



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 CHYTROU REGULACI ÚSTŘEDNÍHO
TOPENÍ**

SYSTEM FOR SMART CENTRAL HEATING REGULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB SIKULA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HYNEK, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce



146396

Ústav: Ústav informačních systémů (UIFS)
Student: **Síkula Jakub**
Program: Informační technologie
Specializace: Informační technologie
Název: **Systém pro chytrou regulaci ústředního topení**
Kategorie: Informační systémy
Akademický rok: 2022/23

Zadání:

1. Prostudujte oblast internetu věcí (*Internet of Things*) se zaměřením na sběr a ukládání dat a řízení.
2. Prostudujte problematiku řízení topení v budovách, proveďte průzkum existujících systémů a metod řízení.
3. Analyzujte požadavky na chytré řízení topení v budovách se zaměřením na vzdálené řízení s využitím cloudu a platformy Logimic Smart City.
4. Dle výsledků analýzy z bodu 2 zvolte optimální metody a navrhňte cloudový modul pro regulaci ústředního topení v budovách. Využijte existující platformu Smart City, která poskytuje ukládání dat v relační a nerelační databázi a zobrazení dat na dashboardu. Navrhňte úpravy dashboardu pro použití v domácnostech a firmách.
5. Navržené rozšíření a úpravy implementujte.
6. Proveďte testování funkčnosti a použitelnosti implementace přímo v platformě Logimic Smart City v simulaci a/nebo reálném prostředí.

Literatura:

- Greengard, S. (2015). *The Internet of Things*. MIT Press.
- Kirimtat, A., Krejcar, O., Kertesz, A., & Tasgetiren, M. F. (2020). Future trends and current state of smart city concepts: A survey. *IEEE access*, 8.
- 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.
- Interní dokumentace firmy Logimic.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:
Body 1 až 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: 1.11.2022
Termín pro odevzdání: 10.5.2023
Datum schválení: 25.10.2022

Abstrakt

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo navrhnuť a implementovať systém regulácie ústredného kúrenia so zameraním na reguláciu jednotlivých miestností. Tento systém je diaľkovo ovládateľný platformou Logimic Smart City a automaticky reguluje vytápanie adaptívnym spôsobom. Tento spôsob prináša značné úspory do domácností, ktoré sú takýmto systémom vybavené. Toto riešenie sa oproti existujúcim riešeniam líši hlavne tým, že si do systému zadáme požadovanú teplotu miestnosti a systém ovláda výhrevné telesá tak, aby požadovanú teplotu miestnosti docielili a udržali.

Abstract

The goal of this bachelor's thesis was to design and implement a central heating control system with a focus on the control of individual rooms. This system is remotely controlled by the Logimic Smart City platform and automatically regulates the heating in an adaptive way. This method brings significant savings to households that are equipped with such a system. This solution differs from existing solutions mainly in that we enter the desired room temperature into the system and the system controls the heating elements so that they reach and maintain the desired room temperature.

Klíčové slová

Kúrenie, Regulácia kúrenia, Smart Home, Smart kúrenie, IOT, LoRaWan, Typescript, LNS, Logimic, iTemp.

Keywords

Heating, Heating regulation, Smart Home, Smart heating, IOT, LoRaWan, Typescript, LNS, Logimic, iTemp.

Citácia

SIKULA, Jakub. *Systém pro chytrou regulaci ústředního topení*. Brno, 2022. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Jiří Hynek, Ph.D.

System pro chytrou regulaci ústředního topení

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením pána Ing. Jiřího Hynka, Ph.D. Dalšíe informácie mi poskytli Ing. Michal Valný, Ph.D. a Ing. František Mikulu, vývojári firmy Logimic a Ing. Slavomír Satvár z firmy Virtuálny správca budov. Uviedol som všetky literárne pramene, publikácie a ďalšie zdroje, z ktorých som čerpal.

.....
Jakub Sikula
9. mája 2023

Podakovanie

Týmto by som chcel poďakovať Ing. Jiřímu Hynkovi, Ph.D, za odborné vedenie mojej práce, konzultácie, rady a hlavne trpezlivosť a ochotu. Ďalej by som chcel poďakovať vývojárom firmy Logimic Ing. Michalovi Valnému, Ph.D. a Ing. Františkovi Mikulu za poskytnutie zariadení a ďalších prostriedkov pre vývoj, ako aj cenných rád pri implementácii. V neposlednej rade, by som chcel poďakovať Ing. Slavomírovi Satvárovi za rozhovor a poskytnuté informácie, rovnako ako aj všetkým anonymným respondentom.

Obsah

1	Úvod	2
2	Internet vecí	3
2.1	História	3
2.2	Definícia	3
2.3	Inteligentné mesto	4
2.4	Technológie	5
3	Problematika kúrenia	8
3.1	Spôsoby kúrenia	8
3.2	Spôsoby ovládania vykurovania	10
4	Analýza požiadaviek na systém	13
4.1	Analýza používateľov	13
4.2	Existujúce riešenia	14
4.3	Logimic	17
4.4	Výsledné požiadavky	18
5	Návrh systémov	20
5.1	Architektúra	20
5.2	Dátový model	21
5.3	Algoritmus inteligentného kúrenia	22
5.4	Komunikácia	24
5.5	Používateľské rozhranie	24
6	Implementácia	25
6.1	IoT zariadenia	25
6.2	Registrácia zariadení	27
6.3	Obsluha zariadení	28
6.4	Používateľská aplikácia	29
7	Testovanie	31
7.1	Testovanie v simulovanom prostredí	31
7.2	Testovanie v reálnom prostredí	33
8	Záver	37
	Literatúra	38

Kapitola 1

Úvod

Každý človek ku komfortnému životu potrebuje pre neho komfortnú teplotu. To dosahujú zapalovaním ohňov, prikladajú do piecok alebo napríklad ženú horúcu vodu radiátorom, aby zmiernili efekty vonkajšej zimy a vytvorili si tepelnú pohodu. Od ohniska v jaskyni, ľudia vo vykurovaní urobili riadny pokrok. Technologický vývoj v oblasti internetu vecí ponúka možnosť aplikovať tieto nové bezdrôtové technológie aj na túto sféru života a bývania. A to tak, že pripojíme aj kúrenie k internetu s cieľom využiť jeho sily pre uľahčenie prístupu ku regulácii a hlavne ušetrenia nákladov na kúrenie.

Cieľom je navrhnúť a implementovať inteligentný systém pre reguláciu ústredného kúrenia. Hlavnou úlohou systému je inteligentná časť, ktorá ovláda výhrevné telesá v miestnostiach za účelom dosiahnutia ideálnej teploty miestnosti a jej udržiavanie. Druhá časť je ponúknuť používateľom diaľkový, prehľadný a intuitívny spôsob ovládania tohto systému. Celkovým výstupom mala byť aplikácia prístupná z platformy ACADA aplikácie iTemp firmy Logimic. Táto aplikácia mala priniesť jednoduchý diaľkový spôsob ovládania teploty v miestnosti vybavenej tepelnými senzormi a ovládateľnou výhrevnou jednotkou.

Táto práca je logicky rozdelená do niekoľkých oddelených kapitol a podkapitol. Úvodné kapitoly sa zameriavajú na teóriu ohľadom technológii a to hlavne na sféru internetu vecí v kapitole 2, nakoľko táto téma spadá do tejto kategórie. Ďalej pokračuje rozsiahla téma problematiky kúrenia v kapitole 3, ktorá vysvetľuje základné pojmy ohľadom kúrenia, spôsoby ovládania a problémy, ktoré ho sprevádzajú. Ďalej sú v kapitole 4 analyzované požiadavky na systém, jeho užívateľov a existujúce riešenia. Na základe výsledku analýzy je v ďalšej kapitole 5 návrh systému. Ten sa venuje architektúre systému, dátovému modelu, algoritmu inteligentného kúrenia a ďalším častiam. Kapitola 6 sa venuje popisu implementácie návrhu. Konkrétne sa venuje použitým zariadeniam, LoRa serveru, obsluhu zariadení a aplikácii iTemp. Predposledná kapitola 7 sa venuje testovaniu vytvoreného systému. To je rozdelené do dvoch častí na testovanie v simulácii s fiktívnymi dátami a testovanie v reálnom prostredí. Posledná kapitola 8 zhodnocuje celú prácu.

Kapitola 2

Internet vecí

Bakalárska práca je založená na myšlienke a technológiách *internetu vecí*, preto je mu venovaná táto kapitola. V podkapitole 2.1 je obsiahnutá krátka história *internetu vecí* (ďalej už len skratka IoT z anglického *internet of things*), definícia čo IoT v dnešnej dobe predstavuje je v podkapitole 2.2 a podkapitola 2.3 sa venuje IoT v rozsahu celých miest. V podkapitole 2.4 sú zhrnuté základné technológie používané v IoT.

2.1 História

Napriek pár zariadeniam, ktoré boli už skôr pripojené na internet, bolo pravdepodobne IoT prvýkrát spomenuté iba ako názov prezentácie z roku 1999, ktorej autorom bol Kevin Ashton [1]. V tom čase boli takmer všetky dáta na internete vytvorené a nahraté ľuďmi. Jeho myšlienkou bolo zapojiť do internetu nielen ľudí ale aj predmety. Tie mali byť schopné komunikovať a zdieľať o sebe informácie bez ľudskej interakcie. Tým chcel dosiahnuť, aby sme mohli všetko sledovať, spočítať a tak výrazne znížiť odpad, straty a náklady [1, 41, 55]. Pre tento koncept ale bolo vytvorených mnoho definícií a názvov; niektorý ho nazývali *Internet vecí*, iný využili názvy komunikácia stroj-stroj z anglického *Machine to machine* (M2M). Potom sa použili aj názvy ako inteligentné služby a dokonca priemyselný internet [21]. Každý túto myšlienku pomenoval a zadefinoval len čiastočne a to z pohľadu, ktorý je mu najbližší [28].

2.2 Definícia

Ako bolo popísané v minulej podkapitole 2.1, názvov a definícií je veľa. Všetky majú niečo spoločné a dá sa z nich vyvodiť jedná univerzálnejšia definícia.

Podľa zdroja [29], *IoT popisuje fyzické objekty, alebo skupinu takýchto objektov, so senzormi, softvérom, schopnosťou spracovania dát a pripojením na internet. Tieto predmety zbierajú, spracovávajú, odosielajú dáta a komunikujú medzi sebou, inými systémami a v nejakej komunikačnej sieti. Fyzickými objektmi sú myslené teplomery, termostaty, bezpečnostné zámky, kamery, pohybové senzory, automaty, osvetlenia a veľa ďalších.*

Pre porovnanie podľa zdroja [49] sa dá IoT definovať ako *sieť fyzických zariadení, vozidiel, domácich spotrebičov a iných zariadení so vstavanou elektronikou, softwarom, senzormi, akčnými členmi a pripojením, ktoré týmto objektom umožňuje spojiť sa a vymieňať si dáta. Ďalšia podobná definícia podľa [7] definuje IoT ako *Objekty s počítačovými zariadeniami, ktoré sa môžu navzájom pripojiť a vymieňať si údaje prostredníctvom internetu.**

2.3 Inteligentné mesto

Jedným z mojich cieľov bakalárskej práce je doniesť jednu službu inteligentných miest aj priamo do domácností ľudí. Jedná sa o inteligentné vykurovanie, ktoré tieto inteligentné mestá využívajú.

2.3.1 Urbanizácia

Urbanizácia svetového obyvateľstva sa stala veľkým problémom, ktorý treba riešiť. V 50. rokoch minulého storočia žilo v mestách len 30% svetovej populácie, do roku 2014 dosiahla úroveň urbanizácie 54% a Organizácia Spojených Národov predpokladá, že do roku 2050 bude toto číslo 66% [18]. Proces urbanizácie výrazne zlepšil životnú úroveň ľudí, pričom zabezpečil dodávky vody a kanalizačné systémy, obytné a kancelárske budovy, vzdelávacie a zdravotnícke služby a pohodlnú dopravu [30]. Mestá sú zvyčajne regionálnymi hospodárskymi centrami, ktoré pomáhajú zlepšovať regionálnu hospodársku prosperitu a vytvárať viac pracovných miest. Koncentrácia vzdelaných ľudí v mestách pomáha zlepšovať priemyselnú štruktúru a podporovať efektívnosť výroby [3].

Urbanizácia však vytvára aj nové výzvy a problémy. Rastúca populácia a maximálne využívanie prírodných zdrojov v mestách spôsobuje ekologické a environmentálne problémy a zvyšuje problémy verejného neporiadku. Presnejšie rozprávame o preľudnení, znečistení vzduchu a vody, degradácii životného prostredia, šírení nákazlivých chorôb a trestnej činnosti [22]. Všetky tieto výzvy a problémy nútia občanov, vlády a zainteresované strany venovať pozornosť životnému prostrediu a trvalo udržateľnému rozvoju miest a pokúsiť sa nájsť technické riešenia na zníženie týchto mestských problémov. Revolúcia informačných a komunikačných technológií (ďalej už len používaná skratka IKT) ponúkla ľuďom príležitosť znížiť rozsah, ba až vyriešiť otázky urbanizácie [60].

Urbanizácia, rast a súvisiace problémy moderných miest spolu s rýchlym rozvojom nových IKT nám umožnili najprv si predstaviť koncepciu *inteligentných miest* a teraz aj začať budovať inteligentné mestá, ktoré sa považujú za budúcu formu miest [60].

2.3.2 Charakteristika

Inteligentné mesto je technologicky moderná mestská oblasť, ktorá používa rôzne typy elektronických metód a snímačov na zhromažďovanie konkrétnych údajov. Informácie získané z týchto údajov sa používajú na efektívne riadenie aktív, zdrojov a služieb; na oplátku sa tieto údaje používajú na zlepšenie prevádzky v meste [19]. To zahŕňa údaje zozbierané od občanov, zariadení, budov a aktív, ktoré sa spracúvajú a analyzujú na účely monitorovania a riadenia dopravných systémov, elektrární, verejných služieb, vodohospodárskych sietí, odpadu, trestných vyšetrení, informačných systémov, škôl, knižníc, nemocníc a iných spoločenských služieb. V inteligentných mestách je zdieľanie údajov nielen obmedzené na samotné mesto, ale zahŕňa aj podniky, občanov a iné tretie strany, ktoré môžu tieto údaje rôzne využívať. Výmena údajov z rôznych systémov a sektorov vytvára príležitosti na väčšie porozumenie a hospodárske výhody [40].

Koncept inteligentného mesta integruje IKT a rôzne fyzické zariadenia pripojené k IoT s cieľom optimalizovať efektívnosť mestských operácií, služieb a dostať sa do bližšieho kontaktu s občanom [20]. Technológia inteligentného mesta umožňuje mestským úradníkom priamo komunikovať s komunitnou a mestskou infraštruktúrou a monitorovať, čo sa v meste deje a ako sa mesto vyvíja. Na riadenie toku mesta a umožnenie reakcií v reálnom čase sa vyvíjajú inteligentné mestské aplikácie [32]. Inteligentné mesto môže byť preto priprave-

nejšie reagovať na rôzne výzvy ako mesto s konvenčným *transakčným* vzťahom so svojimi občanmi.

2.4 Technológie

V tejto časti sa venujem pár vybraným technológiám, ktoré som skúmal pre účely vyhotovenia práce. Technológie IoT je možné rozdeliť do troch častí podľa toho, čo robia s dátami. Jedná sa o zbieranie dát opísané v podkapitole 2.4.1, prenos dát opísaný v podkapitole 2.4.2 a uloženie a spracovanie dát opísané v podkapitole 2.4.3.

2.4.1 Zber dát

Zhromažďovanie údajov IoT je proces používania senzorov na sledovanie stavu fyzických vecí. Zariadenia a technológie pripojené cez IoT dokážu monitorovať a merať dáta v reálnom čase. Takéto senzory sú napríklad: senzory priblíženia, pozície, okupácie, pohybu, rýchlosti, teploty, tlaku, vlhkosti, kvality vody, chemické, magnetické a mnoho iných. [48]

Mnou potrebné senzory sú najmä senzory teploty a vlhkosti. Nakoľko tieto faktory zohrávajú najväčšiu rolu pri vyhodnocovaní vnútornej pocitovej teploty [53].

Ďalej je pri výbere senzorov podstatný spôsob, akým senzor ďalej propaguje namerané hodnoty. K tomu sa v IoT používa mnoho prenosových spôsobov. Môžu byť napríklad jednoducho pripojené káblom alebo komunikovať na bezdrôtovej, rádiovéj báze. Viac o niekoľkých protokoloch a technológiách zabezpečujúcich bezdrôtovú komunikáciu IoT v podkapitole 2.4.2.

2.4.2 Prenos dát

V tejto podkapitole sú priblížené štyri protokoly, ktoré boli zvažované pre riešenie tejto práce:

- **Wi-fi**¹ je najpoužívanejší a najznámejší protokol bezdrôtovej komunikácie, ktorý bol založený na štandarde IEEE 802.11. To je podporované už existujúcou káblovou architektúrou, typicky *Ethernet*. Jeho široké využitie v sektore IoT je sťažované vyššou než priemernou spotrebou energie, čo je spôsobené vyšším vyžarovacím výkonom. To s frekvenciou 2.4 alebo 5 GHz. Ten je nutný pre rýchly prenos dát vyšších objemov a lepšie pripojenie a spoľahlivosť s nízkou latenciou. [16]
- **Bluetooth LE** (ďalej používaná skratka BLE) je vylepšenie klasického *Bluetooth* protokolu. Pracuje na frekvencii 2,4 Ghz. Má mnoho aplikácií, ale jednou z najbežnejších je prenos údajov zo senzorov. Sensorové zariadenie, ktoré meria teplotu raz za minútu, alebo GPS zariadenie, ktoré zaznamenáva a vysiela svoju polohu každých 10 minút, je niekoľko príkladov. V mnohých prípadoch sú produkty BLE napájané iba z malej gombíkovej batérie. Ak sa údaje odosielať len zriedka, zariadenie BLE napájané z gombíkovej batérie môže mať životnosť batérie rok alebo dlhšie. [16]

To vytvára príležitosti pre mnoho IoT aplikácií hlavne medzi mobilnými a *wearable* zariadeniami. BLE technológia je obmedzovaná hlavne limitovaným dosahom a pokrytím. [12]

¹Skratka pre anglické *wireless fidelity*, čo znamená *bezdrôtová vernosť*.

- **Zigbee** je ďalšia sieťová technológia krátkeho dosahu podobná v mnohých ohľadoch Bluetooth LE s podobnými aplikáciami. Používa rovnakú nosnú frekvenciu 2,4 GHz, spotrebúva veľmi málo energie, pracuje v podobnom rozsahu a ponúka *mesh networking* [16]. V skutočnosti, Zigbee *mesh network* môže obsahovať až 65 000 zariadení, čo je vyše dvakrát toľko, ako podporuje Bluetooth LE. Zigbee sa primárne používa pre aplikácie domácej automatizácie, ako sú inteligentné osvetlenie, inteligentné termostaty a monitorovanie domácej energie. Bežne sa používa aj v priemyselnej automatizácii, inteligentných meračoch a bezpečnostných systémoch. [46]
- **LoRa**² umožňuje v niektorých oblastiach komunikáciu s veľmi dlhým dosahom viac ako 10 km pri nízkej spotrebe energie. Ide o patentovanú bezdrôtovú technológiu získanú spoločnosťou *Semtech* v roku 2012 [50]. LoRa využíva rôzne frekvenčné pásma v závislosti od regiónu prevádzky. V Severnej Amerike sa používa 915 MHz a v Európe je frekvencia 868 MHz. Iné oblasti môžu tiež používať 169 MHz a 433 MHz. LoRa odkazuje na základnú technológiu a možno ju priamo použiť na komunikáciu typu *peer-to-peer*. LoRaWAN označuje sieťový protokol vyššej vrstvy. [16]

Hoci je LoRa navrhnutá tak, aby fungovala v obrovskom rozsahu, nie je to mobilná technológia, ktorá sa môže pripojiť k mobilným sieťam. Vďaka tomu je menej zložitá a lacnejšia na implementáciu, ale jej aplikácie sú obmedzené. Ak napríklad produkt vyžaduje vzdialený prístup ku cloudu, je potrebné dodať aj zariadenie LoRa brány na pripojenie k internetu. Zariadenie sa pripája k internetu a komunikuje s akýmikoľvek vzdialenými LoRa zariadeniami. LoRa neposkytuje žiadnemu jednému vzdialenému zariadeniu metódu vzdialeného prístupu ku cloudu, za predpokladu, že v prevádzkovom dosahu nie je žiadna LoRa brána. LoRa je ďalej limitovaná nízkou rýchlosťou prenosu³, pracovnými cyklami v LoRa sieti, čo limituje počet správ poslaných v určitom časovom okne. Preto je LoRa nevhodná pre aplikácie potrebujúce nízku latenciu. [13]

- **IQRF** je podľa zdroja [25] technológia založená na protokole IQRF, ktorý pracuje v rádiovom pásme 868 MHz (v Európe) alebo 915 MHz (v USA a iných častiach sveta). To poskytuje vysokú priepustnosť dát a dobrý dosah, čo znamená, že zariadenia môžu byť umiestnené aj na relatívne veľkých vzdialenostiach.

Zdroj [25] ďalej ukazuje, že IQRF podporuje rôzne topológie siete vrátane hviezdicovej, meshovanej a rozptýlenej. Táto technológia tiež podporuje viaceré druhy zariadení, vrátane senzorov, aktuátorov a brán, ktoré môžu byť pripojené k sieti a komunikovať s inými zariadeniami a uzlami. Jednou z výhod IQRF je nízka spotreba energie, ktorá umožňuje zariadeniam pracovať na batérie alebo iné zdroje energie až niekoľko rokov bez nutnosti výmeny alebo dobíjania. Ďalej sa vyznačuje svojou spoľahlivosťou a bezpečnosťou aj v rušných podmienkach.

Medzi nevýhody však patrí obmedzený počet dostupných zariadení a nástrojov v porovnaní s ostatnými bezdrôtovými technológiami. Nedosahuje vysoké prenosové rýchlosti a je aj drahšia, kvôli potrebe špeciálnych zariadení a modulov.

Všetky tieto prenesené dáta musia byť spracované a niekde uložené, bližšie o týchto úkonoch v podkapitole 2.4.3.

²Význam skratky je z anglického *Long-Range*, čo znamená dlhý dosah.

³Táto rýchlosť dosahuje iba po 27 kbps.

2.4.3 Uloženie a spracovanie dát

Snímače IoT generujú údaje postupne alebo na aktiváciu vonkajšej udalosti. Tie sa musia zhromažďovať, agregovať, analyzovať a vizualizovať, aby sa získali užitočné informácie [33].

To sa môže diať na troch IoT úrovniach — *Cloud*, *Fog*, *Edge*:

- **Edge computing** spracováva dáta mimo centralizovaného úložiska, uchováva informáciu na lokálnych častiach siete — koncových zariadeniach a bránach⁴. To znamená najnižšiu latenciu a okamžitú odpoveď na dáta. Tento prístup umožňuje vykonať výpočty a uložiť určitý (len obmedzený) objem údajov. Zvyčajne má voľne prepojenú konštrukciu, v ktorej okrajové uzly pracujú nezávisle s údajmi. [14]

Výpočty na okraji IoT sú optimálnym riešením pre malé okamžité operácie, ktoré sa musia spracovávať rýchlosťou milisekundy. Keď sa súčasne uskutočňuje veľa malých operácií, ich vykonávanie na miestnej úrovni je rýchlejšie a lacnejšie. [14]

- **Fog computing** funguje ako medzivrstva medzi tradičným centralizovaným systémom uchovávanía údajov a koncovými zariadeniami. *Fog* rozširuje *cloud* a približuje výpočty a uchovávanie údajov k okraju. *Fog* pozostáva z viacerých uzlov (*Fog nodes*) a vytvára miestnu sieť, ktorá z nej robí decentralizovaný ekosystém. [14]

Keď sa údaje dostanú do *fog* vrstvy, uzol sa rozhodne, či ju spracovať lokálne alebo ju poslať do *cloudu*. K údajom je preto možné pristupovať offline, pretože niektoré ich časti sa uchovávajú aj na miestnej úrovni. [14]

Fog computing je užitočný, keď je pripojenie na internet nestabilné. Napríklad v pripojených vlakoch môže *fog* získať lokálne uložené údaje v oblastiach, kde nie je možné udržiavať pripojenie na internet. Umožňuje tiež implementáciu spracúvania údajov v miestnej sieti bližšie k okrajovým uzlom, čo je dôležité pre časovo citlivé operácie a analýzu údajov v reálnom čase. [14]

- **Cloud computing** je momentálne štandardom uchovávanía údajov na internete. Je to forma výpočtov, pri ktorých sa údaje uchovávajú na viacerých serveroch a sú prístupné online z akéhokoľvek zariadenia. [14]

Cloud je centralizované úložisko, ktoré sa nachádza ďalej od koncových bodov ako akékoľvek iné úložisko. To vysvetľuje najvyššiu latenciu, náklady na šírku pásma a sieťové požiadavky. Na druhej strane je *cloud* mocným globálnym riešením, ktoré dokáže účinne zvládnuť obrovské množstvo údajov zapojením viac výpočetných zdrojov a získaním väčšieho serverového miesta. Funguje skvele pre analýzu veľkých údajov, dlhodobé uchovávanie údajov a analýzu historických údajov. [14]

⁴Anglicky využívaný názov *gateway*.

Kapitola 3

Problematika kúrenia

Na základe štatistík z [62], väčšina obyvateľov žije v bytoch alebo bytových domoch. V nich sa hlavne využíva centrálné kúrenie [23]. Preto prieskum a riešenie tejto práce je zamerané na byty a bytové domy. Toto tvrdenie potvrdila aj analýza z podkapitoly 4.1.

V dnešnej dobe, kvôli rastúcej cene energií, je kritickým problémom efektívnosť vykurovania. Každý sa snaží čo najviac ušetriť na energiách a vykurovacích palivách. Volíme na to rôzne taktiky [54]:

- Pre každú izbu volíme inú, vhodnú teplotu.
- Kúrenie nevypíname úplne.
- Utesníme a postaráme sa o okná.
- Dodržujeme zásady vetrania.
- Nezakrývame radiátory.
- Manuálne regulujeme kúrenie.
- Udržujeme výhrevné telesá v poriadku.

Niektoré z týchto taktík sú ale dosť únavné a neefektívne. Preto túto činnosť môžeme prenechať šikovným zariadeniam. Niekoľko takýchto zariadení na ovládanie teplôt sú ukázané v podkapitole 3.2. Ďalším krokom v šetrení energiami je používať najefektívnejší spôsob kúrenia. Tieto spôsoby sú opísané v podkapitole 3.1.

3.1 Spôsoby kúrenia

Jedným z najdôležitejších aspektov domova je jeho teplo. Teplo musí ale niekde vznikáť. Poznáme dva základné systémy [34]. Jedná sa o *lokálny systém* obsiahnutý v podkapitole 3.1.1 a *ústredný systém* s topnými telesami, opísaný v podkapitole 3.1.2.

3.1.1 Lokálny systém

Jedná sa o výhrevné zariadenie generujúce teplo priamo v miestnosti, ktorú chceme vyhrievať [45]. Na odovzdávanie tepla sa používa konvekčný alebo sálavý spôsob [27]. Medzi modernejšie verzie tohto vykurovania patrí teplovzdušný komín.

Medzi takéto zariadenia patria napríklad kachľové pece alebo krby. Tie môžu byť otvorené alebo zatvorené podľa prístupu k ohňu. Ďalej ich vieme rozdeliť aj podľa výhrevného paliva na plyné, tuhé alebo aj elektrické. Medzi elektrické patria teplovzdušné ohrievače. [52]

Takýto spôsob vyhrievania miestností splní účel a miestnosť vyhreje, ale jeho spotreba palív je veľmi vysoká a neefektívna [43]. Zároveň aj účinnosť tohto systému je nižšia [43]. V prípade krbu a kachľovej pece je obťažná aj manuálna regulácia a vzniká potreba udržiavať oheň.

3.1.2 Ústredný systém

Poskytuje teplo viacerým priestorom v budove z jedného hlavného zdroja tepla. Teplo sa získava meničmi energie na teplo. To sú napríklad kotly, bojler a tepelné čerpadlá. [61]

Primárnymi zdrojmi energie môžu byť palivá ako uhlie, drevo, ropa, petrolej, zemný plyn alebo elektrina.

Ak sa vytápa jedna bytová jednotka alebo jedno poschodie budovy, hovorí sa o *etážovom vykurovaní*. Dnes sa ale častejšie používa *pružné etážové vykurovanie*, kde sa do trubiek pridávajú čerpadlá a tým pádom je možné vyhriať viac poschodí. [57]

Teplo ale podľa zdroja [44] môže vznikáť aj vo vzdialenom zdroji, napríklad v teplárňach. Takýto systém sa nazýva *dialkové vykurovanie*. V takom prípade sa prenáša teplotonosná látka priamo do budov, kde sa ďalej delí na poschodia, byty, miestnosti. Tento spôsob je najčastejšie využívaný v panelákoch, vežiakoch a iných veľkých budovách.

Podľa zdroja [42] je výhodou tohto systému centrálné ovládanie vykurovania, ktoré uľahčí reguláciu teplôt teplotonosných látok. Zároveň sa v prípade elektrických alebo plynových zdrojov tepla naskytuje možnosť automatizácie, nakoľko modernejšie kotly a bojler sú programovateľné. To všetko zvyšuje účinnosť a efektívnosť vykurovania. V prípade dialkového vykurovania zaniká aj potreba starať sa o zdroj tepla, nakoľko to zabezpečuje dodávateľ.

Zdroj [42] ďalej spomína, že vzniknuté teplo z ústredného topenia musí byť rozdelené do miestností domácností a následne distribuované v danej miestnosti. Medzi dva najznámejšie vykurovacie telesá patrí *podlahové kúrenie* a *radiátorové kúrenie*.

Podlahové kúrenie

Toto vykurovacie teleso je skryté v podlahe, kde sa rúrkami pod podlahou šíry teplo. Tieto trubky sú rozložené po celej podlahovej ploche miestnosti. Vyhrieva sa žiarením, konvekciou a vedením. Môže byť buď teplovodné, teplovzdušné alebo elektrické. [58]

Značnou výhodou tejto varianty je skutočnosť, že sa používa nižšia teplota (35 – 45°C). Vďaka tomu je možné ušetriť na energiách a dokonca je možné uvažovať o použití obnoviteľných zdrojov energie, ako sú napríklad solárne zdroje. Pri takýchto nižších teplotách a rozložení vykurovacieho telesa po celej ploche podlahy je prúdenie vzduchu nižšie, to má za následok rovnomernejšie rozloženie tepla. Navyše absencia radiátora nám zvyšuje úžitkovú plochu miestnosti a slobodu pohybu. [39]

Regulácia teploty je väčšinou termostatom, kde sa na základe zvolenej teploty čerpadlami privedie do žiadanej miestnosti teplovodná látka [39]. Viac o termostatoch v podkapitole 3.2.

Používa sa v nízkotepelných ústredných vykurovacích systémoch. Tejto skutočnosti by mal zodpovedať aj zdroj tepla. Preto môže byť inštalácia tohto systému na niektorých miestach nemožná. Zároveň sa jedná o rozsiahlu konštrukciu s vyššími nákladmi na inštaláciu.

Radiátorové kúrenie

Zo zdroja [51] vychádza, že radiátor vo svojom základe je tepelný výmenník, ktorým sa ohrieva vzduch miestnosti. Takže väčšina tepla je šírená prúdením vzduchu, samozrejme ale vedie teplo aj sálaním.

Ďalej zdroj [51] spomína, že väčšinou sa v radiátoroch používa horúca voda (50 – 70°C), v prípade starších stavieb para z kotla. Používajú sa liatinové, ocelové alebo hliníkové žiabrové radiátory, ktoré svojím tvarom podporujú prúdenie okolitého vzduchu. Zaberajú ale veľa miesta a obsahujú veľké množstvo vody, čo spomaľuje rozohrievanie. Preto sa často začínajú používať doskové zvarané radiátory z ocelových alebo hliníkových plechov. Do popredia sa taktiež dostávajú aj vertikálne a trubkové radiátory, ktoré strácajú na účinnosti pre viac estetické atribúty.

Horúca voda vstupuje do radiátorov. Ten je vybavený kohútikom alebo termostatickým ventilom, hlavicom. Tou sa dá regulovať prívod tepla, viac o nich v podkapitolách 3.2.3 a 3.2.4. Ochladená voda opúšťa radiátor.

Tepelná účinnosť závisí na tvare, materiále a umiestnení radiátora. Napriek tomu má stále nižšiu účinnosť ako podlahové kúrenie. Všeobecne sa ale jedná o najčastejšie vykurovacie teleso.

3.2 Spôsoby ovládania vykurovania

Ovládať centrálné vykurovanie sa dá niekoľkými spôsobmi [24]. Tri z nich sú opísané v podkapitolách 3.2.3, 3.2.4 a 3.2.5. Jedná sa o existujúce produkty, ktoré sú zakúpiteľné na našom trhu a ponúkajú určité riešenie problematiky regulácie vyhrievania. Všetky tieto spôsoby k svojej činnosti využívajú nejaké termostaty, ktoré sú vysvetlené a rozdelené v podkapitole 3.2.1. Sú však sprevádzané problémom hysterézie, ktorý je stručne opísaný v podkapitole 3.2.2.

3.2.1 Termostat

Termostat je zariadenie, ktoré buď ovláda, meria alebo ovláda a meria teplotu fyzického systému [9]. Vykonáva akcie ako zapnutie, vypnutie a reguláciu toku tepla aby udržalo požadovanú teplotu fyzického systému [9]. Najčastejšie využitie má vo vykurovaní budov, ústrednom kúrení, klimatizácii, *HVAC systémoch*¹, ohrievačoch vody, kuchynskej rúry, chladničkách a iných. Termostaty využívajú rôzne spôsoby merania teplôt a aktivácie ovládacích operácií:

- **Mechanické termostaty** podľa zdroja [56], využívajú bimetalického pásiku, ktorý reaguje na zmeny teplôt mechanickým posunom. Tým aktivujú ovládanie ohrievacieho alebo chladiaceho zdroja. Tie sa využívali v domácom ústrednom kúrení používajúcom vodu alebo paru ako teplonosnú látku. Medzi ďalšie mechanické termostaty sa ďalej radí voskový motor. Je to lineárne ovládacie zariadenie, ktoré premieňa tepelnú energiu na mechanickú energiu využívaním fázovej zmeny voskov [59]. Počas topenia vosk typicky zväčší svoj objem o 5 – 20% [38]. Vo voskovom motore sa môžu použiť vosky extrahované z rastlinnej hmoty ale aj vysoko rafinované uhľovodíky. Funguje na základe expanzie uzavretého obsahu vosku, ktorý sa vplyvom tepla expanduje a poháňa piest smerom von objemovým posunom [10]. Najčastejšie použitie má v automobilovom priemysle, práčkach a umývačkách, zmiešavacích ventiloch pri *HVAC systémoch*

¹Z anglického *Heating, ventilation, and air conditioning*.

a termostatických radiátorových ventiloch. Termostatické radiátorové ventily sú ďalej spomenuté v podkapitole 3.2.3.

- **Elektricko–analogové termostaty** pozostávajú z využitia mechanických termostatov. Poznáme bimetalické prepínané termostaty, ktoré za pomoci dvoch bimetalických pásov spínajú obvody a simulujú stavy zapnuté a vypnuté [56]. Patria sem aj termostaty napájané termočlánkami, ktoré získavajú milivolty. To je postačujúca elektrická sila na poháňanie plynového ventilu s nízkym výkonom [17]. Ten môžeme použiť na ovládanie prísunu paliva do horáku.
- **Elektronické termostaty** sú ovládané termistormi² alebo inými polovodičovými senzormi [6]. Tie spracujú teplotu a zmenia ju na elektrický signál, ktorým sa ovláda vykurovací alebo ochladzovací systém [6, 47]. Na meranie sa nepoužívajú žiadne pohyblivé súčiastky. Elektronickým termostatom na napájanie nestačia termočlánky ale musia byť napájané aspoň už z batérii [47]. Najčastejšie sa jedná o digitálne termostaty umiestnené na stenu s obrazovkou prípadne dotykovým ovládaním a nastavením denných a týždenných režimov [47]. Používajú sa v systémoch *HVAC* a *Smart Home*, o ňom viac v podkapitole 3.2.5.

3.2.2 Hysterézia

Podľa zdroja [5] všetky termostaty pri ovládaní teploty sprevádza problém hysterézie. Tá spôsobuje oneskorenie odozvy na regulačný zásah. Napríklad keď ventil uzavrie prívod teplej vody do radiátora, teplá voda v miestnosti ďalej rastie, pretože radiátor je plný horúcej vody. Naopak, pri poklese teploty sa ventil otvorí. Bude však ešte dlho trvať než sa radiátor naplní teplou vodou. Vo výsledku bude teplota silno kolísat. Preto sa v prípade potreby používajú zložitejšie systémy na báze PID³ regulátoru, kde okamih regulačného zásahu je nastavený tak, aby systém udržal optimálny priebeh teplôt bez výrazného kolísania.

3.2.3 Termostatické ventily

Zdroj [8] podrobne popísal túto technológiu a je z neho čerpaný obsah pre celú podkapitolu. Termostatický radiátorový ventil (ďalej skratka TRV) ako samoregulačný ventil namontovaný na radiátor teplovodného vykurovacieho systému na reguláciu teploty miestností zmenou prietoku teplej vody do radiátora.

TRV s voskovým motorom obsahuje zátku, typicky vyrobenú z vosku. Zátka sa rozširuje alebo zmršťuje s okolitou teplotou. Je pripojená ku kolíku a ten zas k ventilu. To nám vytvára spomínaný voskový motor opísaný v podkapitole 3.2.1. Ventil sa postupne zatvára so zvyšujúcou sa teplotou okolia, čím sa obmedzuje množstvo teplej vody vstupujúcej do radiátora. To umožňuje nastaviť maximálnu teplotu pre každú miestnosť. V prípade odmontovania hlavice sa ventil otvorí a radiátor bude stále horúci. Keďže ventil funguje na základe snímania teploty vzduchu, ktorý ho obklopuje, je dôležité zabezpečiť aby nebol zakrytý materiálom, napríklad závesmi. Dôležité je si ešte uvedomiť že sníma iba teplotu v blízkosti radiátora, ktorá môže byť značne iná v iných častiach miestnosti.

Medzi možný problém sa ešte radí kombinovanie TRV s inými termostatmi. Pretože TRV je nastavené aby sa vyplo pred dosiahnutím nastavenej teploty z dôvodu hysterézie

²Rezistor meniaci odpor na základe teploty.

³Z anglického proportional–integral–derivative.

spomínanej v podkapitole 3.2.2. Termostat ale bude ďalej usilovať o dosiahnutie nastavenej teploty, čo môže viesť k vysokej teplote v iných miestnostiach alebo ku kompletne nepredpokladateľnému chovaniu.

3.2.4 Inteligentné termostatické hlavice

Zdroj [37] podrobne popísal túto technológiu a je z neho čerpaný obsah pre celú podkapitolu. Jedná sa o elektronicky ovládané TRV, teda elektronické termostaty spomínané v podkapitole 3.2.1, od ktorých aj získavajú vlastnosti a schopnosti, ako napríklad programovateľnosť na dni a týždne. Oproti konvenčným TRV teda získavajú značnú radu funkcií a ovládania čo prináša ešte lepšie energetické úspory.

S nástupom novších technológií hlavice získali možnosť pripojenia do IoT. Tým pádom už hlavica nemusí merať teplotu len v blízkosti radiátora ale môže mať ďalšie tepelné senzory v miestnosti. Takéto hlavice často potrebujú komplexnejšiu inštaláciu oproti konvenčným TRV a to napríklad pripojením k IoT bránam a spárovaním s aplikáciami. Najčastejšie sa využívajú bezdrôtové protokoly Zigbee alebo Z-Wave. Niekoľko takýchto riešení je opísaných v podkapitole 4.2.

3.2.5 Smart Home

Podľa zdroja [26] ide o robustný, automatizovaný systém pre celú domácnosť. Tento systém monitoruje a ovláda rôzne prvky domácnosti ako napríklad: osvetlenie, audio, okná, spotrebiče, dvere, okupáciu, zabezpečenie a alarmy. Samozrejme monitoruje a ovláda aj teplotu v domácnosti. Mimo iné nájdeme aj netradičnejšie *zariadenia*, pripojiteľné do takejto domácnosti ako napríklad posteľ, vankúš, stôl, a iné.

Zdroj [26] ďalej popisuje, že systém je často pripojený k internetu buď cez bránu alebo integrovanú domácu jednotku, ktorá zvládne samostatne spracúvať dáta z množstva senzorov a na základe získanej informácie adekvátne ovládať celú domácnosť.

Tento prístup nám poskytuje možnosť ovládať všetky zariadenia z jedného miesta alebo aplikácie. To zároveň pridáva na flexibilitu. Bezpečnosť domácnosti, vybavenej inteligentnými zariadeniami na zabezpečenie *smart* domácnosti, sa značne zvýši. Dialkové ovládanie všetkých spotrebičov uľahčí prístup. Získame štatistiky celej domácnosti a manažment nad každým jej prvkom. [4]

Vďaka obrovskému množstvu vstupných dát zo senzorov je možné získať značné informácie o domácnosti a tým aj ušetriť veľké množstvo energie. To napríklad vypnutím alebo stlmením svetiel v miestnostiach, kde sa nikto nenachádza, reguláciou vyhrievania podľa potreby, vhodnému vetraniu a inými.

Tieto systémy patria do najvyššej cenovej kategórie, nakoľko sú robustné a musia byť kúpené od jedného výrobcu. Pripojenie zariadení od rôznych výrobcov pod jeden systém alebo aplikáciu je často buď veľmi náročné alebo až nemožné. Vytvorí to nežiadúci efekt množstva brán a aplikácií spravujúcich zariadenia. Posledný zásadný problém, ktorý sa objaví pri takejto domácnosti je, že napriek získanej bezpečnosti pred fyzickými útokmi a vlámaniami, sa objaví nová slabina v podobe *kyber* útokov. [11]

Jednou z mnohých firiem, ktoré ponúkajú *Smart Home* riešenie, je *HomeSystem*⁴.

⁴Stránky predajcu na <https://www.homesystem.sk>.

Kapitola 4

Analýza požiadaviek na systém

Na vytvorenie návrhu z kapitoly 5 je najskôr potrebné analyzovať používateľov, ich požiadavky a potreby na systém vykurovania. Postup a konkrétna analýza používateľov je v podkapitole 4.1. Existujúce riešenia z podkapitoly 4.2 poskytujú informácie o riešeniach tejto problematiky. Tie poskytujú možnosti inšpirovať, poučiť sa z daných riešení pri návrhu a zároveň je možné ich využiť v implementácii. Pri návrhu je veľmi dôležité zohľadniť a dosiahnuť požiadavky zadané firmou Logimic, ktoré sú analyzované v podkapitole 4.3. Na základe získaných informácií z tejto kapitoly je v podkapitole 4.4 vytvorený výstup a záver analýzy.

4.1 Analýza používateľov

Používateľov som si rozdelil do dvoch skupín podľa toho, v akých priestoroch by mohol byť systém implementovaný. To na používateľov v domácnosti obsiahnutých v podsekcii 4.1.1 a vo firemných priestoroch v podsekcii 4.1.2. Toto rozdelenie bolo vytvorené a zvolené z dôvodu rozličných požiadaviek na systém ovládania. Výstup analýzy je tak isto rozdelený do dvoch častí, pretože požiadavky pre ovládanie vo firemných priestoroch sú rozdielne. Výsledky vychádzajú z predošlých prieskumov. Firemné požiadavky boli diskutované s kontaktom firmy *Virtuálny správca budov, s.r.o.*¹, s pánom Ing. Slavomírom Satvárom.

Postup analýzy

Informácie od potencionálnych používateľov som sa rozhodol získavať prostredníctvom interaktívneho dotazníka², vytvoreného na platforme *Google forms*. Recipientom tohto formulára boli rodinní príslušníci, rovesníci a spolužiaci. Formulár obsahuje sadu otázok zameraných na interakciu používateľov so systémom, očakávané funkcie systému a všeobecne identifikáciu požiadaviek na systém.

4.1.1 Výstup analýzy v domácnosti

V domácnosti je používateľom väčšinou jednotlivec, ktorý chce hlavne ušetriť na vykurovaní alebo prípadne ho chce automatizovať. Priemerný používatelia bývajú v bytoch alebo bytových domoch a majú v domácnosti nainštalované radiátorové kúrenie. Tieto byty sú

¹Dostupnej na stránke: <https://vsb-po.sk>.

²Dostupný na stránke: <https://forms.gle/2kGT15zaL6VF1hxS7>. Dáta z dotazníka prebrané dňa 23.03.2013.

väčšinou trojizbové. V každej izbe sa nachádza priemerne jeden radiátor. Medzi požiadavky rezidentov patrí manuálne a diaľkové ovládanie kúrenia, detekcia otvoreného okna, nastavovanie vykurovacích rozvrhov, grafický prehľad spotreby, grafický prehľad teploty miestností a prehľad výkonu radiátora. Ďalšie požiadavky sú, aby inštalácia bola čo najjednoduchšia a očakávajú jednoduchú a prehľadnú aplikáciu na ovládanie vykurovania.

4.1.2 Výstup analýzy vo firemných priestoroch

Vo firemných priestoroch je zákazníkom práve firma, ktorá chce hlavne ušetriť na vykurovaní alebo ho prípadne chce automatizovať. Väčšie firmy majú často väčší počet budov s väčším počtom poschodí. Preto mimo už spomínané funkcie pre jednotlivé byty, vyžadujú komplexnejšie delenie a priradovanie zariadení do miestností, miestnosti do poschodí a poschodia do budov. Ďalšou požiadavkou bolo vypnutie alebo zapnutie kúrenia podľa rozvrhu a rezervácie miestností, teda v prípade, že zamestnanec si rezervuje miestnosť alebo ak sa bude v danej miestnosti čoskoro konať stretnutie, daná miestnosť sa dopredu vyhreje. K manuálnemu ovládaniu bola požiadavka aby zamestnanci boli schopný len dočasne zmeniť cieľovú teplotu radiátora.

Tento systém by mohol byť využiteľný aj správcami budov, ktorým by mohol priniesť lepšiu kontrolu a prehľad o využití tepla v budovách. K tomu by ale potrebovali novú radu funkcií. Hlavne rozsiahlych štatistických prehľadov, výpočtov spotrebovaného tepla a iných. Zameranie systému týmto smerom je zvyhodňované slovenskou legislatívou, kde od roku 2027 pravdepodobne príde do platnosti zákon o elektronickom zbere dát³.

4.2 Existujúce riešenia

Riešením inteligentného vykurovania sa už zaoberal väčší počet firiem a vďaka tomu vzniklo aj väčšie množstvo riešení tejto problematiky. V tejto podkapitole je niekoľko týchto riešení analyzovaných na základe informácií dostupných od predajcov, a sú z nich vyvedené ich plusy, mínusy a spôsob riešenia tejto problematiky. Ďalej sú rozdelené podľa technológie, ktorú využívajú na bezdrôtové prepojenie zariadení.

IQRF

Komerčné riešenie využívajúce túto technológiu je len jedno od Slovenskej firmy *Austyn*⁴. Výhodou tejto technológie je pripojenie zariadení metódou každý s každým, teda technológiou *mesh networking* za použitia proprietárneho IQMESH. Táto kombinácia vytvára značnú výhodu v prenose dát pri väčšom počte zariadení na väčšom priestore. Problémom je ale nutnosť zapojenia so do *IQRF Alliance* pre možnosť využitia ich riešení. Konkrétne riešenie je možné vďaka inteligentnej hlavici od firmy *Austyn*, ktorá je pripojená do siete IQRF. S využitím IQRF brány je možné potom ovládať danú hlavicu vzdialenou aplikáciou. Informácie o hlavici sú zo zdroja [2]. Výhodou tejto hlavice⁵, ktorú môžete vidieť na obrázku 4.1, je jednoduchá a rýchla inštalácia aj vďaka automatickej adaptácii na ventil. Autonómny ovládač zabudovaný priamo v hlavici pre jej nezávislosť od internetového pripojenia. Možnosť alternatívneho, priamo pripojeného merania teploty vyvedeným káblom.

³Predbežné stanovisko dostupné na <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjAteX2-eL-AhXhgPOHHZs1ArIQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.nrsr.sk%2Fssez%2FdownloadDoc.ashx%3FDocID%3D5099&usg=A0vVaw097BQtvskILLj0xhEVcfjT>

⁴Stránka predajcu <https://austyn.sk>.

⁵Dostupná z <https://www.iqrfalliance.org/marketplace/mag-ra>.

Voliteľne môže byť výhodou dodatočná zabezpečovacia konštrukcia. Celé riešenie s využitím aplikácie potom získava funkcie ako automatická regulácia kúrenia, možnosť nastaviť týždenný program, meranie teploty, stav ventilu, stav hlavice a jej bateriek a detekcia otvoreného okna. K tomu podporuje nemrznúcu a koróznou ochranu a možnosť ovládať hlavicu aj manuálne. Veľkým problémom tohto riešenia je, že nie je otvorené a je integrované firmou *Austyn* ako kompletne riešenie. Pre možnosť využitia tohto riešenia by boli potrebné dlhších komunikácie a dohôd s firmou *Austyn*.



Obr. 4.1: Inteligentná hlavica MAG RA od firmy *Austyn*.

Možné riešenie s technológiou IQRF je vyskladať samostatne hlavicu ovládateľnú elektronicke a pripojiť k nej *IQRF modul*⁶, ktorý by slúžil ako prijímač a vysielateľ. Ten by ďalej komunikoval s *IQRF bránou*⁷.

LoRaWAN

Túto technológiu využívajú dvaja výrobcovia v dvoch konkrétnych riešeniach. Prvou je Nemecká firma *Micropelt*⁸. Vyvinuli inteligentnú hlavicu⁹, ktorú môžete vidieť na obrázku 4.2. Informácie o tejto hlavici sú zo zdroja [36]. Výhodou tejto hlavice je vysoká úspora energie, nakoľko je energeticky sebestačná. Energiu, ktorú využíva získava konverziou teplotných rozdielov horúceho radiátora a okolitého vzduchu na elektrickú energiu. Tým sa eliminuje potreba častej výmeny baterií. Hlavica ma robustný dizajn so zameraním na verejné priestory. Preto hlavici chýba možnosť manuálneho ovládania. Ovládanie je možné iba rádiovou LoRaWAN technológiou, ktorá je opísaná v 2.4.2. Medzi jej funkcie patrí percentuálne otvorenie ventilu alebo nastavenie konkrétnej teploty pomocou teplotného senzoru v hlavici. Hlavica zároveň odosiela údaje o teplote, stave baterky a motoru a správy o spotrebe a generácii energie. V prípade, že je spotreba dlhodobo vyššia ako generácia, je možné

⁶Napríklad modul dostupný z <https://eshop.iqrf.org/cz/bezdratove-moduly-tr>.

⁷Napríklad brána dostupná z <https://eshop.iqrf.org/cz/pristupove-brany>.

⁸Stránka výrobcu <https://www.micropelt.com/en/>.

⁹Dostupnú z <https://www.smartbuildingproducts.co.uk/product/micropelt-mlr003-lorawan-actuator>.

hlavicu cez USB port dobiť. Najdôležitejším prvkom tohto riešenia je, že je otvorené a ponúka dokumentáciu¹⁰ obsahujúcu modely a spôsoby komunikácie s hlavicou. To znamená, že za použitia ľubovoľnej *LoRaWAN brány* je možné po pripojení priamo ovládať hlavicu už navrhnutými príkazmi. Inštalácia tejto hlavice ale môže obnášať komplikácie kvôli kompatibilitě s ventilom radiátora, nakoľko pasuje iba na závit *M30 x 1,5*. Problém môže nastať aj v prípade častejšej komunikácie s bránou, kedy je očakávané, že generovanie energie bude nedostatočné.



Obr. 4.2: Inteligentná hlavica MLR003 od firmy *Micropelt*.

Druhým výrobcom je Bulharská firma *MClimate*¹¹. Táto firma vyvinula inteligentnú hlavicu¹², komunikujúcu technológiou LoRaWAN opísanou v 2.4.2. Obrázok 4.3 zobrazuje túto hlavicu. Informácie o tejto hlavici sú zo zdroja [35]. Výhodou tejto hlavice je možnosť manuálneho ovládania, čo môže predstavovať výhodu v prostredí domova. Na rozdiel ale od spomínanej MLR003 od firmy *Micropelt* je hlavica *Vicki* plne závislá na batériách. Výrobca však sľubuje výdrž zariadenia na jeden set batérii v období niekoľkých rokov. Medzi funkcie hlavice patrí nastavenie požadovanej teploty buď manuálne alebo diaľkovo príkazmi. Ovládanie a reguláciu pomocou externých senzorov. Digitálny displej zobrazujúci momentálne nastavenú teplotu. Možnosť zamknúť manuálne ovládanie. Inštalácia hlavice by nemala byť komplikovaná vďaka kompatibilitě so značným počtom ventilov. Táto hlavica je tak isto ako MLR003 je otvorená a má prístupnú rozsiahlu dokumentáciu¹³. Vďaka tomu je možné ovládanie hlavice z rôznych aplikácií.

¹⁰Dostupný z <https://micropelt.atlassian.net/wiki/spaces/MH/pages/2981889/MLR003RiEU61-07+EN>.

¹¹Stránky výrobcu sú <https://mclimate.eu>.

¹²Dostupný z <https://mclimate.eu/products/vicki-lorawan>.

¹³Dostupný z <https://docs.mclimate.eu/mclimate-lorawan-devices/devices/mclimate-vicki-lorawan>.



Obr. 4.3: Inteligentná hlavica Vicki od firmy *MClimate*.

ZigBee

Technológia ZigBee sa pýši najväčšiemu zastúpeniu komerčných riešení. Táto technológia je opísaná v podkapitole 2.4.2. Výrobcov riešení inteligentného vykurovania je tak isto obrovské množstvo. Každý ponúka trochu iné riešenie s troška inými výhodami a nevýhodami. Všetky sa ale zameriavajú na prepojenie s domácimi asistentmi alebo inými proprietárnymi aplikáciami. Výrobcovia teda neponúkajú možnosť využiť ich riešenia a hlavice v iných aplikáciách ako nimi podporovaných. Jedná sa hlavne o *Google Assistant*, *Amazon Alexa*, *Tuya*, *Apple Siri* alebo konkrétnu mobilnú aplikáciu výrobcu na systéme *Android* alebo *iOS*. Obecne všetky takéto hlavice vyžadujú napájanie z batérie a majú nejakú formu displeja. Medzi obecné funkcie patrí vzdialené ovládanie ventilu, nastavenie požadovanej teploty alebo nastavenie plánov a rozvrhov. Pri pripojení na domáceho asistenta získavajú radu ďalších možností, ako napríklad spustenie vyhrievania miestnosti ak sa v nej nachádzate alebo detekcia otvorených okien a tak ďalej. Väčšina hlavíc nemá pri inštalácii problém, nakoľko sú väčšinou kompatibilné so všetkými ventilmi alebo výrobcovia k baleniu pridávajú adaptéry na ventil. Každé riešenie od konkrétneho výrobcu vyžaduje bránu od tohto istého výrobcu. Tým vzniká problém, kde pre ideálne riešenie je potrebné využívať produkty iba od jedného výrobcu, aby nebolo potrebné mať v domácnosti zapojených niekoľko brán. Tieto spomínané problémy je ale možné obísť napríklad prekladom zo ZigBee komunikácie na napríklad *MQTT*¹⁴, ktorému rozumie takmer každé IoT zariadenie. Toto ale nie je v súlade s podmienkami predajcu a ešte to je aj zbytočne komplikované.

4.3 Logimic

Jedná sa o firmu¹⁵, ktorá hlavne vytvára software na objednávku so zameraním na IoT aplikácie v oblasti inteligentných miest spomínaných v podkapitole 2.3. Klienti firmy pochádzajú z európskych krajín a Severnej Ameriky. Logimic pre nich vytvára rozhrania, pripravuje hardware a všeobecne inak pripravuje riešenie pre požadovaný systém. Jednou z nových oblastí ktorým, by sa firma Logimic chcela venovať je aj systému pre inteligentné vykurovanie.

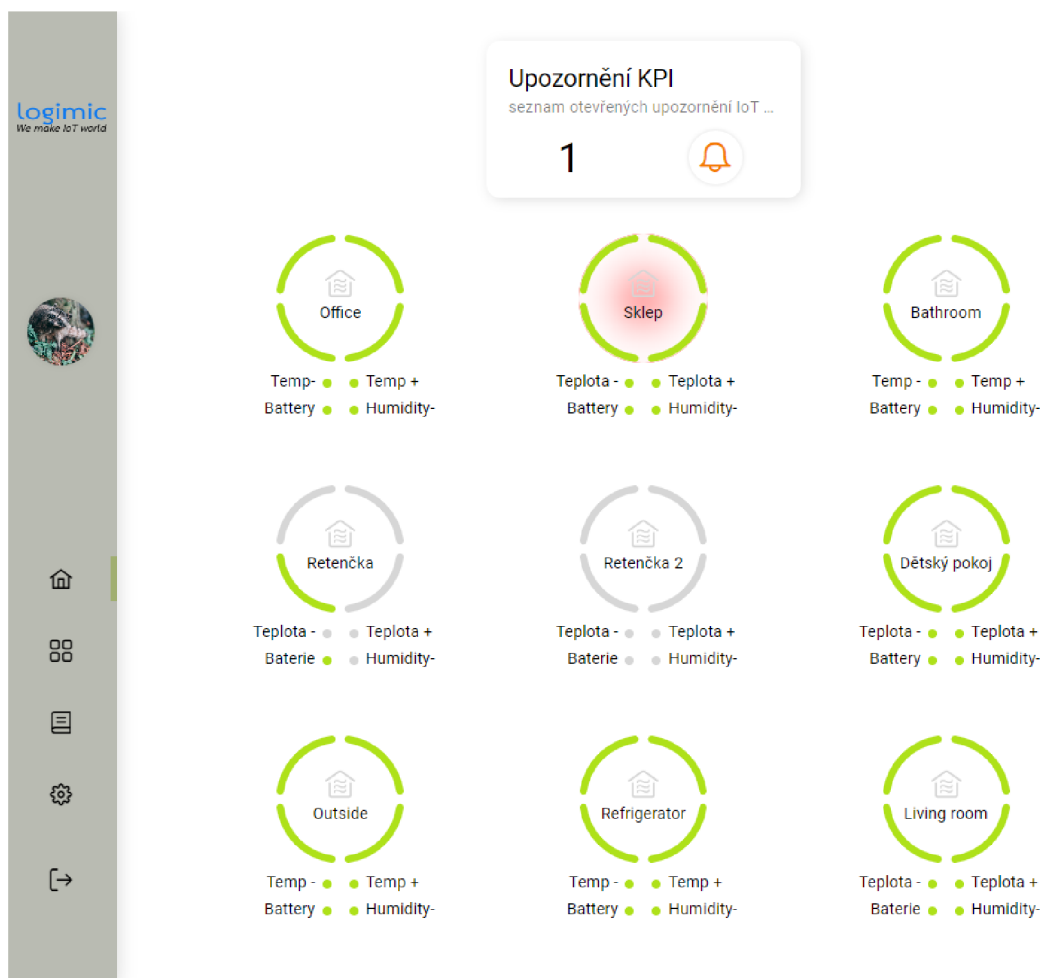
Na základe konverzácií s pánom doktorom Michalom Valným a s pánom inžinierom Františkom Mikulu, bolo možné určiť požiadavky a očakávané výstupy firmy Logimic. Tá očakáva, aby v ACADA platforme, aplikácii *iTemp* bolo možné ovládať a nastavovať systém

¹⁴Štandardný správový IoT protokol. Viac na stránkach <https://mqtt.org>.

¹⁵Dostupná na <https://www.logimic.com>.

vykurovania. Na to očakáva jednoduché a prehľadné používateľské rozhranie. Aplikáciu iTemp môžete vidieť na obrázku 4.4. Platforma ACADA (skratka z anglického *Asset Control and Data Acquisition*) integruje koncové zariadenia a aplikácie 3-tích strán, správu aktív, správu pracovných požiadavkou a prepojenia s obyvateľmi mesta alebo zákazníkmi.

iTemp je bezdrôtové riešenie monitoringu vnútorného a vonkajšieho prostredia najmä teploty a vlhkosti. Pracuje s mnohými typmi senzorov ako je IQAROS sada, LoRa teplotné senzory a ďalšie. iTemp je riešenie v momentálnom neustálom vývoji a firma Logimic zadala požiadavku ho rozšíriť o ovládanie vykurovania.



Obr. 4.4: Domovská obrazovka aplikácie iTemp.

4.4 Výsledné požiadavky

Na základe analýzy potencionálnych používateľov z podkapitoly 4.1 a existujúcich riešení z podkapitoly 4.2 a konkretizovaní požiadaviek firmy Logimic z podkapitoly 4.3 sú v tejto podkapitole vyvedené konkrétne požiadavky na systém. Požiadavky sú značne skresané za účelom dosiahnutia časového rozsahu bakalárskej práce.

Zameraním vývoja sa stanú byty, kde výhrevným telesom bude radiátor. Ten bude ovládaný regulátorom od firmy *MClimate Vicki*. Tým pádom bude využitá technológia *LoRaWAN*. K tomu bude potreba ďalších teplotných senzorov, tiež využívajúcich technológiu

LoRaWAN, aby stačila jedna brána. Najdôležitejšie je vytvoriť posielanie a odosielanie dát z riešenia iTemp na zariadenia. Pokračovať by sa malo vo vytvorení obsluhy zariadení a algoritme inteligentného vykurovania. Funkciami inteligentného kúrenia by malo byť manuálne a diaľkové ovládanie teploty v miestnosti aj za pomoci externých senzorov, možnosť zamknutia manuálneho ovládania a ovládanie teploty aj v prípade výpadku internetu. Používateľské rozhranie by malo vychádzať z existujúceho riešenia iTemp, rozšíreného o odosielanie príkazov na zariadenia.

Kapitola 5

Návrh systémov

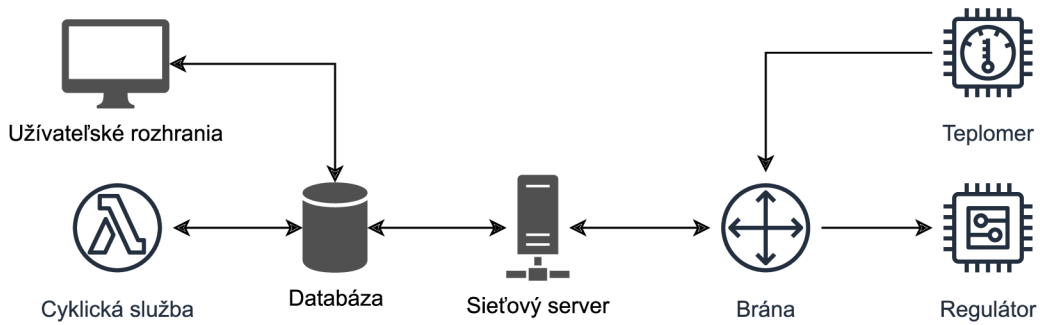
Celý systém vychádza a je postavený na existujúcej platforme *ACADA* cloud riešenia *iTemp*¹ vytvorenej firmou *Logimic*, ktorej činnosť je opísaná v podkapitole 4.3. Okrem návrhu nových funkcionalít, riešení a modelov, ktoré prináša táto bakalárska práca, sú v nasledujúcich podkapitolách spomenuté aj už existujúce riešenia, vzory a modely riešenia *iTemp*. V podkapitole 5.1 je vysvetlený jednoduchý koncept riešenia. V nasledujúcej podkapitole 5.2 je navrhnutý dátový model, ktorý by bol dostačujúci pre riešenie tejto bakalárskej práce.

5.1 Architektúra

Na obrázku 5.1, je vidieť veľmi zjednodušený návrh zloženia architektúry. Vidno na ňom niekoľko komponentov, kde každý spĺňa určitú úlohu. Konkrétne z pravej strany na ľavú:

- **Regulátor** je *IoT* zariadenie, ktoré dokáže prijímať rádiové signály a na základe inštrukcií z nich ovládať výkon vykurovacieho telesa.
- **Teplomer** je tiež *IoT* zariadenie, ktoré ale dokáže rádiovými signálmi odosielať na ňom namerané dáta a teda v tomto prípade najmä teplotu vzduchu v miestnosti kde sa nachádza.
- **Brána** je taktiež *IoT* zariadenie, ktoré funguje ako most medzi koncovými zariadeniami a backendovým serverom. Mení internetovú komunikáciu na rádiovú a opačne.
- **Sieťový server** monitoruje, spravuje a prijíma dáta od zariadení, ktoré upravuje do lepšie spracovateľných tvarov alebo opačne do tvarov, ktorým dané *IoT* zariadenia rozumejú.
- **Databáza** je organizovaná kolekcia nazbieraných dát od zariadení pre vyobrazenie daných dát ale aj nastavenia regulátora a dáta pre obsluhu ďalších služieb.
- **Cyklická služba** je v podstate program, ktorý sa vykonáva nad databázou buď v naplánovanom čase alebo ako reakcia na napríklad príchod nového nastavenia regulátora.
- **Používateľské rozhranie** odkazuje na vizuálnu reprezentáciu nazbieraných dát od zariadení a poskytuje grafické prostredie pre ovládanie týchto zariadení.

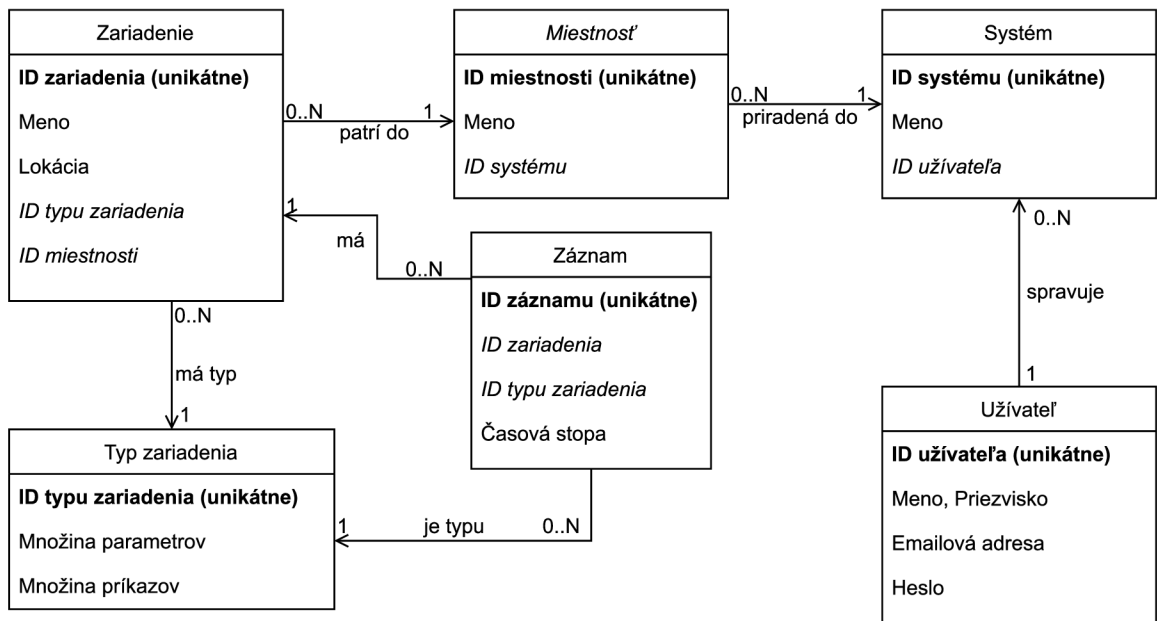
¹Dostupnej na <https://www.logimic.com/itemp/>.



Obr. 5.1: Návrh architektúry inteligentného kúrenia.

5.2 Dátový model

Návrh dátového modelu je na základe zjednodušeného použitia aplikácie, pri sústredení sa na riešenie inteligentnej regulácie kúrenia. Ten je možné vidieť na obrázku 5.2. V tomto dátovom modeli máme entitu *zariadenie* s niekoľkými atribútmi ako jeho *ID*, meno, lokáciu a typ zariadenia, z ktorého získava ďalšie parametre a príkazy. Každé zariadenie patrí do miestnosti, ktorú spravuje, teda meria teplotu a ovláda kúrenie. Každá miestnosť patrí pod určitý systém. Ten je vlastnený používateľom, ktorý zariadenia, miestnosti a systémy ďalej spravuje. Periodicky je cyklickou službou spomenutou v podkapitole 5.1 vytváraný pre jednotlivé zariadenia záznam s časovou známkou. Tieto záznamy slúžia napríklad na vykresľovanie grafov. A tak isto sú ich parametre na základe typu zariadenia, ku ktorému daný záznam patrí.

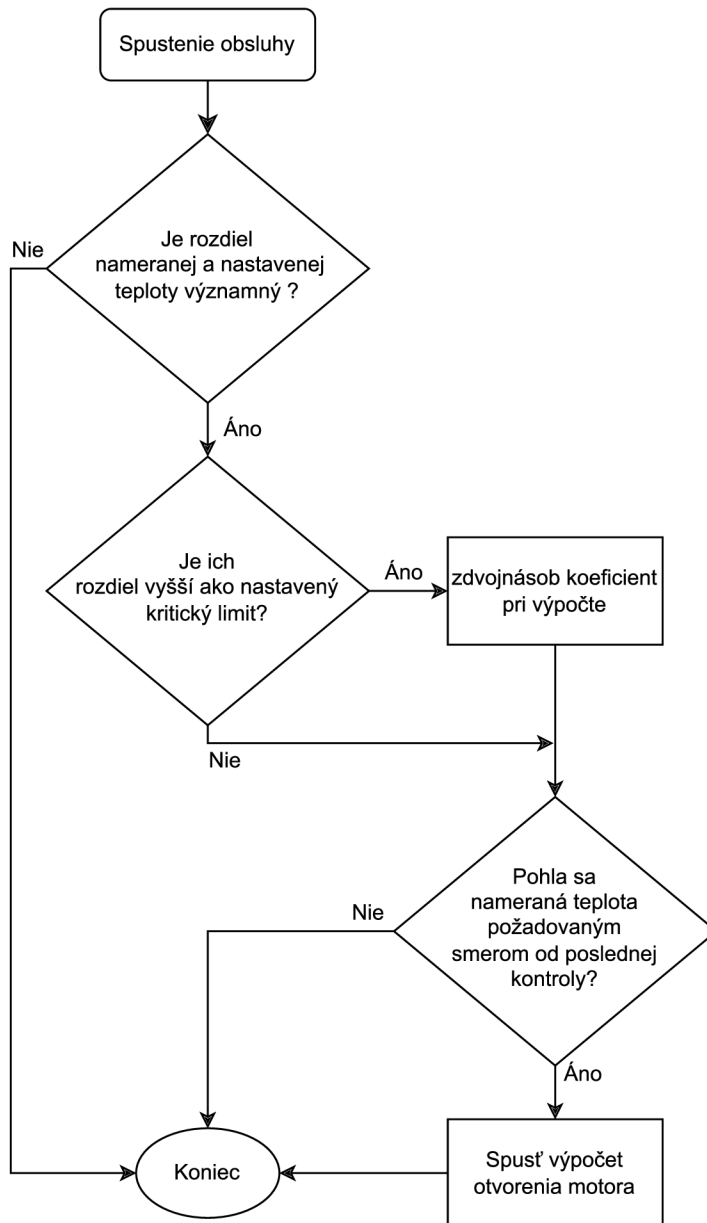


Obr. 5.2: Návrh dátového modelu inteligentného kúrenia.

5.3 Algoritmus inteligentného kúrenia

Logika algoritmu je ukrytá v cyklickej službe, ktorá je opísaná v podkapitole 5.1. Spočíva v troch kontrolných krokoch, či sa vôbec výpočet nového stavu spustí. Podľa diagramu z obrázka 5.3 ide vyčítať nasledovné tri rozhodovacie podmienky:

- **Je rozdiel nameranej teploty a nastavenej teploty významný?** Znamená to, že v prípade ak teplota kolísava v rozmedzí 1°C podľa zdroja [31], človek nerozlíši rozdiel. Pre úšetrienie zdrojov a pre dosiahnutie čo najmenšieho počtu otvárania a zatvárania ventilu je táto hranica reflektovaná aj v logike algoritmu ale úrovňou $0,2^{\circ}\text{C}$. V prípade, že rozdiel nameranej a nastavenej, teda cieľovej teploty je, vyšší ako tepelná senzitivita človeka vyhodnotí sa podmienka ako kladná a presunie sa k ďalšej.
- **Je ich rozdiel vyšší ako nastavený kritický limit?** Myslí sa tým rozdiel nameranej a nastavenej teploty. V prípade, že tento rozdiel prekročí kritický limit je potrebné zvýšiť rýchlosť vykurovania a teda otvárať ventil rýchlejšie. To sa pri kladnej odpovedi na túto otázku prejaví ako využitie vyššieho koeficientu pri výpočte otvorenia motora. Tento koeficient je opísaný ďalej v odseku o výpočte otvorení motora.
- **Pohla sa nameraná teplota požadovaným smerom od poslednej kontroly?** Hlavica sa môže nachádzať v dvoch stavoch a to kúrenia alebo chladenia. Do týchto stavov sa dostáva na základe nameraných teplôt z minulých cyklov. To znamená, že ak je hlavica v stave kúrenia a nameraná teplota z predošlého cyklu je stále vyššia ako práve nameraná, je nutné prepočítať otvorenie motora podľa vzorca 5.1. V opačnom prípade ak sa teplota zdvíha znamená to, že sa blížíme k požadovanej teplote a nie je nutné prepočítavať otvorenie motora.



Obr. 5.3: Logika inteligentného vykurovania.

Výpočet otvorenia motora

Podľa nasledujúceho vzorca 5.1 je možné vypočítať nové otvorenia motora. Maximálny rozsah otvorenia motora hlavice Vicki je 0 až 800 krokov, tento rozsah sa následne mení podľa typu ventilu. Pre optimálne fungovanie hlavice je nutné zaručiť, že minimálny skok je 17 krokov inak je možné poškodenie motoru. Pre kalibráciu výpočtu pre miestnosti rôznych vlastností je možné použiť koeficient miestnosti v rozsahu 0-20. Pre očakávané chovanie je potrebné dodržať, že cieľová teplota nesmie byť menšia ako 0.

$$MP_{new} = MP_{old} - \frac{c * (T_{target} - T_{measured}) * MR}{100}, \text{ kde:} \quad (5.1)$$

MP_{new} = Nová pozícia motora,
 MP_{old} = Doterajšia pozícia motora,
 c = koeficient miestnosti,
 T_{target} = Cielová teplota,
 $T_{measured}$ = Namieraná teplota,
 MR = Maximálny rozsah motora v krokoch,

5.4 Komunikácia

Táto podkapitola sa venuje návrhu spôsobu komunikácie medzi jednotlivými komponentami z podkapitoly 5.1 obrázka 5.1. Na najnižšej časti, teda v časti komunikácie medzi *IoT* zariadeniami, navrhujem využiť služby bezdrôtového *LoRaWAN* protokolu. Tieto zariadenia, konkrétne teda spomínaný *regulátor*, *teplomer* a *brána* si medzi sebou budú vymieňať *LoRaWAN* dátové rámce. Brána LoRa rádiové signály dešifruje a prepošle na LoRaWAN sieťový server štandardným sieťovým protokolom *UDP* alebo *MQTT*². Server užitočné dáta od zariadení prijíma zašifrované v kódovaní *BASE64*. To musí dekodovať, v tomto prípade do hexadecimálneho kódovania. K nemu na základe dokumentácie *regulátoru* a *teplomeru* je potrebné vytvoriť dekodér pre prichádzajúce správy od zariadení a kodér pre správy smerujúce na zariadenia. Výstupom dekodéra a teda aj vstupom kodéra je správa vo formáte *JSON*³. Táto správa je cez *MQTT* poslaná ďalej na databázu, kde je správa spracovaná a uložená do databázy. Nad databázou bude bežať *cyklická služba* s priamym prístupom do databázy. Používateľská aplikácia prístupuje k databáze cez *REST-API*.

5.5 Používateľské rozhranie

Riešenie používateľského prostredia je poskytnuté existujúcim riešením *iTemp*. Riešenie spočíva v trojvrstvovom modeli, kde s vyššou vrstvou zachádzame do vyšších detailov. Vrstvy sú nasledovné:

- **Layer 1** (L1), alebo prvá vrstva. Táto vrstva uchováva nastavené skupiny, kde vyobrazuje *klúčové ukazatele výkonnosti* (KPI) [15]. Pre používateľskú prívietivosť sú reprezentované ako farebné štvrt kružnice okolo obrázka reprezentujúceho danú skupinu, v tomto prípade miestnosť. Farbou sa označuje situácia v akej sa skupina nachádza. Dané situácie sa dajú nastaviť podmienkami v nastaveniach KPI.
- **Layer 2** (L2), alebo druhá vrstva ponúka bližší detail na danú skupinu s vyšším detailom na KPI, dôležité parametre skupiny, príkazy volané nad skupinou a konkrétne zariadenia priradené do tejto skupiny.
- **Layer 3** (L3), alebo tretia vrstva. V poslednej vrstve máme konkrétne zariadenia, ktoré majú detail s väčšinou dôležitých informácií, majú svoj profil obsahujúci ich aktuálne parametre, aktívne upozornenia z KPI, dokumentáciu o zariadení, poslednú správu ktoré zariadenie poslalo na server, konkrétne parametre s možnosťou editácie a nakoniec štatistiku parametrov zobrazenú v grafoch.

²Viac informácií o tomto protokole na <https://mqtt.org>.

³Viac informácií o tomto formáte na <https://www.json.org/json-en.html>.

Kapitola 6

Implementácia

Implementácia začala komunikáciou s firmou *Logimic* opísanou v podkapitole 4.3. Tá mi poskytla senzory *RisingHF1S001* s proprietárnou *TTI bránou* firmy *The Things Industries*¹. Obe zariadenia sú pre LoRaWAN riešenia. Implementácia sa teda ďalej, sústreďí na túto technológiu. Nanešťastie v priebehu implementácie sa firma *Logimic* rozhodla ukončiť spoluprácu s *The Things Industries* a musel som svoju prácu migrovať inam a teda začínať nanovo. Táto kapitola ďalej pokračuje od tohto momentu a prechádza implementáciou na základe hlavných komponentov architektúry z podkapitoly 5.1. Teda podkapitola 6.1 sa venuje všetkým využitým *IoT* zariadeniam, ich inštalácii a konfigurácii. Podkapitola 6.2 sa venuje LoRaWAN sieťovému serveru (ďalej využívaná skratka LNS), na ktorom sú zariadenia zaregistrované. Ďalej sa venuje kodéru a dekodéru, ktoré na ňom pracujú. Následne, podkapitola 6.3 sa venuje cyklickej službe. Nakoniec podkapitola 6.4 vysvetľuje postup prípravy používateľskej aplikácie *iTemp* na toto riešenie.

Celá implementácia je vytvorená v integrácii s riešením *iTemp*. To znamená, že nie je presne podľa návrhov z kapitoly 5. Napriek tomu je návrh stále podobný implementácii. Všetky konfiguračné súbory, kódy a programy vytvorené pre túto bakalársku prácu sú dostupné na *GitHub*².

6.1 IoT zariadenia

Nasledujúce podkapitoly sa venujú konkrétnym zariadeniam použitých pri implementácii. Všetky zariadenia boli poskytnuté firmou *Logimic*.

6.1.1 RisingHF1S001

Je to *LoRa WAN* bezdrôtový senzor teploty a vlhkosti vyrábaný firmou *RisingHF*³. Toto kompaktné zariadenie pracujúce na batériách môže byť inštalované v rôznych podmienkach na rôznych miestach. V tomto prípade bude slúžiť hlavne ako teplotný senzor umiestnený v miestnosti na mieste, kde chce používateľ dosiahnuť požadovanú teplotu.

¹Viac o firme na stránkach <https://www.thethingsindustries.com>.

²Konkrétny odkaz je <https://github.com/Siki-ux/bp-int-heating>.

³Viac o firme na stránkach <https://www.risinghf.com/home>.

Inštalácia

Inštalácia tohto zariadenia je jednoduchá a spočíva iba v uvoľnení skrutiek vonkajšieho obalu a zapojení batérie.

Konfigurácia

Konfigurácia vyžaduje proprietárny konfiguračný nástroj *RCFG Tool* firmy *RisingHF*. Zariadenie zbavené vonkajšieho obalu pripojíme USB-mini B káblom k počítaču. Následne spustíme konfiguračný nástroj. S ním môžeme nahráť do zariadenia konfiguračný súbor. Mimo iné je v ňom najdôležitejšie nakonfigurovať komunikačné kanály, kľúč aplikácie (*App-Key*) pre aktiváciu vzduchom (*OTAA*) a zabezpečenie komunikácie.

6.1.2 MClimate Vicki LoRaWAN

Toto zariadenie je bližšie opísané v podkapitole 4.2 v časti o technológii *LoRaWAN*. Na začiatku implementácie vyšlo toto zariadenie ako najvýhodnejšie.

Inštalácia

Najskôr je potrebné odpojiť zadný kryt hlavice. Ten následne pripojiť na termostatický ventil. Do samotnej hlavice následne zapojiť batérie. Počkať na svetelnú signalizáciu hlavice a následne ju pripojiť k zadnému krytu na termostatickom ventile. Zariadenie následne prejde do kalibračného režimu na niekoľko minút. Po zobrazení nastavenej teploty na displeji je kalibrácia hotová a zariadenie je pripravené na prácu.

Konfigurácia

Zariadenie prichádza predkonfigurované s konfiguráciou zameranou na aplikáciu *MClimate Enterprise*⁴. Z tejto aplikácie je možné nastaviť predvolený *LoRaWAN* server na server *Chirpstack*, ktorý je opísaný v nasledujúcej podkapitole 6.2.

6.1.3 Mikrotik wAP LR8

Ide o bedrôtový prístupový bod (*AP*) produkovaný firmou *Mikrotik*⁵. Má množstvo funkcií⁶, no pre riešenie tejto práce sú relevantné najmä: možnosť prijímať *LoRaWAN* komunikáciu a možnosť použiť ho ako most medzi *Chirpstack* serverom, opísanom v podkapitole 6.2 a *IoT zariadeniami*, opísaných v podkapitole 6.1.

Inštalácia

Spodný kryt zariadenia je zabezpečený jednou skrutkou. Po jej odskrutkovaní sa ukáže priestor na pripojenie zdroja energie, ethernetový port a port antény. Následne sa pripojí anténa a ako zdroj energie použijeme technológiu *PoE* (Power over ethernet), teda zdroj energie pôjde pripojeným ethernetovým káblom. Následne zasunieme zadný kryt a zaistíme ho skrutkou.

⁴Viac informácií na <https://mclimate.eu/pages/enterprise>.

⁵Viac informácií o firme na <https://mikrotik.com>.

⁶Zoznam dostupný na https://mikrotik.com/product/wap_lr8_kit.

Konfigurácia

Zariadenie funguje ako prístupový bod. Vďaka tomu sa na neho dá pripojiť technológiou *Wi-fi* a prístupom na adresu *192.168.88.1*. Tak sa dá dostať do ovládacieho rozhrania zariadenia. V sekcii *LoRa* vytvoríme pripojenie na LNS a zapneme službu tejto brány. V tomto momente začne zariadenie prijímať LoRa správy a bude ich ďalej posúvať na LNS.

6.2 Registrácia zariadení

Zariadenia je potrebné registrovať na LoRaWAN sieťový server. K tomu bol zvolený Chirpstack. Ten je *open-source* LoRaWAN sieťový server a aplikačný server, ktorý poskytuje kompletné riešenie na budovanie, nasadzovanie a spravovanie LoRaWAN sietí. S jeho využitím je možné jednoducho vytvárať vlastné aplikácie pre monitorovanie, riadenie a správu LoRaWAN zariadení a senzorových dát. ChirpStack umožňuje aj vytvorenie rozširiteľných IoT riešení a ich integráciu do existujúcich systémov a cloudových platform, teda riešenia firmy *Logimic*. Podstatnou časťou platformy Chirpstack je preklad surových neformátovaných dát na dáta zrozumiteľné pre cloudové riešenie *iTemp*. K tomu sa využívajú dva programy spoločne označované ako *Codec*, patriace konkrétnym typom zariadení. Sú to kodér a dekodér, ktoré sú opísané ďalej.

Kodér

Ide o program, ktorý sa spustí nad prichádzajúcimi dátami z aplikácie a vytvára preklad do formy pochopiteľnej pre zariadenie, ktoré týmto príkazom bude ovládať. V tomto riešení sú vstupné dáta vo formáte JSON a výstupom je správa vo formáte *Base64*. Chirpstack preklad do *Base64* vytvára sám a požaduje k tomu aby výstup kodéra bol reťazec v číslach desiatkovej sústavy o veľkosti jedného bajtu.

To sa dá dosiahnuť postupným rozoberaním vstupnej JSON správy. Kde sa podľa návrhu očakáva, že pod kľúčom `cmdName` sa nachádza názov príkazu, ktorý sa má vykonať. Prepínačom sa rozdelí do konkrétnej obsluhy daného príkazu, kde ďalej očakáva že pod kľúčom `cmdPars` budú jednotlivé parametre daného príkazu. Následne sa do reťazca postupne pridá kód daného príkazu a naformátované parametre. Prípadne je vykonaná kontrola vstupných parametrov, kde je možné, že by nesprávna hodnota mohla poškodiť zariadenie.

Dekodér

Ide o program, ktorý sa spustí nad prichádzajúcimi dátami od zariadení a vytvára preklad do formy pochopiteľnej pre aplikáciu a databázu. Dekodér dostáva vstupné dáta ako čísla v desiatkovej sústave o veľkosti jedného bajtu v reťazci. Výstupom je zas správa vo formáte JSON v štruktúre vytvorenej a vyžadovanej aplikáciou opísanou v podkapitole 6.4.

To sa dá dosiahnuť dešifrovaním prvého čísla reťazca na jednotlivé parametre na základe implementácie zariadenia výrobcom. Ďalej podľa parametru nasledujúci určitý počet čísel v reťazci patrí danému parametru a reprezentuje jeho hodnotu. Ak sa ďalej nachádzajú ďalšie čísla znamená to, že nasleduje ďalší parameter a proces sa opakuje. Tieto parametre sa postupne zapisujú pod kľúč `devPars` pod ich vlastným kľúčom.

6.3 Obsluha zariadení

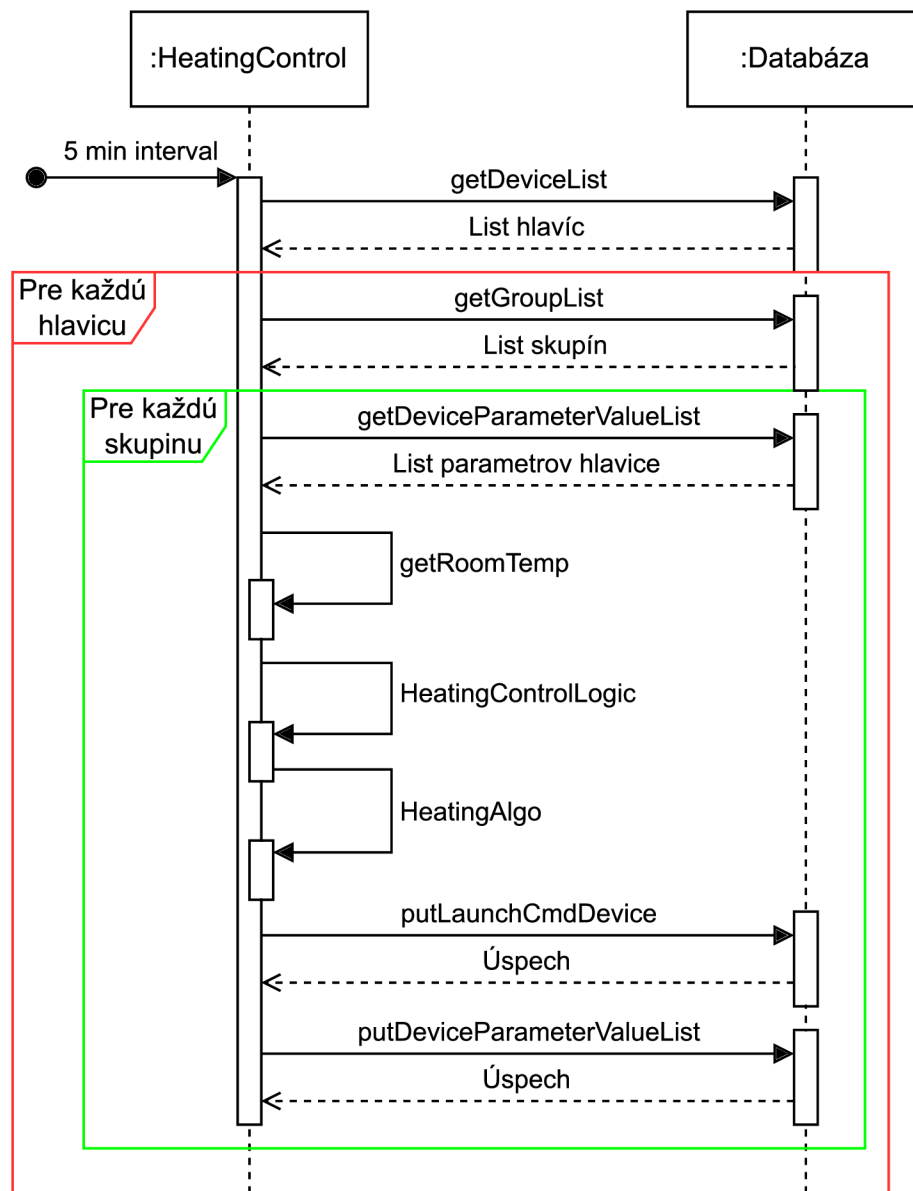
Ide o cyklickú službu *AWS Lambda*⁷, ktorá spúšťa určité funkcie ako reakciu na prichádzajúce dáta, alebo ich spúšťa v určitom časovom intervale. V tomto riešení je funkcia `HeatingControl` volaná v intervale 5 minút. To z dôvodu potreby zariadenia spraviť dva cykly správ *keep-alive*. *Keep-alive* je správa, ktorú hlavica posiela periodicky v intervale 2 minút. Správa obsahuje potrebné informácie na výpočty funkcie `HeatingControl`. Dôvod potreby dvoch cyklov spočíva v tom, že prvá správa potvrdí príjem zaslaného príkazu a druhá zašle aktuálne dáta na databázu.

Funkcia `HeatingControl` sa pred zavolaním pripojí do databázy `iTemp2`, čo je ostrá databáza riešenia *iTemp*. Po úspešnom naviazaní spojenia si funkcia získa všetky hlavice, ktoré má ovládať. Ako ukazuje diagram na obrázku 6.1, dosiahne to prístupom do databázy funkciou `getDeviceList` s identifikačným číslom (ďalej používaná skratka ID) modelu hlavice, ktorá následne vráti list hlavíc. Z neho je pre každú hlavicu získané konkrétne ID systému, v ktorom sa hlavica nachádza a ID konkrétnej hlavice. Každá hlavica sa nachádza v nejakej skupine, ktorá reprezentuje miestnosť, v ktorej je nainštalovaná. Preto je potrebné získať skupiny, v ktorých sa nachádza ďalším prístupom do databázy. To funkciou `getGroupList` s parametrom ID systému a ID hlavice, ktorá vráti list skupín tohto systému, v ktorých je hlavica nainštalovaná. Následne je možné pre každú ovládanú miestnosť získať z databázy konkrétne hodnoty parametrov ovládanej miestnosti, funkciou `getDeviceParameterValueList` s parametrom ID hlavice, ktorá vráti list obsahujúci všetky parametre danej hlavice. Skupina, teda miestnosť môže používať externé teplotné senzory. K tomu je použitá funkcia `getRoomTemp`, ktorá v prípade, že nájde v miestnosti teplotné senzory, vypočíta z ich nameraných teplôt priemer. Ak miestnosť nepoužíva teplotné senzory vráti hodnotu nameranú na hlavici.

Na základe získaných parametrov funkcia `HeatingControlLogic` začne vyhodnocovať situáciu, spôsobom opísaným v podkapitole 5.3. Teda najprv skontroluje, či je vôbec nutné spúšťať výpočet na základe rozdielu nameranej a cieľovej teploty. Ak je rozdiel dostatočný zistí, či je potrebné miestnosť vyhriať alebo naopak ochladiť. Ďalej sa skontroluje, či sa teplota od minulého cyklu pohla požadovaným smerom. Ak áno, nie je potrebné upraviť pozíciu motora. Ak nie, je potrebné prepočítať otvorenie motora na hlavici. Tento výpočet zabezpečuje funkcia `HeatingAlgo` volaná s parametrami miestnosti. Tá vypočítava pozíciu motora na základe vzorca 5.1. K tomu kontroluje, či je výsledok výpočtu a pôvodné nastavenie rozdielne o minimálny rozdiel krokov motora určeného v podkapitole 5.3. Ak nie je, funkcia vráti pôvodné nastavenie. V prípade, že je výsledok mimo hranice motora, funkcia vráti najbližšiu hranicu. Funkcia `HeatingControlLogic` po získaní pozície motora vráti list s potrebnými dátami. Z tohto listu sa ešte raz získa pozícia motora, ktorá sa porovná s predošlou pozíciou motora. V prípade, že nie sú rovnaké vyšle sa príkaz funkciou databázy `putLaunchCmdDevice` s parametrami ID hlavice, ID požadovaného príkazu a listom získaným z funkcie `HeatingControlLogic`. Následne je už len potrebné aktualizovať dáta v databáze. To funkciou `updateLastValue`, ktorá pripraví dáta do databázy a funkciou databázy `putDeviceParameterValueList` aktualizuje naposledy nameranú teplotu na momentálne nameranú teplotu.

Funkcia `HeatingControlLogic` je volaná nad každou hlavicou. Funkcia `HeatingControl` nakoniec vráti status 0, znamenajúci úspešné ukončenie ovládania.

⁷Viac informácií o službe na <https://aws.amazon.com/lambda/>.



Obr. 6.1: Diagram služby ovládania kúrenia.

6.4 Používateľská aplikácia

Tou sa stala aplikácia iTemp. Tá predstavuje bezdrôtové riešenie monitoringu vnútorného a vonkajšieho prostredia najmä teploty a vlhkosti. Pracuje s mnohými typmi senzorov ako je IQAROS sada⁸, LoRa teplotné senzory a ďalšie. Informácie máte v telefóne, tablete, alebo domácom na *touch screen*. Systém nielen monitoruje, ale tiež informuje o prekročených hodnotách a ukladá dlhodobé štatistiky.

V rámci tohto riešenia je potrebné využitie *SQL nástroja* v module administrácie. Tu sa vytvárajú typy parametrov, parametre a napríklad ich jednotky, ktoré sa skladajú do modelov zariadení. Model zariadenia Vicki je možné vidieť na obrázku 6.2. Takýmto spôsobom

⁸Viac informácií na <https://iqaros.cz/custom.html>

sa pripraví databáza pre zariadenie a zdefinujú konkrétne kľúče *JSON* správ. Následne je potrebné vytvoriť modely príkazov, ktoré budú posielať na zariadenie. Skladajú sa z parametrov, ktoré budú upravovať a vytvárajú tak *JSON* správu, ktorej *kodeč* z podkapitoly 6.2 rozumie a po preložení ju zašle na zariadenie. Príkazy je potrebné ďalej priradiť konkrétnym zariadeniam.

Po príprave databázy, nasleduje založenie skupín, teda pre toto riešenie miestností, ktoré chceme ovládať zariadeniami. To sa vykonáva tak isto v administrátorskom module. V tomto konkrétnom riešení je ovládaná jedna miestnosť s jedným regulátorom a dvoma tepelnými senzormi. Voliteľne je možné si nastaviť *KPI* skupiny pre lepší prehľad z domovskej obrazovky. V tomto momente je regulácia teploty v miestnosti ovládaná obsluhou z predchádzajúcej podkapitoly 6.3.

Pre zobrazenie konkrétnych dát, štatistík, grafov a zaslaných príkazov je potrebné prejsť cez skupinu na konkrétne zariadenie.

The screenshot shows the 'Device Model: lgmc-15' page in the iTemp application's SQL tool. The 'Parameters' tab is selected, displaying a table of parameters for the device. The table has columns for 'id', 'devParName', 'label', 'descr', and 'unit'. Each row includes a menu icon, the parameter ID, name, label, description, unit, and edit/delete icons.

	id	devParName	label	descr	unit	
☰	182	coeficient	Coefficient of room	Vicki coefficient of room		✎ 🗑️
☰	181	lastMeasuredTemperature	Last measured temperature	Vicki temperature measured in last cycle		✎ 🗑️
☰	170	brokenSensor	Broken sensor	Vicki broken sensor trigger		✎ 🗑️
☰	145	batteryVoltage	Battery voltage	Vicki battery voltage	V	✎ 🗑️
☰	150	lowMotorConsumption	Low Motor Consumption	Vicki low motor consumption		✎ 🗑️
☰	149	highMotorConsumption	High motor consumption	Vicki high motor consumption		✎ 🗑️
☰	148	childLock	Child lock	Vicki child lock		✎ 🗑️
☰	147	openWindow	Open window	Vicki open window trigger		✎ 🗑️
☰	144	motorPosition	Motor position	Vicki actual motor position	steps	✎ 🗑️
☰	143	motorRange	Motor range	Vicki maximal steps of motor	steps	✎ 🗑️

Obr. 6.2: Model zariadenia Vicki v SQL nástroji aplikácie iTemp.

Kapitola 7

Testovanie

Testovanie prebiehalo v dvoch prostrediach. Jedným bolo simulované prostredie, ktorého zameraním bolo overiť funkciu algoritmu a logiky ovládania inteligentného vykurovania. Opísané v podkapitole 7.1. Druhým prostredím bolo reálne prostredie, teda konkrétna miestnosť ovládaná inteligentným vykurovaním. Proces tohto testovania, jeho detaily a výsledky sú opísané v podkapitole 7.2.

7.1 Testovanie v simulovanom prostredí

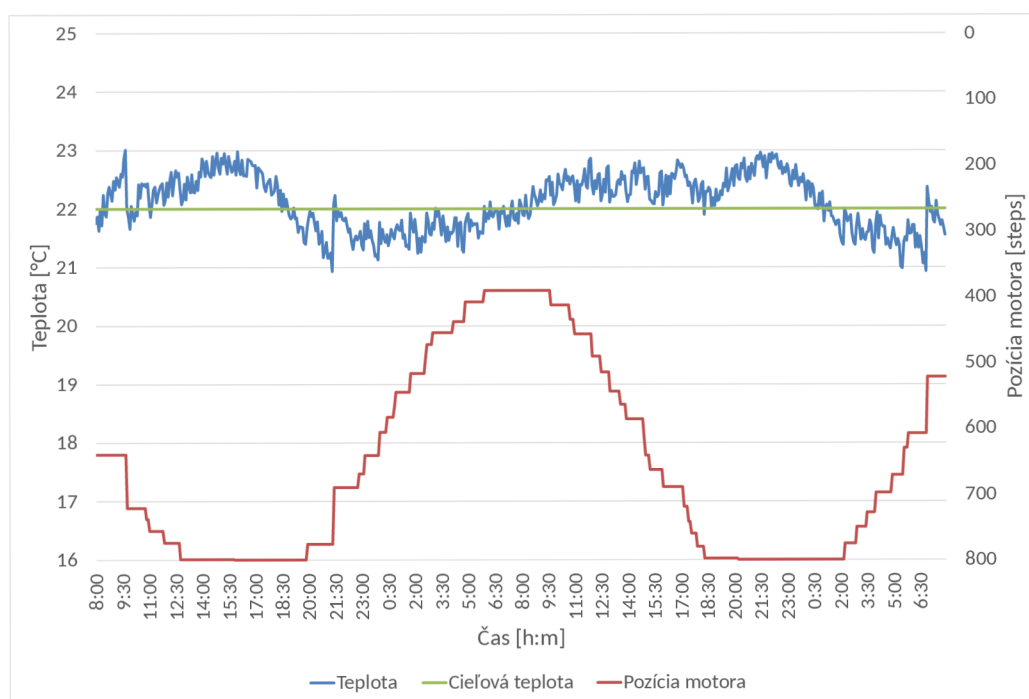
Toto prostredie bolo vytvorené nad implementovaným algoritmom. Implementáciu simulácie je možné nájsť na stránkach *GitHub*¹. Ten bol napojený na fiktívnu databázu reprezentovanú statickými údajmi. Hlavnou časťou simulácie bol cyklus reprezentujúci cyklickú obsluhu s intervalom 5 minút. Vývoj teploty prostredia bol simulovaný pseudonáhodnými číslami, ktoré predstavovali pohyb teploty. To znamená, že teplota v miestnosti klesá o náhodnú teplotu, z limitu každý cyklus, pričom vzácne môže teplota aj stúpnuť. Tento pohyb bol ďalej modifikovaný do tvaru goniometrické sínusoidy s periódou 24 posunutou o 8 hodín. To s cieľom simulovať priebeh teploty počas dňa. V simulácii bolo možné nastaviť všetky podstatné premenné inteligentného vykurovania, počiatočné body simulácie a koeficienty vyhrievania, chladenia a goniometrickej funkcie. Dva simulované senzory *RisingHF1S001*, opísané v podkapitole 6.1.1, odosielali teplotu do simulovanej databázy každý cyklus. Po zavedení simulovaného regulátora *Vicki*, opísaného v podkapitole 6.1.2, je stúpací pohyb teploty navýšený o výkon výhrevného telesa. Regulácia, teda pohyb motora, čo má za následok zvýšenie alebo zníženie výkonu výhrevného telesa, je vypočítavaná v rovnakom cykle. Výstupom simulácie je tabuľka meraných veličín, ktorá bola väčšinou vizualizovaná na grafe v programe *MS Excel*.

Počas testovania bolo otestovaných niekoľko systémov ovládania regulácie vykurovania. Patril medzi nich aj robustný *PID systém*, ktorý však nebolo možné efektívne implementovať do riešenia *iTemp* a zároveň jeho výsledky, aj napriek rozsiahlemu testovaniu s rôznymi vstupmi, nepreukázali požadované výsledky. Zapríčinené to mohlo byť aj nie najlepším návrhom simulovaného prostredia. Najideálnejšie výsledky v širšom časovom pásme preukázal pôvodne navrhovaný algoritmus opísaný v podkapitole 5.3.

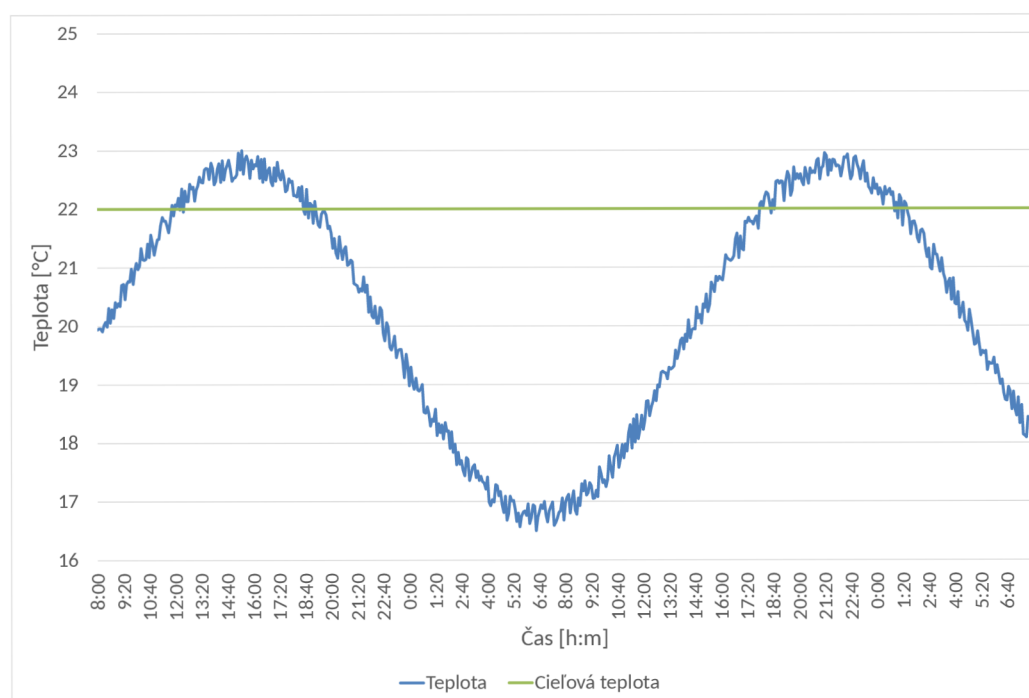
Na obrázku 7.1, je možné vidieť výstup jedného z testov. Tento test začínal na počiatočnej teplote 20°C v 48 hodinách. Násobok úbytku teploty bol 1 a vyhrievania bol 8. Algoritmus používal koeficient 5. Na základe grafu je možné vidieť, že algoritmus splnil po-

¹Konkrétny odkaz je https://github.com/Siki-ux/bp-int-heating/tree/main/test_algo.

žiadavky aby maximálny rozdiel nameranej a požadovanej teploty bol 1°C a použil k tomu malý počet pohybov motora. Algoritmus čiastočne sínusoidu vyrovnal, čo sa dá porovnať s obrázkom 7.2, kde je vyobrazený priebeh bez spusteného vykurovania.



Obr. 7.1: Graf teplôt a pozície motora v simulácii.



Obr. 7.2: Graf vývoja teploty v simulácii.

7.2 Testovanie v reálnom prostredí

Toto testovanie prebiehalo v jednej miestnosti bytu vo vežiaku. Testovacie prostredie, teda miestnosť bola o rozlohe $12.2m^2$ s jedným výhrevným telesom. Tým bol liatinový radiátor, napojený na ústredný zdroj tepla. Na ventil radiátora bola napojená inteligentná hlavica *Vicki* opísaná v podkapitole 6.1.2. Nad radiátorom sa nachádzalo plastové dvojkno. Dvere miestnosti boli situované do uzavretého priestoru a nachádzali sa oproti oknu s radiátorom. Pre účely testovania boli použité dva tepelné senzory *RisingHF1S001* opísané v podkapitole 6.1.1. Prvý bol umiestnený v blízkosti okna a radiátora a druhý bol umiestnený približne v strede miestnosti vo výške $1.2m$. Všetky tri zariadenia spadali pod rovnaký systém a boli umiestnené do rovnakej skupiny, teda miestnosti. Koeficient miestnosti bol nastavený na 3. Zariadenia monitorujúce a ovládajúce teplotu v miestnosti sú odfotené na obrázkoch 7.3.

Po spustení zariadení a nastavení požadovanej teploty aplikáciou *iTemp* podľa obrázka 7.5, začala rutina ovládať túto miestnosť. To sa postupne prejavilo na štatistikách zariadení v miestnosti. Konkrétne bolo najdôležitejšie zariadenie *Vicki*, teda hlavica ovládajúca ventil. Grafy vývoja teplôt a otvorenia ventilu z noci 28. apríla na 29. apríl sú zobrazené na obrázkoch 7.4. Na prvý pohľad vyzerá ovládanie v poriadku, podľa očakávaní. Po exporte dát do *Excelu* a ich podrobnejšom skúmaní a priblížení je možné ale odhaliť chybu. Tú môžete vidieť na obrázku 7.6. Z neho je možné vyčítať časté kmitavé pohyby pozície motora. Vďaka tomuto problému bolo možné na základe bližšieho skúmania tejto anomálie odhaliť zaokrúhľovaciu chybu v algoritme. Teplotné senzory pracovali na vysokej presnosti a tak aj extrémne malé rozdiely zapríčinili uzavretie alebo otvorenie ventilu. Po oprave tejto a niekoľkých ďalších menších chýb, ktoré neodhalila simulácia, je na obrázku 7.7 vidieť ďalší graf. Ten je z dňa 4. mája v časovom intervale od 2:00 do 9:00. Na ňom vidno takmer perfektný priebeh vývoja teploty a pozície motora. V momente poklesu teploty sa spustilo vyhrievanie, ktoré nepresiahlo limity požadovanej teploty, využilo minimálny počet pohybov motora a zároveň aj našlo rovnovážny bod medzi otvorením motora a teploty.

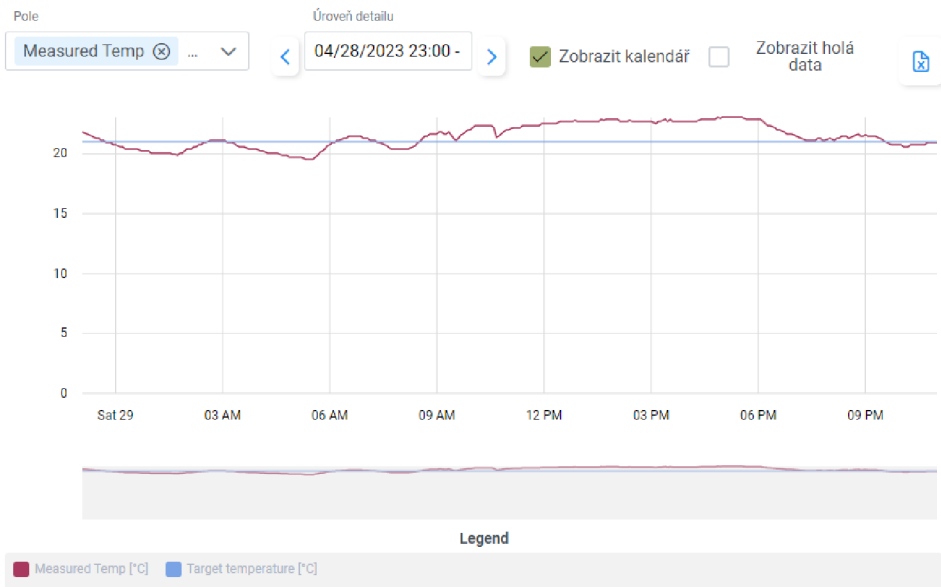


Obr. 7.3: Zariadenia monitorujúce a ovládajúce teplotu miestnosti.

Vicki TRV-1

DeviceId: 70B3D52DD300D74B Last update 5/1/2023 4:16:31 PM

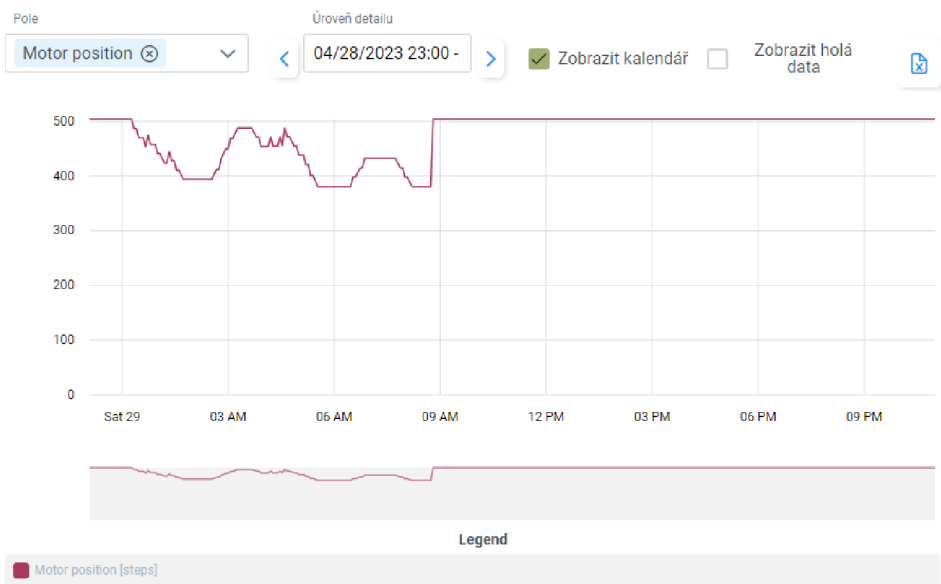
Detaily Profile **Statistics** Documentation Server Message Commands Parameters



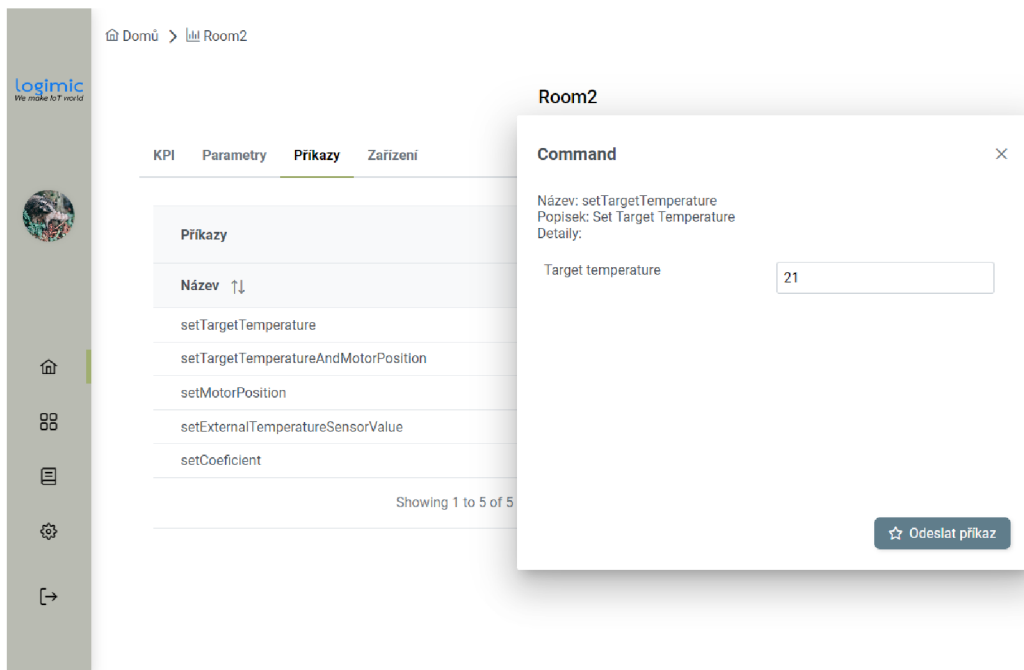
Vicki TRV-1

DeviceId: 70B3D52DD300D74B Last update 5/1/2023 4:06:22 PM

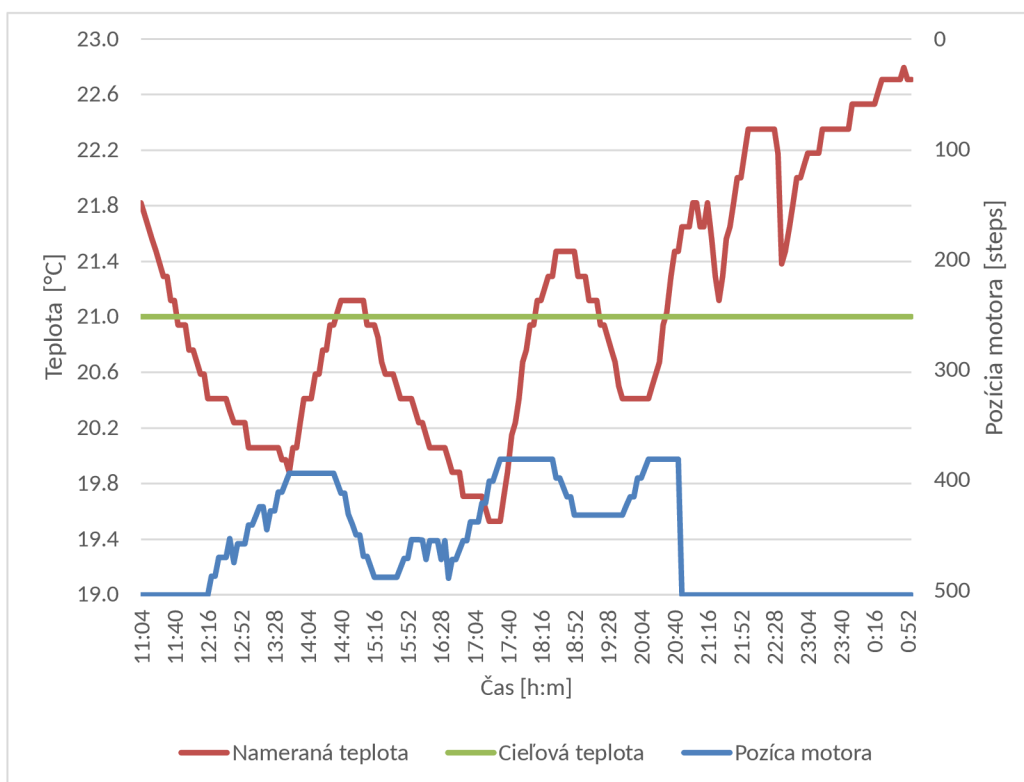
Detaily Profile **Statistics** Documentation Server Message Commands Parameters



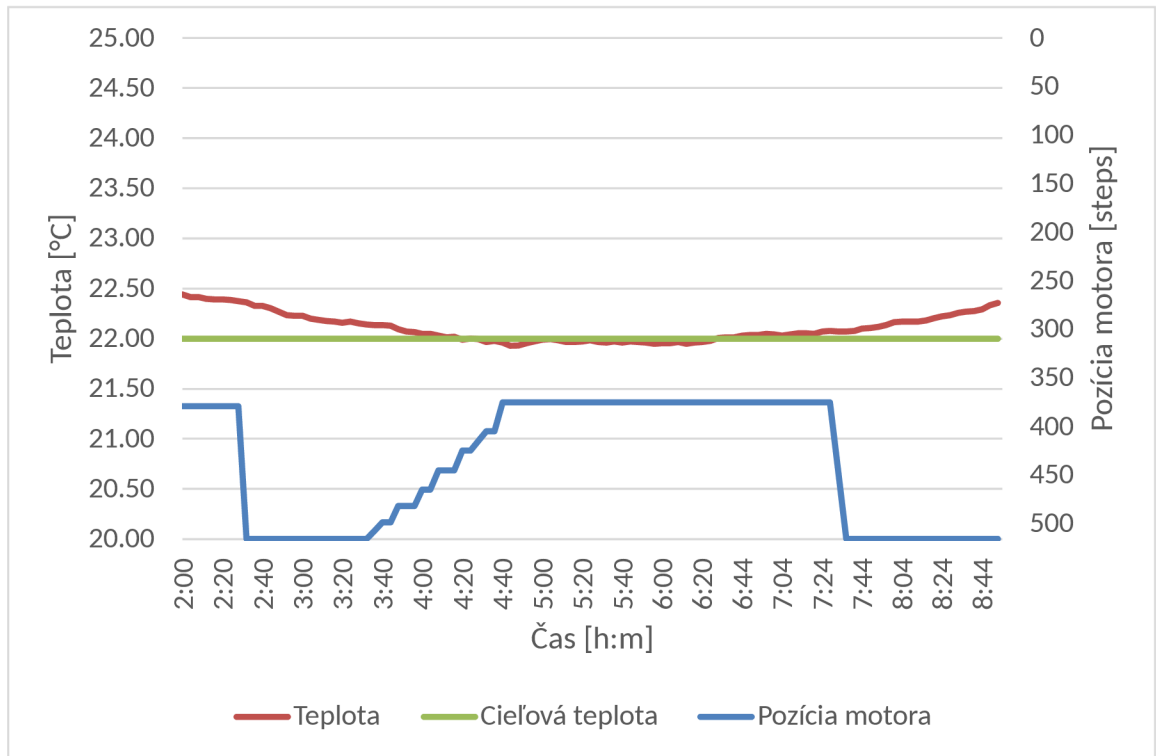
Obr. 7.4: Štatistiky z aplikácie iTemp.



Obr. 7.5: Nastavenie požadovanej teploty.



Obr. 7.6: Graf vývoja teplôt a pozície motora v čase s chybou.



Obr. 7.7: Graf vývoja teplôt a pozície motora v čase.

Kapitola 8

Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo navrhnuť a implementovať systém regulácie ústredného kúrenia so zameraním na reguláciu jednotlivých miestností. Tento systém mal byť diaľkovo ovládateľný platformou Logimic Smart City a mal by automaticky regulovať vykurovanie adaptívnym spôsobom. Tento spôsob by mal priniesť značné úspory do domácností, ktoré by boli takýmto systémom vybavené. Toto riešenie by sa malo oproti existujúcim riešeniam líšiť hlavne tým, že si do systému zadáme požadovanú teplotu miestnosti a systém bude ovládať výhrevné telesá aby požadovanú teplotu miestnosti docielil a udržal.

V rámci teoretickej časti som si musel poriadne naštudovať problematiku kúrenia a IoT. Nakoľko obe témy sú dosť robustné a pre mňa boli úplne nové, som ich prieskumu a samostatnému štúdiu venovaný značný čas. Poznatkami z kapitoly problematika kúrenia, dotazníkom, konzultáciou s firmou Virtuálny správca budov a hlavne konzultáciami s firmou Logimic som vyvodil požiadavky na inteligentné ovládanie kúrenia. Na základe toho som navrhol modul ovládania kúrenia pre existujúcu aplikáciu iTemp. Úpravy *dashboardu* neboli nutné, nakoľko táto aplikácia mala všetky potrebné ovládacie a zobrazovacie prvky. Spomínaný modul som implementoval a nasadil do ostrého riešenia aplikácie iTemp. Túto implementáciu som následne testoval ako v reálnom prostredí, tak aj v simulácii, v ktorej som aj skúšal rôzne spôsoby a modely regulácie.

Tento systém je reálne použiteľný a momentálne ovláda jednu konkrétnu miestnosť. V nej dosahuje dobré výsledky a udržiava požadovanú teplotu. Ďalej by bolo možné do systému implementovať veľa ďalších funkcií, ktoré aj požadovali potencionálni zákazníci v dotazníku. Ide napríklad o detekciu otvoreného okna, denné, týždenné a iné programy. Prípadne by bolo možné vylepšiť algoritmus o predikciu budúcnosti pre ešte lepšie a presnejšie ovládanie kúrenia.

Literatúra

- [1] ASHTON, K. et al. That ‘internet of things’ thing. *RFID journal*. Hauppauge, New York. 2009, zv. 22, č. 7, s. 97–114.
- [2] AUSTYN. *The electronic control head MAG RA*. 2023. Dostupné z: https://www.iqrfalliance.org/product_files/austyn-brozura-en-ver3.pdf.
- [3] BERTINELLI, L. a BLACK, D. Urbanization and growth. *Journal of Urban Economics*. Elsevier. 2004, zv. 56, č. 1, s. 80–96.
- [4] BLUESPEED AV. *The 7 greatest advantages of Smart Home Automation*, 14. Jun 2016. Dostupné z: <https://bluespeedav.com/blog/item/7-greatest-advantages-of-smart-home-automation>.
- [5] CADENCE PCB SOLUTIONS. *How does temperature hysteresis work?* Oct 2022. Dostupné z: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2021-how-does-temperature-hysteresis-work>.
- [6] CAHILL HEATING. *How does a digital thermostat work?* Aug 2020. Dostupné z: <https://www.cahillheating.com/blog/how-does-a-digital-thermostat-work>.
- [7] CAMBRIDGE. *The internet of things*. 2022. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/internet-of-things>.
- [8] CASTRADS. *How it works – thermostatic radiator valves*. Jan 2022. Dostupné z: <https://www.castrads.com/uk/resources/how-it-works/thermostatic-radiator-valves/>.
- [9] COLLINS ENGLISH DICTIONARY. *Thermostat definition and meaning*. HarperCollins Publishers Ltd, 2022. Dostupné z: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/thermostat>.
- [10] CREATIVE DESIGN NETWORK. *What Are Wax Motors and how do they work?* Jun 2020. Dostupné z: <https://www.cdn-inc.com/wax-motors/>.
- [11] DARRAS. *The Pros and Cons of Having A Smart Home*, 14. Dec 2017. Dostupné z: <https://www.longtermdisabilitylawyer.com/2015/08/pros-cons-smart-home/>.
- [12] DARROUDI, S. M. a GOMEZ, C. Bluetooth Low Energy Mesh Networks: A Survey. *Sensors*. 2017, zv. 17, č. 7. DOI: 10.3390/s17071467. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/7/1467>.

- [13] DEVALAL, S. a KARTHIKEYAN, A. LoRa Technology – An Overview. In: *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*. 2018, s. 284–290. DOI: 10.1109/ICECA.2018.8474715.
- [14] DIGITEUM TEAM. *Differences between cloud, Fog and edge computing*. Aug 2022. Dostupné z: <https://www.digiteum.com/cloud-fog-edge-computing-iot/>.
- [15] ECKERSON, W. W. *Performance dashboards: measuring, monitoring, and managing your business*. John Wiley & Sons, 2010.
- [16] ELKHODR, M., SHAHRESTANI, S. a CHEUNG, H. Emerging wireless technologies in the internet of things: a comparative study. *ArXiv preprint arXiv:1611.00861*. 2016.
- [17] FORMISANO, B. *Learn how to pick the right thermostat for your Furnace*. The Spruce, Mar 2022. Dostupné z: <https://www.thespruce.com/thermostat-and-furnace-compatibility-1824782>.
- [18] GERLAND, P., RAFTERY, A. E., ŠEVČÍKOVÁ, H., LI, N., GU, D. et al. World population stabilization unlikely this century. *Science*. American Association for the Advancement of Science. 2014, zv. 346, č. 6206, s. 234–237.
- [19] GOLDSMITH, S. As the Chorus of Dumb City Advocates Increases, How Do We Define the Truly Smart City? *Datasmart*. harvard.edu. 2021, s. 4–5. Dostupné z: <https://datasmart.ash.harvard.edu/chorus-dumb-city-advocates-increases-how-do-we-define-truly-smart-city>.
- [20] GRACIA, T. J. H., GARCÍA, A. C. et al. Sustainable smart cities. creating spaces for technological, social and business development. *Boletín Científico de Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA*. 2018, zv. 6, č. 12.
- [21] GREENGARD, S. *The Internet of Things*. The MIT Press, 2015. ISBN 0262527731.
- [22] HAUGHTON, G. Developing sustainable urban development models. *Cities*. Elsevier. 1997, zv. 14, č. 4, s. 189–195.
- [23] HOFER, P. *Zdravé bývanie – Ako Na Kúrenie V Dome a V byte*, 07. Feb 2022. Dostupné z: <https://www.zdrave-byvanie.com/ako-na-kurenie-v-domoch-a-bytoch/>.
- [24] HOMETREE. *How does a thermostat work?* Nov 2022. Dostupné z: <https://www.hometree.co.uk/energy-advice/central-heating/how-does-a-thermostat-work/>.
- [25] IQRFF. *Documentation*. 2023. Dostupné z: <https://doc.iqrf.org>.
- [26] JIANG, L., LIU, D.-Y. a YANG, B. Smart home research. In: *Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (IEEE Cat. No.04EX826)*. 2004, sv. 2, s. 659–663 vol.2. DOI: 10.1109/ICMLC.2004.1382266.
- [27] JOTUL.SK. *Sálavé a Konvekčné teplo*, 13. Sep 2020. Dostupné z: <https://www.jotul.sk/navody/salave-a-konvekcne-teplo/>.
- [28] KELLMEREIT, D. a OBODOVSKI, D. *The Silent Intelligence: The Internet of Things*. DnD Ventures, 2013. ISBN 9780989973700. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=OSQLnwEACAAJ>.

- [29] KERAMIDAS, G., VOROS, N. a HÜBNER, M. *Components and services for IoT platforms*. Springer, 2016.
- [30] KINGSLEY, D. The urbanization of the human population. *Scientific American*. JSTOR. 1965, zv. 213, č. 3, s. 40–53.
- [31] KNIERIM, J. *Basal ganglia (section 3, chapter 4)*, 20. Oct 2020. Dostupné z: <https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/s3/chapter04.html>.
- [32] KOMNINOS, N. What makes cities intelligent? In: *Smart Cities*. Routledge, 2013, s. 89–107.
- [33] KRISHNAMURTHI, R., KUMAR, A., GOPINATHAN, D., NAYYAR, A. a QURESHI, B. An Overview of IoT Sensor Data Processing, Fusion, and Analysis Techniques. *Sensors*. 2020, zv. 20, č. 21. DOI: 10.3390/s20216076. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/21/6076>.
- [34] KUBBA, S. *Handbook of green building design and construction: LEED, BREEAM, and Green Globes*. Butterworth-Heinemann, 2012.
- [35] MCLIMATE. *Vicki LoRaWAN*. 2022. Dostupné z: <https://docs.mclimate.eu/mclimate-lorawan-devices/devices/mclimate-vicki-lorawan>.
- [36] MICROPELT. *Self powered radiator control MLR003E*. 2022. Dostupné z: <https://www.micropelt.com/en/products/lorawan/mlr003>.
- [37] MORRIS, S. *How smart radiator valves work*. Dec 2022. Dostupné z: <https://www.which.co.uk/reviews/smart-radiator-valves/article/how-smart-radiator-valves-work-a2jgq3z61RB8>.
- [38] MÓZES, G. *Paraffin products*. Elsevier, 1983.
- [39] OLESEN, B. W. et al. Radiant floor heating in theory and practice. *ASHRAE journal*. ASHRAE AMERICAN SOCIETY HEATING REFRIGERATING. 2002, zv. 44, č. 7, s. 19–26.
- [40] PAIHO, S., TUOMINEN, P., RÖKMAN, J., YLIKERÄLÄ, M., PAJULA, J. et al. Opportunities of collected city data for smart cities. *IET Smart Cities*. Wiley Online Library. 2022.
- [41] PATEL, K. K., PATEL, S. M. a SCHOLAR, P. Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*. 2016, zv. 6, č. 5.
- [42] PH PLUMBING. *Advantages and disadvantages of using a central heating system*. Jun 2021. Dostupné z: <https://phplumbingheating.com/advantages-and-disadvantages-of-using-a-central-heating-system/>.
- [43] PÍCHOVÁ, J. *Elektrické otopné systémy energeticky, ekologicky a ekonomicky*. Západočeská univerzita v Plzni. 2012.
- [44] PRAŽSKÁ TEPLÁRENSKÁ A.S.. *Jak to funguje*. 2022. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/jak-to-funguje/>.

- [45] PURKYNĚ, J. E. *Topení a větrání obydlí lidských*. IL Kober, 1891.
- [46] RAMYA, C. M., SHANMUGARAJ, M. a PRABAKARAN, R. Study on ZigBee technology. In: *2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology*. 2011, sv. 6, s. 297–301. DOI: 10.1109/ICECTECH.2011.5942102.
- [47] ROBINSON, S. *How does a thermostat work*. HomeServe – Living Blog, Jun 2022. Dostupné z: <https://www.homeserve.com/uk/living/heating/how-does-a-thermostat-work/>.
- [48] SEHRAWAT, D. a GILL, N. S. Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. In: *2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*. 2019, s. 523–528. DOI: 10.1109/ICOEI.2019.8862778.
- [49] SHAFIQ, M., GU, Z., CHEIKHROUHO, O., ALHAKAMI, W. a HAMAM, H. The Rise of “Internet of Things”: Review and Open Research Issues Related to Detection and Prevention of IoT-Based Security Attacks. *Wireless Communications and Mobile Computing*. Hindawi. Aug 2022, zv. 2022, s. 8669348. DOI: 10.1155/2022/8669348. ISSN 1530-8669. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2022/8669348>.
- [50] SLATS, L. *A brief history of Lora: Three inventors share their story*. Semtech Corporation, Nov 2021. Dostupné z: <https://blog.semtech.com/a-brief-history-of-lora-three-inventors-share-their-personal-story-at-the-things-conference>.
- [51] SMART ENERGO. *Radiátorové Kúrenie*. Kúrenie prešov, Oct 2014. Dostupné z: <https://kureniespresov.sk/domacnost/kurenie/radiatorove-kurenie/>.
- [52] ŠTAJER, J. et al. *Elektrické otopné systémy*. Západočeská univerzita v Plzni. 2020.
- [53] STEADMAN, R. G. A Universal Scale of Apparent Temperature. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. Boston MA, USA: American Meteorological Society. 1984, zv. 23, č. 12, s. 1674 – 1687. DOI: 10.1175/1520-0450(1984)023<1674:AUSOAT>2.0.CO;2. Dostupné z: https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/23/12/1520-0450_1984_023_1674_ausoat_2_0_co_2.xml.
- [54] STREDOSLOVENSKÁ ENERGETIKA. *Zima Sa Blíži, pripravte sa na ňu: Tu Je 9 Tipov, Ako ušetriť na vykurovaní*. Oct 2020. Dostupné z: https://www.sse.sk/aktuality/zima-sa-blizi-pripravte-sa-na-nu-tu-je-9-tipov-ako-usetrit-na-vykurovani?page_id=10195.
- [55] SURESH, P., DANIEL, J. V., PARTHASARATHY, V. a ASWATHY, R. H. A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. In: *2014 International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR)*. 2014, s. 1–8. DOI: 10.1109/ICSEMR.2014.7043637.
- [56] SYSTON CABLE. *How does an analog thermostat work?* Syston Cable, Oct 2021. Dostupné z: <https://www.systoncable.com/how-does-an-analog-thermostat-work/>.
- [57] SÁROSSYOVÁ, B. *Etážové Vykurovanie*, 09. Feb 2012. Dostupné z: <https://www.jotul.sk/navody/salave-a-konvekcne-teplo/>.

- [58] TUFFIN, R. *Different types of underfloor heating – wet UFH systems: Ambiente UFH*. Oct 2018. Dostupné z: <https://ambienteufh.co.uk/drawbacks-electric-underfloor-heating/>.
- [59] WARD, I. *Anatomy of the Motor Car*. Orbis Books, 1976. ISBN 9780856132308. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=7RdmAAAACAAJ>.
- [60] YIN, C., XIONG, Z., CHEN, H., WANG, J., COOPER, D. et al. A literature survey on smart cities. *Science China Information Sciences*. Oct 2015, zv. 58, č. 10, s. 1–18. DOI: 10.1007/s11432-015-5397-4. ISSN 1869-1919. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11432-015-5397-4>.
- [61] YORK COUNCIL, C. of. *Your central heating system explained*. 2023. Dostupné z: <https://www.york.gov.uk/council-homes/central-heating-system-explained>.
- [62] ŠTATISTICKÝ ÚRAD SR. *SODB2021 – Sčítanie Obyvatelov, domov A Bytov*. 2021. Dostupné z: <https://www.scitanie.sk>.