



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

**Z HLOUPÉHO BOJLERU CHYTRÝ
POMOCÍ CHYTRÉ ZÁSUVKY**

FROM A DUMB BOILER TO A SMART ONE USING A SMART SOCKET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ADAM GRÜN WALD

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK MATERNA, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce



Student: **Grünwald Adam**
Program: Informační technologie
Název: **Z hloupého bojleru chytrý pomocí chytré zásuvky**
From a Dumb Boiler to a Smart One Using a Smart Socket
Kategorie: Vestavěné systémy

Zadání:

1. Proveďte rešerši existujících řešení zaměřených na úsporu tepla při elektrickém ohřevu užitkové vody.
2. Vyberte vhodnou chytrou zásuvku umožňující lokální řízení a získávání dat o aktuální spotřebě s dostatečným rozlišením.
3. Navrhněte řízení bojleru na základě historických dat o spotřebě s cílem minimalizovat spotřebu elektrické energie a tepelné ztráty.
4. Implementujte navržené řešení.
5. Proveďte testování a odhadněte docílenou úsporu.
6. Zdrojové kódy a dokumentaci publikujte na GitHubu.
7. Vytvořte stručný plakát nebo video prezentující vaši práci, její cíle a výsledky.

Literatura:

- Dle doporučení vedoucího.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 až 3.

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

Vedoucí práce: **Materna Zdeněk, Ing., Ph.D.**

Vedoucí ústavu: Černocký Jan, doc. Dr. Ing.

Datum zadání: 1. listopadu 2020

Datum odevzdání: 12. května 2021

Datum schválení: 30. října 2020

Abstrakt

Cílem této práce je rozšířit chytrou domácnost o chytrý bojler, který vznikne připojením stávajícího hloupého bojleru do chytré zásuvky se speciálním modulem pro připojení teplotních čidel, která slouží k monitoringu vývoje teplot v bojleru. Takto vzniklý chytrý bojler se dokáže přizpůsobit zvyklostem v domácnosti tak, aby výsledkem byla úspora elektrické energie. V rámci práce byl navržen a implementován učící algoritmus, který vyhodnocuje nasbíraná data a na jejich základě řídí ohřívání. Vliv na ohřev vody v bojleru mají také speciálně vytvořené události v kalendáři Google, se kterým se program synchronizuje a v okamžiku, kdy je celá domácnost například na dovolené, se voda v bojleru neohřívá.

Program pro sběr dat, jejich vyhodnocování a řízení ohřevu, je spuštěn v počítači připojeném v místní síti. V něm se také nachází databáze pro získaná data a nástroj, zajišťující přehled statistik bojleru jako je aktuální stav či spotřeba elektrické energie za týden.

Hlavním přínosem této práce je úspora elektrické energie snížením tepelných ztrát, díky menší průměrné teplotě vody v bojleru. Ta může ročně činit více než 30 % nákladů, což pro 80 litrový bojler představuje roční úsporu až 3500 Kč. Původní bojler navíc získá chytré funkce, které současné „chytré“ bojlerly nenabízejí, anebo je nabízejí jen v omezené formě.

Abstract

The goal of this thesis is to extend a smart home by a smart boiler created from a dumb one with help of a smart plug and two temperature sensors for measuring values in a boiler. This smart boiler will be able to adapt to the household's schedule of using hot water using a learning algorithm, which uses historical data of hot water consumption measured on the boiler. Heating to higher temperature is happening before expected consumption or on request, which is represented as a special event in Google Calendar. The boiler can be either turned off with help of Google Calendar, which can be used when the whole family goes on holiday and it isn't needed to heat the water in the boiler. Programs for collecting and evaluating data, managing the heating of boiler, the database, and service showing statistics, run on a laptop in a local network. The main benefit of the thesis is creating a device, which can adapt boiler to smart home and reduce electricity costs on hot water heating by more than 30 %, which on 80 l boiler represents savings of more than 130 € per year.

Klíčová slova

chytrá zásuvka, internet věcí, chytrá domácnost, chytrý bojler, úspora energie

Keywords

smart socket, IoT, smart home, smart boiler, energy saving

Citace

GRÜNWARD, Adam. *Z hloupého bojleru chytrý pomocí chytré zásuvky*. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Materna, Ph.D.

Z hloupého bojleru chytrý pomocí chytré zásuvky

Prohlášení

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

.....
Adam Grünwald
5. května 2021

Poděkování

Rád bych poděkoval mému vedoucímu Ing. Zdeňku Maternovi, Ph.D. za cenné rady a konzultace. Dále pak oběma rodinám, kterým jsem jejich bojler osadil svým zařízením pro chytrý ohřev, a které musely z počátku skousnout pár vlažných koupelí.

Obsah

1	Úvod	2
2	Internet věcí a chytrá domácnost	3
2.1	Internet věcí	3
2.2	Chytrý dům a chytrá domácnost	3
2.3	Chytrá zařízení pro domácnost	4
2.4	Asistenti pro chytrou domácnost	5
2.5	Technologie pro správu a komunikaci s chytrými zařízeními	7
3	Analýza existujících řešení	12
3.1	Způsoby elektrického ohřevu vody	12
3.2	Chytré bojleru na trhu a jejich funkce	16
3.3	Zařízení pro chytrý ohřev	20
4	Návrh řešení chytrého bojleru	22
4.1	Výběr chytré zásuvky a návrh zařízení pro sběr dat	22
4.2	Návrh funkcí chytrého bojleru	25
4.2.1	Ohřev na základě předchozí spotřeby	25
4.2.2	Plánování událostí	26
4.2.3	Rozpoznání HDO	27
4.2.4	Legionella	28
4.3	Vyhodnocování dat z bojleru pro předpověď odběru	28
4.4	Návrh algoritmu pro řízení ohřevu	28
5	Realizace navrženého řešení pro hloupý bojler	30
5.1	Kompletace zařízení pro sběr dat a řízení ohřevu	30
5.2	Umístění teplotních čidel	30
5.3	Implementace navržených algoritmů	31
5.4	Kontejnerizace	36
6	Testování a vyhodnocení naměřených dat	38
6.1	Testování a úprava algoritmu	38
6.2	Vyhodnocení sesbíraných dat	39
6.3	Možná rozšíření	41
7	Závěr	43
	Literatura	44

Kapitola 1

Úvod

V dnešní době chytrých domácností existuje na trhu nespočet zařízení, která jejich uživatelům usnadňují každodenní život tím, že je lze ovládat na dálku, plánovat jejich spouštění na určitý čas, nebo dokonce jejich chod automatizovat s ostatními zařízeními podle scénářů tak, že se členovi domácnosti po jeho příchodu z práce domů rozsvítí světla, pustí hudební podkres a připraví dobrá káva. Mimo to, že používání chytrých zařízení může být velice pohodlné, v mnoha případech to dokonce vede k úspoře financí plynoucí z menší spotřeby energie těchto chytrých zařízení. Například lze zkontrolovat, že uživatel při odjezdu skutečně vypnul všechna světla v domě, vytápění či klimatizaci. Chytrá zařízení mohou také posloužit coby bezpečnostní pojistky, kdy například nebude nutné vracet se pro jistotu domů zkontrolovat, jestli je skutečně vypnutá žehlička, sporák či rychlovarná konvice. Jedním ze zařízení, která se již začala vyrábět v chytré verzi, jsou bojler, sloužící pro ohřev užitkové vody. U nich chytré funkce slouží primárně pro snížení spotřeby elektrické energie díky ohřevu vody na čas očekávané nebo předem nastavené spotřeby tak, aby mimo dobu odběru teplé vody byla v bojleru voda o co možná nejnižší teplotě, čímž dojde k menším tepelným ztrátám skrz plášť nádoby. Pokud nyní někdo touží po chytrém bojleru, musí investovat nemalou částku do nového bojleru s chytrými funkcemi. Tato zařízení jsou zatím bohužel jen černé skříňky bez možnosti personifikačních úprav či možnosti spojení se stávající chytrou domácností.

Cílem mé práce je navrhnout a implementovat řešení, kdy stávající hloupý bojler uživatel připojí k mnou sestavenému zařízení, obsahující chytrou zásuvku, pomocí které bude možné bojler ovládat. Z mého zařízení také budou vystupovat dvě teplotní čidla, která se umístí do pláště bojleru a na výstupní trubku bojleru. Program běžící na počítači v lokální síti v programu Docker pak bude sbírat data o chodu bojleru, která budou ukládána do lokální databáze. Na základě těchto dat pak algoritmus bude rozhodovat o tom, kdy se má voda v bojleru ohřívat a kdy naopak ne. Uživatel bude také moci řídit ohřívání bojleru například tak, že do kalendáře Google tohoto zařízení zanesou událost, podle které program pozná, že uživatel v daném období nebude doma a není tak potřeba vodu v bojleru v daném období ohřívat. Každý si tak bude moci ze svého hloupého bojleru udělat bojler chytrý, který bude možné spárovat se svojí chytrou domácností a který bude šetřit elektrickou energii.

Práce je členěna do několika kapitol, ve kterých se zabývám vývojem tohoto řešení. Kapitola 2 se zabývá teoretickým základem potřebným pro pochopení fungování mého řešení jako jsou definice internetu věcí, chytrých domácností, technologií a chytrých zařízení v nich použitých. V kapitole 3 se zabývám analýzou stávajících řešení. Kapitola 4 obsahuje návrh řešení. V kapitole 5 je pak popsán vývoj zařízení pro sběr a implementace algoritmů. Na závěr je v kapitole 6 popsán průběh testování s výsledky měření skutečné úspory energie.

Kapitola 2

Internet věcí a chytrá domácnost

V současné době se termíny internetu věcí a chytrých domácností stále více stávají běžnou součástí našich životů. Jejich snahou je poskytnout jejich uživatelům dokonalý přehled stavu světa kolem nich, usnadnit jejich uživatelům každodenní činnosti a propojit chytrá zařízení tak, aby pracovala v symbióze ku prospěchu všech. Tato kapitola se zabývá možnostmi využití internetu věcí a chytrých domácností zařízeními k tomu používanými, včetně srovnání chytrých asistentů, a technologiemi určenými pro jejich vzájemnou komunikaci.

2.1 Internet věcí

Internetem věcí se rozumí takový systém, ve kterém spolu komunikují jednotlivá zařízení tak, aby ona zařízení spolupracovala a zajišťovala tak pohodlný život nám, lidem. Představit si to můžeme tak, že veškerá zařízení, která lidé používají ve svém životě, jsou spolu propojena a jejich činnost se řídí touhami a potřebami jejich uživatelů, avšak bez nutnosti uživatele samotného zasahovat do jejich chodu. Chytrá zařízení v sobě mají technologii, která jim umožňuje propojení s dalšími zařízeními (věcmi), případně senzory a čidla pro zaznamenávání informací z jejich okolí, jako je například teplota, vlhkost, přítomnost smogu, nebo přiložení čipové karty identifikující konkrétního uživatele [14]. Všechna tato data jsou zařízení schopna ukládat, analyzovat a sdílet, čímž spoluvytváří síť zařízení, která využívají informace ostatních zařízení, na základě čehož uzpůsobují svůj chod. V dnešní době se také stále více děje do popředí fenomén chytrých měst – smart cities, kdy chod infrastruktury města jako je sběr odpadků, řízení dopravy nebo rozsvícení pouličních lamp, je řízen na základě dat z ostatních zařízení. Jednotlivá města tak mohou lépe organizovat chod jejich klíčových infrastruktur a přispět tak k úsporám energie nebo ke zvýšení bezpečnosti ve městě, zatímco maximalizují služby a jejich kvalitu svým občanům [5]. Pokud se například budeme bavit o jednom z odvětví internetu věcí, kterým jsou chytré domy a domácnosti, můžeme si možnou spolupráci představit tak, že se rozsvítí světlo nebo rozhrnou žaluzie, pokud je v právě obývané místnosti příliš velká tma, nebo v momentě, kdy se v dané místnosti nenachází žádná osoba, klimatizace zde nebude chladit vzduch na zbytečně nízkou teplotu.

2.2 Chytrý dům a chytrá domácnost

Tyto pojmy se mohou na první dojem zdát jako totožné, avšak odborné prameny je od sebe odlišují. Prvním pojmem se označuje budova, která je již od prvopočátku její stavby

či zařizování plánovaná jako chytrá. Jsou tomu tudíž uzpůsobeny její prvky tak, aby tvořily jeden komplexní systém už od počátku. Chytrou domácnost pak lze vytvořit již ze stávající hloupé domácnosti přidáním chytrých zařízení a spotřebičů. Bohužel, vlastnosti chytré domácnosti nemusí vždy dosáhnout kvalit chytrého domu, jelikož nenabízí tolik možností pro ovládání všech zařízení v domě, jako jsou speciálně navržené řešení elektroinstalace, architektonické prvky a chytré spotřebiče [3].

Tento text se zaměřuje na přeměnu hloupého spotřebiče na chytrý pomocí chytrého zařízení, což může být použito jak v systému chytré domácnosti pro rozšíření palety chytrých zařízení, tak i pro vylepšení již postaveného chytrého domu s hloupým bojlerem, jelikož v době návrhu a výstavby tohoto domu se na trhu chytré bojlerů nevyskytovaly, nebo současná řešení chytrých bojlerů nejsou pro chytrý dům dostatečně tvárná a tudíž použitelná. V tomto textu se tak čtenář setká primárně s pojmem chytré domácnosti, nicméně výsledné řešení by mělo být aplikovatelné v obou těchto případech.

Chytrá zařízení, použitá v chytré domácnosti, mohou být například zásuvky, spotřebiče, světla, rolety nebo klimatizace, které spolu dokáží spolupracovat tak, aby jejich chování vedlo ke zvýšení pohodlí obyvatelů domácnosti spolu se snížením tepelných ztrát a z toho vyplývajícím snížením výdajů za energie. Představit si to můžeme tak, že při příchodu obyvatele domů se rozsvítí světla v chodbě, začne hrát relaxační hudba z domácího kina, hlasový asistent sdělí aktuální teplotu v místnostech, kávovar připraví horkou kávu s mlékem. Stejně tak se v létě při parných dnech zapne klimatizace, zatáhnou rolety a zvýší se objem vody pro zavlažování trávníku. Naopak při nepřítomnosti obyvatelů není nutno topit či klimatizovat tak intenzivně, čímž je možné dosáhnout energetické úspory. Možností, které stávající technologie nabízejí, je nepřehledné množství a počet druhů zařízení, které jsou schopny být použity v chytré domácnosti, se každým rokem zvětšuje [21].

2.3 Chytrá zařízení pro domácnost

V současné době můžeme na trhu nalézt chytrá čidla a senzory, za pomoci kterých můžeme sledovat stav domácnosti. Pořídít si tak můžeme čidla teploty, vlhkosti, tlaku, celé meteostanice, čidla pohybu, kouře, úniku vody, plynu a mnoho dalších. Dále pak samotná zařízení, která jsou schopna ovlivnit stav domácnosti. Jedná se většinou o zařízení, která se na trhu již vyskytují jako nechytrá, kdy jejich chod závisí na přímé interakci s uživatelem nebo na čidlech přímo v nich zabudovaných (termostat), avšak mají navíc chytré funkce pro komunikaci s ostatními zařízeními. Díky tomu pak můžeme například při konkrétní hodnotě odečtené ze sledovacího zařízení uvést do chodu konkrétní zařízení.

Na trhu tak můžeme najít chytré zásuvky, které lze ovládat a monitorovat jejich spotřebu, nebo žárovky, u kterých lze nastavovat barvu a intenzitu osvětlení. K dostání jsou také chytré termostaty či termostatické hlavice pro kontrolu a úpravu teploty v místnostech, zvlhčovače, nebo například květináče, které se starají o zálivku flóry.

Všechny tyto produkty lze přidat do systémů chytrých domácností, kde má uživatel přehled o aktuálním stavu jeho domácnosti. Dále si uživatel může vytvořit scénáře, kdy při splnění podmínky ať už některým ze senzorů nebo po uplynutí časového intervalu, dojde ke konkrétní akci v domácnosti s vybranými chytrými zařízeními k tomu určenými.

Pro chod chytré domácnosti je vhodné všechny chytré pomocníky, kdy všechny nemusí být produktem stejné firmy, sdružit do společného systému tak, aby k jejich ovládní docházelo z jedné aplikace a bylo například možné programovat jednotlivé scénáře, o kterých je řeč v předchozím odstavci. Samotný systém se pak již sám postará o komunikaci s těmito



Obrázek 2.1: Chytrá zařízení Tuya. Převzato z [28].

zařízeními a uživatel si může užívat výdobytků této technologie. Mezi nejrozšířenější chytré asistenty, které dokáží sdružit chytrá zařízení třetích stran do jedné aplikace, patří Google Asistent, Alexa od Amazonu nebo Siri od Applu. Ty si blíže rozebereme v následující podkapitole.

2.4 Asistenti pro chytrou domácnost

Aby měl obyvatel chytré domácnosti kontrolu nad svými chytrými zařízeními a aby spolu jednotlivá zařízení chytré domácnosti dokázala spolupracovat, je zapotřebí tato zařízení přidat do systému chytré domácnosti. Většina výrobců chytrých zařízení k nim nabízí i vlastní software, který obvykle dokáže sjednotit zařízení stejné firmy. Příkladem toho může být aplikace Hue od společnosti Philips, která umožňuje ovládání chytrých světel, nebo TP-Link Tapo pro ovládání kamer v domácnosti. Tato zařízení však mohou být také kompatibilní s některým z chytrých asistentů pro domácnost. Díky nim pak uživatel může zařízení různých výrobců ve své domácnosti ovládat hlasem skrze jednoho asistenta, nebo si může nastavit konkrétní scénáře pro to, co se má s kterými zařízeními v dané situaci nebo po vyslovení předem definovaného povelu stát. Takový asistent se v chytrých domácnostech nejčastěji objevuje v podobě chytrého reproduktoru někdy obohaceném o displej. Toto zařízení pak plní roli sjednotitelského prvku všech zařízení v jedné domácnosti. Tento reproduktor po připojení k Wi-Fi lze ovládat hlasovými příkazy, na jejichž základě je asistent schopný jeho uživatelům sdělit nejnovější informace o stavu domácnosti, počasí, aktuální zprávy, odpověď na hledanou otázku nebo provést daný scénář s chytrými zařízeními v domácnosti.

Google Asistent

V zařízeních, určených pro chytrou domácnost od společnosti Google, nalezneme chytrého hlasového asistenta Google Asistent, se kterým se uživatelé mohou setkat ve svých mobilních zařízeních. Ještě před vydáním prvního chytrého reproduktoru od Googlu, v roce 2014, společnost Google koupila firmu Nest, do té doby se zabývající vývojem a výrobou chytrých zařízení do domácnosti jako jsou chytré termostaty či detektory kouře a oxidu uhelnatého. Ta do roku 2018 fungovala nezávisle na Googlu. Avšak po reorganizaci ve společnosti Google došlo ke spojení Nestu s divizí Google zabývající se právě chytrými domácnostmi. V roce 2019 pak Google oznámil, že značka Google Home bude dále vystupovat pod novým názvem Google Nest. V roce 2019 bylo možné s Asistentem Google spárovat 30 tisíc podporovaných

zařízení od tří a půl tisíc výrobců [11], což jej činí druhým nejpodporovanějším asistentem hned po Alexe od Amazonu.

Amazon Alexa

Amazon Alexa (dále jen Alexa) označuje chytrého virtuálního asistenta vyvíjeného společností Amazon, který slouží jako interaktivní prvek domácnosti pro získávání informací, přehrávání hudby nebo pro nastavování připomenutí. Alexa také umožňuje ovládání prvků v chytré domácnosti, čímž rozšiřuje její možnosti. Alexu můžeme nalézt v řadě chytrých reproduktorů od Amazonu, nesoucí název Amazon Echo. První chytrý reproduktor, nesoucí toto označení, spatřil světlo světa v roce 2015. Tento reproduktor byl vyvíjen dceřinou společností Amazonu s názvem Amazon Lab126 [4]. Co se týče počtu zařízení, se kterými zvládne spolupracovat, válčuje své rivaly s více než 100 tisíci zařízeními od 9.5 tisíce výrobců [22].

Siri

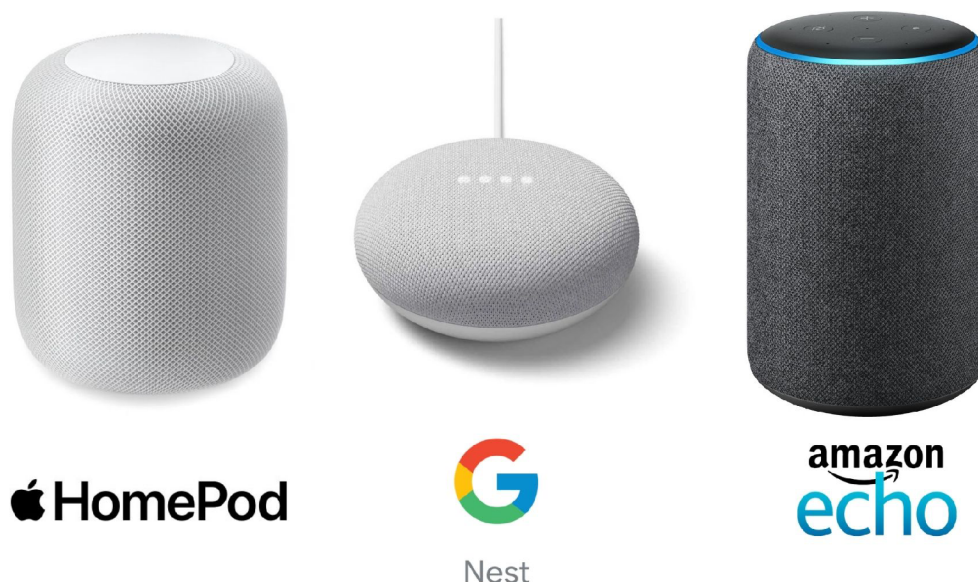
Chytrá asistentka Siri se mimo telefony, tablety a počítače společnosti Apple v roce 2017 objevila také v chytrém reproduktoru Apple HomePod. V nabídce jsou dva chytré reproduktory, jejichž cena je vyšší než v případě předchozích zařízení. Co se týče asistenta od Applu a použití v chytré domácnosti, aby bylo chytré zařízení možné ovládat s pomocí Siri, je nutné, aby podporovala spojení se softwarem Apple HomeKit. Počet těchto zařízení byl v roce 2019 450. Navíc aplikaci HomeKit lze nalézt pouze v zařízeních s iOS, pro uživatele jiných systémů je nedostupná, čímž se výrazně omezuje její použitelnost v domácnostech, kdy ne všichni používají iOS.

Srovnání chytrých asistentů

Pokud porovnáme počet podporovaných zařízení, Alexa s přehledem vede, zatímco Apple v této oblasti pokulhá, kdy jejich počet je násobně menší než v případě zařízení od Googlu nebo Amazonu. Také zatímco aplikace pro chytré asistenty Googlu a Amazonu jsou multiplatformní, Apple se omezuje pouze na iOS [15]. Co se týče ceny chytrých reproduktorů, Apple se zde drží své cenové politiky a jejich cena je vyšší než v případě Amazonu nebo Googlu.

Společnost Loup Ventures provedla v roce 2019 analýzu [17], ve které zkoumala vyspělost chytrých asistentů od Googlu, Amazonu a Applu umístěných v chytrých reproduktorech (Obrázek 2.2). Zde tyto asistenty testovala, zda dokáží porozumět otázce či povelu a následně poskytnout smysluplnou odpověď. Co se týče porozumění, asistent od Googlu porozuměl všem dotazům se stoprocentní úspěšností. Ostatní však ztratily jen dvě desetiny procenta v případě Siri, respektive jedno v případě Alexy. Při zodpovídání samotných otázek nebo vykonávání povelů byli asistenti testováni v pěti kategoriích – v místní orientaci, nákupu, navigaci, poskytování odpovědí na obecné otázky a povelů pro vykonání určité činnosti. Všichni asistenti dostali stejných 800 otázek. Pouze v oblasti povelů asistent Googlu skončil na druhém místě, ve všech ostatních oblastech své konkurenty předčil. Co je nutné poznamenat, je to, že analýza také uvádí, že v porovnání s předchozími lety se komunikace všech těchto asistentů zlepšuje a je zde výhled, že za pár let již nemusí mít žádný problém při porozumění a zodpovězení dotazu. Velká škoda pro české uživatele je ve všech případech to, že podpora českého jazyka u všech těchto chytrých asistentů chybí. Nejbližší k tomu je Google Asistent, který však tuto funkcionalitu slibuje už od roku 2019,

nicméně podpora češtiny v něm stále chybí, byť s českými jmény a názvy měst v dotazech si v porovnání s ostatními poradí nejlépe [9]. Podle serveru SMARTmania [12] je podpora v Google Asistentu na spadnutí, nicméně v květnu roku 2021 tomu tak ještě nebylo.



Obrázek 2.2: Chytré reproduktory. Převzato z [25].

2.5 Technologie pro správu a komunikaci s chytrými zařízeními

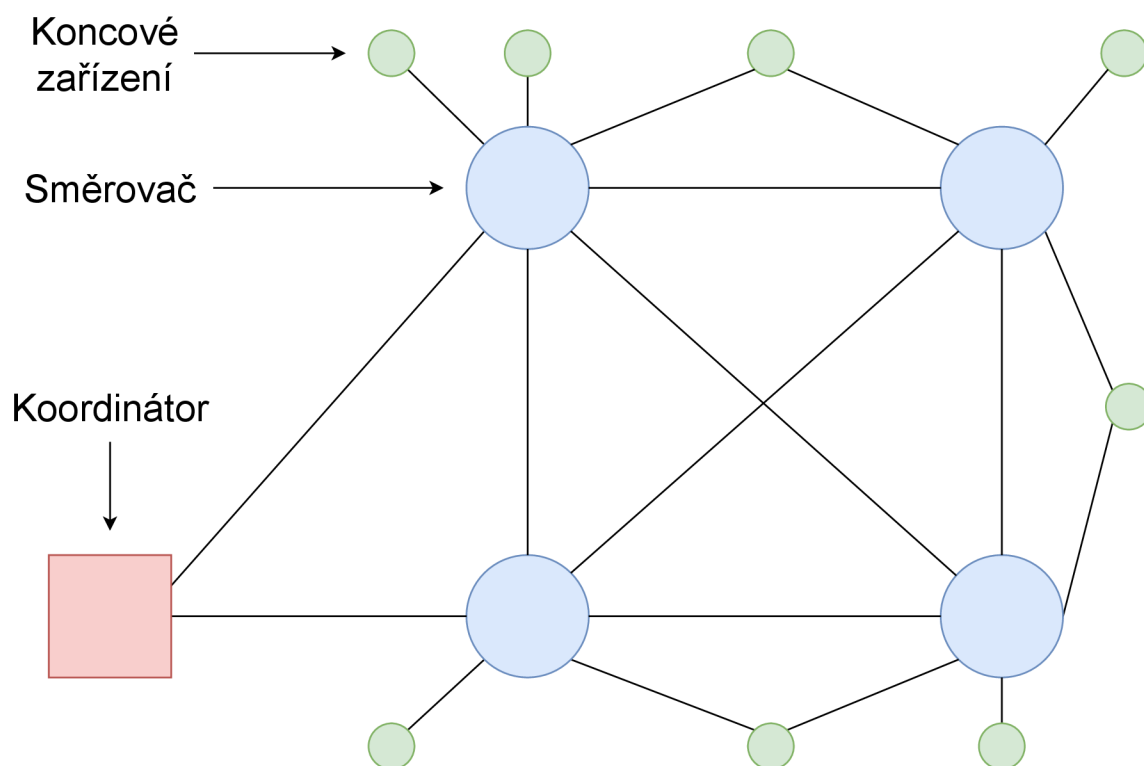
Propojení jednotlivých zařízení je zajištěno přes internetovou infrastrukturu, ke které jsou tato zařízení připojena – bezdrátovou technologií nebo kabelem – a komunikují spolu. V dnešní době je většina chytrých zařízení do sítě připojena bezdrátově. K tomu jsou využívány různé technologie pro bezdrátový přenos. Kromě známé Wi-Fi se na trhu také objevují další technologie, které vynikají svojí nízkou energetickou náročností a dosahem signálu.

Technologie pro bezdrátový přenos dat používaná v chytrých zařízeních, které budou v této práci zmíněny, jsou Wi-Fi, ZigBee, Thread, Z-Wave a IQRF. V této podkapitole budou popsány principy zmíněných standardů, jejich výhody a nevýhody.

Mesh topologie

Technologie pro bezdrátový přenos používané v domácnostech používají pro propojení jednotlivých zařízení různé způsoby uspořádání sítě, ve které spolu jednotlivá zařízení komunikují. Od typu tohoto propojení se odvíjí vlastnosti sítě. Většina z dále zmíněných technologií

pro bezdrátový přenos využívá právě topologii mesh, která má největší vliv na dosah a stabilitu bezdrátové sítě. Jedná se o uspořádání sítě, kdy každé koncové nebo síťové zařízení je propojeno s více než jedním zařízením v síti. V důsledku to znamená, že v momentě, kdy dojde k výpadku síťového zařízení v síti, zbytek sítě bude pracovat normálně dále. Síť je tak méně náchylná k poruchám, oproti například uspořádání typu hvězda, které používá Wi-Fi. Navíc díky tomu, že jsou si zařízení schopna mezi sebou předávat informace, zvyšuje se tím dosah sítě a rovnoměrnost pokrytí, které stoupá s počtem zařízení. Příklad uspořádání sítě využívající mesh topologii lze vidět na Obrázku 2.3.



Obrázek 2.3: Propojení zařízení v mesh topologii.

Bluetooth

Jedná se o otevřený standard, který definuje bezdrátovou komunikaci mezi dvěma či více zařízeními. Čtvrtá verze této technologie přinesla variantu označovanou jako BLE (=Bluetooth Low Energy), která se prezentuje nízkou energetickou náročností pro přenos malého objemu dat. Toho je využíváno právě v chytrých zařízeních. Pátá generace přišla s rozdělením Bluetooth na dvě větve – Bluetooth Classic pro rychlý přenos většího množství dat a již zmíněný Bluetooth Low Energy s nízkou energetickou náročností. Tato nová verze umožňuje dosah až 200 metrů ve volném prostředí a asi 40 metrů uvnitř budov. Pátá generace také přinesla možnost využití výhod mesh topologie, která zajišťuje lepší propojení jednotlivých zařízení mezi sebou.

Technologie Bluetooth je dnes využívána v chytrých domácnostech u zařízení jako jsou chytrá světla, zámky, kamery nebo hlasoví asistenti. Bluetooth se tak ve světě chytrých domácností jeví jako zajímavá alternativa k Wi-Fi, jelikož poskytuje větší výdrž za nižší cenu.

Podle [6] se očekává, že počet chytrých zařízení v domácnostech s technologií Bluetooth dosáhne v roce 2022 1,1 miliardy kusů.

Wi-Fi

Technologie Wi-Fi zajišťuje bezdrátový přenos dat mezi jednotlivými zařízeními s využitím hvězdicové topologie. Ve standardech 802.11a/b/g/n/ac pracuje na frekvencích 2,4 a 5 GHz, díky čemuž není potřeba mezi jednotlivými zařízeními budovat kabelové sítě. Jako další výhodu uvádí server Network World [13] nízkou cenu pro použití v zařízeních a jednoduché nasazení. Nevýhodami jsou pak vysoká spotřeba elektrické energie, střední dosah a možné zahlcení spektra daného pásma příliš velkým počtem požadavků. Tyto nevýhody se snaží řešit standard Wi-Fi HaLow (802.11ah), který byl představen v říjnu roku 2016. Jeho hlavní myšlenkou je práce v pásmu 900 MHz s nižšími energetickými nároky a větším dosahem. Nevýhodou je však potřeba speciálních bezdrátových přístupových bodů a speciální hardware na straně klienta. I kvůli těmto aspektům se tato technologie do mnoha zařízení doposud nedostala. Jako možná naděje se může jevit standard HEW - High Efficiency Wireless(802.11ax), který by měl dostat akreditaci v roce 2021. Ten rozšiřuje standard HaLow a nahrazuje standard 802.11/ac. Umožňuje například za pomoci prostorových streamů snížit zahlcení sítě tím, že na stejné frekvenci přenáší více nezávislých streamů, kdy nedochází k jejich vzájemnému rušení. Tato funkce byla dostupná i v předchozím standardu, avšak pouze pro stahování a pro poloviční počet jednotlivých toků. Standard HEW počet streamů zvyšuje na osm a je dostupný i pro upload [32]. Oba tyto standardy se však v současných chytrých zařízeních zatím ještě nevyskytují a zařízení se vyrábějí s podporou starších standardů.

ZigBee

Tento open-source¹ protokol pro bezdrátovou komunikaci zařízení vychází ze standardu IEEE 802.15.4, ze kterého vychází při definici prvních dvou vrstev ISO/OSI modelu – fyzickou a MAC. Protokol ZigBee si klade za cíl nahradit rozvaděče, zásuvky a nejružnější senzory v domě bezdrátovými uzly, které spolu dokáží komunikovat i přes to, že jsou produkty různých firem. Vysílání mezi zařízeními probíhá na frekvenci 2,4 GHz. Protokol rozlišuje tři typy zařízení – koordinátor (bridge), směrovač a koncová zařízení. Koordinátor představuje kořen síťového stromu, který může zajišťovat spojení s ostatními sítěmi. Směrovač kromě chodu samotné aplikace může plnit roli prostředníka mezi směrovači pro přeposílání dat z ostatních zařízení. Samotná koncová zařízení pak obsahují nejzákladnější funkcionalitu, kdy jsou schopna komunikovat pouze s rodičovskými uzly. Nejsou tak schopna přenášet data z ostatních zařízení. To má za následek to, že podstatnou část času mohou být v režimu spánku a probouzí se pouze jednou za čas pro odeslání dat, čímž výrazně prodlužují dobu výdrže baterie [2]. Pomocí ZigBee lze také vytvořit duplicitní spojení mezi zařízeními a podporuje tak topologii mesh, díky čemuž se zlepšuje dosah a kvalita sítě při přidání každého dalšího zařízení schopného přenášet data jiných zařízení [1].

V porovnání s Wi-Fi také poskytuje větší pokrytí signálem, kdy dosah této technologie činí od 10 do 100 metrů [2]. Technologie ZigBee se používá při komunikaci chytrých svítidel společnosti Philips v jejich modelové řadě Hue. Jednotlivá zařízení spolu komunikují právě za pomoci ZigBee, zatímco spojení s aplikací například v telefonu je zajišťováno pomocí Wi-Fi. K té je připojen bridge, zařízení sloužící právě k propojení rozdílných sítí, které

¹open-source – otevřený zdrojový kód

předává informace jednotlivým zařízením přes ZigBee. V případě Philipsu je situace o něco složitější, jelikož i přes to, že si ZigBee klade za cíl sjednotit ovládání zařízení různých výrobců, jedná se stále o otevřený protokol. Phillips si tak poupravil řešení jejich bridge a pro ovládání zásuvek z řady Hue je potřeba speciální bridge od společnosti Philips, jelikož jiné nejsou se žárovkami Philips kompatibilní. Naštěstí opačná kompatibilita s ostatními zařízeními pracujícími na ZigBee zde je [36].

Počet zařízení, které podporují tuto technologii, činí podle seznamu dostupného na stránkách ZigBee Alliance 2830 certifikovaných zařízení [35].

Z-Wave

Velkým rivalem zmíněného ZigBee je právě protokol Z-Wave. Na rozdíl od ZigBee se jedná o uzavřený protokol společnosti Silicon Labs. Jeho hlavními výhodami je malá energetická náročnost a velký dosah signálu, který činí až 100 metrů ve venkovním prostředí, v domácnosti bez překážek pak metrů 30, respektive 15, pokud se mu do cesty postaví zdi. Udávaná frekvence Z-Wave pro Evropu činí 868.42 MHz, díky čemuž nedochází k rušení jinými technologiemi pracujícími na frekvenci 2,4 GHz jako je třeba Wi-Fi, ZigBee nebo mikrovlnná trouba. Stejně jako ZigBee také umožňuje topologii mesh, díky čemuž zvládne komunikovat na větší vzdálenosti. Nevýhodou zde však je, že v rámci topologie mesh Z-Wave zvládá jen čtyři přechody na cestě k bridgi, zatímco ZigBee má tento počet skoků neomezený. Na stránkách této společnosti je také uvedeno, že počet dostupných zařízení podporujících tuto technologii je 4500 [34].

Thread

Protokol Thread je nejnovější ze zmiňovaných protokolů. Jedná se o začínající technologii, která si klade za cíl nahradit ZigBee. Pracuje na frekvenci 2,4 GHz a stejně jako ZigBee nebo Z-Wave nad stejným standardem 802.15.4. Jako obě zmíněné technologie, využívá výhod mesh topologie, při maximální vzdálenosti mezi zařízeními 30 metrů a maximálním počtem 300 zařízení [16].

IQRF

Jedná se o technologii bezdrátové komunikace skrze rádiovou frekvenci vyznačující se nízkou spotřebou a vysokou spolehlivostí. Přenos dat je obousměrný a díky tomu, že nepředpokládá v případě IoT přenos velkých objemů dat, je i rychlý. Zařízení s touto technologií se hodí do prostředí, ve kterém může být komplikované pokrytí jinými sítěmi. Stejně jako v případě ZigBee je díky možnosti uspání energeticky nenáročný. Hojně se využívá v oblasti monitoringu dat ve městech. Sledovat tak lze stav ovzduší, stav obsazenosti parkovišť nebo osvětlení ulic, kdy tyto senzory mohou být v jedné síti, která může mít dosah až v řádu desítek kilometrů [26].

HTTP

HTTP (HyperText Transfer Protocol) je internetový protokol používaný pro komunikaci s WWW servery. Jeho princip spočívá v komunikaci typu dotaz-odpověď. Klient tedy zašle na server dotaz, ten mu následně sdělí odpověď. Protokol HTTP je bezstavový – neumí rozpoznat souvislost mezi jednotlivými dotazy mířícími na server. Nejčastějšími typy dotazů jsou dotazy typu GET a POST. První z nich slouží pro získávání dat ze serveru, druhý je

pak určen pro odesílání dat na server. V oblasti IoT si to můžeme představit tak, že pomocí GET můžeme zažádat teplotní čidlo o sdělení teploty, a s pomocí POST lze například odeslat soubor ve formátu JSON popisující nastavení chytré zásuvky. Nevýhodou HTTP při použití v IoT je to, že kvůli ustanovení spojení odesílá mnoho malých paketů, což vede k větší vytíženosti a následnému zpoždění sítě.

MQTT

MQTT (=Message Queue Telemetry Transport) je protokol definující přenos dat mezi zařízeními. Tento protokol popisuje dva druhy zařízení. Brokera – server přijímající zprávy od klientů a preposílá je odpovídajícím klientům, a klienty – jednotlivá zařízení schopná sběru dat a jejich odeslání brokerovi. Jakmile broker obdrží zprávu od klienta, přepoše ji všem klientům, kteří se k jejímu odběru přihlásili. Na rozdíl od HTTP se nejedná o komunikaci typu dotaz-odpověď, ale o koncept poskytovatele a odběratele, kdy každé zařízení může plnit současně obě tyto funkce. Dost často se ale tyto funkce rozdělují, kdy poskytovatel je obvykle nějaký senzor vysílající naměřené hodnoty, které odesílá brokerovi. Odběratel pak velice často bývá řídicí jednotka, která s daty dále pracuje [31]. Díky této vlastnosti se MQTT jeví jako vhodnější protokol než HTTP, jelikož spotřebovává méně energie a je ohleduplnější k vytíženosti sítě [33].

Kapitola 3

Analýza existujících řešení

V této kapitole budou nejdříve popsány způsoby elektrického ohřevu teplé vody s jejich výhodami i nevýhodami. Dále budou rozebrána možná řešení nevýhod akumulčních nádrží se zaměřením na chytré bojler. Diskutovány budou jejich chytré funkce, nedostatky i případná rozšíření, která by je učinila skutečně schopnými adaptace do chytré domácnosti.

3.1 Způsoby elektrického ohřevu vody

Pokud se domácnost rozhodne, že teplou vodu bude ohřívat pomocí elektrické energie, má na výběr dvě řešení. První z nich je řešení na principu průtokového ohříváče, kdy je teplá voda připravována až v momentě jejího odběru. Druhé řešení funguje na principu akumulace teplé vody, kdy se teplá voda předehřeje s předstihem v zásobníku, odkud je následně čerpána. Obě tato řešení mají své výhody, ale i nevýhody. Ty si rozebereme a následně se zaměříme na možné řešení v podobě chytrých bojlerů.

Průtokový ohříváč

Prvním řešením je průtokový ohříváč, který je neúčinnějším zařízením pro ohřev teplé vody, jelikož jím ohřátá voda je okamžitě spotřebována a nedochází tak k velkým tepelným ztrátám. Výhodou jsou také kompaktní rozměry zařízení, jelikož obsahuje pouze komponenty pro předání tepelné energie z topného tělesa vodě. Pracuje nárazově, kdy k ohřevu dochází pouze v momentě odběru teplé vody.

Pro to, aby byla teplá voda v okamžité pohotovosti, je potřeba velký výkon topného tělesa. Pro představu – kdyby měl průtokový ohříváč sloužit jako zdroj teplé vody pro koupelnu, při odběru během koupání by byl potřeba jednorázový výkon kolem 20 kW. To by způsobilo velké nároky na odběr elektrické energie.

Slouží tudíž většinou jako přídatné zařízení k jinému řešení ohřevu teplé vody, které zajistí dostatek teplé vody pro větší spotřebu. Průtokové ohříváče se tak používají spíše pro menší odběrná místa jako jsou umyvadla či dřezy, kde postačí výkon mezi 2 až 6 kilowatty.

Často je můžeme nalézt i ve variantě s malou akumulční nádrží, která zvládne pokrýt i sprchu. Toto řešení nicméně nepokryje spotřebu například vícečlenné domácnosti, nebo napuštění vany, kdy objem odběru převyšuje objem naakumulované vody.

Bojler

Druhým způsobem ohřevu pomocí elektrické energie je akumulace teplé vody v nádrži – bojleru. Voda se v zásobníku nahřeje na požadovanou teplotu a při odběru teplé vody je využíváno právě této přehřáté vody. Velkou výhodou těchto řešení je fakt, že dokáže pohodlně pokrýt odběr v podobě koupele právě z přehřáté vody. Díky tomu není zapotřebí tak velký výkon, který se obvykle pohybuje kolem 2 kW. Nevýhodou je však fakt, že zásobník zabírá poměrně dost místa a při akumulaci teplé vody dochází k tepelným ztrátám.

K ohřevu zde dochází v nádobě, ve které se nachází topné těleso, které ohřívá vodu v zásobníku. Topné těleso je umístěno u dna nádoby, kde dochází k ohřevu vody. Teplá voda poté díky své nižší hustotě stoupá vzhůru, odkud je odebírána při spotřebě. Přívod studené vody, který doplňuje vodu v bojleru po jejím odběru, ústí ke dnu bojleru, aby nedocházelo k jejímu míchání s již ohřátou vodou. Čidla pro spínání ohřevu jsou proto umístěna ve vrchní části bojleru, aby reflektovala nejvyšší teplotu, kterou má voda v bojleru 3.1.

Nádoba na vodu je nejčastěji vyráběna z ocele, ve výjimečných případech z mědi či plastu. Ocelové nádrže jsou vyráběny z nerez, případně je před korozí chrání smaltová vrstva [30]. V případě smaltovaných nádrží se v nádrži nachází také antikorozi tyč sloužící jako anoda, která smaltové vrstvě pomocí elektrického proudu zajišťuje její trvalou ochranu.

Bojlery lze umístit ve dvou směrech – vertikálně nebo horizontálně. Vertikální umístění je výhodné v případech, že máme na jeho umístění dostatek místa. Toto umístění totiž umožňuje funkčně výhodnější ohřev, jelikož se ohřívá voda tolik nemísí s vodou studenou. Oproti tomu horizontální umístění je vhodné do prostorů, kde je nedostatek místa.

U zásobníkového ohřevu hrozí rozmnožení vodní bakterie legionelly, která může způsobit onemocnění podobné zápalu plic s příznaky jako jsou horečka, kašel a celková slabost. Tato bakterie se běžně vyskytuje v zařízeních jako jsou bojler, stroje na výrobu ledu, ve sprchách nebo ve fontánách. Tato bakterie se hojně množí v teplé vodě o teplotě 25–55 °C. Odhaduje se, že jen v USA se touto bakterií ročně nakazí 600 tisíc lidí. Díky tomu, že bakterie nepřežije teplotu vyšší jak 60 °C, mnoho výrobců bojlerů doporučuje vodu v těchto zařízeních nesnižovat právě pod tuto teplotu, aby nedocházelo k množení této bakterie [20].

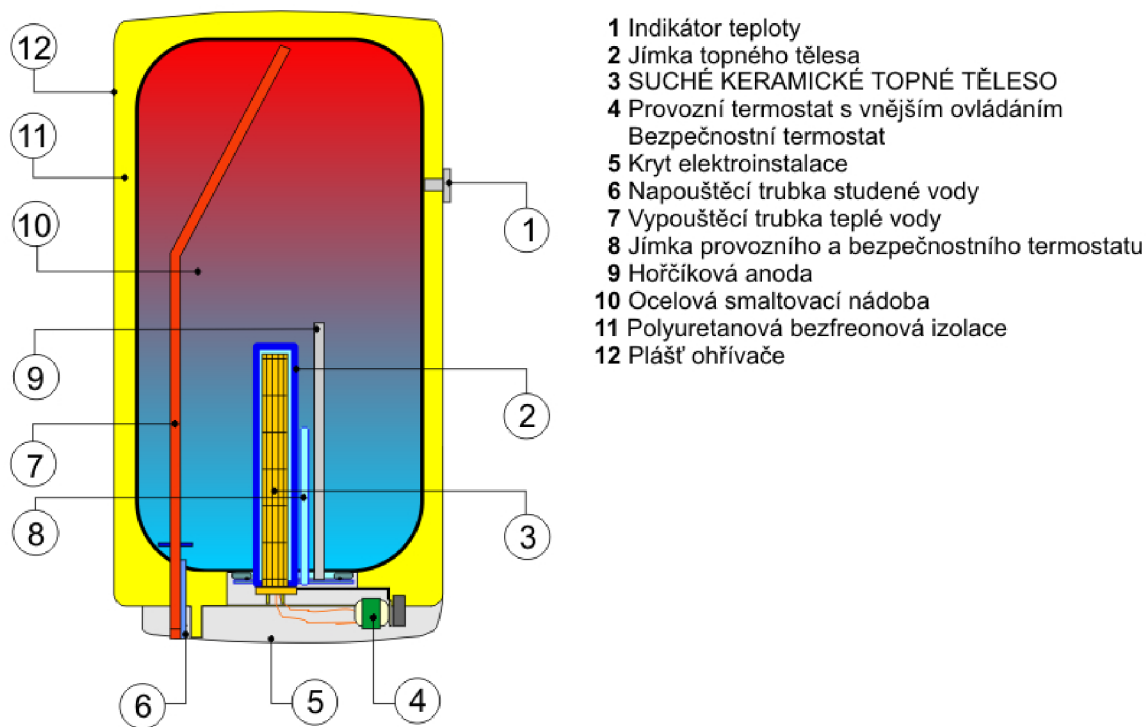
Tepelné ztráty a možná řešení

Jak už bylo zmíněno, hlavní nevýhodou bojlerů jsou tepelné ztráty. Ty jsou způsobeny tím, že nahřívá voda v bojleru není okamžitě spotřebována, je akumulována pro případ další spotřeby a teplo tak uniká skrze izolaci bojleru. I přes stále se zlepšující izolační vlastnosti nových bojlerů nejsou tyto ztráty zanedbatelné.

To, jak velké ztráty jsou, určují tři hlavní faktory. Prvním a nejdůležitějším je kvalita izolace nádrže s teplou vodou. Ta se snaží minimalizovat množství tepla předávaného okolí. Je vyráběna z materiálů s velkým tepelným odporem - skelná vata, polystyren či polyuretanová pěna. Druhým aspektem je teplota, na kterou je voda v bojleru nahřívána. Ze vztahu pro výpočet ztraceného tepla za jednotku času 3.1:

$$Q = \lambda * \frac{S * \Delta t}{d} * \tau \quad (3.1)$$

, kde Q označuje teplo odevzdané do okolí, λ označuje součinitel tepelné vodivosti tělesa, S plochu tělesa, Δt teplotní rozdíl tělesa a okolí, d tloušťka tělesa a τ čas průchodu tepla, je patrné, že rychlost chladnutí závisí na rozdílu teplot tělesa a okolí. Čím vyšší bude teplota vody v bojleru a tím větší teplotní rozdíl vzhledem k okolí, tím více tepla bojler do okolí



Obrázek 3.1: Řez bojlerem od firmy DZ Dražice. Převzato z [10].

odevzdá za stejnou časovou jednotku. Opačný efekt bude mít teplota v okolí bojleru, kdy při vyšší teplotě okolí voda v bojleru bude chladnout pomaleji.

Klasické bojleru jsou nastavené na konstantní teplotu, na kterou je voda v bojleru neustále ohřívána. Ohřev na tuto teplotu tak probíhá nepřetržitě nehledě na den v týdnu ani konkrétní hodinu. Ona konstantní teplota navíc bývá nastavena tak, aby teplá voda vždy vystačila, což má za následek ohřívání vody i v momentu, kdy není potřeba. Voda se tak zbytečně ohřívá a zase chladne, kvůli čemuž vznikají větší ztráty v podobě úniku tepla, než kdyby měla voda menší teplotu.

Výrobce Družstevní závody Dražice-Strojárna, s.r.o. uvádí u svého výrobku OKCE 160 tepelnou ztrátu jako 1,33 kWh / den. Tato ztráta se měří po dobu 24 hodin při teplotě okolí 20 °C a teplotě vody v bojleru 65 °C . Roční ztráta pak činí 486,45 kWh. Při současné průměrné ceně za kilowatthodinu elektřiny, která činí 4,08 Kč [8], tato ztráta činí necelé 2000 Kč za rok.

Pokud si rovnici 3.1 zjednodušíme tak, že podíl $\frac{\lambda \cdot S}{d}$ budeme brát jako konstantu (B), která bude popisovat izolační vlastnost bojleru, a dobu τ , po kterou těleso chladne, převedeme na druhou stranu, dostaneme rovnici:

$$\frac{Q}{\tau} = B * \Delta t \quad (3.2)$$

, pomocí které lze vypočítat izolační vlastnost B bojleru OKCE 160 jako:

$$\frac{Q}{\tau} = 1330 \text{ Wh/den} = 55,42 \text{ W} \quad (3.3)$$

$$\Delta t = 25 \quad (3.4)$$

$$B = \frac{Q}{\tau \Delta t} \quad (3.5)$$

$$B = 1,23148 \quad (3.6)$$

Pokud by se snížil rozdíl průměrné teploty okolí a vody v bojleru o 20 °C, výsledná denní ztráta pro bojler zmíněný výše by se pak vypočítala jako:

$$B = 1,23148 \quad (3.7)$$

$$\Delta t = 25 \quad (3.8)$$

$$\frac{Q}{\tau} = B * \Delta t \quad (3.9)$$

$$\frac{Q}{\tau} = 30,78 \text{ W} = 0,74 \text{ kWh/den} \quad (3.10)$$

Denní ztráty by tak za den činily pouze 0,74 kWh, což při průměrné ceně 4,08 Kč za kWh [8] představuje úsporu více než 1000 Kč za rok. Tyto tepelné ztráty jsou navíc počítány pouze pro bojler samotný. Dalším místem, kde dochází k tepelným ztrátám, je cirkulační smyčka pro rozvod teplé vody, ve které teplejší voda rovněž chladne rychleji. Cílem tedy bude snížit teplotní rozdíl vody v bojleru a okolí. Prvním z možných řešení je zlepšení okolních podmínek kolem bojleru tak, aby voda v něm chladla pomaleji. To může být řešeno přemístěním bojleru z chladné do vytápěné místnosti, čímž se sníží rozdíl teplot. Druhá možnost je přemístění bojleru blíže k místům odběru. Minimalizují se tak ztráty způsobené při průchodu teplé vody rozvodu v domě. Tato řešení jsou však poměrně komplikovaná a často i nákladná, a ne každý je může provést. Zlepšení tepelných podmínek může být také řešeno dodatečnou izolací, kdy se bojler zabalí do izolačního pouzdra, které sníží tepelné ztráty bojleru.

V této práci se budu zabývat řešením, které úspory dosáhne zmenšením rozdílu průměrné denní teploty vody v bojleru a teploty okolí, což bude mít za následek snížení tepelných ztrát.

Řešením tepelných ztrát vlivem rozdílu teplot tedy bude snaha o to, aby průměrná teplota vody v bojleru byla přes den co nejnižší. Musí být ale bráno v úvahu to, aby v momentě odběru teplé vody bylo k dispozici dostatečné množství teplé vody. Na tomto principu pracují chytré bojler, které na základě historických dat o spotřebě přizpůsobí ohřev vody tak, aby v době předpokládané větší spotřeby byl k dispozici dostatek teplé vody, a v době mimo předpokládanou spotřebu měla voda v bojleru pouze udržovací teplotu.

Na trhu se vyskytují takzvané chytré bojler, které svůj ohřev přizpůsobují dennímu rytmu jejich uživatelů. Vychází z toho, že chování členů domácnosti je periodické a v průběhu týdnů se opakuje. Lidé totiž během týdne chodí většinou ve stejnou dobu do práce, přichází domů, nebo sportují, což má za následek odběr teplé vody ve víceméně stejných rytmech. Na základě těchto dat se pak jejich chytrý termostat učí a ohřívá vodu podle toho, kdy je předpoklad odběru. Mimo tyto časové úseky pak teplotu vody v bojleru udržuje na co nejnižší hodnotě, aby minimalizoval ztráty a maximalizoval úsporu.

V současné době se na trhu vyskytuje několik výrobců chytrých bojlerů. V další podkapitole 3.2 budou představeny a porovnány bojler s chytrými funkcemi od značek Mora, Dražice, Ariston, Elíz a Steibel-Eltron.

3.2 Chytré bojler na trhu a jejich funkce

DZ Dražice

Informace o chytrých bojlerech společnosti DZ Dražice jsou čerpány z Návodu k obsluze a instalaci OKHE SMART [19].

Firma DZ Dražice (dále jen Dražice) vyrábí chytré bojler pod modelovým označením OKHE SMART. Ty jsou vyráběny v objemech 80, 100, 125 a 160 litrů. Bojler jsou osazeny keramickým topným tělesem o příkonu 2 200 W. Ty disponují učícím se algoritmem, který uzpůsobuje ohřev vody návykům členů domácnosti. Ten pracuje tak, že první týden od uvedení do provozu dochází ke sbírání dat a jejich zpracování. Během prvního týdne se udržuje konstantní teplota ohříváče na 65 °C. Po uplynutí prvního týdne dojde k uzpůsobení ohřevu podle nasbíraných dat tak, aby teplá voda byla připravena v časech předpokládané spotřeby. Mimo tyto časy se teplota v bojleru udržuje tak, aby neklesla pod teplotu 45 °C pro případ nečekaného odběru teplé vody. Zároveň má bojler funkci proti množení bakterie legionelly 3.1, kdy jednou za měsíc dojde k ohřátí vody v bojleru na maximální teplotu, čímž dojde k zneškodnění bakterie.

Firma DZ Dražice u této modelové řady udává minimální úsporu 10 % oproti hloupým bojlerům bez chytrého ohřevu. Díky tomu tyto chytré bojler (kromě 180 litrového) spadají do energetické třídy B.

Chytré bojler také dokáží sledovat signál HDO¹ a uzpůsobit tomu ohřev vody tak, aby začal nahřívát s dostatečným předstihem, pokud předpokládá, že by kvůli vysokému tarifu nestihl vodu nahřát. Bojler však musí být připojen do zásuvky, která je stále pod napětím a není vypínána signálem HDO.

K bojlerům si jejich uživatelé také mohou stáhnout aplikaci s přehledným uživatelským rozhraním (Obrázek 3.2) do svých chytrých telefonů, pomocí které mohou ovládat bojler skrze Bluetooth. Aplikace uživateli poskytuje aktuální informace o bojleru jako je zvolený program ohřevu, teplota vody v zásobníku či chybové hlásky. Uživatel může v aplikaci nastavit parametry HDO pro jeho automatickou detekci. Uživatel si také může nastavit časové úseky označené jako „Dovolená“. Po tuto dobu bude voda v bojleru pouze udržována nad teplotou 5 °C, aby nedošlo k zamrznutí soustavy a jejímu poškození. Aplikace také umožňuje zobrazování statistik o spotřebě elektrické energie.

Bohužel, bojler lze ovládat přes aplikaci pouze pokud jsme v dosahu Bluetooth. Nelze tak bojler vypnout nebo předejít v momentě, kdy nejsme doma. Chytrý bojler navíc nelze propojit s chytrou domácností, aby například reagoval na dění v ní. Navíc v případě, že je stávající bojler připojen do okruhu spínaného pomocí HDO, je nutné vyřešit přepojení do okruhu, který je stále pod napětím.

¹HDO – hromadné dálkové ovládání. Využívané pro přepínání mezi nízkým a vysokým tarifem v průběhu dne. Během nízkého tarifu je elektřina levnější. Využívané v domácnostech s elektrickým bojlerem, topením nebo tepelným čerpadlem.



Obrázek 3.2: Snímek z aplikace pro bojlerů OKHE SMART. Převzato z [19].

Ariston

Chytrý bojler od firmy Ariston s názvem Ariston Velis Wi-Fi pracuje na podobném principu jako zmíněný OKHE SMART, kdy za pomoci funkce ECO EVO dochází k učení se návyků uživatelů a uzpůsobení ohřevu. Bojler je dodáván ve velikostech 50, 80 a 100 litrů s jednotným příkonem 1500 W. Všechny tyto bojlerů patří do energetické třídy B. Zajímavá je také konstrukce bojlerů, která je složena z dvojitého zásobníku, kdy každý zásobník má své vlastní topné těleso, které na druhém může pracovat nezávisle. To zajišťuje rychlejší přípravu vody v případě, že se uživatel rozhodne, že chce mít dostatek teplé vody na sprchu v momentě, kdy je nízká teplota vody v bojleru. Také chytré bojlerů Ariston obsahují funkci ochrany proti bakterii legionelly viz 3.1, kdy nejméně jednou za 30 dní dojde k ohřátí vody nad 60 °C, což způsobí úhyn této bakterie.

Tyto chytré bojlerů lze ovládat skrze mobilní aplikaci s názvem Aqua Ariston Net²³. Pomocí té lze sledovat teplotu vody v bojleru, zapínat a vypínat bojler, nastavovat scénáře pro ohřev vody a sledovat grafy o spotřebě. Velkou výhodou je, že bojler lze připojit k Wi-Fi, díky čemuž je ho možné ovládat opravdu odkudkoli.

Co však bojler neumí, je rozpoznání HDO a adaptaci na něj. Aplikace s vysokým tarifem vůbec nepočítá a při každém přepnutí zpět do nízkého tarifu se nastavení v bojleru zresetuje. Stejně tak aplikace neposkytuje možnost módu „dovolená“, kdy pro vymezený časový úsek neohřívá vodu v bojleru.

Stiebel-Eltron

Funkci inteligentního ohřevu nabízí také bojlerů značky Stiebel-Eltron (dříve pod označením Tatramat). Ty se na trhu vyskytují pod označením EO EL, o objemech 30, 50, 80, 100, 120 a 150 litrů. Tyto bojlerů jsou schopné příkonu 2000, respektive 3000 W, kdy vyššího

²Odkaz na Google Play: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.remotethermo.velis>

³Odkaz na App Store: <https://apps.apple.com/cz/app/aqua-ariston-net/id1060595147?l=cs>

příkonu využijí v případě nutnosti rychlého ohřevu. Učící mechanismus pracuje na stejném principu jako předchozí dva, kdy po týdenním učení dojde k úpravě ohřevu vody podle denního rytmu jeho uživatelů. I v dalších týdnech dochází k učení se z předchozích dat a adaptace na konkrétní domácnost [27].

Čím však tyto chytré bojlerů nedisponují, je alespoň základní možnost vzdáleného ovládní. Nelze tak sledovat statistiky o spotřebě, vypínat a zapínat bojler na dálku, nebo nastavovat teplotu, na kterou se má voda v bojleru nahřát. Bojler tak může ušetřit za energie díky svému chytrému algoritmu, avšak nemožností vzdáleného přístupu se omezuje pouze na data o spotřebě a nedokáže například zohlednit delší nepřítomnost členů domácnosti tak, že by po onu dobu vodu v bojleru vůbec nenahříval a ušetřil tak ještě více. V tomto případě musí uživatel bojler sám přímo vypnout.

U bojleru také není popsána schopnost rozpoznání HDO, což může mít za následek chybné vyhodnocování těchto intervalů, co se týče odběru teplé vody.

Mora

Společnost Mora dodává na český trh bojlerů s chytrým učením pod modelovým označením EOMKU SKSM. Tyto bojlerů se dodávají v objemech 50, 80, 100, 120 a 150 litrů. U třech nejmenších objemů je udávána energetická třída B, u ostatních pak C. Všechny tyto bojlerů mají příkon 2000 W.

Samotné učení u tohoto bojleru probíhá tak, že první týden od uvedení do provozu bojler sleduje množství odebrané vody. Poté bojler optimalizuje teplotu, na kterou se v daný okamžik má voda v bojleru nahřívát, podle prvního týdne učení. Pokud však v domácnosti dojde například ke změně návyků, bojler samotný není schopný tuto skutečnost zaregistrovat a je nutné režim učení opět spustit. Bojler obsahuje podobně jako předchozí zmíněné bojlerů funkci ochrany proti bakterii legionelly. Ta pracuje tak, že pokud v posledních 14 dnech nedošlo k nahřátí vody v bojleru nad 65 °C, bojler nahřeje vodu na 70 °C a tuto teplotu udržuje po dobu dvou hodin [7].

Stejně jako bojlerů Stiebel-Eltron však bojlerů nemají možnost vzdáleného ovládní, nebo adaptace na nízký tarif. Jedinou chytrou funkcí je tak pouze režim učení, který však vychází pouze z jednoho týdne, ve kterém sbíral data.

Elíz

Bojlerů od firmy Elíz se na trhu vyskytují v objemech 80, 100, 120, 150 a 200 litrů s příkonem 2000 W, respektive 3000 W pro 150 litrový, a energetickou třídou B u všech velikostí. Disponují stejným principem učení jako bojlerů od Mory, kdy k učení dochází v prvním týdnu a následně již nedochází k automatické úpravě při pozměnění návyků. Také zde chybí možnost vzdáleného ovládní nebo adaptace podle tarifu HDO.

Srovnání existujících řešení

Z výše zmíněného výčtu je patrné, že mezi bojlerů, které nesou označení „chytré“, jsou velké rozdíly co se jejich funkcí týče. V oblasti učení bojlerů od Mory a Elízu mají nedostatky v tom, že učení probíhá pouze jeden týden a neadaptují se v průběhu času, kdy může dojít ke změně návyků. Pouze bojlerů od DZ Dražice a Aristonu mají možnost vzdáleného ovládní bojleru, a jediný Ariston nepožaduje přítomnost v blízkosti zařízení díky připojení bojleru na Wi-Fi. O propojení s chytrou domácností tu však nemůže být ani řeč, neboť tyto aplikace slouží pouze pro ovládní bojleru a nelze je spárovat s aplikacemi třetích stran jako jsou

například chytrí asistenti nebo systémy pro chytrou domácnost. Pokud domácnost využívá výhod HDO, pak jedině chytrý bojler od DZ Dražice je schopen odpozorovat intervaly nízkého tarifu a přizpůsobit tomu chytrý ohřev.

V následující tabulce 3.1 jsou porovnány výše zmíněné chytré bojler s objemem 100 litrů, u kterých je zkoumána jejich cena, energetická třída, denní tepelná ztráta, schopnost průběžného učení, možnost ovládání na dálku a přizpůsobení chytrého ohřevu na HDO.

Tabulka 3.1: Srovnání chytrých bojlerů na českém trhu.

Značka	En. tř.	Ztráty[kWh/den] ⁴	Dálek. ovl.	Průb. učení	HDO	Cena[Kč] ⁵
Dražice	B	0,7	Ano (BT)	Ano	Ano	7 199
Stiebel	C	0,84	Ne	Ano	Ne	9 062
Ariston	B	1,6	Ano (Wi-Fi)	Ano	Ne	8 289
Mora	C	2,2	Ne	Ne	Ne	5 590
Elíz	B	1,1	Ne	Ne	Ne	6 062

Z uvedené tabulky 3.1 je patrné, že nejlepšími izolačními vlastnostmi disponuje chytrý bojler od společnosti Dražice. Ten také umožňuje průběžné učení režimu domácnosti a je tak schopen reflektovat změny chování členů domácnosti. Bojler je dále schopen reagovat při svém chytrém ohřevu na vysoký tarif spínaný pomocí HDO, díky čemuž začne ohřívat vodu s předstihem, pokud by hrozilo, že by to kvůli vysokému tarifu nestihl. Tento bojler je také možné ovládat skrze mobilní aplikaci, ve které lze sledovat aktuální teplotu vody, nastavit dobu nepřítomnosti, upravit režimy nebo zobrazovat statistiky o odběru. Nevýhodou však je, že ovládání je možné pouze skrze Bluetooth a je tak nutná přítomnost v blízkosti bojleru. Oproti tomu Bojler od firmy Ariston je možné ovládat i na dálku, protože je připojen k Wi-Fi. Nehodí se však do domácností s HDO, jelikož hrozí, že při delším výpadku bude nutné aktualizovat čas, což může být značně nepohodlné. Navíc tepelné ztráty u tohoto bojleru jsou více než dvojnásobné oproti bojleru firmy Dražice. Za zmínku také stojí dobré izolační vlastnosti a schopnost průběžného učení u bojleru od firmy Stiebel-Eltron, leč jeho cena je nejvyšší ze všech porovnávaných bojlerů. Bojler od firem Mora a Elíz z tohoto porovnání vychází nejhůře, jelikož nemají funkci průběžného učení, reflektují pouze jeden týden učení a neumožňují dálkové ovládání. Navíc konkrétně bojler od Mory má více než třikrát horší izolační vlastnosti než je tomu u bojleru od společnosti Dražice. Výhodou bojlerů společností Mora a Elíz je fakt, že jsou o několik tisíc levnější než ostatní zmíněné.

Výrobci bojlerů si jsou vědomi toho, že úspora je u jejich zákazníků velké téma spolu s chytrými zařízeními v jejich domácnostech. Snaží se proto o poskytnutí odpovídajících výrobků, které tyto vlastnosti budou splňovat. Na trhu se tak vyskytuje několik bojlerů, které skutečně dokáží na základě učení snížit spotřebu elektrické energie v domácnosti. Co je ovšem velkým nedostatkem je fakt, že ani jeden z bojlerů nelze nijak spojit se systémem chytré domácnosti a při výběru chytrého bojleru musí potenciální zákazník volit kompromis mezi více chytrými funkcemi a cenou. Nejlépe z tohoto srovnání dle mého úsudku vychází chytrý bojler od firmy Dražice, který má nejlepší izolační vlastnosti ze srovnávaných bojlerů, disponuje mobilní aplikací pro jeho ovládání, dokáže se přizpůsobit na signál HDO, a i cena oproti ostatním bojlerům není o mnoho vyšší.

⁴Ztráty jsou počítány při teplotě vody 65 °C.

⁵Ceny jsou s DPH, platné k 13. 3. 2021. Dostupné z: www.heureka.cz.

Návratnost chytrého bojleru

Pokud se domácnost rozhoduje při koupi nového bojleru mezi bojlerem klasickým a bojlerem s chytrým ohříváním, první věc, která by ji měla zajímat, je návratnost nového bojleru. Přece jenom chytré bojlerky jsou dražší než jejich hloupí příbuzní a ne každý za chytrým bojlerem vidí jeho potenciál. Společnost DZ Dražice provedla test [37] úspory se svými bojlerky, kdy vždy dva porovnávané měly stejné parametry a vlastnosti, jen druhý srovnávaný disponoval funkcí chytrého ohřevu. Test prováděla s bojlerky o objemu 80 a 125 litrů, kdy teplota okolí činila v obou případech 20 °C.

V kategorii bojlerů s objemem 80 litrů byl porovnáván bojler Dražice OKHE 80 SMART, spadající do energetické třídy B a cenou 6799 Kč, s bojlerem Dražice OKHE 80, spadajícím do energetické třídy C s cenou 5999 Kč. V této kategorii se úspora chytrého bojleru oproti hloupému pohybovala na 6,3 kWh za týden, díky čemuž lze dosáhnout roční úspory 1310 Kč při průměrné ceně za kilowatt hodinu [8], a 680 Kč ročně při využívání průměrné ceny 2 Kč za kilowatt hodinu v nízkém tarifu [23].

U bojlerů o objemu 125 litrů stejných modelových řad s cenou 7499 Kč za chytrý, respektive 6590 Kč za nechytrý, činila úspora chytrého oproti nechytrému bojleru 13,4 kWh týdně, což při současné průměrné ceně 4,08 Kč za kilowatt hodinu [8] činí finanční úsporu téměř 2787 Kč ročně. Při průměrné ceně 2 Kč za kilowatt hodinu v nízkém tarifu pak 1445 Kč za rok.

Co se týče návratnosti cenového rozdílu mezi chytrým a nechytrým bojlerem, lze hovořit o období kolem jednoho roku. V případě, že domácnost potřebuje nový bojler, připlatit si za ten s chytrým učením se rozhodně vyplatí, jelikož životnost bojlerů se většinou pohybuje kolem deseti let. Pokud však domácnost má funkční nechytrý bojler, musí počítat s tím, že návratnost nového chytrého bojleru se pohybuje od tří do deseti let v závislosti na objemu, využívání nízkého tarifu a nasmlouvané ceně za kilowatt hodinu, což se nemusí vždy vyplatit, jelikož záruka na nový spotřebič bývá většinou dva roky.

3.3 Zařízení pro chytrý ohřev

V současné době lze také nalézt několik řešení, která se snaží přeměnit hloupý bojler na chytrý.

Aquanta

Prvním z řešení je zařízení s názvem Aquanta⁶. To pracuje tak, že se na bojler připojí teplotní čidla vedoucí ze zařízení. Zařízení Aquanta se připojí na původní zdroj elektrické energie bojleru a napájení bojleru se nově připojí do zařízení Aquanta. Zařízení se následně připojí na Wi-Fi síť a je možné jej ovládat odkudkoliv pomocí aplikace, ve které lze řídit ohřev nebo vytvářet rozvrhy pro ohřev vody. Zařízení je také schopno průběžného učení režimu členů domácnosti a uzpůsobuje tomu ohřev. Výhodou tohoto řešení je také možnost použití u plynových bojlerů s elektronickou řídicí jednotkou. Chytrý ohřev však bohužel nelze spojit se systémem chytré domácnosti a také nepočítá s vysokými tarify. Zařízení je dostupné na americkém trhu za zhruba čtyři tisíce Kč. Za příplatek 300 Kč je možné k němu pořídit senzor úniku vody.

⁶Oficiální stránky výrobce zařízení pro přeměnu hloupého bojleru na chytrý: www.aquanta.io.

Nest

Na internetu lze také nalézt řešení, která využívají pro „chytrý“ ohřev termostat Nest. Na něm lze nastavit časové úseky, ve kterých má docházet k ohřevu vody v bojleru. Nedochozí zde však k žádnému učení na základě spotřeby a následném nahřívání před předpokládanou spotřebou. Termostat pouze zapíná ohřev bojleru, který ohřívá vodu na teplotu nastavenou na jeho vlastním termostatu. Cena tohoto termostatu se na českém trhu pohybuje kolem 9000 Kč⁷.

Obě tato zařízení nabízejí jakousi přeměnu hloupého bojleru na chytrý, avšak pouze v omezené formě, kdy první zmíněná Aquanta nepočítá s vysokými tarify a nelze ji spojit se systémem chytré domácnosti. Druhý zmíněný termostat Nest lze efektivně napojit na systém chytré domácnosti, avšak postrádá možnost učení se a ohřevu na základě předchozí spotřeby. Nest také neřídí ohřev bojleru jako takový, kdy by věděl, jaká je teplota vody v bojleru a podle toho s předstihem ohřívá, ale pouze zapíná a vypíná ohřev vody v bojleru. Cena Nestu je navíc vyšší než cena nového chytrého bojleru.

Ve svém řešení se tak pokusím navrhnout a implementovat zařízení takové, které bude schopno za pomoci chytré zásuvky a několika senzorů teploty ze stávajícího hloupého bojleru vytvořit bojler chytrý. Ten bude mít funkce pro chytrý ohřev podle režimu odběrů domácnosti, možnost dálkového řízení ohřevu a bude počítat s využíváním nízkého tarifu tak, aby v momentě předpokládané spotřeby byl vždy nachystán dostatek teplé vody. Návrh výsledného řešení je popsán v následující kapitole.

⁷Cena Google Nest 3. generace včetně DPH. Dostupná z: <https://www.alza.cz/google-nest-3-gen-d4524163.htm>.

Kapitola 4

Návrh řešení chytrého bojleru

Proto, aby bylo možné učinit ze stávajícího hloupého bojleru chytrý, je zapotřebí vyřešit jeho vzdálené spínání a sběr dat, na základě kterých bude docházet k ohřevu vody. Vzdálené spínání bojleru bude zajištěno za pomoci chytré zásuvky, ke které bude bojler připojen. Sběr dat potřebných pro plánování ohřevu bude potřeba provádět ze dvou míst. První čidlo bude snímat aktuální teplotu vody v bojleru, na základě které se bude algoritmus rozhodovat, jestli je nutné vodu ohřívat. Druhé čidlo pak bude monitorovat teplotu na výstupní trubce z bojleru, díky čemuž bude možné rozpoznat odběr teplé vody a uzpůsobit tomu chování systému chytrého ohřevu. Samotné řízení pak bude probíhat na počítači ve stejné lokální síti, ke které je připojená chytrá zásuvka. V této kapitole bude rozebrán výběr chytré zásuvky a teplotních čidel a návrh chytrých funkcí, které by měl bojler mít. Následně bude rozebrána kontejnerizace a s ní spojený návrh samotného algoritmu a programu zajišťující chod chytrého bojleru.

4.1 Výběr chytré zásuvky a návrh zařízení pro sběr dat

Jak už bylo zmíněno v úvodu do kapitoly, pro vzdálené řízení bojleru je zapotřebí chytré zařízení (zásuvka), které bude spínáno na základě potřeby vyhodnocené algoritmem pro chytrý ohřev. Zařízení by mělo splňovat tyto základní požadavky:

- možnost spínání,
- lokální řízení,
- schopnost monitoringu spotřeby,
- API pro snadnou komunikaci,
- maximální možná zátěž alespoň 3000 W a 16 A,
- zásuvka typu E, která disponuje slotem pro zemnicí kolík.

Na základě těchto parametrů jsem vybral následující chytrá zařízení, která lze použít.

SHELLY 1PM

První zařízení, které přichází v úvahu, je chytré relé od firmy Shelly. To lze schovat za klasickou zásuvku a vyrobit z ní tak zásuvku chytrou. Relé samotné disponuje REST API

pro lokální řízení, je schopno monitorovat spotřebu, a maximální zátěž, kterou snese, je 3500 W a 16 A. Velkou výhodou tohoto relé je možnost připojení přídatného modulu pro odečet teploty, ke kterému lze připojit až tři teplotní čidla DS18B20. Údaje o teplotě jsou pak poskytovány samotným rozhraním zásuvky společně s aktuálním stavem odběru elektrické energie. Zařízení a jeho komponenty lze vidět na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Shelly 1PM s přídatným teplotním modulem. Převzato z [24].

Samotné relé se na českém trhu nabízí za 467 Kč¹, přídatný modul pro teplotní čidla pak za 250 Kč². Cena za jedno voděodolné čidlo DS18B20 se pohybuje kolem 80 Kč.

Netio POWER CABLE REST 100E

Tuto chytrou prodlužovací šňůru (Obrázek 4.2) vyrábí česká společnost Netio sídlící v Praze. Lze ji připojit k Wi-Fi a kromě ovládání skrze cloud společnosti Netio, k ní lze přistupovat

¹Cena udávána na <https://www.alza.cz//shelly-1pm-spinaci-modul-s-merenim-spotreby-1x16a-wifi-d5792563.htm> k 25.4.2021

²Cena udávána na <https://www.alza.cz//shelly-addon-modul-pro-pripojeni-teplotniho-cidla-k-shelly-1-pm-d6326703.htm> k 25.4.2021

i lokálně pomocí HTTP požadavků na API rozhraní. To lze nastavit pro komunikaci pomocí XML³, JSON⁴, URL API⁵ a SNMPv3⁶.



Obrázek 4.2: NETIO POWER CABLE REST 100E. Převzato z [18].

Prodlužovací šňůru lze zatížit maximálním výkonem 3600 W a proudem 16 A. Rozhraní dokáže poskytnout podrobné informace o stavu šňůry jako je aktuální proud, napětí, frekvence, fáze, výkon a energie. Disponuje také kalendářem, díky kterému je možné přednastavit časy, ve kterých má být šňůra sepnutá. Nevýhodou prodlužovací šňůry je její cena, která na českém trhu činí 3690 Kč [18].

Řešení s pomocí prodlužovací šňůry od firmy Netio by bylo použitelné za předpokladu, že bych pro sběr dat o spotřebě sestrojil druhé zařízení. To by se skládalo z mikrokontroléru s Wi-Fi modulem, ke kterému by byla připojena teplotní čidla, a který by byl schopný poskytovat pomocí Wi-Fi aktuální hodnoty teplot. Výsledné řešení chytrého bojleru by se tím ale zbytečně zkomplikovalo.

³XML – Extensible Markup Language, značovací určen pro přenos dat mezi aplikacemi, popis struktury dokumentů

⁴JSON – JavaScript Object Notation, způsob zápisu dat pro popis objektů. Označován jako „odlehčená verze XML“

⁵V tomto kontextu slouží pro jednoduché předání parametrů pomocí URL při volání webové stránky zásuvky. Nevýhodou je jednosměrnost přenosu, kdy například nelze zjistit stav šňůry.

⁶„Protokol SNMP verze 3 je určený pro zabezpečenou správu velkého množství zařízení v síti. Typické použití je dohled stavu infrastruktury (přehled kvality spojení mikrovlnných spojů, místa na disku v serverech, stav baterií v UPS a podobně).“ [18]

Pro jednoduchost řešení jsem se rozhodl pro chytré relé od firmy Shelly, ke kterému bude připojen přídatný modul s čidly teploty. To bude ovládat zásuvku, do které bude připojen bojler.

4.2 Návrh funkcí chytrého bojleru

V předchozí kapitole byly popsány funkce, kterými aktuálně disponují chytré bojleru na trhu. Jako chytrý bojler je nazýván jakýkoliv bojler, který dokáže uzpůsobit svůj ohřev na základě pravidelnosti v časech odběru teplé vody jeho uživateli. Některé ze zmíněných bojlerů disponují i jinými užitečnými funkcemi, avšak u každého ze zmíněných se uživatel musí spokojit s nějakým kompromisem. Bojler, který dokáže svůj ohřev uzpůsobovat HDO, nelze ovládat vzdáleně a naopak. Navíc systém samotný je u všech bojlerů uzavřený bez možnosti optimalizace či úpravy. Stejně tomu bylo u zařízení, které se snaží o přeměnu hloupého bojleru na chytrý, kdy žádné neposkytovalo všechny funkce, které jsou u chytrého bojleru užitečné.

Zmíněné užitečné funkce se tak v této práci pokusím implementovat, aby si kdokoliv mohl ze svého stávajícího bojleru vytvořit bojler chytrý, navíc se všemi funkcemi, které se aktuálně v chytrých bojlerech na trhu nacházejí.

4.2.1 Ohřev na základě předchozí spotřeby

Hlavní funkcí, kterou by měl chytrý bojler disponovat, je schopnost ohřevu na základě historických dat o spotřebě teplé vody. Tato funkce je vhodná pro domácnosti, které mají zažité denní rutiny, kdy se sprchují většinou večer, do práce chodí ve stejnou dobu a podobně. Díky tomu lze odhadnout, kdy a kolik teplé vody je z bojleru odebíráno. Bojler pak před každou očekávanou spotřebou připraví takové množství vody, které vystačí například pro ranní hygienu či večerní sprchu. V intervalech mimo předpokládanou spotřebu pak bojler bude držet teplotu vody na udržovací teplotě pro případné malé odběry. Tím se sníží průměrná teplota vody v bojleru a s tím spojené tepelné ztráty.

Aby byla teplá voda v bojleru přichystána v okamžik začátku předpokládané spotřeby, je nutné vědět, kdy má dojít k zahájení ohřevu. K tomu bude můj algoritmus využívat rovnice pro výpočet času potřebného k ohřevu na základě rozdílu teplot a výkonu ohříváče:

$$t = \frac{m * c * \Delta v}{P * \eta} \quad (4.1)$$

, kde :

- m je hmotnost vody v zásobníku v kg,
- c označuje měrné teplo vody,
- Δv označuje rozdíl cílové a aktuální teploty vody v zásobníku,
- P je příkon ohříváče,
- a η označuje účinnost elektrického ohříváče (~ 0.98).

4.2.2 Plánování událostí

Aby byl výsledný bojler co nejvíce chytrý, měl by umět reagovat na podněty od jeho uživatelů či chytré domácnosti. V mé práci jsem proto navrhl tři funkce, které umožní uživatelům ovládat ohřívání jejich bojleru odkudkoliv, což přispěje ke zvětšení úspory a komfortu.

Pro jednoduchost implementace, možnost dalšího rozšíření a propojení s dalšími službami jsem zvolil využít Kalendáře Google. V kalendáři budou moci uživatelé odkudkoliv vytvářet události, podle kterých bude řízen ohřev. Druh příkazu bude rozlišován zadáním klíčových slov v názvu události. Čas začátku a konce události pak bude specifikovat počátek platnosti, případně dobu trvání daného příkazu. Díky tomu bude možné ovládat chod bojleru i za pomoci chytrých hlasových asistentů, kterým uživatel dá povel k vytvoření konkrétní události v kalendáři, kterou se bude chytrý ohřev řídit. Pomocí API tohoto kalendáře pak program chytrého ohřevu získá naplánované události a uzpůsobí jim svoje další chování.

Tvorbu těchto událostí si mohou uživatelé zautomatizovat například pomocí služeb na principu IFTTT⁷, kdy je například vytvořena událost pro vypnutí bojleru v případě, že se v kalendáři objeví rezervace Airbnb pro všechny členy domácnosti, nebo naopak zadána událost přípravy sprchy, pokud běžecká aplikace RunKeeper zaznamená novou aktivitu v blízkosti bydlíště.

Podle počtu sprch

První funkcí, kterou by měl chytrý bojler disponovat, je možnost předpřipravení počtu sprch, které mají být v daný čas připravené. Uživatel vytvoří událost, ve které specifikuje počet sprch, které mají být v době začátku události přichystány. Algoritmus pro chytrý ohřev pak přepočítá počet sprch na teplotu, na kterou má být voda v bojleru nahřata tak, aby po poslední sprše byla teplota pokud možno na udržovací teplotě, tj. 40 °C. Tím bude zajištěno, že i při konci spotřeby bude voda tekoucí ze sprchy dostatečně teplá.

Pro jednoduchost výpočet teploty, na kterou je potřeba vodu nahřát, nebere v potaz napouštění a ohřev vody v bojleru během odběru nebo tepelné ztráty způsobené průchodem skrze potrubí. Výpočet teploty, na kterou je potřeba vodu v bojleru nahřát, vychází ze dvou kalorimetrických rovnic 4.2 a 4.3. První z nich popisuje ustálený stav vody v bojleru po zadané spotřebě a druhá vodu určenou k vysprchování:

$$T_B * V_B = V_O * T_N + (V_B - V_O) * T_O \quad (4.2)$$

$$T_S * N_S * V_S = V_O * T_O + (N_S * V_S - V_O) * T_N \quad (4.3)$$

, kde :

- T_B označuje ustálenou teplotu a V_B objem vody v bojleru po odběru,
- T_O označuje teplotu a V_O objem vody odebrané z bojleru,
- T_S označuje teplotu a V_S objem vody pro jednu sprchu,
- N_S je počet sprch, které je třeba připravit,

⁷IFTTT – If This Than That. Jedná se o automatizační službu propojující ostatní služby a nástroje s cílem vytváření úloh. Díky tomu lze například zautomatizovat ukládání fotek z Instagramu do cloudu, vytvářet notifikace na základě obsahu e-mailů nebo rozklikat chytrou žárovku, pokud dojde ke zhoršení ovzduší v místnosti.

- a T_N označuje teplotu nově napuštěné vody z řádu.

Po sečtení a úpravě těchto rovnic lze vyjádřit teplotu T_O , na kterou je zapotřebí vodu v bojleru nahřát, jako:

$$T_O = \frac{T_B * V_B + N_S * V_S * (T_S - T_N)}{V_B} \quad (4.4)$$

Jako jedna sprcha je při výpočtu brána voda o objemu 40 litrů a teplotě 40 °C. Výpočet dále předpokládá teplotu studené vody z řádu kolem 10 °C. Na dobu začátku události chytrý ohřev připraví vodu o vypočtené teplotě. Pokud je vypočtená teplota vyšší než maximální teplota, na kterou zvládá bojler vodu ohřívat, voda je ohřívána právě na onu maximální možnou teplotu.

Dovolená

Druhou událostí, kterou by mělo být možné do kalendáře zadat, a kterou se chytrý ohřev bude řídit, je událost sloužící pro úplné vypnutí bojleru. Té mohou uživatelé využít v případě delší nepřítomnosti v domácnosti jako je například dovolená či služební cesta. V době trvání této události tak nedochází vůbec k žádnému ohřevu, což má za následek maximalizaci úspory.

Podle teploty

Třetí funkce ovlivňující ohřev vody v bojleru bude využitelná v případě, pokud uživatel ví, že bude potřebovat v daný čas vodu o určité teplotě. Do kalendáře mu pak stačí zadat událost, ve které specifikuje, na jakou teplotu se má voda v bojleru nahřát. Chytrý ohřev pak zajistí, aby v čas začátku události byla voda o požadované teplotě připravena.

4.2.3 Rozpoznání HDO

V kapitole o současných chytrých bojlerech bylo zmíněno, že s ohřevem vody jen v nízkém tarifu počítá pouze řešení Dražic, kde je navíc nutné, aby byl bojler neustále pod proudem. To může být komplikované v případech, kdy je ke stávajícímu bojleru přiveden pouze zdroj napětí, který je spínáný přes HDO.

Mnou navržený chytrý bojler tohle řeší, neboť mu stačí, aby byl připojen do stávající zásuvky spínané přes HDO. Algoritmus pak z historických dat sám rozpozná, ve které časové úseky chytré relé pravidelně neodesílá data. Následně je vytvořen týdenní rozvrh vysokých tarifů. To je pak zohledněno při rozhodování o potřebě ohřevu před očekávaným odběrem, kdy je od času do začátku předpokládaného odběru odečítán čas vysokého tarifu v tomto období.

Jelikož chytré relé nedokáže během vysokého tarifu odesílat data, při plánování rozvrhu očekávané spotřeby nejsou brány v úvahu odběry během těchto úseků. Aby byla teplá voda připravena i během vysokého tarifu, kdy dochází k odběru, je při vytváření rozvrhu vysokých tarifů také zkoumána teplota vody v bojleru. Pokud by teplota vody v zásobníku po úseku vysokého tarifu klesla o více než 1 °C za hodinu, voda by se před tímto úsekem vysokého tarifu nahřívala právě o rozdíl teplot před a po začátku vysokého tarifu.

Rozvrh vysokých tarifů je vytvářen jednou týdně z dat za poslední týden pro případ, že by došlo ke změně tarifu.

4.2.4 Legionella

Vzhledem k tomu, že u zásobníkových ohřívačů vody hrozí množení bakterie legionelly, která způsobuje zdravotní komplikace, obsahuje i můj chytrý bojler funkci eliminující výskyt této bakterie. Aby byl výskyt této bakterie v bojleru co nejnižší, algoritmus pro chytrý ohřev hlídá to, aby minimálně jednou za tři týdny došlo k nahřátí bojleru na maximální teplotu, která se pohybuje kolem 70 °C. Pokud by voda této teploty nedosáhla během standardního režimu, chytrý bojler ohřeje vodu na maximální teplotu při dalším ohřevu.

4.3 Vyhodnocování dat z bojleru pro předpověď odběru

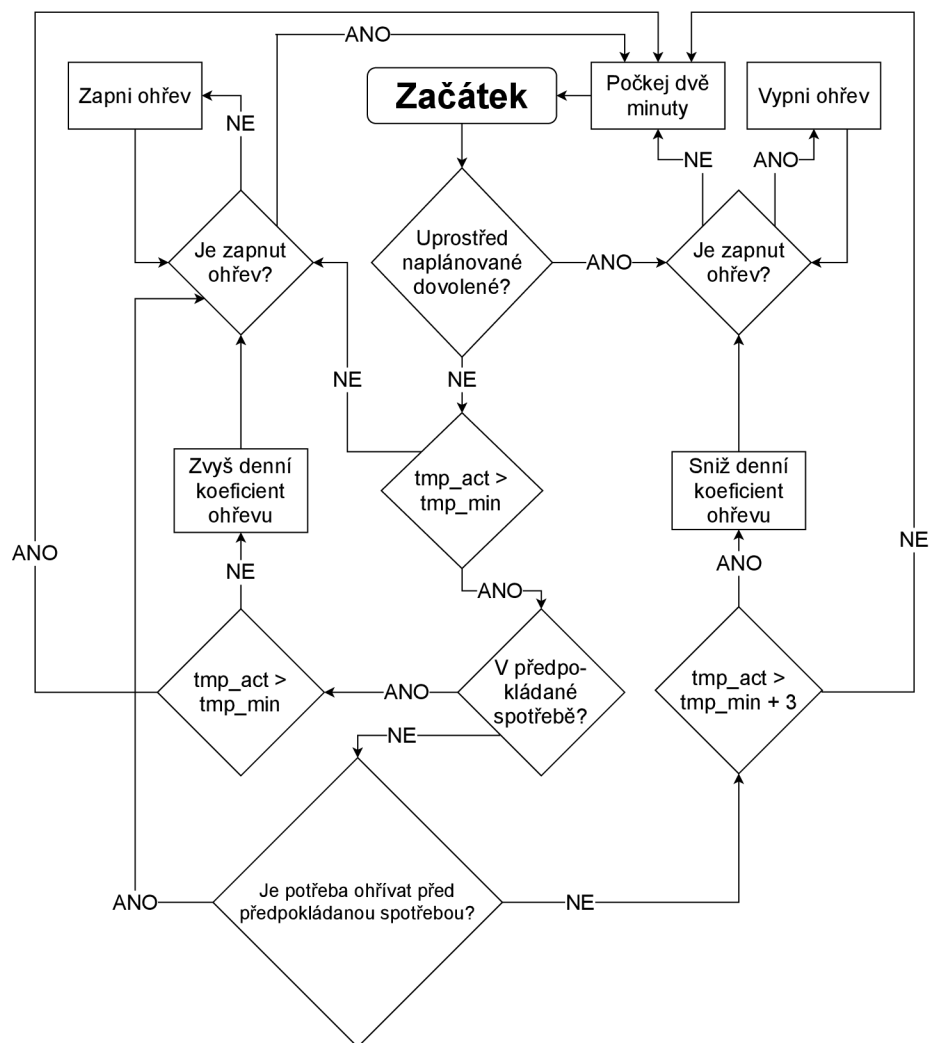
Aby bylo možné předpovědět časy a objemy odebrané teplé vody, je zapotřebí získat data za určité časové období. U bojlerů, které jsou v současné době dostupné na českém trhu, probíhá první týden od uvedení do provozu fáze učení, na základě které je pak v dalších týdnech řízen ohřev tak, že je voda ohřívána na vyšší než udržovací teplotu jen před předpokládanou spotřebou. Časy i teploty, kdy dochází k přehřátí vody v bojleru, jsou i v následujících týdnech měněny tak, aby odpovídaly změnám v denních režimech členů domácnosti. Pro tento mechanismus učení jsem se rozhodl i já, kdy plán ohřevu pro daný týden bude vycházet z dat za poslední dva týdny. Díky tomu bude chytrý ohřev schopen reagovat na změny v chování členů domácnosti.

Ze získaných dat se vypočítá pro každý den v týdnu průměr teploty na výstupním potrubí bojleru. Vrcholy v tomto průměru pak budou označovat událost, kdy došlo k odběru teplé vody. Výška těchto vrcholů poté bude určovat, jak moc se má voda v bojleru během konkrétní předpokládané spotřeby nahřívát.

Výsledkem je poté týdenní rozvrh, kterým se bude chytrý ohřev řídit. Ten bude obsahovat začátek předpokládaného odběru, který se vypočte z šířky základny nalezeného vrcholu, výšku vrcholu pro výpočet teploty, na kterou má být voda nahřáta a dobu trvání předpokládaného úseku, po kterou má být udržována teplota pro zvýšený odběr.

4.4 Návrh algoritmu pro řízení ohřevu

Algoritmus pro chytrý ohřev se bude řídit na základě vývojového diagramu 4.3. Ten rozhoduje o nutnosti ohřevu na základě aktuální teploty vody v bojleru, událostí v kalendáři a rozvrhem předpokládaných spotřeb. Výška vrcholu získaného při tvorbě týdenního rozvrhu spotřeb přesně neodpovídá teplotě, na kterou je potřeba vodu v bojleru před danou spotřebu nahřát, nicméně poskytuje rámcovou představu o tom, jak moc velký odběr lze očekávat. Rozhodl jsme se proto, že jej budu násobit koeficientem, což bude představovat teplotu, na kterou se bude voda v bojleru před očekávanou spotřebou přehřívát. Vzhledem k rozdílné povaze jednotlivých dnů v týdnu bude mít každý den přiřazený svůj vlastní koeficient, jehož hodnota se bude v průběhu času měnit tak, aby neohříval vodu v bojleru před spotřebou na zbytečně velkou, nebo naopak malou teplotu. K úpravě tohoto koeficientu dochází vždy jen jednou v rámci úseku předpokládané spotřeby nebo úseku mimo ni.



Obrázek 4.3: Diagram popisující algoritmus řízení ohřevu. Proměnná `tmp_act` označuje aktuální teplotu vody v bojleru a `tmp_min` je minimální udržovací teplota vody v bojleru.

Kapitola 5

Realizace navrženého řešení pro hloupý bojler

5.1 Kompletace zařízení pro sběr dat a řízení ohřevu

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, jako jádro zařízení pro sběr dat a řízení bojleru jsem vybral chytré relé Shelly 1PM, ke kterému je možné připojit teplotní modul s až třemi teplotními čidly. Toto relé je možné ukrýt za stávající zásuvku, do které je připojen bojler, nicméně pro snadný přístup, přenositelnost a vývod teplotních čidel jsem zvolil řešení, kdy bude relé součástí flexibilního síťového přívodu. Ten bude napájen ze zásuvky, do které byl bojler původně připojen. Ten se nově zapojí do zásuvky flexibilního přívodu ovládané chytrým relé. Dojde tak pouze k přidání mezičlánku mezi bojler a elektrickou síť.

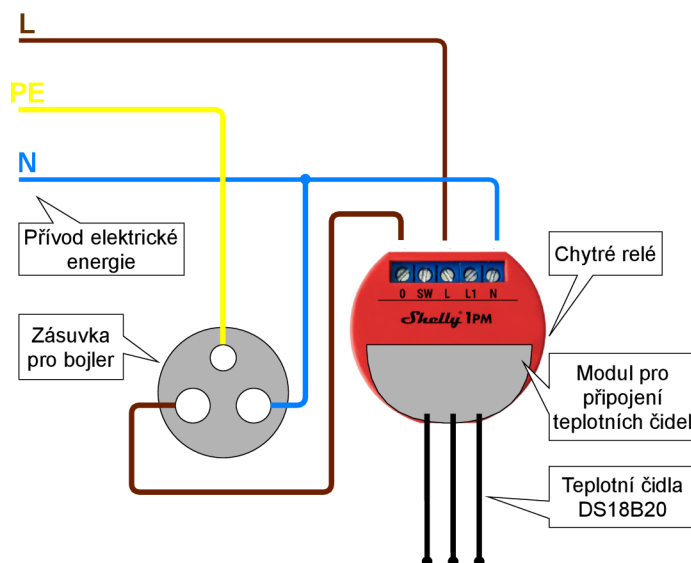
Na jednom konci se nachází eurovidlice, která podporuje typy zásuvek E i F¹. Na druhém konci se nachází nehořlavá přístrojová krabice původně určená k instalaci pod omítku, ve které je ukryto chytré relé. Z krabice jsou také vyvedena teplotní čidla určená k umístění na bojler. Chytré relé je napájeno z elektrické sítě a spíná fázi zásuvky, do které bude připojen bojler. Toto zapojení lze vidět na schéma 5.1. Zásuvka spolu s krytkami zakrývá vnitřek krabice, čímž vzniklo ucelené zařízení připravené k instalaci na bojler, které lze vidět na Obrázku 5.2.

Chytré relé je přednastaveno tak, že vytváří svoji vlastní Wi-Fi síť. Aby bylo možné s relé komunikovat v rámci lokální sítě, je nutné jej k této síti připojit. To lze nastavit po připojení do Wi-Fi sítě chytrého relé a načtení webového rozhraní (Obrázek 5.3) na IP adrese 192.168.33.1. Zde se v záložce **Internet & Security** nachází sekce **WIFI MODE - CLIENT**, která umožňuje vyplnění údajů jako je název sítě, heslo, maska sítě, implicitní brána a statická IP adresa. Po potvrzení zadaných údajů dojde k připojení chytrého relé do zvolené sítě. S chytrým relé je pak možné komunikovat v rámci lokální sítě pod nastavenou IP adresou.

5.2 Umístění teplotních čidel

Pro správný chod algoritmu je potřeba umístit na bojler dvě teplotní čidla, ze kterých budou odečítány hodnoty teplot. Čidla je nutné situovat tak, aby naměřená teplota co nej-

¹Typ zásuvky E je označován jako francouzský a je používán i na našem území. Zemnicí kontakt je zde řešen pomocí zemnicího kolíku. Oproti tomu uzemnění zásuvky typu F je provedeno dvěma kontaktními plíškami na obvodu zásuvky.



Obrázek 5.1: Schéma zapojení zařízení pro sběr dat a spínání ohřevu. Do chytrého relé Shelly 1PM je přivedený fázový a nulový vodič. Fáze zásuvky, do které je připojen bojler, je spínaná chytrým relé. K relé je připojen i speciální modul pro teplotní čidla DS18B20.

více odpovídala realitě měřeného subjektu a naměřené hodnoty byly co nejméně ovlivněny okolím.

První z čidel má za cíl odečítat teplotu vody uvnitř bojleru. Jelikož konstrukce bojleru neumožňuje bez výrazného zásahu umístit čidlo přímo do nádrže s vodou, rozhodl jsem se jej umístit do pláště bojleru. Oba dva bojleru, na které jsem instaloval moje řešení, mají ve vrchní části malou šachtu, do které je vložen bimetalový teploměr pro odečet aktuální teploty vody v bojleru. Tento teploměr jsem vyjmul a na jeho místo vložil teplotní čidlo, díky čemuž bude možné odečítat přibližnou teplotu vody. Při tomto umístění je nutné počítat s tím, že naměřená teplota bude výrazně ovlivňována nižší teplotou okolí. Pro minimalizaci vlivu okolí jsem prostor mezi teplotním čidlem a vnějším pláštěm bojleru vyplnil papírovým ubrouskem. To se v další fázi ukázalo jako nedostatečné a bylo nutné provést další úpravy, které jsou popsány v podkapitole 6.1.

Druhé teplotní čidlo slouží k monitoringu teploty na výstupní trubce. Právě na základě těchto hodnot bude tvořena předpověď spotřeby, kterou se bude řídit chytrý ohřev. Čidlo jsem uložil pod pěnovou izolaci na vývodové trubce a připevnil izolační páskou. Umístění zařízení lze vidět na obrázku 5.4.

5.3 Implementace navržených algoritmů

V další fázi jsem se pustil do samotné implementace navržených algoritmů pro sběr dat a řízení ohřevu. V této podkapitole představím vybrané technologie a popíši implementaci skriptů pro sběr dat a řízení ohřevu. Rozeberu také komunikaci s chytrým relé, klientem databáze a API Google Kalendáře.



Obrázek 5.2: Výsledné zařízení pro sběr dat z bojleru a řízení ohřevu v podobě flexibilního přívodu elektrické energie, který obsahuje chytré relé Shelly 1PM ukryté za zásuvkou pro připojení napájení bojleru, které slouží pro spínání bojleru. Kromě toho kabel disponuje dvěma teplotními čidly DS18B20 pro měření teploty na bojleru.

InfluxDB

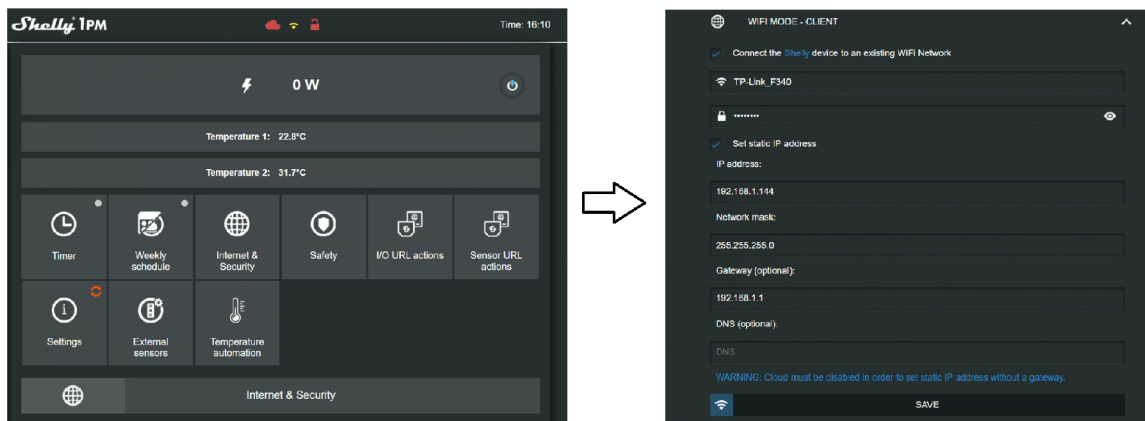
InfluxDB je open-source NoSQL² databáze implementována v jazyce Go³. Zvolil jsem ji díky její optimalizaci pro ukládání časových řad, které v mém případě tvoří data z chytrého relé sbíraná v pravidelných intervalech. Databáze InfluxDB nabízí rychlou odezvu co se týče zápisu a čtení dat, automatické snižování rozlišení starších dat v databázi nebo jejich mazání. To zajišťuje úsporu paměti, jelikož není nutné si pamatovat dva měsíce stará data s rozlišením dvou minut. Pro komunikaci s touto databází je možné využít klientů, kteří umožňují posílání databázových dotazů. Ty jsou dostupné v modulu `influxdb` pro jazyk Python.

Grafana

Pro vizualizaci nasbíraných dat jako je vývoj denních teplot nebo spotřeba elektrické energie za týden jsem vybral aplikaci Grafana. Ta umožňuje přímé napojení na InfluxDB databázi a přehledné webové rozhraní, díky kterému lze vytvořit grafy ze získaných dat. To lze vidět na Obrázku 5.5. Další funkcí jsou takzvané „alerty“, které uživatele upozorní například na náhlé změny teplot, dosažení určité hodnoty teploty nebo výpadek zařízení pro sběr dat a ovládání ohřevu. Data pro jednotlivé grafy jsou získávána z databáze pomocí uživatelem

²NoSQL – databázový koncept, ve kterém se pro uchování a zpracování dat nepoužívají tabulkové schémata používané v relačních databázích. To má za následek snadný návrh, jednoduché škálování a možnost ukládání velkého množství dat.

³Go – kompilovaný multiparadigmatický programovací jazyk. Vytvořen v roce 2007 ve společnosti Google.



Obrázek 5.3: Webové rozhraní chytrého relé Shelly 1PM, které kromě sledování aktuálního stavu, ovládání zásuvky a dalšího nastavení umožňuje také připojení relé do Wi-Fi sítě.

definovaných databázových dotazů. Následně je možné si vybrat časové období, pro které mají být data vykreslena, spolu s doplňujícím nastavením, jako je typ a podoba grafu, formát os nebo akce s prázdnými hodnotami v časové řadě.

Sběr dat z chytré zásuvky

První skript, ze kterého se skládá mé řešení, má za cíl komunikovat s API chytrého relé. Z tohoto relé skript v pravidelných intervalech získává údaje o aktuálním zatížení, stavu zásuvky (zapnuto/vypnuto) a hodnoty teplot naměřených teplotními čidly. Komunikace s chytrým relé probíhá přes lokální Wi-Fi síť pomocí GET dotazu protokolu HTTP na REST API chytrého relé. To pak vrátí data ve formátu JSON obsahující veškeré informace o aktuálním stavu zařízení. Pro zajištění dostatečně jemného rozlišení dat, ve kterých bude možné rozpoznat i menší výkyvy teplot či spotřeby energie, byl interval získávání dat ze zásuvky nastaven na dvě minuty.

Tato data jsou následně ukládána do databáze pomocí jejího API rozhraní a objektu třídy `InfluxDBClient`. Ten umožňuje pohodlnou komunikaci s jejím rozhraním. Data jsou do databáze zapisována pomocí metody `write_points()` zmíněné třídy. Této metodě jsou data předávána ve formátu JSON. Do databáze jsou ukládány aktuální hodnoty z teplotních čidel, příkon, stav relé (zapnuto/vypnuto) a pravdivostní hodnota určující, zdali právě probíhá naplánovaná událost. Poslední údaj slouží k tomu, aby při předpovědi časů odběrů nebyly brány v potaz úseky, které byly výjimečné a neodpovídaly běžnému chování.

Řízení ohřevu

Po prvním týdnu, během kterého byla sbírána data o spotřebě a nedocházelo k úpravě ohřevu, je spuštěn ohřev na základě předchozí spotřeby. Ten namísto neustálého ohřívání vody v zásobníku na maximální teplotu, ohřívá vodu pouze před předpokládanou spotřebou. V časech, kdy není předpokládaná spotřeba, pak udržuje vodu na pohotovostní teplotě. Řízení ohřevu probíhá podle algoritmu zmíněného v diagramu 4.3. Jádro programu se nachází v souboru `control.py`. Zde dochází z počátku k inicializaci instancí tříd `Control`, `Bojler`, `EventChecker`, `WeekPlanner` a `TimeHandler`, které popíší v následujících odstavcích. Po inicializaci instancí tříd dochází k pravidelnému volání metody `control()` stejnojmenné třídy.



Obrázek 5.4: Instalace zařízení pro sběr dat v domácnosti s 80 litrovým bojlerem. Na snímku se nachází bojler, na který jsou připojena teplotní čidla, zařízení s chytrým relé a zásuvkou pro přívod elektrické energie bojleru. Dále pak notebook, na kterém se nachází služba Docker s kontejnery, zajišťujícími chod chytrého ohřevu jako je databáze nebo skripty pro sběr dat a řízení ohřívání.

Control

Metody třídy `Control` zajišťují rozhodování při řízení ohřevu. Starají se o chod algoritmu pro chytrý ohřev, vytváření týdenních rozvrhů a aktualizaci dat z databáze.

WeekPlanner

Tato třída uchovává rozvrhy předpokládané spotřeby a vysokých tarifů. Ty se aktualizují každý den na základě dat z předchozích dvou týdnů. Obsahuje metody právě pro vytváření těchto rozvrhů a pro určení, zdali aktuální čas odpovídá některé události v rozvrzích, nebo kolik času zbývá do další očekávané potřeby po odečtení doby trvání vysokého tarifu, kdy nebude možné vodu nahřívát.

Pro hledání vrcholů ve zprůměrované spotřebě využívám knihovny `Pandas` a její metody `find_peaks()`, u které specifikuji minimální výšku vrcholu a vzdálenost od druhého. To zajistí případné sloučení nižších vrcholů v okolí těch vyšších, podle kterých bude následně tvořen rozvrh předpokládaných spotřeb. Jelikož by se měl chytrý ohřev řídit pravidelným rytmem domácnosti, kdy k většímu odběru dochází kolem daných období během dne, rozhodl jsem se, že pro každý den budu detekovat maximálně čtyři nejvyšší vrcholy znázorňující odběr teplé vody. Toho jsem docílil postupným voláním metody `find_peaks()` a zvyšová-



Obrázek 5.5: Snímek obrazovky z webové aplikace Grafana, která umožňuje přehledné zobrazení dat z databáze pomocí grafů a ukazatelů. Je možné provádět agregaci nad vybranými daty nebo zobrazovat data za zvolené časové období.

ním hodnot minimální výšky vrcholu a vzdálenosti od dalších, dokud je počet vrcholů během denního průměru vyšší než čtyři.

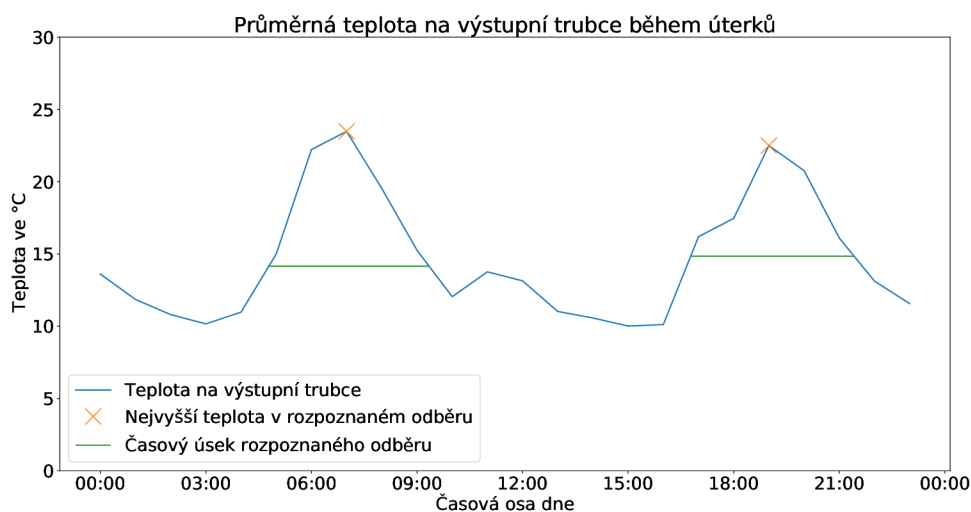
Po detekci vrcholů je nutné zaznamenat jejich výšku i dobu trvání úseku předpokládané spotřeby. Výšku získávám z návratové hodnoty metody `find_peaks`, dobu trvání od-do mi poskytuje funkce `peak_widths` rovněž z knihovny `Pandas`. Z těchto získaných hodnot následně tvořím rozvrh pro každý den v týdnu. Na přiloženém grafu 5.6 lze vidět rozpoznané vrcholy z dat pro konkrétní den v týdnu.

Bojler

Třída `Bojler` slouží pro přepočty spojené s ohřevem vody v bojleru. Objekt této třídy je inicializován parametry bojleru jako je objem, výkon a maximální teplota ohřevu. Na základě těchto údajů jsou metody této třídy schopny dopočítat čas potřebný k ohřátí vody v bojleru o daný teplotní rozdíl, nebo teplotu, na kterou se má voda nahřát, pokud je naplánována jedna či více sprch.

EventChecker

Úkolem této třídy je komunikace s API Google kalendáře a vyhodnocování událostí v něm. Obsahuje metody pro získání událostí z kalendáře a hledání první následující události, která ovlivní ohřev vody v bojleru. Tou může být pokyn k neohřívání vody v době trvání události, která má v názvu řetězec „#off“, nebo příkaz k ohřevu určitého počtu sprch, kdy je v názvu události hledán řetězec „prepare X showers“. Poslední možná událost dává bojleru příkaz k nahřátí vody v bojleru na danou teplotu v čase začátku události. Ta má v názvu „boiler heat up at X degrees“. Řetězce rozlišující jednotlivé události jsou v anglickém jazyce z důvodu ovládání přes hlasové asistenty, kdy ne všichni podporují rozpoznání českého jazyka. K detekci řetězců v názvu události je využíváno regulárních výrazů a v případě



Obrázek 5.6: Graf průměrných denních teplot na výstupní trubce během tří úterků. Hodnoty teplot jsou průměrovány po hodině. V grafu jsou hledány vrcholy, které znázorňují odběr teplé vody. Kromě výšky vrcholů je důležitá i denní doba a délka trvání odběru teplé vody.

zavedení podpory češtiny lze tyto regulární výrazy rozšířit o ekvivalenty v českém nebo ostatních jazycích.

Jak již bylo zmíněno, události jsou z Google Kalendáře získávány pomocí API. K tomu, aby bylo možné s API komunikovat, je zapotřebí povolit přístup k API Google kalendáře a získat soubory, sloužící k ověření při jednotlivých dotazech. K tomu jsem využil návodu z dokumentace k Google Kalendáři⁴.

TimeHandler

Tato třída slouží pro pohodlnou manipulaci s časovými značkami v databázi, v Google kalendáři a při tvorbě rozvrhů. Metody v ní implementované zajišťují převod textových řetězců nebo číselných reprezentací dat a časů na jednotný formát.

5.4 Kontejnerizace

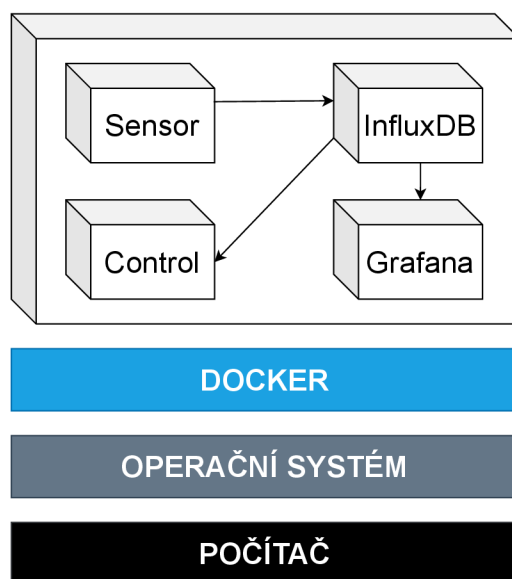
V mé práci jsem se rozhodl využít pro vývoj a nasazení mého řešení výhod kontejnerizace. Jedná se o nižší úroveň virtualizace, kdy jednotlivé procesy v podobě kontejnerů spolu sdílí jádro operačního systému. Díky tomu jsou procesy mezi sebou izolované aniž by potřebovaly provozovat celý operační systém kvůli jednomu procesu. To má za následek menší hardwarové nároky a přenositelnost kontejnerů mezi různými zařízeními.

Nejrozšířenější službou pro kontejnerizaci je služba Docker. Jedná se o open-source software poskytující ucelené rozhraní pro vývoj, expedici a provoz izolovaných aplikací v kontejnerech [29].

⁴Návod k obsluze Google Kalendáře dostupný z: <https://developers.google.com/calendar/quickstart/python>.

Toho jde v mém případě využít tak, že program vyvíjím u sebe na svém počítači, kde také vytvářím kontejnery pro chod programů. Na počítačích v domácnostech s mým chytrým ohřevem pak stačí pouze aktualizovat jednotlivé kontejnery. Služba Docker navíc při synchronizaci s předešlými verzemi kontejnerů aktualizuje pouze části kontejnerů, u kterých došlo ke změně. To má za následek menší objem přenesených dat a nedochází tak k výraznému zatěžování sítí v hostitelských domácnostech

Aplikace pro chytrý bojler se skládá ze čtyř kontejnerů: dvou Python skriptů – jeden pro sběr dat a druhý pro řízení ohřevu, databáze InfluxDB pro získaná data a služby Grafana, která slouží k zobrazování grafů. Ty dohromady tvoří jeden systém pro celou aplikaci. Propojení kontejnerů a jejich uspořádání je znázorněno na schéma 5.7.



Obrázek 5.7: Schéma aplikace v kontextu počítače a operačního systému. Aplikaci tvoří čtyři procesy. Hlavní komponentou je databáze InfluxDB, se kterou spolupracují všechny ostatní procesy. Zápis dat provádí proces Sensor, sbírající data z chytrého relé. Proces Control se stará o řízení ohřevu na základě historických dat, a proces Grafana slouží k zobrazení dat z databáze ve webovém rozhraní.

Kapitola 6

Testování a vyhodnocení naměřených dat

V této kapitole rozeberu testování mnou navrženého řešení, na základě kterého jsem učinil několik úprav. Dále se zaměřím na to, jak probíhalo měření dosažené úspory, na což navážu vyhodnocením naměřených dat. V poslední části navrhu další možné pokračování práce v podobě rozšíření a aplikace do praxe.

6.1 Testování a úprava algoritmu

Mé řešení jsem umístil do dvou domácností rozdílného charakteru, abych mohl ověřit univerzálnost mnou navrženého algoritmu. Po prvních dnech sbírání dat jsem musel učinit pár úprav pro přesnější vyhodnocování dat při rozhodování v mém algoritmu.

V první domácnosti jsem zařízení instaloval na bojler firmy Dražice o objemu 80 l umístěný ve vytápěné místnosti. Druhý bojler, na který jsem instaloval moje řešení, je rovněž od firmy Dražice. Tento bojler o objemu 160 l se nachází v nevytápěném sklepě rodinného domu.

Teplota vody v bojleru

Použití prostého papírového ubrousku jako izolace při instalaci teplotního čidla pro měření teploty vody v bojleru se po prvních dnech měření ukázalo jako nedostačující, jelikož nejvyšší naměřené hodnoty neodpovídaly teplotě, na kterou je nastaven termostat bojleru. Naměřená teplota byla ovlivněna tím, že čidlo nebylo možné instalovat přímo do nádrže s vodou, nýbrž jen do pláště bojleru, kde je díky vnitřní izolaci bojleru teplota o něco nižší. Teplota byla také ovlivněna nedostatečnou izolací od vnějšího prostředí.

U bojleru umístěného v první domácnosti ve vytápěné místnosti činil rozdíl mezi skutečnou a naměřenou teplotou zhruba 10 °C, u druhého bojleru umístěném v nevytápěném sklepě byl tento rozdíl až 20 °C. Rozhodl jsem se proto zlepšit izolaci teplotního čidla od vnějšího prostředí tím, že jsem papírový ubrousek vyměnil za skelnou vatu. I přes zlepšení izolace neodpovídala naměřená teplota vlivem umístěním čidla pouze do pláště bojleru skutečné teplotě vody v bojleru. Aby byl algoritmus chytrého ohřevu univerzální pro všechny bojleru a různé typy okolí, rozhodl jsem se pro odhad skutečné teploty vody v bojleru využít poměru mezi teplotou, na kterou je nastaven ohřev bojleru, teplotou okolí a maximální a aktuální naměřenou teplotou. Za teplotu okolí je považována nejnižší teplota naměřená na výstupní trubce z bojleru.

Skutečná teplota vody v bojleru se pak vypočte jako:

$$T = \frac{T_{ACT} * T_{AREA}}{T_{MAX} - T_{AREA}} * (T_{SET} - T_{AREA}) + T_{AREA} \quad (6.1)$$

, kde :

- T_{ACT} je aktuálně naměřená teplota,
- T_{AREA} je teplota okolí,
- T_{MAX} je maximální naměřená teplota,
- T_{SET} je teplota, na kterou je nastaven termostat bojleru.

Hodnota teploty okolí je aktualizována z dat za poslední týden, zatímco maximální naměřená teplota je aktualizována každé tři týdny po cyklu zajišťující eliminaci bakterie legionelly, při kterém je voda nahřívána na maximální teplotu. Teplotu, na kterou je nastaven ohřev bojleru, zadá uživatel při počátečním spuštění do konfiguračního souboru spolu s dalšími vlastnostmi bojleru.

Teplota na výstupní trubce

Dále jsem si všiml, že při ohřevu vody v bojleru dochází k mírnému zvýšení teploty výstupní trubky, i když nedochází ke skutečnému odběru teplé vody. To je způsobeno tím, že trubka sama o sobě vede teplo a není uvnitř bojleru zcela izolovaná, kvůli čemuž dochází k jejímu zahřívání během ohřevu. Tyto výkyvy, které by mohly mít za následek detekování falešného odběru, jsem snížil umístěním teplotního čidla na vývodní trubku co nejdále od bojleru.

Interval získávání dat

V prvních dvou týdnech sběru dat, kdy k získávání dat z chytrého relé docházelo každých 20 sekund, jsem zaznamenal, že v nepravidelných intervalech dochází k výpadkům relé, vlivem čehož nebylo možné jakkoliv s chytrým relé komunikovat. Pomohlo až odpojení chytrého relé od zdroje elektrické energie a opětovné zapojení, což vedlo k jeho resetování. Po zvětšení intervalu získávání dat z chytrého relé na dvě minuty občasné výpadky ustaly.

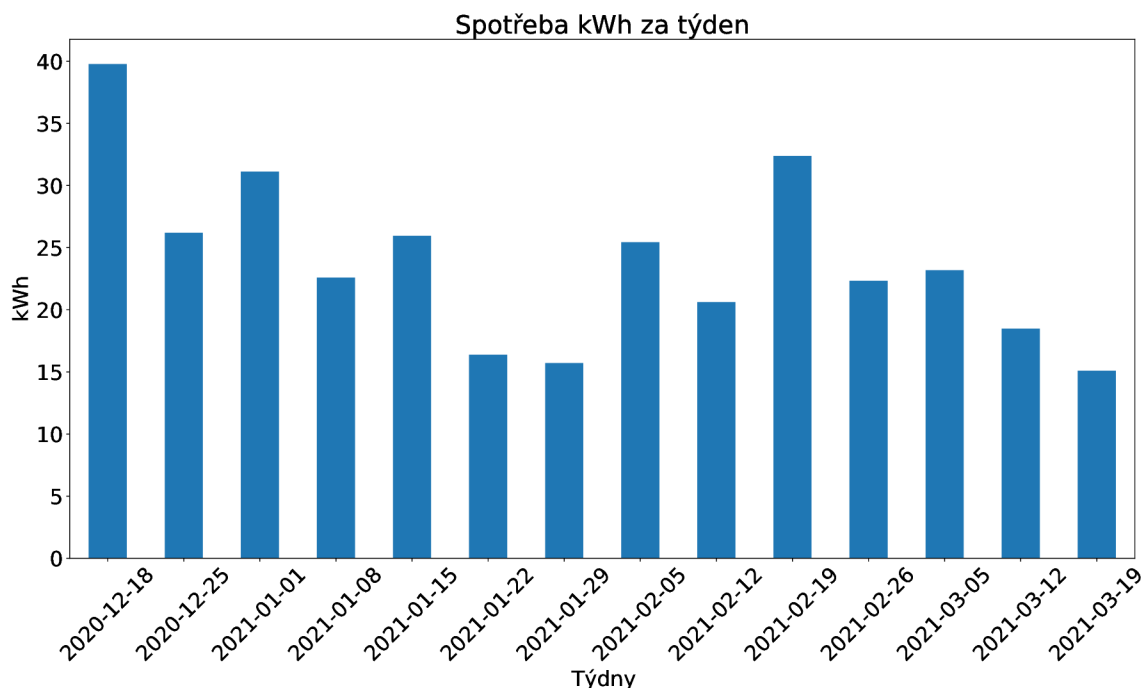
6.2 Vyhodnocení sesbíraných dat

Jak již jsem zmiňoval v předchozí sekci, zařízení jsem instaloval do dvou domácností. V této sekci vyhodnotím naměřená data v jednotlivých domácnostech, vypočítám dosaženou úsporu a uvedu postřehy členů testovaných domácností.

Malá domácnost

První bojler, na který jsem své zařízení pro chytrý ohřev instaloval, se nachází ve druhém patře rodinného domu ve vytápěné místnosti. Jedná se o jedenáct let starý bojler řady OKCE od firmy Dražice o objemu 80 l. Voda z tohoto bojleru je vedena do koupelny, kterou pravidelně využívají dvě osoby, nárazově až čtyři. Zařízení pro chytrý ohřev jsem na tento bojler nainstaloval v polovině prosince roku 2020. První týden docházelo pouze ke sběru dat. Od 25. prosince jsem upravil ohřev na základě naměřených dat tak, že se voda

v bojleru ohřívala na teplotu 60 °C pouze ráno před šestou hodinou a večer před sedmou hodinou. Tím byl zajištěn dostatek teplé vody na ranní a večerní hygienu členů domácnosti. Zbytek času pak byla teplota vody v bojleru udržována na pohotovostní teplotě 40 stupňů Celsia. V týdnu od 22. ledna 2021 pak ohřev probíhal na základě historických dat. Z příloženého grafu 6.1 je patrné, že již prvotní úprava spočívající v ohřevu ráno a večer vedla k úspoře. Následný ohřev podle historických dat pak vedl k úspoře ještě větší. Je nutné také podotknout, že do konce ledna teplé vody využívala pravidelně pouze jedna osoba a jedna příležitostně. Od února pak teplou vodu využívaly pravidelně dvě osoby a nárazově až čtyři. I přesto už nedošlo k větší týdenní spotřebě, než tomu bylo první týden bez úpravy ohřevu.



Obrázek 6.1: Spotřeba elektrické energie v kWh 80 litrového bojleru za týden. V prvním týdnu probíhal sběr dat bez úpravy ohřevu mým zařízením a teplota vody byla udržována na 60 °C. V dalších čtyřech týdnech byla voda v bojleru ohřívána pouze ráno a večer. Od 22. ledna pak ohřev probíhal na základě algoritmu, který řídí ohřev na základě historických dat a speciálně vytvořených událostí v kalendáři. Pokles spotřeby v týdnu od 22. ledna je způsoben tím, že nedocházelo k ohřevu, jelikož členové domácnosti byli na dovolené. Naopak poměrně vysoká spotřeba v týdnu od 19. ledna byla způsobena tím, že čtyři dny z tohoto týdne využívaly vodu z bojleru čtyři osoby.

Týdenní spotřeba elektrické energie se před zahájením jakýchkoli úprav pohybovala v této domácnosti kolem 40 kWh. Po zahájení úpravy ohřevu tak, že se voda předehtřívá na vyšší teplotu pouze ráno a večer a po zbytek dne byla voda udržována na teplotě 40 °C, se týdenní spotřeba snížila zhruba o 10 kWh, což činí 25% úsporu nákladů. Po zahájení chytrého ohřevu na základě historických dat se týdenní úspora pohybovala kolem 15 kWh za týden, což představuje úsporu až 35 % původních nákladů.

Tato domácnost využívá pro ohřev vody klasického tarifu, kdy za jednu kilowatthodinu platí 4 Kč. Při týdenní spotřebě 40 kWh činí roční výdaje za ohřev vody v tomto bojleru 8500 Kč. Při použití chytrého ohřevu dosahuje roční úspora téměř 3000 Kč.

Členové této domácnosti v prvotní fázi chytrého ohřevu zaznamenávali občasný nedostatek teplé vody při koupeli. Ten byl způsoben neočekávaně velkým odběrem, kdy sprchu využívaly čtyři osoby namísto běžných dvou. Tento problém ustal po implementaci možnosti vytvoření události v kalendáři pro přípravu daného počtu sprch na konkrétní čas. Členové této domácnosti dále také uvedli, že kromě zmíněných pár případů, kdy nezbyla teplá voda na všechny, je chytrý ohřev nijak neomezoval a do budoucna by jim nevadilo případné pokračování chytrého ohřevu, neboť úspora z něj plynoucí je velmi zajímavá.

Velká domácnost

Druhé zařízení pak bylo umístěno na bojler modelové řady OKCE rovněž od firmy DZ Dražice o objemu 160 litrů v šestičlenné domácnosti. Bojler se nachází ve sklepě rodinného domu, který není vytápěn a kde se teplota okolí bojleru pohybuje pod 10 °C, kvůli čemuž jsou tepelné ztráty vyšší než v případě prvního bojleru. Tento bojler je používán pro ohřev vody pro všechny tři koupelny v domě. Bojler je připojen k zásuvce spínané pomocí HDO a je s tím tak při plánování ohřevu nutné počítat. Teplá voda pro dřezy a umyvadla mimo koupelny je ohřívána pomocí průtokových ohřivačů. V tomto případě byl po prvním týdnu učení zahájen chytrý ohřev na základě historických dat. Během sběru dat nedošlo k žádné změně zvyklostí členů domácnosti a odběr teplé vody byl podobný jako v prvním týdnu. I přesto díky chytrému ohřevu, který vodu v bojleru nahříval opravdu jen před předpokládanou spotřebou, došlo k poklesu množství spotřebované elektrické energie bojlerem – viz graf spotřeby v jednotlivých týdnech 6.2.

V prvním týdnu, kdy nedocházelo k žádné úpravě ohřevu a teplota vody v bojleru byla udržována na 60 °C, bojler spotřeboval pro svůj ohřev přes 80 kWh elektrické energie. V následujících týdnech, kdy ohřev probíhal na základě historických dat, se spotřeba elektrické energie pohybovala kolem 50 kWh za týden, což činí úsporu 37,5 %.

Jelikož tato domácnost využívá pro ohřev vody v bojleru nízkého tarifu s cenou 2 Kč za kWh, roční výdaje za ohřev vody bez chytrého ohřevu činí 8500 Kč. S chytrým ohřevem tak lze dosáhnout roční úspory více než 3000 Kč.

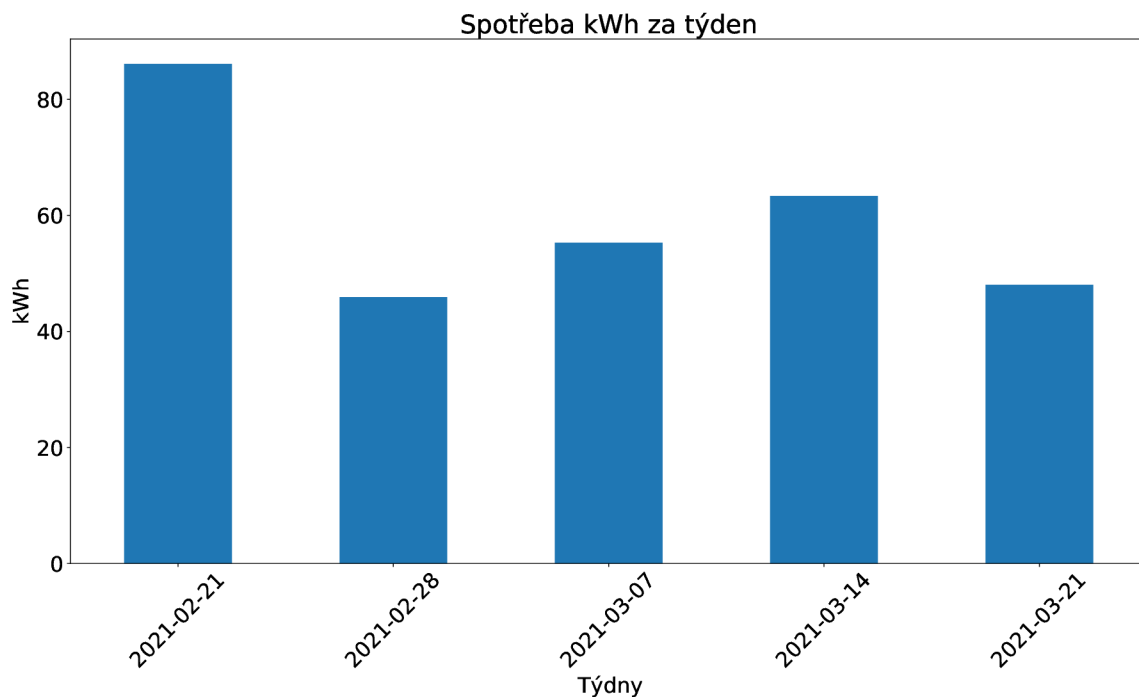
Členové této domácnosti uvedli, že chytrým ohřevem nebyli nijak omezeni, jelikož teplé vody byl vždy dostatek. Navíc jeden ze členů domácnosti si velmi oblíbil chytré funkce bojleru a aktivně využíval možnost přípravy sprchy na danou hodinu nebo vypnutí bojleru v období, kdy celá rodina odjela na víkend pryč. Domácnost si také pořídila svého prvního hlasového asistenta od Googlu, kterého začala hojně používat pro tvorbu událostí řídicích ohřev. Zároveň je zaujala úspora, která plyne právě z chytrého ohřevu, a do budoucna by byli rádi, kdyby u nich chytrý ohřev pokračoval.

6.3 Možná rozšíření

I přes dosažení úspory a funkčnosti celého zařízení tato práce nabízí několik směrů, kterými se lze v dalším pokračování práce vydat.

První z nich je použití umělé inteligence při vytváření rozvrhu pro chytrý ohřev. Tento rozvrh je v současném stavu řešen za pomoci průměrů denních hodnot, ve kterých se následně hledají vrcholy znázorňující spotřebu. Zde se nabízí namísto průměrování hodnot historických dat použít modelů pro předpověď vývoje časových řad, které by mohly nabídnout efektivnější predikci spotřeb pro jednotlivé dny.

Druhým možným rozšířením je propojení s cirkulačním čerpadlem na teplou vodu. To běžně slouží pro zajištění proudění teplé vody v okruhu, díky čemuž je na místech odběru



Obrázek 6.2: Spotřeba elektrické energie v kWh 160 litrového bojleru za týden. I zde v prvním týdnu probíhal pouze sběr dat bez řízení chytrým ohřevem a voda byla standardně nahřívána na 60 °C. V následujících čtyřech týdnech byl ohřev vody řízen algoritmem využívajícím ohřevu na základě historických dat. Díky tomu došlo k poklesu spotřebované energie o více než 35 %.

vždy dostupná teplá voda bez nutnosti odtáčet vodu, která v potrubí vychladla od předchozího odběru. Kvůli neustálé cirkulaci teplé vody v potrubí však také dochází k větším tepelným ztrátám. V dnešní době tak lze na trhu nalézt tzv. chytrá cirkulační čerpadla, která se spínají pouze v době předpokládaného odběru. V případě dalšího pokračování mého řešení se nabízí zapojení další zásuvky do stávající konstrukce zařízení, do které by se dalo připojit klasické cirkulační čerpadlo. To by bylo spínané v časech předpokládané spotřeby podle rozvrhu založeným na základě historických dat o spotřebě. Kromě tepelných ztrát by tak moje řešení také nabízelo snížení výdajů za vodu kvůli nutnosti odpuštění vychladlé vody z potrubí pro teplou vodu.

Dalším možným rozšířením může být vytvoření uživatelského rozhraní v podobě webové aplikace, které nabízí jednoduchou správu bojleru jako je jeho zapínání, plánování událostí, či podrobné nastavení. Toto rozšíření si dovedu představit v případě komerčního nasazení mého zařízení, kdy by výsledný produkt obsahoval jednoduchý mikrokontrolér zajišťující chytrý ohřev a sběr dat, přičemž nasbíraná data by byla ukládána do databáze v cloudu.

Kapitola 7

Závěr

Cílem práce bylo v první řadě vytvoření rešerše aktuálních řešení zaměřených na úsporu tepla při elektrickém ohřevu užitkové vody. Dále bylo zapotřebí vybrat chytrou zásuvku, která umožňuje sběr dat o spotřebě a nabízí možnost lokálního řízení. Dalším úkolem bylo navrhnout chytré řízení bojleru, které vychází z historických dat o spotřebě, a které má za cíl snížit tepelné ztráty a minimalizovat spotřebu elektrické energie. Na to navazovala praktická část v podobě sestavení zařízení a implementace navrženého algoritmu pro chytrý ohřev. Poslední částí práce bylo testování řešení a odhad docílené úspory.

Na základě rešerše stávajících řešení chytrých bojlerů a návržení algoritmu jsem implementoval dva skripty v jazyce Python, které zajišťují sběr dat a chytrý ohřev na základě historických dat. Tyto skripty jsou spolu s InfluxDB databází a nástrojem pro zobrazování dat v přehledných grafech Grafana spuštěny jako kontejnery ve službě Docker. Vybrané chytré relé bylo využito při výrobě zařízení pro řízení bojleru. Z tohoto zařízení také vycházejí dvě teplotní čidla, která slouží pro sběr dat o teplotě na bojleru. Díky datům sesbíraným tímto zařízením je ohřev vody v bojleru řízen na základě historických dat o spotřebě. Pomocí kalendáře Google je pak možné řídit ohřev bojleru vytvořením události pro časové období, kdy není zapotřebí vodu v bojleru nahřívát. Další možností je vytvoření události, na jejíž čas začátku má být v bojleru připraveno dostatek teplé vody pro požadované množství sprch. Díky tomuto chytrému řízení lze docílit maximalizace úspory vycházející ze snížení tepelných ztrát vlivem vysoké teploty vody v bojleru i v době, kdy nedochází k většímu odběru.

Cílem práce bylo navrhnout a implementovat zařízení, které za pomoci chytré zásuvky a historických dat o spotřebě bude řídit ohřev vody v bojleru tak, že voda v bojleru bude ohřívána pouze před předpokládanou spotřebou a mimo ni bude na udržovací teplotě. Díky tomuto mechanismu se podařilo snížit původní náklady o více než 30 %. Hlavním přínosem je tedy vytvoření chytrého zařízení, které domácnosti šetří výdaje za elektřinu. Do budoucna se nabízí prostor pro testování předpovědi pomocí modelů pro časové řady, rozšíření ovládání o cirkulační čerpadlo, nebo vytvoření autonomního zařízení synchronizovaného s cloudem a vlastní mobilní aplikací.

Literatura

- [1] ABHISHEK KUMAR, S. G. *ZigBee A Case Study* [online]. Cewidus Technologies, 2008 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <http://www.science.smith.edu/~jcardell/Courses/EGR328/Readings/Zigbee%20ACaseStudy.pdf>.
- [2] ABHISHEK KUMAR, S. G. *Study on ZIGBEE Technology* [online]. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH TECHNOLOGY, říjen 2013 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.402.485&rep=rep1&type=pdf>.
- [3] *Jak postavit chytrou domácnost* [online]. 2020 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/jak-postavit-chytrou-domacnost>.
- [4] *Amazon Lab126 Creates HPC Solution to Help Teams Speed Development and Innovation* [online]. 2020 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://aws.amazon.com/solutions/case-studies/amazon-lab126-case-study/>.
- [5] BEN LETAIFA, S. How to strategize smart cities: Revealing the SMART model. *Journal of Business Research*. 1. vyd. 2015, sv. 68, č. 7, s. 1414–1419, [cit. 05-03-2021]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.01.024>. ISSN 0148-2963. Special issue on The Spirit of Strategy. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296315000387>.
- [6] *Bluetooth continues to grow in smart home, smart building applications* [online]. asmag.com, duben 2019 [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.asmag.com/showpost/28033.aspx>.
- [7] MORA. *Mora* [online]. únor 2016, 19-04-2021 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.mora.cz/eomku-50-sksm/#dokumenty>.
- [8] *Aktuální (průměrná) cena 1 kWh elektřiny* [online]. energie123.cz, 2021 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>.
- [9] CHROBOK, M. *Google Assistant vs. Alexa: který chytrý asistent vyhraje bitvu o českou domácnost?* [online]. Leden 2020 [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://smartmania.cz/google-assistant-vs-alexa-ktery-chytry-asistent-vyhraje-bitvu-o-ceskou-domacnost/>.
- [10] DZD. *OHŘÍVAČ VODY OKCE* [online]. 2021 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/ohrivace-a-zasobniky-teple-vody/elektricke/zavesne/okce>.

- [11] *Google Nest: welcome to the helpful home* [online]. 2019 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://nest.com/blog/2019/05/07/introducing-google-nest/>.
- [12] HRMA, J. *Google Asistent a čeština: přípravy jsou zřejmě v plném proudu* [online]. 2020 [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://smartmania.cz/google-asistent-a-cestina-pripravy-jsou-zrejme-v-plnem-proudu/>.
- [13] JATIN PAREKH, M. N. *WiFi's evolving role in IoT* [online]. 2020 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.networkworld.com/article/3196191/wifi-s-evolving-role-in-iot.html>.
- [14] LACKO Luboslav. *Internet věcí – klasický fenomén s novými možnostmi* [online]. 2017 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/hardware/78-hardware/6748-internet-veci-klasicky-fenomen-s-novemi-moznostmi.html>.
- [15] LÓPEZ, G., QUESADA, L. a GUERRERO, L. Alexa vs. Siri vs. Cortana vs. Google Assistant: A Comparison of Speech-Based Natural User Interfaces. In: NUNES, ed. *Advances in Human Factors and Systems Interaction*. 1. vyd. Leden 2018, s. 241–250. DOI: 10.1007/978-3-319-60366-7_23. ISBN 978-3-319-60365-0.
- [16] MORALES, J., LOPEZ, N. A., PARADO, J. a PASAOA, J. *A Comparative Study of Thread Against ZigBee, Z-Wave, Bluetooth, and Wi-Fi as a Home-Automation Networking Protocol*. [online]. Listopad 2016. DOI: 10.13140/RG.2.2.36693.22249. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/309669667_A_Comparative_Study_of_Thread_Against_ZigBee_Z-Wave_Bluetooth_and_Wi-Fi_as_a_Home-Automation_Networking_Protocol.
- [17] MUNSTER, G. a THOMPSON, W. *Annual Digital Assistant IQ Test* [online]. Srpen 2019 [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://loupventures.com/annual-digital-assistant-iq-test/>.
- [18] *Slovník pojmů* [online]. Netio, březen 2021 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.netio-products.com/cs/slovník-pojmu>.
- [19] DRAŽICE STROJÍRNA S.R.O, D. závody. *Návod k obsluze a instalaci OKHE SMART* [online]. 2021, 2021-04-19 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/ohrivace-a-zasobniky-teple-vody/elektricke/zavesne/okhe-smart#ke-stazeni>.
- [20] ORGANIZATION, W. H. *Legionella and the prevention of legionellosis*. 1. vyd. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2007 [cit. 2021-04-19]. ISBN 9241562978.
- [21] ROBLES, R. a KIM, T.-h. Applications, Systems and Methods in Smart Home Technology: A Review. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 15. vyd. Leden 2010, sv. 15, č. 1, [cit. 15-03-2021].
- [22] RUBIN, B. F. *Amazon sees Alexa devices more than double in just one year* [online]. Leden 2020 [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/news/amazon-sees-alexa-devices-more-than-double-in-just-one-year/>.
- [23] *Sazba D45d Jihomoravský kraj* [online]. kurzy.cz, 2021 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/elektrina/d02d-jihomoravsky?sort=priceht>.

- [24] *Turn Something On Based on Temperature* [online]. Smarter Home club, 2021 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <http://blog.smarterhome.club/2020/05/23/turn-something-on-based-on-temperature/>.
- [25] *Apple HomePod, Google Nest & Amazon Echo: Which of These Smart Speakers Should You Get and Are They Worth Paying For?* [online]. DollarsAndSense, listopad 2020 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://dollarsandsense.sg/apple-homepod-google-nest-amazon-echo-smart-speakers-get-worth-paying/>.
- [26] SPURNÁ, I. *Jak na IQRf: spolehlivá a bezpečná bezdrátová technologie pro IoT* [online]. root.cz, září 2019 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/jak-na-iqrf-spolehliva-a-bezpecna-bezdratova-technologie-pro-iot/>.
- [27] STIEBEL. *EO 100 EL* [online]. Leden 2014, 19-04-2021 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.tatramat.com/produkty/elektricke-ohrievace-vody/vertikalne-eov/eo-100-el>.
- [28] *SmartHome - inteligentní domácnost* [online]. SmartTuya.cz, 2020 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.smarttuya.cz/https/www-smarttuya-cz/tuya-chytra-zarizeni-c5-0-1-htm>.
- [29] TUŽIL, M. *Caché mocking framework* [online]. 2020. [cit. 2021-04-19]. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky, Brno. Vedoucí práce BAYER, J. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/c9wkl/>.
- [30] VASICA, R. *Inteligentní řízení akumulárního ohřevu teplé vody*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/32325>.
- [31] VOJÁČEK, A. *IoT MQTT prakticky v automatizaci - 1.díl - úvod* [online]. automatizace.hw.cz, leden 2017 [cit. 2020-01-18]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/iot-mqtt-prakticky-v-automatizaci-1dil-uvod.html>.
- [32] *Wi-Fi Alliance® introduces Wi-Fi 6* [online]. 2020 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-introduces-wi-fi-6>.
- [33] WUKKADADA, B., WANKHEDE, K., NAMBIAR, R. a NAIR, A. *Comparison with HTTP and MQTT In Internet of Things (IoT)*. 1. vyd. 2018. 249-253 s. ISBN 978-1-5386-2457-9.
- [34] *Z-Wave Learn* [online]. Z-Wave, 2020 [cit. 2020-10-02]. Dostupné z: <https://www.z-wave.com/learn>.
- [35] *Products* [online]. Zigbee Alliance, 2020 [cit. 2020-10-02]. Dostupné z: https://zigbeealliance.org/zigbee_products/?product_type=certified_product.
- [36] *ZigBee vs. Z-Wave: Auswahl zwischen zwei großen Smarthome-Standards* [online]. apcaglobal.com, 2019 [cit. 2020-10-02]. Dostupné z: <https://apcaglobal.com/en/5952-zigbee-vs-z-wave-choosing-between-two-big-smarthome-standards.html>.
- [37] *Proč SMART? Hlavním důvodem je úspora elektrické energie!* [online]. DZ Dražice s.r.o., 2014 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/9256-proc-smart-hlavnim-duvodem-je-uspora-elektricke-energie>.