objektu nebo jeho část. Regulace kotle při nahřátí vrchní části akumulární nádoby čeká na pokyn pokojového termostatu. Následně po vydání pokynu pokojovým termostatem je spuštěno směšující čerpadlo a regulace dává pokyn servopohonu ventilu, aby otevíral nebo zavíral vstup horké vody z akumulárního zásobníku. V případě když se zavírá vstup teplé topné vody tak je ventilem otevírán přívod chladné vratné vody do topného okruhu a tím je docíleno snížení teploty topné vody nebo naopak zvýšení teploty topné vody.

3.3.3 Ekvitermní řízení teploty

Ekvitermní řízení teploty spočívá v řízení teploty topné vody na základě venkovní teploty. Se snižující se venkovní teplotou stoupá teplota topné vody v topném systému a naopak. Toto řízení má pokrýt rostoucí tepelnou ztrátu vytápěného objektu s klesající venkovní teplotou tak, aby uvnitř byla stále konstantní teplota. Teplota topné vody je řízena podle ekvitermní křivky, která popisuje vzájemný vztah mezi venkovní, vnitřní teplotou a teplotou topné vody. Ekvitermní regulátory mají nahláány více typů křivek mezi, kterými uživatel vybírá. Každá křivka je rozdílná jak pro teplotu vytápěné místnosti, tak i podle použitého topného systému, kdy do podlahového topení nesmíme pustit příliš horkou vodu z parametrů technických, tak i z hlediska toho, že by se nedalo po přehřáté podlaze chodit. (Ekvitermní regulace – princip a využití v systémech regulace vytápění, 2010)

4 Analýza požadavků pro sběr technických dat

Pro řízení hoření kotle a topné soustavy bude potřeba měřit teploty kotle, zásobníku teplé užitkové vody, akumulčního zásobníku, zpátečky kotle, směšování, šnekového podavače a venkovní teplotu.

4.1 Snímače teploty

Pro měření teploty se využívají především odporové teplotní snímače, které převádějí teplotu na elektrický odpor. Lze také využít snímače optoelektrické, fungující na principu měření teploty optickým vláknem nebo infračerveným snímačem.

4.1.1 Odporové platinové

Snímače se vyrábějí různými technologiemi, podle kterých se liší i tvar snímače. Jmenovitý elektrický odpor je uváděn při 0°C. Drátková technologie spočívá v navinutí spirály na keramický nebo skleněný váleček. Další používané technologie jsou tvořeny tenkovrstvou a tlustovrstvou technologií. Použitím tenkovrstvé technologie je dosaženo menších rozměrů, rychlejší odezvy, nižší ceny a lze vyrobit snímače s vyšším odporem. Platinové snímače se dělí do dvou tříd.

- Třída A: -200°C až 650°C s tolerancí $\pm (0,15 + 0,002 \cdot |t|)$
- Třída B: -200°C až 850°C s tolerancí $\pm (0,3 + 0,005 \cdot |t|)$

Vyráběny jsou i varianty pro použití do 1100°C a dvou nebo čtyřvodičové provedení. U dvouvodičové varianty musíme počítat odpor vývodů k odporu senzoru.

4.1.2 Odporové niklové

Snímače jsou vyráběny tenkovrstvou technologií, která přináší výhody jako menší rozměry a rychlejší odezvu. Mezi další výhody patří vysoká citlivost, rychlá časová odezva a malé rozměry. Ve srovnání s platinovými senzory trpí značnou nelinearitou, mají omezenější teplotní rozsah (-60 °C až 180 °C) a menší dlouhodobou stálost. (Měření teploty - kovové odporové senzory teploty, 2004)

4.1.3 Polovodičové

Tyto snímače se dělí dle odporové charakteristiky na NTC a PTC. Nevýhodou těchto typů snímačů je jejich nelineární závislost odporu na teplotě a tím potřeby kompenzovat tyto nelinearity při převodu odporu na teplotu. Jejich referenčně uváděný elektrický odpor se určuje při teplotě 25°C.

4.1.3.1 Negative Temperatur Coefficient (NTC)

S rostoucí teplotou klesá elektrický odpor, jejich teplotní rozsah se pohybuje od -40°C do 150°C. Jejich pouzdra jsou miniaturní, což je předurčuje pro bodová měření. Ve srovnání s platinovými mají větší citlivost, jsou méně stabilní a časově nestálé. Cena těchto snímačů je nízká.

4.1.3.2 Positive Temperatur Coefficient (PTC)

S rostoucí teplotou stoupá elektrický odpor. Teplotní rozsah se pohybuje od -55°C do 150°C. Z hlediska životnosti tyto snímače projevují dlouhodobou stabilitu a vykazují lepší linearitu. (Měření teploty - polovodičové odporové senzory teploty, 2004)

4.1.4 Termoelektrické

Neboli termočlánky využívající termoelektrický jev popsáným v roce 1821 německým fyzikem Thomasem Johann Seebeckem. Termoelektrický jev vzniká mezi dvěma vodiči z rozdílných kovů, které jsou spojeny v jednom bodě. Na koncích vodičů vzniká termoelektrické napětí odpovídající rozdílu teplot na koncích vodičů. Toto termoelektrické napětí se pohybuje v řádu mikrovoltů na °C. Bodový spoj mezi jednotlivými vodiči může mít různé provedení, od bodového sváru přes pájený spoj, až po mechanicky spojený spoj. Spoj může být chráněný či nechráněný, u nechráněného spoje se musí zamezit vodivému spojení v bodě dotyku. Termočlánek se připojuje do měřicího přístroje vodičem stejného materiálu, jako daný vývod termočlánku. Pokud by se připojil vodič z jiného kovu, vznikl by v tomto spoji další parazitní termočlánek, jehož vliv by znemožňoval měření. Podle použitého materiálu termočlánku se liší jeho termoelektrická charakteristika i jeho mechanické a chemické vlastnosti. U termočlánku se udává střední termoelektrické napětí v mV/100°C. Termočlánky se dělí na typy, které jsou označeny písmeny podle použitých materiálů. Výhodou termočlánků je jejich rychlá reakce na změnu teploty a velký rozsah měřených teplot. (TERMOČLÁNKY: KONSTRUKCE, VYUŽITÍ A ÚČINNOST, 2014)

Tab. 1 Typy termočlánků (TERMOČLÁNKY: KONSTRUKCE, VYUŽITÍ A ÚČINNOST, 2014)

Typ	měřicí rozsah [°C]	Kombinace materiálů	Použití
B	0-1700	Pt, 30%Rh - Pt, 6%Rh	Pro měření vyšších teplot, nevyžaduje kompenzační vedení
C	0-2300	W, 5%Re - W, 26%Re	Pro měření vysokých teplot, křehký
D	0-2300	W, 3%Re - W, 25%Re	Pro měření vysokých teplot, křehký
E	-200-950	Ni, 10%Cr - Cu, 45% Ni	Všeobecné použití, pro měření středních a nižších teplot
G	0-2300	W - W, 26%Re	Pro měření vysokých teplot, křehký
J*	-210-1200	Fe - Cu, 45%Ni	Pro měření vyšších teplot v redukční atmosféře
K*	-200-1250	Ni, 10%Cr - Ni, 2%Al, 2%Mn, 1%Si	Všeobecné použití v oxidační atmosféře
N*	-270-1300	Ni, 14%Cr, 1,5%Si - Ni, 4,5%Si, 0,1%Mg	Nový typ, náhrada za K
P	0-1395	Platinel-Platinel	Stabilnější, ale dražší než K
R	-50-1750	Pt, 13%Rh - Pt	Velmi přesný, pro vyšší teploty
S	-50-1750	Pt, 10%Rh - Pt	Velmi přesný, pro vyšší teploty
T*	-270-400	Cu - Cu, 45%Ni	všeobecné použití pro nižší teploty, odolný vlhkosti

K měření termoelektrického napětí termočlánku používáme mikrovoltmetr nebo v případě převodu na číslo AD převodník k tomu určený. Měřicí obvod termočlánků dříve používal druhý termočlánek ze stejných materiálů jako kompenzační, který byl umístěn v nádobě s přesně stanovenou teplotou, většinou 0°C bod tání ledu. Termočlánky byly spojeny do série zakončením ze stejného typu kovu tak, aby na obou svorkách měřicího přístroje byl vodič stejného materiálu. Tím dochází k vzájemnému odečtení parazitního termoelektrického napětí. Nevýhodou tohoto typu měření byla nutnost udržovat kompenzační termočlánek při stejné teplotě. K termočlánekovému měření bez kompenzačního termočlánku lze použít kompenzátor, který kompenzuje vliv parazitního termočlánku na jeho svorkách, a kompenzátor připojujeme přímo k měřicímu přístroji.

4.1.5 Digitální

Tyto snímače se vyrábějí pro různé typy sběrnic. Přinášejí výhodu jednodušší integrace do systému, kdy není potřeba převádět analogový signál na digitální. Snímače už obsahují převodník a obvody pro obsluhu komunikace po sběrnici a jsou z vý-

roby kalibrovány, zatímco u analogových snímačů je potřeba řešit například nelinearity. Komunikace probíhá u většiny snímačů po sériové sběrnici, kde počet snímačů na sběrnici je limitován komunikačními a fyzickými vlastnostmi. Dále lze použít například snímače využívající rozhraní ethernet. Tyto snímače nejsou tolik dostupné, jsou rozměrné, a je potřeba implementovat jejich komunikační protokol do systému řízení. Nejmenší a nejdostupnější jsou snímače od firmy Dallas DS18B20 vynikající jejich přesností, cenou a vlastnostmi použité sběrnice.

4.1.5.1 Snímač DS18B20

Výhodou tohoto snímače je především velká softwarová podpora u mnoha výrobců SW a v dostupnosti ve většině obchodů s elektronickými součástkami. Snímač je dostupný především v pouzdře TO-92, SO8, využívá komunikace po sběrnici 1-Wire, kde vystupuje jako slave zařízení. Snímač v sobě obsahuje samotné teplotní čidlo, poté AD převodník podle požadavku převádí teplotu na 9., 10., 11. nebo 12. bit číslo, které se ukládá do vnitřní paměti snímače ze které je odesláno do master zařízení. Snímač měří v maximálním rozsahu od -55°C do 150°C s přesností $\pm 2^{\circ}\text{C}$ a nebo v rozsahu 10°C až 85°C s přesností $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Snímač má zapojeny 3 vývody a to je napájení 3-5V, data a zem, odběr samotného snímače činí 1,5mA. Snímač lze používat i ve dvou vodičovém zapojení, kdy napájení je připojeno na zem a snímač pracuje v tzv. parazitním režimu, kdy je napájen z komunikační sběrnice. Ve stavu, kdy se na sběrnici nachází log.0, je poté krátkodobě napájen z vnitřního kondenzátoru, jehož kapacita stačí pokrývat nulový stav na sběrnici. Z parazitního režimu, plynou některá omezení vycházející z tohoto zapojení a to především připojení čidla na delší vzdálenosti a měření teploty nad 100°C z důvodu úniků svodových proudů. Každý snímač má z výroby nastavenou unikátní 64bit adresu, podle které je na sběrnici jednoznačně identifikován, počet snímačů je omezen fyzickými parametry sběrnice. V registrech snímače se nachází dva trigger pro nízkou a vysokou teplotu, které lze nastavit a po překročení snímač použije funkci alarm.

Vnitřní paměť snímače je tvořena z devítibytové paměti SRAM a na napájení nezávislé tříbytové EEPROM. V EEPROM se nachází 2x registr na nastavení alarmů a 1x konfigurační registr pro nastavení přesnosti konverze teploty na číslo. Uvnitř SRAM paměti nazvané jako scratchpad je v prvních dvou registrech uložena teplota ve formě LSB a MSB dále se zde nachází obsah registrů EEPROM, který se po restartu snímače do SRAM nahraje, tři rezervované registry pro výpočty snímače a v poslední registru je kontrolní CRC součet.(ZMRHAL, 2010)

4.1.5.2 Snímač smt172

Cenově je tento snímač srovnatelný s cenou předchozího snímače Dallas DS18B20. Výstup měřené teploty je převáděn na PWM modulový signál, který mění střihu výstupního signálu proporčně v závislosti na měřené teplotě. Pracovní rozsah snímače se pohybuje od -45°C do 130°C s přesností $1/4^{\circ}\text{C}$ v případě pouzdra TO-92 pro pouzdro TO-18 se udává přesnost $0,1^{\circ}\text{C}$. Odběr proudu činí $60\ \mu\text{A}$ při 3,3V. Pro zpracování signálu z více čidel by bylo potřeba použít multiplexer a SW přepínání mezi

jednotlivými snímači. Nebo lze ke každému snímači pořídit převodník na I2C sběrnici.(DATASHEET SMT172, 2015)

4.1.5.3 Snímač TMP04

Výstup měřené teploty je převáděn PWM na modulovaný signál s proporcí řízenou střídou v závislosti na měřené teplotě, jako u předešlého typu. Snímač udává přesnost 1,5°C v rozsahu od -25°C do 100°C a přesnost 2°C od -40°C do -25°C. Odběr proudu činní 0,9mA. Pro použití více snímačů bude potřeba jako v případě minulém multiplexer a SW přepínám čidel.(DATASHEET TMP04, 2016)

4.1.6 Sběrnice 1-wire

Tato sběrnice vyvinutá společností Dallas, slouží pro jednoduchou komunikaci s čidly a dalšími komunikačně nenáročnými zařízeními. Sběrnice používá celkem tři vodiče, dva jsou určeny pro napájení zařízení a jeden datový vodič pro komunikaci mezi zařízeními. (ZMRHAL, 2010) Na vodič sběrnice je přes pull-up rezistor či tranzistor přiváděno napájecí napětí, které drží sběrnici ve stavu logické 1, komunikace probíhá tak, že je jednotlivými zařízeními uzemňována do stavu logické 0. Maximální délka sběrnice je limitována na 200m při použití pull-up rezistor a na 500m využívající aktivní pull-up tvořený tranzistorem, který je řízen budičem sběrnice. Na sběrnici se nachází jedno master zařízení, které se dotazuje na slave zařízení. (Guidelines for Reliable Long Line 1-Wire Networks, 2008) Všechny zařízení jsou připojeny paralelně na stejný průběžný vodič. Větvení sběrnice způsobuje odrazy signálu, které ruší komunikaci mezi zařízeními.

Přenos dat probíhá asynchronně v přesně stanovených časových intervalech v poloduplexním režimu. Každé slave zařízení na 1-wire sběrnici používá jedinečnou 64bitovou adresu, sloužící k identifikaci jednotlivých zařízení na sběrnici. Standardní přenosová rychlost na sběrnici je 16 kbit/s, lze ji ještě snižovat nebo zvýšit na 125 kbit/s při komunikaci na krátké vzdálenosti. Napěťové úrovně sběrnice používají standardní TTL logiku.(ZMRHAL, 2010)

4.2 Akční členy

Akční členy, které jsou potřebné pro řízení kotle na tuhá paliva a topného systému jsou relé, které budou spínat chod jednotlivých zařízení, jako je motor pohonu šneku a servopohony ventilů.

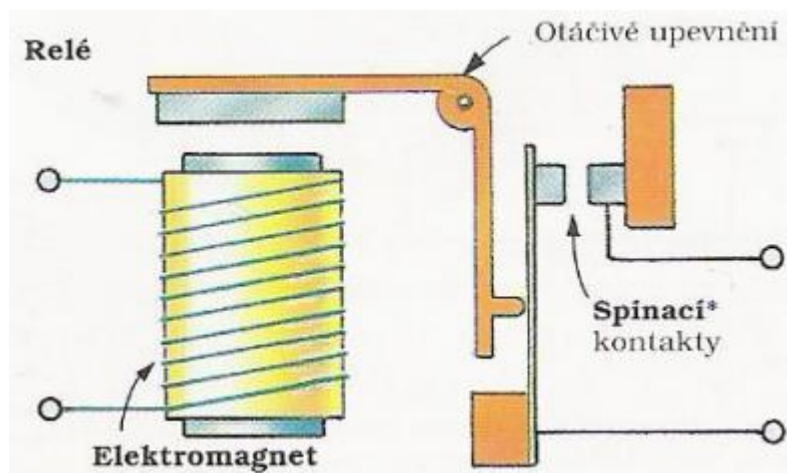
4.2.1 Servopohony trojcestných ventilů

Servopohony se vyrábějí ve variantách s řízením spojitým nebo tří bodovým řízením. Spojité řízení je používáno dnes především v průmyslové automatizaci. Do spojitě řízeného pohonu je přiváděno napájecí napětí 24V a řídicí napětí 0-10V. V závislosti na řídicím napětí se servopohon natočí v rozsahu 0-100%, kdy hodnota 10V odpovídá 100% otočení směšujícího ventilu servopohonem. V domácích kotelnách

se i přes jednoduchost řízení tyto servopohony nevyskytují, protože podpora spojitěho řízení u domácích kotlových regulátorů nebývá podporována, protože dříve používané regulace byly analogové a napětím řízený trojcestný ventil by vedl ke složitějšímu typu řízení tří bodovým ovládním. Pro tří bodové ovládní se používá jeden vodič pro směr otáčení doprava a druhý pro směr opačný. Servopohon je vybaven dorazovými rozpínacími kontakty, které se rozpojí v krajní poloze přiváděné napětí pro daný směr otáčení a ventil zastaví. Jeden z parametrů tříbodových trojcestných ventilů je doba přeběhu z jedné krajní meze do druhé. Standardně používané servopohony v domácích kotelnám mají tuto dobu dlouhou 120 sekund nebo 240 sekund. Jiné pohony používané v průmyslu mají tuto dobu mnohem kratší a potřebují k přesnému řízení rychlou odezvu regulace. (Výrobky pro řízení systémů teplovodního vytápění pro každodenní práci, 2016)

4.2.2 Elektromagnetické relé

Relé je elektromagnetický spínací prvek, většinou je určen pro spínání menších proudů. Relé pracuje, když je přivedeno napětí na cívku relé, poté je přitažena kotva a jsou sepnuty nebo rozepnuty kontakty relé. Relé mohou obsahovat i větší množství spínacích a rozpínacích kontaktů, součástí mohou být i kontakty přepínací. (STYKAČE, 2017)



Obr. 6 Relé (STYKAČE, 2017)

4.3 Výběr hardwarové platformy pro regulátor kotle

4.3.1 Hardwarové řešení regulátoru

Samotný regulátor lze realizovat na různých platformách HW a rozhodující je jednoduchá realizovatelnost a obsluha připojených snímačů, akčních členů, neméně důležitá je také odolnost vstupů a výstupů před větším napětím elektrostatickým výbojem a jejich přetížením nadměrným odběrem či zkratem. Z tohoto hlediska vyhovuje regulátor založený na základě PLC průmyslových automatů. Především cena

průmyslového PLC by regulátor výrazně prodražila. Na trhu se však nachází i levnější open-source hardwarové platformy a software, jenž umožňují provozovat dané zařízení jako PLC automat.

4.3.1.1 Platforma Controllino

Tato platforma je založena na mikrokontrolérech arduino, programuje se stejně jako standardní mikrokontroléry od této společnosti ve vývojovém prostředí arduino nebo lze využít další vývojová prostředí založené například na vizuálním programování. Controllino přináší funkcionalitu a výhody mikrokontroléru arduino v kombinaci s průmyslovým PLC automatem. Platforma se uchycuje do rozvaděče na DIN lištu, pracuje s vyšším napětím na výstupech, které se dá SW přepínat mezi 12V a 24V. Stejně jako u arduina lze využít přímého přístupu k pinům mikrokontrolerů, které jsou navíc chráněny před poškozením od elektrostatického výboje. Jednotlivé moduly jsou vyráběny ve třech variantách mini, maxi, mega. (CONTROLLINO: OPEN-SOURCE PLC KOMPATIBILNÍ S ARDUINO IDE, 2015) K modulům lze připojit obrazovku s HMI (human-machine interface) rozhraním, která může sloužit jak k zobrazení informativního stavu vstupů a výstupů automatu nebo jeho jednoduchému a přehlednému ovládání. Všechny moduly obsahují RTC obvod pro udržení stále aktuálního času. (INDUSTRIAL AUTOMATION, 2017)

4.3.1.2 Platforma Raspberry pi

Raspberry pi je série počítačů založených na levných procesorech ARM, které jsou především používány pro svůj výkon v kombinaci s nízkou spotřebou. Vyvinula je britská nadace Raspberry Pi Foundation pro podporu výuky programování. Po vydání první verze tohoto počítače si jej oblíbilo velké množství programátorů a kolem platformy vznikla široká komunita lidí, která počítače používá k řešení svých vlastních projektů. To umožnilo další rozvoj připojitelných příslušenství a softwaru na této platformě. S Raspberry pi byl uvolněn operační systém Raspbian založený na linuxové distribuci Debian a postupem času přibývá více operačních systémů založených i na jiných distribucích specializujících se například na multimédia či na nenáročnou serverovou aplikaci. Operační systém pro Raspberry pi funguje na každém modelu stejně a proto je napříč všemi modely přenositelný.

Tento počítač díky jeho široké škále příslušenství a softwarové podpoře byl zvolen pro realizaci kotlového regulátoru.

(ABOUT US, 2017)

Různé verze počítačů Raspberry pi se liší hardwarovým vybavením, ale vždy zůstává zachován zpětně kompatibilní konektor se vstupně/výstupními piny GPIO pro připojení nízkourovňových periférií. Tyto piny jsou napojeny přímo na procesor, který pracuje s 3,3V CMOS logikou a při špatném zacházení či připojení periférií pracujících s arduinem bez převodníků logických úrovní, 5V TTL logika poškodí procesor. Nevýhodou počítače Raspberry pi je absence RTC (real time clock) obvodu udržující správný čas a datum při vypnutém napájení. Pro správný čas a datum je

potřeba být připojený k internetu nebo lze samostatný RTC obvod připojit přes GPIO piny.

Použitý počítač Raspberry pi je ve verzi 2B pracující se systémem Raspbian Jessie lite, který neobsahuje desktopové prostředí pixel. (*Raspberry Pi 2 Model B*, 2017)

Technické specifikace počítače jsou čtyř jádrový procesor Broadcom BCM2836 (ARM cortex A7) taktovaný standardně na 900MHz s 1GB ram, v procesoru se nachází 3D grafické jádro s podporou HW dekódování videa. Operační systém startuje z microSD karty vložené do slotu. K napájení je použit microUSB konektor, tento konektor slouží jen k připojení napájecího adaptéru, datové vodiče jsou nezapojeny. Dále počítač obsahuje čtyři USB porty, konektor s 40GPIO piny, HDMI, ethernetový port vnitřně připojen přes USB sběrnici, slot pro microSD kartu, 3.5mm jack a interní konektory pro připojení kamery a displeje. (*Raspberry Pi 2 Model B 1GB*, 2017)



Obr. 7 Raspberry pi 2 model B (*Raspberry Pi 2 Model B*, 2017)

GPIO konektor - zkratka GPIO znamená General Purpose Input/Output. Původní verze Raspberry pi přišla s 26 pinovým konektorem, ten byl rozšířen v dalších verzích na 40 pinový konektor se zachováním původního rozložení menšího konektoru. Na konektoru se nachází 26 pinů vstupně/výstupních, na některých těchto pinech jsou připojeny sběrnice I2C, SPI a sériová komunikační sběrnice UART. Na konektoru se nachází po dvou pinech pro 3,3V a 5V napájení. Proudová zatížitelnost 3,3V pin je malá a činí 50mA, 5V napájecí pin je přímo napojen na napájecí microUSB port, tím proud omezuje použitý napájecí adaptér. Zbylé piny s výjimkou 2 pinů pro připojení i2c EEPROM jsou země napájení. (*Raspberry Pi Pinout*, 2017)

4.3.1.3 Nízko úrovněová rozšiřující periferie

Do Raspberry pi lze připojit přes GPIO konektor rozšiřující periferie s nejrůznějšími vstupy, výstupy jako relé, další sběrnice. Pro použití Raspberry pi jako PLC je vhodné použít periferní karty, které umožní použití toho počítače jako plnohodnotný PLC automat, kde jsou kromě relé také chráněné vstupy/výstupy, které mohou pracovat se 12V nebo 24V.

- Piface - Je stavebnicový systém určený pro podporu výuky programování. Stavebnice se skládá z jednotlivých modulů, které se zapojují na GPIO konektor. Moduly lze libovolně kombinovat. K dostání jsou moduly s relé výstupem, RTC obvodem, s digitálními vstupy a výstupy a ovládací modul s tlačítky a dvou řádkovým LCD displejem.
- Monarchoat - Periferie skládající se z jednoho modulu určená pro použití Raspberry pi jako PLC automatu. Modul se připojuje přes GPIO konektor. Počítač s modulem komunikuje primárně přes SPI sběrnici. Modul může být napájen napětím od 10V-30V tento modul vnitřně napájí i samotné Raspberry pi skrz 5V napájecí piny nacházející se v GPIO konektoru. Monarcho pracuje se čtyřmi digitálními vstupy a výstupy, dvěma analogovými vstupy a výstupy. Dále se zde nachází komunikační sběrnice, které jsou chráněny před elektrostatickým výbojem RS-485 a 1-Wire sběrnice připojené na interně i2c sběrnici skrz obvod DS2482-100. Uvnitř modulu se nachází ARM m3 procesor s RTC obvodem, který obsluhuje jednotlivé porty a sběrnice nezávisle na Raspberry pi. (Monarcho HAT – Lightweight I/O for the Raspberry Pi minicomputer, 2016)
- UniPi 1.x - Je rozšiřující deska pro Raspberry pi, nabízí největší počet říditelných vstupů/výstupů. Karta pochází od stejnojmenné firmy sídlící v Brně zabývající se automatizací. Deska obsahuje:
 - 8x relé (230V/5A)
 - 14x galvanicky izolovaných digitálních vstupů (log.1 = 5V-24V DC)
 - 2x analogový vstup 0-10V
 - 1x analogový výstup ve formě digitálního potenciometru
 - 1x 1-wire sběrnice
 - 1x I2C sběrnice pro připojení např. dalších relé
 - 1x UART sběrnice umožňující komunikaci po sériové lince s Raspberry pi
 - 1x RTC obvod

Tato deska byla vybrána pro realizaci regulátoru, protože používá velký počet relé a díky vyvedené sběrnici i2c lze počet relé kdykoliv zvýšit nebo připojit jiná zařízení. Analogový výstup ve formě elektronicky řízeného potenciometru umožňuje řízení otáček motoru frekvenčním měničem podle napětí 0-10V. (*UniPi 1.1*, 2017)

4.3.2 Řídící software REX

Český automatizační software pocházející od plzeňské společnosti REX controls. Je to soubor softwarových nástrojů pro řízení strojů, technologií a procesů. Lze použít ve všech oblastech automatizace, robotiky, měření a regulace. REX podporuje celou řadu zařízení včetně Raspberry pi s rozšiřující deskou UniPi, které je využito v této práci.

Software REX se skládá z runtime jádra RexCore, které běží na cílovém zařízení Raspberry pi jako součást jeho operačního systému, jádro zajišťuje obsluhu periferie, časování, v našem případě obsluhu desky UniPi.

RexDraw je grafické vývojové prostředí běžící na stroji mimo Raspberry pi. Vytvořené algoritmy jsou překladačem RexComp zkompileovány, poté přeneseny přes ethernet do zařízení RexCore, kde jsou spuštěny.

RexView je diagnostický nástroj, který může sledovat běh všech částí algoritmu běžících v jádře. Na daném zařízení, kde běží jádro REX, lze navrhnout grafické uživatelské rozhraní nazvané jako HMI (human machine interface) fungující ve webovém prohlížeči a je přizpůsobeno k zobrazení i na přenosných zařízeních, jako jsou chytré telefony a tablety. HMI rozhraní se vytváří v RexHMIdesigner, tento software je založen na kreslícím softwaru inkscape s pluginem firmy REX.

Pokud nám nevyhovuje HMI rozhraní běžící v prostředí webového prohlížeče, můžeme využít OPC serveru, který zajišťuje výměnu dat mezi daným projektem běžícím v jádře REX a vizualizačním softwarem SCADA třetích stran. OPC server pracuje na cílovém počítači s operačním systémem Windows a SCADA softwarem využívající OPC klienta.

Prostředí RexDraw na tvorbu algoritmů spočívá v přidávání a spojování bloků s danou funkcí. Tyto bloky jsou členěny do knihoven podle jejich funkce.

V některých případech může nastat, že je do řídicího algoritmu nutné implementovat funkci, kterou nelze efektivně vytvořit z dostupné množiny bloků. Pro takový účel byl vyvinut blok REXLANG, který implementuje algoritmus definovaný skriptovacím jazykem. Je použit skriptovací jazyk velice podobný jazyku C (nebo Java). Tento skriptovací jazyk vychází z jazyka C a je mu velmi podobný, nicméně existují určité rozdíly a omezení:

- Jsou podpořeny jen typy double a long (lze použít i int, short, bool, které se interně zpracovávají jako long, a typ float, který se interně zpracovává jako double).
- Není implementován typedef.
- Nejsou implementovány pointery a struktury. Lze však definovat pole a používat indexy (operátor []).
- Není zaveden operátor ', '.
- Z preprocesoru jsou podpořeny příkazy #include, #define, #ifdef .. [#else ..] #endif, #ifndef .. [#else ..] #endif (tzn. není podpořeno #pragma a zejména #if .. [#else ..] #endif).

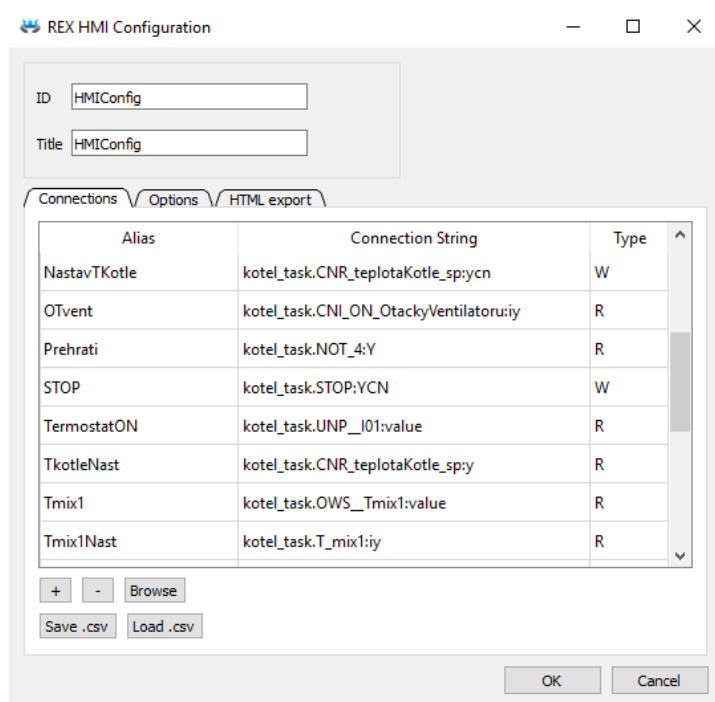
- Nejsou implementovány standardní knihovny ANSI C, je však definována většina funkcí z math.h .
- Jsou definována klíčová slova input, output a parameter pro napojení na vstupy, výstupy a parametry bloku. Dále jsou definovány systémové funkce pro řízení běhu a diagnostiku.
- Kromě funkce main(), která se volá periodicky při běhu řídicího systému mohou být implementovány funkce init() (volá se při startu), exit() (volá se při ukončení řídicího algoritmu) a parchange() (volá se v systému REX při změně jakéhokoliv z parametrů, v systému Simulink v každém kroku).
- Ve funkcích a procedurách bez parametrů musí být v deklaraci explicitně uvedeno void.
- Nelze přetěžovat identifikátory, tj. nelze používat klíčová slova a názvy vestavěných funkcí jako identifikátor, nelze pojmenovat stejně globální a lokální proměnnou.
- Nelze inicializovat pole, ať už globální nebo lokální.

Ve skriptovacím jazyce je možné používat následující funkce:

- Matematické (viz ANSI C, soubor math.h)
- Vektorové (v ANSI C nejsou)
- Funkce pro práci s textem (v ANSI C jsou analogické funkce v souboru string.h)
- Systémové (v ANSI C nejsou)
- Komunikační (v ANSI C nejsou)

4.3.2.1 HMI rozhraní

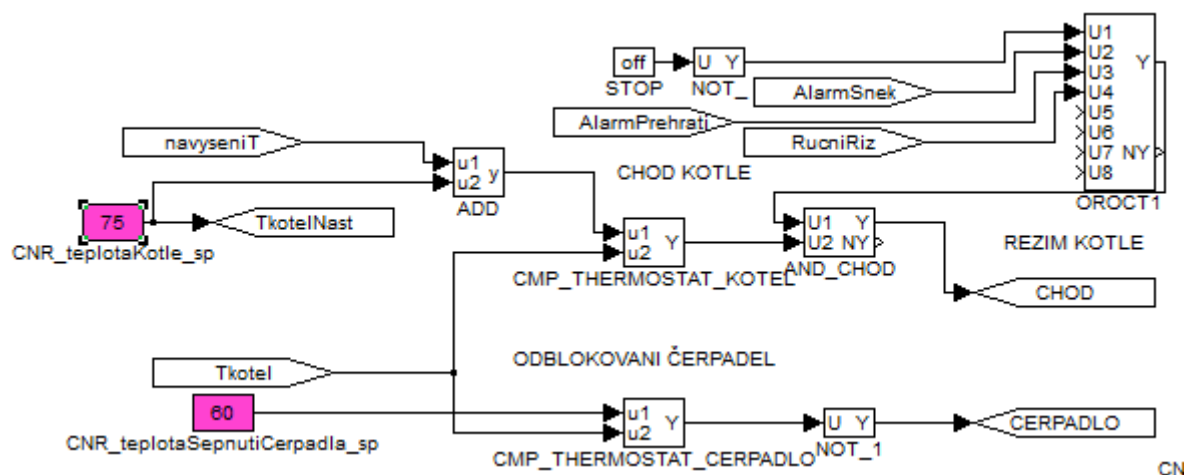
HMI rozhraní se tvoří v softwaru zvaném HMI designér, což je vektorový kreslicí program, který obsahuje pluginy pro práci s grafickými objekty HMI. S vektorovým grafickým editorem se pracuje podobně jako s jinými grafickými editor s tím rozdílem, že je potřeba propojit proměnné ze kterými se pracuje z projektu v RexDraw a definovat místní proměnné používané v HMI. (REX Controls, 2017)



Obr. 8 Konfigurace proměnných v HMI rozhraní

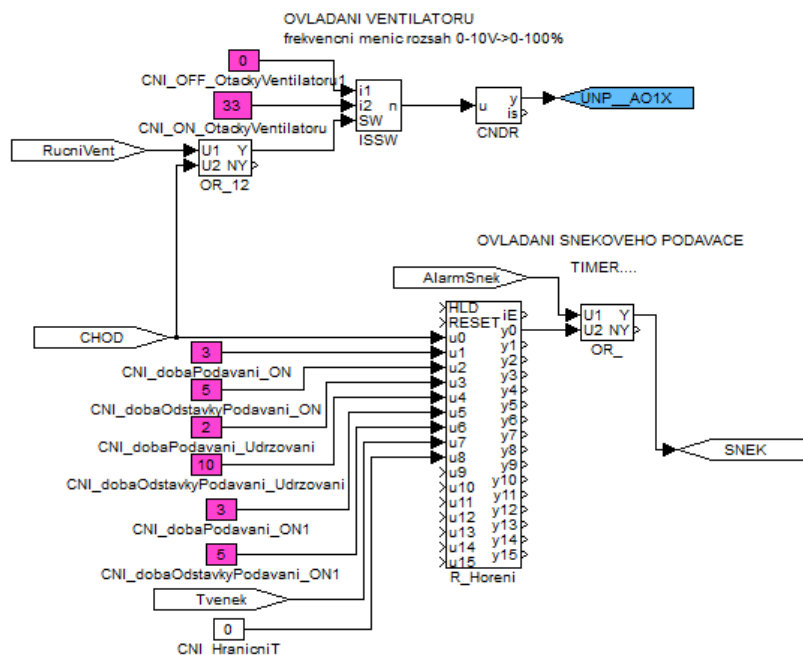
5 Návrh řízení kotle na tuhá paliva

O chodu kotle rozhoduje hlavní termostat, který porovnává definovanou teplotu s aktuální. Jestliže je teplota nižší než definovaná jeho výstup se přepne na hodnotu log. 1, ta je potom přivedena na jeden ze dvou vstupů logického členu AND_CHOD, který řeší zastavení chodu z důvodu jeho vyžadovaného zastavení, v případech přehřátí kotle a při aktivaci ručního režimu. S hlavním termostatem kotle se zde také nachází termostat pro uvolnění chodu všech čerpadel při nastavené teplotě. Tato funkce je důležitá, aby nedocházelo ke zbytečnému zchlazování nahřívajícího se kotle.



Obr. 9 Schéma regulátoru – termostat kotle a čerpadel

Proměnná chod poté dává pokyn naprogramovanému bloku rexlang se jménem `r_horeni`, a je zavedeno také na logický součet, který je vyveden na blok přepínače, který přepne z proměnné 0 na proměnnou odpovídající daným otáčkám v procentech. Informace o otáčkách jde přes blok CNDR, který přizpůsobuje vstupující hodnotu na správnou hodnotu analogového výstupu z důvodu, že rozsah (0-1023) vstupující do UNP_AO1X neodpovídá lineárně výstupnímu napětí. Tím dojde ke spuštění ventilátoru na pokyn ručního řízení nebo při spuštění chodu. Do bloku `r_horeni` vstupují proměnné, které se jmenují doba odstávky a doba přerušení. V proměnných je uloženo číslo vyjadřující čas ve vteřinách, jak dlouho má šnekový podavač pracovat a jak dlouho čekat než dojde k jeho spuštění. Tyto doby jsou celkem 3. Jedna se používá, když je šnekový podavač v chodu. Druhá pro udržování stále připraveného hořáku, když kotel nepracuje a třetí, na kterou se přepíná, klesne-li teplota pod nastavenou teplotní hranici, aby se navýšil výkon kotle.

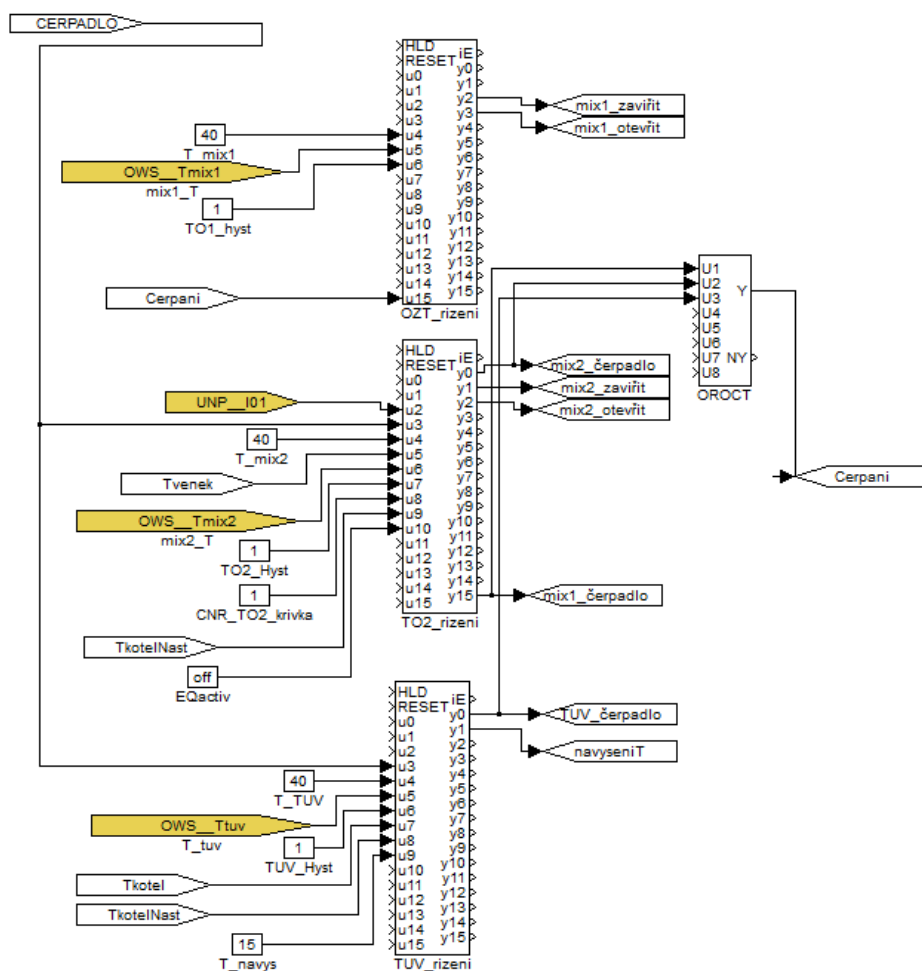


Obr. 10 Schéma regulátoru – řízení šneku

Na obrázku 10 lze vidět tři bloky rexlangu OZT_řízení, TO_řízení, TUV_řízení. Blok OZT_řízení slouží k řízení teploty zpátečky topné vody do kotle, tento blok funguje jen tehdy, když je připojené čidlo teploty zpátečky vody. Pokud čidlo není připojeno, blok tento stav vyhodnotí a je vyřazen. Princip spočívá v tom, že pokud je spuštěno jedno z čerpadel a čidlo teploty připojeno, blok ovládá elektronický směšující ventil, který pouští teplou vodu do zkratu, aby nedocházelo k nízkoteplotní korozi uvnitř kotle způsobené ochlazením tělesa kotle.

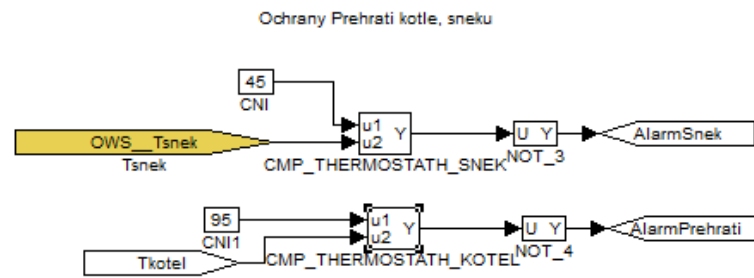
Blok TUV_řízení řídí ohřev teplé užitkové vody v bojleru tím, že spíná čerpadlo na okruhu TUV (teplé užitkové vody). Za předpokladu připojeného čidla TUV blok řídí spuštění čerpadla pro ohřev užitkové vody. Spuštění čerpadla předchází kontrola, jestli je teplota v zásobníku TUV vyšší než teplota kotle. Pokud je čerpadlo spuštěno, tak dochází k dočasnému navýšení kotle o konstantu T_{navys} .

Blok TO2_řízení řídí topný okruh. Za předpokladu připojeného teplotního čidla pro směšování topného okruhu, je trojcestným ventilem řízena teplota topné vody hnané z kotle do topného okruhu. Pokud chybí snímač teploty směšování, blok vypne řízení topné vody do okruhu a je spuštěno kotlové čerpadlo. Pokud je připojeno čidlo směšování, je vyhodnocována boolovská hodnota pro spuštění řízení podle ekvitermní teploty. V poslední řadě je vyhodnocována logická hodnota vycházející z digitálního vstupu, na kterém je připojen pokojový termostat, aby došlo ke spuštění čerpadla a řízení směšování.



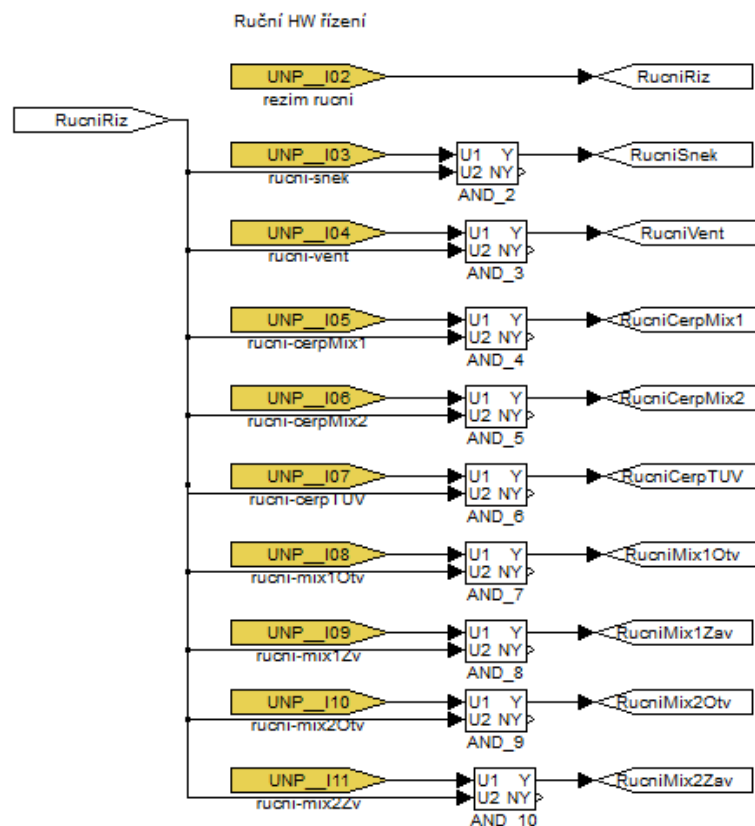
Obr. 11 Schéma regulátoru – řízení topné soustavy

Dále jsou realizovány termostaty proti přehřátí kotle a šnekového podavače. Pokud dojde k přehřátí kotle, kotlový havarijní termostat okamžitě přeruší chod kotle a sepne čerpadla, aby došlo ke zchlazení kotle. Když se kotel zchladí, regulátor opět umožní standardní chod regulace. Pokud dojde k sepnutí havarijního termostatu šneku, je nutné zkontrolovat těsnění zásobníku uhlí, protože dochází k prohořívání uhlí směrem do šneku. Regulace na tento stav reaguje neustálým vyhrnováním uhlí ze šneku než dojde ke zchlazení a tím všechno žhavé palivo skončí v popelníku a je potřeba znovu zapálit palivo v hořáku.



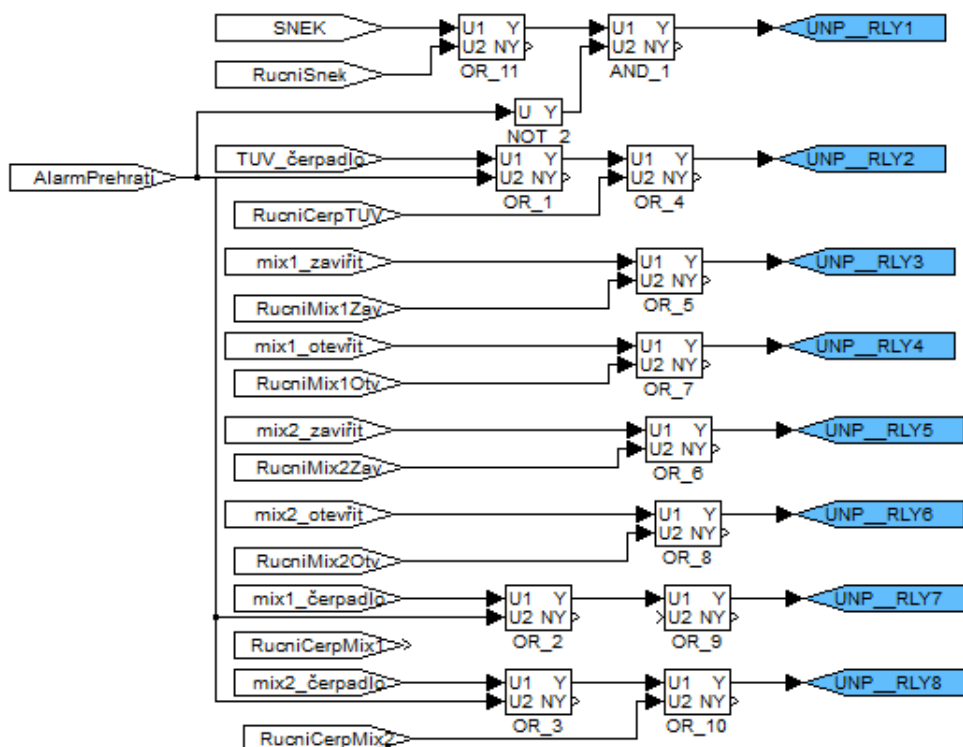
Obr. 12 Schéma regulátoru – ochrany kotle

Na obrázku 13 lze vidět realizaci ručního řízení, které je ovládané digitálními vstupy. Pokud je na digitální vstup číslo dva dovedeno napětí v rozmezí 5V-24V je digitální vstup přepnut do stavu log.1 a tím je aktivován ruční režim, kdy dochází k zastavení veškerých činností regulátoru. Pokud se na dalších digitálních vstupech tři až jedenáct objeví log.1 dojde k aktivaci jednoho z přiřazených prvků.



Obr. 13 Schéma regulátoru – vstupy ručního řízení

Na obrázku 14 je vidět přiřazení jednotlivých výstupů k fyzickým relátkům jedna až osm.



Obr. 14 Schéma regulátoru - relé výstupy

Bloky TUV_řízení, TO2_řízení a OZT_řízení vyhodnocují změny jednou za pět sekund. Na konci každého pětisekundového cyklu je vždy uložen čas, který vrací metoda `CurrentTime()` od začátku spuštění počítače a ten je porovnáván funkcí `ElapsedTime(newTime,oldTime)` s již uběhlým časem a když je rozdíl větší než 5s dochází k vykonání kódu uvnitř podmínky. Funkce `CurrentTime()` vrací čas v interním formátu počítače a tak je potřeba funkce `ElapsedTime(newTime,oldTime)`, která časy porovná a vrátí rozdíl v sekundách.

```
if(ElapsedTime(CurrentTime(),cas)>=5){
....kod vykonaný jednou za 5s
cas=CurrentTime();
}
```

Automatické odstavení dané části funkčního bloku, kdy snímač není připojen je prováděno po inicializaci bloku v části, která se vykoná jen jednou při spuštění tak, že u každého použitého snímače DS18B20 nastavíme teplotu (snímačem nedosažitelnou), kterou bude vracet systém, není-li snímač připojen. Pokud se nám při spuštění tato "nedosažitelná teplota" načte, tak se v kódu do boolovské proměnné stav uloží 0 a následně v hlavní části kódu je tento stav testován jednoduchou podmínkou.

```

long init(void) //část kódu, která proběhne jen jednou při spuštění
{
    cas = 0;

    if(Tmix>130){ // V proměnné Tmix je načtena teplota snímače a pokud je tep-
lota vyšší jak 130°C jde jasně o chybu
        stav=0;
    }else{
        stav=1;
    }
}
long main(void)
{
    if(stav=1){
//vykonání ukonů, závisejících na připojeném snímači
    }else{
//kód pro řízení, kdy snímač není potřeba.
    }

    Řízení trojcestného ventilu probíhá v bloku, který se vykonává jednou za 5s, tak
že je spuštěno nebo vypnuto relé pro daný pohyb doleva nebo doprava, servopohon
tímto ventilem otáčí těchto daných 5s. Doba přeběhu servopohonu z jedné krajní
polohy do druhé u standardně používaných pohonů trvá obvykle 120s což je posun
o necelé 4% z celkového rozsahu. Samotný kód řízení je jen o testování podmínek
teplot.
    if(Tmix<TsetMix-Hys){ // otevírání mixu
        MixOtv=1;
        MixZav=0;
    }else{ // teplota mixu v nastavených mezí, stop
        MixOtv=0;
        MixZav=0;
    }
    if(Tmix>TsetMix){ // zavírání mixu
        MixOtv=0;
        MixZav=1;
    }
}

```

Výpočet ekvitermní teploty probíhá tak, že do funkce EqTemp (Tkotel-Nast,Tvenk) vstupují parametry aktuální teplota kotle a venkovní teplota. Následně je výpočtem, který používá firma Amit s.r.o vypočítaná a funkcí vrácena daná ekvitermní teplota. Výpočet ekvitermní teploty se skládá ze dvou vzorců. První vzorec slouží k výpočtu ekvitermní konstanty E, druhý vzorec slouží pro výpočet požadované teploty.

$$E = \frac{t_{w1z} - t_{w2z}}{t_{i1u} - t_{i2u}}$$

$$t_{w1} = E * t_i + (1 - E) * t_e$$

E je ekvitermní konstanta [-]

t_e je venkovní teplota [°C]

t_i je teplota v místnosti [°C]

t_{w1z} je teplota topné vody vstupující do radiátoru [°C]

t_{w2z} je teplota ochlazené topné vody vystupující z radiátoru [°C]

t_{i1u} a t_{i2u} jsou ustálené tepoty uvnitř místnosti [°C]

(ŠTĚPÁNEK, 2011)

6 Závěr

6.1 Zhodnocení řešení regulátoru kotle

Realizovaný projekt kotlového regulátoru postavený na počítači Raspberry pi s rozšiřující deskou UniPi lze použít u většiny automatických kotlů a přestavěných kotlů na tuhá paliva. Výhodou je automatické přepnutí mezi dvěma nastaveními výkonu hořáků na základě hraniční teploty. Toto nastavení dovede pružně reagovat na zvýšení spotřeby tepelné energie vytápěného objektu v přechodném období, kdy jsou denní venkovní teploty nad nastavenou hranicí a výkon kotle je zbytečně vysoký. Při vysokém výkonu kotle a malé spotřebě energie, kotel pracuje v častých krátkých intervalech. V komínovém tělese vzniká velké množství kyselého kondenzátu a kotlové těleso se rychleji zanášá sazí. V tomto případě je lepší snížit výkon hořáků, aby kotel pracoval v delším časovém intervalu ohřevu topné vody.

Velkou slabinu vidím v počítači Raspberry pi v tom, že jeho operační systém se nachází na paměťové kartě, která nemusí být úplně spolehlivá a může se stát, že dojde k nějaké nespecifikované chybě, ať už její špatnou kvalitou, nebo výpadkem napájení. Systém se poté nemusí správně načíst nebo se nenačte vůbec. Tento problém nastal i během realizace této práce zhruba ve dvou případech. Je tedy vhodné mít udělanou zálohu paměťové karty s funkčním systémem řízení, nebo použít jiný počítač od stejného výrobce jménem Banana pi, který používá pevný disk místo paměťové karty a má shodný čtyřicetipinový GPIO konektor pro připojení desky UniPi.

Regulátor postavený na řídicím systému REX je výhodný oproti regulátorům k tomu přímo určeným tím, že není potřeba nadstavovat tyto regulátory jiným řízením, když nepodporují nově požadované funkce. K přehlednému zobrazení provozních parametrů kotle bylo využito vytvořené grafické rozhraní HMI. Řídicí systém REX se stále vyvíjí a je nutné sledovat stále se rozšiřující dokumentaci.

6.2 Možnosti budoucího rozvoje

Do budoucna by bylo možné do schématu regulace začlenit funkce pokojového termostatu, řízení teploty každé místnosti vytápěného objektu nezávisle na sobě a použít jej v rámci částečné realizace chytré domácnosti ve vlastním domě.

U regulátoru s řídicím systémem REX, který byl využit v této práci, stačí pouze upravit stávající schéma projektu a tím můžeme, kdykoliv přidat nové funkce například řízení záložního zdroje tepla (elektrokotle) zapojeného paralelně, detekce množství paliva v zásobníku ultrazvukovým snímačem, řízení chlazení objektu v létě nebo řízení rekuperace vzduchu.

Byla by možnost rozšířit grafické rozhraní vytvořeného regulátoru o nastavení daných parametrů regulace v prostředí HMI, která by uživateli nabídla jednodušší práci s kotlem.

7 Literatura

- ABOUT US* [online]. Cambridge: THE RASPBERRY PI FOUNDATION, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/about/>
- CONTROLLINO: OPEN-SOURCE PLC KOMPATIBILNÍ S ARDUINO IDE* [online]. Šenov: OLDŘICH HORÁČEK, 2015 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://arduino.cz/controlino-open-source-plc-kompatibilni-s-arduino-ide/>
- DATASHEET SMT172* [online]. The Netherlands: SMARTEC, 2015 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.969-074.1.pdf>
- DATASHEET TMP04* [online]. Norwood: ANALOG DEVICES, 2016 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/TMP03_04.pdf
- Ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie* [online]. Praha 1: MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz//dokument158127.html>
- Ekvitermní regulace – princip a využití v systémech regulace vytápění*. Tzb-info [online]. Praha 6: TOPINFO, 2010 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapeni>
- Guidelines for Reliable Long Line 1-Wire Networks* [online]. San Jose: MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2008 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/148>
- Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě*. VYTAPENI.TZB-INFO [online]. Praha 6: TOPINFO S.R.O., 2013 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9665-jake-parametry-musi-splnit-kotle-na-tuha-paliva-legislativa-v-cr-a-evrope>
- KOLONIČNÝ, JAN, JIŘÍ HORÁK A SILVIE PETRÁNKOVÁ ŠEVČÍKOVÁ. *Kotle malých výkonů na pevná paliva*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2542-7.
- LYČKA, ZDENĚK. *Malé teplovodní kotle na pevná paliva: spalování pevných paliv po roce 2013*. Krnov: LING Vydavatelství, 2012. ISBN 978-80-904914-2-7.
- Měření teploty - kovové odporové senzory teploty*. Vyvoj.hw [online]. Praha 4 - Kateřinky: HW SERVER, 2004 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>
- Měření teploty - polovodičové odporové senzory teploty*. Vyvoj.hw [online]. Praha 4 - Kateřinky: HW SERVER, 2004 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>

- Monarco HAT – Lightweight I/O for the Raspberry Pi minicompute* [online]. Plzeň: MONARCO SOLUTIONS GROUP, 2016 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.monarco.io/docs/Monarco-HAT-Hardware-Reference-Manual.pdf>
- RADINA, Ondřej. *Energetické využití dřevoplynu*. Plzeň, 2013.
- Raspberry Pi 2 Model B* [online]. Cambridge: THE RASPBERRY PI FOUNDATION, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>
- Raspberry Pi 2 Model B 1GB* [online]. České Budějovice: MICHAL PRENNER, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://rpishop.cz/raspberry-pi-pocitace/170-raspberry-pi-2-1024-mb-ram.html>
- Raspberry Pi Pinout* [online]. England: PHIL HOWARD, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: https://pinout.xyz/pinout/pin1_3v3_power
- REX Controls* [online]. Plzeň: REX CONTROLS, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.rexcontrols.cz/>
- STYKAČE A RELÉ* [online]. Teplice: STŘEDNÍ ŠKOLA STAVEBNÍ A STROJNÍ, Teplice, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T1.2-Styka%C4%8D-a-rel%C3%A9.pdf>
- ŠTĚPÁNEK, JINDŘICH. *VÝPOČET EKVITERMNÍ KŘIVKY*. Brno, 2011. TERMOČLÁNKY: KONSTRUKCE, VYUŽITÍ A ÚČINNOST. E-konstrukter [online]. Praha 10: Petr Filip, 2014 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/termoclanky-konstrukce-vyuziti-a-ucinnost>
- UniPi 1.1* [online]. Brno: UNIPi.TECHNOLOGY, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.unipi.technology/cs/produkty/unipi-1-1-19?categoryId=1&categorySlug=unipi-1-1>
- Výrobky pro řízení systémů teplovodního vytápění pro každodenní práci* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: REMAK, 2016 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.esbe.cz/assets/Uploads/ESBE-katalog-2016.pdf>
- ZMRHAL, MARTIN. *Monitoring teploty*. Praha, 2010.
- ŽUŠKA, MARTIN. *ASYNCHRONNÍ MOTOR SE STÍNĚNÝM PÓLEM*. Brno, 2008.

Přílohy

A Obsah přiloženého CD

Složky a jejich obsah:

- Projekt – Soubory projektu RexDraw
- Dokumenty – elektronická verze závěrečné práce
- Systém – Obraz microSD karty s operačním systémem Raspberry pi s nainstalovaným jádrem RexCore