

Z hloupého bojleru chytrý pomocí chytré zásuvky

Adam Grünwald*



+



**ROČNÍ
= ÚSPORA AŽ
3500 Kč**

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 až 30 % nákladů, což pro 80 litrový bojler představuje roční úsporu až 3500 Kč. Původní bojler navíc získá chytré funkce, které současné „chytré“ bojlerů nenabízejí, nebo nabízejí jen v omezené formě.

Klíčová slova: chytrá domácnost — chytrý bojler — chytrá zásuvka — internet věcí

Příložené materiály: [Kód ke stažení](#)

*xgrunw00@fit.vutbr.cz, Faculty of Information Technology, Brno University of Technology

1. Úvod

Život každého z nás je v posledních několika letech stále více protkávan chytrými zařízeními, která se pomalu dostávají i do našich domácností. Spousta rodin tak v dnešní době vlastní chytré televize, žárovky, závlahy rostlin nebo třeba chytré asistenty. Jedním

ze zařízení, které si zasloužilo svoji chytrou verzi, je bojler, zařízení pro akumulaci ohřevu teplé užitkové vody. Hlavní výhodou, kterou tyto chytré bojlerů mají, je schopnost šetřit jejich uživatelům náklady spojené s ohřevem teplé vody. Toho je dosahováno tím, že voda v bojleru je ohřívána na vyšší teplotu

pouze tehdy, kdy je předpokládána spotřeba v dané domácnosti. Tento mechanismus pracuje s myšlenkou, že se v denním režimu domácnosti vyskytuje jakási pravidelnost v tom, kdy dochází k většímu odběru teplé vody. Díky tomu je možné vodu v bojleru mimo tyto časy udržovat na nižší teplotě, což má za následek pokles tepelných ztrát. V mé práci se zabývám přeměnou stávajících hloupých bojlerů na chytré pomocí jedné chytré zásuvky a dvou teplotních čidel. Výsledné řešení má za cíl snížit výdaje domácnosti spojené s ohřevem teplé vody bez nutnosti koupě nového bojleru a navíc sloučit chytré funkce aktuálních řešení.

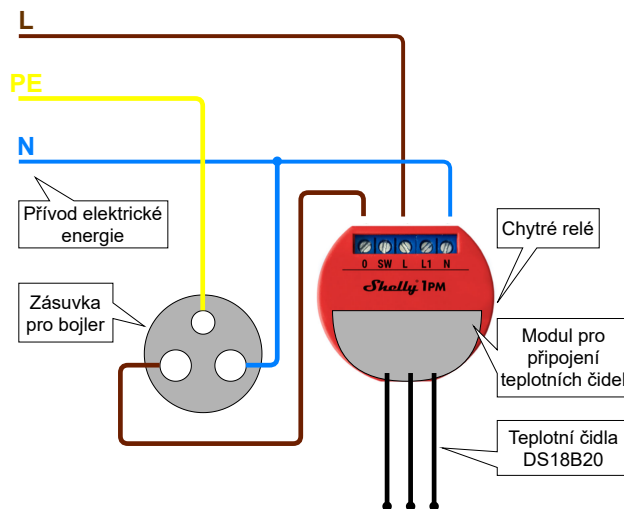
2. Existující řešení

Na trhu se aktuálně nachází několik takzvaně chytrých bojlerů. Nejvýraznější z nich jsou bojlerové od firem DZ Dražice a Ariston. První zmíněný zvládá průběžné učení časů spotřeby domácnosti, na základě kterých uzpůsobuje ohřev teplé vody. U tohoto chytrého ohřevu výrobce udává úsporu až 35 % z původních nákladů. K bojleru je dodávána mobilní aplikace, pomocí které lze upravovat nastavení jako jsou časy nízkého tarifu či časové úseky, ve kterých nebudou členové domácnosti doma a není tak zapotřebí vodu ohřívat. Nevýhodou je pak nemožnost nastavování skrze mobilní aplikaci odkudkoliv, jelikož k přenosu dat dochází přes Bluetooth a je proto nutné být v blízkosti bojleru [1]. Oproti tomu zařízení značky Ariston disponuje Wi-Fi modulem, který umožňuje ovládání odkudkoliv. Nevýhodou bojleru Ariston je to, že nepočítá s možností vysokého tarifu, během kterého nelze vodu ohřívat. Také izolace tohoto bojleru není tak kvalitní a například oproti Dražicím má tento bojler dvojnásobné tepelné ztráty [2].

Žádný z těchto bojlerů navíc nelze, byť jen částečně, spojit s jinými zařízeními či aplikacemi, a stávají se z nich sice z části chytré, ale jinak samostatné jednotky v domácnosti. Pokud tedy v současné době člověk přemýšlí nad koupí chytrého bojleru, volí většinou mezi kompromisem, co se chytrých funkcí týče. O připojení bojleru s chytrou domácností navíc nemůže být ani řeč.

Mé řešení nabízí alternativu, která spojí výhody aktuálně dostupných chytrých bojlerů, umožňuje spojení s chytrou domácností a to vše za zlomek ceny nového, chytrého bojleru.¹

¹ Chytrý bojler Dražice OKHE SMART o objemu 80 litrů se prodává od 6600 Kč. Ariston Velis Evo Wi-Fi o stejném objemu lze koupit od 8374 Kč. Chytré relé se vším příslušenstvím (teplotní čidla, zásuvka, krabice, šňůra) lze pořídit do 1500 Kč.



Obrázek 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.

3. Zařízení pro sběr dat a řízení ohřevu

Jádro mnou vytvořeného zařízení tvoří chytré relé Shelly 1PM, umožňující ovládání v rámci lokální Wi-Fi sítě a prostřednictvím rozšiřujícího modulu připojení až trojice teplotních čidel DS18B20.

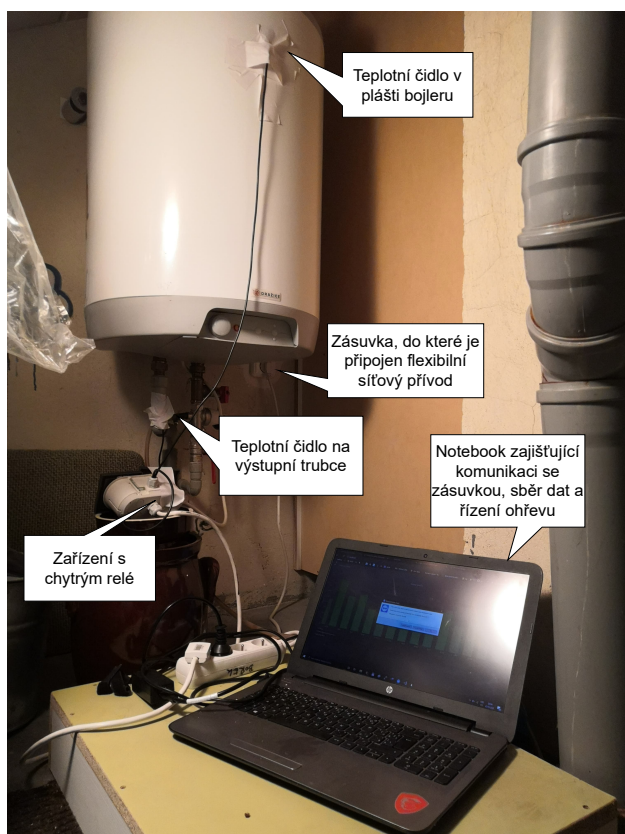
Toto relé jsem v rámci svého řešení umístil do přístrojové krabice a připojil k němu zásuvku, do které bude připojen bojler, a flexibilní síťový přívod, jež bude zapojen do zásuvky. Z oné krabice jsou také vyvedeny dvě teplotní čidla, která budou umístěna na bojler. První do pláště pro monitoring teploty vody v bojleru a druhé na výstupní trubku pro rozpoznání odběru teplé vody.

Vzniklo tak ucelené zařízení, které lze snadno instalovat a po připojení na Wi-Fi je schopno začít odesílat data a přijímat instrukce pro spínání ohřevu vody na počítač řídící chytrou domácnost.

4. Sběr dat o spotřebě

Aby bylo možné uzpůsobit ohřev vody režimu konkrétní domácnosti, je zapotřebí nasbírat dostatečné množství dat. Aktuální teplota vody v bojleru je sledována pomocí teplotního čidla umístěného pod tepelnou izolací pláště. Druhé teplotní čidlo je umístěno na výstupní trubce z bojleru a data z něj slouží pro rozpoznání odběru teplé vody, čehož je využíváno v učitelském algoritmu.

Data jsou získávána pomocí dotazů na API chytré zásuvky připojené do Wi-Fi sítě a jsou ukládána do databáze InfluxDB běžící v samostatném kontejneru služby



Obrázek 2. Provizorní instalace zařízení na bojler spolu s počítačem zajišťujícím sběr dat a chod chytrého ohřevu.

Docker.² O sběr dat se stará Python skript spuštěný rovněž jako samostatný kontejner ve službě Docker, který každé dvě minuty zasílá HTTP požadavek na API chytré zásuvky.

Aby se voda v bojleru nahřívala pouze před předpokládaným odběrem, je zapotřebí nasbírat data za delší časové období. Z těchto dat pak mnou navržený algoritmus vytvoří rozvrh, kterým se bude chytrý ohřev řídit. Ten pracuje s předpokladem, že denní režim domácnosti, co se odběru teplé vody týče, je pravidelně se opakujícím dějem. Z toho pak vychází algoritmus, který tvoří rozvrh ohřevu.

5. Chytrý ohřev

Pro tvorbu rozvrhu se nejprve vytvoří průměr denních teplot na výstupu bojleru. Vzhledem k tomu, že denní režim většiny domácností je jiný pro všední dny a jiný pro víkendy, průměry denních teplot jsou počítány pro každý den v týdnu zvlášť. Následně se ve zprůměrovaných denních datech hledají za pomoci funkce

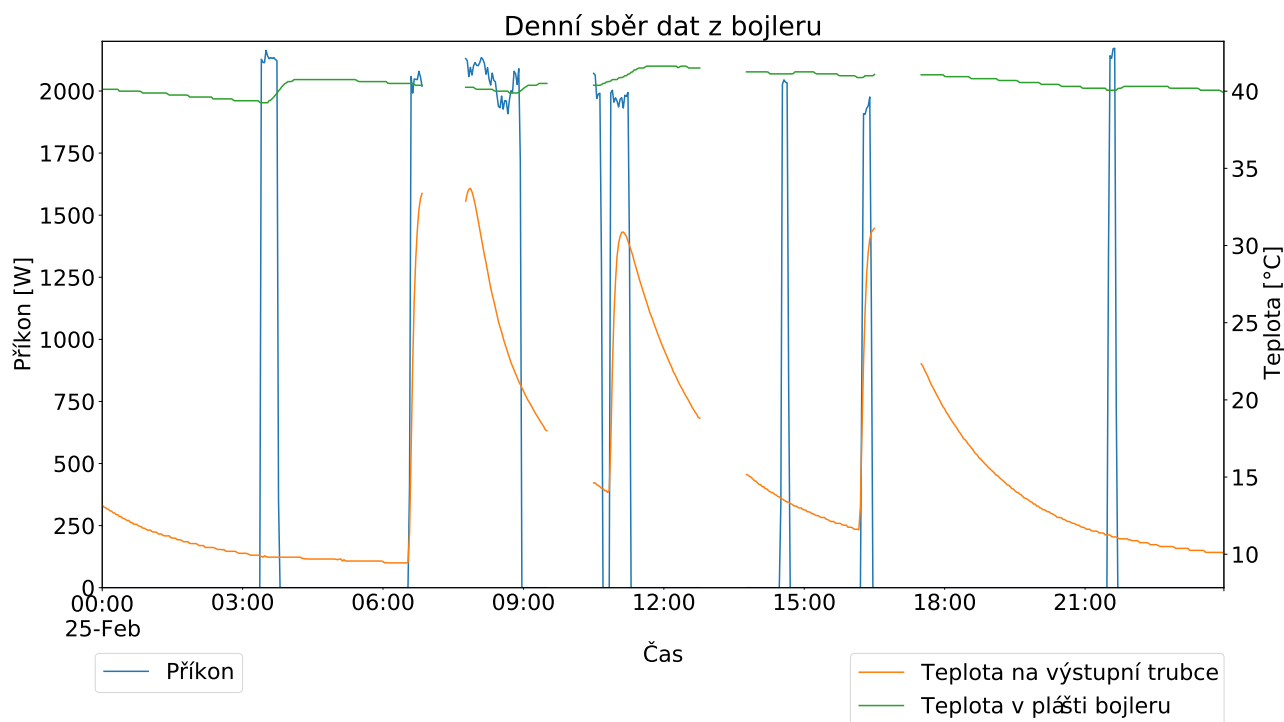
²Docker je otevřený software, který slouží pro izolaci běžících procesů do takzvaných kontejnerů. Kontejnery však obsahují pouze konkrétní službu a její data. Oproti virtuálním strojům neobsahují jádro operačního systému, čímž šetří hardwarové zdroje hostitele.

`find_peaks()` z knihovny Pandas vrcholy, které znázorňují odběr teplé vody. U těch je kromě jejich výšky počítán také časový interval, po který výkyv teploty trval, což lze vidět v grafu 4. Z nalezených vrcholů se následně tvoří rozvrh pro každý den v týdnu, který je aktualizován každý den na základě dat z předchozích dvou týdnů, aby chytrý ohřev dokázal reagovat na změny denních režimů členů domácnosti. Během implementace bylo nutné zohlednit nepřesnost v měření teploty vody v bojleru, jelikož teplotní čidlo není umístěno přímo v nádrži s vodou, ale v plášti bojleru. To způsobuje, že naměřená teplota je vlivem okolí nižší. Pro odhad skutečné teploty vody v bojleru proto využívám informace o nastavené maximální teplotě vody v bojleru a historických dat teplot, ze kterých získávám maximální naměřenou teplotu v plášti bojleru a minimální naměřenou teplotu na výstupní trubce, která představuje teplotu okolí bojleru. Z těchto informací je pak pomocí poměru odhadována reálná teplota, na kterou je voda v bojleru nahřívána.

Samotné řízení ohřevu podle algoritmu 5 probíhá tak, že teplota vody je mimo očekávanou spotřebu udržována kolem 40 °C pro případ menších odběrů nebo neočekávaných událostí. S předstihem před očekávaným nebo naplánovaným odběrem je voda nahřívána tak, aby v době odběru byla nachystána voda o požadované teplotě. Teplota, na kterou se má voda v bojleru nahřát před očekávaným odběrem na základě historických dat, je počítána z výšky rozpoznávaných vrcholů vynásobenými koeficientem pro ohřev. Ten je v průběhu času upravován tak, aby voda nebyla zbytečně nahřívána na moc velkou teplotu a naopak, aby nedocházelo k tomu, že by se členové domácnosti museli umývat studenou vodou.

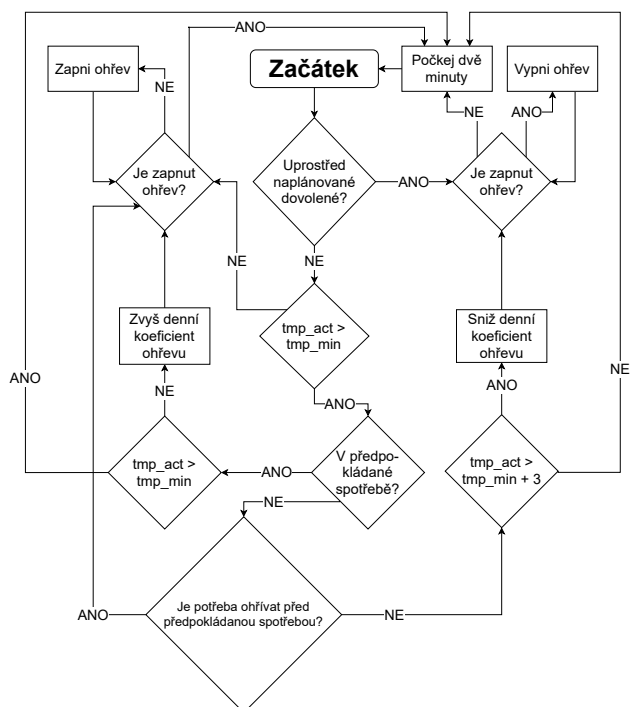
6. Plánování událostí

Pro zvýšení úspory a komfortu členů domácnosti používající můj chytrý bojler jsem navrhl funkci, díky které lze řídit ohřev pomocí událostí v Google kalendáři. První z možných událostí je událost pro vypnutí bojleru. Té lze využít v případě, že celá domácnost odjede například na dovolenou, a není tak potřeba vodu ohřívát. Druhá událost, kterou lze řídit ohřev, je událost pro nahřátí vody na určitou teplotu. Algoritmus pro chytrý ohřev pak připraví vodu o požadované teplotě na čas začátku události. Třetí možností je vytvoření události, která dá pokyn pro nahřátí určitého množství sprch na daný čas. Chytrý ohřev pak toto množství přepočítá na potřebnou teplotu, na kterou je potřeba voda v bojleru ohřát, aby i během poslední sprchy byl dostatek teplé vody.



Obrázek 3. Denní sběr dat z bojleru v šestičlenné domácnosti před zahájením chytrého ohřevu. Vynechávky hodnot značí vysoký tarif, po který je zásuvka bez proudu a tudíž není schopna odesílat data do databáze.

Obrázek 4. Graf průměrných denních teplot na výstupní trubce během úterku. 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.



Obrázek 5. Vývojový diagram popisující návrh algoritmu řízení ohřevu. Proměnná tmp_act označuje aktuální teplotu vody v bojleru a tmp_min je minimální udržovací teplota vody v bojleru.

7. Rozpoznání HDO

Domácnosti, které k vytápění či ohřevu vody v domácnosti využívají elektřinu, často využívají výhod

nízkého tarifu spínaného pomocí HDO³, což zapříčiní, že bojler lze ohřívat jen v některé časové úseky během dne. S tím je nutné počítat při chytrém ohřevu, aby se nestalo, že nezbude dostatek času pro ohřev před předpokládanou spotřebou.

Mnou navržený program dokáže rozpoznat časy HDO z nasbíraných dat a to tím způsobem, že pokud je zařízení pro sběr dat připojeno do zásuvky spínané HDO, v tuto dobu nedochází k odesílání dat. Na základě této informace pak dochází k vyhodnocení dat v databázi a tvoří se druhý týdenní rozvrh, tentokrát pro intervaly vysokého tarifu. Algoritmus chytrého ohřevu pak při rozhodování, zda je již nutné začít ohřívat vodu v bojleru, odečítá od času zbývajícím do začátku předpokládaného odběru čas trvání vysokého tarifu v tomto časovém úseku. Navíc při tvorbě týdenního rozvrhu vysokého tarifu je zkoumáno, jestli pokles teplot před začátkem a po konci vysokého tarifu není větší než 1 °C za hodinu. Pokud ano, voda je ohřívána před začátkem každého vysokého tarifu právě o tento rozdíl.

Rozvrh vysokého tarifu je počítán jednou týdně

³HDO = hromadné dálkové ovládání. Využívané pro přepínání mezi nízkým a vysokým tarifem v průběhu dne. Během nízkého tarifu je elektřina levnější. Využíváno v domácnostech s elektrickým bojlerem, topením nebo tepelným čerpadlem.

z dat za poslední týden. Tím je zajištěno, že pokud by došlo ke změně či úpravě tarifu, chytrý ohřev se s tím dokáže vypořádat.

8. Hrozba Legionelly

Bakterie Legionella se vyskytuje ve vodním prostředí, přičemž se nejlépe množí ve vodě s teplotou kolem 40 °C. U osob s oslabeným imunitním systémem může být příčinou akutního zápalu plic. Toto onemocnění je známé také pod názvem Legionářská nemoc [3]. Aby bylo zabráněno výskytu této bakterie v bojlerech, objevuje se v nových modelech funkce, která eliminuje výskyt této bakterie tím, že jednou za dva až tři týdny nahřeje vodu nad 70 °C, čímž dojde k úhynu této bakterie [4]. Mnou navržený algoritmus s tím také počítá a zajišťuje, že minimálně jednou za dva týdny dojde k nahřátí vody na maximální teplotu.

9. Dosažená úspora

Zařízení pro chytrý ohřev jsem instaloval na bojler ve dvou domácnostech. V prvním případě se jedná o 80 litrový bojler DZ Dražice OKCE, využívaný dvěma osobami. Bojler se nachází ve vytápěné místnosti, tudíž se okolní teplota bojleru pohybuje kolem 20 °C. Je zdrojem teplé vody pouze pro jednu koupelnu v domě, kterou využívají právě dvě osoby. Zbytek teplé vody pro ostatní členy domácnosti a pro společnou kuchyň obstarává druhý bojler umístěný o podlaží níže. Po prvním týdnu sběru dat jsem upravil ohřev vody tak, že se voda ohřívala na vyšší teplotu pouze ráno a večer a po zbytek dne se udržovala nad 40 °C. V týdnu od 22. ledna 2021 pak ohřev probíhal na základě historických dat. Z přiloženého grafu 6 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.

Druhé zařízení pak bylo umístěno na bojler modelové řady OKCE rovněž od firmy DZ Dražice o objemu 152 litrů v šestičlenné domácnosti. Bojler se nachází ve sklepě rodinného domu, 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 ohřívačů. 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 7.

Algoritmus chytrého ohřevu dokázal poměrně přesně odhadnout úseky, kdy je zapotřebí připravit větší množství teplé vody. Během dvouměsíčního chodu jsem zaznamenal u obou domácností po třech případech, kdy nebylo v bojleru dostatek teplé vody. To však ve všech případech bylo zapříčiněno nadstandardním odběrem, se kterým chytrý ohřev na základě předchozích dat nemohl počítat. To mě přimělo k implementaci funkce pro ohřev určitého množství sprch na danou hodinu. Poté již člené v testovaných domácnostech nezaznamenali jediný případ toho, že by nebyl v bojleru dostatek teplé vody.

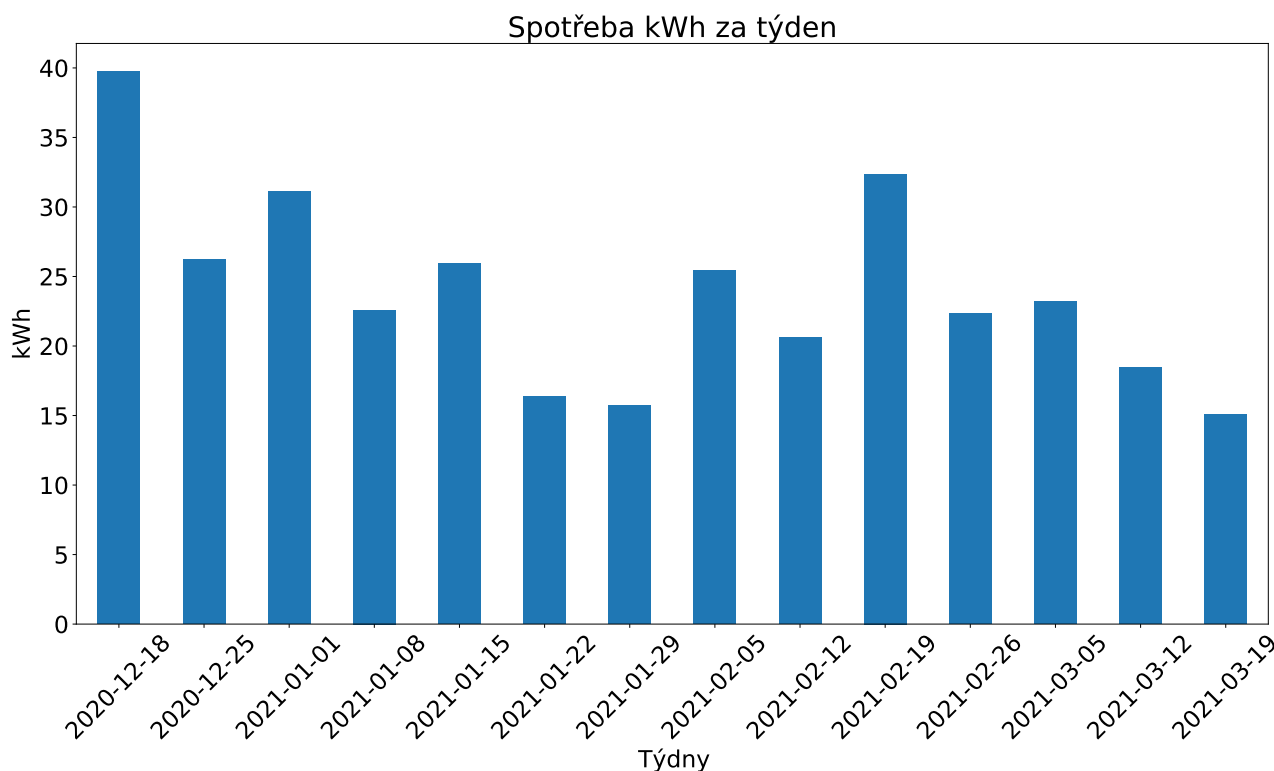
Úspora dosažená chytrým ohřevem se pohybuje v případě prvního bojleru kolem třiceti procent z původních nákladů. To činí roční úsporu zhruba 700 kWh, což představuje při současné průměrné ceně 5 Kč za jednu kWh roční úsporu 3500 Kč pro první domácnost. U druhé domácnosti se 152 litrovým bojlerem, který využívá nízkého tarifu se sazbou 2 Kč za kWh, činí roční úspora zhruba 1040 kWh, což je v přepočtu 2000 Kč za rok.

10. Závěr

Cílem této práce bylo z hloupého bojleru vytvořit chytrý pomocí chytré zásuvky a teplotních čidel. Chytrý bojler spočívá v tom, že k ohřevu vody v bojleru dochází pouze před očekávanou spotřebou a mimo ni je voda v bojleru udržována na nižší teplotě, případně není ohřívána vůbec. To následně vede k poklesu tepelných ztrát.

Hlavním úkolem bylo sestavení zařízení, které zajišťuje sběr dat a řízení bojleru. Dále navrhnutí a implementace algoritmu, který řídí ohřev podle režimu jeho uživatelů. Vzniklý chytrý bojler je možné propojit s chytrou domácností a řídit jeho ohřev pomocí speciálně vytvořených událostí v Google kalendáři.

Výsledné zařízení je jednoduché na instalaci, při které není zapotřebí větších zásahů do konstrukce bojleru. Díky tomu se jeho uživatelé nemusejí bát snížené bezpečnosti nebo ztráty záruky. Chytrým ohřevem se podařilo docílit v obou domácnostech úspory kolem 30 procent, což odpovídá hodnotám udávaných u komerčně dostupných řešení. Tato úspora



Obrázek 6. 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.

v případě domácnosti s 80 litrovým bojlerem a standardním tarifem při dnešních cenách elektrické energie činí zhruba 3500 Kč. U sledované šestičlenné domácnosti s 152 litrovým bojlerem využívající pro ohřev vody nízkého tarifu se roční úspora pohybuje kolem 2000 Kč za rok.

V další fázi mé práce bych rád zkusil pro odhad časů spotřeby využít umělé inteligence a porovnat výstupy s dosavadní metodou průměrování.

Poděkování

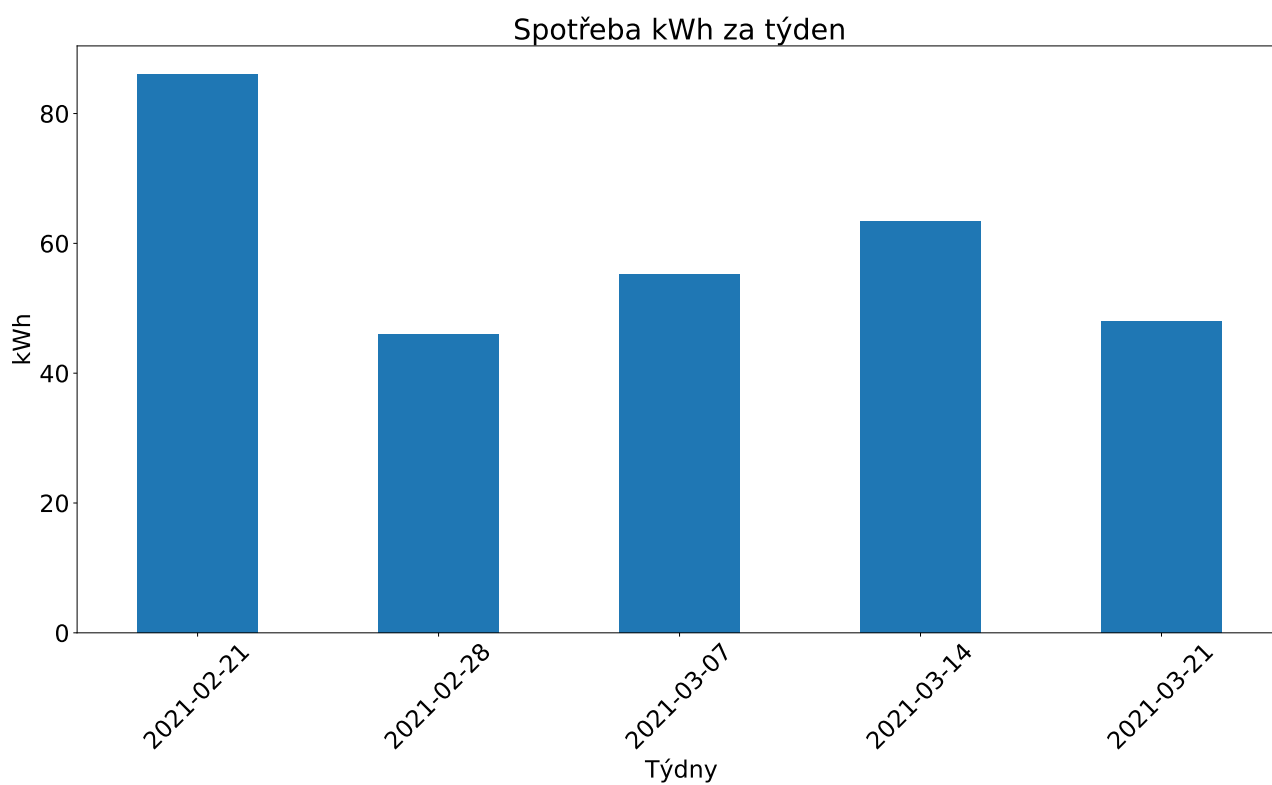
Rád bych poděkoval mému vedoucímu Ing. Zdeňku Maternovi, Ph.D. za cenné rady a konzultace. Dále pak oběma rodinám, kterým jsem jejich bojler osadil svým zařízením pro chytrý ohřev, a které musely z počátku skousnout pár vlažných koupelí.

Literatura

- [1] Družstevní závody Dražice-Strojírna s.r.o. Ohřívач vody okce. online, 2021.
- [2] Ariston Thermo SPA. Bojler ariston. online, 2021.

- [3] World Health Organization. *Legionella and the prevention of legionellosis*. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2007. ISBN: 9241562978.

- [4] Nebezpečná bakterie legionella žije i ve vašem bojleru. online, 2014.



Obrázek 7. Spotřeba elektrické energie v kWh 152 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 historických dat.