



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV INFORMATIKY

INSTITUTE OF INFORMATICS

MANAGEMENT TOPNÉ ENERGIE V DOMÁCNOSTI

MANAGEMENT OF HEATING ENERGY AT HOME

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Stanislav Dohnal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Kříž, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav informatiky
Student: **Bc. Stanislav Dohnal**
Studijní program: Systémové inženýrství a informatika
Studijní obor: Informační management
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Kříž, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává diplomovou práci s názvem:

Management topné energie v domácnosti

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Cíle práce, metody a postupy zpracování
Teoretická východiska práce
Analýza současného stavu
Vlastní návrhy řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Cíle, kterých má být dosaženo:

Cílem práce je návrh managementu topné energie sběrem dat z různých senzorů a čidel, jejich vyhodnocení a zpracování.

Základní literární prameny:

BANZI, Massimo. Getting started with Arduino. 2nd ed. Farnham: O'Reilly, 2011. ISBN 978-1449309879.

BURIAN, Pavel. Internet inteligentních aktivit. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-5137-5.

BUYA, Rajkumar a Amir Vahid DASTJERDI. Internet of Things: Principles and Paradigms. Cambridge: Elsevier, 2016. ISBN 978-0-12-805395-9.

DUFKA, Jaroslav. Hospodárné vytápění domů a bytů. Praha: Grada, 2007. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2019-7.

VALEŠ, Miroslav. Inteligentní dům. Brno: ERA, 2006. 21. století. ISBN 80-7366-062-8.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 28. 2. 2017



doc. RNDr. Bedřich Půža, CSc.
ředitel



doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Cílem práce je přizpůsobení starého vytápěcího systému tak, aby systém sám plnil potřeby uživatele a usnadnil mu jeho ovládání. Nový vytápěcí systém dokáže samostatně automaticky ovládat vytápění. Jeho důležitou součástí je vzdálený přístup k ovládání systému. Uživatel má tak vždy dostupné aktuální informace a může podle svých potřeb nastavit vytápění.

Abstract

The aim is to adapt the old heating system so that the new system will meet the needs of users and facilitate control of system. The new heating system can independently control heating automatically. Its important part is remote access to system control. The user always has up-to-date information and can adjust the heating to suit his needs.

Klíčová slova

Vytápění, chytrá domácnost, vzdálený přístup, Arduino, ESP8266, c++, zdroj tepla, regulace, úspora.

Keywords

Heating, smart home, remote access, Arduino, ESP8266, c++, heat source, regulation, savings.

Bibliografická citace

DOHNAL, S. *Management topné energie v domácnosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2017. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Kříž, Ph.D..

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva. (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 22. května 2017

.....

Stanislav Dohnal

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Vymezení problému a cíle práce	11
3	Teoretická východiska práce	13
3.1	Paliva pro produkci tepelné energie	13
3.1.1	Dřevo a štěpka	13
3.1.2	Bioplyn a biomasa	13
3.1.3	Slunce.....	14
3.1.4	Černé uhlí a koks	15
3.1.5	Hnědé uhlí.....	15
3.1.6	Zemní plyn.....	16
3.2	Produkce tepelné energie	16
3.2.1	Kotel na tuhá paliva	16
3.2.2	Plynový kotel	17
3.2.3	Elektrina.....	17
3.2.4	Solární technologie	18
3.2.5	Tepelné čerpadlo.....	19
3.3	Distribuce a regulace tepelné energie	19
3.3.1	Akumulační nádrž.....	19
3.3.2	Oběhová čerpadla a okruhy	20
3.3.3	Třicestný ventil	20
3.3.4	Ekvitermní regulace.....	21
3.3.5	Termostatické hlavice	21
3.4	Chytrá domácnost.....	22
3.4.1	Úspora a monitorování spotřeby energií.....	23

3.4.2	Vytápění.....	24
4	Analýza problému a současné situace	25
4.1	Popis vytápěného objektu	25
4.1.1	Objekt a lokalita.....	25
4.1.2	Mapa slunečního záření	26
4.1.3	Denostupně	26
4.1.4	Člověk jako zdroj tepla	28
4.1.5	Předměty produkující teplo.....	29
4.2	Současné řešení	30
4.3	Popis topného systému	31
4.3.1	Čerpadla a okruhy	31
4.3.2	Topná tělesa	32
4.3.3	Třicestný směšovací termostatický ventil.....	32
4.3.4	Akumulační nádrž.....	32
4.3.5	Zplynovací kotel na dřevo	33
4.3.6	Sekundární kotel s dopravníkem.....	33
4.3.7	Schéma topné soustavy	34
4.3.8	Zjednodušený půdorys objektu	34
4.4	Ovládání topného systému	35
4.4.1	Termohlavice	35
4.4.2	Spínání čerpadel.....	36
4.4.3	Ovládání kotlů.....	36
4.4.4	Palivo	37
5	Vlastní návrhy řešení	39
5.1	Volba platformy	39
5.1.1	Raspberry Pi.....	39

5.1.2	Libelium Waspmote.....	40
5.1.3	Arduino	42
5.1.4	Specializované řešení vytápění	44
5.1.5	Shrnutí a výběr.....	45
5.2	Návrh řešení	45
5.3	Primární kotel.....	46
5.4	Sekundární kotel.....	50
5.4.1	Vstupy a výstupy	50
5.4.2	Funkcionalita	50
5.4.3	Použití modulů.....	52
5.5	Automatizace vytápění objektu.....	55
5.6	Minimalistické zařízení v jednotlivých místnostech.....	56
5.6.1	Požadavky a definice	56
5.6.2	Regulace topení.....	58
5.6.3	Senzory	59
5.6.4	SDK a programování	60
5.6.5	Schéma zapojení jednotky	60
5.6.6	Funkcionalita	61
5.7	Hlavní řídicí jednotka.....	62
5.8	Vzdálený přístup	65
5.9	Podpora mobilní aplikace.....	67
5.10	Celkové náklady a úspora.....	70
6	Závěr	72
7	Seznam použité literatury	73

1 Úvod

Když venku začínají klesat teploty k bodu mrazu a nám už nestačí teplé oblečení a je potřeba začít vytápět domov pro zvýšení našeho komfortu, přichází ta pravá chvíle pro uplatnění oboru managementu topné energie. K čemu je tento obor potřebný? Jedním velkým bodem je například úspora na vynaložených nákladech za potřebnou topnou energii. Je rozdíl, pokud vytápíme rozlehlý dům v tuhém mrazu, a v tom, zda vytápíme malý byt za teplého slunného počasí. Základním pravidlem je zabránit přehřívání místností a zachovat stabilní dodávku topné energie při její potřebě.

Každý z nás se s tímto oborem setkává každým rokem. Jak tedy zajistit dostatečné tepelné pohodlí pro každého z nás? Odpovědí je individuální řešení topného systému podle oborových zkušeností. Pro dosažení vyššího komfortu je samozřejmostí nastavení časových programů, přizpůsobení jednotlivých místností, a hlavně vzdálený přístup k systému. Vzdálený přístup například poskytuje uživateli možnost vytopit si dům ještě před příjezdem z práce. Vytápění na bázi chytrého domu již zná zvyklosti obyvatelů a dokáže automaticky předvídat příjezd obyvatelů (a taktéž vyhřát patřičné místnosti).

První částí této práce je vymezení problému a specifikace požadavků. Poté je poskytnuta základní teoretická základna – je zde popsána od samotného zdroje tepla (paliva), přes produkci tepla (kotel) až po distribuci vzniklé energie celým systémem a její následnou regulaci (úspora). Poslední teoretickou částí je nástin konceptu chytré domácnosti a příklad toho, jak by mohl vypadat systém chytrého vytápění.

Druhou částí je analýza současného stavu systému. Je zde popsán vytápěný objekt (poloha vůči slunci, tepelné zdroje v objektu). Poté popis navazuje na topný systém, který je detailně rozebrán. Následuje regulace a ovládání tohoto topného systému a přehled používaného paliva s hodnocením efektivity.

Poslední částí je návrh nového systému, respektive přizpůsobení starého. Po návrhu řídicích jednotek kotlů následuje automatizace vytápění objektu. To znamená návrh a umístění pokojových jednotek, které se starají o regulaci topné energie ve všech místnostech. Propojením všech jednotek vzniká hlavní jednotka (server), která sbírá data, okamžitě je vyhodnocuje a provádí patřičné akce. Závěrem je uvedena mobilní aplikace pro vzdálený přístup a celkové náklady včetně možné úspory.

2 Vymezení problému a cíle práce

Cílem práce je navrhnout systém, který poskytne podporu v oblasti úspor financí za vytápění. Konkrétněji zajistit úsporné řešení na základě kladených požadavků na systém.

Vymezení problému je vysoká spotřeba energie za topnou sezónu, tedy vysoké náklady na vytápění. Tento problém spočívá v přetápění místností, či vytápění v místnostech, kde se zrovna nikdo nenachází. Špatná či nesprávná míra regulace v tomto případě hraje taktéž svoji roli.

Další chybějícím článkem je nemožnost dálkového zapnutí a přehledu o celém objektu. Není zaveden žádný systém, který by měl na starost tento problém. Tato skutečnost bude stěžejní částí návrhu řešení. Tedy návrh systému, který bude umožňovat dálkové zapnutí potřebných akčních členů v objektu.

Vysoká spotřeba bude regulována akčními členy na jednotlivých komponentách celého vytápěcího systému. Jaké akční členy ale zvolit? Jakou platformou je všechny propojit? Bude lepší, pokud budou fungovat jako autonomní jednotky, či centralizovaná jednotka, která rozesílat pokyny? To vše je součástí návrhu.

Dalším omezením jsou požadavky kladené na systém. Je třeba zajistit úspornou, ale efektivní formu systému. Jelikož byl topný systém v minulých letech měněn, další zásah do systému není dle požadavků možný.

Začlenění nového systému formou dnešních chytrých domácností je posledním kladeným požadavkem. V případě navrženého vlastního systému (který lze jednoduše naprogramovat) je připojení k internetu nejjednodušší formou ovládní. Budeme tedy schopni naprogramovat vlastní prostředí a chování jednotlivých subsystémů.

Postup přechodu k lehčí formě chytré domácnosti a současné úspore na nákladech za vytápění by mohl být následující. Změna termostatických hlavice na termoelektrické by měla přinést největší úsporu, protože termostatické hlavice nelze regulovat nijak jinak než rukou – manuálně, zatímco u termoelektrické již stačí pouze poslat signál z jiné jednotky. Dalším krokem je navržení systému, který zabezpečí splnění požadavků. Tento systém rovněž bude ovládat hlavice podle toho, jak jsou místnosti využívány. Poslední krok je přechod z manuálního ovládní kotle na automatizované.

Celý postup je zahrnut v návrhu řešení. Je vyřešena otázka, jak uspořít, ale zachovat tepelný komfort obyvatelů. Rovněž je vyřešen problém pohodlného způsobu ovládání systému mimo domov či případného automatického „chytrého“ chování.

3 Teoretická východiska práce

3.1 Paliva pro produkci tepelné energie

V dnešní době si prakticky můžeme vybírat z různých zdrojů. Jsou zdroje, které jsou více ekologicky zaměřené, jiné životnímu prostředí škodí. Základní klasifikace zdrojů energie:

- Fosilní paliva: uhlí, ropa, zemní plyn.
- Obnovitelné zdroje: energie vodní, geotermální, sluneční, fotoelektrická a termální.
- Jaderná energie.
- Vodík.
- Metanol a etanol.

Spotřeba energie stále roste a neobnovitelné zdroje pomalu začínají docházet. [1]

Nyní se podíváme na přehled těch nejvyužívanějších paliv v domácnostech. Nejdříve obnovitelné zdroje a poté neobnovitelné.

3.1.1 Dřevo a štěpka

Dřevo může být nakoupeno v různých podobách – může jít o kácené velké kmeny, kusové štípané i neštípané dřevo přímo na míru (podle rozměrů) či malá polínka na topení v krbu. Kromě toho můžeme koupit také piliny, štěpku, pelety, brikety, hrubé špalky či třeba i kůru. Jde o obnovitelný zdroj.

Konečná efektivita procesu spalování je závislá na aktuální vlhkosti dřeva a s tím spojenou výhřevností. Čerstvě kácené dřevo v lese má obsah vody okolo 50–60 %, skladováním v suchém a větraném prostoru postupně dochází k vysychání, tedy snižování obsahu vody. Nejvhodnější dřevo pro topení (pro přeměnu v tepelnou energii) má obsah vody okolo 20 %. Nejvíce vody obsahují stromy jako např. smrk, jedle a topol (až 60 %). K sušším stromům patří dub, buk a líska (až 45 %). [2]

„Dřevní hmota při přirozeném provětrávání pod střechou sníží svůj obsah vody na 20 % za jeden rok.“ [3]

3.1.2 Bioplyn a biomasa

„Obecně je pod pojmem biomasa míněna veškerá organická hmota na naší planetě, účastníci se koloběhu živin v biosféře. Jsou to těla všech organismů – živočichů, rostlin, bakterií, hub a sinic. Z hlediska energetického je důležitá pouze biomasa, která je energeticky využitelná. Teoreticky je možné získávat energii ze všech forem biomasy,

jelikož základem veškeré živé hmoty je uhlík a jeho chemické vazby, obsahující energii. Za energetickou biomasu jsou však většinou považovány rostliny. Ty jsou schopny využívat slunečního záření k fotosyntéze, při které je využito jednoduchých anorganických látek – oxidu uhličitého a vody k tvorbě energeticky bohatých sloučenin – cukrů. Jinak řečeno, v rostlinách je akumulována energie slunečního záření. Tato akumulace se vyznačuje poměrně nízkou účinností, na druhou stranu je dlouhodobá a disponuje v podstatě nulovými ztrátami.“ [4]

„Bioplynové stanice jsou zařízení, ve kterých dochází k přeměně biomasy na bioplyn a digestát. Hlavní složkou bioplynu je metan (50-75 %), potom oxid uhličitý (25-50 %) a malé množství dalších příměsí. Vzniká bakteriálním rozkladem organické hmoty za nepřístupu vzduchu. Tento proces se nazývá anaerobní fermentace. V bioplynu je nositelem energie pouze metan, CO_2 a ostatní příměsí jsou balastními plyny. Pro metan izolovaný z bioplynu používáme označení biometan – jedná se o ekvivalent zemního plynu, liší se pouze svým původem. Bioplyn o objemu 1 m^3 tedy obsahuje $0,60 \text{ m}^3$ metanu, vyrobíme z něho asi 2,28 kWh elektrické energie a 2,7 kWh tepla.“ [5]

3.1.3 Slunce

Systémy využívající sluneční energii můžeme rozdělit na pasivní a aktivní. Pasivní jsou jednak stavební úpravy ve starší zástavbě, jednak novostavby, kde je s tímto využitím energie již počítáno. Vnější plášť budovy v novostavbě stejně tak jako orientace obytných a technických prostor ke světovým stranám je konstruována tak, aby bylo zachyceno optimální množství sluneční energie. Aktivní skupina se dělí na fototermické a fotovoltaické. Fototermický systém přeměňuje získanou sluneční energii na tepelnou energii pracovní tekutiny, která je ve vnitřním oběhu. Naopak fotovoltaický systém přeměňuje získanou sluneční energii na elektrickou energii, která je pak využita některým spotřebičem, či akumulována. [6]

„Stručný princip fototermického systému je následující. Systém má tři základní části, které by měly být vzájemně optimalizovány při návrhu systému. Jedná se o část samotných fototermických kolektorů, které jsou umístěny tak, aby byly co nejvíce v průběhu dne i roku osluněny (azimut, sklon vůči rovině). Kolektory jsou vybaveny absorpční vrstvou, která zajišťuje co největší absorpci slunečního záření a jeho přeměnu na teplo, které předává teplotonosné kapalině v primárním okruhu systému. Primární okruh

teplonosné kapaliny (pro celoroční provoz obvykle nemrznoucí) přivádí kapalinu z kolektorů do akumulární nádrže (zásobníku), kde ve výměníku předává teplo získané v kolektoru vodě v zásobníku. Ze zásobníku je pak teplá (či přehřátá) voda rozvedena do místa spotřeby.“ [7]

Kromě sluneční energie patří do kategorie obnovitelných zdrojů i geotermální energie.

Nyní následuje přehled neobnovitelné zdrojů, které jsou hojně využívány v energetice.

3.1.4 Černé uhlí a koks

„Černé uhlí vznikalo přibližně před 250-350 miliony let, a je uloženo v hloubkách dosahujících až 1200 metrů, odkud je získáváno dolováním. Kvalita uhlí je posuzována podle obsahu uhlíku. Nejvyšším černým uhlím je antracit, na druhém konci pomyslné tabulky nalezneme plynové uhlí, ze kterého se vyrábí svítiplyn.“ [8]

„Koks je pevný uhlíkatý zbytek vyrobený z nízkopopelového, nízkosirného černého uhlí, ze kterého jsou odstraněny prchavé složky v peci s omezeným přístupem kyslíku při teplotách kolem 1000 °C. Při tom vzniká také kamenouhelný dehet, čpavek, lehké oleje a svítiplyn. Má vynikající výhřevnost 29,6 MJ/kg, v metalurgii jsou významné ale i jeho další vlastnosti, především vysoký podíl uhlíku a málo nečistot. Díky vysoké výhřevnosti, příznivému obsahu spalin (při hoření vzniká prakticky jen oxid uhličitý) a nízké prašnosti je koks také jediným palivem povoleným i v centrech měst.“ [9]

Výhodou černého uhlí je hlavně cena a vysoká výhřevnost. Černé uhlí má taktéž velkou účinnost a s použitím automatického kotle (včetně zásobníku) je prakticky bezobsluhové. Nevýhodou je vysoký podíl škodlivých látek, které vznikají při jeho spalování, vyčerpatelné zásoby a náročnější těžba. [8] [10]

3.1.5 Hnědé uhlí

„Z hnědé uhlí se v současnosti získává teplo a teplá voda zhruba pro milion bytových jednotek, které jsou vytápěny dálkově. Hnědé uhlí je tak zásadním pilířem teplotnictví v ČR. Hnědé uhlí a lignit se nalézají se v menších hloubkách, a proto se těží v povrchových dolech. Hnědé uhlí má zhruba poloviční výhřevnost oproti černému – nejkvalitnější, tzv. hnědý antracit – 3900 kcal. Nejmladší hnědé uhlí se nazývá lignit. Je nejméně zuhelnatělý a obsahuje vysoký podíl vody – až 40 %.“ [8]

Výhodou jsou menší náklady na těžbu a spousta nalezišť, ovšem za cenu malé výhřevnosti, velkého podílu škodlivých látek a vysoké kouřivosti. O produkci hnědého uhlí se v ČR starají 4 společnosti. Největším odběratelem je ČEZ, další dodávky uhlí se týkají vlastní spotřeby producentů, poté segmentu nezávislých výrobců (např. teplárny) a nejmenším segmentem jsou odběratelé tříděného uhlí (domácnosti). [8] [11]

3.1.6 Zemní plyn

„Zemní plyn je nejčistší a nejbezpečnější mezi primárními palivy. Ve své ryzí podobě je zemní plyn hořlavá látka bez barvy, tvaru a zápachu. Při jeho spalování se na rozdíl od jiných fosilních paliv uvolňuje do vzduchu mnohem méně škodlivin. Energie ze zemního plynu se hojně využívá k topení, vaření, výrobě elektrické energie či pohonu motorových vozidel.“ [12]

Výhodou je značná ekologie (při spalování nevznikají tuhé látky), výborná dostupnost po celý rok, snadná regulace plynového kotle, přitom není potřeba skladovací prostor. Výhřevnost je až 34 MJ/m^3 . Těžba probíhá pomocí vrtů (naftový zemní plyn) až do hloubky 8 km. Druhým typem je zemní plyn karbonský, ten vzniká v průběhu přeměny prvohorních rostlin na černé uhlí (kde se také vyskytuje), těží se také vrtů. [13] [14]

3.2 Produkce tepelné energie

3.2.1 Kotel na tuhá paliva

Kotle na tuhá paliva se dělí na několik kategorií. Nejpraktičtější dělení je na základě druhu spalovaného paliva. Existují kotle na spalování uhlí, kotle na pelety, kotle na dřevní štěpku, kotle na kusové dříví. Dalším rozhodujícím parametrem je způsob obsluhy. Můžeme je tedy rozdělit na kotle automatické a kotle s nutností manuálního přikládání. Poslední a největší kategorií je dělení podle použité technologie. Rozlišujeme prohořivací, odhořivací a zplyňovací kotle. Prohořivací typ má primární přívod vzduchu skrze rošť a skrz celou dávku paliva. Spalování zde probíhá v celé dávce paliva ve stejnou dobu. Odhořivací kotle mají vedený plamen i spaliny dospod (tzv. spodní tah) topeniště. Konečné spalování a zplyňování probíhá odděleně a zajišťuje tak stabilní spalování. Zplyňovací kotle mají z daných typů nejvyšší účinnost (70-90 %). Při zplyňování dojde k tepelnému rozkladu uhlíku (z paliva) v jiné části kotle, než kde dochází k samotnému spalování, používají odtahový nebo tlačný ventilátor. Další rozdělení může být do tříd podle emisí a účinností. [15] [16]

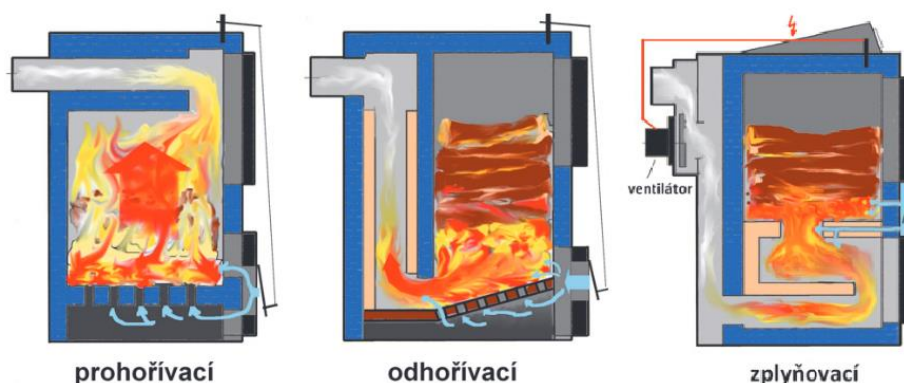
3.2.2 Plynový kotel

Plynové kotle lze dělit podle způsobu provozu na klasické, nízkoteplotní a kondenzační.

„Klasický kotel, který je navržen pro provoz se suchými spalinami, přičemž nejnižší dovolená teplota vstupní vody bývá omezena hodnotou 60 °C. Po většinu otopného období pracuje s konstantní teplotou kotlové vody. Účinnost cca do 88 %.“ [17]

„Nízkoteplotní kotel, který je navržen pro provoz se suchými spalinami, přičemž může pracovat i s teplotami vstupní vody 35 až 40 °C; za určitých podmínek v kotli může docházet ke kondenzaci. Po většinu otopného období pracuje s proměnnou teplotou kotlové vody. Účinnost cca do 92 %.“ [17]

„Při spalování zemního plynu nebo propanu dochází u kondenzačních plynových kotlů ke vzniku vody, která se v důsledku hoření ohřívá a mění se na vodní páru. Spaliny v podobě vodní páry a oxidu uhličitého následně odchází a nesou s sebou často tzv. latentní teplo. Latentní teplo je vlastně tepelná energie ukrytá v tepelných spalinách. Při ochlazení těchto spalin pod teplotu jejich rosného bodu se změní díky kondenzaci jejich skupenství a dojde k uvolnění tepla. Uvolněnou energii využívají kondenzační plynové kotle pomocí výměníků k ohřevu topné vody, kdežto běžné plynové kotle tuto energii vypouští do komína. Účinnost cca do 106 %.“ [18]



Obrázek 1 - Kotle na tuhá paliva (podle technologie spalování) [16]

3.2.3 Elektřina

Elektřina má výhodu, že je dostupná téměř všude. Instalace není příliš složitá a stačí pouhé zapojení do energetické sítě. Elektřina se mění na topnou energii s téměř 100% účinností. Nevýhodou je cena za spotřebovanou energii, která může být až o polovinu

vyšší než s alternativními zdroji tepelné energie. Záleží ovšem na použitém tarifu od poskytovatele energie.

Přímotopy

„Přímotopné zdroje jsou založeny na principu současné výroby tepla a jeho předávání teplonosné látce, reagují tak bezprostředně na potřebu dodávky energie k zajištění teploty vnitřního vzduchu. Tyto zdroje mohou být umístěny přímo ve vytápěné místnosti (sálavé panely, infrazářiče, přímotopné konvektory a radiátory a topné podlahové folie), nebo v rámci rozvodu otopné soustavy (elektrokotel s ohřevem topné vody, nebo přímotopný ohřívač vzduchu). Pro přímotopy existují speciální dvoutarifové sazby cen elektřiny D35d a D45d.“ [19]

Další variantou přímotopů je např. elektrické podlahové vytápění, které je ideálním řešením vytápění pro nízkoenergetické domy, je však potřeba přesného návrhu výkonu celého systému a topné plochy. Jinou variantou jsou infrazářiče. Využívají vlastností infračerveného záření a sálavého tepla přímo na osobu i při nižší okolní teplotě. Jsou využívány zejména ve větších prostorách. Kdežto nástěnné přímotopné sálavé panely plní funkci topného tělesa a jsou rovněž i vhodným doplňkem do interiéru. [19]

Akumulace

„Akumulační zdroje jsou založeny na principu ukládání energie vyrobené v době nízkého tarifu do akumulátoru tepla (teplovodní zásobník, magnezitové cihly nebo betonová vrstva podlahy), aby se následně v době energetické špičky uvolnila ve formě tepla a využila k ohřevu vnitřního vzduchu. Akumulační zdroje mohou být umístěny přímo ve vytápěné místnosti (akumulační kamna, topné podlahové kabely a podmínkové topné folie), nebo v rámci rozvodu otopné soustavy (akumulační teplovodní zásobník). Pro akumulaci tělesa existují speciální dvoutarifové sazby cen elektřiny D25d, D26d a D35d.“ [19]

3.2.4 Solární technologie

Rozdělení solárních panelů již známe z předchozí kapitoly. Můžeme vodu ohřívat přímo z kolektorů nebo může docházet k přeměně slunečního záření na elektřinu a tou následně vytápět dům.

S aktuálním technologickým pokrokem se stále více uplatňují fotovoltaické panely, které odsuzují termické solární systémy k zániku. Nevýhodou termických systémů je pořizovací cena, potřeba větší plochy, ale na druhou stranu jsou bezpečnější (odpadá veškerá elektroinstalace). Nicméně fotovoltaické systémy jsou vyspělejší, levnější, mohou ohřívat akumulční zásobník a předávat energii do sítě (případně akumulátorů). Je vhodné doplnit solární technologii o tepelná čerpadla nebo alternativní zdroj energie, který bude sloužit kdykoliv, není-li dostupný plný výkon solárního ohřevu. [20]

3.2.5 Tepelné čerpadlo

„Nízkoteplotní teplo okolního prostředí můžeme využívat pomocí tepelného čerpadla (TČ), které toto teplo (např. kolem 2 °C) převede na vyšší teplotní hladinu (kolem 50 °C). Princip je stejný jako u chladničky, která odebírá teplo potravinám a předává jej zadní stranou chladničky do místnosti. Podobně i TČ využívá tepla získaného od okolního prostředí k odpaření chladicí kapaliny. Tato pára je poté kompresorem stlačena a díky dodané práci dochází k uvolnění tepla o vyšší teplotě, které je předáno topnému médiu. Celý cyklus se poté opakuje.“ [21]

Základní dělení tepelných čerpadel podle nositele nízkopotenciálního tepla a nositele přečerpané energie je:

- Vzduch-voda,
- voda-voda,
- země-voda.

Vzduch-voda se vyznačuje nízkými pořizovacími náklady, jednoduchou instalací, možností umístění, ovšem za cenu vyšší hlučnosti a rozdílu výkonu v různých ročních obdobích. Voda-voda přináší vysokou účinnost, stabilní výkon po celý rok, ale je zde nutnost vhodného vodního zdroje. Posledním typem je země-voda, která využívá půdy a hlubinného vrtu. Výhodou je velice velká stabilita a velmi tichý chod čerpadla. Nevýhodou je nutnost vrtu, který musí být správně provedený a umístěný, s čímž jsou spojené vyšší investiční náklady. [21]

3.3 Distribuce a regulace tepelné energie

3.3.1 Akumulační nádrž

Akumulační nádrž slouží k zachycení přebytečného tepla od jeho zdroje (tedy kotle). Zachytí tedy přebytečně vyrobené teplo, které můžeme využít později. Nedochozí tak

k přehřívání celé topné soustavy, ale získáme zdroj stabilního tepla (samozřejmě v kombinaci s vhodným zdrojem). Akumulační nádrž je velká nádoba na vodu s vysokou tepelnou izolací (typicky do 200 mm). Podle objemu se vyrábí několik variant. Nejprodávanější varianty jsou od 250 litrů do 1000 litrů (existují ovšem i nádrže 10x větší). Záleží na umístění, využití, a hlavně zdroji tepla. Akumulační nádrže mohou navíc obsahovat topná tělesa, která dohřívají kapalinu dle požadavků zákazníka. [22]

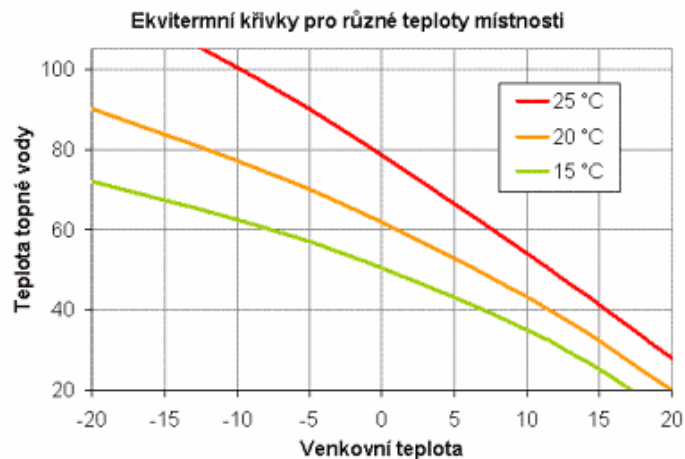
3.3.2 Oběhová čerpadla a okruhy

Elektronická oběhová čerpadla jsou zařízení, která slouží k aktivaci průtoku kapaliny v otopné soustavě. Distribuuje kapalinou napříč celou otopnou soustavou či její částí. Je tedy kritickým prvkem. Dnešní moderní čerpadla jsou z energetické třídy A a jejich příkon je obvykle do 50 W, což záleží na typu a výkonu čerpadla. Nejdůležitější vlastnosti jsou výtlačná síla (resp. maximální dopravní výška – tedy jak vysoko zvládne vodu vytlačit, aby zůstal zachován určitý průtok), dále samotný průtok vody, který lze obvykle i regulovat (např. 3 možnosti rychlosti).

3.3.3 Třícestný ventil

Třícestný ventil se používá jako rozdělovač nebo směšovač vody. Je spousta možností jak a kde využít třícestný ventil. Nejobvyklejším zapojením je získání stabilní hodnoty teploty vstupní vody do kotle na tuhá paliva. Může být manuálně ovládaný (nastavení na určitou výstupní teplotu pomocí mechanického šroubu) nebo elektronicky ovládaný. Elektronický má dvě varianty. První je elektromotorový pohon, který simuluje manuální ovládání a druhá využívá termostatického principu (změna polohy je prováděna větším zpožděním).

3.3.4 Ekvitermní regulace



Obrázek 2 - Ekvitermní regulace [23]

„Ekvitermní regulace teploty v místnosti spočívá v nastavení teploty topné vody (regulací zdroje tepla) na základě venkovní teploty. Při nižší venkovní teplotě je požadována vyšší teplota dodávané topné vody, aby došlo k rovnováze mezi dodaným teplem a tepelnými ztrátami místnosti a teplota místnosti tak zůstala konstantní. Pro danou místnost lze stanovit soustavu tzv. ekvitermních křivek (také "topné křivky"), které popisují vzájemnou závislost teploty topné vody, místnosti a venkovní teploty. Na základě požadované teploty místnosti lze zvolit určitou křivku a podle venkovní teploty regulovat teplotu topné vody.“ [23]

3.3.5 Termostatické hlavice

„Termostatické ventily tedy udržují teplotu vzduchu v místnosti na zvolené hodnotě nastavené na hlavici uživatelem bytu bez nutnosti uživatele věnovat topení pozornost. Jak termostatické ventily vlastně fungují? Tělesa termostatických ventilů se skládají z těla ventilu a vložky (obsahující kuželku) termostatického ventilu. Vložka termostatického ventilu je umístěna (prakticky zašroubována) uvnitř těla ventilu. Jednotlivé vložky ventilu se rozlišují provedením kuželky, ta může mít různý tvar a ovlivňuje objemový průtok otopného média. Skrze těleso termostatického ventilu protéká otopné médium. To, kolik protéká otopného média termostatickým ventilem, určuje zdvih kuželky termostatického ventilu. Tento zdvih je řízen pomocí termostatické hlavice.“ [24]

„Termostatické hlavice jsou určeny pro regulaci teploty okolního vzduchu v prostoru. Na základě nastavené požadované teploty regulují průtok otopného média skrze termostatický ventil a tím přívod otopného média do otopného tělesa. Aby tedy docházelo ke správné regulaci teploty v místnosti, musí být termostatická hlavice nasazena na termostatickém ventilu. Termostatické hlavice fungují na principu tepelné dilatace kapaliny, plynu, nebo pevné látky. Vlivem zvyšující se teploty prostředí okolo termostatické hlavice dochází k roztahování teplotně citlivé látky. Teplotně citlivá látka je obsažena v řídicím snímači, který je zabudován v termostatické hlavici. Pokud je termostatická hlavice nasazena na termostatický ventil, roztahování teplotně citlivé látky působí na vřeteno kuželky termostatického ventilu, a tím dochází k uzavírání či otevírání průtoku média.“ [24]

3.4 Chytrá domácnost

Trend dnešní doby je takový, že si lidé snaží ulehčovat čím dál více práce. Existuje nepřeberné množství různých senzorů a možností vzdáleného ovládání. Věci se vyrábí tak, aby se o sebe zvládly postarat samy. Na tomto principu je založena chytrá domácnost a s tím související chytré vytápění, které bez většího zásahu uživatele zvládne objekt držet na požadovaných teplotách.

„Inteligentní dům v nejširším možném smyslu slova je budova vybavená počítačovou a komunikační technikou, která předvídá a reaguje na potřeby obyvatel s cílem zvýšit jejich komfort, pohodlí, snížit spotřebu energií, poskytnout jim bezpečí a zábavu pomocí řízení všech technologií v domě a jejich interakcí s vnějším světem.“ [25]

Inteligentní dům má několik stupňů. Ty jsou rozloženy na základě integrace chytrých zařízení:

1. Obsahující inteligentní zařízení a systémy. Dům obsahuje různá inteligentní zařízení a systémy, která mezi sebou pracují nezávisle. Například systém řízeného osvětlení.
2. Obsahující inteligentní komunikující zařízení a systémy. Dům obsahuje různá inteligentní zařízení, která mezi sebou mají vazbu, vyměňují si informace a posílají si zprávy. Například po zamčení vchodových dveří se zhasnou světla v celém patře, stáhnou rolety, vypne se hudba a televize.

3. Propojený dům (tzv. connected home). Dům už je propojen pomocí vnitřní a vnější komunikační sítě. Je umožněno interaktivně vzdáleně ovládat systémy z domu i mimo něj. Například při poplachu alarmu jsou rozsvícena světla, zakáže se jejich zhasnutí pomocí vypínačů na zdech, přivolá se bezpečnostní služba a umožní vzdálený přístup ke kamerám v objektu.
4. Učící se dům. Zaznamenané aktivity v domě a tyto nashromážděné údaje používá pro automatické ovládání technologií podle předvídaných akcí uživatelů domu. Příkladem může být ovládání světel a topení, podle zvyklostí uživatelů.
5. Pozorný dům. Je to nejvyšší stupeň integrace. Aktivity a poloha všech lidí i předmětů jsou nepřetržitě monitorovány. Technologie jsou ovládány na základě těchto získaných údajů (tedy i předvídaných potřeb). Rozdíl od předchozího stupně je ten, že v předchozím stupni vše probíhá na základě starších dat, kdežto zde je vše vyhodnoceno okamžitě – data jsou tedy aktuální.

Tyto stupně na sebe navzájem navazují, každý stupeň v sobě automaticky zahrnuje schopnosti ze všech nižších. Na stupni 4 a 5 jsou v současnosti jen výzkumné projekty, komerčně běžně dostupná technologie pokrývá stupně 1 až 3. [25]

3.4.1 Úspora a monitorování spotřeby energií

„Především je důležité, jaká je potřeba tepla na vytápění a jakým způsobem je toto teplo získáváno (využití tepelného čerpadla, solárních kolektorů). To ovlivníme zejména stavebním řešením celého domu (tzv. nízkoenergetické, nebo dokonce pasivní domy), sebedokonalejší regulace je proti tomu méně významná. I tak je ale důležitá pro komfort obyvatel a dosažení dalších úspor. Oproti systému bez regulace ušetříme obvykle okolo 30 % energie. Řídící systém inteligentního domu se pro tuto regulaci velmi hodí. Jednak se jeho schopnosti obvykle minimálně vyrovnají specializovaným regulačním systémům, navíc díky propojení všech systémů v domě dohromady dokáže věci, které by jinak byly realizovatelné jen těžko. Například s využitím informací od bezpečnostního systému pro řízení topení dokáže samočinně snížit teplotu poté, co všichni obyvatelé domu ráno odejdou. Nebo s pomocí bezpečnostních snímačů otevření oken zastaví vytápění/klimatizaci v místnosti, kde je právě otevřené okno kvůli větrání.

Další příležitosti pro úspory vyplývají z automatizace, časových programů, detektorů přítomnosti lidí, dálkového ovládání apod. Technologie a elektronika potřebná pro inteligentní dům bude spotřebovávat nějakou energii, zanedbatelnou v porovnání s nejvíce energeticky náročnými činnostmi, jako je vytápění, klimatizace a ohřev teplé vody, přesto je z hlediska udržení našeho životního prostředí správné ji kromě zvyšování

našeho pohodlí a bezpečnosti využít k optimalizaci spotřeby energií a zamezení zbytečnému plýtvání.“ [25]

3.4.2 Vytápění

„Na rozdíl od dnes nejběžnějšího způsobu regulace, kdy je v domě pouze jediný termostat (obvykle v obývacím pokoji) a podle něj se řídí vytápění ve všech ostatních místnostech, je komfortnější a úspornější regulovat vytápění v každé místnosti zvlášť, nezávisle na zbytku domu. Abychom to technicky mohli provést, musíme měřit teplotu v každé místnosti a místo klasických, ručně ovládaných termoregulačních hlavice nebo ventilů použít elektricky ovládané (termoelektrické nebo elektromotorické). Také je nutné topný systém navrhnout tak, aby regulaci po jednotlivých místnostech vůbec umožnil.

Vytápění pak lze řídit následovně:

- Automatické nebo manuální přepínání mezi různými režimy vytápění – komfort, útlum, noc, protinámrazová ochrana. Automatické změny režimů jsou možné např. přes detektor přítomnosti osob (může být zvlášť v každé místnosti) nebo nastavení útlumu v době, kdy je v místnosti zapnutý bezpečnostní systém.
- Časové programy – určí požadovaný režim nebo přímo teplotu podle hodiny (jiná na noc, ráno, dobu, kdy nikdo není doma, večer) a podle dne v týdnu (rozdílné v pracovních a volných dnech) nebo přesného data (např. déle trvajících útlum v době dovolené).
- Dálkové ovládání – např. v situaci, kdy víme, že přijdeme domů později než obvykle, nebo pro zapnutí topení ještě před příjezdem na chatu.
- Zablokování při otevřeném okně, aby se předešlo zbytečnému plýtvání.

Tyto režimy a časové programy mohou být společné pro celý dům, nebo platí jen pro skupinu místností či jedinou místnost.“ [25]

4 Analýza problému a současné situace

4.1 Popis vytápěného objektu

4.1.1 Objekt a lokalita

Analyzovaná budova se nachází 20 kilometrů od Olomouce v malé vesnici s počtem obyvatelů do pěti set. Nachází se v nadmořské výšce čítající 200 metrů nad mořem. Vyskytuje se v nížině, obklopené kopci a části vesnice, která je dobře kryta ostatními domy. Je tedy dobře chráněn před povětrnostními vlivy nepříznivého počasí. Průměrná roční teplota v této oblasti za rok 2016 byla přibližně 10 °C. Ve vesnici jsou poskytovány veškeré služby. Pro mě nejdůležitější je dodávka energie, rozsáhlá infrastruktura přípojek plynu a v neposlední řadě (na rozdíl od větších měst) snadná dostupnost a bezproblémové obstarávání palivového dříví v jakékoliv formě. Je zde tedy naprosto obvyklé topit dřívím a dalšími formami tuhých paliv.

leden	únor	březen	duben	květen	červen
-1,2 °C	4 °C	4,8 °C	9,5 °C	15,2 °C	19,7 °C
červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
20,5 °C	19 °C	18 °C	8,5 °C	5 °C	-1 °C

Obrázek 3 - Průměrné měsíční teploty 2016 (vlastní měření)

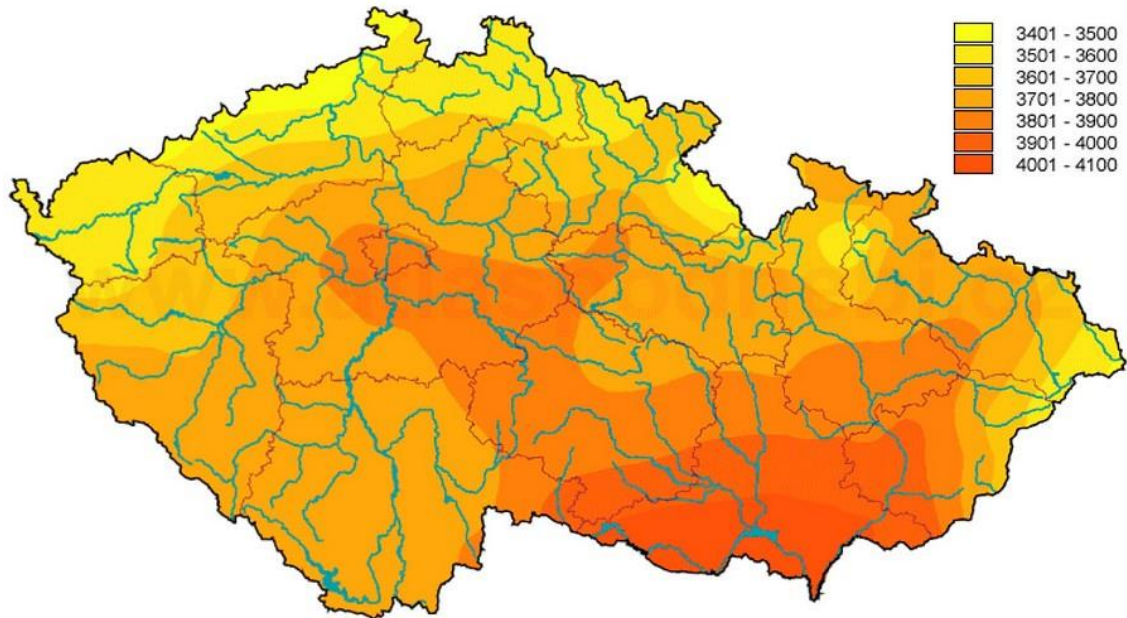
Budova má přízemí a jedno patro. Obytné je převážně přízemí. V prvním patře je vybudován jen jeden pokoj, ve kterém je potřeba topit. Hlavní část topného systému je tedy soustředěna právě do přízemního patra. Jelikož nejde o žádnou novostavbu, ale několik desítek let starou stavbu, není použita žádná izolace a dochází k velkým tepleným ztrátám.

Všechna okna (vyjma jednoho pokoje, který bude procházet rekonstrukcí) byla před pěti lety vyměněna za plastová s dvojsklem. Jsou tedy zajištěna výbornými izolačními vlastnostmi.

Dům je ve tvaru L, není ničím zastíněn, takže slunce na něj svítí celý den. Ráno osvětluje východní část, přes poledne zabírá plochou po celé střeše a odpoledne svítí na jižní část domu, což trvá až téměř do západu slunce.

Výchozí poloha oproti slunci i povětrnostní ochrana mají přímý vliv na úsporu, která souvisí s vytápěním objektu. Ročně se uspoří v řádech tisíců, protože není objekt příliš ochlazovaný větrem a je „dotápěn“ slunečními paprsky (pokud je tedy zrovna hezké počasí – jasno, slunečno).

4.1.2 Mapa slunečního záření



Obrázek 4 - Roční úhrn slunečního záření v ČR [MJ/m²] (zdroj: www.chmi.cz)

Lokalita spadá do skupiny, v které roční průměrné sluneční záření dosahuje hodnoty 3800 MJ/m². Lze zde tedy očekávat daleko vyšší výhřevnost než v severně umístěných krajích. Využití solárních panelů či fotovoltaiky není součástí této práce, proto se tímto dále nebudu zabývat. Do budoucna by se určitě dalo uvažovat o investici do vybavení na zpracování energie z alternativních zdrojů. Ale z důvodu kladených požadavků jsem omezen pouze na tuhá paliva.

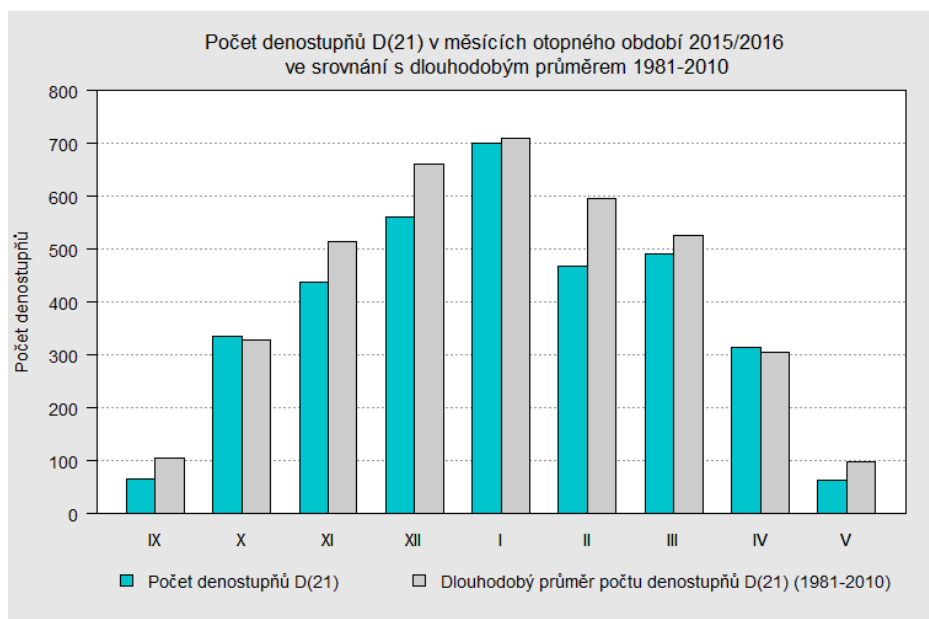
4.1.3 Denostupně

„Podle vyhlášky Ministerstva obchodu a průmyslu začíná otopné období na území ČR 1. září a končí 31. května. Dodávka tepelné energie v otopném období začíná, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušné lokalitě klesne pod +13 °C ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této

teploty nad +13 °C pro následující den. Vytápění se omezí nebo přeruší v otopném období tehdy, jestliže průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě vystoupí nad +13 °C ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den. Při následném poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod +13 °C se vytápění obnoví.“ [26]

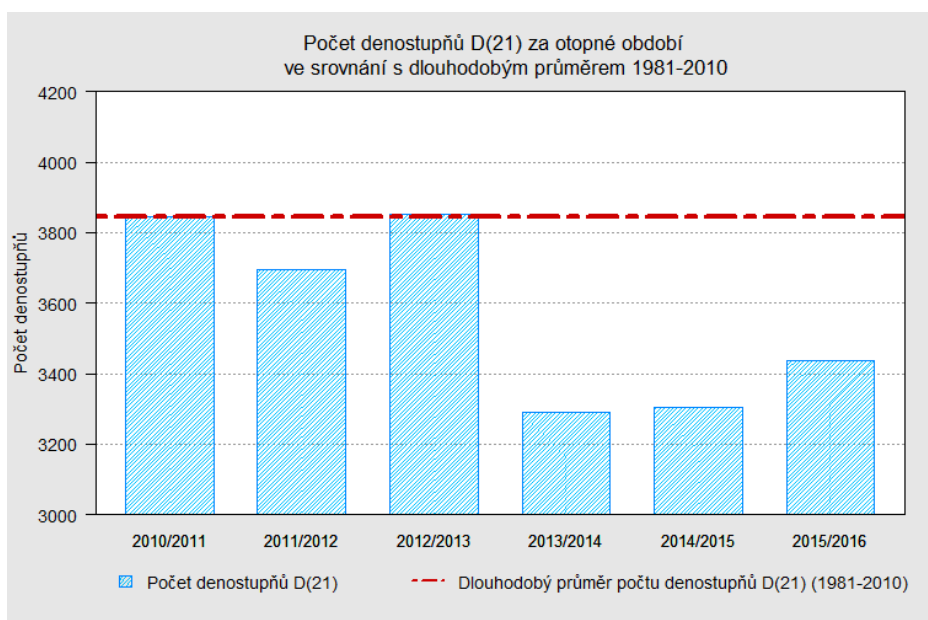
„V našem výpočtu je předpokládaná hodnota vnitřní teploty 21 °C, počet topných dnů je určen jako počet dní v otopném období s průměrnou teplotou nižší nebo rovnou 13 °C (N13) a průměrná teplota těchto dní (T13) je uvažována jako průměrná venkovní teplota v topných dnech.“ [26]

Počet denostupňů (D21) je určen jako $D(21) = (21 - T13) * N13$ [26]



Obrázek 5 - Počet denostupňů 2015/16 v měsících (zdroj: www.chmi.cz)

Z předložených výsledků měření vyplývá závěr, že nejvyšší možný požadovaný topný výkon lze očekávat právě v prosinci a lednu. Vysokých hodnot dosahují i další měsíce: listopad, únor a březen. Menší hodnoty jsou v říjnu a dubnu, kdy postačuje občasné přitápění. Minimální hodnoty vychází na začátek a konec otopné sezóny – září a květen. V těchto měsících se srovnává teplota domu s vnější teplotou (která přes den stoupá vysoko, ale v noci naopak dosahuje minima) a je požadováno pouze minimální přitápění.



Obrázek 6 - Počet denostupňů srovnání roků (zdroj: www.chmi.cz)

Vývoj denních teplot za posledních 6 let značně klesl. V letech 2010–2012 byly tuhé zimy a nepřízeň počasí, kdy se muselo topit daleko více než v letech 2013–2016. Poslední tři otopné období jsou značně pod průměrem, jelikož počet denostupňů klesl v průměru až o 500 D(21). Můžeme jen spekulovat s čím tento výkyv souvisí. Pro nás ovšem statisticky přináší úsporu na nákladech za vytápění.

4.1.4 Člověk jako zdroj tepla

Člověk neustále vyzařuje energii. Od narození až do smrti je nepřetržitým zdrojem energie. Je však dostatečná, aby mohla vytopit místnost? Při velké koncentraci lidí na malém prostoru určitě ano. Nicméně v prostorách, kde se pohybuje pouze málo lidí, ztrácí pohled na člověka jako zdroj tepla smysl. V objektu se obvykle pohybuje maximálně 10 lidí, a to ještě různě rozmístěných. Rozhodující je i jejich aktivita. Lidé v objektu vyvíjí v obytných prostorách minimální aktivitu, či dokonce žádnou – odpočinek, takže produkují zanedbatelné množství tepla.

Tabulka 1 - Produkce energie člověkem (zdroj: <http://www.tzb-info.cz/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>)

Činnost	W [1,8m ²]	W/m ²
Spaní	72	40
Odpočívání, ležení na posteli	82,8	46
Sezení, odpočívání	104,4	58
Stání, práce v sedě	126	70
Velmi lehká práce (učitel, nakupování, vaření)	167,4	93
Lehká práce (domácí práce, práce s přístroji)	208,8	116
Středně těžká práce (tanec)	315	175
Těžká práce (tenis)	630	350
Velmi těžká práce (squash, práce v hutích)	738	410

Tepelný výkon průměrného člověka (v odstavci W [1,8m²]) je uveden pro člověka s plochou 1,8m². Teplota lidského jádra je 37 °C. Na povrchu (kůže) to může být zcela odlišné. Záleží na okolním prostředí, izolaci – tedy oblečení, pohybové aktivitě a celkové zdatnosti jedince.

Přes všechny uvedené údaje nebude v návrhu zahrnuto zohlednění produkce tepla lidmi. Množství je vzhledem k malé síle izolace a velké ploše objektu zanedbatelné. Uvažovat o tomto zdroji má smysl v malých prostorách, které jsou velice dobře zatepleny a vnější teplota není příliš nízká.

4.1.5 Předměty produkující teplo

Různé domácí spotřebiče taktéž generují teplo i když to není jejich primární funkcí. Podle četnosti využití je rozdělím na:

- Velmi často či neustále používané – stolní počítač, notebook, servery, televize, různé napájecí adaptéry, osvětlení, lednice, routery, ...
- Občasné používané – žehlička, trouba, varná deska, sušička, pračka, nabíječky, varná konvice, ...

Pokud se zaměřím například na počítač, tak je vzhledem k využití velkým zdrojem tepla. Teplota jeho komponent je v zátěži (i bez ní) velice vysoká. Procesor má při plné zátěži přes 70 °C, grafická karta při grafickém zpracování 80 °C, pevné disky 40-50 °C a základní deska 50°C. Skříň, v které jsou komponenty uloženy, může mít stálou teplotu

klidně i 45 °C. Jelikož je výborně odvětrávána a horký vzduch je veden do místnosti, tak může udělat značný výkyv teploty v pokoji.

Obdobně jsou na tom notebooky, které mohou dosahovat i větších teplot díky vtěsnění všech komponent vedle sebe na malou plochu bez možnosti velkého chlazení.

LCD televize po delším používání vyvinou taktéž zvýšení teploty. Hezkým příkladem je projít se po špatně odvětrávané prodejně v oblasti, kde je třeba 40 různých televizí. Samozřejmě záleží na uhlopříčce a zvýšení teploty není tak drastické jako u počítače.

Ostatní spotřebiče jako sušička, žehlička, trouba produkují obrovské množství tepla. Vzhledem k občasnému použití a případnému okamžitému vyvětrání místnosti na ně není třeba brát ohled.

Citelné zvýšení teploty může vzniknout, pokud se v jedné místnosti nachází více počítačů, notebooků či spotřebičů. Vzhledem k možným menším výkyvům teploty díky spotřebičům v domácnosti je třeba je zohlednit v návrhu řešení.

4.2 Současné řešení

Pro vytápěcí účely je v domě vyčleněna kotelna. Jsou v ní umístěny dva kotle, jedna akumulární nádrž, několik čerpadel, regulačních prvků, bezpečnostních opatření a v poslední řadě i palivo. Jak jsem již zmínil – jsou k dispozici dva kotle. Oba dva jsou na tuhá paliva, z nichž první je primární kotel na bázi dřevoplynového principu spalování paliva. Druhý kotel – sekundární – je s násypnou nádrží včetně dopravníku a funguje na odhořivacím principu spalování. Ten lze využít ke spalování různého materiálu drobnějšího původu – ideálně však pro štěpku z dřeva, pecky a hrubější hobliny.

Nejčastěji používaný je primární kotel na dřevo. Ten vytápí objekt v tuhé zimě, velkých mrazech a teplotách kolem nuly. Sekundární je vzhledem k jeho nižšímu výkonu používán pouze k přitápění, když se denní venkovní teplota pohybuje kolem 5 stupňů. Výkonově by však byl schopen pokrýt vytápění i ve větším mraze. Oba kotle jsou na sobě nezávislé, může topit pouze první, pouze druhý nebo dokonce oba zároveň.

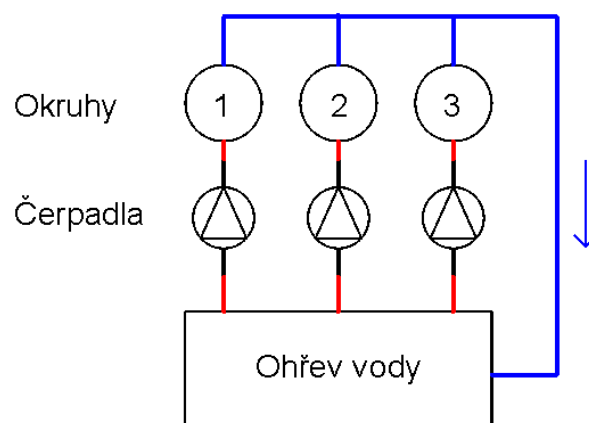
Rozdíl je ve způsobu podávání paliva. Primární kotel musí být doplňován manuálně. Při plném naložení a plném výkonu bude trvat kompletní vyhoření paliva přibližně 2-4

hodiny (v závislosti na použitém dřevě s jeho specifickými vlastnostmi). Ve ztlumeném režimu, kdy je pouze udržován určitý žár a předchází se vyhasnutí a nutnému opětovnému zátopu, je schopen vydržet bez zásahu obsluhy přibližně 12-16 hodin. Oproti tomu, sekundární kotel je vybaven starším analogovým systémem kontroly dopravy paliva. Zde stačí předzásobit nádrž s dopravníkem palivem. Dopravník už se sám postará o dopravu paliva do spalovací komory. Je ovládán časovači a stykači, které spínají motor, jež ovládá dopravník. V závislosti na použitém palivu je schopen se současnou velikostí nádrže na plný výkon, bez zásahu obsluhy fungovat sám přibližně jeden až dva dny.

4.3 Popis topného systému

4.3.1 Čerpadla a okruhy

Budova je rozdělena dle potřeby tepla v místnostech. Topí se převážně v obytných prostorách přízemního podlaží. V 1. patře je vytápěn pouze jeden pokoj. Systém vytápění lze rozdělit na 3 okruhy. První okruh zahrnuje veškeré pokoje v přízemí, včetně jednoho pokoje v prvním patře. Druhý okruh jsou vzdálenější místnosti, které jsou od prvního okruhu odděleny vstupní bránou a průjezdem. Poslední, třetí okruh je neobytná část – garáž, tedy jen jedna místnost. Ta je umístěna sice hned vedle kotelny, ale je třeba v ní udržovat určitou teplotu, jelikož je pravidelně používána a velmi špatně zateplena.



Obrázek 7 - Zjednodušené schéma topných okruhů (vlastní zpracování)

Ohřátá voda je do domu vedena znázorněnými čerpadly. Každé má vlastní ovládání, které rozeberu v další podkapitole. První čerpadlo je hlavní, má tedy i nejvyšší výkon. Pokrývá totiž nejvíce topné soustavy a musí mít i výtlač do prvního patra. Ostatní dvě jsou výkonově srovnatelné a slouží jako pomocná čerpadla k hlavnímu, jelikož hlavní

nezvládá rozvést vodu všude a na velkou vzdálenost. Studená voda, respektive ochlazená, či voda zpátečky se vrací společným potrubím a opět prochází systémem ohřevu vody.

4.3.2 Topná tělesa

Dům obsahuje ve všech topných okruzích nástěnné radiátory. Rozměry a výkon topných těles se vzhledem k různým místnostem naprosto liší. Do budoucna se neuvažuje o výměně topných těles ani o přechodu na podlahové vytápění, které by znamenalo velký zásah jak do stavby, tak do topného systému. Výhodou stávajícího systému je téměř okamžité vytopení místnosti díky vysoké teplotě vody v okruhu a akumulací nádrži, která je schopná udržet teplou vodu přes noc.

4.3.3 Třicestný směšovací termostatický ventil

Mezi výstupem z akumulací nádrže, výstupem do topného systému a vracející se vodou je umístěn třicestný termostatický ventil. Ten zajišťuje dodání vody o patřičné (nastavené) teplotě do celého objektu. Je využíván v závislosti na aktuálním měsíci, respektive teplotě venkovního vzduchu. Pokud se pohybují teploty velice nízko, či pod bodem mrazu, tak je nastaven na maximální teplotu 70 °C. Pokud je teprve začátek topné sezony (či naopak její konec), je nastaven na hodnotu 45 °C, což naprosto postačuje a dochází k úspoře, jelikož kotel nemusí běžet na plný výkon či po celý den.

4.3.4 Akumulační nádrž

Do topné soustavy je již několik let implementována akumulací nádrž o objemu 1000 litrů. Kotel vždy vytápí akumulací nádrž. Až z akumulací nádrže je voda odebírána oběhovými čerpadly dále do domu a potřebných okruhů. Horká voda z kotle tedy není nikdy přímo vedena do topných okruhů, ale vždy skrz akumulací nádrž. Při vychladlém médiu v okruzích (na teplotu 18 °C) je nádrž při plném nabití (na 80 °C v celém svém objemu) schopna dodávat teplou vodu do všech topných okruhů po dobu patnácti minut, než začne docházet k rapidnímu poklesu teploty v akumulací nádrži. Její použití je tedy ideální do chladných ranních hodin, kdy je dům po noci vychladlý. Dosavadní kapacita po tomto čase ovšem potřebuje dodat další ohřátou vodu, je tedy nejlepší pouštět zároveň oběhová čerpadla i hlavní kotel kvůli velkému teplotnímu šoku ze zpáteční vychladlé vody. Při klasickém denním vytápění kompenzuje výkyvy teplot mezi kotlem a vracející se vodou.

4.3.5 Zplynovací kotel na dřevo

Poskytuje velký topný výkon. Pracuje na bázi tuhých paliv, na která má velký zásobník a s tím i související dlouhou dobu hoření. Dosahuje vysoké účinnosti v mezích 81 až 87 %. Dosahuje novodobých norem pro ekologické spalování dle ČSN EN 303-5 třídy 5. Součástí jednotky je i odtahový ventilátor, který napomáhá hoření, zvyšuje celkový výkon a pomáhá bezkouřovému přikládání palivem. Je vybaven chladicí smyčkou (ochrana kotle před přehřátím) a automatickým vypnutím po dohoření paliva (kontrolováno termostatem). [27]

Kotel je vybaven ochranným a regulačním ventilem typu třícestný termostatický ventil. Ten se standardně používá u kotlů na tuhá paliva. Směšuje studenou vodu z akumulární nádrže s horkou vodou, která je výstupem z kotle. Teplota vratné vody do kotle je tedy zachována na požadovanou teplotu a tím je kotel chráněn před výkyvy teploty, ale hlavně před nízkoteplotní korozí kotle. Doporučená minimální teplota pro tento typ kotle je stanovena výrobcem na 65 °C, čemuž odpovídá i pevné nastavení toho regulačního členu.

Systém má vlastní oběhové čerpadlo a je naprosto nezávislý na dalších okruzích. Čerpadlo je ovládáno termostatickým spínačem, je tedy sepnuto pouze pokud dosáhne určité teploty. V tomto případě je fixně nastaveno na teplotu 65 °C. Výstup kotle musí mít tedy minimálně tuto teplotu, aby bylo zapnuto.

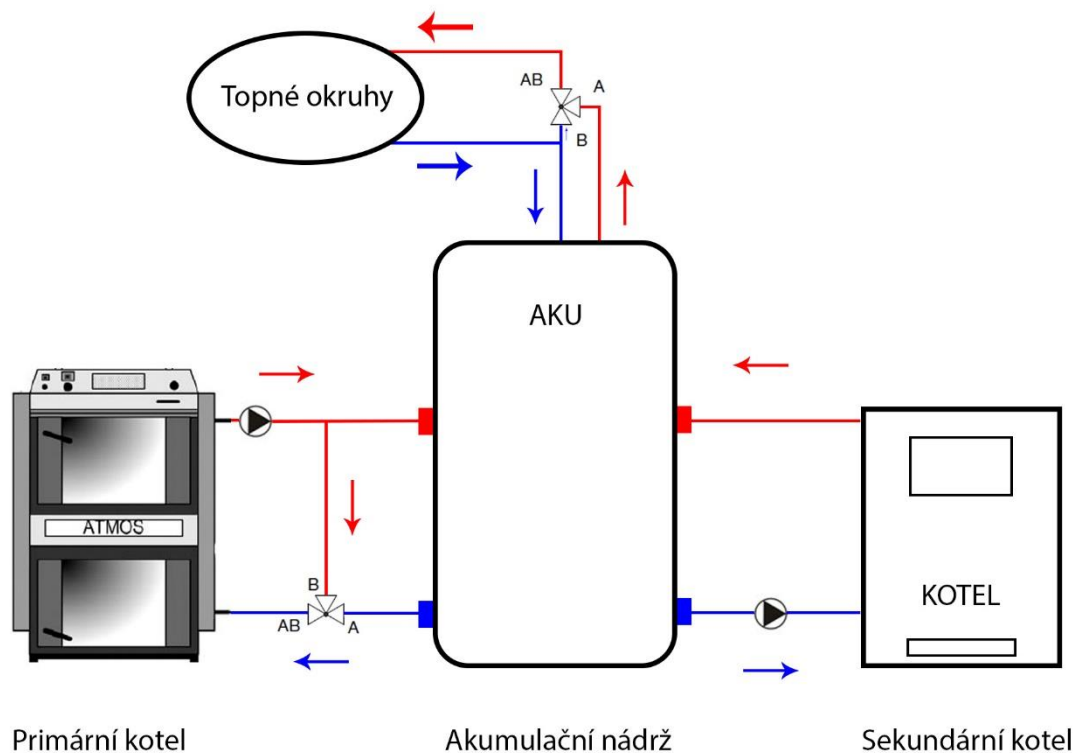
Velkou nevýhodou je potřeba pravidelného udržování ohně, respektive přikládání ve stálých časových intervalech. Tento problém z velké části řeší sekundární kotel.

4.3.6 Sekundární kotel s dopravníkem

Je připojen přímo k akumulární nádrži. Oběh vody zajišťuje opět vlastní oběhové čerpadlo. Stejně tak jako v předchozím případě je čerpadlo spínáno termostatickým regulátorem. Obrovskou výhodou tohoto kotle je dopravník paliva. Není třeba žádné obsluhy v krátkých intervalech, ale postačí jednou za jeden až dva dny naplnit zásobník paliva a nastavit časování pro použité palivo. Elektronika kotle se již postará o zbytek sama. V závislosti na teplotě v kouřovodu se vyhodnotí, jestli je třeba dávkovat či ne. Pokud je teplota kouře v nastavených mezích, tak je spuštěn časovač, který po nastavené době spustí dávkování a tím i dosypání materiálu. Teplota hoření je tedy regulována způsobem, který chrání i samotný kouřovod.

4.3.7 Schéma topné soustavy

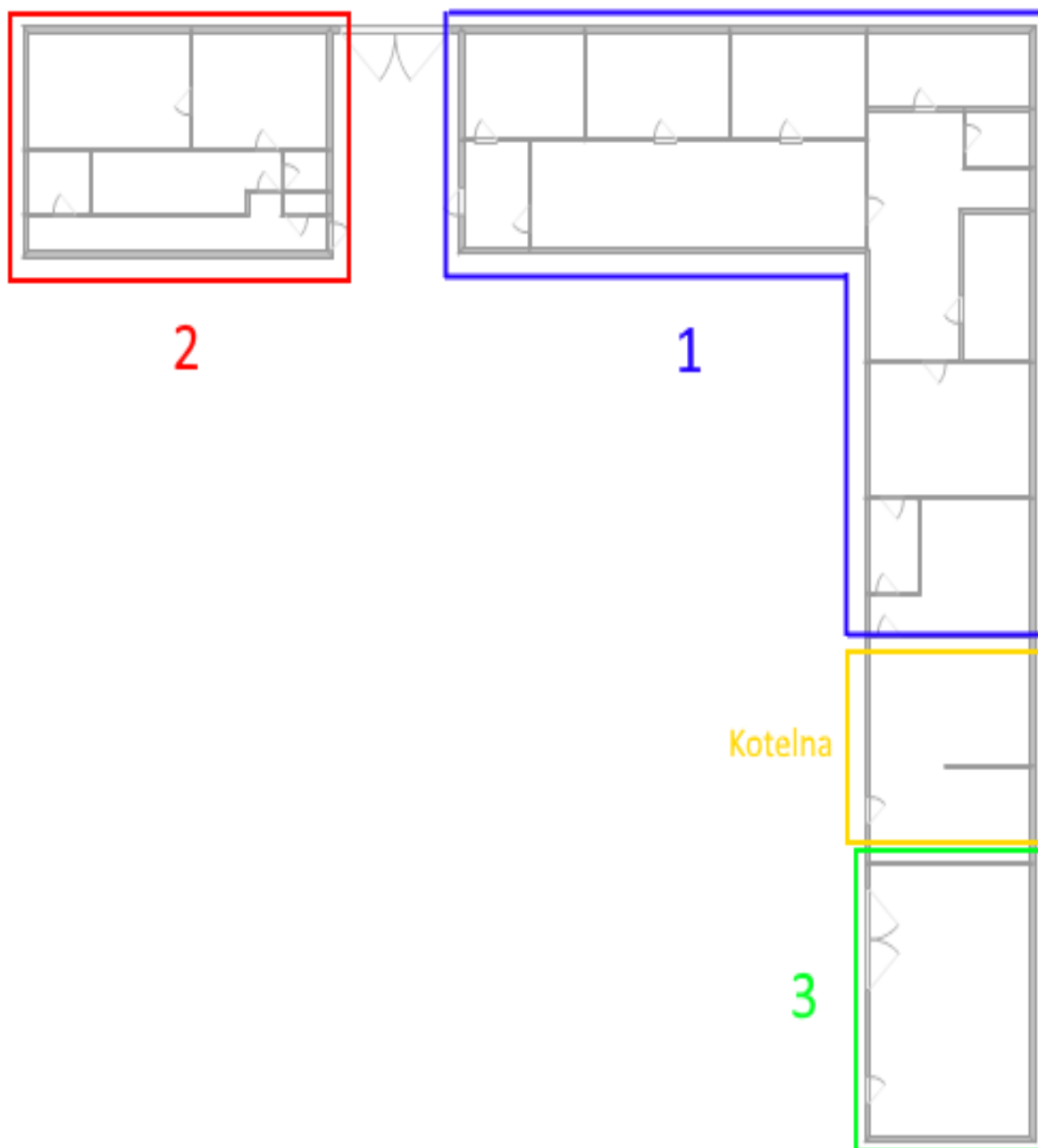
Primární kotel – zplynovací kotel na dřevo vytápí většinu času akumulární nádrž. Pokud je vysazen z provozu, či odstaven kvůli dobrému počasí, tak pracuje sekundární kotel. Ten je rovněž připojen na stejnou akumulární nádrž. Řešení je situováno tak, že mohou oba kotle topit nezávisle na sobě. Oba kotle vždy topí do akumulární nádrže. Až poté je voda odebírána oběhovými čerpadly do topných okruhů. Teplota vody vstupující do topných okruhů je regulována třicestným ventilem, není tedy nutné topit na plný výkon.



Obrázek 8 - Schéma topné soustavy (vlastní zpracování)

4.3.8 Zjednodušený půdorys objektu

Na půdorysu jsou znázorněny topné okruhy, které spadají pod svoje specifická čerpadla. Ta jsou popsána výše, v sekci čerpadla a okruhy.



Obrázek 9 - Zjednodušený půdorys přízemního patra (vlastní zpracování)

4.4 Ovládání topného systému

4.4.1 Termohlavice

Již dříve proběhl pokus o regulaci výkonu. Kvůli přetápění místností (a naopak nedostatku tepla v jiných místnostech) byly zavedeny ve většině místností termostatické hlavice. Ty jsou umístěny na každém topném tělese, vyjma těch nejmenších, které není potřeba regulovat. Typicky v místnostech typu síň a předsíň. Nastavení těchto hlavice je

manuální a většinou stálé (na teplotu přibližně 22 °C). V místnostech, kde je potřeba v různých časových zónách topit jinou teplotou (např. koupelna) jsou umístěny termoelektrické hlavice, které lze naprogramovat dle vlastních časových a teplotních preferencí.

4.4.2 Spínání čerpadel

Hlavní oběhové čerpadlo je spínáno na základě elektronického termostatu, který je umístěn v obývacím pokoji. Termostat lze naprogramovat pro různé časové zóny různě na dobu 4 týdnů, které se střídají. Zajišťuje tedy dodávku tepla ještě před probuzením. Večer naopak automaticky vypíná, aby se šetřilo teplem přes noc, kdy není potřeba topit. Taktéž vypíná, pokud dojde k překročení teploty v místnosti. Tohle by se dalo považovat za určitý až kritický nedostatek, jelikož jedna místnost může být vytopena, ale ostatní ještě ne.

Druhý okruh byl dříve spínán manuálně. Nově byl nahrazen obdobným termostatem. Zde se již teplota vytápěných místností pohybuje na podobné hranici a je lehce doladěna termostatickými hlavicemi.

Třetí okruh, tedy vytápění garáže, je ovládán manuálně, a to pouze v případech, kdy je potřeba vyhřát, protože se v ní někdo bude pohybovat. Taktéž musí být občas vytápěna kvůli venkovním mrazům a s tím spojeným nebezpečím zamrznutí předmětů v garáži, včetně vody v topném systému.

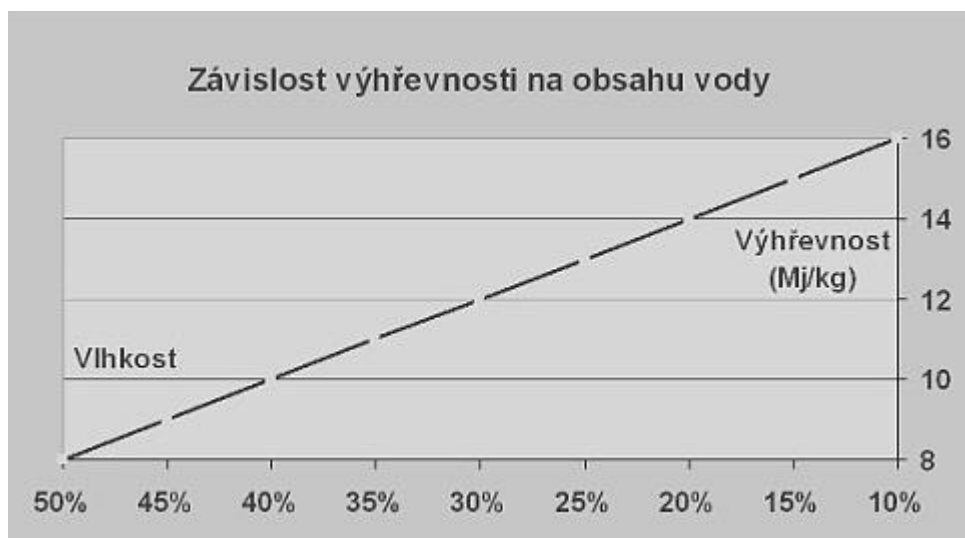
4.4.3 Ovládání kotlů

Primární kotel je ovládán mechanicky. Obsluha do něj musí pravidelně přikládat. Termostat, který je připojený k vývodu teplé vody, otevírá a zavírá vzduch přicházející do procesu hoření. Tímto způsobem lze regulovat jeho výkon. Obvykle je nastavena teplota na 80 °C. Odtahový ventilátor je rovněž ovládán termostatem a je připojen podobně jako předchozí termostat k ovládání přísunu vzduchu. Samostatný termostat zapíná čerpadlo primárního okruhu – akumulární nádrž a kotel. Poslední termostat hlídá vyhasínání kotle a po dosažení nastavené minimální teploty vypíná celý kotel, aby neběžel naprázdno. Napájení kotle je realizováno elektrickou přípojkou jednofázově, tedy 230 voltů.

Sekundární kotel poskytuje jak manuální, tak automatickou kontrolu dopravníku. Obsluha musí naplnit zásobník palivem a seřadit časovače s ohledem na typ použitého paliva. Zápal probíhá podobně jako u primárního kotle – rozděláním ohně či vložením žhnoucích kusů dřeva. Řídící jednotka se skládá z jednoho stykače, jističe a dvou časovačů. Přípojka je zde kvůli ovládnání motoru na tři fáze. Je zde použit pouze jeden termostat. Ten zapíná okruh mezi sekundárním kotlem a akumulací nádrží.

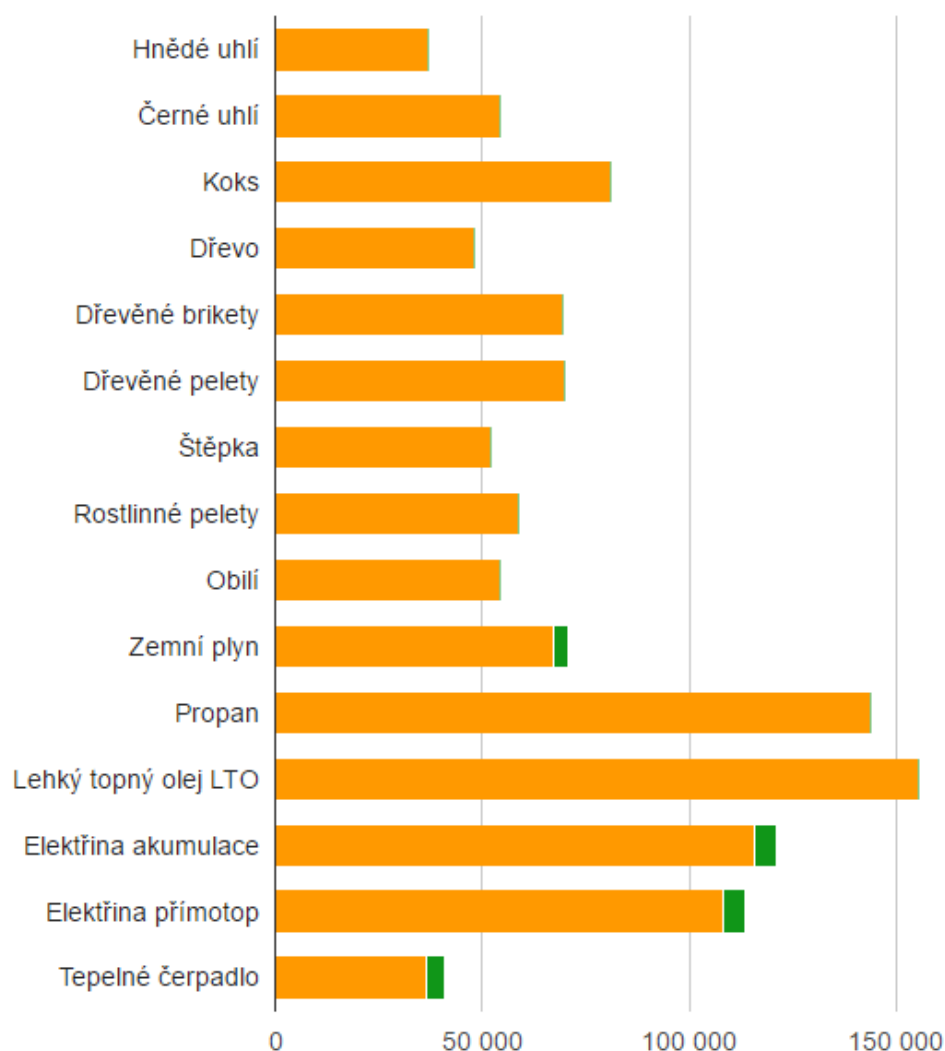
4.4.4 Palivo

Použité palivo velmi ovlivňuje výkon kotlů. Palivo je získáváno přímo z lesa. Je nutné jeho řádné proschnutí. Nechává se tedy ve větších kusech proschnout po dobu 1-2 let. Na základě vlastního měření vlhkosti paliva se používá dřevo z různých stromů, avšak do maximální hodnoty vlhkosti 17 %. Všeobecné doporučení je stanoveno do 20% obsahu vody v dřevě.



Obrázek 10 - Závislost výhřevnosti dřeva na obsahu vody
(zdroj: <http://www.bspholding.cz/vlhkost.html>)

Na výše uvedeném grafu lze najít jasnou odpověď proč topit právě suchý dřevem. Dřevo vysychá samo, pokud jej člověk uchovává v co nejlepších podmínkách. Jiným způsobem, jak získat suché dřevo, by mohlo být strojové vysoušení dřeva. Tato metoda by byla ovšem energeticky tak náročná, že by se nevyplatila. Nejekonomičtější a nejlepší způsob je tedy uložení dřeva na 1-3 roky na suché místo s možností cirkulace vzduchu, kdy dřevo projde vysoušecím procesem samo.



Obrázek 11 - Orientační srovnání nákladů za topnou sezónu
(zdroj: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>)

Na výše uvedeném obrázku je vidět velká výhoda v úsporách za topnou energii. Po dosažení rozměrů budovy, výpočtu tepelné ztráty, korekci parametrů a přiblížení celého výpočtu co nejvíce realitě vychází náklady za dřevoplynový kotel s akumulací do 50 000,- Kč za rok. Do výpočtu není zahrnut ohřev tepelně užitkové vody, jelikož ta je zprostředkována jiným způsobem a s otopnou soustavou nemá nic společného. Zelené části indikují paušální poplatky. V případě zemního plynu je nastaven kondenzační kotel s vysokou účinností, proto nejsou náklady příliš vysoké, ale ještě ve srovnatelné míře. Nejlépe ze všech dopadlo vytápění tepelným čerpadlem typu země/voda, které je ovšem

doprovázenou velmi vysokou počáteční investicí. Bylo by ovšem nutné přehodnotit celou topnou soustavu a zateplení celého domu, což by představovalo další velmi vysoké náklady.

5 Vlastní návrhy řešení

Návrh řešení je rozebrán postupně po místnostech, v jakých se specifická zařízení budou nacházet. Nejdříve je potřeba zavést řídicí jednotky do kotelny, abychom později mohli vzdáleně ovládat oba kotle bez nutnosti fyzické přítomnosti. Je tedy třeba zvolit platformu, na které budou jednotky postaveny a provést samotný návrh jednotky. Dále jsou na řadě pokojové jednotky, které mají na starost regulaci a snímání dat. Rovněž je zvolena platforma a poté rozebrána funkcionalita, požadavky na jednotku, vstupy a výstupy. Je třeba jednotlivé jednotky řídit centrálně. K tomu slouží hlavní řídicí jednotka, která obsahuje veškeré chytré funkce s možností rozšíření. Posledním krokem je propojení všech jednotek a zařízení vzdáleného přístupu. Navíc je u vzdáleného přístupu uvedena mobilní aplikace, která slouží k jednoduchému přístupu do systému. Nakonec jsou uvedeny celkové náklady na požadovaný systém, přičemž hlavní prioritou byla cena.

5.1 Volba platformy

Je spousta existujících platform, které se obecně hodí pro nasazení v mém řešení. Každá však účelově, či svojí univerzálností funguje na jiném principu. Proto musím vybrat nejlepší variantu. Jakožto řídicí jednotku (respektive dvě řídicí jednotky – každého kotle zvlášť) je třeba nasadit programově přizpůsobitelný stroj, který nepotřebuje příliš velký výkon, ale zvládne propojit další řídicí jednotky přes síť ethernet a současně má dostatek vstupů a výstupů. Současně s těmito požadavky hraje vysokou roli cena, která musí být co nejnižší.

Následuje několik platform a řešení, která jsou vhodná pro danou aplikaci a jejich závěrečné zhodnocení.

5.1.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi je jedna z univerzálních platform, kdy si uživatel sám určuje, co bude dané zařízení provádět. Běží na základním operačním systému, pomocí něj lze zařízení dále různě modifikovat. Tímto systémem je upravená forma Linuxu. Dle aktuální verze je

osazen různými vstupy, výstupy a komponentami, přičemž ne všechny musejí být nutně využity.

Posledním a nejaktuálnějším modelem je Raspberry Pi 3.

Tabulka 2 - Specifikace Raspberry Pi 3 Model B [28]

Procesor	1.2GHz 64-bitový čtyřjádrový ARM Cortex-A53
Grafika	Broadcom VideoCore IV 400 MHz
Paměť	1 GB (sdíleno s GPU)
USB	4 porty
Video výstup	HDMI,
Konektivita	10/100 Mbit/s Ethernet + WiFi 802.11n
Bluetooth	Verze 4.1
Cena	Od 1200,- Kč

Z výše uvedených parametrů vyplývá, že je platforma orientovaná spíše na grafické operace, než na jednoduché přepínání vstupů a výstupů. Nicméně poskytuje vysoký výkon a velmi dobrou konektivitu, která může být zprostředkována právě přes Bluetooth, Wi-Fi nebo Ethernet. Nevýhodou je vyšší cena a nadbytečný výkon, který nebude v případě běžícího rutinního procesu plně využit.

5.1.2 Libelium Waspnote

Libelium už je sofistikovanější systém několika zařízení, které mezi sebou navzájem komunikují. Konkrétně systém Waspnote, který tvoří podmnožinu Libelia, obsahuje senzory a vyhodnocovací jednotky. Podporuje přes 110 různých senzorů a 15 rádiových technologií, kterými lze komunikovat i na velkou vzdálenost (řádově desítky kilometrů). Působí v rámci „smart“ zařízení a jejich aplikaci v každodenním životě. Mohou se taktéž chlubit podporou industriálních protokolů jako jsou: RS-232, RS-485, Modbus a CAN Bus. Waspnote je základní deska, ke které se následně připojují další senzory.

Tabulka 3 - Specifikace Waspnote [29]

Mikrokontroler	ATmega1281
Frekvence	14.74 MHz
SRAM	8 kB
FLASH	128 kB
EEPROM	4 kB
SD karta	Až 2 GB
Provozní teplota	-10 °C až 65 °C
Vstupy a výstupy	7 analogových vstupů, 8 digitálních I/O 2x UART, 1x I2C, 1x SPI, 1x USB
Rozměry	7,4 cm x 5,1 cm x 1,3 cm
Napájení	Z baterie 3.3-4.2 V

Tato deska má nejlepší napěťový management na trhu. Má čtyři operační módy zapnuto (17 mA), spánek (30 μ A), hluboký spánek (33 μ A) a hibernace (pouhých 7 μ A). Při vhodném naprogramování může zůstat aktivní až v řádu několika roků. Vzhledem k nízkému odběru je napájen baterií. Tyto dvě vlastnosti mu dávají velkou výhodu.

K této základní desce se dále připojují další, a to na základě požadované funkcionality. Uvedu zde rozdělení kategorií a příklady modulů a jejich využití.

- Senzory
 - Plyny
 - Plyny (speciální)
 - Události
 - Zemědělství
 - Voda
 - Voda (látky)
 - Chytrá města
 - Chytré parkování
 - Video
 - Radiace
- Bezdrátová rozhraní
 - 802.15.4 / ZigBee
 - Sigfox
 - LoRaWAN 868–900/915 - 433MHz
 - LoRa 868–900/915MHz
 - WiFi

- 4G, 3G
- GPS
- GPRS
- Bluetooth
- RFID/NFC
- Industriální protokoly
 - 4-20 mA
 - Modbus
 - CAN Bus
 - RS-232
 - RS-485 [30]

Jde vidět, že firma se snaží obsadit veškeré aplikace. Zvládají snímat převážnou většinu veličin a běžně (i neběžně) měřených hodnot. Po stránce komunikace je na výběr z nejznámějších komunikačních protokolů. Systém je tedy velice komplexní a otázkou zůstává cena těchto modulů.

Cena základního modulu včetně komunikačního na frekvenci 2.4 GHz je okolo 240 EUR, což je v přepočtu přibližně 6500,- Kč. Sada neobsahuje žádné senzory, které jsou opět nákladné (3000,- Kč a více). Přes všechny výhody jde tedy bohužel o nákladné řešení.

5.1.3 Arduino

Další obdobou k Raspberry Pi je Arduino. Jde opět o univerzální řešení, lze tedy použít kdekoliv v celém návrhu řešení (stačí pouze připojit potřebné moduly a nahrát vhodný program pro obsluhu). Další text se věnuje z velké části modelu Arduino UNO.

Základem celé platformy je mikroprocesor ATmega328 od Atmelu. Takt udává 16 MHz krystal, který je tedy i nezbytnou součástí mikročipu. Konektivitu k počítači (a současně i hlavní programovací rozhraní) zajišťuje převodník USB – sériové rozhraní. Při programování čipu se tedy stačí jen jednoduše připojit přes rozhraní USB a nahrát program. Programovat modul lze i za pomoci sériového rozhraní, či speciálního programátoru.

Softwarovým srdcem je Bootloader, který je před-nahraný v paměti Flash. Zajišťuje právě základní funkce a zprostředkovává komunikaci mezi čipem a počítačem. Bez něj je nutné použít externí programátor. Obvykle zabírá pouze kolem 2 KB místa, není na něj tedy potřeba brát žádný zřetel.

Použité paměti jsou typu Flash, SRAM a EEPROM. Flash paměť bývá největší kapacity a je vyhrazena pro Bootloader + samotný program. SRAM se dynamicky mění a je na základě programu používána pro uchování bytů proměnných. EEPROM má nejmenší kapacitu a vzhledem k její povaze bývá použita pouze pro uložení neměnných se dat (například dlouhé řetězce nebo konfigurace sestavy systému).

Arduino má v nabídce široké spektrum desek, které se vesměs liší jen použitými komponenty. Napájení mikročipu ATmega328 je stanoveno na 5 V. Obvykle jsou přidány stabilizátory, aby se dal připojit externí zdroj mezi 6–20 V bez poškození desky. Lze tedy využít variantu stabilizovaného 5 V napětí, či většího rozsahu, bez potřeby stabilizace. Napětí musí být ovšem striktně stejnosměrného charakteru (v případě použití střídavého napětí je nutno jej předem usměrnit).

Existuje obrovské množství rozšiřujících komponent, které lze k mikročipu připojit prostřednictvím některé komunikační linky. Nejvíce používané rozhraní je klasický digitální vstup a výstup, sériová linka, analogový vstup, SPI, I2C sběrnice a pulzně šířková modulace PWM.

Programování probíhá ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Aktuální verze (začátek roku 2017) je 1.8.2. Je dostupný pro všechny platformy počítače – Windows, Mac OS X a Linux. Programovací jazyk je C++. Do programu lze bez problému zahrnout i objektově orientované programování. Velkou výhodou je spousta existujících knihoven, které ulehčují obsluhu různých komponent. Není tedy potřeba psát vše až na úrovni assembleru, ale naopak – k samotnému assembleru se díky knihovnám pomalu ani nedostaneme.

Soubory se z počítače do mikročipu odesílají formou „sketche“. To je základní výstup z Arduino IDE. Každý sketch obsahuje dvě funkce `setup()` a `loop()`. `Setup` se provede pouze jedenkrát, a to okamžitě po spuštění mikročipu. Slouží k nastavení parametrů, vytvoření objektů, případně alokaci místa apod. Smyčka `loop` je spuštěna ihned po funkci `setup` a je neustále opakována, jde tedy o nekonečný cyklus. V ní se nachází hlavní program, který běží neustále dokola. Programování umožňuje využít základního principu víceúlohového zpracování, avšak obvykle je vše vykonáváno převážně sekvenčně.

Tabulka 4 - Srovnání modelů Arduino (zdroj: www.arduino.cc)

Model	UNO	MEGA	MICRO	DUE
Procesor	Atmega 328	Atmega 2560	Atmega 32U4	Atmel ARM Cortex SAM3X
Frekvence [MHz]	16	16	16	84
Logika [V]	5	5	5	3,3
Flash [KB]	32	256	32	512
SRAM [KB]	2	8	2,5	96
EEPROM [KB]	1	4	1	X
Digitální I/O	14	54	20	54
PWM piny	6	14	7	14
Analogové vstupy	6	16	12	12
Velikost [mm]	53 x 75	53 x 102	18 x 49	53 x 102
Přibližná cena [Kč]	100,-	250,-	80,-	400,-
Poznámky	Základ	Hodně vstupů	Velice malý	Výkonný

Dle srovnání modelů v tabulce 5 je postačujícím základem Arduino UNO, při potřebách nedostačující paměti, či vyššího počtu vstupů/výstupů je třeba sáhnout po Arduino MEGA. Arduino Micro se uplatní zejména tam, kde je potřeba malých rozměrů (například teplotní senzory v pokojích). Poslední kandidát Arduino DUE, což je vylepšení předchozího modelu – Arduino UNO, je jeho netradiční použití, jelikož je dimenzován na logiku 3,3 V a nehodí se tedy na všechny aplikace, protože by ve většině rozšiřujících modulů vyžadoval převodník napětí 3,3 V na 5 V. Ceny jsou uvedeny orientačně. Nejsou příliš vysoké, protože samotná deska a osazení komponentami je z původní licence volně šířeno po internetu. Vzniklo spoustu derivátů Arduina, které nabízí téměř identické funkce, avšak za výhodnější cenu.

5.1.4 Specializované řešení vytápění

Lze dohledat spoustu dalších funkčních řešení, která jsou dodávána buď na klíč nebo formou volně dostupných kódů, jež si uživatel upraví dle svého. Bohužel většina těchto řešení vyžaduje speciální vybavení a senzory, které jsou velice nákladné. Bezdrátová komunikace je nejdražší. Natažení nové kabeláže (komunikačních sběrnic) nepřipadá v rámci dodržení podmínek v úvahu. Navíc je potřeba individuálně zajistit ovládání obou

kotlů, což žádné z těchto řešení bohužel neumožňuje, proto řešení, převážně na principu akční členy – server (s operačním systémem) dále nebudu uvažovat.

5.1.5 Shrnutí a výběr

Raspberry Pi je sám o sobě takový malý počítač, který je ideální pro grafické operace. Šlo by jej využít jako hlavní řídicí jednotku, ale nenahradí stávající výkonný server. Waspnote z dílny Libelium je výborné škálovatelné řešení, které se bohužel nehodí na tuto aplikaci vzhledem k jeho ceně. Nejlépe ze všech je na tom platforma Arduino, která sice neposkytuje velký výkon, ale na koncová zařízení se velice hodí. Složitější operace může vykonávat výkonný server. Hlavním rozhodovacím kritériem je cena, která je velice malá vzhledem k jednomu kusu modulu a potřebnému výkonu. Jedním z požadavků bylo jednoduché a nízkonákladové řešení. Oba požadavky Arduino splňuje.

5.2 Návrh řešení

Řešení je tedy založeno na univerzální a snadno dostupné platformě Arduino. Jelikož umožňuje vysokou míru přizpůsobení a poskládání pouze potřebných modulů, tak je pro tuto aplikaci vyhovující. Vhodnou volbou modulů a vytvořením algoritmů na míru, lze dosáhnou požadovaného řešení.

Prvním bodem je umožnění novému systému ovládat základní regulační a ovládací prvky. Začnu tedy v kotelně, kdy potřebuji mít pod kontrolou primární i sekundární kotel. Nutnost přikládat další dřevo bohužel neodpadá, ale bez problému zvládne samočinně fungovat i více než 4 hodiny, což postačuje například na cestu domů, do již vytopeného domu. Navíc je k dispozici sekundární kotel, který vydrží daleko déle. Uživatel si tedy může vybrat. Vybral jsem řešení, kdy bude mít každý kotel svoji řídicí jednotku a své ovládání. Nejdříve je nutné automatizovat manuálně ovládané prvky. Dalším krokem je připojení na řídicí jednotku včetně vhodného naprogramování.

Řídicí jednotky každého z kotlů fungují autonomně. Kvůli možnosti vzdáleného ovládání jsou vybaveny ethernet moduly, které je připojují do vnitřní ethernet sítě. Důležitým bodem je vystavění a naprogramování dedikované hlavní řídicí jednotky, která spojuje obě řídicí jednotky kotlů dohromady. Je taktéž vybavena ethernet modulem a umožňuje přístup z vnější sítě internet. Přístup je však zabezpečen a nedovoluje ovládat základní rutinní operace na řídicích jednotkách kotlů. Může je například požádat o zapnutí kotle či

čerpadel, ale už neumožňuje nastavit třeba otevření přívodu vzduchu, jelikož si toto kotlová jednotka řídí sama a tím se i chrání, před případnou havárií.

Předposledním krokem je zajištění regulace výkonu topení v jednotlivých místnostech. Stávající termostatické hlavice jsou dobrým řešením, avšak termoelektrické hlavice, řízené hlavní jednotkou, dodávají širší možnosti a lze je ovládat centrálně i odkudkoliv.

Poslední fází návrhu je navrhnout vhodné prostředí, kde se veškeré možnosti (nastavení teploty pokojů, spínání čerpadel na základě zapnutých kotlů či teploty vody, zapínání kotlů, alarmy, regulační členy atd.) propojí a vznikne tak komplexní systém, který dokáže snížit náklady na vytápění a současně zvýšit komfort ovládání celého systému.

5.3 Primární kotel

Zplynovací kotel na dřevo bohužel stále potřebuje obsluhu, aby přikládala. Tento nedostatek nelze vyřešit, protože by jinak vznikly velmi vysoké náklady na celý systém, včetně zásahu velkého rozměru. Přikládání tedy zůstává manuální.

Výkon kotle lze regulovat klapkou přívodu vzduchu. Ta je za normálních okolností otevřena a zavírána regulátorem tahu (typ FR 124). Na základě teploty se přes páku přenáší tah směrem nahoru či dolů. To má za příčinu uzavření klapky vzduchu, či naopak její otevření.



Obrázek 12 - Vzduchová regulační klapka (zdroj: www.atmos.cz)



Obrázek 13 - Regulátor tahu (zdroj: www.atmos.cz)

Paralelně k regulátoru tahu, respektive k ovládacímu řetízku, lze připojit servomotor. Ten přes páku funguje obdobně jako regulátor tahu, ovšem je ovládán řídicí jednotkou. Pro tyto účely jsem zvolil servomotor ES3001, který má uvedené parametry v následující tabulce.

Tabulka 5 - Parametry serva EMAX 3001 (zdroj: www.peckamodel.cz)

Provozní napětí	4,8 V ~ 6,0 V
Rychlost při 6 V	0.14 sec/60 °
Točivý moment při 6 V	4,2 kg/cm
Váha	37 g
Rozměry	38,6 x 18,8 x 34,9 mm
Připojovací konektor	JR
Cena	190,- Kč

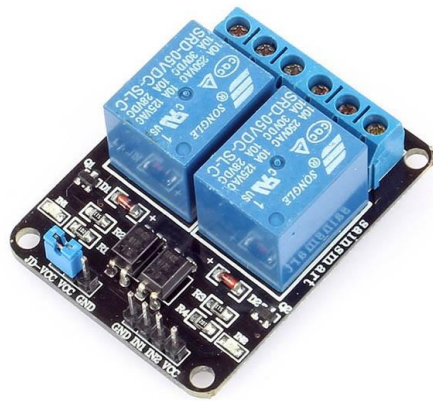


Obrázek 14 - Servo EMAX 3001 (zdroj: <http://www.peckamodel.cz>)

Nejhodnotnější údaj je točivý moment při 6 V, kdy dosahuje 4,2 kg/cm, což po přepočtu dává rezervu 2 kg, jelikož klapka není příliš těžká. Prodloužením tažného řetízku tedy docílím napojení na klapku a staré ovládání bude zachováno, což splňuje kladenou podmínku.

Současně s otevřením přívodu vzduchu je potřeba zapnout odtahový ventilátor. To totiž výrazně zvyšuje výkon. Stávající ovládání odtahového ventilátoru je termostatem. Ventilátor je jednofázový s kondenzátorem. Zde se nabízí jednoduché řešení. Připojení na fázi přes relé modul. Tím se oddělí síťové napětí od malého ovládacího napětí.

Dále je třeba zajistit spínání oběhového čerpadla primárního kotle. Jelikož je čerpadlo napájeno taktéž 230 V, tak stejně jako v předchozím případě postačí relé modul. Schéma zapojení konektorů je zemnicí, ovládací signál 1 a 2, napájení 5 V.



Obrázek 15 - Relé modul (Zdroj: www.arduinoshop.cz)

Aby bylo možné regulovat kotel, je potřeba znát aktuální teploty na různých místech. Nejdůležitější je teplota kotle, dále teplota akumulární nádrže (nejlépe v alespoň třech bodech – nahoře, uprostřed a dole) a jako poslední teplota vcházející do topných okruhů, případně i přicházející vody do směšovače.



Obrázek 16 - Senzor teploty DS18B20 (zdroj: www.developer.mbed.org/components/DS1820/)

Jako spolehlivý čip jsem zvolil osvědčený Dallas DS18B20. Jde o 9-bitový senzor teploty, který má pouze tzv. třívodičové zapojení (dva pro napájení a jeden pro data). Měřící rozsah teploty je $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, přičemž dosahuje přesnosti $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Datový pin pracuje jako sběrnice 1-Wire. Jde k ní paralelně připojit až 30 zařízení.

Srdcem a propojením všech vstupních i výstupních komponent je řídicí jednotka. Ta je složena z Arduino MEGA 2560 R3 s procesorem ATmega2560 od společnosti Atmel. Poskytuje 256 KB vnitřní flash paměti pro uživatelský program. Dále je s ní spojen Ethernet shield s řídicím čipem W5100. Komponenty mají dostatečný výkon, aby

prováděly nahraný program a komunikovaly po síti. Součástí primární jednotky je vnější senzor teploty, který zajistí sběr teploty pro ekvitermní regulaci.

5.4 Sekundární kotel

Jelikož je stávající ovládání sekundárního kotle zastaralé a není možné jej nijak propojit do nového systému managementu topné energie, tak jsem se rozhodl navrhnout novou řídicí jednotku, jakožto úplnou náhradu za stávající. Jednotka bude pracovat autonomně, dle preferencí obsluhy a bude poskytovat vyšší komfort než doposud. To na základě požadavků a praktických zkušeností s dosavadním řešením.

5.4.1 Vstupy a výstupy

Ovládání je jednoduché. Jsou spínány dva třífázové motory. Jeden slouží k promíchání sypkého materiálu, aby nezůstával nikde zaseknutý. Ten je naprosto nezávislý na jiných podmínkách (stačí tedy aby byl kotel v režimu zapnuto). Druhý elektromotor pracuje jako dávkovač paliva do vnitřního spalovacího prostoru kotle.

Zátop probíhá formou dopravení horkého vzduchu (až 500 °C) do vnitřní spalovací komory, kde je nadávkováno palivo, které následně pod touto teplotou vzplane. Opět ovládán pouze přivedením napětí. Poslední výstup je stejně jako u primárního kotle – odtažový ventilátor spalin, jenž zvyšuje výkon kotle a odhořívání paliva.

Vstupem je ovládací panel obsluhy, dále senzor teploty vody v kotli, a hlavně senzor teploty vzduchu v kouřovodu. Celkem jsou tedy definovány 4 výstupy a 2 vstupy + několik ovládacích vstupů.

5.4.2 Funkcionalita

Stav ZAP/VYP

Jednotka se nachází ve stavu vypnuto a čeká na přepnutí do stavu zapnuto. Po stisknutí tlačítka vypnout/zapnout přejde jednotka do stavu zapnuto – manuálního ovládání. Nyní lze zvolit stav zátop, a to zvláštním tlačítkem. Kdykoliv lze přejít zpět do stavu vypnuto.

Stav zátop

Do tohoto stavu lze přejít pouze ze stavu zapnuto. Jde o automatický režim, který končí buď přechodem do stavu automatické topení, nebo do stavu vypnuto s chybovou hláškou. Jednotka spustí dopravník paliva po předem nastavenou časovou konstantu. Tím dojde

k nahromadění zapalovací dávky ve spalovací komoře. Vzplanutí paliva se děje po zapnutí zátopového mechanismu. Pokud nedojde ke vzplanutí paliva, jednotka se pokusí přidat malou dávku paliva a pokus opřítovat. Pokud ani napodruhé palivo nechytne, tak je vrácen stav a chybová hláška. Jestliže naopak k zápalu dojde, přechází jednotka do režimu automatického topení. Vyhodnocení, zda palivo hoří (či ne) jednotka porovnává na základě zvyšující se teploty v kouřovodu.

Stav manuální topení

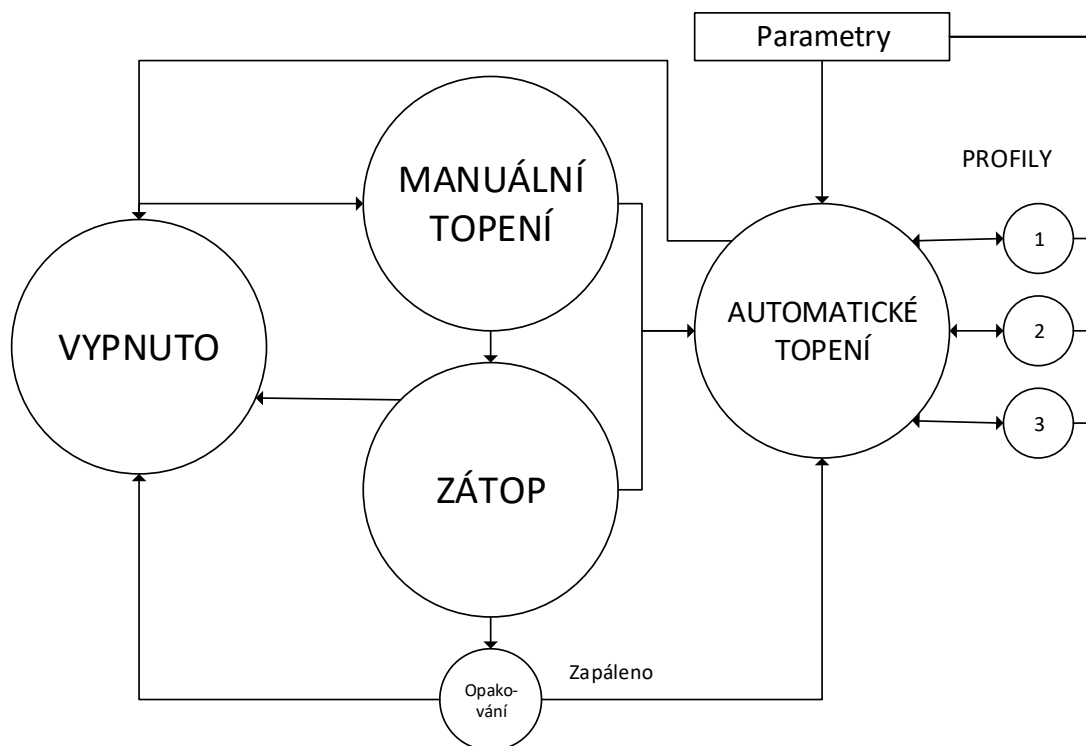
Do tohoto stavu se lze dostat ze stavu vypnuto a automatické topení, opět na základě stisknutí stavového tlačítka. Jednotka vyčkává na další vstupy. Je umožněna pouze funkce manuálního (tlačítkového) ovládání dopravníku paliva. Tento stav je výchozí pro stav zapnuto.

Stav automatické topení

Je to hlavní a nejvíce používaný stav, kdy jednotka kontroluje teplotu v kouřovodu a na jejím základě vyhodnocuje další kroky. Dle naprogramovaných a uživatelem upravených parametrů jednotka vyhodnotí, kdy má dopravit palivo do spalovací komory. Vše se děje v závislosti na teplotě v kouřovodu. Příliš velká teplota (více než 350 °C) znamená vypnutí dávkování. Normální teplota (200–350 °C) reflektuje korigované dávky paliva, aby nedošlo k předávkování palivem, či jeho nedostatku. Nízká teplota (do 200 °C) značí malé dávky paliva (případně žádné), tak aby došlo k rozhoření. Vstup ze sondy teploty v kouřovodu rovněž ovládá chování odtahového ventilátoru. Ten je zapnut, pokud je potřeba podpořit proces hoření a naopak vypnut, když je teplota příliš vysoká, či dochází k dohoření paliva. Z tohoto stavu se lze dostat do stavu vypnuto, či manuálního ovládání.

Profily

Tlačítko profily slouží k přepnutí profilů. Každé palivo má jiné vlastnosti a potřebuje i jiné časy na rozhoření a samotný proces hoření. Podle aktuálně vloženého paliva v násypce je zvolen profil, který tomuto palivu odpovídá. Jde tedy o přednastavené parametry, které dále ovlivňují celý proces fungování kotle.



Obrázek 17 - Schéma stavů ŘJ sekundárního kotle (vlastní zpracování)

5.4.3 Použití modulů

Softwarová stránka řídicí jednotky je popsána v předchozí kapitole. Nyní se zaměřím na hardwarovou část, tedy ovládání vstupů a výstupů.

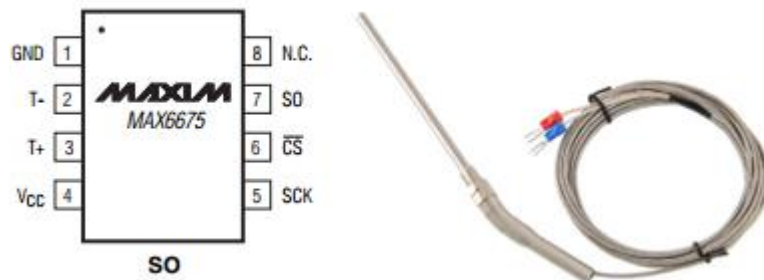
Snímače teploty vody

Obdobně jako u primárního kotle použiji snímač teploty DS18B20, jelikož postačuje jeho teplotní rozsah a komunikuje prostřednictvím 1-Wire sběrnice bez nutnosti další konverze jinou jednotkou.

Snímač teploty v kouřovodu

Zde už je aplikace hardwaru složitější. Snímač musí být velice odolný a mít vhodný teplotní rozsah. Nelze použít DS18B20, neboť je to mimo jeho teplotní rozsah a velice pravděpodobně by shořel. Na tyto aplikace se nabízí řešení formou speciálních teplotních senzorů zvaných termočlánky. Využívají principu termoelektrického jevu, kdy je teplota vyjádřena změnou elektrického napětí. Existuje spousta typů (značí se písmenem abecedy) a jde vždy o dvojici kovů. Vybral jsem snadno dostupnou a dosti používanou sondu typu K. Pod typem K se skrývá chromel-alumel, který je schopen měřit rozsah

teplot -200 °C až 1300 °C. Pro moji aplikaci postačuje rozsah mezi 10–600 °C. Sonda je tedy vhodná.



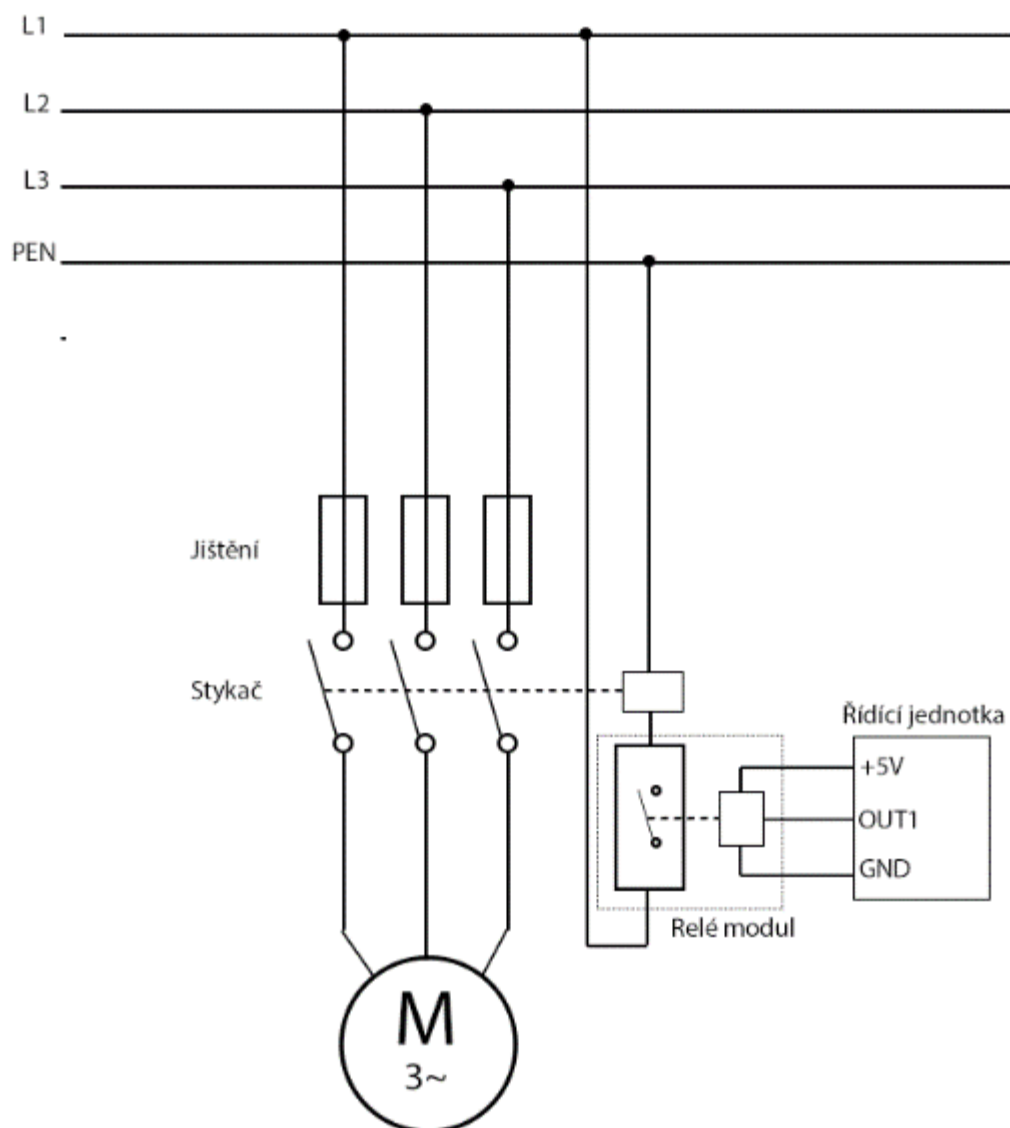
Obrázek 18 - Převodník a senzor teploty typu K (zdroj: www.sainsmart.com)

Samotný senzor nestačí. Je potřeba zařadit mezi senzor a jednotku ještě převodník a vyhodnocovací obvod. Pro tento účel se existuje výhodný integrovaný obvod, jehož výstupem je set 3 pinů (CS, SO a SCK). Komunikace s jednotkou je zajištěna formou SPI sériového rozhraní. Vstup do něj je přes piny T- a T+, na něž se připojí dvoužilová sonda typu K. Přesnost tohoto měření je pak stanovena samotnou sondou a to na $\pm 1,5$ °C. Převodník zvládá rozlišení 0,25 °C a teplotní rozsah 0 °C až 1024 °C. Je tedy určen právě pro senzory typu K a stále odpovídá mému požadovanému rozsahu teplot.

Shrnutím výhod předchozí dvojice (převodník a sonda teploty) je požadovaný měřicí rozsah, slušná přesnost a relativně nízká cena (okolo 200,- Kč).

Ovládání elektromotorů

Protože se jedná o dva třífázové elektromotory, tak je nelze spínat obyčejným relé modulem. Lze ovšem využít předchozí instalace, která obsahuje dva stykače. Při použití stykačů už lze relé modul použít. Stykač bude sloužit jako spínač tří fází a relé modul bude spínat ovládací cívku stykače. Na relé modulu tedy nebude docházet k výraznému jiskření a o zbytek se postará stykač.



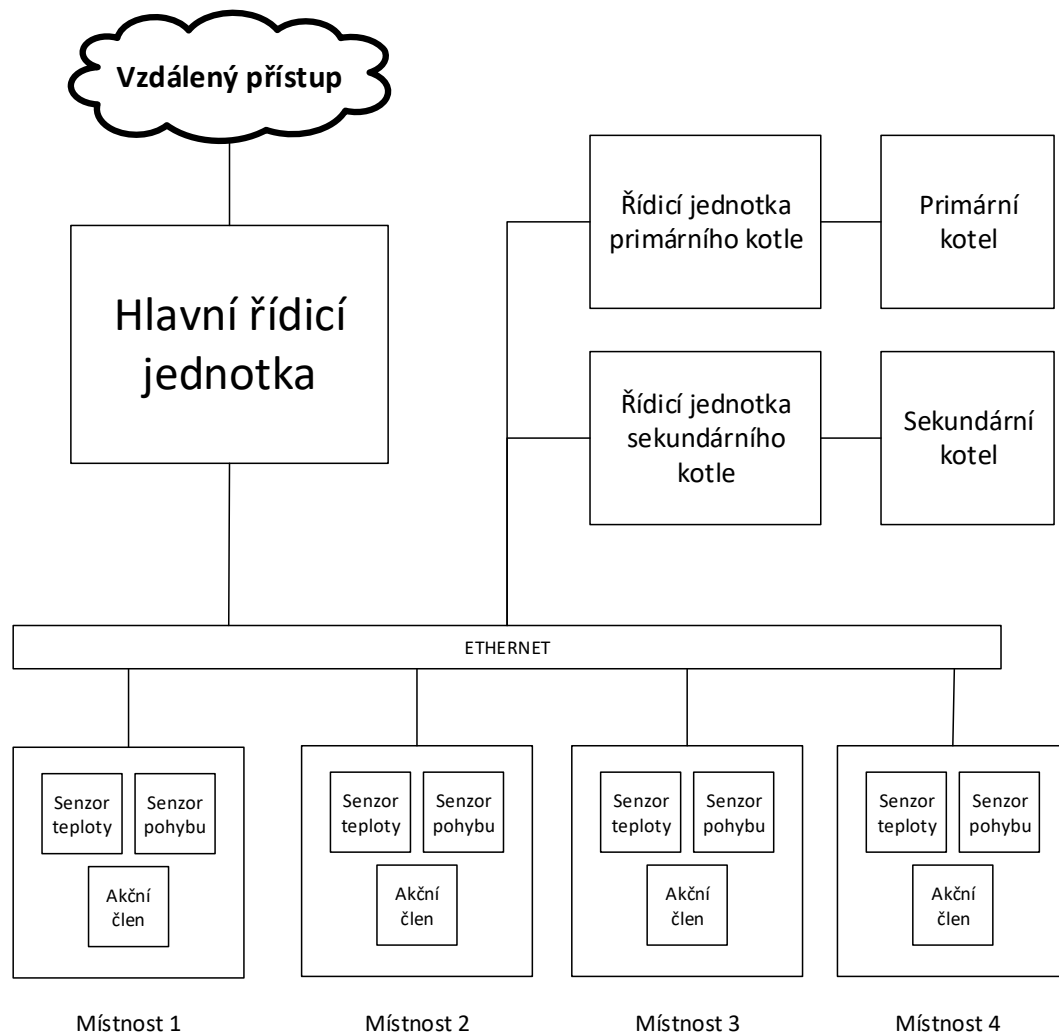
Obrázek 19 - Schéma zapojení stykače a jednotky pro ovládání třífázového elektromotoru (vlastní zpracování)

Ovládání odtahového ventilátoru a mechanismu zátopy

Tyto dvě komponenty lze jednoduše ovládat připojením na napětí 230 V (respektive připojit 230 V – spotřebič – nulový vodič). Opět stačí využít relé modulu a obsadit na něm další dvě místa (relátka). Podle stavu a programu pak jednotka pouze pošle logickou úroveň 1 nebo 0 na příslušný výstup.

5.5 Automatizace vytápění objektu

Samotné ovládání obou kotlů je již vyřešeno, jednotky lze jednoduše rozšířit o další funkcionalitu. Nyní je potřeba zajistit automatické vytápění celého objektu. K tomu bude sloužit následující koncept.



Obrázek 20 - Koncept automatizace vytápění objektu (vlastní zpracování)

Řídicí jednotky primárního a sekundárního kotle vytvářejí jakýsi základ celého systému. Díky nim je do topné soustavy dodáváno teplo. Proto jsou navrženy autonomně a lze je řídit manuálně z kotelny, ale i vzdáleně pomocí internetu.

V jednotlivých místnostech budou umístěny dílčí jednotky, které budou složeny ze snímačů teploty a pohybu. Lze tak tedy jednoduše detekovat, zdali se někdo nachází v místnosti, a hlavně zjistit, na kolik stupňů je daná místnost vytopena. K regulaci

průtoku vody v konkrétní místnosti bude sloužit patřičný akční člen, který tuto funkci nabízí.

Poslední jednotkou, ve které bude obsažena největší funkcionalita, je hlavní řídicí jednotka. Ta bude nejvíce přizpůsobitelná pro zákaznickovy potřeby. Obecně lze říci, že zabezpečí komunikaci mezi jednotkami, jejich ovládání, získávání potřebných dat a tvoří stěžejní část vzdálené komunikace, včetně kompletního ovládání celého systému uživatelem prostřednictvím webového rozhraní (či mobilní aplikace).

Spojnicí mezi všemi jednotkami je síť ethernet (případně připojení koncových jednotek do této sítě na bázi standardu IEEE 802.11). Již je vybudována infrastruktura sítě ethernet a téměř v každé místnosti je dostupné buď drátové nebo bezdrátové připojení do této sítě. Zde lze dosáhnout úspory na nákladech využitím relativně spolehlivé sítě. Stačí pouze přizpůsobit dílčí jednotky, aby využívaly patřičný protokol.

V dalších kapitolách se blíže seznámíme s návrhem chybějících jednotek výše uvedeného konceptuálního řešení.

5.6 Minimalistické zařízení v jednotlivých místnostech

Je potřeba vyřešit otázku několika jednotek, které budou umístěny vždy po jedné do každé místnosti. Tato jednotka bude obsahovat senzor teploty vzduchu v místnosti, jeden výstup pro akční člen a napojení na čidlo pohybu.

5.6.1 Požadavky a definice

Jednotka musí splňovat následující požadavky:

- Minimální náklady (údržba, provoz a pořízení).
- Minimalistické rozměry a vzhled (nenápadné umístění).
- Pouze tam kde jsou umístěna: Napojení na stávající čidla pohybu (detekce osob, zabezpečení objektu, signály pro hlavní řídicí jednotku).
- Výstup pro regulaci vytápění (včetně tohoto členu).
- Teplotní senzor (v běžném měřicím rozsahu teplot místnosti, což představuje rozsah 0-30 °C).
- Konektivita do domácí sítě (a propojení s hlavní řídicí jednotkou).
- Komunikace s hlavní jednotkou bez zásahu uživatele.
- Hlášení chyb a pokud možno bezúdržbový provoz.

Lze tedy tvrdit, že je zapotřebí dvou vstupů (teplotní senzor a senzor pohybu) a jednoho výstupu (pro akční člen).

Pro tuto aplikaci se hodí velice rozšířený modul pro Arduino – ESP8266. Poskytuje konektivitu prostřednictvím Wi-Fi sítě, má malé rozměry a komunikuje prostřednictvím AT příkazů.

Díky jeho popularitě existuje mnoho typů, které se liší víceméně pouze v rozměrech a počtu vstupů/výstupů. Vybral jsem typ 03, jelikož poskytuje potřebný počet vstupů/výstupů a zároveň je nejmenších rozměrů. Jeho vlastnosti jsou uvedeny v tabulce.

Tabulka 6 - Vlastnosti ESP8266-03 [31]

Modul	ESP8266 ESP-03
CPU	32bit RISC Xtensa LX106
Frekvence	80 MHz
Paměť	64 kB
Konektivita	IEEE 802.11 b/g/n
Podpora zabezpečení	WEP, WPA, WPA2
Vstupy/výstupy	7 GPIO
Napájení	3,3 V
Cena	70,- Kč

Splňuje všechny výše definované požadavky. Jeho rozměry jsou velmi malé, pouhých 17x12 mm. Spotřeba v režimu spánku i „standby“ módu je okolo 1 mA. Při běžné komunikaci je spotřeba přibližně 100 mA (ale v tomto stavu se modul nachází pouze několik sekund za jednu hlásící periodu). Jde tedy o napěťově nenáročné zařízení.

Nevýhodou je nutnost přivést napětí o 3,3 V. Tuto nevýhodu lze snadno obejít za pomoci převodníku napětí AMS1117 (5 V -> 3,3 V, typu step-down), jehož cena se pohybuje okolo 5,- Kč. Další nevýhodou je nutnost použít tranzistory k výstupům GPIO, jelikož dlouhodobě nemohou poskytnout více než 7x12 mA. Tedy k výstupu pro akční člen je třeba zařadit ještě tranzistor typu NPN. Lze použít například 2N2222 v pouzdře TO-02 (cena 50 haléřů), proudově zatížitelný až na 800 mA.

5.6.2 Regulace topení

Jelikož je topný systém složen pouze z deskových radiátorů, značně se tím usnadní jejich regulace. Součástí všech je vnější přípojovací závit M 30 x 1,5 pro přípravu na použití regulačního ventilu. Aby jednotlivé radiátory po celém domě mohla ovládat hlavní řídicí jednotka, je zapotřebí nakoupit termoelektrické ventily, které jsou ovládány elektrickým signálem (a ne mechanicky, jako je tomu doposud).

Zjistil jsem aktuální nabídku termoelektrických pohonů a setřídil do tabulky pro výběr nejoptimálnější varianty.

Tabulka 7 - Srovnání termoelektrických pohonů (vlastní zpracování)

Výrobce	Elektrobock	SALUS	Siemens	Heimer	Honeywell
Typ	SEH01	T30	STA73	Emotec	MT4
Napájení [V]	230	230	230	230	230
Typ pohonu	NC	NC	NC	NC	NC
Příkon [W]	2	2	2,5	3	3
Zdvih [mm]	4	6	4,5	4,5	4
Síla [N]	110	-	100	90	90
Doba chodu [min]	3	2	4,5	3	2,5
Cena [Kč]	379,-	526,-	790,-	760,-	695,-

Všechny termoelektrické pohony existují ve variantě s ovládacím napětím 230 V a většina z nich i ve variantě 24 V. Je lepší využít 230 V pohon, má větší sílu i kratší dobu chodu. Navíc bude zařízení napájeno přímo z elektrické sítě, bez potřeby konverze napětí.

Dále je potřeba vybrat typ pohonu. Typ NC znamená normálně uzavřeno, což je nejlepší varianta, protože nemusí být napájeno například přes noc. Ventil tedy bude otevřen pouze po přivedení řídicího signálu a uběhnutí „doby chodu“, která je potřebná k plnému otevření ventilu.

Příkon je ve všech variantách velmi malý (v poměru s napájecím napětím 230 V). Jeho rozdíly jsou naprosto nepatrné a není třeba je zohledňovat ve výběru. Zdvih se pohybuje mezi 4 až 6 mm. Naprosto postačuje zdvih 4 mm. Síla je opět dalším nerozhodujícím parametrem, liší se jen o pár Newtonů, ventil půjde bez problému otevřít.

Doba chodu je již zajímavějším parametrem pro stanovení priorit. Nejmenší doby dosahuje pohon od výrobce Salus, následovaný Honeywellem. Nejdéle se otevírá/zavírá pohon od Siemens. Čekací doba není nijak závratná ani v případě nejpomalejšího. U termoelektrických pohonů se musí předpokládat delší doba náběhu. Naopak se odvděčí tichým chodem bez potřeby obsluhy a údržby.

Posledním a nejméně ceněným parametrem je cena. Ta je různá a vzhledem k většímu počtu nakupovaných pohonů je značně rozhodující. Musím se držet požadavku na minimální náklady. Za dobrou cenu lze zakoupit zaběhlý pohon od české společnosti, která poskytuje spolehlivé výrobky již několik let. Navíc se zabývá i systémy pro chytrou domácnost.

Termoelektrický pohon Elektrobock je tedy vybrán. Poslední záležitostí okolo pohonu je zajištění jeho napájení ze sítě. To bude probíhat sepnutím relé na základě ovládacího napětí z jednotky. Kvůli možnému umístění v místnosti volím SSR relé, které je naprosto tiché, rychlejší a zvládá bezproblémově ovládací úroveň napětí 3 V.

5.6.3 Senzory

Jednotka bude obsahovat pouze dva vstupy. Prvním je teplotní snímač a druhým vstup ze zabezpečovacího pohybového zařízení.

Stejně jako v předchozích aplikacích volím jednoduchý senzor teploty DS1820, poskytující velký teplotní rozsah (splňuje požadavek). Lze jej dokonce bezproblémově napájet vstupem z převodníku, tedy 3,3 V (jeho dolní hranice je 3 V).

Nyní je potřeba nachystat jednotku na vstup z pohybového čidla. Pohybová čidla pracují na napěťové úrovni 12 V. Stačí se jednoduše sériově připojit mezi signální vodič (určený pro tyto účely – tedy bez stávající odporové kontroly) a zemnicí vodič. Poté je nutno kontrolovat, jestli se objeví napájecí napětí na signálním vodiči. Zde je potřeba zajistit změnu napětí z úrovně 12 na 3,3 V.

K tomu poslouží prostý napěťový dělič.

$$\text{Ze vztahu } V_{\text{výstup}} = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot V_{\text{vstupní}} = \frac{2200}{2200+835} \cdot 12 \approx 3,3 \text{ V}$$

Dostávám dvě hodnoty rezistorů 2200 Ω a 835 Ω. Při sériovém zapojení mezi signální vodič a zemnicí vodič je napětí mezi nimi rovno právě 3,3 V. Viz. následující kapitoly ve schématu zapojení.

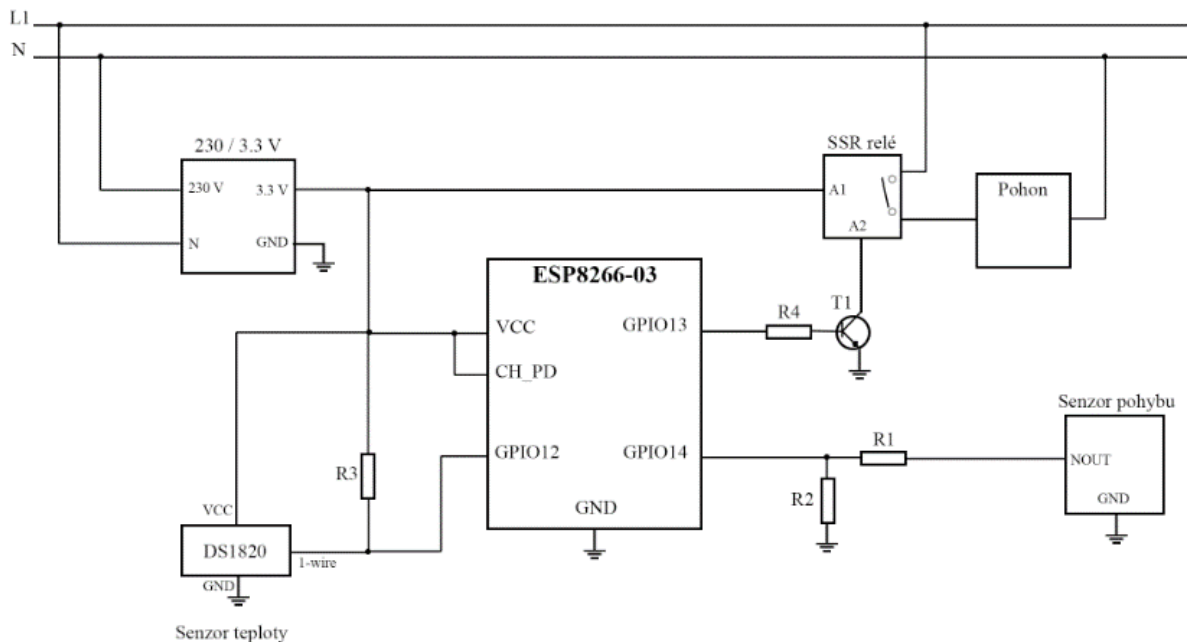
5.6.4 SDK a programování

ESP8266 je známým zařízením pro využití v internetu věcí, bylo pro něj vyvinuto speciální SDK. To znamená, že není potřeba připojovat další mikroprocesor, aby s modulem komunikoval prostřednictvím AT příkazů, ale postačí nahrát nový bootloader a následně program přímo do ESP8266, který dále bude pracovat autonomně. Tímto vznikne značná úspora na další jednotce, ale hlavně zabereme méně prostoru pro instalaci. Jde tedy o nahrání nového firmwaru.

Speciální SDK se nahraje přímo do vývojového prostředí Arduino IDE. Toto prostředí lze poté používat téměř identicky, jako při vývoji programu pro Arduino modely. Píše se v jazyce C++, je potřeba odlišit knihovny pro Arduino a knihovny pro ESP8266, neboť každé obsahují trochu jiné instrukční sady. [32]

5.6.5 Schéma zapojení jednotky

Rezistory R1 a R2 vytváří napěťový dělič. Mají hodnoty R1 = 2200 Ω, R2 = 835 Ω (zde bude nejlépe dostupný rezistor o hodnotě 820 Ω z řady E6). Rezistor R3 drží vysokou úroveň na vedení a je nutné jej použít. Jeho optimální hodnota je kolem 4,7 kΩ. Rezistor R4 omezuje proud protékající bází tranzistoru T1. Hodnota je stanovena na 1 kΩ. Tranzistor T1 je typu NPN, což lze určit i ze schématu.



Obrázek 21 - Schéma zapojení pokojové jednotky (vlastní zpracování)

5.6.6 Funkcionalita

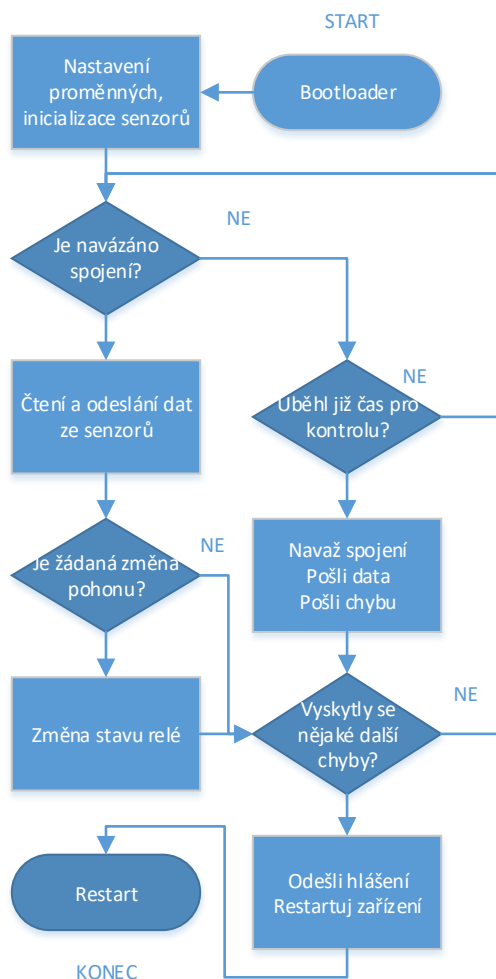
Program se spustí ihned po připojení napětí. Nejdříve se zavede bootloader. Dále se začínají plnit příkazy ve funkci `setup()`, dojde k alokaci prostoru a nastavení původních hodnot definovaných proměnných. [32]

Poté se provádí nekonečný cyklus, funkce `loop()`. V ní je obsažena všechna funkcionality.

V normálním průběhu programu je navázáno spojení ze strany jiné jednotky. Jsou načtena data ze senzorů. Je nahlášen i aktuální stav pohonu ventilu (respektive relé). Jestliže externí jednotka vyžaduje změnu relé stavu, pak tuto změnu lokální jednotka okamžitě provede. V dalším kroku dojde k ukončení navázaného připojení. Pokud se nevyskytnou žádné obtíže, je nekonečná smyčka prováděna opět od začátku – tedy čeká na opětovné připojení.

Pro ošetření nechtěných stavů existuje časovač, který hlídá čas (nastaven na 5 minut) po který je nutno se připojit k zařízení. Po uplynutí této doby se jednotka (po načtení všech svých stavů) pokusí navázat spojení sama. Pokud je spojení navázáno, odešlou se data a zahlásí chyba, která signalizuje nedodržení definovaného časového intervalu. Jestliže ale jednotka nedokáže navázat spojení, chyby si uloží do paměti flash a dojde k jejímu vynucenému restartování (a pozdějšímu dodatečnému odeslání vzniklých chyb).

Obecné chování prováděného programu lze vyjádřit následujícím diagramem.



Obrázek 22 - Vývojový diagram hlavního programu pokojové jednotky (vlastní zpracování)

5.7 Hlavní řídicí jednotka

Za hlavní řídicí jednotku bude zvolen již existující a plně funkční server, který bude pokračovat ve svojí činnosti, avšak bude ještě navíc vykonávat obslužný program pro řízení vytápění. Obslužný program se bude skládat z několika komponent. Je nutné vytvořit vhodné uživatelské rozhraní pro snadnou obsluhu. Rovněž musí být zabezpečeno vzdálené řízení celého systému (bude podrobněji popsáno v následující kapitole). Nyní již k samotnému serveru. Server běží na následující hardwarové konfiguraci:

Tabulka 8 - Konfigurace domácího serveru (vlastní zpracování)

CPU	Intel Xeon E3-1225
Frekvence	3,3 GHz (turbo 3,7 GHz)
RAM	8 GB DDR4 UDIMM
HDD	2x 1TB 7200 otáček
Konektivita	2x GLAN karta
Zdroj	300 W
USB	2x2.0 a 4x3.0
Optická mechanika	DVD±RW
Grafické rozhraní	DisplayPort
Operační systém	Linux

Sestava je na dnešní poměry stále dostatečně výkonná a obslužný program pro vytápění domácnosti nikterak výrazně neomezí celkový výkon serveru. Server běží na linuxové distribuci Ubuntu Server v poslední verzi 16.04.2 LTS, jež zajišťuje dlouhodobou podporu minimálně do roku 2021. Je samozřejmě instalována 64 bitová verze. [33]

Nyní již k samotnému obslužnému programu pro ovládání vytápění domácnosti. Navrhl jsem program tak, aby byl složen z nejdůležitějších součástí a dále byl i volně rozšiřitelný o další komponenty. Na obrázku 23 lze vidět rozvržení jednotlivých součástí.

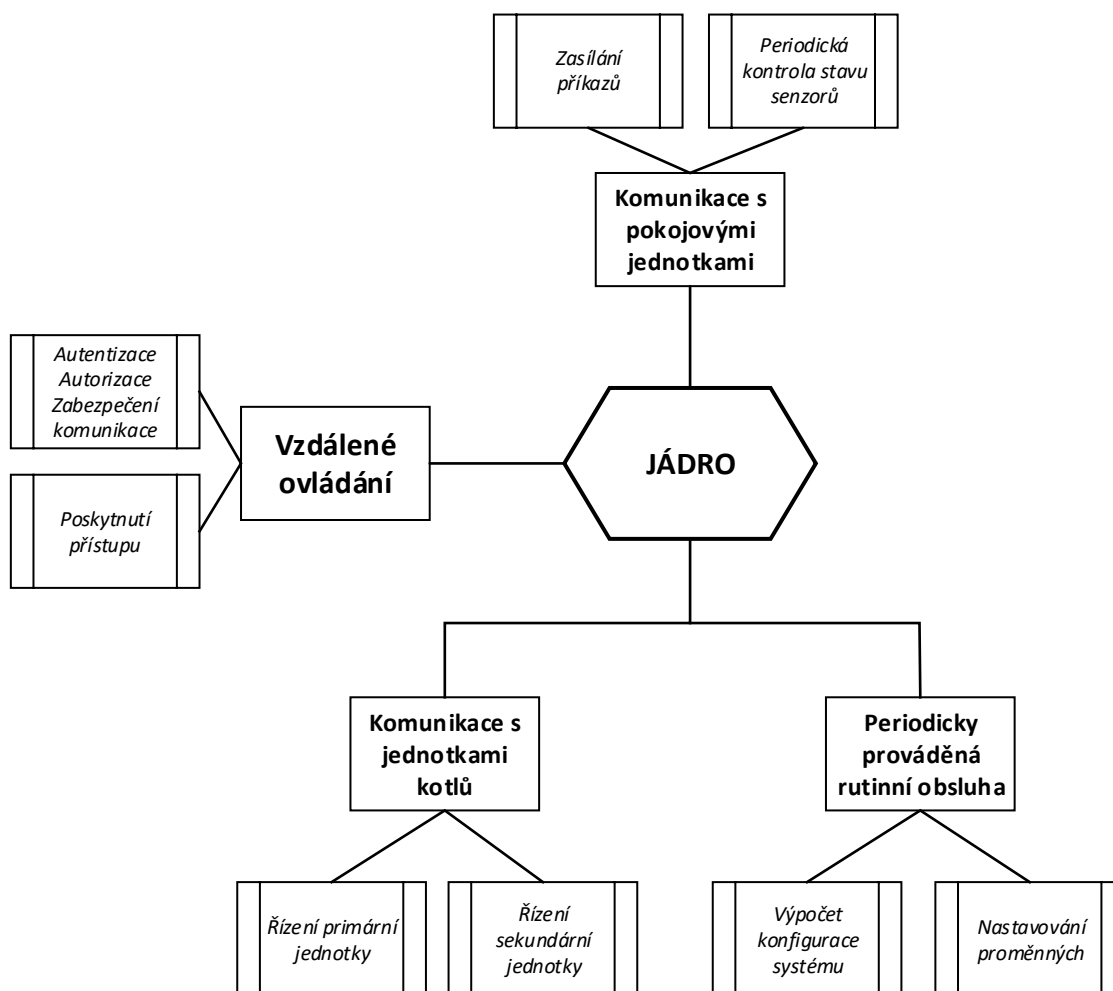
Nejdůležitější součástí celého programu je jádro. Jádro propojuje jakékoliv další přidané komponenty. Tvoří tedy jakýsi most mezi dalšími programy a rozhraními. Současně také poskytuje základní funkcionalitu (spouštění vybraných podprogramů, komunikace mezi komponentami, zajištění provádění rutinních operací, sběr dat, ...).

Ze strany senzorů (tedy pokojových jednotek) běží komponenta „komunikace s pokojovými jednotkami“. Ta má za úkol kontrolovat stav senzorů. Tím se rozumí kontrola, zda se neobjevily nějaké chyby, načtení aktuálních hodnot vstupů a výstupů těchto jednotek (teplota v místnosti a stav pohybového čidla) do paměti na serveru, dalším úkolem je zaslat příkazy pro změnu stavu jednotky. Lze tedy jednoduše docílit otevření ventilu (a případně jej i udržovat na stanovené úrovni v závislosti na čase).

Další komponentou je „vzdálené ovládání“. To slouží k bezpečnému ovládání systému vytápění prostřednictvím webového rozhraní a mobilní aplikace. Podrobněji se této

komponentě a samotnému vzdálenému vytápění budu věnovat v následující kapitole. Momentálně je důležité, že řeší komunikace se vzdáleným uživatelem, který má potřebná oprávnění k manipulaci se systémem vytápění a umožní mu prostřednictvím uživatelského rozhraní automatizovaně a jednoduše komunikovat se všemi jednotkami.

Komponenta „periodicky prováděná rutinní obsluha“ pravidelně spouští podprogramy, které se opakují. Vypočítává teploty v jednotlivých místnostech, potřebnou dobu otevření ventilů a řídí jednotky kotle. To vše se děje na základě uživatelem nastavené konfigurace systému.



Obrázek 23 - Programová obsluha hlavní řídicí jednotky (vlastní zpracování)

Poslední komponentou je „komunikace s jednotkami kotlů“. Zde je situace řešena obdobně, jako u komunikace s pokojovými jednotkami. Navíc mohou být jednotky ovládány i manuálně, přímo z kotelny. Obě pracují samostatně a nezávisle na sobě.

V případě výpadku serveru, nejsou jednotky ovlivněny. Navíc obsahují bezpečnostní mechanismy bránící přehřátí kotlů.

Komplexně navržená hlavní jednotka poskytuje následující funkce:

- Možnost vytvoření časových programů (hodiny, dny a týdny).
- Individuální časové programy pro každou místnost.
- Automatický režim, který vytápí místnosti na základě předchozích údajů z pohybových čidel bezpečnostního systému.
- Poloautomatický režim, jenž vytápí místnosti dle programu a přizpůsobení uživateli.
- Manuální režim, který má pod kontrolou pouze uživatel.
- Automatické spínání kotlů podle nastavené konfigurace (je ovlivněno i teplotou vody v akumulaci nádrži).
- Ekvitermní regulaci domovního okruhu (automaticky, případně i možnost manuální volby).
- Automatické vypnutí vytápění místnosti v případě otevřeného okna (větrání).
- Brána k poskytnutí vzdáleného přístupu.

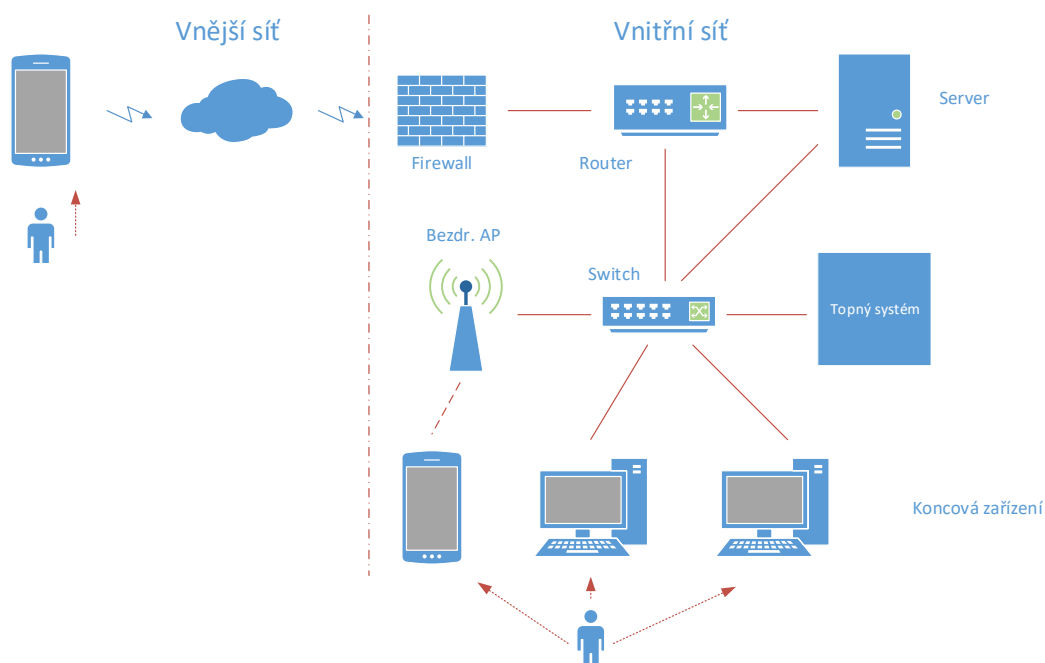
Celý systém je mezi jednotkami propojen ethernet rozhraním, po kterém taktéž komunikuje. Dotazy v rámci vnitřní sítě probíhají za pomoci HTTP protokolu na TCP transportní vrstvě. Tím je dosaženo úspory na materiálu a pracích. Není tedy třeba budovat jakoukoliv novou přenosovou infrastrukturu.

5.8 Vzdálený přístup

Hlavní řídicí jednotka (která současně slouží jako server) je s okolním světem (internet) propojena skrz další dedikovanou ethernet GLAN síťovou kartu. Komunikace uvnitř sítě zůstává vyloženě prostřednictvím první síťové karty a vzdálená komunikace je řešena druhou síťovou kartou. Veškerá vzdálená i lokální komunikace prochází řídicí jednotkou, která těmto datům rozumí.

Komunikace uvnitř sítě je navržena na bázi protokolu HTTP. Protože do domácí sítě nejsou připojena žádná zařízení z vnější sítě, lze ji považovat za důvěryhodnou. Naopak připojení do sítě internet je vyžadováno pouze prostřednictvím protokolu HTTPS. Šifrované spojení je zvoleno z důvodu různých útoků (např. odposlech a následné zneužití zadávaných údajů). Protokol HTTPS riziko útoku redukuje, ale v žádném případě neeliminuje. Další bezpečností komunikace se již dále nebudu zabývat, protože to není cílem této práce.

Vzdálené ovládání bude mít dvě formy. První je webové rozhraní, které umožní kontrolovat a ovládat systém. V něm je možnost přepínat mezi režimem ovládání (automatický, poloautomatický, manuální). Zároveň je uveden i detailnější přehled o jednotlivých místnostech a jejich teplotách, včetně predikovaného času pohybu osob a míry otevření ventilů. Další možností je nastavit časový program a přiřadit ho k místnosti, či větší skupině. Druhou formou je mobilní aplikace pro zařízení s operačním systémem Android. Ta umožní jednoduché nastavení a zobrazení přehledu o celém systému (pohodlně z mobilu, např. při cestě domů). Návrh mobilní aplikace bude podrobněji rozebrán v následující kapitole. Komplikovanější nastavení chování systému se provádějí prostřednictvím konfiguračních souborů, které se nebudou příliš často měnit a slouží pouze k úvodnímu nastavení, dle požadavků zákazníka.



Obrázek 24 - Schéma sítě (vlastní zpracování)

Dostupnost služby vzdáleného připojení je ovlivněna poskytovatelem připojení ISP. Vnější síť funguje na bázi metalického vedení, je tedy relativně spolehlivá. ISP se zavazuje vyřešit všechny výpadky v průběhu 2 dnů. Řešení problémů ovšem přichází zpravidla daleko dříve – ihned následující den (v případě nutnosti zásahu servisní osobou), či v řádu minut až hodin (pokud postačuje řešení prostřednictvím telefonu).

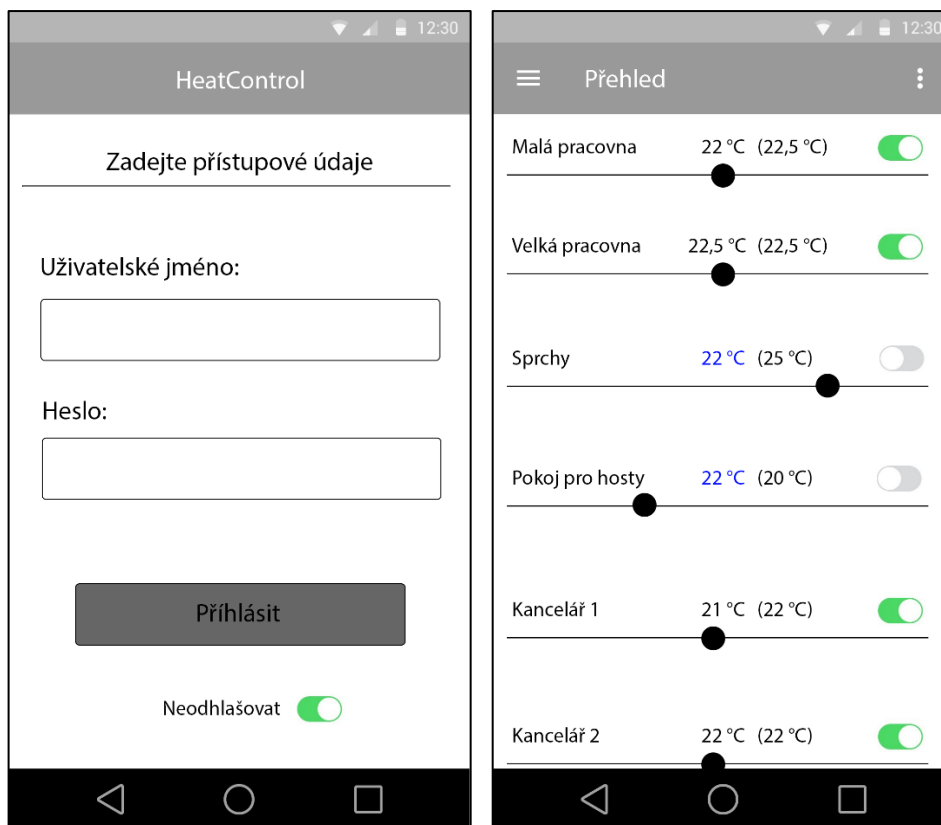
Aktuální spolehlivost vnější sítě je hodnocena jako velmi dobrá, k výpadkům téměř nedochází (zcela velmi výjimečně – do 10 hodin za rok). Samotný server je spolehlivý, data jsou denně zálohována a je opatřen zařízením proti výpadku elektrické energie.

5.9 Podpora mobilní aplikace

Mobilní aplikace bude sloužit pro získání okamžitého přehledu nad stavem celého systému. Jde pouze o jednoduché vyobrazení posbíraných údajů hlavní řídicí jednotkou od ostatních snímačů v systému. Žádná složitější nastavení celého systému tato aplikace nepodporuje. Nyní již k samotnému návrhu aplikace.

Aplikace je navržena pro mobilní zařízení s operačním systémem Android. Zvolil jsem minimální verzi API 15, což odpovídá Androidu ve verzi 4.0.3 s kódovým označením IceCreamSandwich. Volba je z důvodu podpory velké části zařízení, jde konkrétně o podporu 97,4 % všech aktivních zařízení na Google Play Store. Statistická data vychází ze samotného vývojového programu Android studio.

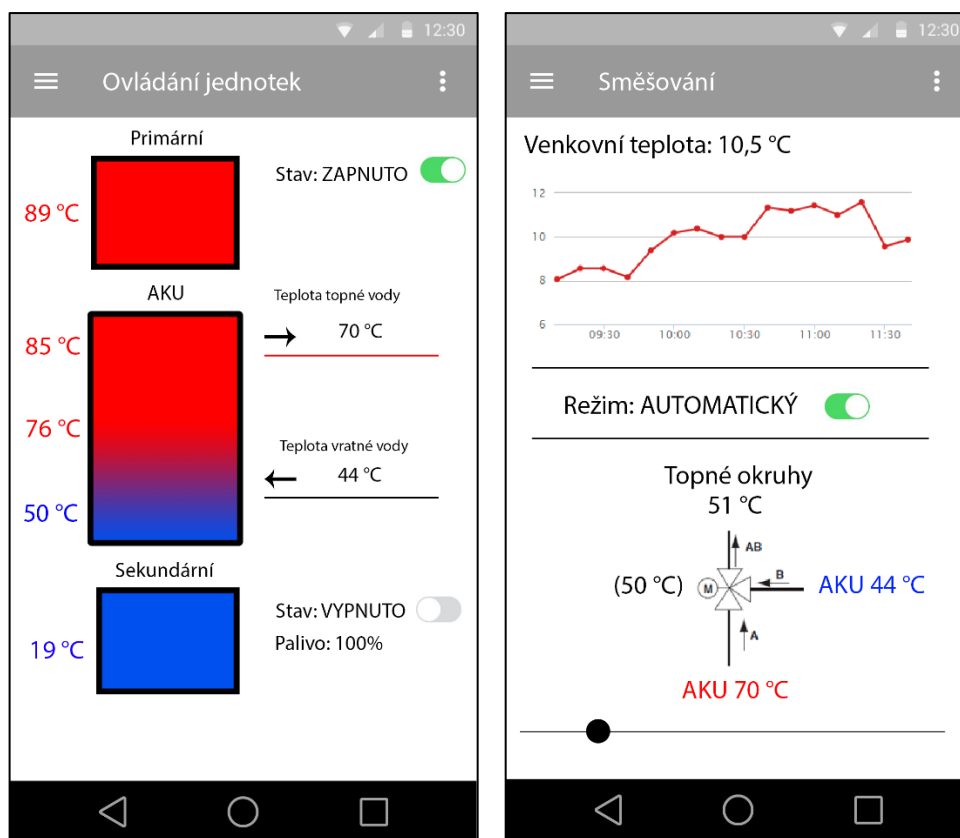
První obrazovka po spuštění je přihlašovací. Komunikace se serverem je vyhrazena prostřednictvím zabezpečeného kanálu. Lze zvolit volbu „neodhlašovat“, aby uživatel nemusel neustále dokola vyplňovat heslo. Přístupové jméno je vždy doplněno na základě předchozího pokusu. V případě nesprávné kombinace je uživatel varován chybovou hláškou.



Obrázek 25 - Mobilní aplikace – přihlašování a přehled (vlastní zpracování)

Druhá obrazovka je přehledová. Ta se objeví po spuštění aplikace (v případě zatržení „neodhlašovat“) nebo po úspěšném přihlášení. Obsahuje výpis vytápěných místností včetně jejich nastavených teplot a aktuálních teplot. Rovněž umožňuje nastavit jinou teplotu a jestli se má v dané místnosti vůbec vytápět. Teplota se pohodlně nastavuje pomocí prvku „slider“ a aktivní vytápění přepínacím tlačítkem.

Třetí obrazovka zobrazuje primární a sekundární jednotky kotlů. Rovněž jsou zde dostupné informace ze snímačů (jen ty kritické, ne všechny) a možnost základní kontroly a ovládání jednotek. Součástí je taktéž zobrazení teplot akumulární nádrže a jejich výstupů. Nejsou zde žádná složitá nastavení, pouze jednoduché rozhraní pro uživatele.



Obrázek 26 - Mobilní aplikace – ovládání jednotek a směšování (vlastní zpracování)

Poslední obrazovkou je nastavení směšování vody (ta která přichází do topných okruhů) v závislosti na venkovní teplotě (o což se stará automatický režim) nebo dle dosavadních zkušeností uživatele – manuálně. Nachází se zde přehled historie teplot v rámci 4 hodin, aktuální venkovní teplota, ovládací přepínač mezi manuálním a automatickým režimem a graficky znázorněný směšovač, který je doplněn o všechny snímané teploty (včetně momentálně nastavené teploty na jednotce servopohonu) a prvek „slider“ pro nastavení teploty jednotky servopohonu.

Kdykoliv je možné (avšak ne nutné) odhlásit současného uživatele prostřednictvím volby „odhlásit“ v rozšířeném menu v pravém horním rohu „tři tečky“. Mezi jednotlivými obrazovkami (vyjma první) lze jednoduše přepínat tažením jednoho prstu z jedné strany obrazovky na druhou. Taktéž je možnost přepínat pomocí výběrového menu, které se nachází v levém horním rohu.

5.10 Celkové náklady a úspora

Celkové náklady vycházejí z počáteční pořizovací ceny, ceny za instalace systému a různé stavební práce. Provozní náklady nejsou do konečné ceny promítnuty, jde o zanedbatelné částky, které souvisí hlavně s cenami energií (server byl provozován i před zavedením systému). Následující kalkulace je uvedena pro zařízení 15 místností.

Tabulka 9 - Pořizovací náklady HW

Součást	Název	Typ	Ks	Cena za ks [Kč]	Celková cena [Kč]	
Jednotka	Arduino	2560	2	229	458	Kotelna
Servomotor	EMAX	3001	1	190	190	
Relé modul	Arduino Relay	2CH	1	69	69	
Teplotní senzor	Dallas	DS18B20	12	19	228	
Arduino modul	Ethernet Shield	W5100	2	219	438	
Pohon ventilu	ESBE	ARA661	1	2864	2864	
Teplotní senzor	Sonda	Typ K	1	99	99	
Převodník	Maxim	6675	1	80	80	
Relé modul	Arduino Relay	4CH	1	109	109	
LCD display	LCD 2004	20x4	2	148	296	
Kabeláž	Kabely+kon.	-		200	200	
Wifi jednotka	ESP8266	03	15	50	750	Pokojeová jednotka
Převodník napětí	AC230/x	230/33	15	78	1170	
Relé modul	SSR Relay	1CH SSR	15	37	555	
Rezistory, tranzis.	4xR, 1xT NPN	-	15	5	75	
Teplotní senzor	Dallas	DS18B20	15	19	285	
Hlavice	Elektrobock	SEH01	15	379	5685	
Kabeláž	Kabely+kon.	-		1800	1800	
Celková cena					15351,-	

Pořizovací náklady za jednotlivé součástky jsou uvedeny v tabulce 9. Ceny vychází z aktuálních ceníků různých společností (květen 2017). Ty zahraniční jsou přepočítány v aktuálním kurzu 1 USD = 24,5 CZK. Celková cena za HW část je stanovena na 15351,- Kč.

Náklady na instalaci – natažení kabeláže 230 V, její umístění (+další elektromontážní práce) a případné stavební práce jsou odhadovány na 24 hodin. Při sazbě 100 Kč/hodinu ve dvou lidech jsou tedy náklady na instalaci 4800,- Kč. Dodatečný materiál, použitý při instalaci je odhadován na 2180,- Kč.

Tabulka 10 - Celkové náklady

	Cena [Kč]
HW náklady	15351
Instalace – práce	4800
Instalace – materiál	2180
Celkové náklady	22331

Celkové náklady pro automatickou regulaci vytápění v 15 místnostech jsou stanoveny na 22331,- Kč.

Vzhledem k současnému stavu regulace (a přehříváním některých místností, včetně neefektivního používání kotlů), lze navrhovaným řešením ušetřit přibližně 9-17 % nákladů vynaložených na palivo. Návratnost této investice je stanovena na 3–5 let.

Současně s úsporou paliva je získán kompletní systém, ke kterému lze přistupovat i vzdáleně. S novým systémem naprosto odpadá nutnost ovládat ventily manuálně.

6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout nový vytápěcí systém. Současně musely být splněny kladené požadavky. Nejdůležitějším požadavkem byly minimální náklady na pořízení a minimální zásah do stávajícího systému. Druhým prioritním požadavkem bylo přinést do nového systému určitou míru automatizace (automatický chod kotlů, ostatních jednotek a omezeně i celého systému) a vzdálený přístup odkudkoliv. Všechny tyto požadavky byly zohledňovány po celou dobu návrhu systému a ve finálním návrhu i splněny.

Zpočátku jsou popsány používané druhy paliv, princip spalování v primárním i sekundárním kotli a možnosti distribuce vzniklé topné energie napříč celý systémem. Analýza situace popisuje celou otopnou soustavu, uvažuje jak vnější vlivy (poloha, slunce, roční průměrné teploty, izolace), tak vnitřní vlivy (detailněji popsaná otopná soustava, čerpadla a okruhy, akumulční nádrž, trojcestné ventily, kotle, půdorys). Analýza ovládání a regulace topného systému se skládá z popisu používaných termohlavic, pravidel spínání čerpadel, používaného paliva a jeho dopadu na výkon kotlů, samotného ovládání kotlů.

Návrhová část navazuje na kladené požadavky a současně s předchozí analýzou situace pokládá návrh nového systému, který funguje automaticky (na základě konfigurace směrem od uživatele). Nejdříve jsou navrženy řídicí jednotky primárního a sekundárního kotle. Ty jsou postaveny na platformě Arduino, která postačuje svým výkonem a dostatkem vstupů/výstupů. Rovněž jde o velmi málo nákladné řešení. Následuje návrh pokojových jednotek, složených ze snímačů teploty a ovládání termoelektrických ventilů na platformě ESP8266 s bezdrátovou konektivitou. Veškeré ovládání probíhá vzdáleně přes server, který je umístěn v domácí síti. Ten je propojen s ostatními jednotkami přes vnitřní síť ethernet. Provádí veškeré rutinní operace, získává data z ostatních jednotek a zasílá jim příkazy. Pro každou pokojovou jednotku může být nastavena individuální teplota. Ať už jde o manuální nastavení uživatelem, automatickou volbou dle ekvitermní křivky nebo hodnotou z časového programu.

Budoucnost je taková, že bude stále více přibývat řešení na principu chytrých domů, která jsou schopna samovolně reagovat na své okolí a předvídat tu nejvhodnější variantu. Chytré řízení topné soustavy bude stěžejní částí a jakýmsi standardem nových domů.

7 Seznam použité literatury

- [1] Zdroje energie. Vlivy získávání a využívání přírodních energetických zdrojů [online]. 2010 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/elportal/estud/pedf/js10/antropog/web/pages/3-1-zdroje-energie.html>
- [2] Spotřeba a výkonnost. Rioni.cz [online]. b.r. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.rioni.cz/spotreba_vykonnost.htm
- [3] NOVÁK, Ing. Výhřevnosti a měrné jednotky palivového dřeva. In: TZB-info [online]. 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/12-vyhrevnosti-a-merne-jednotky-palivoveho-dreva>
- [4] VOBOŘIL, David. Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. In: Oenergetice.cz [online]. 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>
- [5] Technologie bioplynových stanic. Bioplynovestanice.cz [online]. 2008 [cit. 2017-05-11].
- [6] ŠKORPÍK, Jíří. Sluneční záření jako zdroj energie. In: [Zdroje a přeměna energie] [online]. 2006 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/02.html#menu>
- [7] Solární systémy a jejich využití. Pozorování slunce [online]. b.r. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://pozorovanislunce.eu/slunce/energie-ze-slunce/vyuziti-slunecni-energie/solarni-systemy-a-jejich-vyuziti.html>
- [8] Teplárenství - Zdroje. MojeEnergie [online]. c2009-2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.mojeenergie.cz/cz/teplarenstvi-zdroje>
- [9] Koksovatelné uhlí a koksování. OKD.cz [online]. 2012 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/uhli-tradicni-zdroj-energie/koksovatelne-uhli-a-koksovani>

- [10] Výhody proč topit černým uhlím. Černéuhlí.cz [online]. 2013 [cit. 2017-05-11].
Dostupné z: <http://www.cerneuhli.cz/vyhody-proc-topit-cernym-uhlim/>
- [11] BUDÍN, Jan. Těžba a spotřeba hnědého uhlí v České republice. In: Oenergetice.cz [online]. 2015 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/tezba-a-spotreba-uhli-v-ceske-republice/>
- [12] Zemní plyn jeho druhy. Innogy [online]. 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.innogy.cz/o-innogy/zemni-plyn/>
- [13] BUDÍN, Jan. Zemní plyn – těžba, vlastnosti a rozdělení. In: Oenergetice.cz [online]. 2015 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/plynarenstvi/zemni-plyn-tezba-vlastnosti-a-rozdeleni/>
- [14] Plyn. Nazeleno.cz [online]. 2015 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/plyn.dic>
- [15] KOLONIČNÝ, Jan, Jiří HORÁK a Silvie PETRÁNKOVÁ ŠEVČÍKOVÁ. Kotle malých výkonů na pevná paliva. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2542-7.
- [16] LYČKA, Zdeněk. Malé teplovodní kotle na pevná paliva: spalování pevných paliv po roce 2013. 1. vyd. Krnov: LING Vydavatelství, 2012. ISBN 978-80-904914-2-7.
- [17] Zdroje tepla na plyn. TZB-info.cz [online]. 2007 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4048-zdroje-tepla-na-plyn>
- [18] Jak funguje kondenzační kotel?. 2Kenergy [online]. 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://www.2kenenergy.cz/novinky/jak-funguje-kondenzacni-kotel-9.html>
- [19] KOPAČKOVÁ, Dagmar a Jan BLAŽÍČEK. Varianty elektrického vytápění. In: TZB-info.cz [online]. 2014 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb->

info.cz/vytapime-elektřinou/10833-varianty-elektrického-vytapeni-rozdeleni-podle-zdroje-tepla

- [20] Proč je tak výhodné ohřívat vodu fotovoltaicky?. TZB-info.cz [online]. 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/15732-proc-je-tak-vyhodne-ohrivat-vodu-fotovoltaicky>
- [21] Energie prostředí, geotermální energie, tepelná čerpadla. EkoWATT [online]. 2011 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-prostredi-geotermalni-energie-tepelna-cerpadla>
- [22] Jak funguje akumulční nádrž. 2Kenergy [online]. 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://www.2kenergy.cz/novinky/jak-funguje-akumulacni-nadrz-32.html>
- [23] MATZ, Václav. Ekvitermní regulace – princip a využití v systémech regulace vytápění. In: TZB-info.cz [online]. 2010 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>
- [24] MATZ, Václav. Využití termostatických ventilů a termostatických hlavic pro regulaci vytápění. In: TZB-info.cz [online]. 2009 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/5917-vyuziti-termostatickych-ventilu-a-termostatickych-hlavic-pro-regulaci-vytapani>
- [25] VALEŠ, Miroslav. Inteligentní dům. 1. vyd. Brno: ERA, 2006. 21. století. ISBN 80-736-6062-8.
- [26] CHMI - Otopná sezona. CHMI - Otopná sezona [online]. CHMI, 2016 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/otopna-sezona>
- [27] Zplynovací kotle na dřevo ATMOS. Atmos [online]. Bělá pod Bezdězem: Atmos, 2017 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <http://www.atmos.eu/zplynovaci-kotle-na-drevo/>

- [28] RASPBERRY PI 3 MODEL B. *Raspberry* [online]. 2017 [cit. 2017-05-14].
Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- [29] Technical Overview Waspote. *Libelium* [online]. 2017 [cit. 2017-05-14].
Dostupné z: <http://www.libelium.com/products/waspote/hardware/>
- [30] Plug&Sense models. *Libelium* [online]. 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z:
<http://www.libelium.com/products/plug-sense/models/>
- [31] ESP8266. *Nurdspace* [online]. 2015 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z:
<https://nurdspace.nl/ESP8266>
- [32] BANZI, Massimo. *Getting started with Arduino*. 2nd ed. Farnham: O'Reilly, 2011.
ISBN 978-144-9309-879.
- [33] Ubuntu Server Overview. *Ubuntu* [online]. 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z:
<https://www.ubuntu.com/server>