



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

**SYSTÉM PRO AUTOMATICKOU REGULACI VYTÁPĚNÍ
V REKREAČNÍCH OBJEKTECH**

SYSTEM FOR AUTOMATIC HEATING CONTROL IN HOLIDAY HOMES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ JEŽEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HYNEK, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce



153878

Ústav: Ústav informačních systémů (UIFS)
Student: **Ježek Lukáš**
Program: Informační technologie
Název: **Systém pro automatickou regulaci vytápění v rekreačních objektech**
Kategorie: Informační systémy
Akademický rok: 2023/24

Zadání:

1. Prostudujte oblast internetu věcí (*Internet of Things*, IoT), možných architektur pro domácí využití IoT (například řízení promocí Raspberry Pi nebo ESP32).
2. Seznamte se s problematikou automatické regulace vytápění a ohřevu vody v topném systému s více zdroji tepla (popis problému, motivace, existující řešení apod.).
3. Analyzujte problém automatické regulace vytápění v rekreačních objektech (požadavky, ovládání, přínosy, cena). Definujte požadavky na systém pro tyto účely.
4. Dle výsledků analýzy navrhnete architekturu systému pro automatickou regulaci vytápění a ohřevu vody v topném systému s více zdroji tepla (výběr zařízení, schéma zapojení, architektura systému pro zpracování dat, databáze, uživatelské rozhraní).
5. Navržený systém implementujte.
6. Výsledné řešení otestujte na zvoleném objektu. Navrhnete vhodná rozšíření.

Literatura:

- Greengard, S. (2015). *The Internet of Things*. MIT Press.
- Özgür, L., Akram, V. K., Challenger, M., & Dağdeviren, O. (2018, May). An IoT based smart thermostat. In *2018 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE)* (pp. 252-256). IEEE.
- Sikula J. (2023). Systém pro chytrou regulaci ústředního topení. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:
Body 1 - 4.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Hynek Jiří, Ing., Ph.D.**
Vedoucí ústavu: Kolář Dušan, doc. Dr. Ing.
Datum zadání: 1.11.2023
Termín pro odevzdání: 16.5.2024
Datum schválení: 30.10.2023

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a implementovat systém pro ovládání vytápění a ohřevu vody v objektech rozdělených do více zón s více zdroji vytápění. Typicky větší a starší rekreační objekty, jako jsou statky či větší chalupy, které nemají pouze jeden zdroj tepla, systém bude ale použitelný i do novějších objektů. Tento systém může být ovládaný jak dálkově, tak i lokálně. Jako platforma z odvětví IoT byla zvolena RaspberryPi 4B. Tento systém řeší například zapojení krbové vložky do topného okruhu společně s kotlem, kombinovaným bojlerem, či jiným zdrojem tepla. Z existujících řešení žádné nedovoluje efektivně využívat více zdrojů s rozdělením do zón, případně je řešení drahé a neefektivní. Systém navíc nabízí rozšiřitelnost do dalších okruhů IoT.

Abstract

The goal of this bachelor thesis was to design and implement a system for controlling heating and water heating in buildings divided into multiple zones with multiple heating sources. Typically larger and older holiday homes such as farmhouses or larger cottages that do not have only one heat source, however, the system will also be applicable to newer buildings. This system can be controlled either remotely or locally. RaspberryPi 4B was chosen as the platform from the IoT sector. This system solves, for example, the integration of a fireplace insert into a heating circuit together with a boiler, combi boiler or other heat source. Of the existing solutions, none allow efficient use of multiple sources with zoning, or the solution is expensive and inefficient. Moreover, the system offers extensibility to other IoT circuits.

Klíčová slova

Automatická regulace vytápění, Regulace vytápění, Vytápění, IoT, Internet věcí, RaspberryPi, ESP32, Smart Home, Chytré vytápění, Smart termostat, Krbová vložka, Kotel

Keywords

Automatic heating control, Heating control, Heating, IoT, Internet of Things, RaspberryPi, ESP32, Smart Home, Smart heating, Smart thermostat, Fireplace insert, Boiler

Citace

JEŽEK, Lukáš. *Systém pro automatickou regulaci vytápění v rekreačních objektech*. Brno, 2024. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Jiří Hynek, Ph.D.

Systém pro automatickou regulaci vytápění v rekreačních objektech

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Jiřího Hynka, Ph.D., uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....

Lukáš Ježek
12. května 2024

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Jiřímu Hynkovi, Ph.D. za poskytnutou pomoc, ochotu, cenné rady a konzultace při tvorbě této práce.

Obsah

1	Úvod	3
2	Architektury aplikací pro domácí využití IoT	5
2.1	Chytrá domácnost pomocí IoT	5
2.2	Základní architektura IoT	6
2.3	Senzory a zařízení	7
2.4	IoT kontrolery	9
2.5	Komunikační technologie a protokoly	11
3	Vytápění a ohřev vody s více zdroji tepla	15
3.1	Způsoby vytápění prostoru	15
3.2	Zdroje tepla	16
3.3	Způsoby ohřevu teplé užitkové vody	18
3.4	Možnosti ovládání topných systémů	19
4	Analýza systému pro automatickou regulaci	23
4.1	Dotazníkové šetření	23
4.2	Uživatelské požadavky	24
4.3	Dostupná řešení	27
4.4	Shrnutí analýzy	28
5	Návrh systému	29
5.1	Ustanovení pojmů	30
5.2	Architektura systému	31
5.3	Konceptuální model	32
5.4	Algoritmus pro vytápění a ohřev TUV	32
5.5	Elektrické zapojení	33
5.6	Uživatelské rozhraní	34
6	Implementace systému	38
6.1	Technologie a architektura	38
6.2	Doplnění pojmů	40
6.3	Serverová a hardwarová část	40
6.4	Uživatelská část a funkce systému	49
6.5	Instalace a nasazení	55
7	Testování a návrh rozšíření systému	60
7.1	Testování a integrace řešení	60

7.2 Navržená rozšíření	61
8 Závěr	63
Literatura	65
A Doplnující obrázky elektrického rozvaděče	70
B Snímky formulářů	73

Kapitola 1

Úvod

Lidé se od nepaměti v zimě zahřívají rozděláváním ohňů. Ty byly původně v primitivních ohništích, které poté nahradily různé krby, kamna a pece. S technologickým pokrokem se začalo využívat stále rozmanitějších zdrojů získávání a distribuce tepla. Nemusíme například mít pec v každé místnosti, ale teplo distribuujeme pomocí radiátorů, podlahových topení, ventilací apod. Také zdroje tepla se značně rozvinuly, počínaje krbovými vložkami s efektivním spalováním, které stále využívají tepla ze spalování dřeva, uhlí, nebo různých štěpek, tak přes plynové kotle až po tepelná čerpadla.

Zatímco obsluha pece v každé místnosti je vcelku jednoduchá záležitost, tak pro dnešní stále složitější systémy HVAC (z angl. *heating, ventilation, air-conditioning*, tedy systémy řídicí vytápění, ventilaci a klimatizaci) je potřeba vyvinout potřebný hardware i software, který tyto systémy bude obsluhovat. Dnes na trhu můžeme nalézt velkou škálu různých typů termostatů, jednoduché ovládané kolečkem na teplotu, nebo můžeme zvolit chytré termostaty, které nám dokáží vytopit konkrétní místnost na nastavenou teplotu v závislosti na denní době a umožňují napojení na další prvky chytré domácnosti. Problém ale nastává, pokud se ve vytápěném objektu nachází více zdrojů tepla, jako například plynový kotel a krbová vložka.

V této práci se zaměřuji na rekreační objekty, které často obsahují více zdrojů tepla, a jejich uživatelé je využívají celé, či část objektu i pro krátkodobý pronájem typu Airbnb. V závislosti na této skutečnosti se používá pro část domu pouze jeden ze zdrojů tepla. Často však je systém ovládaný manuálně, jelikož je na trhu pouze zlomek takto specifických řešení, či přímo neexistují, případně jsou drahé a uživatelům tak klesá návratnost celého řešení.

Tepelnými zdroji, kterými se zabývám je kombinace krbové vložky na palivové dřevo, plynový kotel ohřívající topení i TUV (teplou užitkovou vodu) a kombinovaného bojleru, který dokáže ohřát vodu elektrickou spirálou, či z topného okruhu. Na první pohled jednoduchá záležitost v sobě skrývá řadu netypických problémů, na které jsem nenašel efektivní komerční řešení, které by pokrylo všechny požadavky. To mě motivovalo k vývoji nového zařízení, které by tyto požadavky splnilo a zároveň bylo rozšiřitelné i na další tepelné zdroje a kombinace vytápění, o které by se v budoucnu systém mohl rozrůst. Zároveň, aby bylo uživateli poskytnuto rozumné a jednoduše ovladatelné rozhraní pro ovládání a nebyla nutná technická znalost celého řešení a nutnost úprav přímo v kódu. Cílem této práce je tedy vytvořit aplikaci založenou na principech chytrého termostatu¹, který je schopen ovládat systém vytápění domácnosti. Konkrétně vytápění rekreačního objektu rozděleného na dvě

¹Sekce: Chytrý termostat – co umí? <https://stavimbydlim.cz/chytre-termostaty-setrete-na-vytapeni-domu/>

zóny, z nichž jedna se využívá pro krátkodobý pronájem. Zdroje tepla jsou zmíněny výše. Výstupem práce je plně funkční aplikace termostatu s elektrickým rozvaděčem pro ovládání celého topného systému. Výsledkem je efektivní využití všech možností ohřevu a výsledné úspory energie.

Práce je rozdělena do několika kapitol. V kapitole 2 se zabývám komplexním pohledem na možné domácí využití IoT technologií. Dále pokračuji kapitolou 3, která popisuje problematiku automatické regulace vytápění a ohřevu TUV v topných systémech s více zdroji tepla. Po prozkoumání předchozích dvou kapitol se dostávám k analýze problému, v kapitole 4, automatické regulace vytápění v rekreačních objektech, jaké jsou požadavky na systém, ovládání, výsledné přínosy a pořizovací cena. Dle výsledků předchozích průzkumů se v kapitole 4 věnuji návrhu architektury celého systému včetně elektrického rozvaděče, hardwarového i softwarového řešení a implementaci. Na konec se v 7. kapitole dostaneme k nasazení a testování celého systému.

Kapitola 2

Architektury aplikací pro domácí využití IoT

Ve své práci se často opírám o myšlenky a technologie Internetu věcí (anglicky Internet of Things, zkratka IoT). Jak uvádí zdroj [25], „*IoT popisuje fyzické objekty, nebo skupinu takových objektů, se senzory, softwarem, schopností zpracování dat a připojením na internet. Tyto předměty sbírají, zpracovávají, odesílají data a komunikují mezi sebou, jinými systémy a v nějaké komunikační síti.*“ IoT je jedním z nejzásadnějších technologických trendů posledních let, přináší revoluční změny ve způsobu, jakým vnímáme a využíváme informace z okolního světa. IoT otevírá nové možnosti propojení fyzického světa s digitálním prostředím, což má důležité důsledky nejen v průmyslu, ale i v domácím využití a světě kolem nás jako celku. Podle dostupných dat ze zdroje [46] se počet IoT připojených zařízení celosvětově v roce 2025 dostane až na číslo 19,08 miliard, s předpokladem až 29,42 miliard v roce 2030. Dle dat lze tedy očekávat další rozšiřování těchto zařízení. Ačkoliv existuje velká škála typů zařízení a senzorů, ve své práci se zabývám primárně zařízeními Raspberry Pi [51] a ESP [50]. Pro účely vytvoření chytrého termostatu budou z hlediska senzorů hlavními senzory teplotní (DS18B20), vlhkostní a kombinovaná čidla (například DHT11/DHT22). V následujícím textu přiblížím využití IoT v domácnostech. Jaké parametry IoT jsou klíčové pro tuto práci a následnou volbou vhodných zařízení na základě analýzy problematiky.

2.1 Chytrá domácnost pomocí IoT

Zdroj [29] definuje chytrou domácnost jako „*obydlí vybavené chytrými technologiemi, jejichž cílem je poskytovat uživatelům služby na míru. Chytré technologie umožňují monitorování, kontrolu a podporu obyvatel, což může zvýšit kvalitu života a podpořit vlastní nezávislost.*“ Chytrá domácnost tedy umožňuje jejím uživatelům vybavit své obydlí „chytrými“ zařízeními, tedy zařízeními ze světa IoT. Může se jednat o různá teplotní čidla, chytrá svítidla, senzory otevření dveří a oken, chytré zásuvky a mnoho dalších. Mimo jiné, lze také nalézt chytré termostaty a chytré termohlavice na radiátory, a udělat tak ze svého klasického vytápění, vytápění chytré. Na trhu je dostupný široký výběr těchto zařízení a lze je zakoupit i v nespecializovaných prodejnách, jako jsou například supermarkety¹. Dle informací z příručky popisující, jak na chytrou domácnost [26], je instalace těchto zařízení zpravidla vcelku jednoduchá a intuitivní. I průměrný spotřebitel si tak může přetvořit svoji domácnost na chytrou. Většina těchto prvků je však nefunkčních bez centrálního ovládání, takzvané brány

¹Příkladem nabídka řetězce Lidl: <https://www.lidl.cz/c/smart-home/s10008418>

(angl. *gateway*) skrze které lze ovládat všechna připojená zařízení, a nastavovat jejich automatizace jako například: „*Když teplota na čidle 1 klesne pod X stupňů, vypni vytápění do zóny 1.*“ Brána je také většinou připojena do internetu, a lze tak odkudkoliv monitorovat, či měnit stav zařízení a celé domácnosti. Existují však situace, kdy tato zařízení nesplňují všechny požadavky, či jejich pořizovací cena je příliš vysoká.

2.2 Základní architektura IoT

Architektura IoT se skládá z několika vrstev, které umožňují propojení fyzického světa s digitálním prostředím. V závislosti na konkrétní aplikaci IoT může být architektura navržena a implementována různými způsoby. Zde je poskytnut generalizovaný výčet těchto vrstev a jejich stručný popis pro lepší představu o IoT architektuře. Následující informace jsou převzaty ze zdroje [18].

Snímací vrstva

Tato vrstva je první vrstvou v architektuře IoT a je zodpovědná za sběr dat z různých zdrojů. Tato vrstva zahrnuje senzory a aktuátory, které jsou umístěny v prostředí a slouží k získávání informací o teplotě, vlhkosti, světle, zvuku a dalších fyzikálních parametrech. Tato vrstva bude v návrhu nejvíce využívána, jelikož poskytuje hlavní zdroj dat – měření teplot a vlhkosti – pro automatický systém. Tyto zařízení jsou připojena k síťové vrstvě pomocí drátových nebo bezdrátových komunikačních protokolů.

Síťová vrstva

Tato vrstva je zodpovědná za poskytování komunikace a konektivity mezi zařízeními v IoT systému. Zahrnuje protokoly a technologie, které umožňují zařízením propojit se a komunikovat mezi sebou a s širším internetem. Příklady síťových technologií, které jsou běžně používány v IoT, zahrnují WiFi, Bluetooth, Zigbee a mobilní sítě jako 4G a 5G. U větších zařízení se lze setkat s ethernetovým portem RJ45, jako například u Raspberry Pi. Dále tato vrstva může obsahovat další síťové prvky jako například routery, brány figurující jako zprostředkovatelské prvky mezi zařízeními a širším internetem, mohou tak obsahovat šifrování a autentizaci pro zabránění neautorizovanému přístupu. Je to nezbytná vrstva pro přenos dat ze senzorů.

Vrstva pro zpracování dat

Sběrem, analýzou a interpretací dat z IoT zařízení se zabývá vrstva pro zpracování dat. Přijímá surová data ze zařízení, zpracovává je a dále je poskytuje pro další analýzu nebo akci. Zahrnuje také různé technologie a nástroje, jako jsou systémy pro správu dat, analytické platformy a algoritmy strojového učení.

Aplikační vrstva

Pro přímou interakci s koncovým uživatelem slouží vrstva aplikační. Je zodpovědná za poskytování uživatelsky přívětivých rozhraní a funkcionalit, které umožňují uživatelům přistupovat k IoT zařízením a ovládat je. Typicky aplikace v telefonu, případně dostupná na webovém rozhraní.

2.3 Senzory a zařízení

Jak bylo popsáno výše snímací vrstvu 2.2 tvoří senzory a aktuátory. Krátké představení senzoru, dle zdroje [34] je senzor „*přístroj, který je v systému inteligentní instalace zdrojem informací. Jeho úkolem je zjišťovat přítomnost fyzikálních, většinou neelektrických veličin a umožnit další zpracování získaných údajů*“. Takovou neelektrickou veličinou je například teplota či vlhkost, kterou je potřeba změřit a převést pomocí senzoru na elektrickou hodnotu, kterou poté dokážeme interpretovat a vyhodnotit v programu. Hlavními parametry teplotních a vlhkostních senzorů jsou přesnost a rozsah měření.

Dalším zařízením potřebným v tomto systému je relé. Dle článku [17] se jedná o „*součástky určené pro spínání větší zátěže*“. Hlavními parametry u relé jsou spínací napětí, napětí které je možné sepnout a maximální proud procházející relé.

Dalším faktorem u obou typů je konektivita. Každé z těchto zařízení je možné použít v kombinaci s ESP či jiným mikrokontrolerem a rozšířit tak původní konektivitu. Lze je však připojit i na přímo k hlavnímu kontroleru. Zde je důležité zvolit vhodný postup, který se však může lišit dle typu instalace. U starších objektů, jako jsou chaty, většinou nejsou k dispozici nové rozvody internetových, či telefonních kabelů a nelze je tak využít pro připojení zařízení na přímo. V takovéto situaci je vhodnější připojit senzor k dalšímu mikrokontroleru, jako je zmíněné ESP, které bude data zprostředkovávat pomocí Wi-Fi, či jiné bezdrátové technologie, hlavnímu kontroleru. Pokud však objekt disponuje funkčními internetovými či telefonními rozvody, lze je využít a připojit čidlo ke hlavnímu kontroleru napřímo, což snižuje celkovou režii systému a napomáhá to jednoduchosti celého řešení. I v tomto případě je nutné zvolit vhodné čidlo dle instalace.

DS18B20

DS18B20, na obrázku 2.1a, je digitální teplotní senzor vyráběný společností Maxim Integrated, nabízí vysokou přesnost a jednoduché rozhraní, což ho činí populární volbou pro řadu aplikací. Velkou výhodou tohoto čidla je jeho 1-Wire rozhraní, což znamená, že čidlo lze ke kontroleru připojit pouze pomocí jednoho datového vodiče. Lze využít tzv. parazitního napájení, díky kterému odpadá nutnost externího napájení. Navíc je možné senzory díky jejich adresování řadit za sebe, či pomocí jediného GPIO pinu dále kabely větvit, to umožňuje jednodušší instalaci a nízkou režii. Tento senzor je schopen měřit teplotu v rozsahu od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$ s přesností na tři desetiny stupně Celsia [3]. Díky těmto vlastnostem je toto čidlo často využíváno v IoT projektech.

DHT11/DHT22

Jako alternativu k čidlu DS18B20 lze zvolit moduly DHT11/22, na obrázku 2.1b. Oba senzory jsou taktéž velice oblíbené u IoT projektů. Díky jednoduchému tří pinovému připojení lze senzory jednoduše propojit např. se zmíněnými kontrolery ESP či Raspberry Pi. Tyto moduly nabízejí navíc i měření vlhkosti vzduchu, což může být užitečné například pro udržování nízké vlhkosti v objektu. Nevýhodou může být nemožnost použít 1-Wire protokol, tedy jeden drát a jelikož tyto senzory nepoužívají adresování, nelze využít stejných vodičů pro více senzorů. Řešením může být vytvoření modulu například pomocí ESP a připojení k řídicí jednotce pomocí WiFi, Bluetooth, či jiné technologie.

O DHT11 lze obecně říci, že se jedná o slabší ze dvou modelů, má menší teplotní i vlhkostní rozsah a také přesnost [31]. Na druhé straně, DHT22 nabízí vyšší přesnost s teplotním rozsahem od -40 až $+125$ stupňů s přesností $\pm 0,5$ stupně, a rozsah vlhkosti od

0% do 100% s max. 5% [4]. Dalším porovnáním i z hlediska programování se zabývá článek [24]. Cena DHT11 je v průměru o 20 Kč nižší², než u DHT22. Není zde tedy velký důvod investovat do slabší verze tohoto čidla.

Ovládací prvky IoT

Dle knihy [26], aby celý systém IoT měl i různé výstupy na základě scénářů a dat ze senzorů, je potřeba mít v systému i prvky aktivní (ovládací), které budou měnit stav věcí. Takovýmto prvkem jsou například ovládací relé, pomocí kterých lze například ovládat osvětlení, rolety, či v tomto případě topení, pumpy a mnoho dalšího. Jedná se o univerzální prvky systému, jejichž významem je měnit stav věci/systému.

Relé moduly

V článku [17] jsou uvedeny příklady často používaných relé modulů. Tyto moduly jsou tvořeny jedním či více relé³. Jedná se nejčastěji o elektromagnetické relé umístěné na plošném spoji. Dále dle autora článku má standardní 5V relé modul 3 spínací kontakty – GND (uzemnění, či záporný pól napájení), VCC (vstupní napětí) a IN (kontakt pro sepnutí/rozepnutí) a 3 výstupní kontakty, COM – vstup, NC – normálně zavřeno (kontakt COM sepnut při vypnutém relé) a NO – normálně otevřeno (kontakt s COM sepnut při vypnutém relé). Tyto moduly lze nalézt na eshopech zabývajících se IoT tematikou či elektronikou⁴. U relé modulů je třeba sledovat maximální možné napětí a proud procházející relé aby nedošlo k jeho zničení. Příklad lze vidět na obrázku 2.1c.

Komerční moduly čidel a relé

Další kategorií senzorů jsou moduly komerční, již namontovaná čidla či relé ve svém modulu, který lze připojit k IoT bráně, nebo do existující smart home aplikace, jako je například Google Home nebo Netatmo, více k sekci 4.3. U produktů od firmy Netatmo se jedná o jednoduchý systém typu PLUG & PLAY⁵, což dle zdroje [16] navíc eliminuje chyby způsobené ruční konfigurací zařízení. Tyto moduly lze zakoupit i samostatně či v sadě s bránou. V manuálu [48] pro čidlo tohoto typu je uveden postup párování čidla s aplikací v telefonu, který se skládá z jednoduchých postupů a pár kroků, které zvládne i nezkušený uživatel. Na českém trhu tyto čidla lze zakoupit kolem 400 Kč⁶.

Od jednoduchosti se nevzdaluje ani komerční relé modul, jehož manuál k instalaci [44] je taktéž intuitivní. Dle manuálu lze také u některých modulů nastavit chování přepínání. Moduly poskytují různé rozsahy spínaných napětí a proudů. Další výhodou u komerčních relé modulů může být i malá velikost, díky které lze většinu těchto modulů instalovat do elektroinstalační krabice pod zásuvkou či vypínačem. Stejně jak čidlo i u relé je pořizovací cena násobně vyšší oproti jednoduchému relé modulu⁷.

Nevýhodou těchto komerčních modulů je nemožnost modifikací interního software, či možnosti napojení na vlastní řešení a napojení do systému. Tyto moduly mají často uzamčený

²ceny v říjnu 2023

³lze nalézt moduly od 1 relé, až pro 16 a více <https://www.laskakit.cz/rele-a-mosfet/>

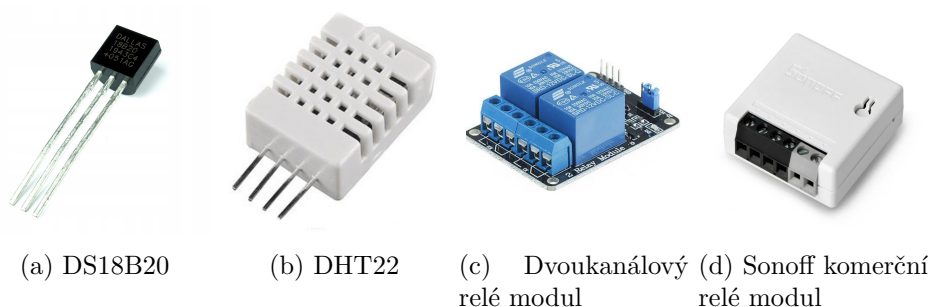
⁴<https://dratek.cz/12577-rele-moduly-elektromagneticke/>

⁵v překladu „připoj a hraj“ značící jednoduchost zapojení

⁶cena říjen 2023

⁷příklad smart relé modulu <https://sonoff.tech/product-document/diy-smart-switches-doc/minir4m-doc/>

software a bylo by zapotřebí vyvinout vlastní firmware pro tato čidla, což může být kontraproduktivní oproti možnosti vytvořit si čidlo vlastní.



Obrázek 2.1: Jednotlivá zařízení

2.4 IoT kontrolery

Jednotlivé IoT kontrolery se od sebe mohou velice lišit a to v celé řadě parametrů i určení, jakými jsou například výkon, velikost a spotřeba. V průběhu let se jednotlivé kontrolery značně vyvinuly ve všech aspektech. V článku [11] se autor věnuje historii kontroleru Raspberry Pi, použitého v mé práci, který zastává roli mikropočítače, o velikosti zhruba platební karty. Článek zmiňuje, že první verze kontroleru, které byly vydány v roce 2012. Byly vyvinuty za účelem podpořit výuku informatiky na školách. Obsahovaly 26 GPIO (anglicky „*general-purpose input/output*“, česky *univerzální vstupní/výstupní pin*“), kromě těchto pinů také rozhraní USB, či HDMI. Hlavní výhodou byla, a stále je, nízká cena a flexibilita využití. Další verze obsahují již 40 GPIO pinů a zaměřují na zvětšení výkonu kontroleru spočívající v navyšování taktu procesoru a operační paměti při zachování velikosti, zvýšení konektivity – nové standardy, přidání konektoru pro připojení k internetu. Na trh také vstoupily slabší, ale menší verze kontroleru (modely Zero či Pico). Verze RaspberryPi 4B, kterou zde využívám dosahuje dostatečného výkonu pro kancelářskou práci, přehrávání 4K videa, či provozování webového serveru, což z něj činí dobrou volbu pro tuto práci.

Pro každou situaci a řešení je vhodný jiný IoT kontroler. Roli zde hrají požadavky na výkon zařízení, jeho velikost, konektivita, případně možnosti napájení. Pro hlavní ovládací prvek v mém systému jsou sledovanými parametry převážně výkon zařízení dostatečně vysoký, aby dokázal provozovat webový server pro správu systému a konektivita pro připojení k internetu a dalším ovládacím prvkům. Zde jsem pro hlavní ovládání zvolil kontroler Raspberry Pi 4B, popsáný v sekci 2.4.1.

Naopak pro druhý kontroler, který bude sloužit pro přenos dat na snímací vrstvě byly parametry dané – velikostí zařízení, jeho spotřebou, možnostmi napájení a konektivitou. Výkon zde nehraje příliš velkou roli, jelikož kontroler slouží pouze pro přenos dat a není zde potřeba větších výpočtů, proto jsem zvolil kontroler ESP32/8266-01, podrobněji popsáný v sekci 2.4.2.

2.4.1 Rapsberry Pi 4B

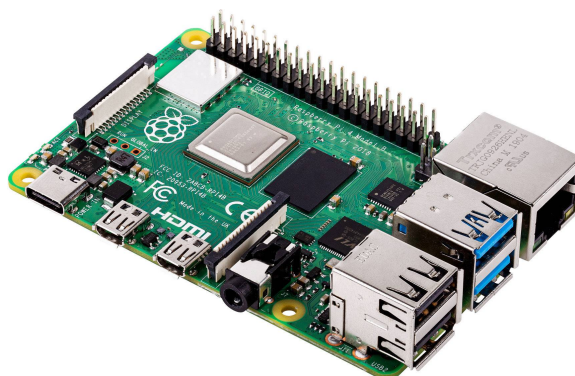
Verze 4B mikropočítače Raspberry Pi je jedna z nejnovějších verzí momentálně dostupnou na trhu (2024). Díky dostatečnému výkonu je ideální pro implementaci domácí automa-

tizace, monitorovacích systémů a dalších aplikacích, které vyžadují ovládání a sběr dat z různých senzorů. Jako i v tomto případě hlavního ovládacího prvku chytrého termostatu.

Raspberry Pi 4 je vybaven čtyřjádrovým procesorem s taktem až 1,5 GHz a je dostupný ve variantách s 2 GB, 4 GB nebo 8GB operační paměti RAM⁸. Tato aktualizace výpočetního výkonu oproti svým předchůdcům poskytuje dostatečný výkon pro náročnější aplikace, jako například webové služby, provozování serveru a další.

Pro propojení s periferiemi a dalšími zařízeními obsahuje Raspberry Pi 4 několik USB portů, včetně USB 3.0 portu pro rychlé přenosy dat. HDMI umožňuje připojení k monitoru nebo televizi, Kromě toho má tato verze Raspberry Pi také ethernetový gigabitový port pro připojení k internetu, a integrovanou kartu Wi-Fi 2,4GHz i 5GHz a Bluetooth 5.0 (BLE) [37]. Z hlediska konektivity IoT poskytuje také standardní GPIO header se 40 piny. Díky tomu lze připojit dostatečný počet zařízení přímo na GPIO kontroler. Pro napájení tohoto modelu je potřeba 5V s minimálním proudem 3A, Raspberry Pi lze napájet pomocí USB-C konektoru, nebo napřímo pomocí GPIO pinů. Lze také zakoupit PoE+ HAT, díky tomuto modulu lze zařízení napájet i pomocí PoE (Power over ethernet – napájení po síťovém kabelu), který splňuje všechny požadavky normy IEEE 802.3af (802.3at typ 1)⁹.

Vývojové prostředí je zde široce modulární, Raspberry umožňuje instalaci Linuxového (Debian based) operačního systému, Raspberry Pi OS [36], díky tomu lze na tomto kontroleru vyvíjet v podstatě jakoukoliv aplikaci. Ovládání a instalace dodatečného software funguje na stejném principu jako všechny linuxové distribuce. Jedná se tak o velice silný, jednoduchý a efektivní nástroj pro IoT řešení.



Obrázek 2.2: Kontroler Raspberry Pi verze 4B

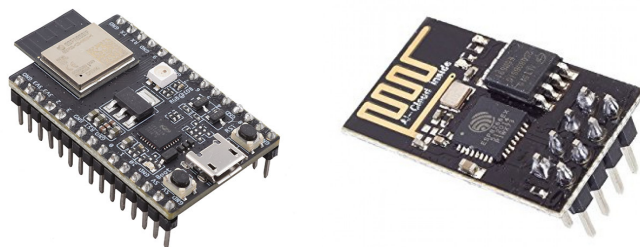
2.4.2 ESP32/8266-01

ESP spadá pod vývojovou společnost Espressif systems, která tvoří hardwarové a softwarové požadavky pro IoT zařízení. Specializuje se na vývoj a výrobu bezdrátových mikrokontrolérů a modulů. První ESP8266 bylo představeno na trh v roce 2014, jako platforma pro vývoj IoT prvků. Mezi vyráběné mikrokontroléry patří i ESP32, na obrázku 2.3a. Dle zdroje [5] je ESP32 nástupcem ESP8266, vytvořeného jako levná a výkonná platforma pro IoT. Předností je velikost a nízká spotřeba.

⁸Dle aktuálních informací (říjen 2023) na: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>

⁹Lze použít například tuto přídatnou desku: <https://rpishop.cz/poe-karty/3633-raspberry-pi-poe-hat.html>

Jedná se o výkonný mikrokontrolér s integrovanou Wi-Fi a Bluetooth (BLE) konektivitou na sdílené anténě. ESP32 je vybaven 32-bitovým LX6 mikroprocesorem. Napájení je poskytováno napětím 3.3V, případně 5V v závislosti na modelu. ESP32 také obsahuje ultra-nízkopříkonový (ULP) ko-procesor a různé režimy napájení, což umožňuje dosáhnout ultra-nízké spotřeby energie díky tzv. light-sleep a deep-sleep. V těchto úsporných módech jsou vypnuty bezdrátové periferie, tak aby se snížila spotřeba na minimum. Mikrokontrolér podporuje standardní sběrnice jako 1-Wire – využitelná pro čidlo DS18B20, nebo I²C je tedy možné k zařízení připojit senzory či jiná IoT zařízení. Díky své velikosti, nízkému vstupnímu napájení, a možnostem úsporných režimů, lze toto zařízení napájet i z baterií, díky čemuž je tento kontroler vhodný pro vytvoření bezdrátového čidla. Na obrázku 2.3b je vidět jeho menší verze ESP8266-01 s menším počtem GPIO, slabším výkonem i pamětí, avšak stále dostačující pro využití u sběru dat teplot. Pro naprogramování ESP lze použít řadu jazyků, mezi nejpoužívanější z nich patří C, C++, či Arduino.



(a) ESP32

(b) ESP01

Obrázek 2.3: Kontrolery ESP

2.5 Komunikační technologie a protokoly

Jak uvádí zdroj [42], s narůstajícím počtem IoT a tím i počet přenesených dat i dalších zařízení je třeba řešit efektivitu přenosu těchto dat. Z tohoto důvodu vznikly nové technologie a protokoly pro přenos informací mezi jednotlivými zařízeními. Různí výrobci používají i různé protokoly a dochází tak k fragmentaci namísto standardizace. Propojení jednotlivých IoT prvků v rámci sítě je páteří celého systému, a tak se vyplatí se věnovat možnostem využití technologií a protokolů nejvýhodnějších pro aplikaci v odvětví vytápění. Je třeba řešit spolehlivost protokolu, dosah konektivity jednotlivých technologií i náročnost na implementaci. Data je poté nutné analyzovat a poskytovat zpětnou vazbu případně je dále zpracovávat. Každý způsob přenosu informací má svá specifika, výhody a nevýhody. V této části se zabývám pouze některými z možností vhodných pro aplikaci v rekreačních objektech.

2.5.1 Způsoby připojení

Jedním ze způsobů je připojení na pevný drát, který je jeden z nejjednodušších a nejspolehlivějších způsobů přenosu dat. Nedochozí zde k rušení bezdrátových signálů jinými zařízeními, či omezení nebo výpadku signálu jako takového, signál můžou rušit různé elektromagnetické

zdroje [16], ale i široké zdi. Lze tak přenášet data spolehlivě na velké vzdálenosti. Nevýhodou může být snížená dostupnost kabeláže, například ve starších domech bez nových internetových rozvodů, které by se daly pro tyto účely využít. Výhodou je však zmíněná spolehlivost a jednoduchost připojení. Stačí například pomocí pájky připájet senzor či čidlo ke kabeláži, případně využít konektor dle typu kabeláže, pro internetové rozvody například RJ-45. Dalším plusem je dostupnost napájení – lze jednoduše zařízení napájet přímo po kabelu bez nutnosti dalšího zdroje napájení.

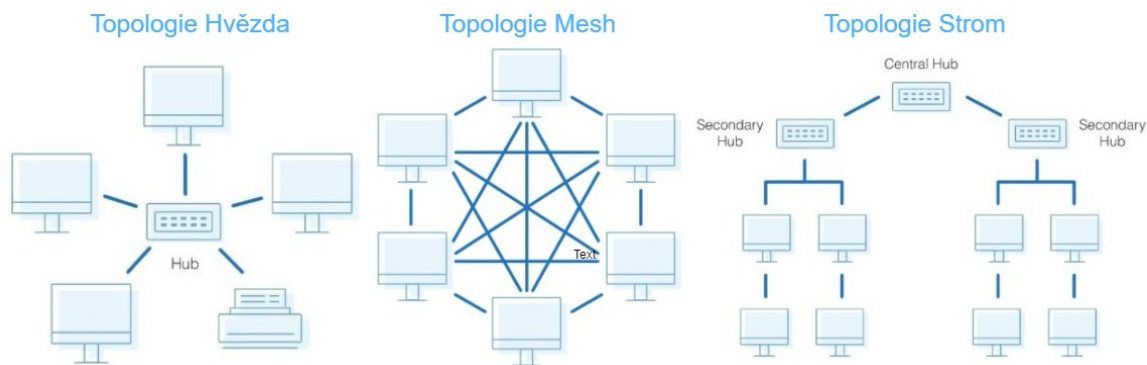
Další široce známou možností komunikace je použití Wi-Fi, které je založeno na standardu IEEE 802.11. Téměř každá domácnost či rekreační objekt dnes disponuje Wi-Fi sítí pro distribuci internetového připojení. Tento způsob se na první pohled zdá být optimálním pro připojení IoT zařízení. Avšak jeho vysoká energetická náročnost představuje pro svět IoT velkou překážku. Tato energetická náročnost je způsobena vyšším vyzařovacím výkonem Wi-Fi sítí, které pracují na frekvencích 2.4 GHz nebo 5 GHz [15]. Nevýhoda spočívající v energetické náročnosti Wi-Fi je zřejmá. Vzhledem k tomu, že většina IoT zařízení je napájena bateriemi, tento způsob komunikace není mezi uživateli tak populární [42].

Podobnou technologií v oblasti přenosu dat u IoT je technologie *Zigbee*. Ta stanovuje normy pro bezdrátovou komunikaci, která je ideální pro přenos menšího množství dat s minimální spotřebou energie. Dle tohoto standardu [40] lze vytvářet různé topologie sítí, jako jsou sítě *mesh*, kde zařízení komunikují přímo mezi sebou a dokáží si předávat zprávy od periferie až ke středu sítě. Dalšími podporovanými topologiemi jsou typu hvězda, kde je využit centrální prvek ke kterému jsou připojené zařízení. Nebo topologii typu strom, která se vytváří spojením topologie hvězdy. Dosah této technologie je 10 až 50 metrů, dle podmínek prostoru, díky tomu rozšiřuje možnost využití zmíněných *mesh* sítí. Standard byl zaveden v roce 2006 a je spravován skupinou Connectivity Standards Alliance. Zigbee se skládá ze tří vrstev: fyzické, síťové a aplikační. Fyzickou vrstvu definuje standard IEEE 802.15.4. Zigbee síť se skládá ze třech typů zařízení: koordinátor – jedná se o centrální prvek celé sítě, dále zařízení s plnou funkcionalitou (FFD) – zastává funkci směrovače sítě a zároveň prodlužují její dosah, poslední typ je zařízení s omezenou funkcionalitou (RFD) – tento typ je v síti zastoupen pouze jako koncové zařízení, v mém případě by toto zařízení byl senzor, který se probouzí pouze v daném intervalu pro uskutečnění měření.

Novější technologií a i v jiných oblastech využívanou technologií je standard Bluetooth, u IoT lze použít jeho protokol BLE, tedy *Bluetooth Low Energy*. Tato technologie má vylepšenou spotřebu energie oproti klasickému Bluetooth, i přes to že vysílá na stejné frekvenci jako wi-fi, a to 2.4GHz. BLE se často využívá v takzvaných *wearebles* tedy zařízeními, která nosíme na sobě, jako jsou například chytré hodinky a podobně [15]. Dosah této technologie se udává až 100m, avšak stejně jako Wi-Fi může být ovlivněna prostředím instalace a okolním rušením.

2.5.2 Protokoly přenosu dat

Pro technologie zmíněné v předchozím textu 2.5 lze využít více protokolů pro přenos dat. U připojení s využitím drátu jako je tomu u čidel DHT 2.3 nelze měnit přístup, jelikož je komunikace jasně definována výrobcem. Stejně tak je tomu i u čidla DS18B20 2.3, které však pro komunikaci využívá protokol 1-Wire „*Sběrnice 1-Wire byla vyvinuta v 90. letech firmou Dallas Semiconductor, kterou v roce 2001 koupila firma Maxim Integrated Products*“ [21]. Obvykle se používá pro komunikaci s malými levnými zařízeními, jako jsou právě například teplotní senzory. Jak již název napovídá, sběrnice 1-Wire funguje na jednoduchém principu, kde komunikace a napájení probíhají přes jediný datový vodič. To znamená, že



Obrázek 2.4: Schéma tří topologií sítě zmíněné u zigbee

zařízení připojená k sběrnici 1-Wire mohou být napájena a komunikovat přes tento vodič, což výrazně zjednodušuje propojení a instalaci. Každé zařízení na 1-Wire sběrnici má svou unikátní 64bitovou adresu, což umožňuje jednoznačnou identifikaci a komunikaci s konkrétním zařízením v síti. Díky této identifikaci lze zařízení větvit za sebe, či připojit na stejnou linku a konektivita zůstane zachována. Komunikace probíhá v režimu Master-Slave, kde řídicí zařízení (Master) pošle příkazy a sbírá data od zařízení (Slave) na sběrnici. [30] Díky jednoduchému protokolu je možné provádět čtení a zápis dat, napájení a dokonce i resetování zařízení na sběrnici. V kontroleru Raspberry Pi a systému Raspberry Pi OS je tato sběrnice implicitně podporována.

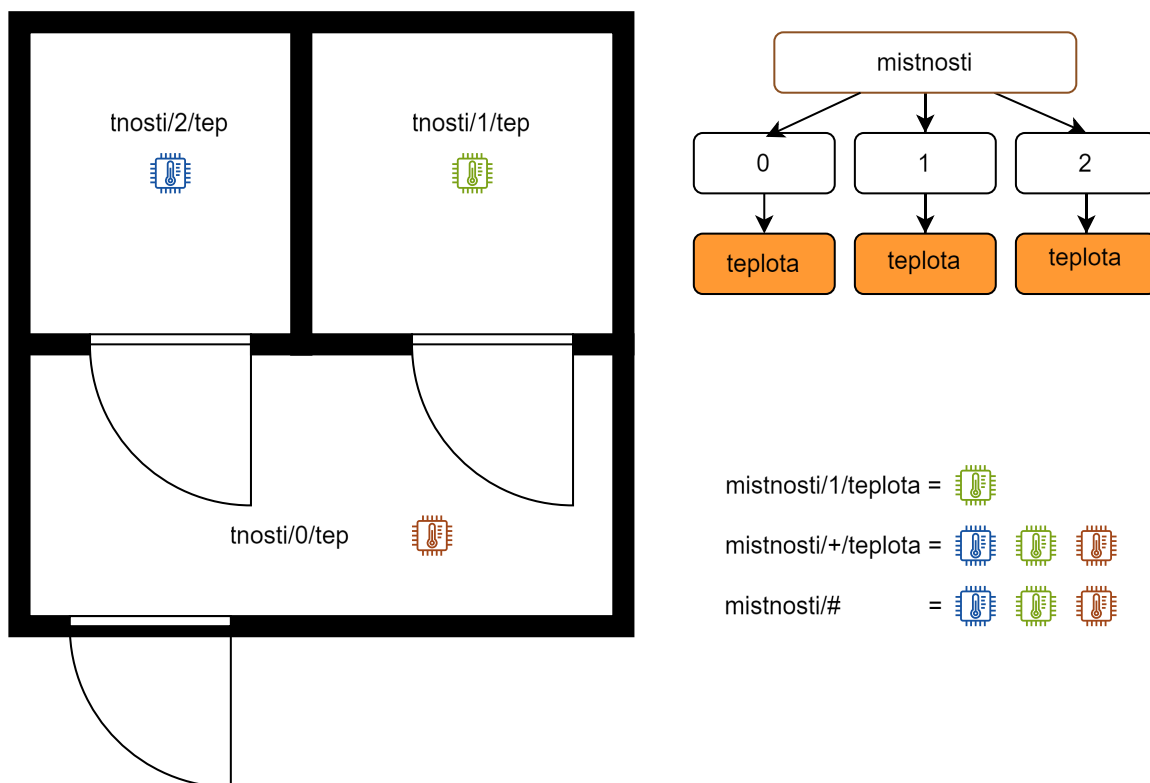
MQTT

MQTT (MQ Telemetry Transport) je protokol pro komunikaci mezi IoT zařízeními, bránou, či jinými systémy. Vznikl v roce 1999 pod firmou IBM. Využívá TCP/IP protokol, MQTT je tedy aplikační vrstvou a nejedná se o samostatnou vrstvu transportní. Je navržen pro efektivní, spolehlivou a jednoduchou komunikaci mezi zařízeními v různých sítích a je založen na modelu publikování a odběru zpráv. Díky tomu se dosáhne nízkých nároků na zpracování dat [9]. Předávání zpráv v MQTT funguje na principu publikování zpráv (angl. *publisher*) a odbírání (angl. *subscribe*) zadaných témat (angl. *topics*). Více klientů se může připojit ke zprostředkovateli (angl. *broker*) a odbírat jeho zprávy. Zároveň klienti (publishers) mohou zasílat své zprávy zprostředkovateli, který je poté publikuje dalším odběratelům (subscribers) se stejným tématem [27]. Jednotlivá témata se identifikují pomocí řetězce se znakem lomítka /, které slouží k oddělení jednotlivých témat a vytváří tak stromovou strukturu, například `mistnosti/1/teplota`. Kořenem je zde část `mistnosti` následuje identifikátor místnosti 1 a konečné téma `teplota`. Pro odběr z více místností zároveň lze využít takzvané *wildcard* znaky # – zastupuje všechna nadřazená témata a + – zastupuje pouze jednu úroveň témat, tyto znaky nahrazují část řetězce jakýmkoliv. Pokud tedy chceme odbírat teplotu ze všech místností, lze využít znaku + a zapsat řetězec takto: `mistnosti/+/teplota`, výsledkem bude odběr tématu `teplota` ze všech dostupných místností.

Protokol MQTT obsahuje také tři úrovně kvality služeb (QoS – z anglického „Quality of service“).

- **QoS level 0** – Zpráva je odeslána pouze jednou a její doručení není nijak kontrolováno. Může tedy dojít ke ztrátě dat.

- **QoS level 1** – Po odeslání zprávy čeká odesílatel na potvrzení od příjemce. V případě vypršení nastaveného času se zpráva zasílá znovu, dokud příjemce neodpoví, může se tedy stát, že zpráva přijde příjemci vícekrát.
- **QoS level 2** – Zpráva je doručena právě jednou. Mezi příjemcem a odesílatelem nastane výměna několika paketů, kterými potvrzují navázání komunikace a tím je zaručeno doručení zprávy právě jednou.



Obrázek 2.5: Diagram rozmístění senzorů v rámci místností (vlevo), a stromová struktura s příklady využití řetězců pro odběr témat (vpravo)

Kapitola 3

Vytápění a ohřev vody s více zdroji tepla

Tato práce se zabývá atypickými potřebami uživatelů s vlastním topným systémem. Cílovou skupinou tedy nejsou systémy s centrálním vytápěním, nýbrž vlastní, či složitější instalace. Pokud uživatel získává teplo pouze z jednoho zdroje, využívá centrální vytápění, či nemá větší nároky na ovládání, postačí instalace s dostupnými termostaty a řešeními. K tomu mohou sloužit různé mechanické či chytré termostaty, například v kombinaci s chytrými termohlavicemi přímo na topení. Ve složitějších systémech, kde se nachází více zdrojů tepla, jako je například kombinace krbové vložky, plynové kotle a kombinovaného bojleru. Je již ovládání podstatě složitější, v této kapitole je popsán úvod do této problematiky.

Typické využití:

- systémy s krbovou vložkou a kotlem,
- ovládání více zón,
- více zdrojů teplé užitkové vody – kotel a bojler,
- možnost přepnutí na manuální ovládání.

3.1 Způsoby vytápění prostoru

Způsoby vytápění se mohou velmi lišit v závislosti na stáří systému, požadavcích uživatele, či dalších okolnostech. Pro lepší pochopení celé problematiky zdrojů, distribuce a způsobu vytápění v této podkapitole naleznete krátké shrnutí historie vytápění, nejběžnějších řešení a nových trendů.

Prvním a nejstarším způsobem vytápění je vytápění lokální. Jak již z názvu vyplývá, tento způsob se limituje na umístění zdroje tepla. Pro tento způsob vytápění slouží zdroje tepla jako například kachlová kamna, akumulární kamna, konvektory, elektrické radiátory a podobné [35]. Můžou se zde řadit i krbová kamna s tepelným výměníkem, který následně sice distribuuje teplo do okolí, avšak díky svému sálavému efektu slouží i jako lokální zdroj energie. Mezi tradiční lokální vytápění patří hlavně ve starších domech a chalupách kachlová kamna, ty plní i akumulární funkci a poskytují teplo i po dohoření paliva. Klasickými a jedny z nejčastěji používaných byla kovová přenosná kamna značky PETRA. Také plynová a naftová kamna VAV, která lze dodnes nalézt ve starších objektech [53]. Tyto lokální zdroje mají svoji nevýhodu právě v jejich lokálnosti, kdy nemůžeme distribuovat teplo do

dalších místností, případně je třeba využívat další lokální zdroj. Dalším problémem je nízká možnost regulace těchto zdrojů vytápění. Jako řešení lze využít radiátorů, tedy otopných těles.

Radiátorové vytápění je jedním z nejznámějších způsobů vytápění, využívaným ve všech typech objektů a domácností. Radiátor je tepelný výměník, který využívá horké vody pro ohřátí okolního vzduchu. Výměna tepla tedy probíhá přirozeným prouděním vzduchu, navíc má také sálavý efekt. Na rozdíl od podlahového vytápění, mají radiátory podstatně menší plochu, a proto potřebují výrazně vyšší teplotu topné vody (60 - 80°C). Přednostmi radiátorů je také jednodušší instalace a případně další údržba, jelikož jsou instalovány na většinou velmi dostupných místech. Lze je také instalovat téměř všude. Další výhodou je rychlost vytápění, zatímco podlahové vytápění potřebuje delší dobu pro nahřátí podlahy. Sálavé teplo z radiátoru poskytuje rychlejší vytopení interiéru, což je u rekreačních objektů v zimě velmi žádoucí [41]. I z hlediska ekonomického je instalace tohoto druhu vytápění méně nákladná, neposkytuje však tak efektivní provoz na rozdíl od podlahového vytápění.

V poslední době a především pak novostavbách se využívá modernějšího přístupu k vytápění, a to využití podlahového vytápění. Jedná se o systém zabudovaný v podlaze, který pomocí trubek podlahu zahřívá a tím šíří teplo do místnosti. Pro vyhřívání lze použít více zdrojů tepla, většinou se však jedná o tepelné čerpadlo, lze si vybrat mezi teplovodní, teplovzdušnou, nebo elektrickou variantou. Výhodou podlahového vytápění je především využívání nižší teploty pro topný okruh (35 - 45°C). Tyto teploty lze dosáhnout i pomocí alternativních zdrojů energie, jako jsou například solární kolektory. Oproti radiátorům podlahové vytápění nabízí větší komfort ve formě snížení tzv. *studených rohů* jelikož je teplo distribuováno rovnoměrně po místnosti. Navíc je tímto způsobem ušetřen prostor, který by zabíral radiátor, takže se zvýší užitná plocha místnosti [33]. Tento způsob přispívá k celkovému komfortu domácnosti, díky svému způsobu distribuci tepla z podlahy nevíří tolik prach a je tak i vhodnější pro lidi s alergiemi a dýchacími obtížemi. Je však náročnější na instalaci, jelikož je třeba celé vedení zastavit do podlahy, což je nepraktické pro nové instalace ve stávajících budovách. Zdrojem informací v této sekci je článek [49].

3.2 Zdroje tepla

Pro využití vytápění ať už pomocí radiátorů či podlahového vytápění 3.1, je třeba generovat teplo pro topný systém, který jej následně distribuuje po objektu. Teplo můžeme generovat z jednoho, či více zdrojů tepla. Mezi časté zdroje tepla patří plynové kotle, krbové vložky, tepelná čerpadla, či alternativní zdroje, jako jsou například solární kolektory spolu s akumulací nádržemi či podobné systémy.

3.2.1 Kotle a krbové vložky

Jednotlivé druhy kotlů lze rozdělit do podkategorií dle použitého paliva, či způsobu možného použití. Pro využití v domácnostech a rekreačních objektech se pro ohřev topné a teplé užitkové vody využívají zpravidla kotle malých výkonů, tzn. výkon do 35 kW. Tyto kotle mohou být na různá paliva, ve většině případů se jedná o nejrozšířenější druh kotle spalující plynná paliva. Způsob provozu kotle je pak většinou klasický (teplovodní), či kondenzační, obrázek 3.1c. Klasické kotle pracují tak, aby vstupní teplota topného okruhu neklesla pod 60°C, jejich účinnost se pohybuje kolem 88%. Kondenzační kotle spalují nejčastěji zemní plyn, využívají kondenzace vodní páry ve spalínách a tím snižují spotřebu plynu o 2 - 3% [19]. Lze však nalézt i kotle spalující tuhá paliva jako například dřevo, uhlí či speciální

pelety. Tyto kotle jsou většinou staršího typu 3.1a, jelikož se postupně přechází na přísnější emisní limity. Ty dle zdroje [23] stanovují, že kotle 1. a 2. emisní třídy musí být vyměněny za modernější s takzvaným „ekodesignem“ a emisní třídou 3 a výše. S tím přichází i výměna starších typů kotlů za nové 3.1b, případně obměna celkové technologie vytápění. Další nevýhodou jsou nároky na prostor a umístění technologie mimo obývaný prostor.

Dalším zdrojem tepla, který kombinuje benefity lokálního a ústředního, jsou krbové vložky s tepelným výměníkem 3.1d. Nové možnosti využití tohoto zdroje vytápění přineslo otevření trhu po roce 1989, kdy v průběhu 20. století se v západní Evropě objevila řada nových technologických inovací. Krbová vložka je kompaktní uzavřené topeniště s regulovaným přísunem vzduchu, a tepelným výměníkem [53]. Ohřátou vodu z krbové vložky pak lze využít v celém topném systému. Lze tedy energii využít pro vytápění dalších místností pomocí radiátorů, či podlahového vytápění, nebo pro ohřev TUV za použití kombinovaného bojleru [12]. Vytápění tímto způsobem je velice efektivní a rychlé [2]. Což je zvláště výhodné při občasné návštěvnosti rekreačního objektu a nutnosti rychlého vytopení. Krbové vložky jsou často také designovým prvkem, a není tak problém je umístit do obývaných prostor.



(a) Starý kotel na tuhá paliva



(b) Nový kotel na tuhá paliva splňující třídu 4



(c) Kondenzační plynový kotel



(d) Krbová vložka s tepelným výměníkem

Obrázek 3.1: Ukázka kotlů

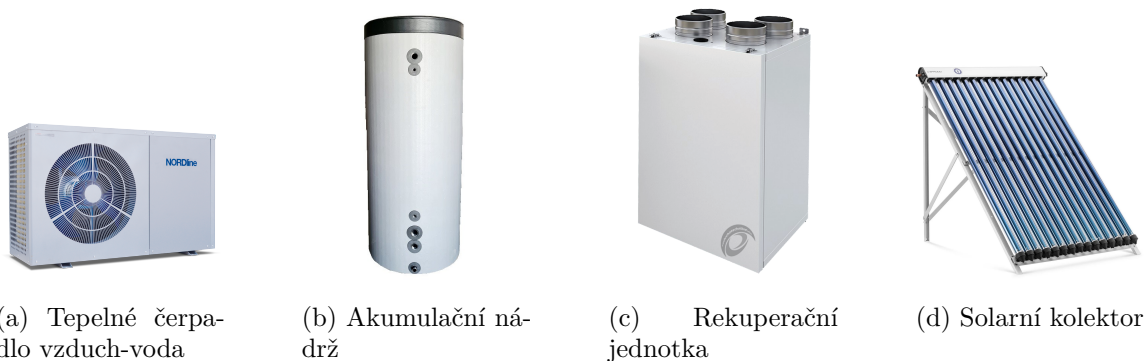
3.2.2 Nové přístupy k vytápění

V dnešní době se také dostávají do popředí další zdroje tepla jako jsou tepelná čerpadla. Ta mohou fungovat na principu vzduch-voda, nebo země-voda. Tato čerpadla poskytují efektivnější provoz a jsou tak čím dál více vyhledávaným zdrojem tepla. Díky své nižší výstupní teplotě jsou vhodné zejména pro podlahové vytápění. Tato čerpadla pracují na fyzikálních principech, kdy kompresor stlačuje plyn, který se následným stlačením ohřeje, dále předá svoji teplotu v tepelném výměníku pro topný okruh objektu a vrací se zpět do kompresoru [45]. Nevýhodou může být vyšší pořizovací cena, která se v roce 2023 pohybuje u čerpadel vzduch – voda , mezi 250 000 - 400 000 Kč¹. V kombinaci s těmito čerpadly se také využívají solární kolektory, na obrázku 3.2d, které využívají energie ze slunce a ohřívají vodu na přímo, nebo za pomoci akumulací nádrže, obrázek 3.2b, které poté drží teplo uskladněné pro využití například v noci.

Mezi další moderní přístupy patří využívání rekuperace (obrázek 3.2c) který využívá zpětného zisku tepla. Při větrání se využívá vyhřátého vzduchu z vnitřního prostoru pro

¹Dle dat z ČEZ <https://www.cez.cz/cs/clanky/tepelna-cerpadla/srovnani-ceny-a-instalace-tepelného-cerpadla-zeme-voda-a-vzduch-voda-174089>

ohřátí čerstvého vzduchu z venčí a tím tak minimalizovat tepelnou ztrátu. Tím pádem vzduch, který přichází do domu nemá například -5 stupňů, ale 16 stupňů. Rekuperátor v sobě obsahuje tepelný výměník, přes který proudí teplý a studený vzduch opačným směrem. Tepelná výměna proběhne v rekuperátoru pomocí teplosměnných ploch. Další výhodou je zmenšení vlhkosti v objektu, rekuperace jsou navíc vybaveny filtry a tak jsou vhodné pro alergiky i místa s poléťavým prachem [28].



Obrázek 3.2: Ukázka nových zdrojů tepla

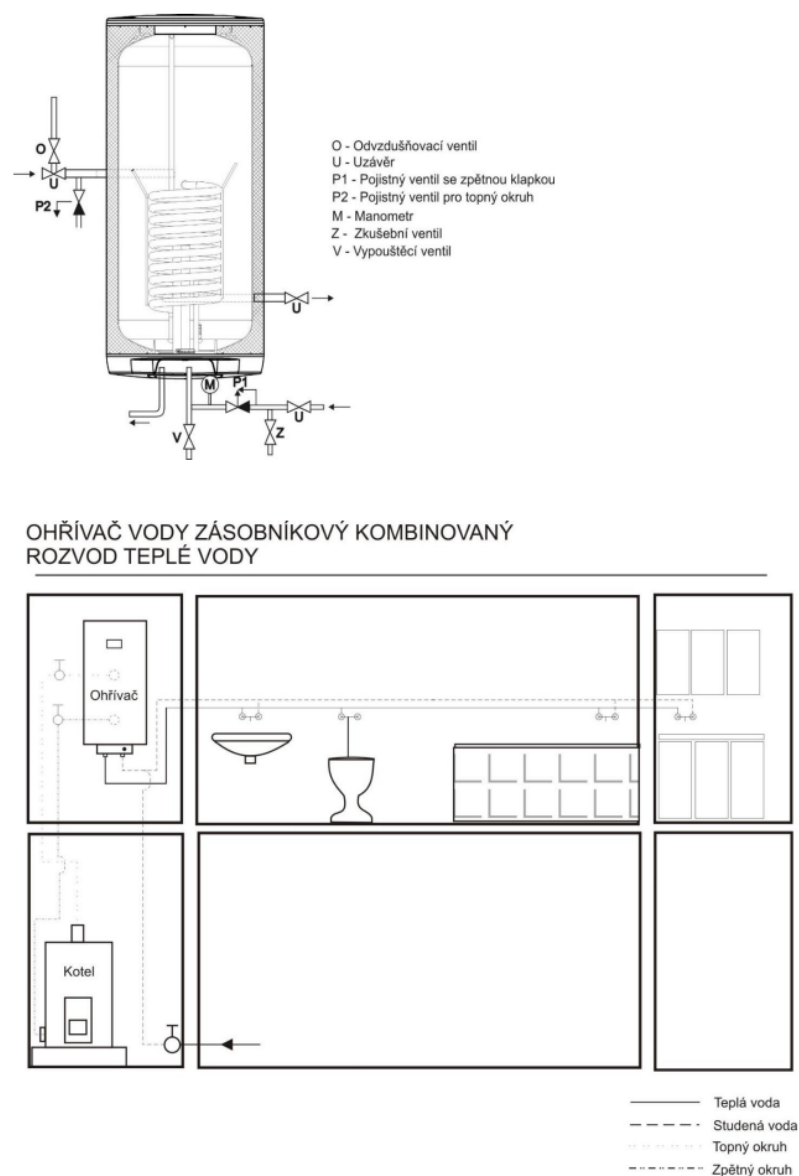
3.3 Způsoby ohřevu teplé užitkové vody

Pro komfort domácnosti i rekreačních objektů nepochybně patří i přístup k teplé užitkové vodě. Stejně jako u vytápění i v tomto odvětví existuje více možností ohřevu TUV. Liší se nejen zdrojem energie pro ohřev, ale i způsobem fungování či účinností. V této sekci krátce popíšeme historii způsobu ohřevu TUV [23], nové metody a přístupy.

Jedním z prvních moderních způsobů ohřevu vody bylo využití průtokových ohřívačů, ať už plynových, či později elektrických. Mají nízké tepelné ztráty a nezabírají příliš místa. Aby bylo dosaženo komfortní teploty, mají tyto ohřívače vyšší příkon, často 3kW a výše. Dále neposkytují zásobárnu vody a voda se tak ohřívá až při zapnutí kohoutku a může nějakou dobu trvat než voda dosáhne požadované teploty. Hodí se tedy spíše pro aplikace na zahradě či v dílnách. Výkonnějším i když také průtokovým ohřevem je využití plynového kotle popsaného v části 3.2.1, ty nabízejí oproti klasickým průtokovým ohřívačům vyšší výkon. Některé typy obsahují navíc i malý vestavěný zásobník TUV pro vyšší komfort, všechny kotle navíc poskytují i vytápění obydlí.

Pro použití v domácnosti se spíše hodí zásobník (bojler) na TUV, který se dá připevnit na stěnu. Tyto bojler byly a stále jsou jednou z prvních možností ohřevu a uchování TUV, jelikož poskytují vysoký komfort domácnosti v dodávkách TUV. Bojler jsou nádrže na TUV, které často využívají tepelné vrstvení pro optimalizaci akumulace tepla a zvýšení účinnosti. Mohou být provedeny jako elektrické, či kombinované případně mohou být zabudovány v akumulacích nádržích. Stratifikace vody umožňuje udržet vysokou teplotu na straně odběru (většinou vrchní strana bojleru) a nízkou na straně vstupu [10]. Pro využití maxima vložené energie do topného systému je optimálním řešením využít kombinovaného bojleru. Ten má kromě elektrického topného tělesa navíc spirálu ve které proudí teplá voda z topného systému a tím předává energii TUV uvnitř bojleru, [13] netřeba tak využívat další elektrické energie pro ohřev, pokud je v systému energie dostatek. Díky zapojení do topného systému je možné využít zdroje tepla popsané v části 3.2.1 nebo zdroje popsané

v části 3.2.2. V zimě lze tedy využít energii v rámci vytápění objektu a v letním období naopak využít ohřev elektrickou energií [12]. Náhled na možné zapojení viz obrázek 3.3.



Obrázek 3.3: Zobrazení kombinovaného bojleru a možnost zapojení v topném systému s kotlem, převzato z [14].

3.4 Možnosti ovládání topných systémů

Regulace topného systému je velmi důležitá, přináší vyšší komfort udržení teploty v obydlí, či místnosti, navíc při správné konfiguraci šetří energie a tím i náklady na vytápění. Je třeba také rozlišovat mezi vytápěním v panelovém či bytovém domě, a domě rodinném, případně v rekreačním objektu. Rozdíl je zde v sousedních prostorech, které u rodinných

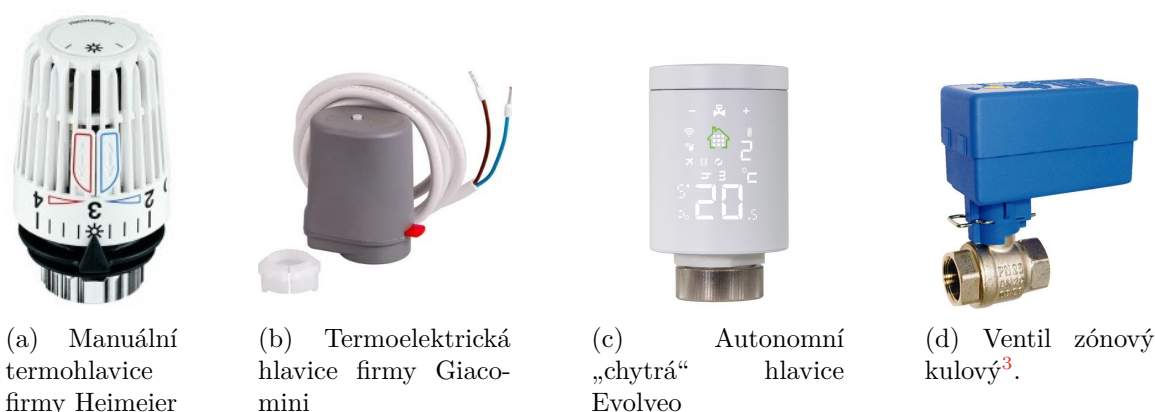
domů a rekreačních objektů tvoří exteriér, a tedy nevytápěné prostory. Zde se vyplatí řešit například noční útlum vytápění, kde ve starších domech bez zateplení dochází rychleji k ochlazení. Také je třeba řešit vytápění v době absence v objektu. V této práci se zabývám právě těmito objekty, následující text bude tedy zaměřen na regulaci v rodinných a rekreačních domech. Všechny informace v této části jsou převzaty ze zdrojů [52, 7, 6].

Termostatické hlavice a elektronické ventily

Moderní technologie nabízejí rozsáhlé možnosti regulace topných systémů. Základním principem regulace vytápění je využívání termostatických hlavice umístěných na topeních či rozvaděcích podlahového vytápění. Nejjednodušší formou ovládání jsou hlavice manuální, na obrázku 3.4a. Uživatel navolí otočením průtok teplé vody, většinou v rozsahu 1 - 5, a tím ohřev místnosti. Jedná se o běžné a jednoduché řešení regulace, je však nepřesné a neefektivní a nenabízí žádnou automatizaci. Také je třeba ovládat každou místnost zvlášť a manuálně.

Mohou být však využity modernější termoelektrické (obrázek 3.4b), nebo „chytré“ termostatické hlavice (obrázek 3.4c). První fungují na principu mechanické hlavice, ale je možné ji ovládat i elektronicky a tím regulovat teplotu konkrétního tělesa. Druhou možností jsou autonomní „chytré“ hlavice, která obsahuje vestavěný termostat a je tak možné nastavit konkrétní požadovanou teplotu v místnosti a to buď přímo na hlavici, nebo prostřednictvím aplikace v telefonu. Pokud se nejedná o systém ústředního vytápění je navíc nutné tyto hlavice propojit se zdrojem tepla, aby došlo k jeho sepnutí. K tomu je většinou potřeba centrální prvek sdružující tyto hlavice. Dle typu zařízení lze pak tyto hlavice sdružovat do jednotlivých zón (například místností). Nevýhodou modernějších hlavice je jejich cena, která se pohybuje v rozsahu 400Kč - 1200Kč². Další možností je využití prostorových termostatů, popsanych v další části.

Pro ovládání jednotlivých zón lze také využít elektronické ventily. Ty se skládají z kulového ventilu a motorku pro jeho ovládání. Připevňují se přímo na trubku topného systému a dokáží tak odstavit, či otevřít celou část topného okruhu. Příklad ventilu na obrázku níže 3.4d. Jedná se o efektivní způsob zónové regulace, který dokáže ušetřit celkové náklady v případě, že není třeba ovládat každé topení zvlášť.



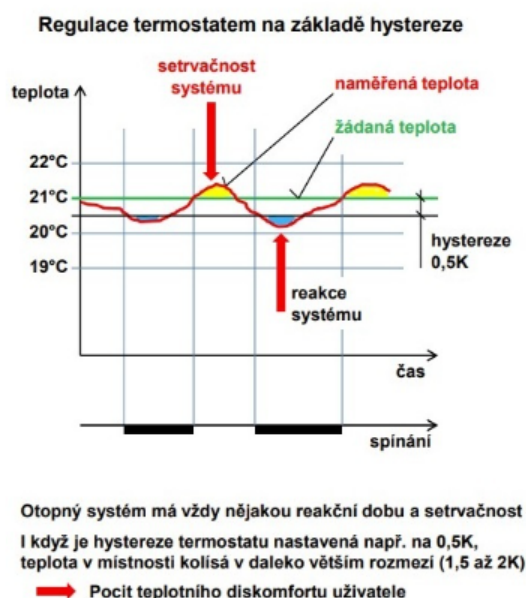
Obrázek 3.4: Druhy termostatických hlavice

²ceny v březnu 2024

³Převzato z www.regulus.cz

Prostorové termostaty

Prostorový termostat je teplotní čidlo vestavěné v termostatu, obsahující elektrické relé. Je potřeba, aby byl termostat propojený se zdrojem vytápění. Pro správné měření teploty je nutné, aby byl termostat umístěn ve výšce kolem 1.5m nad podlahou, a nejlépe na vnitřní stěně, která neovlivňuje teplotu měření. Neměl by se taky nacházet blízko zdroje tepla, jako jsou sporáky, trouby, topení a podobně. Dle nastavené teploty se relé sepne při jejím poklesu pod tuto hranici a naopak vypne při jejím překročení. V realitě však termostat nespíná přesně na nastavené hranici, ale při teplotě vyšší či nižší o takzvanou teplotní hysterezi. Hystereze je nastavený teplotní rozdíl, který v praxi „snižuje“ přesnost termostatu. Tato funkce termostatu je nutná pro správné fungování vytápění. Při absenci této funkce by docházelo k oscilaci teploty v místnosti oproti nastavené teplotě a tím i zvýšeným počtem spínacích cyklů, to by mohlo mít za následek poškození relé, či samotného zdroje tepla. Na obrázku 3.5 je vidět průběh teploty, nastavené hystereze a cyklů vytápění.



Obrázek 3.5: Průběh teploty, hystereze a cyklů vytápění⁴.

Stejně jako termostatických hlavice 3.4 i prostorových termostatů existuje více druhů. Existují manuální, digitální i „chytré“ verze prostorových termostatů.

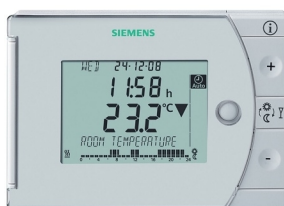
- Manuální termostat – zdroj [47] uvádí, že základním principem fungování analogového termostatu je použití bimetalického pásku uvnitř termostatu. Bimetalový pásek se skládá ze dvou samostatných kovových pásků, které jsou spojeny dohromady a otevírají nebo zavírají elektrický obvod podle toho, jak se v místnosti zvyšuje nebo snižuje teplota. Výhodou tohoto druhu termostatu je pořizovací cena, která se pohybuje kolem 400 Kč. Ovládání je také velice jednoduché, pomocí kolečka se jednoduše nastaví požadovaná teplota, lze vidět na obrázku 3.6a. Termostat však neposkytuje žádné funkce navíc, jako je například nastavení programu vytápění na daný časový úsek. Nelze tak nastavit například noční provoz [47].

⁴Převzato z www.a-kotle.cz

- Digitální termostat – Tento typ termostatu lze nalézt v různých provedeních. Mezi hlavní pokrok oproti manuálním je možnost nastavení různých časových i teplotních režimů. Některé obsahují navíc funkce jako například ovládání klimatizace v letních měsících. Pokročilejším typem tohoto termostatu je jeho bezdrátová verze, díky které odpadá nutnost přivedení drátu od zdroje vytápění. Díky tomu je možná jednodušší instalace, i možnost pozdějšího přemístění termostatu na nové místo.
- „Chytrý“ termostat – Chytré termostaty jsou pokročilejší od digitálních, automaticky regulují vytápění, případně i chlazení v domácnosti, aby udržovaly pohodlnou teplotu a šetřily energii. Předností je zvýšení účinnosti vytápění a s tím spojená úspora nákladů. Ovládání může být o něco složitější, většinou chytré termostaty využívají vlastní mobilní aplikace, které je potřeba nastavit. Většina modelů může být také ovládána hlasem, pomocí Amazon Alexa, Apple HomeKit nebo Google Assistant. Aktivací geolokace v nastavení termostatu umožňuje zařízení vědět, kdy jste doma nebo pryč, aby automaticky upravilo vytápění a tím se ještě více ušetřilo energii [39]. Ačkoliv se to zdá jako optimální možnost pro vytápění, stále je zde však problém s ovládáním více zdrojů energie.



(a) Manuální termostat



(b) Digitální termostat



(c) „Chytrý“ termostat

Obrázek 3.6: Druhy termostatů⁵.

IoT systémy

Termostat je možné si vytvořit i vlastní za pomoci IoT technologií. K tomu je potřeba IoT kontroler popsáný v kapitole 2.4, senzory a relé popsáné v kapitole 2.3. Po propojení lze jako software pro ovládání využít například Home Assistant popsáný v části 4.3. Či vlastní vyvinuté řešení přímo pro potřeby cílového systému.

⁵Převzato z bola.cz

Kapitola 4

Analýza systému pro automatickou regulaci

Pro správné navrhnutí implementace je třeba provést analýzu problematiky regulace vytápění v rekreačních objektech s více zdroji tepla. Přesně definovat případy užití, požadavky na ovládání vytápění a ohřevu TUV, jaké má mít systém výsledky a jeho celková náročnost na vytvoření a náročnost finanční. Výsledky této analýzy poté využiji v následující kapitole 5. Při analýze požadavků na systém jsem čerpal z vlastních zkušeností s ovládáním topných systémů. Zaměřuji se také na analýzu existujících řešení a jejich nedostatků v této oblasti. Pro analýzu požadavků mezi uživateli jsem využil formuláře Google, abych získal více dat pro zhodnocení požadavků¹.

Cílovou skupinou pro tuto práci jsou lidé řešící problematiku automatické regulace s více zdroji tepla. Může se jednat o majitele rodinných domů, rekreačních objektů, či správců podobných objektů. Hlavním uživatelským požadavkem a předpokladem pro tuto práci je umožnit vyšší míru automatizace vytápění, celkové sjednocení a zjednodušení ovládání topného systému v objektu s více zdroji tepla. Konkrétně plynovým kotlem, krbovou vložkou s tepelným výměníkem v kombinaci s kombinovaným bojlerem. Systém by měl však do budoucna být odolný proti změnám typu vytápění, zapojení nového prvku do systému, či změně konfigurace.

4.1 Dotazníkové šetření

Jak bylo zmíněno v úvodu této části, využil jsem formulářů Google pro vytvoření dotazníkového šetření na téma vytápění v rekreačních objektech. Ve formuláři jsem pokládal dotazy na styčné body celého systému, včetně informací ohledně pořizovacích nákladů na nový systém. Pro distribuci formuláře jsem využil Facebook skupin, zaměřených na rekreační objekty, kde uživatelé řeší právě téma vytápění těchto objektů. Počet respondentů byl ke dni 3.11.2023 osm.

Z dosavadních výsledků šetření vyplynula následující data:

- Průměrný věk respondentů byl 26 let, nejméně 21 let a nejvíce 47 let,
- 62.5% uživatelů navštěvují objekt častěji než každý víkend,
- 62.5% uživatelů využívá objekt, nebo jeho část pro krátkodobý pronájem,

¹Odkaz na formulář <https://forms.gle/YdKXuYMJoDNfnoEP6>

- 62.5% uživatelů nevyužívá žádnou formu chytrého vytápění a řídí systém manuálně,
- dalších 25% využívá manuální termostat a pouze 12% chytrý termostat (Jablotron),
- 62.5% se hodnotí jako pokročilí při práci s počítačem/telefonem/tabletem,
- 25% využívá pro ohřev vody kombinovaný bojler v kombinaci s dalším zdrojem tepla.
- Z dat dále vyplývá, že pokud by uživatelé přemýšleli o zakoupení nového systému, hlavní motivací by bylo možnost řídit systém na dálku a vytápět zvlášť jednotlivé zóny.
- Rozhodujícím faktorem by byla pořizovací cena, která zde činí do 10 000 Kč.

4.2 Uživatelské požadavky

Pro lepší představu o uživatelských požadavcích na začátek představím příklad použití v rekreačním objektu, na kterém zároveň budu provádět testování v kapitole 7.

Objekt je rozdělen stavebně do dvou částí (zón). Celý objekt využívá společný topný okruh a je také napojený na stejný vodovodní okruh. Obě části obsahují kuchyň, koupelnu kam je třeba dodávat TUV. Objekt se vytápí pomocí radiátorů rozdělených do dvou okruhů ovládaných pomocí elektrických zónových kulových ventilů (obrázek 3.4d) umístěných v technické místnosti². V technické místnosti se dále nachází kombinovaný bojler připojený na topný okruh a možnost ohřevu pomocí elektřiny v případě časů HDO³. Vedle něj je umístěn plynový kotel dodávající energii do topného okruhu a taktéž využívaný pro ohřev TUV. V případě, že voda v bojleru není nahřátá na hraniční teplotu 37°C, slouží zde třicestný ventil na studené – přívodní trubce. Který zajišťuje přepínání mezi zdrojem TUV dle hraniční teploty. energii pro topný okruh poskytuje také krbová vložka s tepelným výměníkem, umístěná v soukromé části objektu. Ta se využívá v případě přítomnosti pro vyhřívání celého objektu převážně v zimních měsících. Pro lepší ilustraci lze vidět celé schéma zapojení TUV a topného okruhu na obrázku 4.2.

Světle šedá část na obrázku 4.1 se bude používat pro krátkodobý pronájem typu Airbnb⁴. Systém je tedy třeba zautomatizovat, aby bylo možné efektivně využívat topný okruh a řídit jej nezávisle na soukromé (světle žluté) části. V případě, že se bude využívat energie z krbové vložky, je potřeba odstavit z provozu kotel pro ohřev topné vody a bojler pro elektrický ohřev TUV. Naopak je nutné využít kotle pro vytápění v době nepřítomnosti, či nevyužití krbové vložky. Pro regulaci TUV je nutné monitorovat teplotu v bojleru, a v případě poklesu pod nastavenou hodnotu změnit zdroj TUV na kotel a naopak.

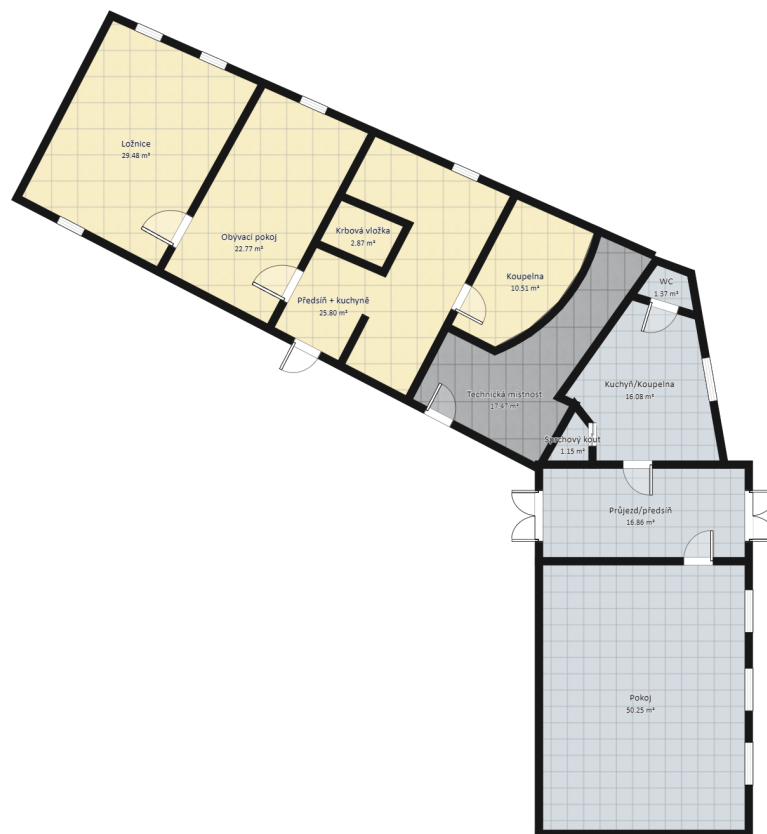
Ovládání systému

Díky určení systému je třeba ovládání provádět místně i na dálku. Aby bylo možné reagovat na změny v obsazenosti objektu a v případě absence objekt nezůstal vytápěný, což by vedlo k vyšším nákladům. Také hosté v pronajímané části by měli mít určitou kontrolu nad teplotou v jejich části.

²tmavě šedá místnost na plánu 4.1

³zkratka pro hromadné dálkové ovládání. Jedná se o způsob regulace odběru elektrické energie na dálku. Využívá se v energetice nebo pro regulaci napájení, např. elektrovytápění. <https://cs.wikipedia.org/wiki/HDO>

⁴Předpokládaná délka pronájmu je pouze v letních měsících, a v řádu týdnů.

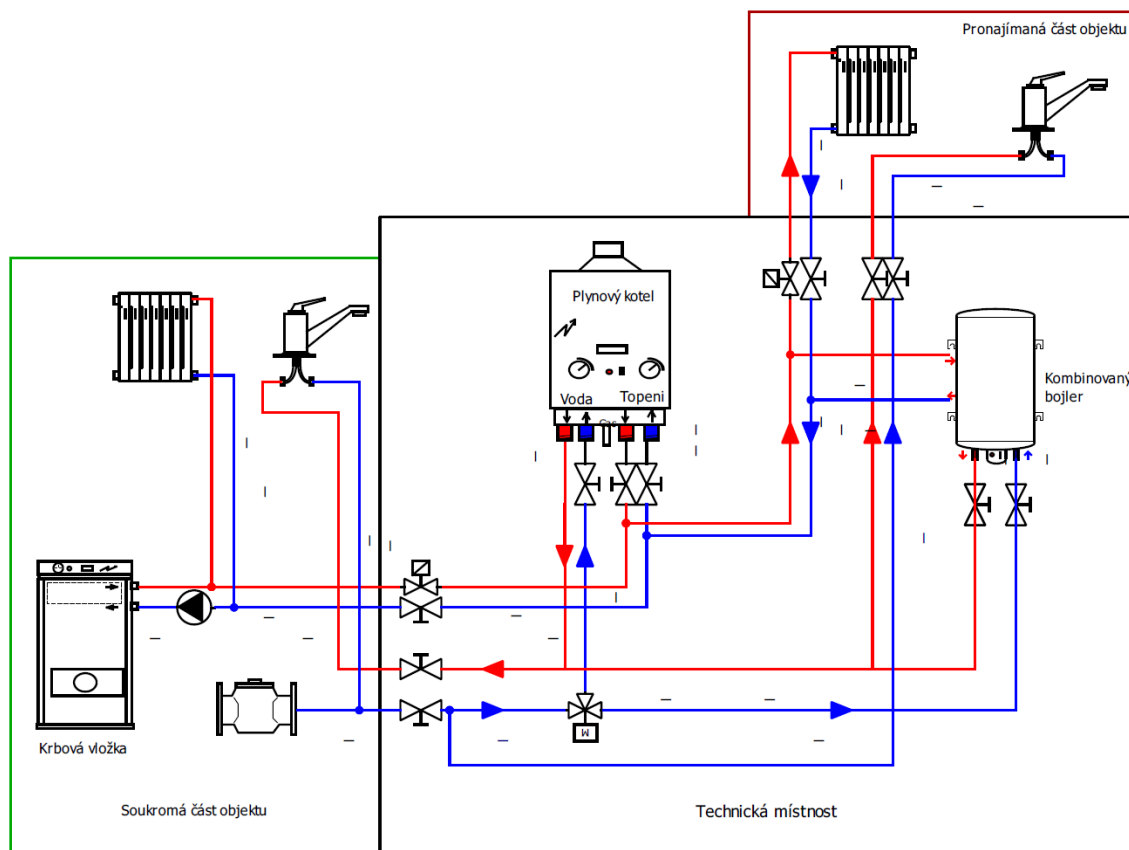


Obrázek 4.1: Půdorys rekreačního objektu.

Automatické ovládání tvoří hlavní součást a jádro systému. Tento systém potřebuje pro svoji správnou funkci mít zadané relé zařízení, které ovládá vytápění a minimálně jednu zónu se zadaným ovládacím relé a senzorem. Algoritmus v nastavených intervalech stáhne data ze senzorů, ty pak porovná s nastavenou hodnotou pro danou zónu a následně zapne či vypne vytápění do zóny. Pokud vytápění vypíná, a zároveň není žádná další zóna, která by měla v daný moment zapnuté vytápění, relé zůstává otevřené z důvodu doběhu čerpadla. Doba doběhu čerpadla udává, jak dlouho po ukončení ohřevu vody v systému má čerpadlo běžet [1] a využívat zbytkového tepla v systému. Je tak nutné nechat otevřené ventily i po vypnutí kotle.

V případě selhání některého z ovládacích prvků automatického ovládání je potřeba vytvořit záložní mechanismus, na který lze přepnout a odstavit tak automatickou regulaci, aby systém nezůstal bez kontroly. V případě vytápění krbovou vložkou a selhání ovládání by se mohly zavřít topné okruhy, což by mohlo vést k přetopení topného systému. Je nutné mít možnost ovládat jednotlivá relé a tím i ventily manuálně. Proto je třeba do systému přidat možnosti tohoto typu kontroly. Někdy je také vhodné například pro účely testování odstavit automatický systém a i skrze uživatelské rozhraní měnit ručně nastavení relé.

Celé automatické ovládání by mělo být přirozeně intuitivní. To zahrnuje vytvoření přívětivého uživatelského rozhraní pro mobilní zařízení i počítače. Uživatel by měl být schopen si dle návodu vše nastavit a zprovoznit bez nutnosti znalosti programování. Uživateli by měla stačit znalost práce s počítačem a elektřiny.



Obrázek 4.2: Rozvody TUV a topného systému v objektu.

Ovládání systému by mělo obsahovat možnost definovat, editovat a mazat jednotlivá připojená zařízení. Zařízení se v tomto smyslu myslí připojené senzory a relé k ovládání. Bez těchto zařízení je systém nefunkční, nebylo by jak ovládat topný systém. Systém by měl poskytovat jejich přehled a aktuální stav. Ovládání musí umět pracovat s elektronickými kulovými ventily pro jednotlivé zóny.

Systém musí umožňovat definovat zóny pro vytápění, nastavení teplot zvláště pro každou zónu, možnost vypnutí automatického ovládání pro danou zónu a výběr čidel která budou dané zóně přiřazena. Dále možnost nastavit hraniční teplotu pro automatické přepínání zdroje TUV.

Další funkcí by měla být možnost plánování vytápění, určení denního a nočního režimu pro úsporu nákladů. Uživatel by měl mít přístup k přehledu aktuálního stavu systému. Také ke grafům a historii akcí v systému, tedy zaznamenávání změn jeho stavu.

Řízení Aquaflam

Krbová vložka osazená v modelovém objektu, je ovládána pomocí automatické regulace Aquaflam⁵. Tato regulace ovládá přísun vzduchu do krbové vložky, a díky tomu reguluje intenzitu hoření a tím teplotu v topném systému. Také ovládá oběhové čerpadlo topné vody, které zapne/vypne při překročení nastavené hranice. Pokud se teplota v topném okruhu dostane pod tuto hranici, zapíná alternativní zdroj tepla, v tomto případě plynový

⁵<https://www.aquaflam.cz/automaticka-regulace/>

kotel. Díky této funkci je třeba do systému zabudovat mechanismus rozhodující o ovládní kotle mezi regulací Aquaflam a novou automatickou regulací. Jinak by mohlo docházet k protichůdným reakcím systému.

Finanční náročnost řešení

Vždy při pořizování nové věci kromě jejich parametrů hledíme i na cenu. To vyplývá i z dotazníkového šetření zmíněného výše. Jedná se o důležitý faktor při výběru. Přirozeně si lidé vybírají nejlepší poměr cena/výkon. U chytrých termostatů tomu není jinak. Jak z dotazníkového šetření, tak i z osobní preference vyplývá, že nový systém by neměl přesáhnout cenu 10 tisíc v konečné výši, tedy včetně všech pomocných, či spojovacích materiálů. Největší položkou jsou v těchto systémech kromě centrálního ovládní také ovládací prvky, jakožto chytré hlavice, či elektronické kulové ventily. Ovládní pomocí chytrých hlavic by zde bylo velice nákladné, jelikož je nutné je instalovat na každé topení zvlášť. Jednodušším řešením se proto nabízí elektronické kulové ventily, které dokáží uzavřít část okruhu a tím vytvořit topnou zónu bez nutnosti instalace na každé topení zvlášť, tímto krokem tedy lze uspořit sumu peněz úměrnou počtu topení v zóně.

V mém případě tato úspora činila cca 7 tisíc korun (10 radiátorů na 2 zóny radiátorů s průměrnou cenou hlavice 1400Kč⁶, tzn cca 10 tisíc, odečteny náklady na elektronický ventil 2x 1 500Kč⁷). I na hlavním ovladači lze ušetřit, průměrná jednotka stojí kolem 3.5 tis.⁸ korun. To lze nahradit díky Raspberry Pi 4B s cenovkou kolem 1 500Kč⁹.

Dále je třeba spotřební a elektroinstalační zboží (rozvaděč, jistič, vypínače, pojistky, kabely) za částku kolem 3 500Kč, tím se dostávám na orientační cenu 8 tisíc korun. Což odpovídá i většině respondentů, kteří by byli ochotni investovat do nového topného systému.

4.3 Dostupná řešení

Jelikož existuje na trhu široká škála existujících řešení, pro porovnání požadovaného systému jsem využil systému společnosti Netatmo, se kterou mám také uživatelské zkušenosti. Jedná se o systém chytrého vytápění za využití chytrých hlavic, prostorového termostatu a pro ovládní aplikace v uživatelském mobilním zařízení. Jako druhé řešení pro porovnání jsem vybral software HomeAssistant umožňující vytvoření chytré domácnosti včetně termostatu.

Netatmo

Jako referenční představení smart termostatu, jsem využil aplikaci Energy od firmy Netatmo, jelikož s ní mám zkušenosti [32]. Regulace vytápění funguje pomocí chytrých hlavic či prostorového termostatu. Ovládní termostatu je jednoduché pomocí aplikace v telefonu, aplikace je pojata jako virtuální termostat, na kterém si pomocí tlačítek + a -, můžeme jednoduše nastavit požadovanou teplotu. Zároveň se pod tímto termostatem nachází informace o aktuální teplotě v místnosti. V aplikaci lze dále nalézt grafy historie teploty, možnost nastavení rozvrhu vytápění, správu uživatelů a zobrazení místností. Aplikace však nenabízí možnost kombinace více zdrojů tepla, jako je například krbová vložka v kombinaci

⁶<https://hlavice-radiatory.heureka.cz/f:18580:42524129/>

⁷<https://www.elventil.cz/zonovy-ventil-lufberg-zv2-20-8-3/4-and-quot--s-pohonem-230v>

⁸<https://termostaty.heureka.cz/f:15974:1574556/>

⁹<https://rpishop.cz/518-raspberry-pi-4/>

s kotlem či kombinovaným bojlerem pro teplou užitkovou vodu. Tato kombinace bude v naší aplikaci dostupná a tím tam rozšíří existující řešení.

HomeAssistant

Jedná se o open-source projekt pro monitorování a ovládání inteligentní domácnosti. Aplikace podporuje mnoho technologií používaných v oblasti domácí automatizace. Včetně možnosti vytvoření chytrého termostatu. HomeAssistant podporuje několik stovek zařízení či služeb (obecně komponent) od velkých firem jako je například Google, Espressif. Umožňuje jejich integraci na přímo či prostřednictvím pluginů. Díky tomu je ideální pro využití v domech, které mají širší IoT síť i mimo vytápění. Vše je sdružené na jednom místě a ovládat jednotlivé prvky lze přes jednoduché grafické rozhraní [43]. HomeAssistant sice nabízí pomocí pluginu možnost vytvoření termostatu, který dokáže ovládat i jednotlivé zdroje, a jelikož podporuje vlastní scénáře, lze naprogramovat termostat i pro více zdrojů tepla a jakékoliv vlastní nastavení [20]. Nevýhodou je však nutnost znalosti systému HomeAssistant, a pokročilé konfigurace zařízení a scénářů, které by umožňovaly požadovaný chod vytápění.

Požadavky spojené s dálkovým ovládáním

Vzhledem k tomu, že třeba mít možnost ovládat systém na dálku, je nutné aby systém měl přístup k internetu. Protože se jedná o systém pro rekreační objekty, a aby byl co nejuniverzálnější, je třeba myslet i na umístění těchto objektů. Ty se mohou nacházet v oblastech s horším internetovým připojením. Pokud tedy zařízení nemá dostatečnou konektivitu, mohlo by to znesnadnit přístup k naměřeným datům a ovládání regulace, a celá komunikace a načítání dat by tak mohla být velmi pomalá. Proto je na místě uvažovat o implementaci cache serveru, který bude průběžně získávat data ze zařízení a ukládat je do vlastní databáze. Při načítání dat se tak bude využívat tato cache namísto čekání na načtení dat ze zařízení. Pro tyto účely může být využita například služba Google Firebase¹⁰ nebo vlastní řešení.

4.4 Shrnutí analýzy

Tato kapitola se zaměřila na analýzu systému pro automatickou regulaci vytápění v rekreačních objektech s více zdroji tepla. Uživatelské požadavky byly pečlivě specifikovány na modelovém rekreačním objektu s cílem zajištění vyšší míry automatizace a sjednocení ovládání topného systému. Nové řešení musí obsahovat možnost ovládat zóny, zařízení, a možnost přepnutí na manuální ovládání. Kromě toho byly provedeny srovnání s existujícími řešeními, které však nedokázaly plně splnit požadavky na kombinaci více zdrojů tepla a snadné ovládání, je tedy potřeba navrhnout vlastní řešení tohoto problému.

Z finančního hlediska bylo stanoveno, že cena nového systému by neměla přesáhnout 10 tisíc korun včetně všech materiálů. Použití elektronických kulových ventilů místo chytrých hlavic bylo navrženo jako možnost úspory nákladů.

Důraz byl také kladen na potřebu dálkového ovládání, což vedlo k navržení implementace cache serveru pro rychlejší přístup k datům, zejména v oblastech s horším internetovým připojením.

¹⁰<https://firebase.google.com/>

Kapitola 5

Návrh systému

Z předchozí kapitoly 4 vyplývá, že pro naplnění požadavků na systém, je třeba vytvořit nové řešení pro chytré vytápění v rekreačních objektech. Na základě zmíněných požadavků navrhují nový systém pokrývající všechny zmíněné situace a oblasti řešení. Některé funkcionality budou vycházet z již existujících řešení, a budou případně rozšířené. Další budou navrženy přímo pro tento případ užití. Postupně popíší celý návrh nového řešení a jeho možné alternativy a vylepšení.

Aby bylo systém možné ovládat, bude obsahovat správu jednotlivých zařízení, a to jak senzorů, tak i ovládacích prvků. Pro ovládání vytápění v jednotlivých částech, či ohřev bojleru budou sloužit „zóny“, ty budou fungovat jako sdružení zařízení (čidla a relé). Každá „Zóna“ bude mít pro správnou funkci přiřazené hlavní čidlo, které bude používat pro porovnání aktuálních a nastavených teplot. Stejně tak bude mít přiřazené relé které bude otevírat ventil do dané zóny, či spínat jiný koncový prvek. Pro regulaci ohřevu TUV a přepínání mezi zdroji TUV budou sloužit speciální typy zón tak, aby bylo nastavení co nejjednodušší. Pro každou zónu se bude nastavovat teplota pro vytápění, možnost vypnout danou zónu a nevytápět ji vůbec. Další funkcí bude možnost nastavení programů vytápění pro denní a noční provoz, bude možné nastavit program pro každou zónu zvlášť. Pro možnost zobrazení dat budou sloužit grafy pro jednotlivé zóny i zařízení.

Systém by měl automaticky regulovat topný okruh i TUV k tomu bude využívat algoritmů popsaných níže 5.4. Systém bude obsahovat „scénáře“ pro případ vytápění krbovou vložkou, nebo plynovým kotlem.

Jak z analýzy 4 vyplývá, pro daný rekreační objekt je třeba stanovit efektivní způsob komunikace vzhledem k rozložení objektu na 2 obývané části a technickou místnost, ve které bude umístěný hlavní kontroler. Aby byl zdroj dat co nejspolehlivější, bude pro měření teplot využito nových internetových rozvodů, pro vedení informací z čidel DS18B20 popsaných v sekci 2.3 a pracujících na protokolu 1-Wire ze sekce 2.5.2. Tím budou získávána data o stavu systému jako jsou teploty v topném okruhu, teploty TUV a teploty v místnostech. Tato čidla poskytují pouze informaci o teplotě. Pro dodatečné informace ohledně vlhkosti je využití mikrokontroleru ESP01 a čidla DHT22. ESP bude k hlavnímu kontroleru připojeno pomocí standardu Wi-Fi a komunikující na protokolu MQTT, jednotlivé místnosti budou mít téma ve formátu `/temperature/get/{id}`. Pro ovládání jednotlivých okruhů vytápění a zdroje TUV, budou sloužit elektronické kulové ventily 3.4. Ty budou ovládané pomocí relé modulů propojených s hlavním kontrolerem, tím bude Raspberry Pi 4B pro svůj dostatečný výkon a nízkou cenu. Celé ovládání a elektrické zapojení bude umístěno v elektrickém rozvaděči, a to z důvodu bezpečnosti, ucelení zapojení a možnosti jednoduchého umístění a manipulace.

Celý systém bude běžet na webovém serveru. Aby bylo možné se k webserveru připojit z venkovní sítě, bude třeba zpracovat způsob připojení, například veřejnou IP adresou nebo využívat dynamickou DNS, která reaguje na změny IP adresy¹. K tomu bude potřeba korektně nakonfigurovat router pro připojení.

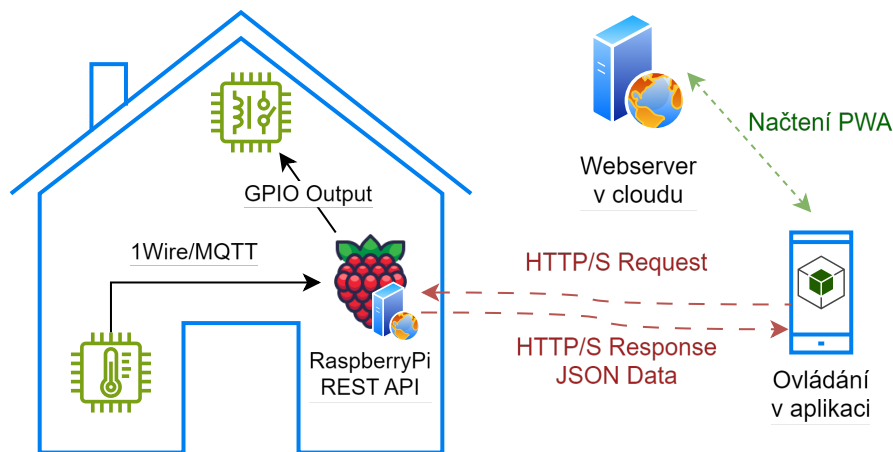
Softwarová část bude třeba vhodně rozdělit pro oddělení logické a uživatelské části. Pro vývoj bude vhodné zvážit využití dostupných knihoven a nástrojů pro zjednodušení práce a zefektivnění.

5.1 Ustanovení pojmů

Na začátek je zde upřesnění jednotlivých pojmů používaných v dalších částech.

- **Zóna** – skupina sdružující teplotní senzor, ovládací relé, nastavenou teplotu. Jedná se o reprezentaci jednotlivých místností, větší části objektu, skupina může být využita i pro jiné účely, jako například výhřev vody, z toho plyne název „zóna“. Zóna se dále dělí dle určení na typy. Hlavní funkcí je porovnání aktuální a nastavené teploty a dle typu a algoritmu ovládat přiřazené relé.
- **Typy zón**
 - Zóna pro vytápění – slouží pro vytápění místností, nebo částí objektu.
 - Zóna pro ohřev vody – slouží pro zapínání, a vypínání elektrického ohřevu vody.
 - Zóna pro přepínač vody – slouží pro přepínání zdroje TUV mezi plynovým kotlem a bojlerem.
 - Obecná zóna – zóna nemá žádný speciální algoritmus, kontroluje pouze nastavenou a aktuální teplotu a dle výsledku okamžitě vypíná nebo zapíná relé, je nezávislá na aktuálním módu vytápění.
- **Zařízení** – souhrnné označení pro připojené relé a teplotní či jiné senzory.
- **Typy zařízení**
 - Teplotní senzor – zaznamenává teplotu v místnosti.
 - Relé – ovládá kotel, případně kulový ventil, nebo jiné zařízení.
- **Protokoly**
 - 1-Wire – protokol senzorů Dallas DS18B20.
 - MQTT – protokol pro čidla připojená přes MQTT.
 - GPIO Output – relé připojené přímo k GPIO kontroleru.

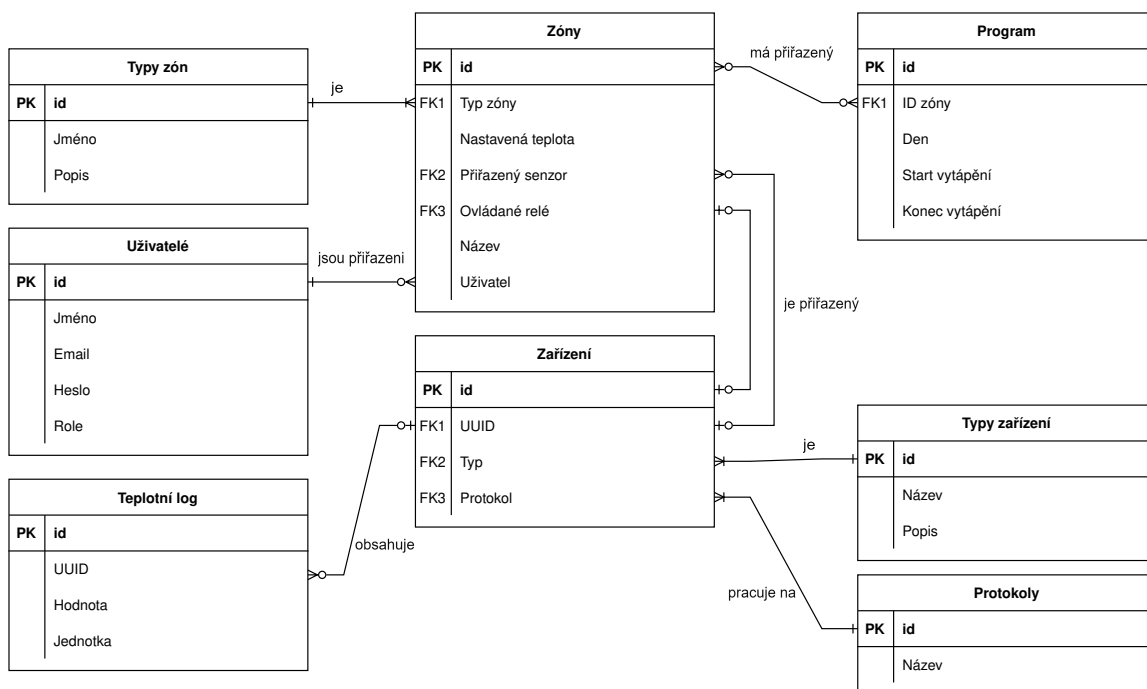
¹<https://w.wiki/8eBu>



Obrázek 5.1: Diagram komunikace mezi zařízeními.

5.2 Architektura systému

Architektura systému se skládá z několika prvků. Na obrázku 5.1 lze vidět zjednodušený model propojení jednotlivých komponent systému. Ikona maliny reprezentuje hlavní kontroler (Raspberry Pi) ovládající celý systém. Kontroler bude mít připojená teplotní čidla pro získávání dat z objektu a relé pro ovládání ventilů. Dále na něm bude běžet serverová aplikace a v případě i část uživatelská. Propojení se REST API aplikací pak reprezentují červené šipky. V případě instalované PWA v mobilním či jiném zařízení si aplikace zkontroluje aktuálnost, propojení zelenou šipkou, a případně nabídne aktualizaci. Pokud je aktuální rovnou přejde k získávání dat z API. Komunikace s hlavním kontrolerem bude probíhat pouze při dotazování na aktuální stav nebo změny stavu některého z prvků.



Obrázek 5.2: Entitně-vztahový diagram.

5.3 Konceptuální model

Protože je v systému spousta vazeb mezi jednotlivými zónami, senzory a relé, pro ukládání je vhodné zvolit relační databázi jako například MySQL, či PostgreSQL. Do databáze budou zaznamenávány všechny informace o systému včetně logování změn, či historie teplot. Databáze bude uchovávat také všechna data o senzorech, reléch a případně dalších zařízeních připojených do systému.

Pro lepší pochopení je na obrázku 5.2 náhled na zjednodušený entitně-vztahový diagram. Hlavní entitou v tomto diagramu je entita „Zóny“ která sdružuje další entity, obsahuje propojení s typem zóny. Pro sběr dat a ovládání je zde dvojité propojení s entitou „Zařízení“ a to pro senzory a ovládané relé. Entita „Zařízení“ má své *id*, *UUID*, *Název* kterým identifikuje jednotlivá zařízení, dále se zařízení liší dle jeho typu *Typ*. *UUID* reprezentuje unikátní identifikátor zařízení, u čidel DS18B20 je to například jejich adresa. ID bude sloužit pro účely databáze jako primární klíč a bude automaticky inkrementováno. Název u všech entit bude sloužit pro jednodušší identifikaci v uživatelském rozhraní.

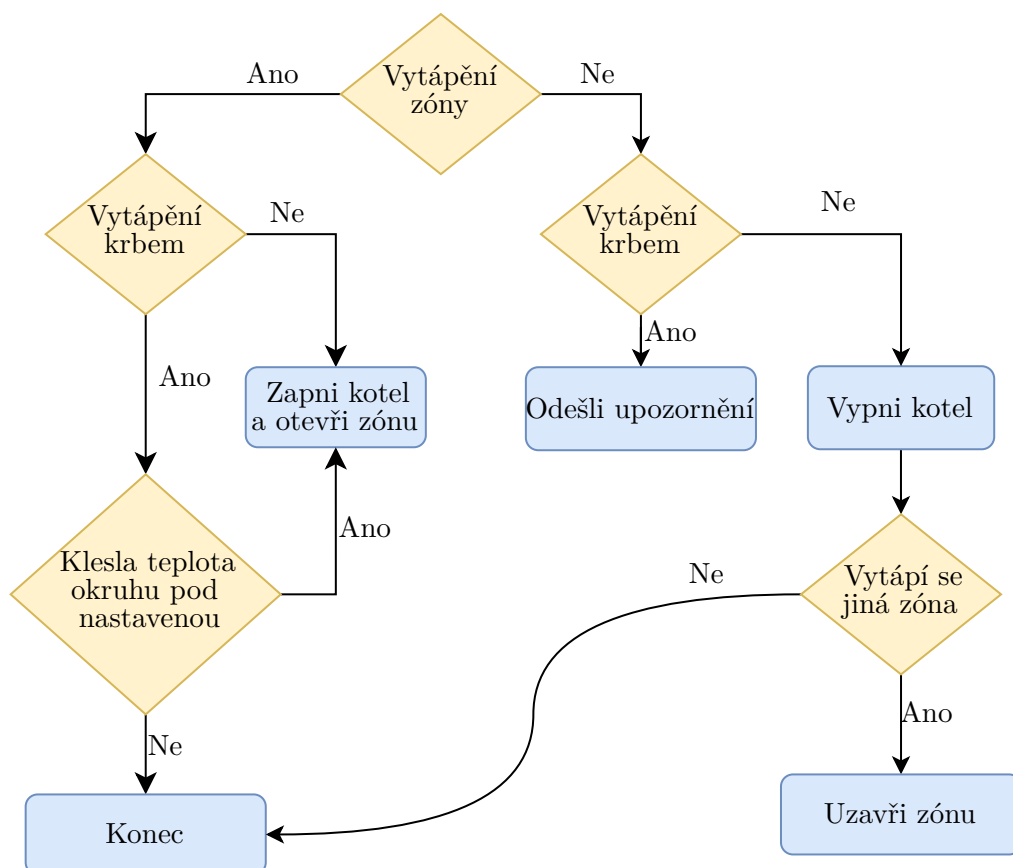
5.4 Algoritmus pro vytápění a ohřev TUV

Pro regulaci vytápění bude sloužit automatický algoritmus na obrázku 5.3. V pravidelných intervalech nastavených v uživatelském rozhraní se bude spouštět tento algoritmus procházející všechny zóny a pro každou z nich provede porovnání nastavené a aktuální teploty. V závislosti na výsledku vstoupí do začátku algoritmu rozhodnutím o vytápění zóny. Chování algoritmu se liší v případě vytápění krbem a vytápění plynovým kotlem. V případě vytápění krbem se při překročení teploty zóna neuzavírá, ale zůstává otevřená z důvodu prevence přetopení topného okruhu. Uživatel však dostane informaci formou notifikace na tuto skutečnost. Systém bude zaznamenávat teploty taktéž v uživatelem nastaveném intervalu. Pro vytápění místností/zón bude sloužit typ zóny – „Vytápění domácnosti“.

Ohřev a zdroj TUV

U regulace TUV je třeba sledovat více parametrů, v modelovém systému je zdrojem TUV kombinovaný bojler i plynový kotel, oba zdroje však nemohou pracovat současně, proto bude v systému zabudovaný algoritmus pro rozhodování o zdroji TUV a ohřevu TUV v bojleru elektřinou. Aby byl zajištěn komfort v domácnosti při využívání TUV je třeba, aby teplota TUV na výstupu umyvadla, vany či sprchy měla nejméně 40°C, dle starší normy ČSN EN 15316-3, podle novější ČSN EN 806-2 by pak voda vytékající z kohoutku měla do 30 sekund po otevření dosáhnout teploty 50-55°C. Vyšší teplota je důležitá i kvůli zamezení tvorby bakterie legionella, která se množí při teplotách od 20 do 45 °C a při nedostatečné cirkulaci vody. V případě rekreačních objektů, které mohou být delší dobu nevyužívané, je třeba zohlednit i tuto skutečnost a udržovat teplotu vody mimo tento rozsah, případně provést termickou dezinfekci spočívající ve zvýšení teploty nad 70°C pod dobu 3-10minut a poté zajistit cirkulaci TUV v celé oběhu [8]. Pro regulaci bude sloužit typ zóny – „Ohřev vody“, a pro zdroj vody typ – „Zdroj vody“.

Pro zajištění uživatelského komfortu bude systém pravidelně kontrolovat teplotu vody a porovnávat ji s uživatelem nastavenou hodnotou, v případě poklesu pod nastavenou hranici, dojde k přepnutí zdroje na plynový kotel, který zajistí dodávku TUV. V případě vystoupaní teploty nad hranici se zdroj přepne zpět na bojler. Tento algoritmus reprezentuje diagram 5.4.



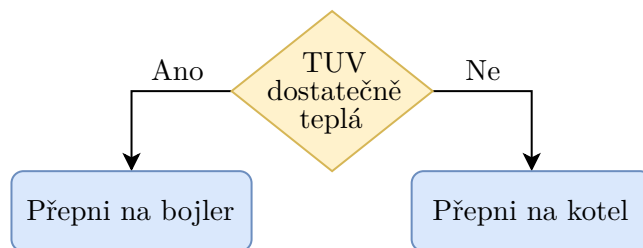
Obrázek 5.3: Diagram vytápění topného systému v objektu.

Aby se dosáhlo co nejefektivnějšího ohřevu TUV, bude algoritmus, na diagramu 5.5, průběžně kontrolovat parametry vytápění topné vody. V případě že je TUV dostatečně ohřátá, vypíná se ohřev a algoritmus končí. V případě že je potřeba vodu ohřát, jako první parametr se kontroluje stav vytápění krbem, pokud se využívá, ohřev proběhne pomocí vody v topném okruhu, algoritmus končí. Pokud se krbem nevytápí, kontroluje se, zdali aktuálně nevytápí plynový kotel, a docházelo by tak i k výhřevu TUV stejně jak v případě vytápění krbem, pokud ani plynový kotel není zapnutý, kontroluje se jestli uživatel nezakázal možnost vytápění elektřinou. To může uživatel zakázat například z důvodu vyšší nákladnosti.

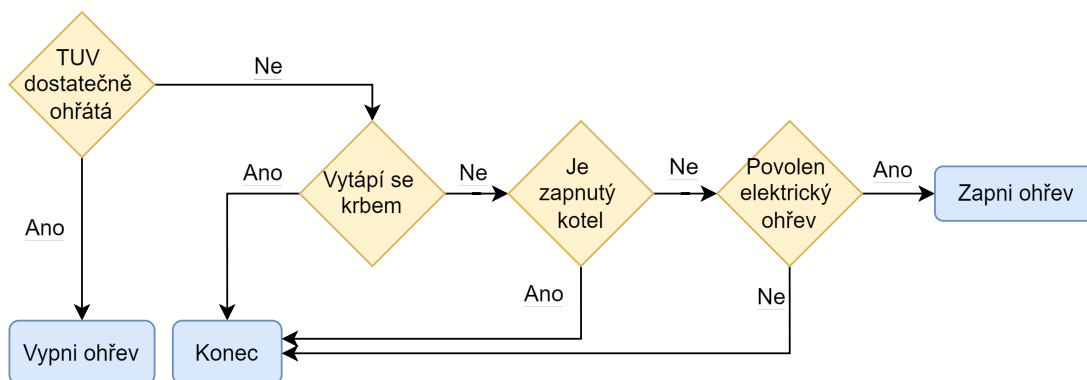
5.5 Elektrické zapojení

Propojujícím prvkem celého systému bude elektrický rozvaděč, který bude obsahovat jištění a napájení celého elektrického okruhu. Rozvaděč bude modulární s montáží na povrch, aby byla možná manipulace a rozšiřitelnost do budoucna.

Rozvaděč musí obsahovat vše potřebné pro ovládání systému, tedy hlavní kontroler s jeho zdrojem. Zdroj musí dle specifikace Raspberry Pi poskytovat napětí 5V a minimální proud 3A. Dále relé moduly pro připojení jednotlivých zařízení jako jsou elektrické kulové ventily či kotel. Rozvaděč by měl obsahovat lištu DIN. Na tu lze připevnit jističe, zdroj, či další zařízení podporující tento úchyt. Dá se tedy využít i pro uchycení modulů a kontroleru. Moduly ani kontroler však tyto úchyty nativně nepodporují, bude tedy využito držáků



Obrázek 5.4: Diagram přepínání zdroje TUV.



Obrázek 5.5: Diagram výhřevu TUV.

vytvořených pomocí 3D tisku. Na ty lze komponenty umístit bezpečně tak, aby držely na svém místě a nebylo nutné řešit jiný způsob montáže.

Jak vyplývá z analýzy, rozvaděč musí obsahovat i možnost manuální kontroly nad systémem, proto bude na přední straně přepínač pro zvolení automatického/manuálního režimu, a příslušné manuální spínače pro jednotlivá relé, kotel a přívod elektrické energie do bojleru. Náskres zapojení na obrázku 5.6.

5.6 Uživatelské rozhraní

Jak vyplývá z analýzy požadavků na systém, celé ovládání regulace musí být přirozeně intuitivní a ovládání by měl zvládnout i člověk neznalý procesů na pozadí. Uživatelské rozhraní musí být použitelné na počítači i mobilních zařízeních, tím pádem musí být responzivní. Je vhodné přemýšlet o využití PWA², která umožňuje provozovat aplikaci ve webovém prohlížeči a na mobilních zařízeních ji lze „nainstalovat“ prostřednictvím prohlížeče. Pro designování rozhraní bylo využito online nástroje Figma³. Návrh designu v tomto nástroji je na obrázku 5.7.

Uživatelské rozhraní bude obsahovat postranní panel s navigací, panel bude mít podobu zmenšenou kdy budou vidět pouze ikony a podobu rozšířenou kdy se částečně skryje pohled na data, a bude vidět navigace včetně názvů.

Uživatel v prvním kroku musí přidat zařízení do systému, senzory a relé. Pro tyto účely bude sloužit stránka „Zařízení“, pro zóny to bude stránka „Zóny“. Přehledy připojených zařízení a zón budou realizovány formou „karet“ z frameworku Vuetify. Na nich bude vidět

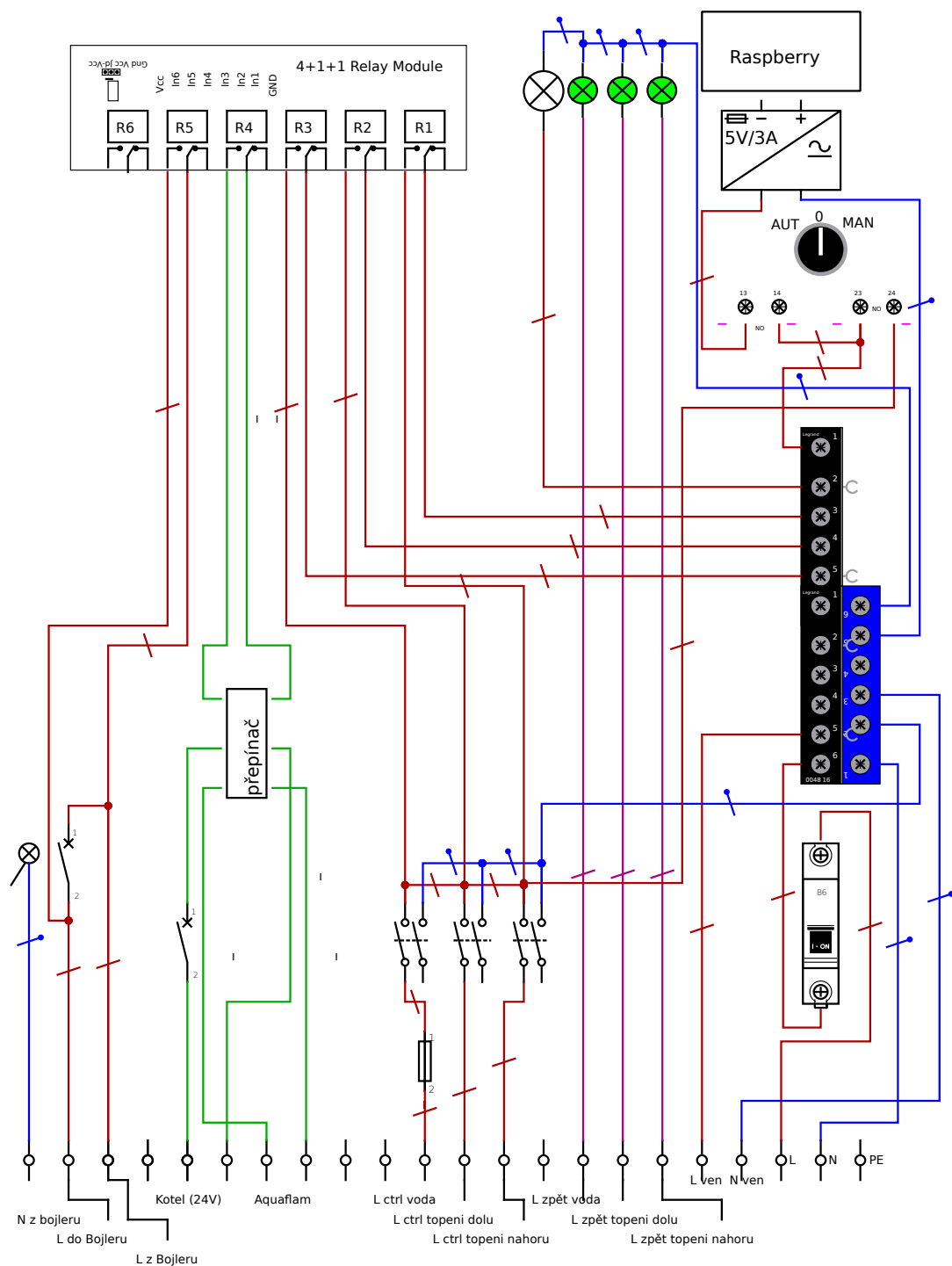
²Progresivní webová aplikace

³<https://www.figma.com/>

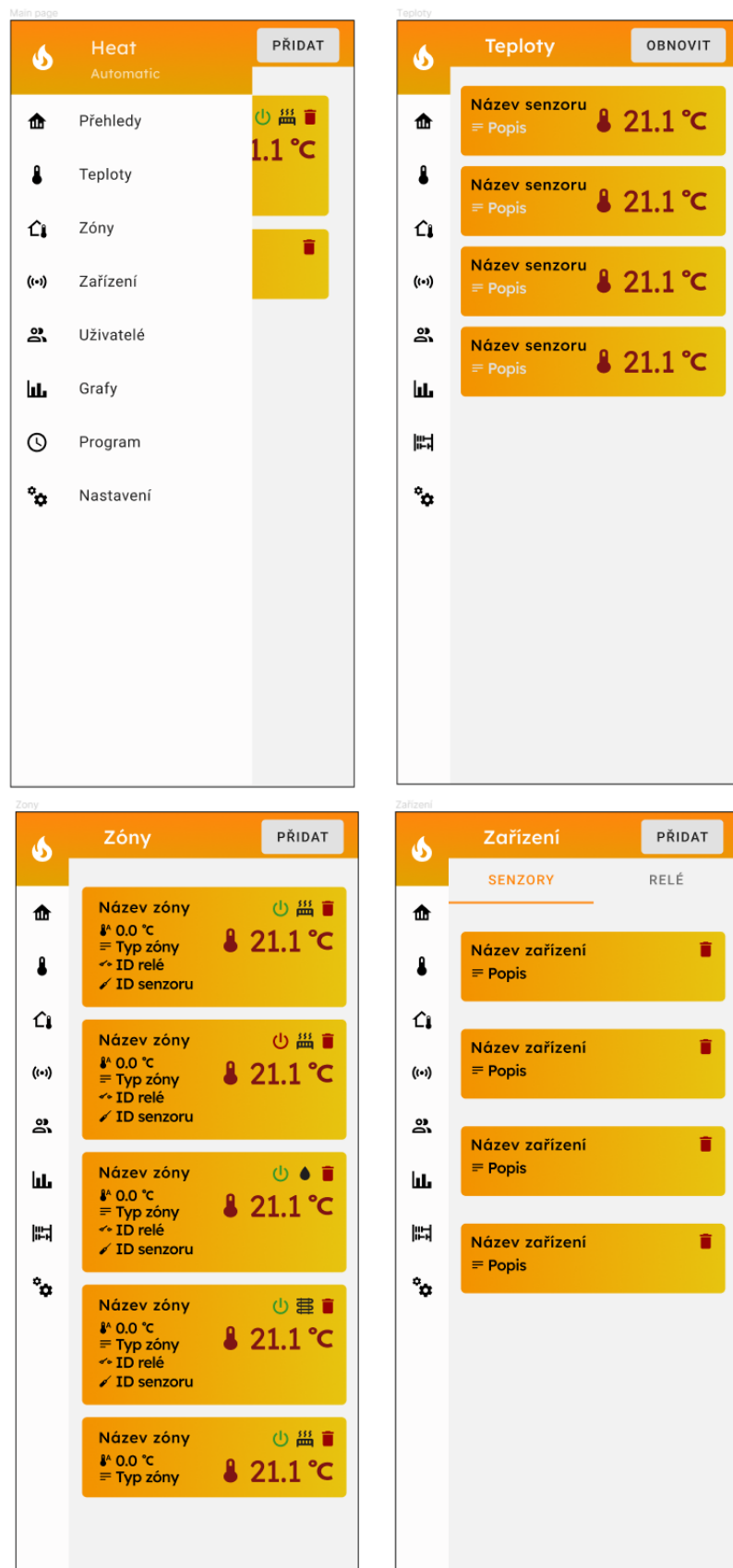
základní přehled informací jako je název zařízení a jeho popis, bude také možné pomocí ikony koše toto zařízení vymazat. U zón bude navíc možnost kliknutím na ikonu zónu vypnout, a dle typu zóny se bude měnit ikona typu zóny. Po kliknutí kartu se zobrazí dialogové okno zobrazující podrobnosti o daném zařízení/zóně ve formě editovatelného formuláře, kde bude rovnou možnost měnit data.

Další stránky:

- „Program“ – bude poskytovat přehled o aktuálním programu pro každou zónu, zároveň se na ní bude dát program nastavit/aktualizovat/smazat.
- „Přehledy“ a „Teploty“ – budou sloužit pro přehled aktuálního stavu systému a aktuálně měřených teplot pomocí všech teplotních senzorů připojených k systému.
- „Grafy“ – přehled naměřených teplot pro danou zónu/senzor.
- „Uživatelé“ – přehled a možnost vytvoření uživatelů.
- „Nastavení“ – stránka pro nastavování parametrů systému jako jsou intervaly měření, nebo odesílání upozornění.



Obrázek 5.6: Návrh schéma elektrického zapojení pro 2 zóny, plynový kotel a Aquaflam.



Obrázek 5.7: Návrh uživatelského rozhraní vytvořený v nástroji Figma.

Kapitola 6

Implementace systému

V této kapitole popisují implementaci aplikace na základě poznatků z návrhu v předchozí kapitole 5. Hlavním kontrolerem a jádrem celého ovládání bude kontroler RaspberryPi 4B. Pro operační systém tohoto kontroleru jsem zvolil linuxovou distribuci od výrobce kontroleru a to *Raspberry Pi OS*. Tento operační systém poskytuje všechny výhody Linuxu, a pro tento projekt hlavně možnost jednoduché instalace databázového MySQL a webového Apache serveru, případně dockeru. Níže dále popisují použité technologie pro vývoj a postup při instalaci softwarové i hardwarové části. Na začátek je zde upřesnění jednotlivých pojmů používaných v této kapitole.

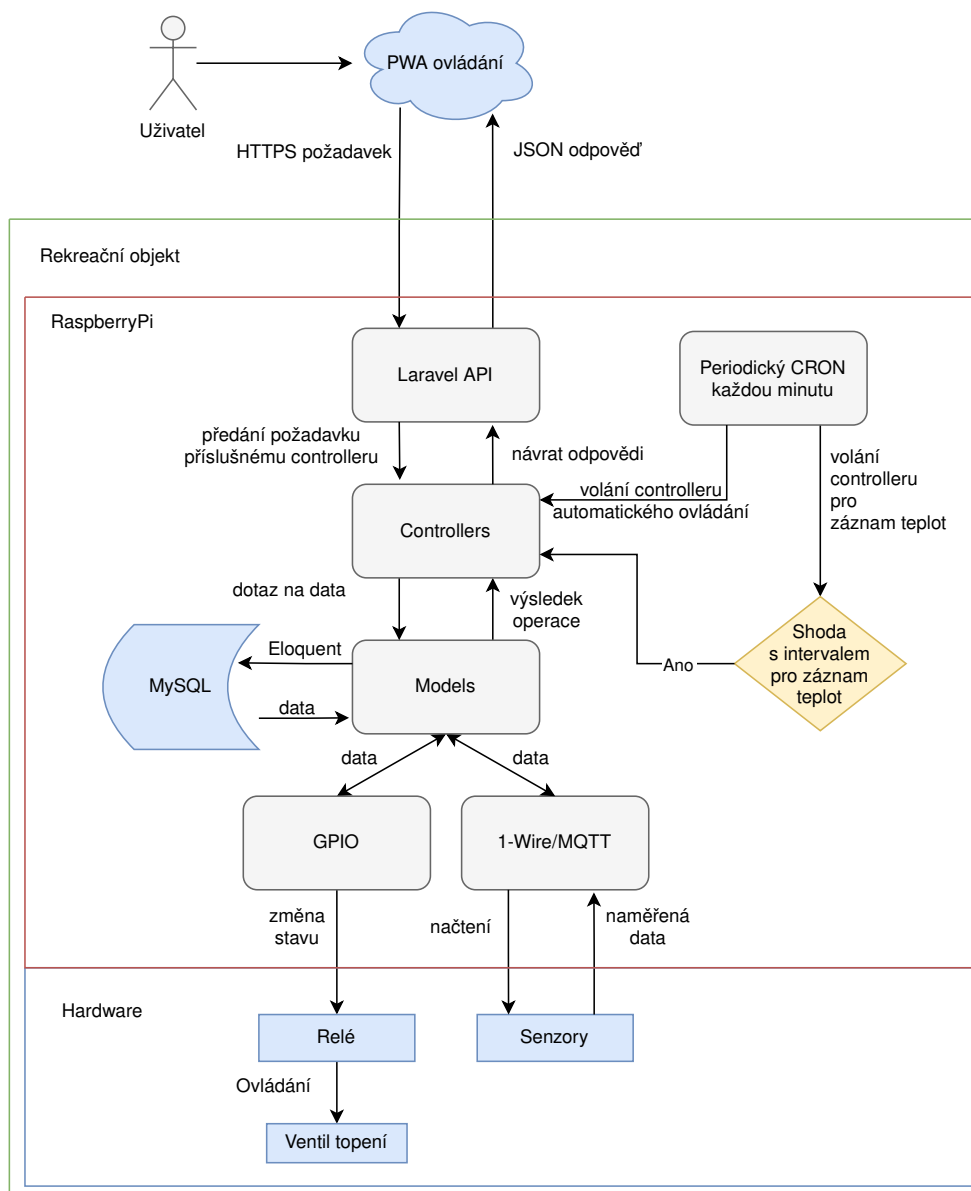
6.1 Technologie a architektura

Pro tuto aplikaci byly zvoleny programovací jazyky PHP 8.1 a JavaScript. PHP slouží pro serverovou aplikaci jako REST API, pro zjednodušení práce a zobecnění řešení jsem využil framework (česky *rámec*) Laravel 10, jedná se o MVC architekturu, tedy „Model - View - Controller“, v tomto případě však odpadá „View“, který zobrazuje údaje uživateli, nahrazuje jej REST API a namísto něj je zde PWA (zkratka „*progresivní webová aplikace*“).

Po zavolání na API je požadavek přeměrován na soubor *index.php* v adresáři *public*, kde se pomocí *autoload.php* načtou potřebné balíčky a funkce frameworku. Všechny požadavky dále musí směřovat na správné routes (česky „*cesty*“), které jsou definovány v souboru *api.php* včetně povolených HTTP metod, zde využívám metody POST, GET, PUT, DELETE. Pro každou cestu je definováno jaký controller a funkce má obsloužit daný požadavek. Controller (česky *řadič*) zpracovává příchozí požadavky na REST API. Obsahuje aplikační logiku a komunikuje s datovou vrstvou tzv. Modely. Všechny dostupné controllery jsou uloženy ve složce *app/Http/Controllers*. Modely uložené ve složce *app/Models* zpracovávají komunikaci s databází, pro tento účel Laravel poskytuje i ORM (zkratka pro *objektově relační mapování*) Eloquent pro zjednodušení práce s databázemi. V této aplikaci navíc pracují s daty ze senzorů a ovládají relé. Laravel obsahuje navíc middleware pro autentizaci a autorizaci uživatelů komunikujících skrze REST API.

Pro uživatelskou část aplikace jsem zvolil jazyk JavaScript a jeho framework Vue.js, který jsem doplnil o rozšiřující knihovny poskytující router, hotové komponenty, práci s lokálním úložištěm a celkově zjednodušují programování aplikace, více níže v podsececi 6.4.

Pro lepší přehled o celé architektuře byl vytvořen diagram 6.1, který graficky znázorňuje propojení a komunikaci mezi jednotlivými částmi systému. Na tomto diagramu je patrné, jak uživatel interaguje s PWA prostřednictvím ovládacích prvků. Dále PWA navazuje ko-



Obrázek 6.1: Diagram implementace architektury aplikace

munikaci s REST API prostřednictvím HTTP požadavku, který slouží k získání informací o systému. V případě získávání dat se primárně využívá metoda GET. Jak bylo zmíněno výše, požadavek je směrován na *index.php*, kde dochází k načtení frameworku. Poté se ověřuje, zda cesta, na kterou byl požadavek zaslán, existuje, a zda se shoduje s HTTP metodou volání. Pokud ano, požadavek je předán příslušnému controlleru. V případě neshody cesty nebo protokolu je vrácena chybová zpráva. V závislosti na typu požadavku jsou volány další controllery či modely, dochází k zpracování dat a výsledná data jsou uživateli vrácena ve formátu JSON spolu s hlavičkou HTTP Response. Dalšími metodami jsou PUT pro aktualizaci dat, DELETE pro vymazání dat z databáze a POST pro spouštění funkcí a případně i získu dat.

Dalším prvkem běžícím na pozadí serverové aplikace je naplánovaný skript uložený v souboru `app/Console/Kernel.php`, který každou minutu provádí kontrolu nastavení automatického vytápění a volá příslušné funkce pro automatizaci z `AutoHeatingController.php`, který zajišťuje celou automatizaci. Pokud se shoduje s uživatelsky nastaveným intervalem, jsou aktuální teploty navíc uloženy do databáze.

6.2 Doplnění pojmů

Oproti návrhu došlo k doplnění jednotlivých pojmů z kapitoly 5.1 o další názvy. Zde je výčet přidáných pojmů do systému.

- Parametr zóny „automatické vytápění“ – určuje, zdali zónu ovládá automatika, či je odstavena a je ovládána manuálně.
- Parametr „ovládání kotle“ – tento parametr slouží u relé pro deklaraci, že toto relé ovládá zdroj tepla, v tomto případě plynový kotel a v sepnutém stavu jej zapíná.
- Parametr „sepnout při topení krbem“ – parametr slouží u relé pro deklaraci, že se toto relé má sepnout vždy, pokud se aktuálně využívá krbová vložka pro vytápění.
- Parametr „Senzor topné vody“ – parametr udává, že daný senzor indikuje teplotu topné vody v okruhu.
- Parametr „Senzor tepelné ochrany“ – parametr udává, že daný senzor indikuje teplotu, po jejím překročení bude aktivována tepelná ochrana.
- Módy vytápění – určují aktuální algoritmus pro vytápění zón, dostupné módy jsou – Plynový kotel, Krbová vložka, Kombinované, Vypnuto.

6.3 Serverová a hardwarová část

Tato sekce se zabývá funkcemi serverové a hardwarové části, postupně popíši všechny stavy a funkce této části systému.

Jak je popsáno výše v části 6.1, serverová část poskytuje informace uživatelské části pomocí REST API a ovládá hardware zařízení. Autorizace uživatele probíhá na základě Bearer tokenu, který je mu přidělen po úspěšné autentizaci přihlášením. Pokud serveru přijde požadavek na zapsání nebo aktualizaci dat, je vždy provedena kontrola správnosti přijatých parametrů, a to i přesto, že kontrola probíhá již v uživatelské části. V případě neúspěchu ověření je navrácen stavový kód 403 a požadavek je tímto zamítnut. Uživatel typicky mění parametry „zón“ jako je například nastavená teplota, či přiřazená zařízení, více o workflow je v části 6.4.1. Pro serverovou část je také vygenerována dokumentace pomocí nástroje phpDocumentor¹, ve složce docs popisující jednotlivé třídy, funkce a metody.

Pro serverovou část ovládání GPIO pinů jsem zvolil volně dostupnou knihovnu pro PHP a to PiPHP² poskytující rozhraní pro zobrazení a ovládání stavu GPIO. Další využitou knihovnou pro získávání dat z teplotních čidel Dallas DS18B20 na sběrnici 1-Wire je

¹<https://www.phpdoc.org/>

²<https://github.com/PiPHP/GPIO>

stejnoujmenná knihovna také volně dostupná na GitHub³ obě knihovny jsou dostupné pod licencí Expat, někdy také nazývanou MIT⁴.

6.3.1 Databáze

Serverová část uchovává data o všech stavech systému, připojených nařízeních, nastavených parametřích ovládání, aktuální stav vytápění, nastavený mód vytápění a obsluhuje automatické ovládání vytápění. Proto, jak je zmíněno výše, byla zvolena databáze MySQL. Laravel poskytuje v své ORM Eloquent, díky tomu lze tvořit zmíněné modely, každý model reprezentuje tabulku v databázi a v tomto systému i senzory a relé. Pro teplotní senzory je navíc vytvořen abstraktní model `AbstractTemperatureSensorModel.php` za účelem sjednocení implementací sběru dat z jednotlivých typů senzorů a možné rozšíření do budoucna. Aktuálně jsou implementovány senzory Dallas DS18B20 a protokol MQTT. Modely usnadňují práci s daty a odděluje tuto část od logiky aplikace dle modelu MVC. Modely také poskytují možnost vytvoření „Relationships“ (česky *vztahů*) mezi jednotlivými tabulkami a tím lze jednoduše spojovat tabulky stejně jako pomocí cizích klíčů.

Díky tomu lze jednoduše propojit typy zón z tabulky `zone_types` se zónami z tabulky `zones` a stejně tak typ zařízení z tabulky `device_types` a jednotlivá zařízení z tabulky `devices` společně s dostupným protokolem zařízení z tabulky `protocols`, nakonec mezi sebou propojit zóny a zařízení – konkrétně senzor a relé pro zónu. Všechna propojení korespondují s navrhnutým ER diagramem na obrázku 5.2. Nastavení systému jako je interval pro záznam teploty, nastavení pro tepelnou ochranu, mód provozu a další jsou uloženy v tabulce `settings`. Pro záznam dostupných módů vytápění slouží tabulka `heating_modes`. Tabulka `scheduler` ukládá data o nastaveném programu pro danou zónu, pokud program existuje. Uživatelé jsou uchovávaní v tabulce `users`. Zaznamenané teploty jsou uloženy v `temperature_logs` a záznamy o systému v tabulce `system_logs`. Databáze také obsahuje tabulky, které pro své fungování potřebuje samotný Laravel, a to tabulky pro jednotlivé migrace `migrations`, tabulku pro tokeny uživatelů `personal_access_tokens` a tabulku pro obnovení hesla uživatelů `password_reset_tokens`, poslední tabulkou pro Laravel je `failed_jobs` obsahující informace o chybách z naplánovaných událostí.

Pro vložení tabulek do databáze, využívá Laravel tzv. migrace. Migrace slouží pro správu verzí databáze, to umožňuje sdílet definici schématu databáze. Je tak možné například přidávat další kolonky do tabulky bez nutnosti zanášet informace ručně, migrace se spustí příkazem `php artisan migrate`. Aby systém mohl správně fungovat, je třeba některé tabulky po migraci naplnit výchozími daty. Mezi tato data patří typy zón, zařízení, dostupné protokoly a módy vytápění, nastavení, a také uživatel s administrátorskými právy, aby bylo možné první přihlášení do systému. Pro naplnění databáze daty slouží v Laravelu „Seeder“ (česky *semínkovač*), ten naplní databázi daty uloženými v jednotlivých souborech pro každou tabulku ve složce `database/seeds`. Seedování databáze se spouští příkazem `php artisan db:seed`. Pro provedení těchto příkazů je nutné mít správně nastavené připojení k databázi v souboru `.env`.

6.3.2 Algoritmy automatického ovládání

V této podsekcí se zabývám jednotlivými algoritmy ovládající automatické vytápění, ohřev vody a obecné zóny. Každý algoritmus je něčím specifický a některé části algoritmu jsou

³<https://github.com/azolee/ds18b20>

⁴<https://directory.fsf.org/wiki/License:Expat>

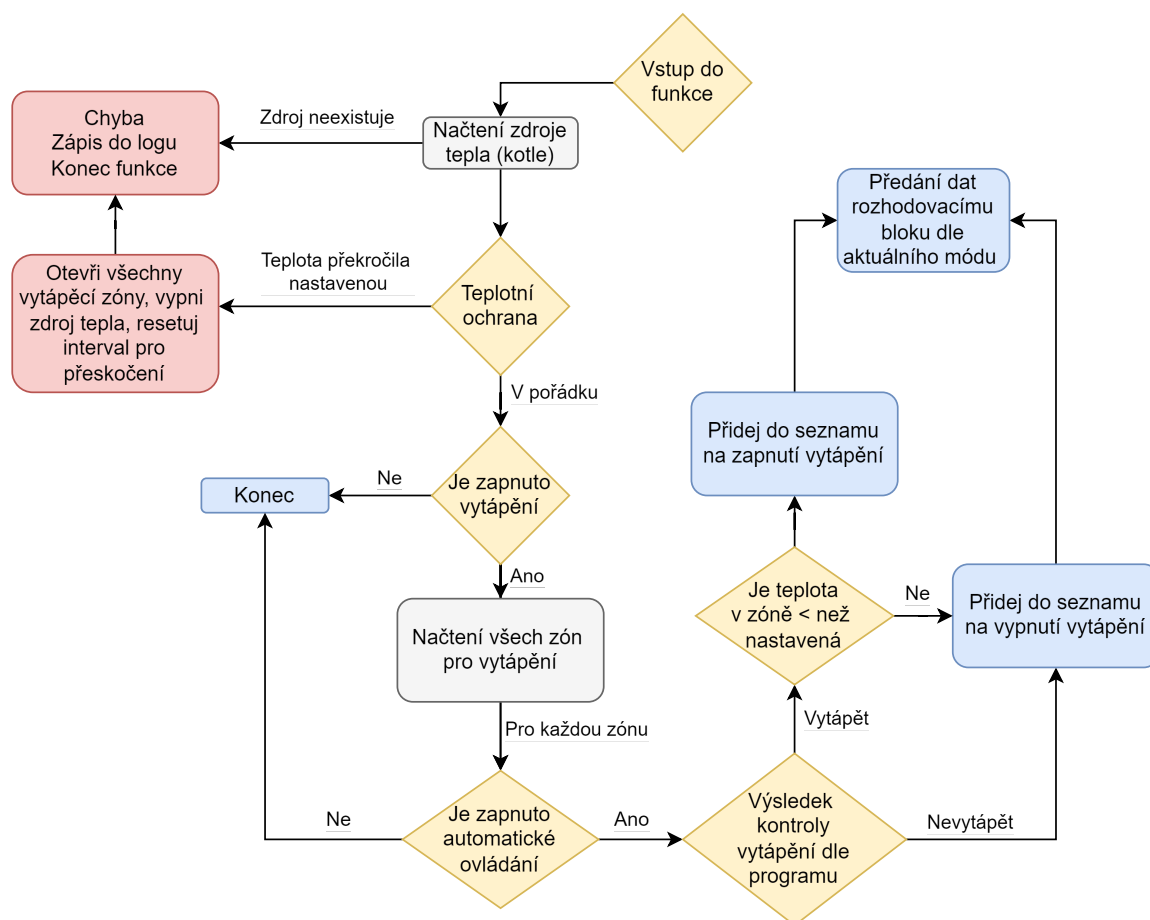
pro přehlednost a vícenásobné využití rozděleny do jednotlivých funkcí. Všechny algoritmy jsou naplánovány každou minutu.

Hlavním algoritmem celého systému je algoritmus pro vytápění jednotlivých zón s typem „zóna pro vytápění“, tyto zóny reprezentují vytápění prostoru radiátory. První část algoritmu je zobrazena na obrázku 6.2 Algoritmus se po vstupu do funkce načítá zdroj tepla, tedy relé s parametrem „ovládání kotle“. Pokud toto relé nenalezne, algoritmus končí chybou. V případě úspěchu pokračuje načtením čidla pro tepelnou ochranu, pokud existuje, načte jeho teplotu a v případě, že je teplota vyšší než nastavená pro tepelnou ochranu. Otevře všechny zóny pomocí jejich přiřazených relé, čímž by se měla teplota v okruhu snížit. Tato situace je zaznamenána do systémového logu a algoritmus končí. Pokud již teplota klesla, či byla nižší než nastavená, kontroluje algoritmus, zdali je mód vytápění nastavený na „Vypnuto“, pokud ano, algoritmus končí. Pokud je zapnutý jiný mód vytápění algoritmus pokračuje načtením všech dostupných zón pro vytápění. Pro každou z nich pomocí `foreach` zkontroluje zdali se má zóna ovládat automaticky, pokud ne, přeskakuje ji a pokračuje na další. Pokud je automatické ovládání zapnuto kontroluje se, zdali má zóna zapnuté využívání programu, a pokud ano, zdali podle něj má aktuálně být zóna vytápění, či nikoliv. Pokud se zóna vytápět nemá, je přidána do seznamu zón pro vypnutí vytápění, pokud má být vytápěna, přistoupí se ke kontrole teploty ze senzoru, který má přiřazený. Pokud je teplota vyšší než nastavená pro danou zónu, zóna se přidá do seznamu pro sepnutí vytápění, v opačném případě do seznamu pro vypnutí vytápění.

Po kontrole všech zón se seznamy se zónami pro vypnutí a zapnutí vytápění posouvají do algoritmu řídicího se dle aktuálního módu vytápění.

Po zjištění nového stavu jednotlivých zón pro vytápění, přechází algoritmus do fáze rozhodování dle aktuálního módu vytápění, ten lze vidět na obrázku 6.3. V první fázi algoritmus zjistí aktuálně nastavený mód. Pokud se jedná o mód „Krbová vložka“, otevře všechna relé s parametrem „otevřít při vytápění krbem“ a algoritmus končí, zároveň se odblokuje možnost manuálního ovládání jednotlivých relé.

Pokud je mód provozu „kombinovaný“, systém automaticky vyhodnocuje situaci dle aktuální teploty vody v topném okruhu. Tento mód je navržen pro udržování teploty v rekreačním objektu i po vyhasnutí ohně v krbové vložce. Jedná se primárně o situaci, kdy přes den uživatelé objektu topí dřevem či jiným tuhým palivem, avšak přes noc by byla nutnost vstávat a doplňovat palivo pro spalování. V opačném případě palivo vyhoří a teplota v topném okruhu postupně klesá. To však nestačí na stálé vytápění v průběhu celé noci. Aby byla udržena teplota v objektu i přes noc, střídá se vytápění krbovou vložkou a plynovým kotlem a to na základě nastavené teploty v nastavení systému. Pokud je teplota v okruhu větší než nastavená, systém vyhodnotí, že se vytápí krbovou vložkou a přejde na tento algoritmus. Pokud je teplota menší, vyhodnotí že oheň vyhasl a je tedy třeba použít pro vytápění algoritmus pro plynový kotel. Výhodou tohoto režimu je udržování teploty v objektu i po vyhasnutí, nevýhodou je, že systém pracuje pouze s teplotou v topném okruhu, což znamená, že pokud bude teplota pro vyhodnocení menší než výstupní teplota kotle a senzor bude blízko zdroje, docházelo by ke špatnému vyhodnocení, že se topí opět krbovou vložkou a v důsledku toho by se každý cyklus střídavě vypínal a zapínal kotel. To je nežádoucí z důvodu krátkých intervalů vytápění a tím i případné zkrácení životnosti kotle. Zároveň však nastavená teplota musí být menší než výstup z krbové vložky. Vzhledem k tomu že je tato hranice většinou velmi blízká, je do systému přidán interval, po který je ignorována teplota v okruhu po přepnutí na vytápění kotlem, a tím se předejde

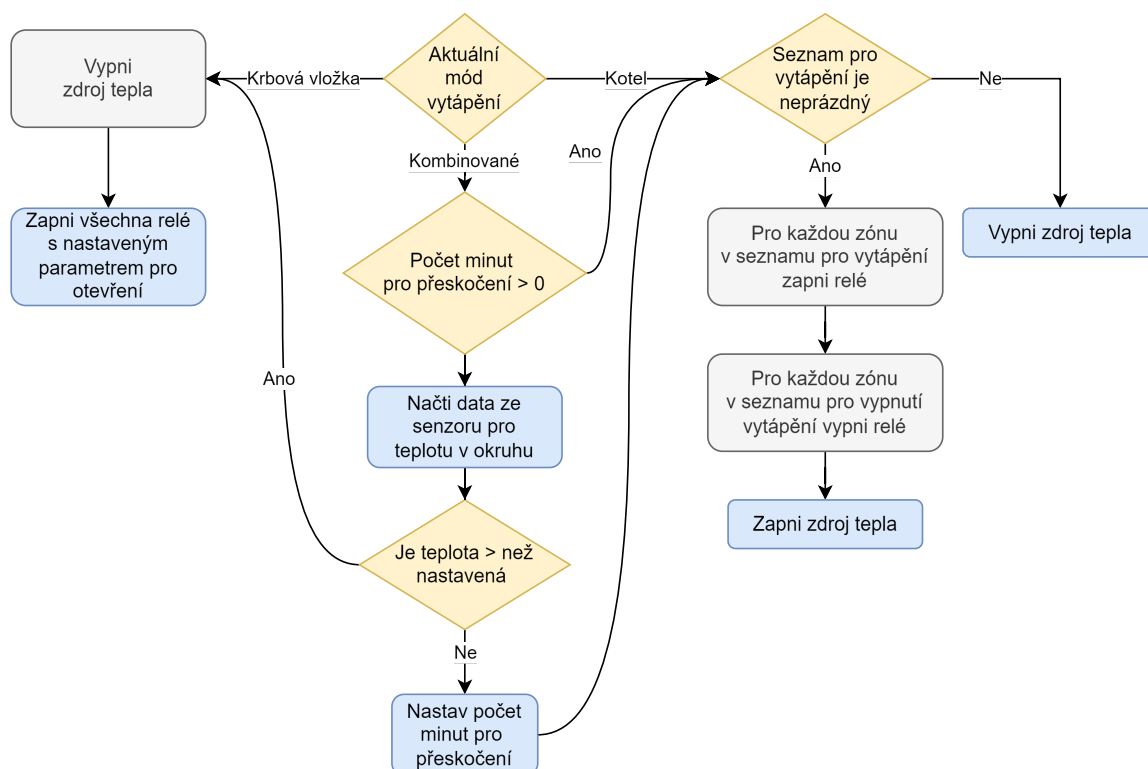


Obrázek 6.2: Diagram algoritmu pro automatické ovládání zóny pro vytápění.

nežádoucím zacyklením. Pokud by se po tomto intervalu začalo aktivně topit křbovou vložkou a zároveň by byl i kotel v provozu, přetopení zabrání tepelná ochrana popsaná výše.

Třetím módem vytápění je mód „Plynový kotel“, ten pracuje s předanými daty ze začátku algoritmu popsáném výše, a to seznamy pro vypnutí a zapnutí vytápění a zdroj tepla. Pokud je seznam pro zapnutí vytápění neprázdný, znamená to, že alespoň jedna zóna má být vytápěna. Pro každou zónu v tomto seznamu zapni relé. Poté pro každou zónu v seznamu pro vypnutí vytápění naopak vypni relé. Nakonec se zapne zdroj tepla – plynový kotel. Pokud je seznam pro vytápění prázdný, zóny které se vytápěly naposled, zůstávají otevřené a pouze se vypne zdroj tepla – plynový kotel. Zóny zůstávají otevřené z důvodu doběhu čerpadla kotle a tím využití zbytkového tepla v systému a vychladnutí kotle.

Předposledním algoritmem týkající se automatické regulace je algoritmus pro zóny s typem „přepínač vody“ a „obecná zóna“. Tento algoritmus je na obrázku 6.4. Jedná se o nejjednodušší algoritmus z těchto tří. V první fázi algoritmus načte všechny zóny s těmito typy. Následně pro každou zónu zkontroluje zdali má zapnuté automatické ovládání, pokud ne, zóna je přeskočena a pokračuje se na další. Pokud je automatické ovládání zapnuté, kontroluje se zdali je zapnuté vytápění dle programu a případně zdali vytápění aktivní i dle programu, pokud není, vypíná se relé zóny a pokračuje se na další zónu. Pokud je zapnuté, proběhne porovnání aktuální a nastavené teploty. Pokud je teplota nižší, zapne se relé, pokud nižší, relé se vypne. Jakmile se takto zkontrolují všechny zóny, algoritmus končí. U zóny



Obrázek 6.3: Diagram algoritmu pro automatické ovládání zdroje vytápění dle nastaveného módu provozu.

pro přepínač vody se využívá třicestného ventilu, který přepíná TUV z kotle/bojleru. Je třeba ventil správně zapojit do relé, tak aby při zapnutí relé voda proudila z kotle.

Posledním algoritmem je řízení ohřevu TUV. Jedná se o podobný algoritmus jako v předchozím případě. Je však doplněn o kontrolu módu vytápění a kontrolu zdali je povolené vytápění elektřinou. Algoritmus lze vidět na obrázku 6.5.

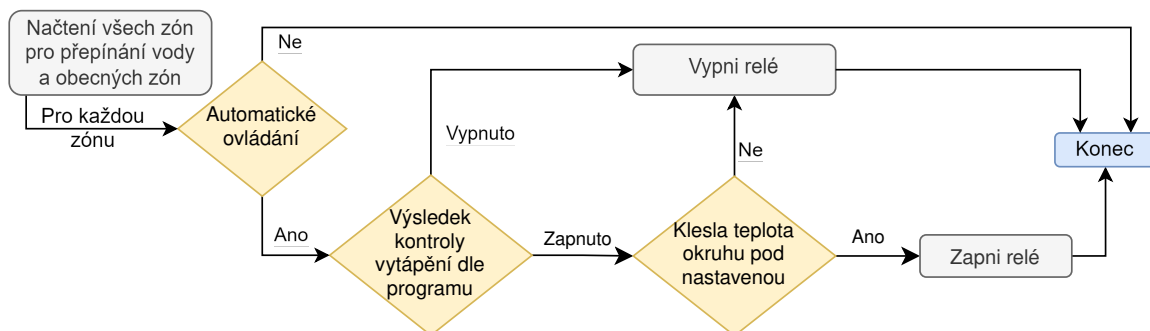
6.3.3 Hardwarové řešení

Pro lepší ilustraci zapojení je na obrázku 6.6 fotografie technické místnosti s plynovým kotlem a kombinovaným bojlerem. Na jednotlivých trubkách jsou vidět dva elektronické ventily pro vytápěcí okruh a jeden třicestný ventil pro přepínání zdroje TUV. Aby bylo možné reálné ovládání jednotlivých ventilů a kotle za pomoci relé, propojení jednotlivých senzorů pro sběr dat. Uložení hlavního kontroleru a napájení pro něj. Možnost manuálního ovládání systému v případě chyby softwaru, či nějakého čidla nebo relé. Vizuální kontrola zapnutých relé a stavu systému. Byl vyvinut elektrický rozvaděč popsáný v podsececi 6.3.3. Dále je popsáno zapojení a napájení jednotlivých ventilů v elektro instalačních krabicích a využití internetových rozvodů pro síť senzorů.

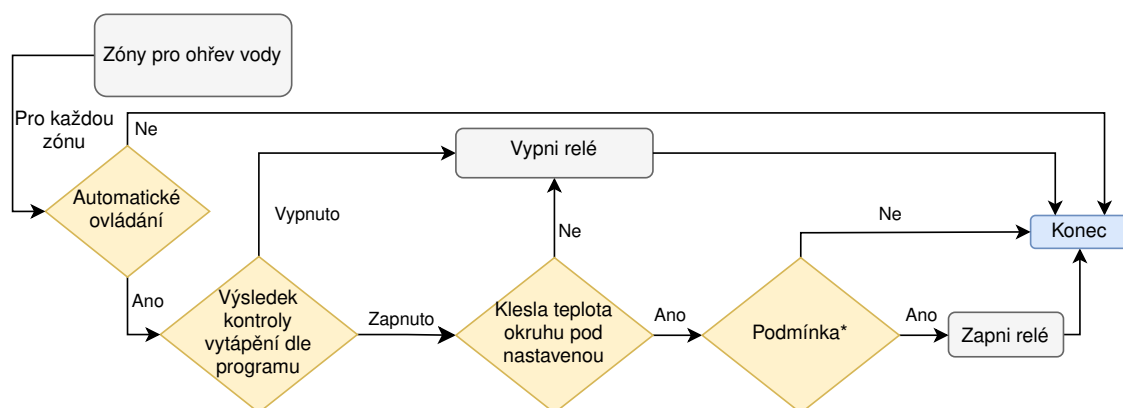
Elektrický rozvaděč

Pro umístění a propojení všech dílčích komponent byl zvolen nástěnný rozvaděč od firmy Schneider Electric, typ Mini Pragma 24M IP40 MIP12212⁵. Byl zvolen z důvodu kom-

⁵Katalogový list: <https://www.kvelektro.cz/api/products/1166084/images/0/mip12212.pdf>



Obrázek 6.4: Diagram algoritmu pro automatické ovládání ostatních zón a přepínače vody.



*((Aktuální mód vytápění je "vypnuto" || "plynový kotel") && je zapnuto vyhřívání elektřinou) && teplota vody je < než nastavená

Obrázek 6.5: Diagram algoritmu pro automatické vyhřívání TUV.

paktnosti, přenositelnosti a dostatečné velikosti, které pro jiné aplikace s větším počtem připojených relé, nebo dalších zařízení může být navýšena koupí většího rozvaděče.

Implementace rozvaděče byla uskutečněna na základě návrhu na schématu 5.6. Pohled na zapojení hlavní části je na obrázku A.3, pohled na zapojení s předtím panelem rozvaděče lze vidět na obrázku 6.8. Rozvaděč obsahuje vlevo nahoře hlavní kontroler RaspberryPi 4B s připojením pro čidla DS18B20 na protokolu 1-Wire, připojením GPIO pinů na jednotlivá relé, využil jsem jednoho relé modulu o 4 kanálech a poté dvou samostatných. Dále lze vidět připojení k internetu pomocí ethernetu a vývod HDMI pro možnost připojení monitoru. Kontroler je napájen spínaným zdrojem MEAN WELL HDR-30-5⁶ se vstupním napětím 230V schopný poskytovat 4.5-5.5V a 3A, splňující specifikace pro napájení tohoto kontroleru, lze jej vidět pod kontrolerem na DIN liště.

Celý rozvaděč je jištěný jističem Noark⁷ s charakteristikou zátěže B a maximálním proudem 6A, vpravo dole. Tímto jističem se zároveň odpojuje rozvaděč od sítě. Po zapnutí jističe je třeba zvolit otočným přepínačem mezi módy provozu, automatickým a manuálním, případně vypnuto. Při přepnutí na automatické ovládání se sepne zdroj pro kontroler a začne se spouštět kontroler automatické vytápění. V případě přepnutí na manuál, zůstává zdroj pro kontroler vypnutý a je přivedeno napájení na manuální přepínače pro každý ventil, vypínače suplují relé, které využívá automatika. Pouze vypínač pro bojler je napojená na

⁶<https://www.gme.cz/v/1507395/mean-well-hdr-30-5-spinany-zdroj-na-din-listu>

⁷<https://www.noark-electric.cz/cz/produkty/100004>

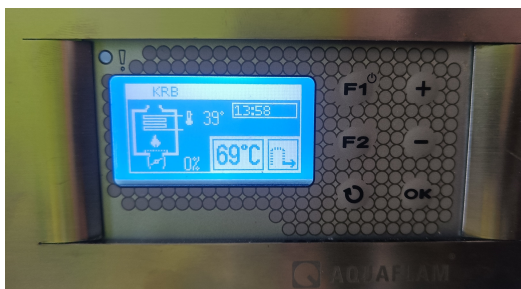


Obrázek 6.6: Pohled na plynový kotel a bojler s elektronickými ventily v technické místnosti

samostatný okruh a tak nepodléhá napájení a přepínací režimů rozvaděče. Rozvaděč má navíc namontované kontrolky signalizující otevřený stav kulových ventilů, tyto kontrolky jsou připojeny na koncové spínače ventilů, to znamená, že k jejich rozsvícení dojde až po úplném otevření ventilu. Jedná se tak o vizuální kontrolu stavu ventilu.

Pro ovládání kotle je do rozvaděče přiveden vývod z kotle, který je rozeprt vypínačem. Ten stanovuje zdali se má kotel vůbec zapínat, pro automatický režim je nutné mít tento vypínač sepnutý. Aby bylo možné kotel případně spínat pomocí systému krbové vložky *Aquaflam* na obrázku 6.7a, jsou do rozvaděče přivedeny svorky pro relé z tohoto systému. Aby nedocházelo ke kolizím v ovládání je ovládání přepínáno mezi automatikou a systémem *Aquaflam* přepínačem.

V detailu rozvaděče A.3 je vidět ve spodní části připojení jednotlivých komponent na bílé svorkovnici. Vývod ventilů a jejich napájení pomocí kabelu CYKY 4x1,5mm, ty jsou dále propojeny v instalační krabici 6.3.3. Připojení kotle pomocí kabelů s označením PE, stejně tak i svorky pro *Aquaflam*. Hlavní napájení je přivedeno vpravo na svorkovnici. Připojení pro senzory je vyvedeno pomocí UTP kabelu z GPIO nad kontrolerem, mezi



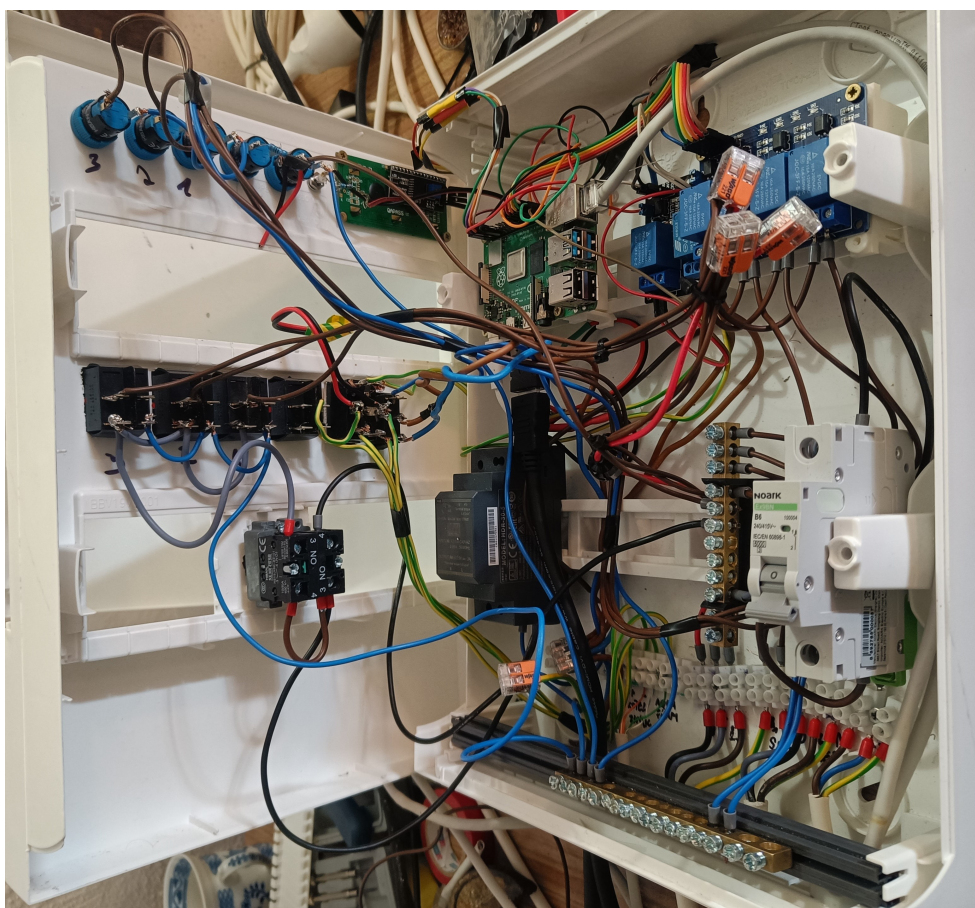
(a) Zobrazení teploty vložky



(b) Zobrazení čerpadel a teploty bojleru

Obrázek 6.7: Ovládání Aquaflam instalované v rekreačním objektu.

vývod a kontroler je navíc vsazená černá destička s připojeným pull-up rezistorem pro čidla DS18B20. Fáze jsou připojeny k relé přes svorkovnici L, všechny N jsou připojeny na svorkovnici N ve spodní části rozvaděče.



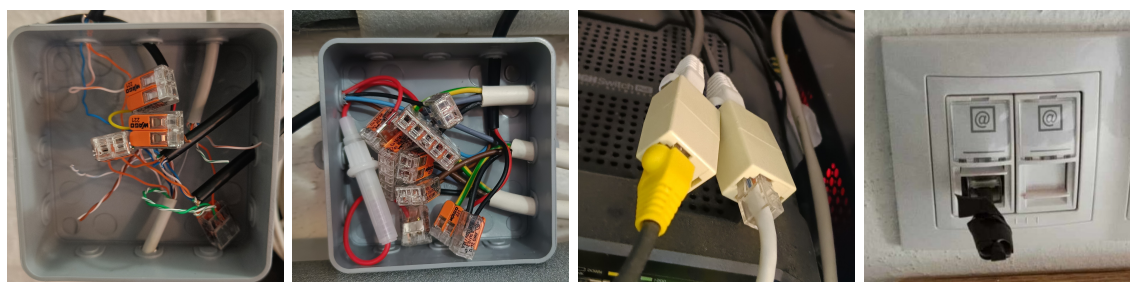
Obrázek 6.8: Detail elektrického zapojení rozvaděče s pohledem na přední panel.

Výsledný zakrytovaný a spuštěný rozvaděč je vyfocen na obrázcích [A.2](#) a [A.1](#) v příloze [A](#).

Připojení ventilů a senzorů

Na obrázku 6.9b lze vidět propojení jednotlivých vstupů pro ventily s výstupy z rozvaděče na místě instalace. Krabice navíc obsahuje pojistku v pouzdře o jistišti 1A pro třífázový ventil ovládaný zdrojem TUV. Pojistka je nainstalována z důvodu předepsání výrobcem v instalačním manuálu [38]. Pro propojení jsem využil WAGO⁸ svorky pro jejich jednoduché použití.

Na druhém obrázku 6.9a je vidět propojení jednotlivých senzorů, finální zapojení senzorů je provedeno v topologii „hvězda“. Pro připojení jsou využity opět WAGO svorky a jako vodič kabely UTP. Tyto kabely jsou využity z důvodu možnosti napojení na internetové rozvody v domě, kdy na druhém konci kabelu je propojka typu samice-samice umožňující jednoduché zapojení do příslušné zásuvky,



(a) Krabice s připojením čidel. (b) Krabice s připojením ventilů. (c) Krabice s připojením ventilů. (d) Čidlo DS18B20 připojeno do internetové zásuvky

Obrázek 6.9: Elektrické zapojení krabic a propojení senzorů.

ESP-01(S) moduly

Pro sběr teplot z méně dostupných míst jsem využil ESP01 a ESP01/s společně se senzory DS18B20 a DHT22 namontovaných v modulech. Tyto moduly poskytují navíc připojení pro zdroj napájení a to v rozsahu 3.7 – 9V, díky tomu lze moduly napájet celou řadou baterií, případně pomocí adaptérů pro nabíjení telefonů, poskytující 5V, či jiný 5V zdroj. Zapojení lze vidět na obrázku 6.10. Pro vývoj jsem využil prostředí Arduino IDE. Pro zjednodušení vývoje jsem opět využil knihoven, a to knihovny EspMQTTClient⁹ pro MQTT komunikaci, DHT¹⁰ knihovnu pro sběr dat ze senzoru DHT22, a knihovny ArduinoJson.h, OneWire.h a DallasTemperature.h, všechny knihovny je možné nainstalovat z ArduinoIDE prostředí.

Konfigurace ESP se provádí před nahráním souboru do kontroleru, soubor mqtt_esp.ino je uložen ve složce ESP v serverové části. V tomto souboru je třeba nakonfigurovat typ senzoru, na výběr je mezi DS18B20, DHT22, DHT11 a DHT21. Mezi typy DS18B20 a DHT je nutné přepnout pomocí proměnné mode, pokud je nastavena na 0, ESP využije čidla DS18B20, pokud je nastavena na 1 ESP počítá s využitím senzorů DHT. Dále je třeba nakonfigurovat připojení k síti Wi-Fi zadáním SSID sítě a případně hesla, poté adresu MQTT serveru, případně jméno a heslo pro přihlášení, a pokud běží serveru na jiném, než standardním portu 1883, tak i port. Pro identifikaci jednotlivých ESP slouží proměnná

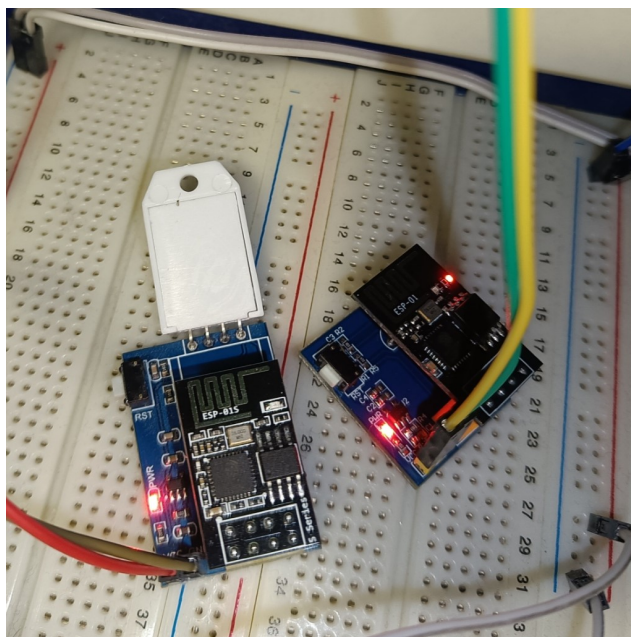
⁸<https://www.wago.com/cz/>

⁹<https://github.com/plapointe6/EspMQTTClient/tree/master>

¹⁰<https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library/tree/master>

MQTTId, která kontroler identifikuje, toto MQTTId se poté vkládá i do uživatelského rozhraní při přidávání jednotlivých zařízení.

Po nahrání kódu a zapnutí se kontroler pokusí připojit k Wi-Fi, pokud uspěje, pokračuje navázáním spojení s MQTT serverem. Pokud vše proběhne úspěšně, čeká na přijetí zprávy `temperature/get/{MQTTId}` případně `list/get`. Po přijetí zprávy pro získání teplot, provede dle módu čtení ze senzoru a převede data do formátu JSON, tato data publikuje pod téma `temperature/read/{id}`. V druhém případě publikuje na téma `list/read/{MQTTId}` a jako zprávu uvede také své MQTTId.



Obrázek 6.10: Detail zapojení ESP modulů s čidly.

6.4 Uživatelská část a funkce systému

U implementace uživatelské části byl kladen důraz na responzivitu a tím použitelnost ve všech typech zařízení. Pro zvýšení použitelnosti jsem využil možnosti PWA aplikace, kterou lze jednoduše nainstalovat do zařízení a spouštět ji skrze webový prohlížeč. Pro zjednodušení vytváření uživatelského rozhraní jsem využil framework Vue.js, který jsem doplnil o rozšiřující JavaScriptové knihovny a to:

- Vue-router – knihovna poskytující router pro směrování, navigaci mezi jednotlivými stránkami a komponentami a autentizaci uživatelů.
- Vuetify.js – knihovna obsahující hotové komponenty uživatelského rozhraní založené na Material Design Lite. Díky tomu lze ušetřit čas využitím a případně upravením těchto komponent. Knihovna obsahuje například hotové karty, tlačítka, tabulky i celá roložení stránek, jedná se tak o efektivní nástroj pro zjednodušení vývoje frontendové části aplikace.
- Pinia.js – knihovna pro lokální ukládání dat, za účelem předejití opakovaných volání na API pro stejná data, a tím snížení náročnosti na internetové připojení. Využití

tohoto způsobu zrychluje načítání již jednou načtených stránek právě díky absenci duplicitního volání a použití uložených dat. Tato data je třeba kontrolovat zdali jsou stále aktuální, proto je třeba při změně dat ovlivněnou část načíst znovu.

- Axios – knihovna poskytující rozhraní pro asynchronní komunikaci se serverovou částí – REST API.
- VitePWA – knihovna poskytující rozhraní po vytvoření PWA, díky Zero-config instalaci je tak možné celou aplikaci převést jednoduše do formátu PWA, bez nutnosti dalších změn a konfigurací.

Uživatelské rozhraní se skládá z 11 samostatných stran. A to „Přehledy“, „Teploty“, „Zóny“, „Zařízení“, „Program“, „Manuál“, „Grafy“, „Systém logy“, „Teplotní logy“, „Uživatelé“ a „Nastavení“. Funkce každé této podstrany jsou popsány níže.

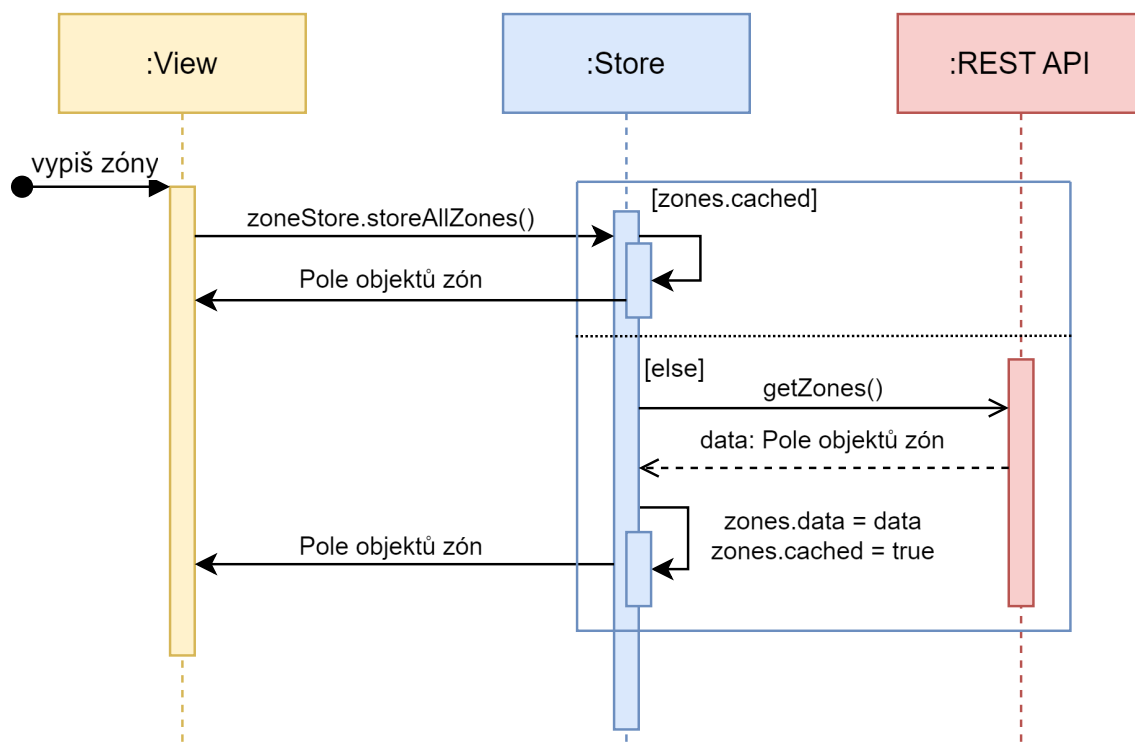
Pro směrování mezi stránkami je využit Vue-router, který zároveň má pro každou cestu definováno jaké role mohou na tyto stránky přistupovat, zatím je využito pouze rolí „admin“ a „user“. Role i zdali je uživatel přihlášený, se kontroluje před každým přesměrováním. Dále má každá cesta přiřazené *name* a *url*. Pro navigaci mezi jednotlivými stránkami je vlevo umístěna navigační lišta. Ta se na počítači zobrazuje v celé velikosti, v mobilním zařízení se zobrazuje zmenšená verze, kde lze vidět pouze ikony, ale je možné ji tlačítkem zvětšit na plnou velikost.

Pro získávání dat je využito knihovny Axios.js. Adresa API serveru je uložena v souboru `.env` pod proměnnou `VITE_BACKEND_URL`. Tuto adresu je třeba upravit před spuštěním příkazu `npm run build` pro vystavění aplikace pro produkci. Speciální funkcí je zde konverze konvencí názvů objektů, či klíčů. A to z důvodu využívání konvence *camelCase* v uživatelské části a konvence *snake_case* na straně serveru. Při přijetí nebo před odesláním dat se vždy tyto konvence zkonvertují. Všechny soubory obsahující API volání jsou uložena ve složce `src/api`, kde jsou uložena do souborů s názvy dle jejich obsahu. Do nastavení axiosu jsou navíc povoleny parametry `defaults.withCredentials` a `defaults.withXSRFToken` a to z důvodu požadavků ze strany serveru, konkrétně nastavení Laravelu.

Pro ukládání dat na straně klienta se využívá lokálního úložiště (angl. *local storage*), do tohoto úložiště se ukládají informace o uživateli, jeho token pro komunikaci s API, a preference uživatelského rozhraní. Jako například zvolený světlý/tmavý mód, nebo zobrazení detailních informací u zón.

Další ukládání dat jako jsou zóny, zařízení, typy zařízení, protokoly, typy zón a další, jsou ukládány v úložištích (angl. *store*), které poskytuje knihovna Pinia.js. Úložiště jsou rozdělena podle svého určení na:

- `globalStorage.js` – nastavení uživatelského rozhraní, uživatele, nastavení, systémové logy, nadpisy v rozhraní,
- `deviceStore.js` – informace o typech zařízení, zařízení, protokolů,
- `heatingStore.js` – informace o aktuálním módu vytápění, elektrickém ohřevu, teplotní logy,
- `zoneStore.js` – informace o typech zón, jednotlivých zónách a jejich nastavení, aktuálních teplotách,
- `userStore.js` – informace o uživateli, ukládání tokenu pro komunikaci s API,



Obrázek 6.11: Diagram postupu při dotazu na všechny zóny.

- `manualStore.js` – informace o všech relé, jejich aktuálním stavu a funkce pro přepínání relé ručně.

Všechna úložiště obsahují funkce pro vkládání, aktualizování či mazání jednotlivých dat a volání funkcí pro získání dat z API. Struktura jednotlivých dat v úložišti je ve formě objektu s klíči `data` – pro data, `cached` – příznak aktuálnosti, `loading` – příznak načítání dat.

Na obrázku 6.11 lze vidět, jak probíhá dotaz na všechny zóny při otevření stránky „Zóny“. V první fázi se zkontroluje, zda se data nacházejí v úložišti. To je kontrolováno parametrem `cached`, který udává, že data jsou přítomna a aktuální. Pokud je parametr `cached` nastaven na hodnotu `true`, pak se rovnou navrátí bez nutnosti volání na API, pokud však data nejsou, či nejsou aktuální, je provedeno volání na API.

Globální komponenty

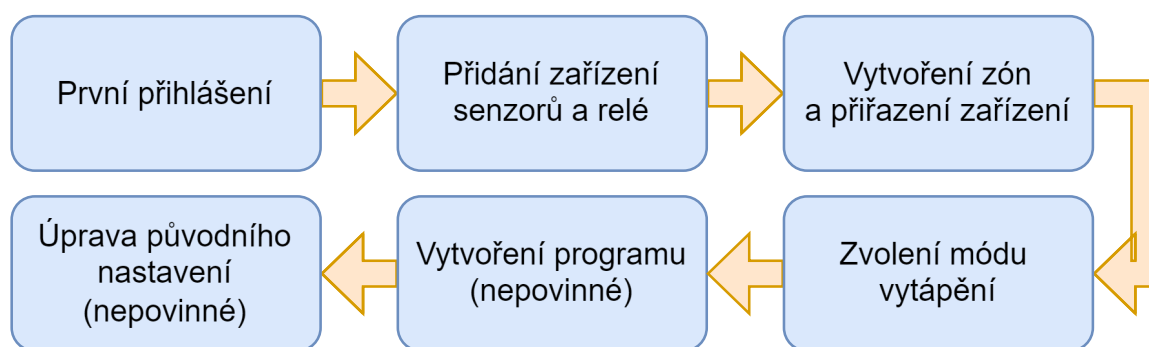
Aplikace obsahuje komponenty, které jsou využívány globálně, a to `AppBar.vue`, který tvoří horní lištu obsahující název stránky a případně tlačítko pro přidání zóny, nebo zařízení. Následně `NavigationDrawer.vue` obsahující navigaci stránek. A poslední globálně využitou komponentou je `AlertSnackbar.vue`, který zobrazuje hlášku o uložení dat a v případě neúspěchu informace o chybě. Zobrazené informace záleží na parametru `VITE_DEBUG_MODE` v nastavení prostředí. Aplikace poskytuje také tmavý režim, a částečnou lokalizaci uživatelských komponent, soubory ve složce `locales`. Obě tyto nastavení je možné přepnout v navigačním panelu.

Nastavení prostředí

Před vystavením komprimovaných souborů pro produkci je třeba nastavit správné parametry v souboru `.env`. Jedním z parametrů je výše zmíněný `VITE_BACKEND_URL` udávající adresu URL na které se nachází API. Bez tohoto parametru nebude možné získávat data. Dalším parametrem je `VITE_APP_URL` udávající adresu URL uživatelské aplikace. Posledním parametrem je `VITE_DEBUG_MODE`, pokud je hodnota nastavena na `true` zobrazují se v chybové hlášce při API chybě celý obsah chyby namísto zkráceného „chyba“.

6.4.1 Workflow

Pro popsání základního průběhu prvotního nastavení automatizace. Byl vytvořen diagram na obrázku 6.12. Prvním krokem po instalaci systému je přihlášení do systému. Pro první přihlášení slouží uživatel a heslo `admin`. Za předpokladu, že jsou již připojeny senzory a relé ke kontroleru, je třeba je přidat do systému, popsáno v části 6.4.1. Po přidání zařízení lze přejít k přidání zón, kdy ke každé z vytvořených je třeba přidat senzor a relé, popis přidání zóny je v části 6.4.1.



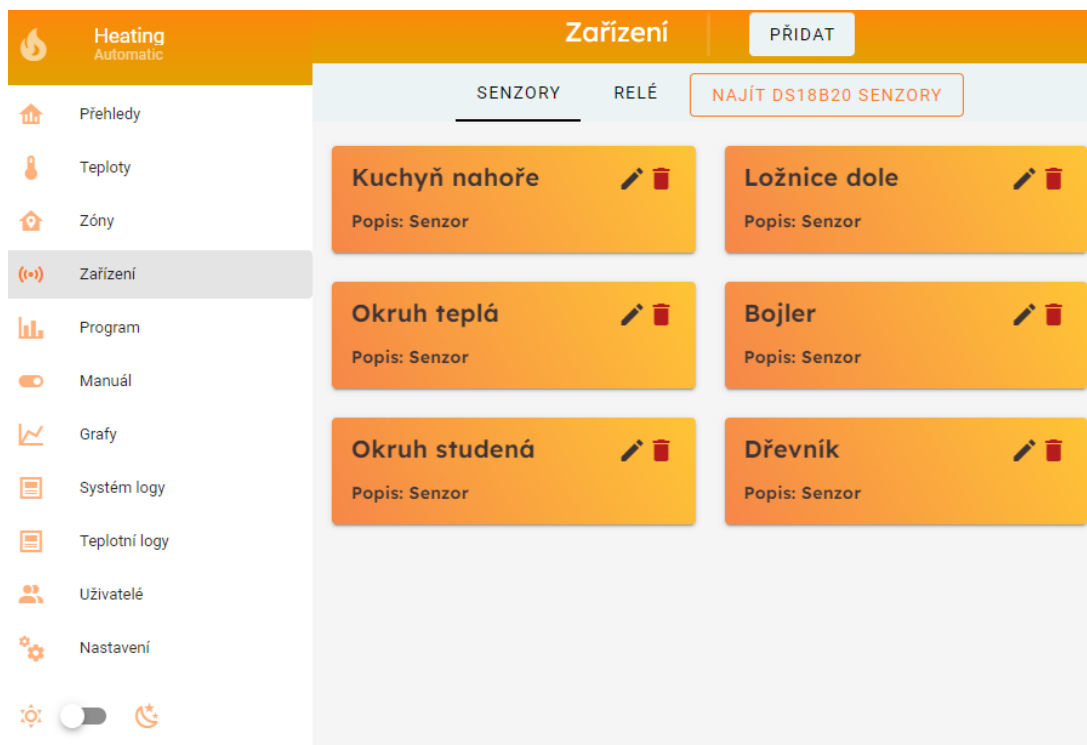
Obrázek 6.12: Diagram průběhu prvního nastavení ovládání.

Pokud se jedná o čidla DS18B20, je možné využít tlačítka „Najít DS18B20 senzory“, server sám načte připojené senzory tohoto typu a přidá je do databáze. Stačí tedy změnit název senzoru/ů, tento krok není nutný. Případně u některých senzorů zaškrtnout políčko „senzor topné vody“, nebo „senzor tepelné ochrany“, pokud budou využívány pro tyto účely.

Stránka „Zařízení“

Zařízení se v tomto smyslu myslí připojené senzory a relé k ovládání. Bez těchto zařízení je systém nefunkční, nebylo by jak ovládat topný systém. Administrátor definuje, edituje a maže jednotlivá zařízení. Pohled na přehled zařízení je rozdělen do dvou záložek dle typu senzory a relé. Oba typy se přidávají i editují pomocí jednoho formuláře. Při přidávání zařízení je třeba specifikovat jejich unikátní UUID, název, typ a protokol pomocí kterého je zařízení připojeno. Pro senzory DS18B20 je typický protokol 1-Wire, pro relé naopak typicky připojení přímo k GPIO. Pro oba typy lze také zvolit MQTT. Pokud se jedná o relé, jsou zde navíc parametry zdali se jedná o „ovládání kotle“, a druhý parametr je zdali se má relé „sepnout při topení krbem“ – tento parametr má neomezený počet přiřazení, nesmí být však v kombinaci s prvním parametrem. Parametr „ovládání kotle“ může být nedostupný, a to z důvodu že je již takto označeno jiné relé. V tom případě se zobrazí hláška informující o této situaci. Příklad takto přidaného relé je na obrázku B.1.

U senzorů jsou také přídavné parametry a to „Senzor topné vody“ a „Senzor tepelné ochrany“. Takto označené senzory mohou být pouze jeden každého typu zároveň, stejně jak u relé se případně zobrazí hláška informující o tomto stavu. Příklad takto přidaného senzoru je na obrázku B.2. Uživatel na tuto stránku nemá přístup.

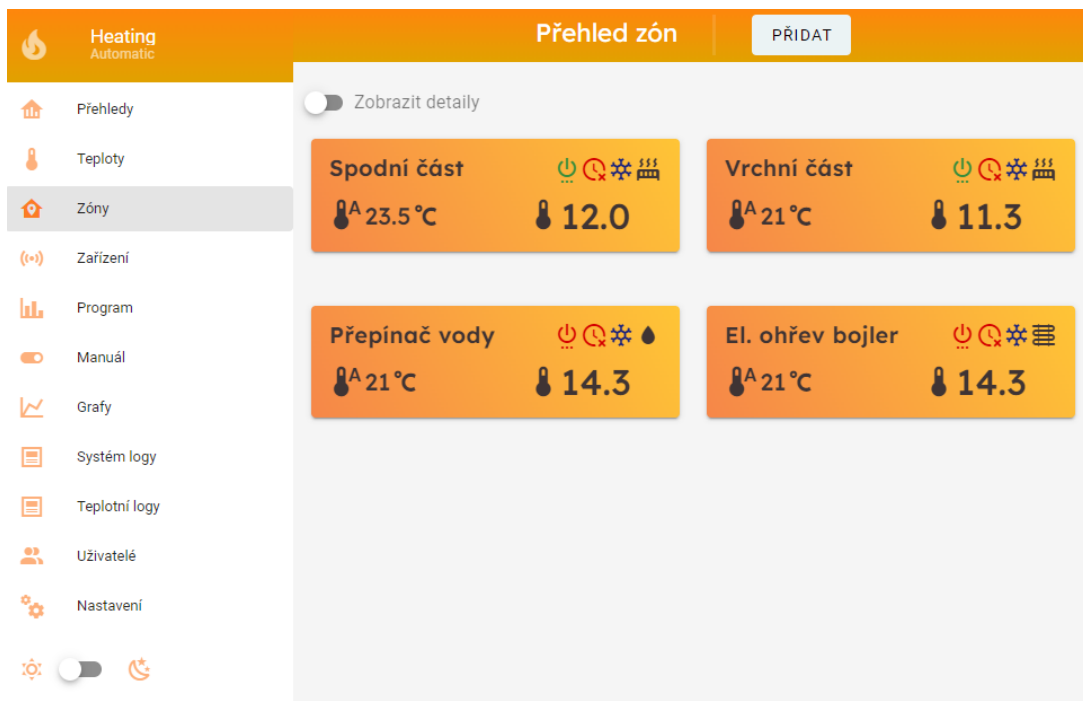


Obrázek 6.13: Stránka „Zařízení“ zobrazující přidaná zařízení.

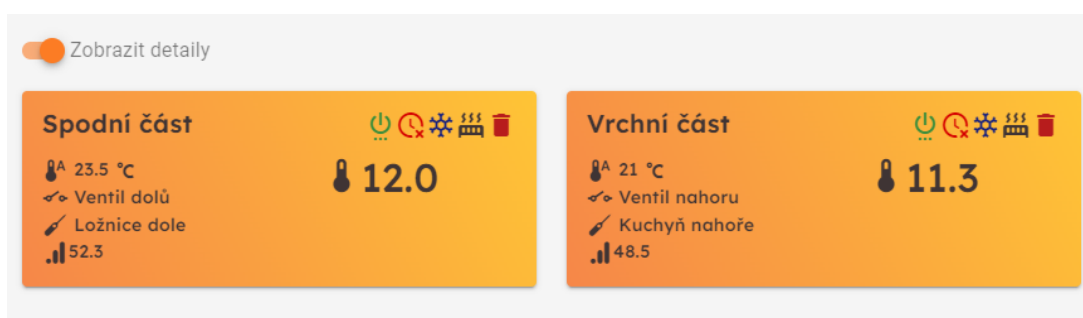
Stránka „Zóny“

Stránka pro nastavení zón zobrazuje pomocí karet aktuálně přidané zóny (obrázek 6.14). Pomocí ikon umístěných u každé zóny vpravo nahoře, lze jednoduše zjistit zdali je zóna ovládána automaticky, zdali pracuje dle programu, zdali je relé aktuálně sepnuto a poslední ikonou je typ zóny. V horní části stránky se nachází přepínač pro zobrazení detailů. Po jeho aktivaci se zobrazí na kartě zóny informace navíc, náhled na obrázku 6.15.

Administrátor může definovat, tedy vytvářet, upravovat a mazat zóny objektu, k tomu formulář na obrázku B.3. Pro tyto zóny je nutné nastavit ovládací relé zóny (relé zařízení, které se má sepnout při topení) a hlavní senzor zóny (zařízení – senzor, ze kterého se provádí sběr teplot pro danou zónu), dále jméno zóny a nastavená teplotu. Dalším parametrem je přepínač automatického ovládání, ten určuje zdali má systém zónu ovládat automaticky, zóna tedy bude ovládána automatickým algoritmem dle jejího typu popsáním v části 6.3.2. V případě vypnutí automatického ovládání, ovládá relé zóny administrátor skrze stránku „Manuál“. Aby uživatel viděl zóny, musí mu být nějaká přiřazená. Pokud má nějakou přiřazenou může editovat pouze teplotu.



Obrázek 6.14: Stránka „Zóny“ zobrazující přehled zón.



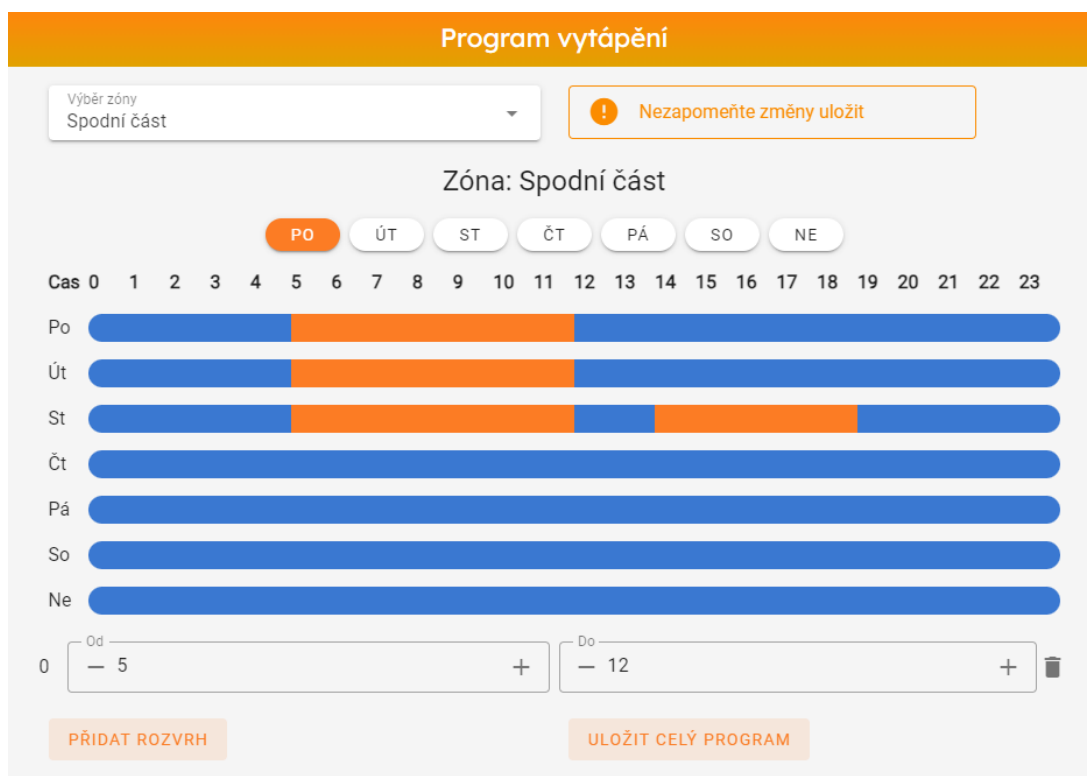
Obrázek 6.15: Zobrazení karet zóny s detaily.

Stránka „Grafy“

Systém by měl poskytovat uživateli přehled o naměřených teplotách v daném časovém intervalu. Tato data by měly být prezentována formou grafu. Uživatel může zvolit zdali chce data dle zóny, nebo dle konkrétního senzoru.

Stránka „Program“

Na stránce programu administrátor nastavuje časové rozmezí pro vytápění zvlášť na každý den. Jednotlivé časové bloky se mohou navzájem překrývat. A zároveň není nijak omezen počet časových bloků pro jeden den. Ve vrchní části je třeba zvolit den, pro který chce administrátor nastavit časové bloky. Tlačítkem „Přidat rozvrh“, přidá nový blok začínající v 0h a trvající 1h. Čas od a do volí pomocí tlačítek se symboly plus a minus. Případně je možné časový blok smazat pomocí ikony koše vpravo vedle řádku. Náhled na program je na obrázku 6.16.



Obrázek 6.16: Zobrazení programu pro vybranou zónu.

Stránka „Manuál“

Manuální ovládání jednotlivých relé je umožněno, pokud je aktuální mód vytápění vypnuto nebo krbová vložka. Zároveň, pokud je relé přiřazené k nějaké zóně, musí mít zóna vypnuté automatické ovládání. Tato ochrana ovládání je zde z důvodu předejití kolizí uživatelského zásahu a automatického ovládání. Samotné ovládání probíhá pomocí přepínače, který po kliknutí odešle požadavek na API pro přepnutí stavu relé. Po obdržení potvrzení je umožněna další manipulace.

Stránka „Přehledy“

Při vstupu do aplikace jsou zobrazeny přehledy o aktuálních teplotách, zónách a zařízeních. Jedná se o složený pohled z komponent jednotlivých stránek. Administrátor vidí všechna data, uživatel pouze ta jemu přidělená. Zobrazení stránky lze vidět na obrázku 6.18.

6.5 Instalace a nasazení

Při instalaci je vždy třeba přizpůsobit kroky pro konkrétní zařízení a aplikaci. Zde je obecný popis instalaci pro RaspberryPi 4B s RaspberryOS, webovým serverem Apache2, databázovým serverem MySQL, PHP 8.1 a MQTT serverem. Některé příkazy již byly zmíněny, avšak zde se mohou vyskytnout znova pro celkový přehled a ucelení postupu instalace.



Obrázek 6.17: Stránka s manuálním ovládáním.

6.5.1 Instalace operačního systému

Prvním krokem pro zprovoznění RaspberryPi je instalace operačního systému. Standardní konfigurací je využití SD karty pro datové úložiště. Pro instalaci samotného systému existuje více způsobů. Při vývoji jsem využil dodávaného software *Raspberry Pi Imager*¹¹ pomocí kterého lze jednoduše vybrat operační systém. A spustit instalaci na připojené médium. Využil jsem obraz systému Raspberry Pi OS s podporou desktop. A to pro případné využití monitoru.

Při instalaci jsem využil konfiguraci výchozího nastavení a nastavil i uživatele a heslo, pro vzdálený přístup jsem povolil připojení SSH. Stejně tak jsem nastavil i připojení k síti Wi-Fi. Při přeskočení tohoto nastavení je nutné připojení monitoru a klávesnice.

Po úspěšné instalaci operačního systému je třeba aktivovat rozhraní 1-Wire v nastavení konfigurace. Pro aktivaci je možné využití uživatelské rozhraní, nebo příkazový řádek. Oba způsoby popisuje návod na stránce¹² zabývající se RaspberryPi tématikou.

6.5.2 Instalace balíků programů serverové části

Pro nasazení serverové části aplikace je potřeba nainstalovat PHP ve verzi 8.1 pomocí návodu¹³. A také nainstalovat a nakonfigurovat webový server. Mezi nejpopulárnější webové servery patří i server Apache2. Pro návod lze využít dostupných online návodů na instalaci

¹¹<https://www.raspberrypi.com/software/>

¹²<https://www.raspberrypi-spy.co.uk/2018/02/enable-1-wire-interface-raspberry-pi/>

¹³<https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-install-php-8-1-and-set-up-a-local-development-environment-on-ubuntu-22-04>

a přidání webové stránky. Jeden z těchto návodů je na webových stránkách DigitalOcean¹⁴, který se sice vztahuje na distribuci Ubuntu 20.04, ale návod je funkční i pro RaspberryPi OS. Návod navíc obsahuje i balík *certbot* pro získání certifikátu Let's encrypt, poskytující zabezpečené SSL připojení.

Dalším krokem je instalace databázového serveru MySQL¹⁵ a případně webové administrace phpMyAdmin¹⁶. Opět lze využít dostupných návodů na stejné webové stránce¹⁷¹⁸.

Aby byl umožněn přístup z vnější sítě na webový server, je třeba v routeru, ke kterému je připojen webový server. Nakonfigurovat příslušné porty a IP adresy pro přístup. Porty pro webový server jsou standardně 80 pro HTTP a 443 pro zabezpečený HTTPS přenos.

Pro instalaci samotné serverové aplikace stačí naklonovat repozitář a příkazem:

```
composer install
```

nainstalovat potřebné balíky.

Po dokončení instalace balíků je třeba přejmenovat, nebo překopírovat příkladový soubor s konfigurací `.env.example` na název `.env`. V tomto souboru je nutné nastavit připojení k databázi. Pro fungování aplikace se musí vygenerovat klíč, zmigrovat databáze a naplnit ji daty, tyto tři akce lze provést příkazem:

```
php artisan key:generate && php artisan migrate && php artisan db:seed
```

Poté by měla být aplikace dostupná na zadané adrese URL. Pokud není a zobrazuje se chybová hláška, je možné že složka `storage` nemá práva pro zápis. Pro přesnější ladění je vhodné mít v konfiguraci zapnutý debug mód. Pro spuštění automatického ovládání je potřeba spustit naplánované úlohy, a to pomocí příkazu, který je nutný přidat do cron úlohy.

```
* * * * * cd /cesta-k-projektu && php artisan schedule:run >> /dev/null 2>&1
```

Aby bylo možné využívat protokol MQTT, je třeba nastavit připojení k MQTT serveru v souboru `.env`, a to k již existujícímu, nebo je třeba jej také nainstalovat do kontroleru. Pro instalaci jsem využil návod na stránce Medium¹⁹. V případě instalace s uživatelem a heslem, je potřeba zadat tyto údaje také do konfigurace v souboru `.env`.

6.5.3 Instalace uživatelské části

Uživatelská část poskytuje možnost více druhů postupů. Jedním ze základní postupů je však stáhnutí repozitáře na server, nebo lokálního stroje. Stejně jak u serverové části je potřeba nastavit konfigurační soubor kopií nebo přejmenováním souboru `.env.example` na `.env` v něm je primárně třeba nastavit adresu API serverové části. Aby se dala aplikace zobrazit, je třeba ji vystavět příkazem:

```
npm run build
```

¹⁴<https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-secure-apache-with-let-s-encrypt-on-ubuntu-20-04>

¹⁵<https://www.mysql.com/>

¹⁶<https://www.phpmyadmin.net/>

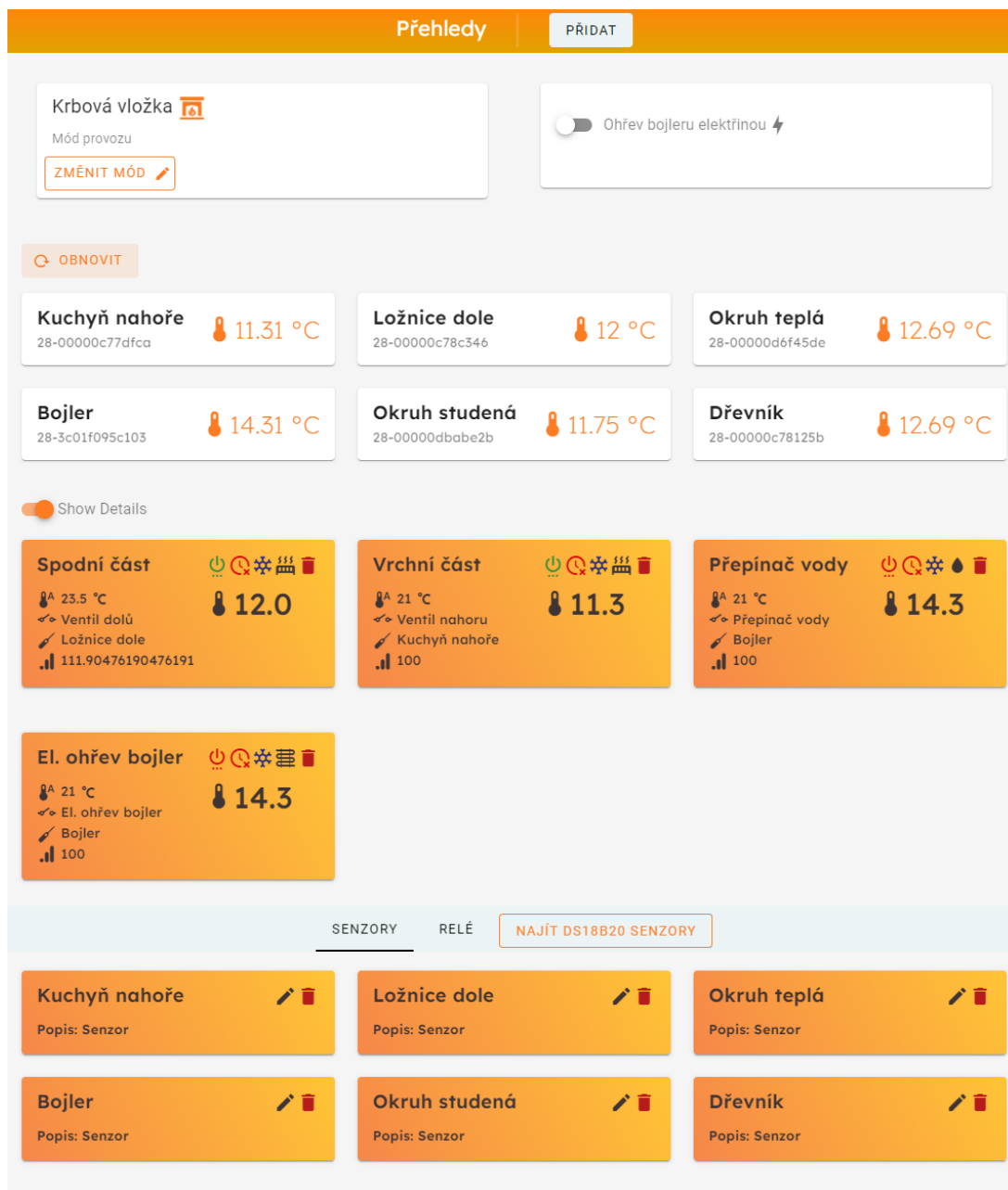
¹⁷<https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-install-mysql-on-ubuntu-22-04>

¹⁸<https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-install-and-secure-phpmyadmin-on-ubuntu-20-04>

¹⁹<https://medium.com/gravio-edge-iot-platform/how-to-set-up-a-mosquitto-mqtt-broker-securely-using-client-certificates-82b2aaaef9c8>

Pro spuštění příkazu je třeba mít nainstalováno Node.js²⁰ s NPM. Po vystavení budou vygenerovány soubory ve složce `dist`. Obsah složky jsou soubory, které stačí umístit na webový server a aplikace bude aktivní. Webový server nemusí být stejný jako je server API, ale může se jednat i o sdílený webhosting.

²⁰<https://nodejs.org/en>



Obrázek 6.18: Zobrazení stránky „Přehledy“.

Kapitola 7

Testování a návrh rozšíření systému

Po dokončení systému a vytvoření funkčního prototypu rozvaděče bylo prováděno testování. Po testování bylo navrženo několik úprav z nichž některé byly již do systému implementovány, další jsou popsány v sekci 7.2. Detaily testování jsou popsány níže 7.1.

7.1 Testování a integrace řešení

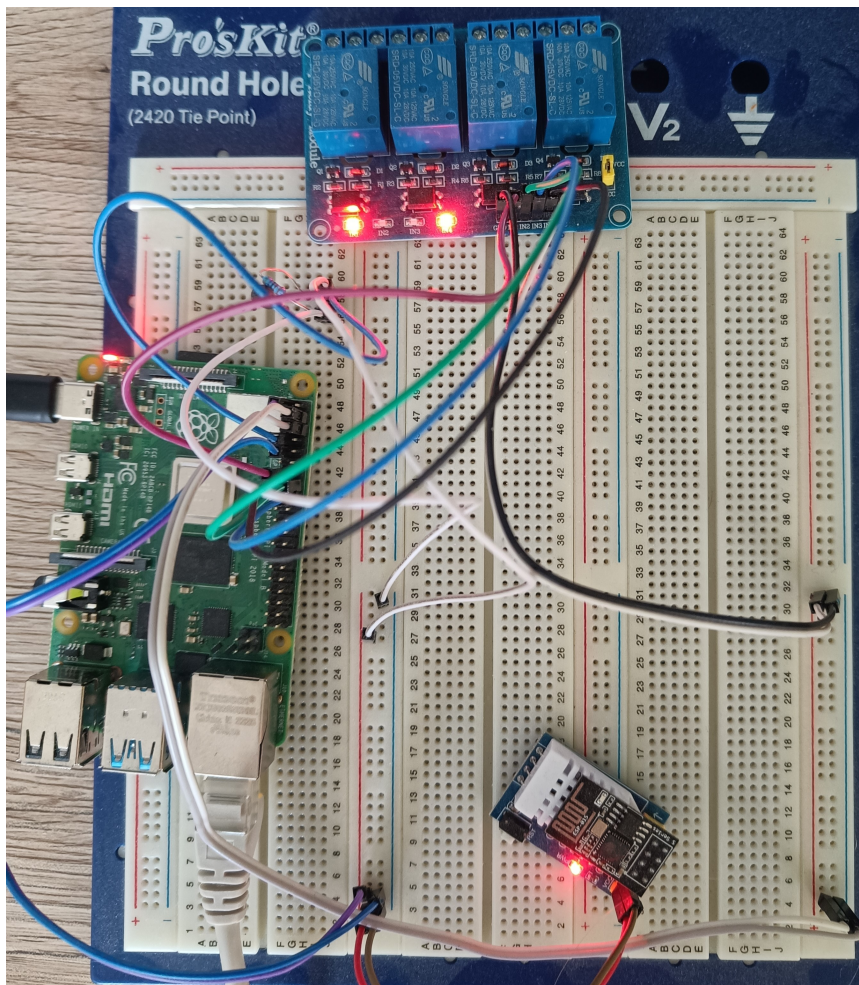
Před nasazením byla provedena řada ručních testů pro zkontrolování funkčnosti celého systému včetně serverové a uživatelské části. Především však testování algoritmů pro automatizaci. Využil jsem jednoduché zapojení splňující požadavky na demo systému. Jedná se o spojení kontroleru, relé modulů a jednoho senzoru, testovací demo je vyfoceno na obrázku 7.1. Testování probíhalo postupnou změnou jednotlivých parametrů v uživatelském rozhraní a tím testování možných situací. Ukázalo se, že u některých částí algoritmů byly otočené podmínky a došlo tak k opravě této chyby. Měněnými parametry byly jednotlivé typy zón, typy zařízení a samotné zařízení a zóny. Měnily se také výchozí parametry v nastavení, jako je například hraniční teplota pro tepelnou ochranu.

Po opravě nasazení systému do testovaného objektu a nastavení všech připojení a částí bylo provedeno finální testování. Testování zahrnovalo nasazení a prvotní nastavení systému dle workflow popsané v části 6.4.1. A tedy připojení senzorů DS18B20, a pro jejich přidání bylo využito funkce automatického nalezení připojených senzorů a poté pouze přejmenování jednotlivých senzorů dle jejich umístění. Bylo provedeno přidání jednotlivých relé do systému. A následné přidání jednotlivých zón dle objektu, tedy dvě pro vytápění, jedna pro ohřev teplé vody a jedna pro přepínač vody. Výchozí hodnoty nastavení zůstaly nezměněny, tedy hranice pro tepelnou ochranu nastavena na 95 °C. A interval pro přeskočení při kombinovaném vytápění na 10 minut.

Následné testování prokázalo plnou funkčnost bez nálezu chyb v implementaci algoritmů. Čidla připojena do internetové zásuvky stejně jak na obrázku 6.9d ukazovala o něco menší teplotu oproti teploměru umístěném ve středu místnosti a to o cca 1.5 °C. Došel jsem k závěru, že tento pokles teploty je spojen s chladnou zdí u které je senzor umístěn. Tento pokles teploty je třeba brát v potaz při nastavování teploty vytápění zóny.

U ESP modulu s čidlem DS18B20 bylo zjištěno nepřesné měření teploty až o 5 °C díky zahřívání čidla čipem ESP. S modulem DHT tento problém nebyl, jelikož je čidlo vyhnuto mimo prostor ESP a tak nedochází k jeho ohřevu. Řešením by bylo jiné umístění čidla mimo

plochu ESP. Další nedostatky nebyly při testování vyzorovány a to ani v softwarové, ani hardwarové části. Řešení je plně funkční dle návrhu 5.



Obrázek 7.1: Zapojení kontroleru, čidla DS18B20, relé modulu a ESP01

7.2 Navržená rozšíření

Po testování bylo zjištěno několik poznatků, které by mohly vylepšit vyvinutý systém. Některé z nich vyplývají i z kapitol 4 a 5. Jedním z těchto vylepšení je přidání cache serveru, který v případě slabého připojení k rekreačnímu objektu bude průběžně komunikovat s objektem a tím se sníží nároky na rychlost přenosu. Cache server by měl být kvůli tomuto požadavku v cloudu. Uživatelské rozhraní by poté komunikovalo pouze s cache serverem, který by požadavky postupně delegoval na cílový objekt. Výhodou by zde byla menší závislost na internetovém připojení k objektu. Nevýhodou je vyšší režie a nutno úprav rozhraní, případně poplatky spojené s provozem cache serveru. Aplikace by také v budoucnu mohla ovládat více objektů v jedné aplikaci.

Mezi další možná rozšíření patří případné přidání typů čidel pro získávání více dat o prostředí objektu nebo relé pro ovládání.

Systém je připravený na zpracování klíčových ukazatelů výkonnosti – KPI. Zatím je v systému pouze možnost nastavit teplotu KPI pro každou zónu. Data pro KPI jsou však vyhodnocena pouze na základě nastavené a aktuální teploty. Jako možné rozšíření je tedy navrhována pokročilejší analýza dat z historie teplot pro jednotlivé zóny. Dalším rozšířením jsou push upozornění, uživatele na změnu stavu systému. Případně rozšíření ovládání relé přes MQTT.

Kapitola 8

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit systém pro automatickou regulaci vytápění v rekreačních objektech. Tento systém poskytuje možnost vytápění více zdroji tepla a jeho řízení dle implementovaných algoritmů a zvoleného módu vytápění. Dále vytápění do jednotlivých částí domů za pomoci vytvoření zón. Systém také poskytuje připojení pro více zdrojů teplé užitkové vody, pro které je třeba řídit její zdroj dle uživatelského nastavení. A její ohřev taktéž dle požadavků uživatele, či aktuálního módu vytápění. Celý systém je možné ovládat dálkově skrze uživatelskou aplikaci, nebo případně přepnout na manuální režim a mít plnou manuální kontrolu nad celým systémem.

Teoretická část jsem rozdělil na část zabývající se problematikou architektury internetu věcí pro domácí využití. Typy a využití jednotlivých mikrokontrolerů pro ovládání, teplotních senzorů pro sběr dat a zařízeními pro ovládání systému. Na závěr první části byly zkoumány komunikační technologie a protokoly internetu věcí. V části druhé byla rozebrána problematika vytápění a ohřevu teplé užitkové vody v systémech s více zdroji tepla. Byla prozkoumána oblast vytápění obydlí ve spojitosti se zdroji tepla z hlediska ovládání těchto systémů, historie i nových trendů v této oblasti. Stejně tak byla prozkoumána část zabývající se ohřevem TUV.

Po nastudování této problematiky byla provedena analýza požadavků pro cílový systém. V první fázi byly definovány uživatelské požadavky, a na základě těchto požadavků byla analyzována dostupná řešení. Výstupem analýzy byla vyřazena možnost využití dostupných řešení pro nesplnění požadavků. Byla stanovena optimální cena za systém pro daný objekt.

Dle výstupů analýzy byl proveden návrh celého systému skládající se ze dvou částí. První částí je uživatelské rozhraní pro ovládání systému. Druhá část se skládá ze serveru a hardwaru, obsahuje navržené algoritmy pro ovládání jednotlivých typů vytápění. Dále také entitně-vztahový diagram pro návrh databáze a návrh hardwarové části společně s elektrickým rozvaděčem.

Na základě výstupů z návrhu aplikace byla vytvořena samotná implementace splňující uživatelské požadavky. Implementace byla poté nasazena do rekreačního objektu, kde byla úspěšně otestována a byla ověřena správná funkčnost systému. Konkrétními zdroji tepla jsou krbová vložka a plynový kotel. Jako zdroj TUV slouží stejný plynový kotel a kombinovaný bojler. Systém se bude nadále aktivně využívat pro regulaci vytápění objektu, ohřevu a přepínání TUV.

Jako další možnost rozšíření bylo navrženo využití cachovacího serveru pro realizace systému s horším internetovým připojením a tím snížení nároků na přenos dat mezi rekreačním objektem a uživatelem. Dalšími možnými rozšířeními jsou možnosti implementace

dalších typů senzorů, relé, ovládacích zařízení. Případně rozšíření aplikace o možnost ovládání více objektů z jedné aplikace a push upozornění.

Výsledky své práce jsem prezentoval na konferenci Excel@FIT2024¹. Práce byla na této konferenci oceněna odbornou komisí za rozsah a kvalitu práce a přesah do HW a SW implementace a také firmou NXP za výjimečnou práci. Celý příspěvek na tuto konferenci je možné nalézt ve sborníku na oficiálních stránkách této konference [22].

¹<https://excel.fit.vutbr.cz/>

Literatura

- [1] 123KRBY.CZ. *Vysvětlení pojmů pro vybavení kotlů Protherm* online. 2023. Dostupné z: <https://www.123krby.cz/cz-clanky-10.html>. [cit. 2023-12-27].
- [2] AAKOMINY.CZ. *Jakým způsobem pracuje systém s teplovodní krbovou vložkou?* online. 2023. Dostupné z: <https://www.aaakominy.cz/jakym-zpusobem-pracuje-system-s-teplovodni-krbovou-vlozkou>. [cit. 2023-11-14].
- [3] ANALOG DEVICES. *DS18B20 Datasheet and Product Info* online. 2019. Dostupné z: <https://www.analog.com/en/products/ds18b20.html#product-overview>. [cit. 2023-10-23].
- [4] AOSONG ELECTRONICS CO.,LTD. *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module*. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. [cit. 2023-10-24].
- [5] BABIUCH, M.; FOLTYNEK, P. a SMUTNY, P. Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing. In: *2019 20th International Carpathian Control Conference ICC*. IEEE, May 2019. ISBN 978-1-7281-0702-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/2Fcarpathiancc.2019.8765944>.
- [6] BECHYNĚ, M. *Jak a čím můžeme regulovat naše vytápění. Kdy použít termostat a kam ho dát?* online. 2023. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/11668.jak-a-cim-muzeme-regulovat-nase-vytapeni-kdy-pouzit-termostat-a-kam-ho-dat>. [cit. 2024-03-14].
- [7] BOLA SPOL. S.R.O.. *Jak správně regulovat topení?* online. 2024. Dostupné z: <https://www.bola.cz/poradna/jak-spravne-regulovat-topeni>. [cit. 2024-03-14].
- [8] BRADÁČOVÁ, A. *Legislativní požadavky v oblasti přípravy teplé vody* online. 2023. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/14837-legislativni-pozadavky-v-oblasti-pripravy-teple-vody>. [cit. 2024-03-21].
- [9] BUYYA, R. a DASTJERDI, A. V. *Internet of Things: Principles and paradigms*. Elsevier, 2016. ISBN 978-0-12-805395-9.
- [10] COBURN, J. Raspberry Pi History. In: *Build Your Own Car Dashboard with a Raspberry Pi: Practical Projects to Build Your Own Smart Car*. Berkeley, CA: Apress, 2020, s. 1–12. ISBN 978-1-4842-6080-7. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6080-7_1.

- [11] COBURN, J. Raspberry Pi History: Chapter goal: Learn about the main Raspberry Pi boards and their (brief) history. Understand the key differences between different Pi models, and why certain features were introduced. *Build Your Own Car Dashboard with a Raspberry Pi: Practical Projects to Build Your Own Smart Car*. Springer, 2020, s. 1–12.
- [12] DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE - STROJÍRNA S.R.O. *Kombinované ohříváče a zásobníky vody* online. 2023. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/ohrivace-a-zasobniky-teple-vody/kombinovane>. [cit. 2023-11-14].
- [13] DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE - STROJÍRNA S.R.O.. *Kombinované ohříváče a zásobníky vody pro svislou montáž* online. 2023. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/component/phocadownload/category/27-27-okc?download=461:navod-k-obsluze-a-instalaci-okc>. [cit. 2023-11-15].
- [14] DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE - STROJÍRNA S.R.O.. *Návod k obsluze a instalaci kombinované ohříváče a zásobníky vody pro svislou montáž* online. 2024. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/component/phocadownload/category/27-27-okc?download=460:navod-k-obsluze-a-instalaci-okc-4kw>. [cit. 2024-03-13].
- [15] ELKHODR, M.; SHAHRESTANI, S. a CHEUNG, H. Emerging wireless technologies in the internet of things: a comparative study. *ArXiv preprint arXiv:1611.00861*, 2016.
- [16] FLAMMINI, A.; FERRARI, P.; MARIOLI, D.; SISINNI, E. a TARONI, A. Wired and wireless sensor networks for industrial applications. *Microelectronics Journal*, 2009, sv. 40, č. 9, s. 1322–1336. ISSN 0026-2692. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026269208004618>. Quality in Electronic Design 2nd IEEE International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces Thermal Investigations of ICs and Systems.
- [17] FRAJDL, M. *Elektromagnetické relé* online. 2021. Dostupné z: <https://blog.laskakit.cz/elektromagneticke-rele/>. [cit. 2024-03-06].
- [18] GOKHALE, P.; BHAT, O. a BHAT, S. Introduction to IOT. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*. 1. vyd., 2018, sv. 5, č. 1, s. 41–44.
- [19] GREPL, M. *Kotle pro vytápění rodinného domu*. Antonínská 548/1, 601 90 Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [20] HOMEASSISTANT. *Generic Thermostat* online. 2023. Dostupné z: https://www.home-assistant.io/integrations/generic_thermostat/. [cit. 2023-11-15].
- [21] HULÍK, M. *Vývoj jednoduchého systému komunikujícího po sběrnici 1-Wire vhodného pro automatizaci malých budov*. Univerzitní 2732/8, 301 00 Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [22] JEŽEK, L. System for Automtic Heating Control with Multiple Heating Sources. In: Vysoké učení technické v Brně, fakulta informačních technologií, Květen 2024, č. 46. Dostupné z: <https://excel.fit.vutbr.cz/>.

- [23] JIŘÍ HORÁK, L. M. *Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě – stav v roce 2017* online. 2017. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/15865-jake-parametry-musi-splnit-kotle-na-tuha-paliva>. [cit. 2024-03-13].
- [24] KALABURGI, N. *Working of DHT sensor – DHT11 and DHT22* online. 2021. Dostupné z: <https://nerdyelectronics.com/working-of-dht-sensor-dht11-and-dht22/>. [cit. 2023-10-24].
- [25] KERAMIDAS, G.; VOROS, N. a HÜBNER, M. *Components and services for IoT platforms*. 1. vyd. Springer, 2016. ISBN 978-3-319-42302-9.
- [26] KYAS, O. *How to Smart Home*. 5. vyd. Key Concept Press, 2017. ISBN 978-3-944980-12-6.
- [27] LIGHT, R. *MQTT man page* online. 2023. Dostupné z: <https://mosquitto.org/man/mqtt-7.html>. [cit. 2023-10-23].
- [28] LUFTUJ.CZ. *Co je to rekuperace* online. 2021. Dostupné z: <https://www.luftuj.cz/clanky/co-je-to-rekuperace/>. [cit. 2024-03-13].
- [29] MARIKYAN, D.; PAPAGIANNIDIS, S. a ALAMANOS, E. A systematic review of the smart home literature: A user perspective. *Technological Forecasting and Social Change*. Elsevier BV, jan 2019, sv. 138, s. 139–154. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016%2Fj.techfore.2018.08.015>.
- [30] MAXIM INTEGRATED. *Reading and Writing 1-Wire® Devices Through Serial Interfaces* online. 2009. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/app-notes/reading-and-writing-1wirereg-devices-through-serial-interfaces.pdf>. [cit. 2023-10-23].
- [31] MOUSER ELECTRONICS. *DHT11 Humidity & Temperature Sensor*. Dostupné z: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>. [cit. 2023-10-24].
- [32] NETATMO. *S Inteligentním Termostatem ušetříte energii, aniž byste omezili své pohodlí* online. 2023. Dostupné z: <https://www.netatmo.com/cs-cz/smart-thermostat>. [cit. 2023-11-15].
- [33] OLESEN, B. W. et al. Radiant floor heating in theory and practice. *ASHRAE journal*. ASHRAE AMERICAN SOCIETY HEATING REFRIGERATING, 2002, sv. 44, č. 7, s. 19–26.
- [34] PEISAR, M. Senzory, snímače a čidla. *Elektro*. Rittal, 2020, 8-9, s. 46.
- [35] PÍCHOVÁ, J. *Elektrické otopné systémy energeticky, ekologicky a ekonomicky*. Univerzitní 2732/8, 301 00 Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [36] RASPBERRY PI. *Raspberry Pi OS* online. 2023. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/os.html>. [cit. 2023-10-23].

- [37] RASPBERRY PI CONTRIBUTORS. *Raspberry Pi Documentation* online. 2023. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html>. [cit. 2023-10-23].
- [38] REGULUS. *Návod na instalaci a použití TRÍCESTNÝ ZÓNOVÝ KULOVÝ VENTIL S POHONEM VZK 3xx - 230 - 1P - 001* online. 2024. Dostupné z: https://www.regulus.cz/?download=navody/cz/navod-vzk3-zonovy_a4_cz.pdf. [cit. 2024-04-18].
- [39] ROY FURCHGOTT, J. P. T. *The Best Smart Thermostat* online. 2023. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/wirecutter/reviews/the-best-thermostat/>. [cit. 2023-11-15].
- [40] SAFARIC, S. a MALARIC, K. ZigBee wireless standard. In: *Proceedings ELMAR 2006*. 2006, s. 259–262.
- [41] SALUS CONTROLS. *Radiátorové vytápění* online. 2023. Dostupné z: <https://salus-controls.cz/salus-controls-cz/radiatorove-vytapeni/>. [cit. 2023-11-14].
- [42] SAMUEL, S. S. I. A review of connectivity challenges in IoT-smart home. In: *2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)*. 2016, s. 1–4.
- [43] SCHOUTSEN, P. *Home Control, Automation & the Smart Home* online. 2014. Dostupné z: <https://www.home-assistant.io/blog/2014/12/26/home-control-home-automation-and-the-smart-home/>. [cit. 2023-11-15].
- [44] SONOFF. *User Manual SmartWISE 5V-32V Wi-Fi smart relays and SMARTWISE 5V-32V Wi-Fi + RF smart relays* online. 2024. Dostupné z: <https://sonoff.tech/wp-content/uploads/2023/12/MINIR4M-user-manual-EN.pdf>. [cit. 2024-03-13].
- [45] STAFFELL, I.; BRETT, D.; BRANDON, N. a HAWKES, A. A review of domestic heat pumps. *Energy & Environmental Science*. Royal Society of Chemistry, 2012, sv. 5, č. 11, s. 9291–9306.
- [46] STATISTA RESEARCH DEPARTMENT. *Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2023, with forecasts from 2022 to 2030* online. 2016. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>. [cit. 2023-10-23].
- [47] SYSTONCABLE.COM. *How Does an Analog Thermostat Work?* online. 2023. Dostupné z: <https://www.systoncable.com/how-does-an-analog-thermostat-work/>. [cit. 2023-11-15].
- [48] UMAX CZECH A.S.. *U-Smart Temperature & Humidity Sensor* online. 2024. Dostupné z: https://www.umax.cz/soubory/27122/umax_temperature-sensor_v2_web-version.pdf. [cit. 2024-03-07].

- [49] VIESSMANN. *Podlahové vytápění nebo radiátory* online. 2023. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/technologie/podlahove-vytapeni/podlahovy-vytapeni-vs-radiatory.html>. [cit. 2023-11-14].
- [50] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *ESP32* online. 2023. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP32>. [cit. 2023-10-23].
- [51] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *Raspberry Pi* online. 2023. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi. [cit. 2023-10-23].
- [52] ZABEZPECOVACI-ZARIZENI.CZ. *Regulace vytápění objektu* online. 2024. Dostupné z: <https://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/jak-vybrat-spravne/vysvetleni-pojmu/regulace-vytapeni-objektu-%5Bb054%5D>. [cit. 2024-03-14].
- [53] ŠIMŠA, M. LOKÁLNÍ VYTÁPĚNÍ - NOVÉ NÁVRATY STARÝCH TÉMAT, s. 112–118. ISSN 0862-8351.

Příloha A

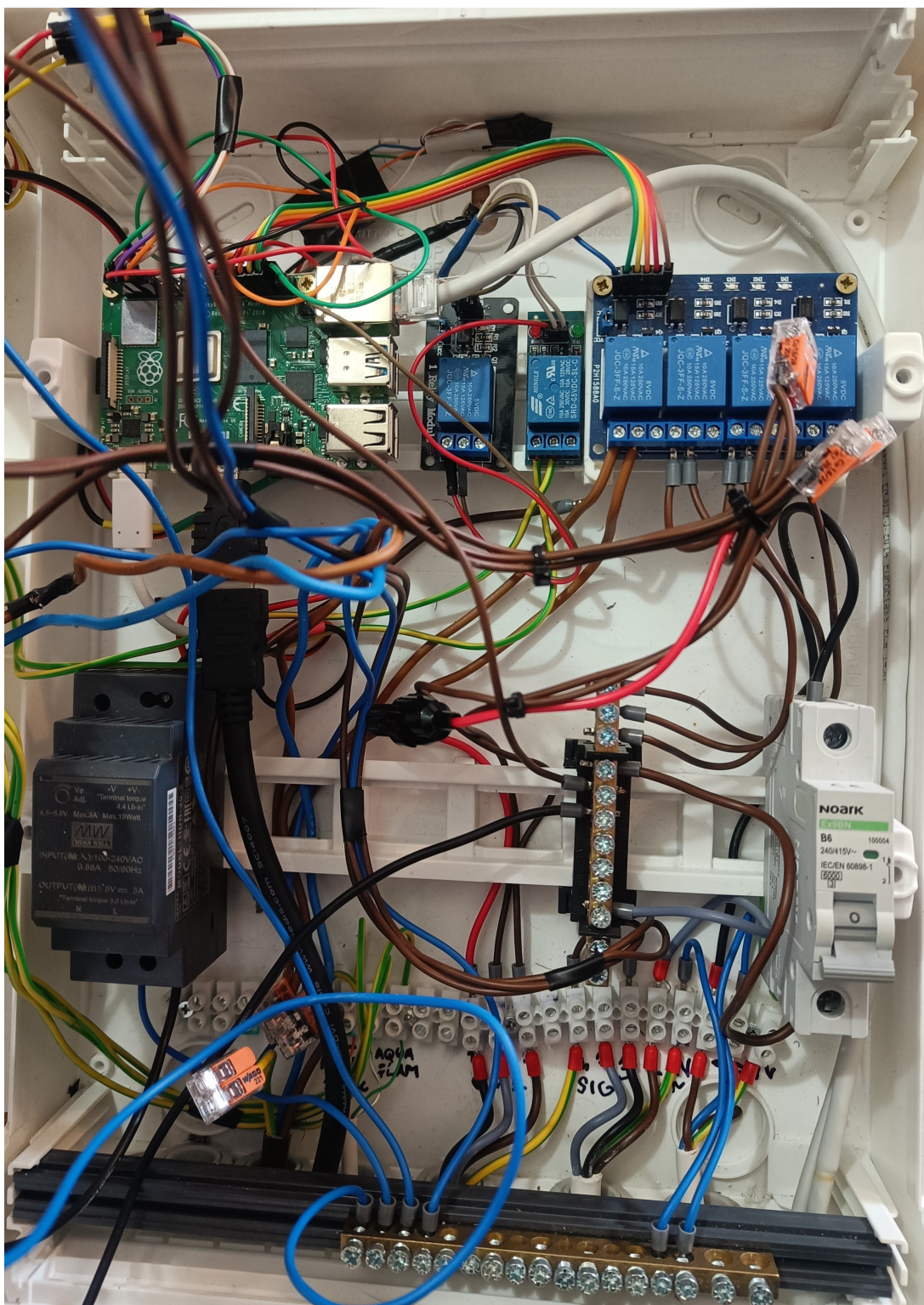
Doplňující obrázky elektrického rozvaděče



Obrázek A.1: Pohled na ovládání rozvaděče v provozu.



Obrázek A.2: Pohled rozvaděč v zakrytovaném stavu.



Obrázek A.3: Detail elektrického zapojení rozvaděče.

Příloha B

Snímky formulářů

×

Ventil dolů

Pole označené * jsou povinné

Název *

Ventil dolů

UUID/URL *

rdolu

Typ zařízení *

Relé

Protokol *

GPIO Output

Pinout

6

Popis

i

Ovládání je již přiřazené

ULOŽIT

Vždy sepnout toto relé při topení krbem

Obrázek B.1: Formulář pro editaci zařízení zobrazující přidané relé.

×

Kuchyň nahoře

Pole označené * jsou povinné

Název * Kuchyň nahoře	UUID/URL * 28-00000c77dfca
Typ zařízení * Senzor	Protokol * 1-Wire
Pinout	Popis

☒ Hlavní senzor teploty topné vody
☐ Senzor pro tepelnou ochranu

ULOŽIT

Obrázek B.2: Formulář pro editaci zařízení zobrazující přidáný senzor.

×

Spodní část

Pole označené * jsou povinné

Název * Spodní část	Teplota * – + 23
Typ zóny * Zóna vytápění	Hlavní senzor Ložnice dole
Ovládací relé Ventil dolů	KPI – + 21

Přidělený uživatel

☒ Ovládat automaticky
☐ Vytápět dle programu

POTVRDIT

Obrázek B.3: Formulář pro editaci zóny.