



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

**SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE U ZAŘÍZENÍ
V CHYTRÝCH DOMÁCNOSTECH**

ENERGY CONSUMPTION OF SMART DEVICE IN SMART HOUSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ BÍNA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR MATOUŠEK, Ph.D., M.A.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce



144189

Ústav: Ústav informačních systémů (UIFS)
Student: **Bína Ondřej**
Program: Informační technologie
Specializace: Informační technologie
Název: **Spotřeba elektrické energie u zařízení v chytrých domácnostech**
Kategorie: Počítačové sítě
Akademický rok: 2022/23

Zadání:

1. Seznamte s prostředky pro měření odběru el. energii u zařízeních v domácnosti. Popište, jaké veličiny měří, s jakou přesností a jak lze sledovat dlouhodobý odběr energie.
2. Zvolte si po konzultaci s vedoucím práce sadu chytrých zařízení např. teplotní a pohybová čidla, detektory pohybu, brány k IoT zařízením apod. a popište jejich funkci, základní režimy práce a otestujte spotřebu energie v jednotlivých režimech.
3. Vytvořte testbed, který bude představovat chytrou domácnost. Sledujte odběr el. energie těchto zařízení v různých režimech činnosti po delší dobu.
4. Analyzujte nasbíraná data a popište trendy, které se vyskytují. Popište trendy odběru např. pomocí časových řad. Zhodnoťte spotřebu energie a navrhněte možné způsoby snížení spotřeby.
5. Podle možností vyzkoušejte postup v reálném prostředí. Zhodnoťte výsledky své práce a doporučení pro uživatele chytrých zařízení v domácnosti.

Literatura:

- HOLÁSEK, Vít. *Měření spotřeby elektrické energie v domácnosti* [online]. Brno, 2016 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/p6cjz/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky.
- L. Stankovic, V. Stankovic, J. Liao, C. Wilson, Measuring the energy intensity of domestic activities from smart meter data, *Applied Energy*, Volume 183, 2016, Pages 1565-1580, ISSN 0306-2619.
- Andrew Williams, How much power does your smart home use?, *The Ambient online journal*, 2021, available at <https://www.the-ambient.com/features/smart-home-energy-use-costs-bills-2778> [May 2022].
- Szymczyk, M.; Augustyniak, P., Selected Energy Consumption Aspects of Sensor Data Transmission in Distributed Multi-Microcontroller Embedded Systems. *Electronics* **2022**, *11*, 848. <https://doi.org/10.3390/electronics11060848>
- Robert H. Shumwaz, David S. Stoffer: *Time Series Analysis and Its Applications. With R Examples*, 4th Edition, 2017, Springer.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

- Body 1 - 3.

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

Vedoucí práce: **Matoušek Petr, doc. Ing., Ph.D., M.A.**
Vedoucí ústavu: Kolář Dušan, doc. Dr. Ing.
Datum zadání: 1.11.2022
Termín pro odevzdání: 10.5.2023
Datum schválení: 28.10.2022

Abstrakt

Velké množství výrobců v současné době vyvíjí chytrá úsporná zařízení, která mají být přínosem nejen svými dostupnými nastaveními, ale ve spoustě případů mají i ušetřit domácnosti spotřebu vody, plynu, či elektrická energie. Tato práce se zaměřuje na ověření spotřeby elektrické energie nejčastěji využívaných chytrých zařízení v domácnosti, která si člověk může pořídit. Cílem je měření spotřeby těchto spotřebičů v domácnosti a následná analýza získaných data. V rámci analýzy je klíčovými poznatky porovnání naměřených dat s daty udávanými výrobcem a se spotřebou jejich původní „hloupé“ alternativy. Výstupem práce je kromě zmíněné analýzy i doporučení vhodných režimů zařízení pro konkrétní případy užití.

Abstract

A large number of manufacturers are currently developing smart energy-saving devices, which should benefit not only with their available settings, but in many cases also save households on the consumption of water, gas, or electricity. This work focuses on verifying the electricity consumption of the most commonly used smart devices in the home that a person can purchase. The goal is to measure the consumption of these appliances in the home and subsequent analysis of the obtained data. As part of the analysis, the key findings are the comparison of the measured data with the data given by the manufacturer and with the consumption of their original „stupid“ alternative. In addition to the mentioned analysis, the output of the work is also a recommendation of suitable device modes for specific use cases.

Klíčová slova

chytré zařízení, chytrá domácnost, elektrická energie, spotřeba elektrické energie, úsporné zařízení, měření výkonu, kapacita baterie, časová řada

Keywords

smart device, smart home, electrical energy, electrical energy consumption, energy saving device, power measurement, battery capacity, time series

Citace

BÍNA, Ondřej. *Spotřeba elektrické energie u zařízení v chytrých domácnostech*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Matoušek, Ph.D., M.A.

Spotřeba elektrické energie u zařízení v chytrých domácnostech

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana doc. Ing. Petra Matouška Ph.D., M.A. Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....
Ondřej Bína
4. května 2023

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu doc. Ing. Petru Matouškovi Ph.D. za vedení mé bakalářské práce a konzultace konané během jejího vypracovávání.

Obsah

1	Úvod	2
2	Měření spotřeby elektrické energie	3
2.1	Měření kapacity bateriových článků	4
3	Přehled chytrých zařízení a jejich vlastností	5
3.1	Zařízení pro měření odběru elektrické energie	5
3.2	Chytrá žárovka	11
3.3	Chytrá termostatická hlavice	12
3.4	Chytrá zásuvka	14
3.5	Chytrá kamera	14
3.6	Shrnutí	16
4	Testovací prostředí	17
4.1	Měření	17
4.2	Shrnutí	27
5	Analýza naměřených dat	28
5.1	Časové řady	28
5.2	Chytrá žárovka	29
5.3	Chytrá termostatická hlavice	34
5.4	Chytrá zásuvka	35
5.5	Chytrá kamera	36
5.6	Shrnutí	37
6	Závěr	38
	Literatura	40

Kapitola 1

Úvod

V současné době je snaha docílit vzdáleného řízení jakéhokoliv spotřebiče. Spousta výrobců se tímto tématem zabývá a vyvíjí (podle svých specifikací) úsporná zařízení, která mají být přínosem nejen svým dostupným nastavením, ale ve spoustě případů mají za cíl ušetřit domácnosti vodu, plyn, či elektrickou energii.

V této práci se zaměřím na spotřebu elektrické energie nejčastěji využívaných chytrých zařízení, která si do domácnosti člověk může pořídit. Mým cílem je změřit spotřebu chytrých spotřebičů v domácnosti a výsledky následně analyzovat. V rámci analýzy budu s využitím klíčových porovnávat naměřená data s daty udávanými výrobcem a se spotřebou jejich „hloupé“ alternativy. Jelikož mají chytrá zařízení často více režimů provozu, budu se také zabývat zhodnocením a návrhem, pro jaký případ použití se na základě naměřených hodnot daný režim hodí a pro jaký je spíše přítěží z hlediska spotřeby a ní vyplývající následné ceny.

Práce je rozdělena do několika kapitol, které jsou chronologicky uspořádány podle prováděného postupu. V první kapitole se zabývám teoretickým úvodem, jehož alespoň částečné porozumění je klíčové pro pochopení jednotlivých metod měření a jejich následnou analýzu. Následně se budu zabývat obecným popisem chytrých zařízení a popisem konkrétních referenčních zařízení, která budu v práci využívat pro měření a následné porovnávání. Samotným měřením se budu zabývat v následující kapitole. Tato kapitola bude obsahovat popis zapojení zařízení, postup provedení měření a naměřená data, která budu v další kapitole následně detailně analyzovat.

K dosažení výše stanoveného cíle si vyberu několik zařízení, která ve stanoveném prostředí nahradím za stávající a budu sledovat jejich výkon v krátkodobém a následně dlouhodobém časovém horizontu. S využitím dat z krátkodobého a dlouhodobějšího měření budu moci odvodit, zda lze z krátkodobé spotřeby lineárně odvodit dlouhodobou a výsledek bude validní, případně jaká by byla v takovémto případě odchylka. Prostředí ve kterém budu měření provádět je domácnost – bytová jednotka.

Kapitola 2

Měření spotřeby elektrické energie

Úspora elektrické energie je v dnešní době jednou z velkých priorit po celém světě. V posledních deseti letech byla jedním z motorů pro výzkum zaměřený na pochopení, jak se energie spotřebovává, a jak tyto výsledky srozumitelně předat spotřebitelům, kteří je mohou následně využít k úspoře elektrické energie v domácnostech [6].

Spotřeba elektrické energie vyjadřuje elektrický příkon dodávaný do zařízení po určitou dobu. Základní jednotkou spotřeby elektrické energie je watthodina značící se Wh. V praxi se nejčastěji používá její násobek kilowatthodina se značkou kWh. Tento násobek se využívá mimo jiné při udávání cen energie prodávané elektrickými elektrárnami.

Pro získání spotřeby elektrické energie konkrétním spotřebičem musíme v pravidelných intervalech měřit jeho příkon. Pro jeho získání je nutné sledovat dvě odlišné veličiny, a to okamžité hodnoty elektrického proudu a napětí na napájení zařízení [3]. Z těchto hodnot jsme schopni se znalostí vzorce $P = U * I$ (kde P značí elektrický výkon, U elektrické napětí na napájení a I elektrický proud odebíraný zařízením) vypočítat okamžitou hodnotu elektrického výkonu spotřebiče. Jeho vynásobením s časem, po který spotřebič vydával tento výkon, získáme hodnotu spotřeby elektrické energie.

Moderní návrhy v oblasti telemedicíny využívají vestavěné systémy na bázi mikrokontrolerů s bezdrátovou komunikací pro přenos výsledků. Používají několik specializovaných senzorů vybraných pro danou aplikaci. Stále častěji využívají také umělou inteligenci [5]. Přesnost měření se u jednotlivých systémů liší, jelikož u každého zařízení měříme dvě různé veličiny pomocí různých senzorů, které mohou mít odlišnou přesnost. Typicky se ovšem jedná o přesnost v jednotkách wattů. Při měření dlouhodobé spotřeby je kromě přesnosti důležitá také odchylka měření, kterou zařízení rovněž disponuje. Při dlouhodobé spotřebě by se velká odchylka mohla projevit na výsledku, který by se od reality mohl výrazně lišit a byl by tak neobjektivní.

Měření elektrické energie v domácnosti se zabývá autor publikace pro The Ambient. Autor se ve své práci zabývá měřením krátkodobé spotřeby, ze které následně počítá teoretickou hodnotu spotřebované energie za delší období a následnou přibližnou cenu [10]. Měření elektrické energie v domácnosti se zabývá také autor práce Měření elektrické energie v domácnosti [3], který pro měření realizuje vlastní fyzické zařízení. Výsledné zařízení měří napětí a proud odebíraný sledovaným zařízením a v závislosti na čase z něj vypočítává spotřebu elektrické energie.

2.1 Měření kapacity bateriových článků

Pro měření kapacity spotřebované z baterií by bylo ideální připojit mezi baterii a zařízení sondu, stejně jako při měření odběru elektrické energie ze sítě. Tato sonda by ovšem musela být velice citlivá, jelikož tužkové baterie dodávají typicky proud v řádu miliampérů při proudu jednotek voltů.

Omezením tohoto typu sond je také jejich velikost. Bateriové články jsou často málo dostupné a né vždy u nich přebytečný prostor, kam by se celá sonda vešla, nebo kudy by šlo protáhnout dodatečnou kabeláž.

Jako možným řešením se může zdát i připojení klasického multimetru v blízkosti baterie, změřit aktuální hodnoty napětí a proudu a následně dopočítat výkon se spotřebou za daný čas ručně. U tohoto řešení ovšem nastává problém, že mikrokontroler v hlavici nemá stálý výkon, jelikož motorek pohybující s jehlovým pístem je v aktivní stavu jen při změnách teplot, jejichž frekvence není predikovatelná. Tudíž při měření multimetrem bych nebyl schopen objektivně vyjádřit ani přibližnou spotřebu elektrické energie.

Jsem ale schopný vybijet baterii stanoveným odběrem a měřit u toho čas, po který bude baterie stále schopná napětí a proud dodávat. Z těchto hodnot následně zjistím kapacitu podle vzorečku $C = I * t$, kde C značí kapacitu baterie, I značí proud dodávaný baterií a t značí čas, po který byl proud dodáván [1].

Tuto metodu budu využívat pro získání zbylé kapacity v baterii po ukončení experimentů. Společně s celkovou kapacitou baterie získané z výrobcem poskytované dokumentace budu schopen rozdílem těchto hodnot zjistit spotřebovanou kapacitu za dané období. Tímto způsobem ovšem nejsem s ohledem na přesnost měřit kapacitu v průběhu experimentu, ale budu ji muset změřit jednou, na konci experimentu.

Pro napájení by se daly využít i dobíjecí baterie, u kterých by se dala v průběhu experimentu průběžně kontrolovat spotřebovaná kapacita, která by se ve výsledku sečetla. Použití dobíjecích baterií by vyšlo pro experiment levněji, ale přesnost měření by se tím nezlepšila, dokonce naopak. U baterií obecně je problém se samovolným vybíjením, což ovlivňuje samotný výsledek měření. U dobíjecích baterií je nevýhodou, že oproti klasickým jednorázovým mají výrazně vyšší tendenci k samovolnému vybíjení [8]. Z tohoto důvodu s ohledem na objektivitu není možné dobíjecí baterie v experimentech využít, jelikož by mohly ovlivnit výsledek měření.

Měření kapacity baterií a omezení spojená s ním jsou detailně rozebrány v knize ZigBee Wireless Networks and Transceivers v kapitole Battery Life Analysis [2].

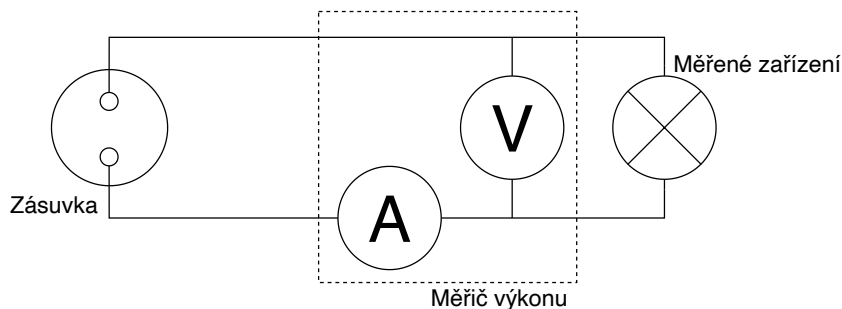
Kapitola 3

Přehled chytrých zařízení a jejich vlastností

V této kapitole se zabývám popisem vybraných typů chytrých zařízení a specifikací zařízení, která ve své práci budu využívat pro experimentální měření spotřeby elektrické energie.

3.1 Zařízení pro měření odběru elektrické energie

Ke sledování aktuálního i dlouhodobého odběru elektrické energie zařízení se využívají externí zařízení, jejichž cílem je sledovat aktuálně protékající elektrické napětí a proud, ze kterého lze vypočítat momentální výkon zařízení. Sledovaná data se společně s časem prezentují uživateli v konkrétní podobě (v konkrétních jednotkách). Pro měření elektrického napětí se používá **voltmetr** a pro měření elektrického proudu **ampérmetr**. S využitím těchto zařízení je možné měřit aktuální výkon připojeného zařízení.



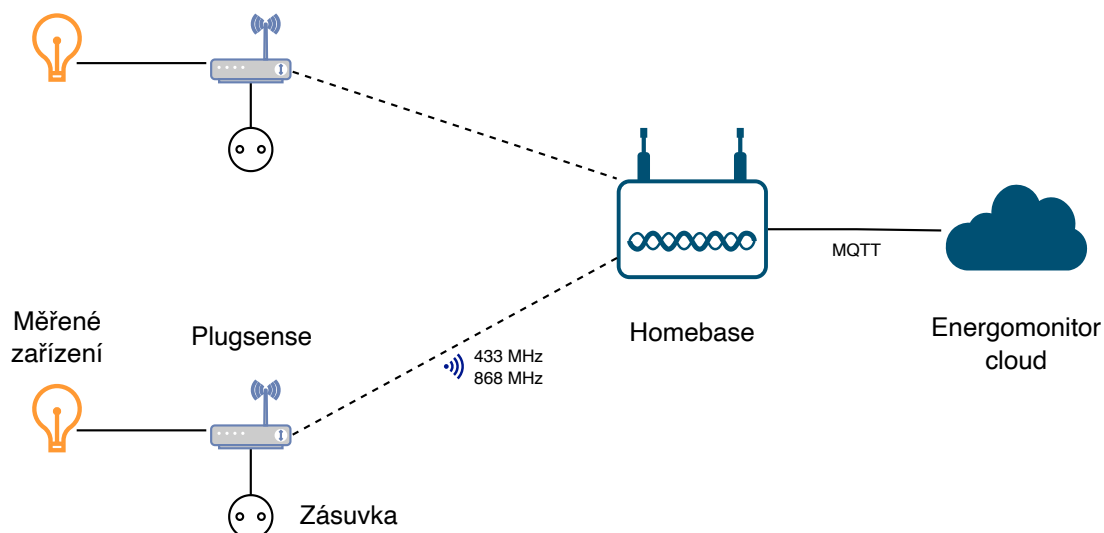
Obrázek 3.1: Schéma měření výkonu (voltmetr V pro měření elektrického napětí a ampérmetr A pro měření elektrického proudu)

Pro účely této práce využívám systém měření od firmy Energomonitor, který je popsán v následující kapitole.

3.1.1 Systém Energomonitor

Měření odběru zařízení, jež jsou součástí této práce, bude prováděno s využitím systému od firmy Energomonitor, která se zabývá kompletním řešením pro sledování různých parametrů odběru v domácnosti a zpracováním sledovaných dat v reálném čase. Z těchto zařízení

využiji to, které umožní sledovat odběr elektrické energie – Plugsense. Hlavním prvkem jejich řešení je centrální zařízení, které sbírá data z několika senzorů současně a následně nasbíraná data odesílá do úložiště cloud. Zde jsou data následně zpracovávána a uživateli dostupná v podobě reportů. Při ukládání dat do úložiště cloud se data předem zpracují a při jejich získání poskytuje informace o případných výpadcích či poruchách. V této práci s tímto řešením pracuji a využívám ho pro měření elektrické spotřeby.



Obrázek 3.2: Schéma zapojení Energomonitoru

Systém se skládá z centrální jednotky Homebase, ke které jsou bezdrátově (433 MHz a 868 MHz) připojeny sondy (obecná zařízení schopná měřit nejen elektrickou energii). Sondy jsou dle své charakteristiky připojeny ke sledovaným zařízením. Na obrázku 3.2 je jako sonda znázorněna chytrá zásuvka Plugsense, kterou budu využívat pro měření elektrického odběru. Sonda v reálném čase posílá centrální stanici monitorovaná data a stanice je pomocí protokolu MQTT odesílá do úložiště cloud. V úložišti cloud jsou data dostupná skrze webovou aplikaci (viz obrázek 3.4), nebo je lze získat pomocí API (viz kapitola 3.1.1).

Centrální stanice – Homebase

Značka:	Energomonitor
Název:	Homebase
Model:	EWG6
Komunikace s periferiemi:	433 MHz a 868 MHz
Protokol využívaný pro komunikaci s periferiemi:	proprietární protokol Chirp
Maximální počet připojených periferií:	30
Komunikace s úložištěm cloud:	LAN (RJ-45)
Běžný výkon:	do 2 W

Tabulka 3.1: Specifikace centrální stanice Homebase¹

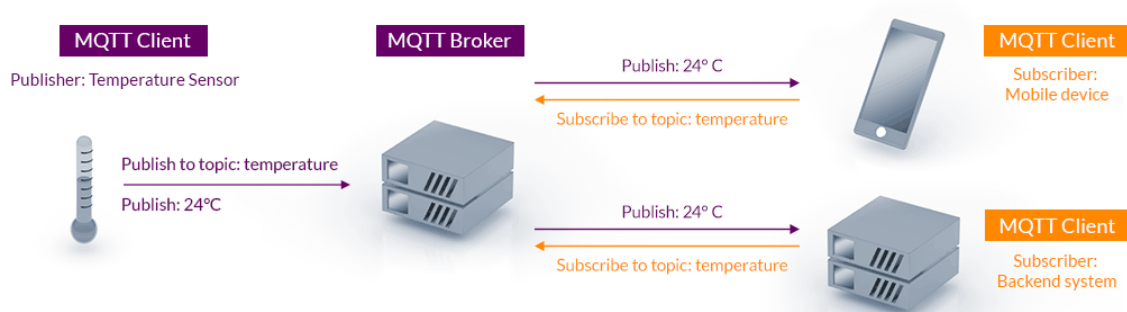
¹Specifikace centrální stanice Homebase – https://drive.google.com/file/d/14QQnpFE58PyWNio4TBHf_Z474LxJNqS8/view [20. října 2022]

Zařízení Homebase je centrálním prvkem pro sběr dat umístěný přímo v domácnosti, který data neanalyzuje, ale posílá je přes internet do vzdáleného úložiště cloud poskytovaného výrobcem. Ke stanici Homebase je možné připojit až třicet na sobě nezávislých měřících sond.

Komunikace mezi měřícími sondami a stanicí Homebase je realizováno pomocí dvou antén, které využívají odlišná frekvenční pásma (433 MHz a 868 MHz). Komunikace v síti mezi centrální stanicí a k ní připojených sond probíhá pomocí vlastního protokolu, který výrobce nespécifikuje a není možné ho pomocí běžných prostředků zjistit, a případně rozklíčovat pro další využití.

Homebase pro komunikaci s úložištěm cloud využívá protokol MQTT. Protokol MQTT² je standardizovaný komunikační protokol pro IoT zařízení. Tento protokol je v dnešní době používán v širokém spektru odvětví. Funguje na principu přihlašování se k odběru určitých událostí, na základě kterých bude od zprostředkovatele dostávat příslušné zprávy.³ Protokolem se v datech (v RFC definována pod označením payload) společně s označením senzoru posílají naměřené hodnoty v aktuálním čase. Úložiště cloud následně data analyzuje a uloží je do své databáze.

Jelikož se data posílají neustále a nejsou šifrovaná, lze informace získané z komunikace zpracovávat i k jiným účelům než je měření spotřeby a jejich předávání na cloud a následná tvorba statistik. Mezi případy dalšího využití patří například upozornění uživatele o výpadku napájení daného zařízení.



Obrázek 3.3: Schéma topologie MQTT (Převzato ze stránek MQTT³)

²Specifikace komunikačního protokolu MQTT – <https://mqtt.org/mqtt-specification/> [20. října 2022]

³Oficiální stránka MQTT – <https://mqtt.org> [20. října 2022]

Chytrá zásuvka – Plugsense

Značka:	Energomonitor
Název:	Plugsense
Model:	ESO5
Komunikace:	433 MHz a 868 MHz
Přesnost měření:	1 W
Rozptyl měření:	2 %
Komunikace:	433 MHz a 868 MHz
Výkon v zapnutém stavu:	1,5 W
Výkon ve vypnutém stavu:	0,5 W

Tabulka 3.2: Specifikace chytré zásuvky Plugsense⁴

Chytrá zásuvka Plugsense umožňuje měřit spotřebu připojeného zařízení. Zapojuje se jako mezičlánek mezi zásuvku a sledované zařízení. Zásuvka disponuje dvěma interními anténami využívající odlišná frekvenční pásma (433 MHz a 868 MHz) sloužícími pro komunikaci s centrální stanicí.

Sběrné úložiště – Cloud

Data odeslaná na cloud se na něm rozřazují k jednotlivým zaregistrovaným měřicím sondám, u kterých je možné si nastavit popis jako například co a v kde sledují. Data jsou následně ukládána do databáze. K datům je možné přistupovat pomocí proprietárního rozhraní API⁵, případně je možné data pro určité období exportovat ve formátech CSV a XLSX. Kromě externího zobrazování je možné si data prohlížet přímo v úložišti cloudu pomocí webové aplikace. Kromě jednoduchého procházení naměřených výsledků je možné porovnávat vybraná období mezi sebou.

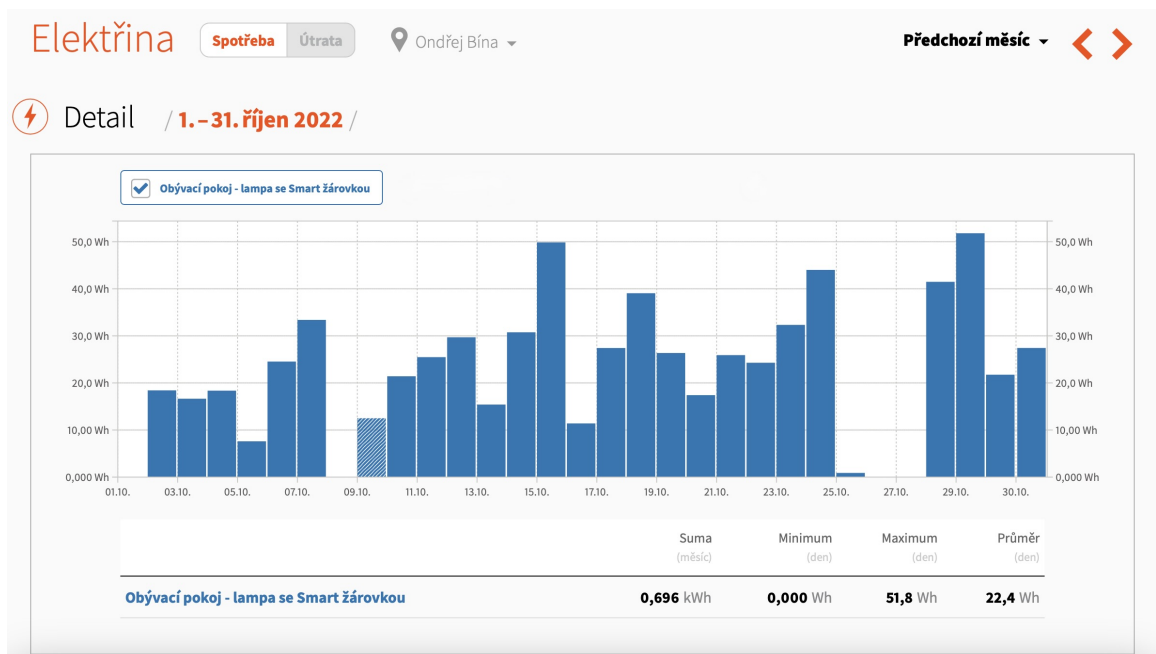
Přenos mezi centrální stanicí Homepage a úložištěm cloud

Data, která jsou posílána v komunikaci mezi centrální stanicí Homepage a úložištěm cloud pomocí protokolu MQTT, nejsou šifrovaná a lze je číst.

```
{
  "t": 1665326397,          // časová značka
  "f": 5,
  "u": "070004D4",
  "d": 7,
  "ch": 0,                 // kanál
  "e": 7,
  "v": 1,
  "s": [                  // naměřená data
    {
      "m": 20,             // typ měření
      "v": [17]           // hodnota
    }
  ]
}
```

⁴Specifikace chytré zásuvky Plugsense – https://drive.google.com/file/d/14QQnpFE58PyWNio4TBHf_Z474LxJNqS8/view [20. října 2022]

⁵Energomonitor – dokumentace API – viz <https://developers.energomonitor.com/api/> [20. října 2022]



Obrázek 3.4: Ukázka naměřených dat chytré žárovky v říjnu 2022 na úložišti Energomonitor cloud

```

    },
    {
      "m": 12,           // typ měření
      "v": [0]         // hodnota
    },
    {
      "m": 10,          // typ měření
      "v": [51]         // hodnota
    },
    {
      "m": 11,          // typ měření
      "v": [-49]        // hodnota
    }
  ]
}

```

Výpis 3.1: Ukázka protokolu dat posílaných mezi centrální stanicí Homebase a úložištěm cloud

Jak je v ukázce posílaných dat 3.1 vidět, data jsou sice čitelná, ale bez legendy z nich neplynou žádné informace. Pokud ovšem tato data spojíme do souvislosti se zpracovanými daty, která získáme z úložiště cloud, můžeme tak s využitím těchto hodnot odvodit legendu.

Parametr	Význam
t	Unixová časová značka v sekundách s časovým pásmem GMT (1665326397 => 9. října 2022 14:39:57 GMT)
ch	kanál centrální stanice Homebase, na kterém je sonda (ze které data pocházejí) připojena
s	skupina naměřených dat (jsou zpracována až u příjemce)

Tabulka 3.3: Legenda k přenosu mezi centrální stanicí Homebase a úložištěm cloud⁶

Ostatní parametry komunikace nelze odvodit, jelikož se jejich hodnoty ve webové aplikaci nezobrazují. Pro přiřazení dat k uživateli bude v komunikaci zapotřebí identifikátor, který jednoznačně identifikuje sběrnou stanicí a podle kterého se data následně přiřadí k uživateli. Jelikož se ale mezi odvozenými parametry takový parametr nevyskytuje, ze zbylých hodnot lze odvodit, že se k tomuto účelu využívá parametr `u`.

Použití API

Jedná se o klasické REST API. Autentizace je realizována pomocí tokenu `Bearer` posílaného v každém dotazu v hlavičce `Authorization`. Token je nutné předem vygenerovat v nastavení ve webové aplikaci Energomonitoru nebo pomocí koncového bodu pro vytváření tokenů. To se může hodit v případě, že API využíváme po delší dobu než 30 dní, což je maximální doba platnosti nově vygenerovaného tokenu.⁷

Získání autorizačního token

S využitím API endpointu `/authorizations` lze vytvořit nový autorizační token. Jelikož cílem tohoto endpointu je získat nový token, kdy uživatel nemusí mít starý, k autorizaci se zde na rozdíl od ostatních endpointů místo tokenu využívá klasická autorizace HTTP pomocí přihlašovacích údajů stejných jako do webové aplikace. Požadavek HTTP musí být typu `POST`, v těle obsahovat JSON s konfigurací obsahující:

- `note` – poznámka, se kterou se token uloží
- `resources` – zdroje, ke kterým bude mít uživatel využívající token oprávnění
- `valid_minutes` – doba platnosti tokenu v minutách (platnost tokenu musí být v rozmezí 0 - 30 dní)

Po odeslání požadavku se server dotáže na autorizaci, na kterou musí být klient schopen odpovědět. Tělo dotazu vypadá následovně.

```
{
  "note": "Token",
  "resources": [],
  "valid_minutes": 1440
}
```

Výpis 3.2: Příklad konfigurace pro Energomonitor API – `authorizations`

⁷Autorizace REST API Energomonitoru – <https://developers.energomonitor.com/api/endpoints/authorization/> [1. prosince 2022]

V příkladu není vyplněna položka `resources` – token tak bude mít všechna oprávnění. V odpovědi nalezneme vygenerovaný token `token`, uživatelské identifikační označení `user_id` a v položce `resources` položky, ke kterým token získal oprávnění.

Získání odběrových míst

Abychom mohli získat nějaká naměřená data, musíme specifikovat, z jakého odběrového místa mají být tato data získána. Odběrové místo můžeme zjistit buď z předchozího dotazu, kde jsme získali token s udělenými právy pro všechna odběrová místa (`feed`), nebo je můžeme získat pomocí dalšího endpointu. Pomocí endpointu `/users/{user_id}/feeds`, kde `user_id` získáme z webové aplikace nebo dotazu na autorizační token, získáme informace o všech odběrových centrech které jsou k účtu připojeny. Abychom tyto informace získali, musíme provést dotaz typem `GET` a přidat k dotazu hlavičku `Authorization` s autorizačním tokenem typu `Bearer`.

Získání sledovaných dat

Jakmile máme autorizační token a označení odběrového místa, můžeme získat sledovaná data pro určité období. Data získáme z endpointu `/feeds/{feed_id}/streams`. Dotaz odšleme `HTTP GET` požadavkem s `Bearer` tokenem v hlavičce a volitelnými parametry v těle. V parametrech je dobré upřesnit typ, časové rozmezí a kanál (kanál, ke kterému je připojena sonda na centrální stanici Homepage) – tělo může vypadat následujícím způsobem.

```
{
  "channel": 0,
  "type": "processed",
  "data_time_from": "2022-07-01T00:00:00.000000+00:00",
  "data_time_to": "2022-08-01T00:00:00.000000+00:00"
}
```

Výpis 3.3: Příklad konfigurace pro Energomonitor API – `authorizations`

3.2 Chytrá žárovka

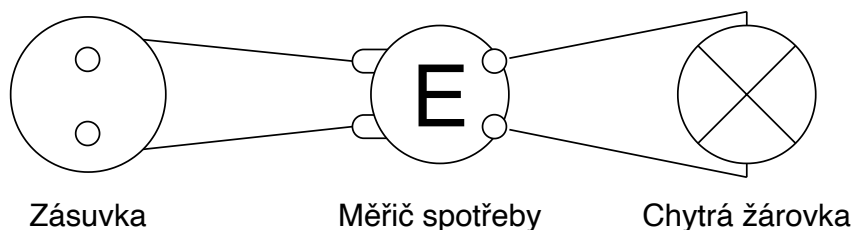
Chytré žárovky jsou v aktuální době jedním z nejrozšířenějších chytrých zařízení, které si člověk může domů pořídit. Jejich hlavní výhodou je snadná dostupnost a nízká pořizovací cena. Když hovoříme o pojmu chytrá žárovka, máme tím na mysli žárovku, která je bezdrátovou technologií připojena k samostatné řídicí jednotce, pomocí které se dají nastavovat její parametry. U žárovky to typicky bývá kromě přepínání stavů `on/off` také jas či barva vyzařovaného světla. Chytré žárovky z pravidla využívají technologii `LED` a jsou doplněny o mikrokontroler s bezdrátovým modulem, který je ovládá.

3.2.1 Chytrá Wi-Fi žárovka TP-Link

Značka:	TP-Link
Název:	Smart Wi-Fi LED Bulb
Model:	LB110
Komunikace:	2,4 GHz
Komunikační protokol:	IEEE 802.11b/g/n
Maximální jas:	800 lm
Výkon při uspání:	0,55 W
Běžný výkon:	10 W
Režimy:	manuální ovládání, ovládání pomocí kalendáře událostí

Tabulka 3.4: Specifikace chytré žárovky TP-Link Smart Wi-Fi LED Bulb⁸

Chytrá Wi-Fi žárovka TP-Link disponuje vlastní Wi-Fi, pomocí které se nastavuje a je přes ni připojena do sítě (potažmo pak k internetu), což umožňuje její ovládání pomocí mobilní aplikace. Oproti klasické žárovce LED zajišťuje tato aplikace především regulaci jasu. Kromě ruční regulace jasu žárovka podporuje i režim plánování, ve kterém je možné nastavit si akce pro daný den v týdnu a konkrétní čas. Dostupnými akcemi pro plánování jsou: zapnutí, vypnutí a nastavení jasu na určitou hodnotu. Každé akci se dá nastavit doba trvání, která se projevuje postupnou změnou jasu.



Obrázek 3.5: Schéma měření chytré žárovky pomocí měřiče spotřeby E

3.3 Chytrá termostatická hlavice

Běžná termostatická hlavice funguje na principu roztažnosti materiálů, kdy použitý materiál (často kapalina) spolu s pomocným mechanismem tlačí na tlakovou jehlu ventilu a tím reguluje množství teplé vody, která přitéká do topného tělesa. Oproti tomu chytré termostatické hlavice přímo nevyužívají k vlastní regulaci fyzických vlastností nějakého materiálu, ale obsahují mikrokontroler, který ovládá výstupní zařízení (píst či servo motor), které následně vyvíjí požadovaný tlak a reguluje tím ventil. Vstupní periferie, která umožňuje regulaci požadované teploty, může být umístěnou přímo na chytré termostatické hlavici, nebo bezdrátově či drátově připojena jako externí zařízení. Hlavice často umožňují připojení dalších čidel, jako je například čidlo otevřeného okna.

⁸Specifikace chytré žárovky TP-Link Smart Wi-Fi LED Bulb – <https://www.tp-link.com/us/home-networking/smart-bulb/lb110/> [20. října 2022]

3.3.1 Řešení od Honeywell

Firma Honeywell se mimo jiné zabývá také chytrou domácností a chytrými spotřebiči pro regulaci tepla. Ve své práci budu od tohoto výrobce využívat a sledovat spotřebu jejich chytré termostatické hlavice a řídicí jednotky, která hlavici dokáže ovládat.

Řídicí jednotka

Značka:	Honeywell
Název:	Řídicí jednotka Evohome Touch Wi-Fi
Model:	ATC928G3026
Napájení:	230 V, 2x dobíjecí AA baterie 1,5 V
Komunikace s úložištěm cloud:	2,4 GHz
Komunikace s periferiemi:	868 MHz
Režimy:	aktivní stav, klidový stav s uspaným displejem
Běžný výkon:	<i>není výrobcem uvedeno</i>

Tabulka 3.5: Specifikace řídicí jednotky Honeywell Evohome⁹

Řídicí jednotka k sobě má připojeno jedno či více chytrých zařízení, která dokáže ovládat a automaticky měnit jejich nastavení na základě nastaveného kalendáře. Konkrétně u tepelné hlavice (kterou budu tímto zařízením ovládat) dokáže regulovat požadovanou teplotu na základě denní doby.

Řídicí jednotka je napájena z elektrické sítě či z baterie. Baterie v zařízení jsou dobíjecí a slouží jako záložní zdroj při výpadku elektrického proudu či při potřebě se zařízením manipulovat mimo dokovací stanici. Pokud je zařízení připojeno k síti, baterie jsou dobity a zařízení je napájeno ze sítě.

Termostatická hlavice

Značka:	Honeywell
Název:	Bezdrátová termostatická hlavice
Model:	HR92EE
Napájení:	2x AA baterie 1,5 V
Komunikace:	868 MHz

Tabulka 3.6: Specifikace termostatické hlavice Honeywell Evohome¹⁰

Termostatická hlavice je napojena na řídicí jednotku, která jí bezdrátově posílá informace o preferovaném nastavení teploty v danou chvíli. Tato nastavení je možné přepsat manuálním nastavením na hlavici. Manuální nastavení na hlavici setrvává do další změny nastavení od řídicí jednotky.

U termostatické hlavice by bylo zajímavé kromě měření spotřeby elektrické energie sledovat i efektivitu spotřeby tepla při použití této hlavice oproti spotřebě tepla při použití

⁹Specifikace řídicí jednotky Honeywell Evohome – <https://www.evohome.cz/ridici-jednotka-evohome-touch-wi-fi-honeywell-atc928g3026/> [20. října 2022]

¹⁰Specifikace termostatické hlavice Honeywell Evohome – <https://www.evohome.cz/bezdratova-termostaticka-hlavice-honeywell-evohome-hr92ee/> [20. října 2022]

běžné hlavice. Při měření spotřeby tepla by bylo ideální využít dvoučidlový indikátor, který umožňuje sledovat množství tepla dodaného do místnosti¹¹. U tohoto typu měření ovšem nastává hned několik komplikací, které na sebe navazují. Hlavním problémem je, že uživatel nepotřebuje využívat radiátor stále stejně a frekvence využívání radiátoru se tak mění. Změny potřeby využívání jsou způsobeny změnou počasí a okolní teploty. Jelikož počasí a okolní teplotu není možné měnit, nelze tak stejnou potřebu využívání několikrát opakovat. Z tohoto důvodu by se měření muselo provádět zároveň v různých místnostech. Tyto místnosti by měly být kvůli výhřevnosti totožně velké. Dalšími parametry, které je potřeba sjednotit, je stejná míra zateplení – především stejná plocha stěn s venkovním okolím – a pozice této stěny vůči slunci, které místnost vyhřívá. Dodržením těchto doporučení při měření získáme data, která se budou dát objektivně porovnat.

3.4 Chytrá zásuvka

Chytré zásuvky se na rozdíl od dále zmiňovaných zástrček Plugsense (zařízení popsané v kapitole 3.1.1) nezabývají primárně měřením spotřeby zapojených zařízení, ale poskytují kontrolu nad elektrickým napájením připojených zařízení. Využitím takové chytré zásuvky můžeme z „hloupého“ zařízení udělat „chytré“.

3.4.1 Chytrá zásuvka TP-Link Smart Wi-Fi Plug

Značka:	TP-Link
Název:	Smart Wi-Fi Plug
Model:	HS100(EU)
Běžný výkon:	<i>není výrobcem uveden</i>

Tabulka 3.7: Specifikace chytré zásuvky TP-Link Smart Wi-Fi Plug

Chytrá zásuvka TP-Link Smart Wi-Fi Plug je schopná připojit se k Wi-Fi a pomocí mobilní aplikace sledovat čas aktivního provozu zařízení. Poskytuje kontrolu nad vypínáním a zapínáním připojení k elektrické síti připojeného zařízení. Tato funkcionality je realizována pomocí elektrotechnického relé. Jednou z vlastností relé, která by mohla být pro uživatele podstatná je, že relé funguje na principu fyzického pohybu kotvy pomocí elektrického magnetu, který při přepínání při styku s kotvou cvakne.

Jak je vidět na schématu realizace relé 3.6, po celou dobu sepnutí je nutné mít napájenou cívku, která vytváří magnetické pole přitahující kotvu. Tato cívka ovšem spotřebovává elektrickou energii, kterou bude muset uživatel dodávat.

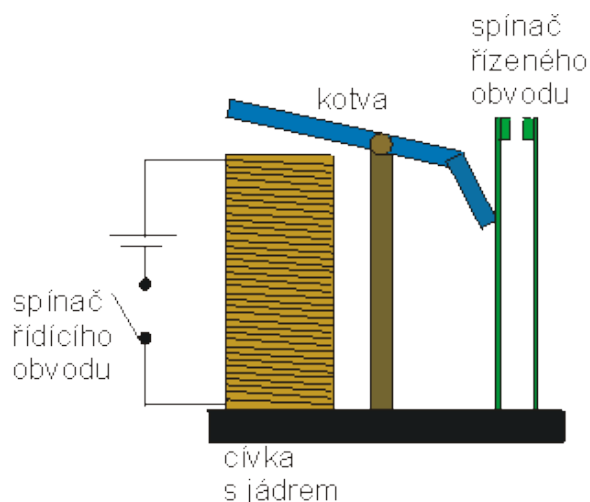
Jelikož chytrá zásuvka samotnému připojenému zařízení nepřidává žádnou funkcionality, která by ovlivnila jeho spotřebu, jediné navýšení spotřeby se bude týkat samotné chytré zásuvky.

3.5 Chytrá kamera

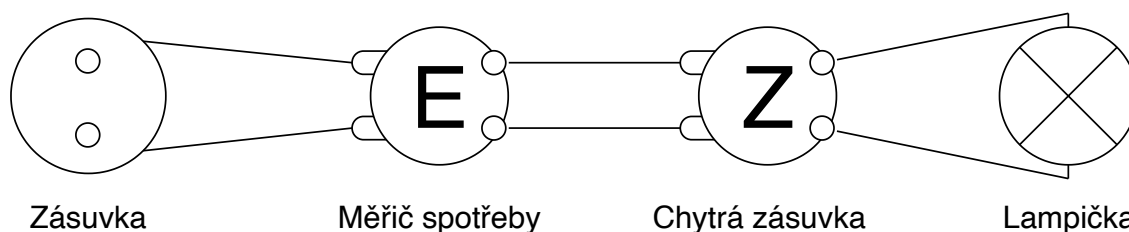
Chytré kamery v domácnostech jsou velmi podobné průmyslovým kamerám, oproti kterým se liší především tím, že nepotřebují centrální řídicí jednotku. Dokáží také v reálném čase

¹¹Viz například Metody měření tepla – <https://www.mereni-tepla.cz/mereni-tepla> [20. října 2022]

¹²Schéma realizace relé – zdroj viz http://elektross.gjn.cz/elmotor_magnet/rele.html [16. února 2023]



Obrázek 3.6: Schéma realizace relé¹²



Obrázek 3.7: Schéma měření chytré zásuvky Z pomocí měřiče spotřeby E

streamovat nahrávaný obraz, který si lze přehrát například v mobilní aplikaci. Právě pomocí této kamery lze často i ovládat pohyb a natočení kamery. Mezi další funkce, které může kamera mít je detekce pohybu, při které se může sepnout záznam nebo i odeslat upozornění do mobilních zařízení s nainstalovanou aplikací.

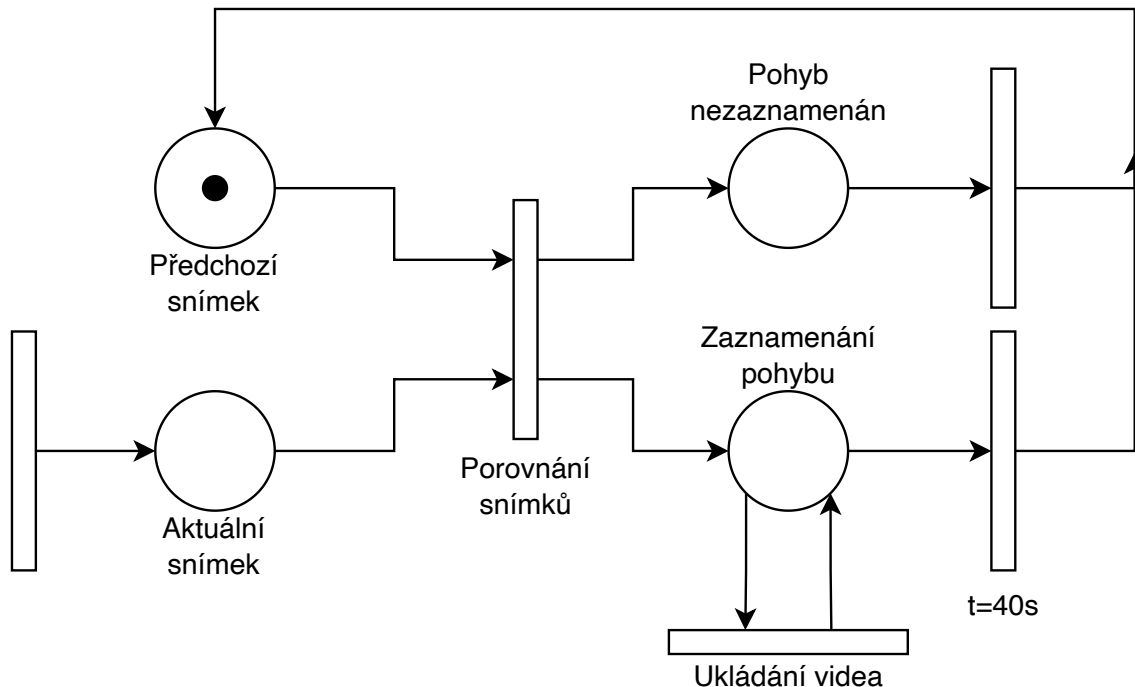
3.5.1 Bezdrátová Wi-Fi IP kamera

Značka:	Sonoff
Název:	Wi-Fi Wireless IP Security Camera
Model:	GK-200MP2-B
Komunikace:	2,4 GHz
Komunikační protokol:	IEEE 802.11b/g/n
Maximální výkon:	5 W
Režimy:	nepřetržitý záznam noční režim – IR detekce pohybu

Tabulka 3.8: Specifikace bezdrátová Wi-Fi IP kamery¹³

¹³Specifikace bezdrátová Wi-Fi IP kamery – uživatelský manuál a specifikace: <https://sonoff.tech/product-document/security-cameras-doc/gk-200mp2-b-doc/> [15. února 2022]

Bezdrátová Wi-Fi IP kamera disponuje mimo jiné režimem detekce pohybu a nočním viděním IR (noční vidění pomocí infračerveného záření). Oproti klasickému záznamu se v režimu detekce pohybu musí obraz neustále analyzovat, zda nedošlo k události (pohybu – změny obrazu), kterou je třeba zpracovat.



Obrázek 3.8: Petriho síť znázorňující chod kamery při detekci pohybu

Ve schématu na obrázku 3.8 je vidět, že vyhodnocování probíhá pravidelně. Obraz se nemusí vyhodnocovat snímek po snímku, ale je možné vyhodnocovat každý N-tý snímek, čímž se ušetří výpočetní výkon na úkor přesnosti. Vyhodnocování definované podmínky může mít vliv na výslednou spotřebu kamery. Z tohoto důvodu budu rozlišovat, jaký režim se v daném čase experimentu používá.

Kromě režimů nahrávání, které výkon žárovky mohou ovlivňovat, disponuje kamera ještě dálkovým ovládáním. Z mobilní aplikace se s kamerou dá pohybovat a měnit tak úhel jejího záběru jak ve vodorovné, tak ve svislé ose. Jelikož pro pohyb s kamerou se využívá motorek, který je aktivní pouze při jejím pohybu, vzniká tak zvýšený výkon jen v tento moment. Při měření se zaměřím i na takto zvýšený výkon.

3.6 Shrnutí

V této kapitole jsou specifikována jednotlivá chytrá zařízení, u kterých jsem v práci sledoval jejich spotřebu v různých režimech. Mezi společnou vlastnost těchto zařízení patří připojení k internetu pomocí bezdrátové technologie Wi-Fi o frekvenci 2,4 GHz. U některých zařízení výrobce nespecifikuje jejich běžný výkon či spotřebu.

Kapitola 4

Testovací prostředí

Jelikož zařízení používaná v této práci se nejčastěji využívají v domácnosti, zvolil jsem proto domácnost jako prostředí pro provádění experimentů. V domácnosti nahradím stávající zařízení za jejich chytré alternativy a budu provádět experimenty, během kterých budu sledovat odběr elektrické energie.

Měření spotřeby elektrické energie všech zařízení budu provádět pomocí měřicího systému Energomonitor (viz kapitola 3.1.1). Jak je v topologii zapojení používaných zařízení (obrázek 4.1) znázorněno, všechna naměřená data se budou ukládat do úložiště Energomonitoru (cloud) a budou tam všechna dostupná na jednom místě. Pro všechna měření budu využívat stejná měřicí zařízení, případná vzájemná porovnání nasbíraných dat. Tak budou data objektivní a nebudou záviset na rozdílných vlastnostech měřičů. Data přicházející do úložiště cloud, kde jsou dále před uložením do databáze zpracována. Uložená zpracovaná data je možné exportovat v různých formátech, viz kapitola 3.1.1. Pro další zpracování a analýzu měřených dat je budu exportovat ve formátu CSV.

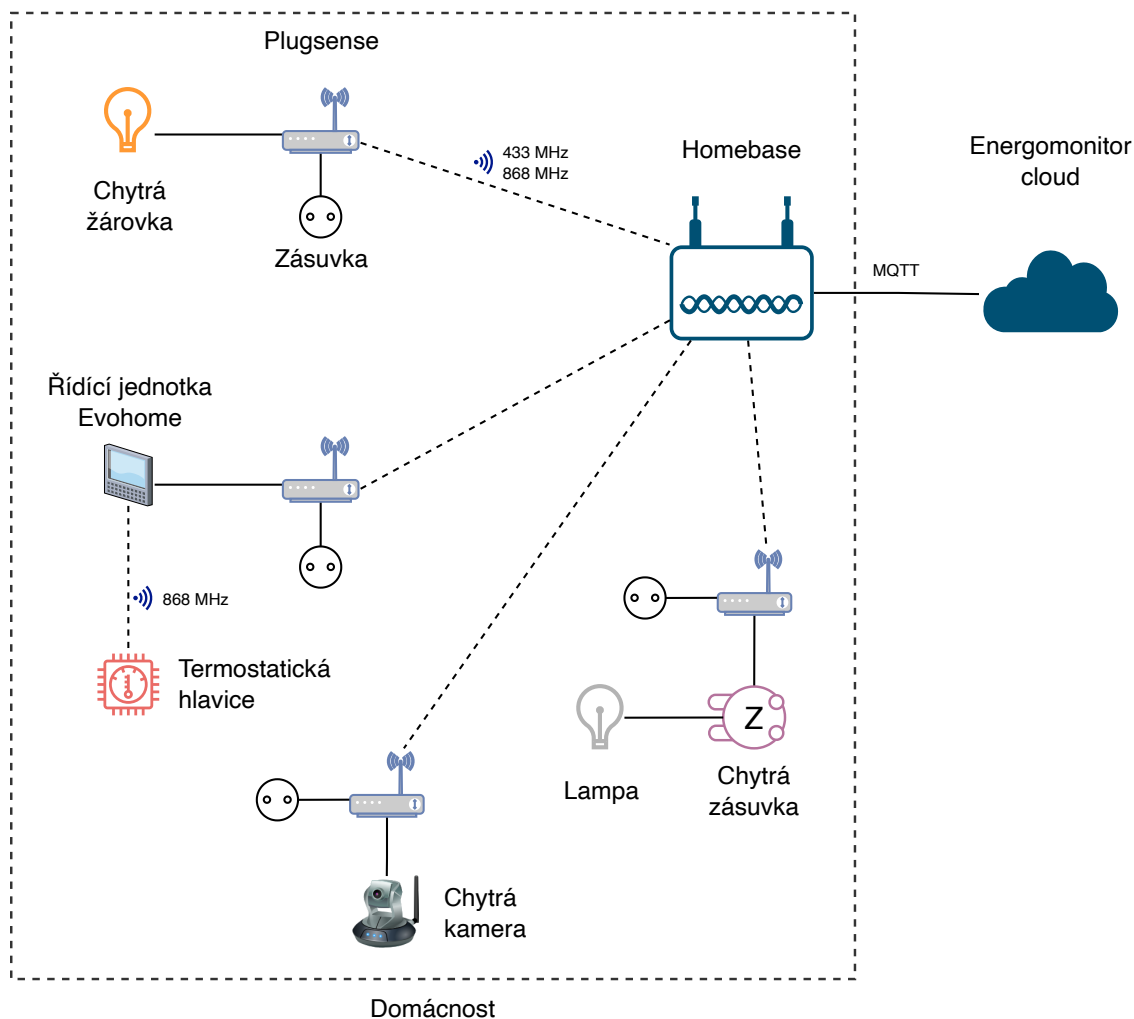
4.1 Měření

Pro měření jsem připravil centrální stanici Homebase – nainstaloval ji a připojil ke svému účtu ve webové aplikaci Energomonitor, kam se budou nasbíraná data posílat, a kde se budou uchovávat. Následně pro odběr musím k centrální stanici připojit k příslušným kanálům chytré zásuvky Plugsense, které budou sledovat spotřebu elektrické energie připojených zařízení.

Měření každého z experimentů bude probíhat po předem stanovenou dobu. Během této doby se kvůli objektivitě bude zařízení využívat pouze v rámci popsaného scénáře specifikovaného experimentem.

Data naměřená v experimentech budu porovnávat vůči spotřebě původních „hloupých“ zařízení. Mimo to budu také porovnávat data naměřená v jednotlivých experimentech jednotlivých zařízení mezi sebou.

Experimenty budu provádět se zařízeními, jenž jsem podrobně popisoval v kapitole 3. V tabulce 4.1 se nachází souhrn testovaných zařízení a jejich základní specifikace dle výrobce.



Obrázek 4.1: Topologie zapojených chytrých zařízení v testovacím prostředí

Zařízení	Běžný výkon	Komunikace
Chytrá Wi-Fi žárovka TP-Link	10 W	2,4 GHz
Chytrá termostatická hlavice Honeywell s centrální stanicí	<i>není výrobcem uveden</i>	868 MHz a 2,4 GHz
Chytrá zásuvka TP-Link Smart Wi-Fi Plug	<i>není výrobcem uveden</i>	2,4 GHz
Chytrá Wi-Fi IP kamera	<i>není výrobcem uveden</i>	2,4 GHz

Tabulka 4.1: Přehled testovaných zařízení

4.1.1 Chytrá žárovka

Vzhledem k možnosti nastavování jasu, který se bude projevovat na spotřebě, nastává otázka, jakým způsobem spotřebu měřit, a jak nasbíraná data následně zpracovávat. V této práci se budu zabývat jak měřením běžné spotřeby žárovky v manuálním režimu, tak měřením spotřeby při chodu na plně automatický režim v podobě plánování. Pro měření jsem

naplánoval dva scénáře. První experiment se zabývá měřením spotřeby při manuálním používání. Druhým experimentem je měření spotřeby při automatickém zapínání a vypínání žárovky s konstantní hodnotou jasu.

Oba experimenty budu porovnávat se spotřebou klasické žárovky LED. Jelikož i různé klasické žárovky LED mají rozdílné charakteristiky a tím i spotřebu, objektivnost porovnání s různými žárovkami nemusí být stejná. Z tohoto důvodu jako klasickou žárovku LED použiji tu, která byla v lampě před instalací chytré. Tato žárovka uživateli pro běžné používání domácnosti stačila a budu se tak porovnávat jen rozdílné vlastnosti, které uživatel získal právě instalací chytré žárovky. Zvolená klasická žárovka je žárovka Philips se svítivostí 470 lumenů – což je o 70 lumenů více než polovina maximální svítivosti sledované chytré žárovky. (maximální svítivost použité chytré žárovky: 800 lm)

Testovací měření

Jakmile je zapojena měřící sada, provedu testovací měření. Po dobu jedné hodiny naměřím testovací data spotřeby žárovky ve stavech: vypnuto, 1 % svítivosti (minimum), 25 % svítivosti, 50 % svítivosti, 75 % svítivosti, 100 % svítivosti (maximum).

Stav	Výkon
vypnuto	0 W
1% svítivost (minimum)	1 W
25% svítivost	3 W
50% svítivost	6 W
75% svítivost	8 W
100% svítivost (maximum)	10 W

Tabulka 4.2: Výsledky testovacího měření chytré žárovky

Nyní změřím spotřebu zvolené klasické žárovky LED se stejným zapojením jako u chytré – nainstaluji klasickou žárovku namísto chytré.

Stav	Výkon
vypnuto	0 W
zapnuto	6 W (shodné se specifikací výrobce)

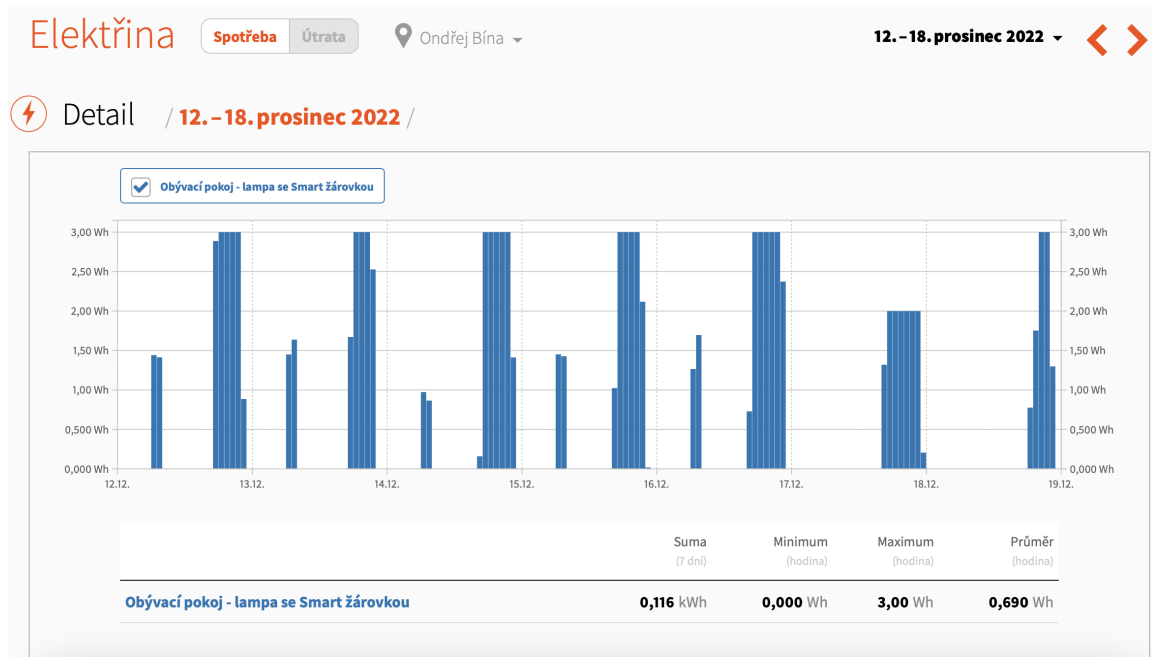
Tabulka 4.3: Výsledky testovacího měření klasické žárovky LED

Experiment 1 – manuální používání

V tomto experimentu jsem sledoval výkon chytré žárovky (specifikace žárovky viz kapitola 3.2.1) při používání v manuálním režimu. S ohledem na výkyvy využívání světla uživatelem je nutné měření provádět po delší dobu. Z tohoto důvodu jsem měření prováděl po dobu dvou měsíců, ze kterých jsem vybral metodou mediánu „nejběžnější týden“.

Jelikož naměřená data porovnávám s klasickou žárovkou LED, potřebuji i u ní dostat měření se stejnou frekvencí využívání. Jako řešení se nabízí stejný experiment zopakovat podruhé s klasickou žárovkou. Využití takového postupu by ale bylo značně nepřesné a neobjektivní vzhledem k měnící se potřebě uživatele svítit. Z tohoto důvodu využiji naměřenou frekvenci využívání z měření výkonu chytré žárovky a na místo původní spotřeby v

časových blocích dosadím hodnoty naměřené při krátkodobém testovacím měření klasické žárovky LED.



Obrázek 4.2: Ukázka naměřených dat spotřeby chytré žárovky za období 12. - 18. prosince 2022

Na měřených datech (jejichž část je znázorněna na obrázku 4.2) je vidět, že uživatel v různých časových intervalech dne preferuje jinou intenzitu jasu žárovky, která se následně projevuje na množství spotřebované elektrické energie. Aktuální výkon žárovky tak není konstantní po celou dobu provozu, ale v průběhu se mění.

Experiment 2 – automatický režim

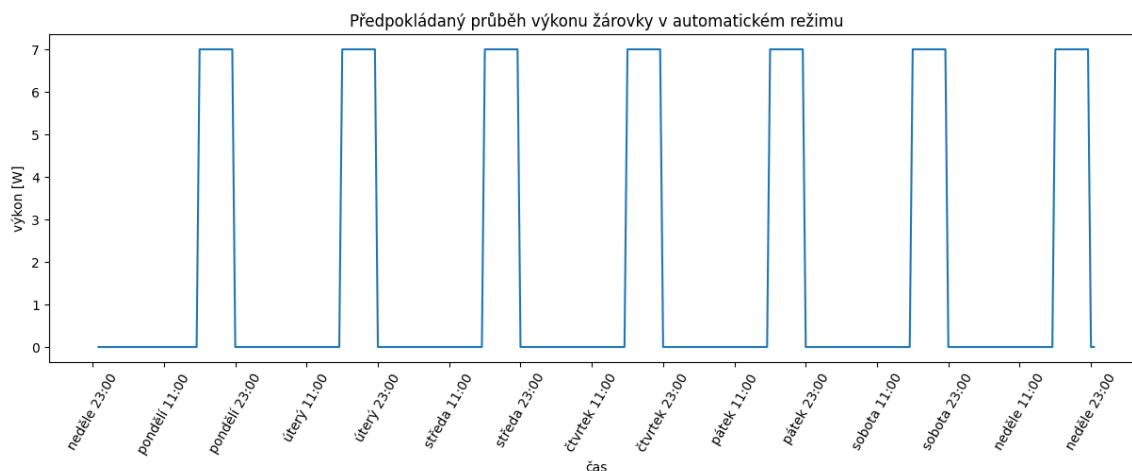
V tomto experimentu budu sledovat výkon chytré žárovky nastavené do automatického režimu. Automatický režim žárovky je takový režim, ve kterém se nařednuje, jak se má žárovka v průběhu dnů v týdnu chovat (kdy se má zapnout, kdy nastavit na jakou úroveň a kdy vypnout) a není tak přímo vyžadována interakce uživatele.

Měření automatického režimu žárovky má oproti měření manuálního výhodou v tom, že má pevně nastavený rozvrh. Díky tomu stačí provést měření jedné periody nastaveného rozvrhu, z čehož se dá vypočítat přesná spotřeba pro delší období. Při sledování je potřeba se zaměřit na výkon při spínání, při zapnutém stavu a při vypínání. Ve všech těchto stavech je předpoklad, že výkon bude stejný jako v klidovém stavu při stejném procentuálním nastavení svítivosti. Ovšem obzvláště při spínání a vypínání je potřeba zkontrolovat, že tomu tak opravdu je.

Pro porovnání s klasickou žárovkou využiji podobný postup jako v experimentu 1. Jelikož ovšem v tomto experimentu už předem znám frekvenci využívání, která je v nastavení žárovky, využiji ji pro dosazování hodnot elektrické spotřeby klasické žárovky LED.

Pro měření je nutné si předem zvolit vhodný kalendář, který bude co nejvíce korespondovat s frekvencí využití žárovky při manuálním režimu testovaném v experimentu 1. Ze zmíněného experimentu lze vyčíst, že uživatel žárovku zapínal vždy večer kolem šesté ho-

diny a vypínal přibližně o půl jedenácté v noci. V tomto režimu budu počítat spotřebu automatického režimu. Průběh výkonu zařízení v čase po dobu jednoho týdne je znázorněn v grafu 4.3.



Obrázek 4.3: Předpokládaný průběh výkonu žárovky v automatickém režimu v období jednoho týdne

Při nastavování do automatického režimu je nutné nastavit, na jakou hladinu svítivosti se má žárovka rozsvěcet. Jelikož maximální svítivost chytré žárovky je 800 lumenů a klasické žárovky, se kterou budu měření porovnávat, je 470 lumenů, pomocí přímé úměry spočítám procentuální hodnotu nastavení svítivosti chytré žárovky při normální svítivosti klasické žárovky.

$$\frac{470 \text{ lm} * 100 \%}{800 \text{ lm}} = 58,75 \%$$

Jelikož svítivost lze nastavovat pouze v celých procentech, výsledek zaokrouhlím na 59 %, při kterých budu měření provádět. Při tomto nastavení jsem rozsvítil žárovku pomocí nastaveného rozvrhu. Při sledování výkonu jsem zjistil, že žárovka má při sepnutí, ve statickém stavu i při vypnutí stabilní hodnotu 7 W.

4.1.2 Chytrá termostatická hlavice

Řídící jednotku společně s termostatickou hlavici nainstaluji a nastavím tak, aby byly schopné běžného provozu – hlavici nainstaluji na radiátor, na řídicí jednotce zvýším teplotu na takovou hodnotu, při které by hlavice měla sepnout (například teplota v místnosti navýšená o 10 °C) a sleduji zda se tak stane (sepnutí zaznamenám podle zvuku – motorek začne pracovat). Při měření se zaměřím na odečet spotřeby nejen prvků zapojených do elektrické sítě (centrální jednotky), ale i zařízení napájených z baterie (termostatická hlavice). Měření spotřeby elektrické energie termostatické hlavice se skládá ze dvou částí – spotřeba řídicí jednotky připojené do elektrické sítě a spotřeba samotné termostatické hlavice napájené z baterií. Měření rozdělím na dvě části: centrální stanice a termostatická hlavice. Naměřené informace při analýze a výpočtu nákladů spojím do jednoho.

Testovací měření

U tohoto testovacího měření budu sledovat výkon pouze u centrální stanice, jelikož termostatická hlavice je napájena z baterií a výkon se tak nedá jednoduše pomocí běžně dostupných prostředků změřit. Centrální stanice má dva režimy. Aktivní režim, kdy s ní uživatel pracuje, a ze kterého následně přechází po uživatelem nastavené době (nastavil jsem 30 sekund) do režimu sleep.

Stav	Výkon
Aktivní:	1 W
Uspaná:	1 W

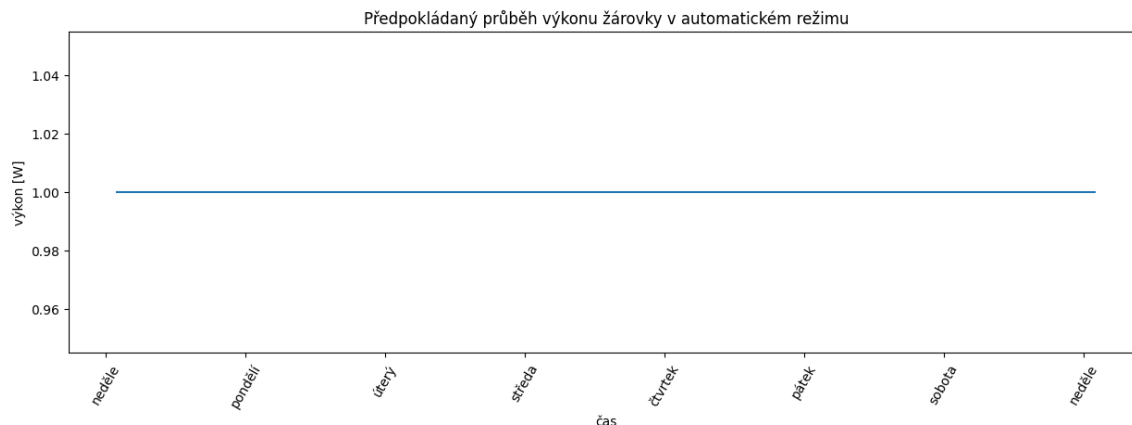
Tabulka 4.4: Výsledky testovacího měření centrální stanice Honeywell

Naměřená data ukazují, že stanice má v obou režimech stejný výkon. To může mít dvě příčiny – buď režim sleep stanice není uzpůsoben pro nižší výkon, nebo je rozdíl mezi režimy tak malý, že není v technických možnostech sondy Plugsense tento výkon změřit.

Experiment 1 – centrální stanice

V tomto experimentu budu sledovat aktuální výkon centrální stanice. Aby bylo měření co nejpřesnější, stanici budu využívat bez baterií, jejichž přítomnost v zařízení není k základnímu chodu nezbytně nutná. Tím se zároveň vyhnu ovlivnění výsledku měření, do kterého by bylo započítáno nabíjení baterií, jejich samovolné vybíjení a ztráty s tím spojené.

Řídící jednotce nastavím rozvrh, podle kterého bude tepelná hlavice regulovat stavy radiátoru. V kalendáři nastavím změnu teploty dvakrát denně a to ráno a večer, kdy se teplota nejčastěji mění – v noci je požadovaná teplota jiná než přes den. Denní teplota se odvíjí od dnu v týdnu, kdy během pracovních dní je domácnosti prázdná na rozdíl od víkendů. Definování hodnot jako jsou časy změn a hladina teploty v této práci nejsou z hlediska spotřeby podstatné. Důležitá v tomto experimentu je četnost změny, která má vliv na spotřebu u centrální stanice (aktivace vysílače, vyslání změny) a u termostatické hlavice četnost změny polohy na jehlicového ventilu (motorek, který ventil reguluje, je aktivní při změně hodnoty, při čemž spotřebovává více elektrické energie). Měření jsem prováděl po dobu jednoho týdne v průběhu zimního období.



Obrázek 4.4: Výkon centrální stanice Honeywell Evohome v týdnu

Z naměřených dat jsem zjistil, že výkon centrální stanice je po celou dobu provozu konstantní v hodnotě 1 W (viz graf 4.4). Nad rámec experimentu jsem také testoval, zda se frekvence změny teploty během dne projeví na spotřebě – změnu požadované teploty jsem nastavil v intervalu jedné hodiny. Při tomto nastavení byl výkon zařízení stále konstantní při hodnotě 1 W, z čehož vyplývá, že výkon není měřitelně závislý na frekvenci změn teplot. Jelikož nebyly naměřené žádné změny výkonu při změně teploty, je otázka, jestli centrální stanice neslouží jen pro změny nastavení, které se po uložení odešlou do termostatické hlavičky, která následně funguje samostatně (chod termostatické hlavičky by se tak s kalendářem dal provozovat i bez centrální stanice). Tento faktor jsem ověřil způsobem, že jsem centrální stanici odpojil od termostatické hlavičky, na které jsem následně sledoval, zda se na ní změnil požadovaná teplota dle dříve nastavených preferencí. Teplota se nezměnila, z čehož vyplývá, že je funkčnost hlavičky závislá na spojení s centrální stanicí.

Experiment 2 – termostatická hlavička

V tomto experimentu budu sledovat výkon termostatické hlavičky v režimu, kdy hlavička přijímá informace o změně teplot (změna teploty dvakrát denně) od centrální stanice. Jelikož je napájení chytré termostatické hlavičky realizováno skrze dva bateriové články typu AA, nezajímá nás až tolik, jakou má hlavička spotřebu, ale jak dlouho v ní baterie vydrží a kolik bude uživatele stát pořízení takových baterií.

Měření kapacity baterií je díky jejich charakteristice ovšem poměrně komplikovaná záležitost. Způsob měření zbytkové a spotřebované kapacity bateriových článků, dle kterého jsem postupoval, je popsán v kapitole 2.1. Experiment probíhal po dobu 6 měsíců – od 1. října 2022 do 31. března 2023. Pro napájení jsem využil dvě baterie Varta LongLife Power typu AA, u kterých výrobce uvádí celkovou kapacitu 2970 mAh¹.

Na konci experimentu jsem vyjmul baterie z chytré termostatické hlavičky a zapojil měřicí aparaturu. K zařízení pro měření zbytkové kapacity je nutné připojit kromě sledované baterie vybíjecí rezistor, který bude vytvářet zátěž na baterii. Tužkové baterie jsou při stálém napětí schopny po delší dobu dodávat proud o velikosti desítek miliampér. Napětí na baterii bude sloužit jako ukazatel stavu baterie a z toho důvodu na ni musím naložit přiměřenou zátěž. Pokud bych na baterii připojili zařízení konzumující stovky miliampérů, napětí na baterii by rychle uměle kleslo. Takový pokles napětí ovšem není trvalý a baterie se po čase opět samovolně „vzpamatuje“. Z tohoto důvodu musím zvolit rezistor o přiměřeném odporu. Měřená baterie má normální napětí 1,5 V, z čehož pomocí Ohmova zákona spočítám, že aby baterie dodávala proud přibližně 15 mA, musíme k ní připojit rezistor o přibližné velikosti 100 ohmů. Po sestavení takovéto aparatury je potřeba zvolit napětí konce vybíjení. Vzhledem k potřebě rozpohybovat motorek, proti kterému půjde určitá síla, jsem zvolil napětí 1,2 V. Při této konfiguraci jsem spustil měření postupně na obou bateriích, ze kterých mi vyšla průměrná zbytková kapacita 616 mAh.

4.1.3 Chytrá zásuvka

Vzhledem k základní charakteristice tohoto zařízení není potřeba provádět měření po delší dobu. Dlouhodobá spotřeba se vypočítá z krátkodobých jednorázových měření. Pro měření jsem zvolil dva scénáře: měření spotřeby v klidovém stavu při vypnutém zařízení a měření spotřeby v klidovém stavu při zapnutém zařízení. U druhého experimentu budu sledovat

¹Specifikace baterií Varta LongLife Power – <https://docs.rs-online.com/da5b/0900766b81689431.pdf> [5. prosince 2022]

výkon chytré zásuvky při několika úrovních zátěže, jelikož i od toho se spotřeba chytré zásuvky může odvíjet. S výsledky těchto měření a stanovenou frekvencí využívání zařízení bude možné vypočítat spotřebu pro dané období.

Abych změřil spotřebu při reálném používání s připojeným zařízením, pro měření spotřeby samotné chytré zásuvky budu potřebovat znát spotřebu připojeného zařízení. Nejdříve změřím spotřebu samotného zařízení, které budu do chytré zásuvky zapojovat. Následně budu měřit spotřebu pro dané scénáře chytré zásuvky se zapojeným zařízením. Výkon chytré zásuvky vypočítám odečtením naměřeného výkonu samotného připojeného zařízení od celkového naměřeného výkonu pro daný scénář. Zapojení je realizováno dle schématu 3.7. Zařízení, která budou vytvářet požadovanou zátěž, budu volit tak, aby jejich výkon byl stabilní a v mých měřeních tak nevznikly odchylky.

Testovací měření

Abych ověřil správné zapojení a funkčnost topologie, provedl jsem testovací měření výkonu samotné zásuvky bez připojeného zařízení.

Stav	Výkon
Zapnuto:	2 W
Vypnuto:	1 W

Tabulka 4.5: Výsledky testovacího měření chytré zásuvky bez připojeného zařízení

Vzhledem k topologii zapojení sestavy chytré zásuvky v této práci, naměřené hodnoty budou zahrnovat i výkon připojeného zařízení, což je v tomto experimentu nechtěná odchylka, kterou musím od naměřené hodnoty odečíst. Pro použití v následujících experimentech jsem si změřil výkony jednotlivých zařízení, která budu ke sledované zásuvce připojovat. Zařízení jsem vybíral tak, aby jejich výkon byl různý a pokrýval co nejvyšší rozsah.

Zařízení	Výkon
Žárovka	5 W
Dobíjení notebooku	31 W
Halogenová žárovka	107 W
Infra lampa	161 W
Topinkovač	920 W
Rychlovarná konvice	2245 W

Tabulka 4.6: Přehled připojovaných zařízení a jejich výkonu

Experiment 1

V tomto experimentu budu sledovat výkon chytré zásuvky, která dodává elektrické napájení připojeným zařízením. Postupně jsem tato zařízení jednotlivě připojoval k chytré zásuvce a sledoval jejich společný výkon při zapnutém režimu této zásuvky. Naměřené hodnoty zahrnují i výkon připojených zařízení, který známe. Do tabulky přehledu naměřených hodnot 4.7 jsem zapsal již vypočítaný výkon samotné chytré zásuvky.

Připojené zařízení	Výkon samotné zásuvky
žádné	2 W
Žárovka	2 W
Dobíjení notebooku	2 W
Halogenová žárovka	4 W
Infra lampa	5 W
Topinkovač	7 W
Rychlovarná konvice	25 W

Tabulka 4.7: Výsledky měření zapnuté chytré zásuvky

Experiment 2

V tomto experimentu budu sledovat výkon chytré zásuvky, která zamezuje přísunu elektrické energie připojeným zařízením. Postupně jsem vybraná zařízení připojoval k chytré zásuvce a sledoval výkon při vypnutém režimu této zásuvky. Jelikož v tomto režimu nemají být připojená zařízení zapnutá, na rozdíl od experimentu 1, nebudu od naměřeného výkonu odečítat výkon daných zařízení.

Připojené zařízení	Výkon samotné zásuvky
žádné	1 W
Žárovka	1 W
Dobíjení notebooku	1 W
Halogenová žárovka	1 W
Infra lampa	1 W
Topinkovač	1 W
Rychlovarná konvice	1 W

Tabulka 4.8: Výsledky měření vypnuté chytré zásuvky

4.1.4 Chytrá kamera

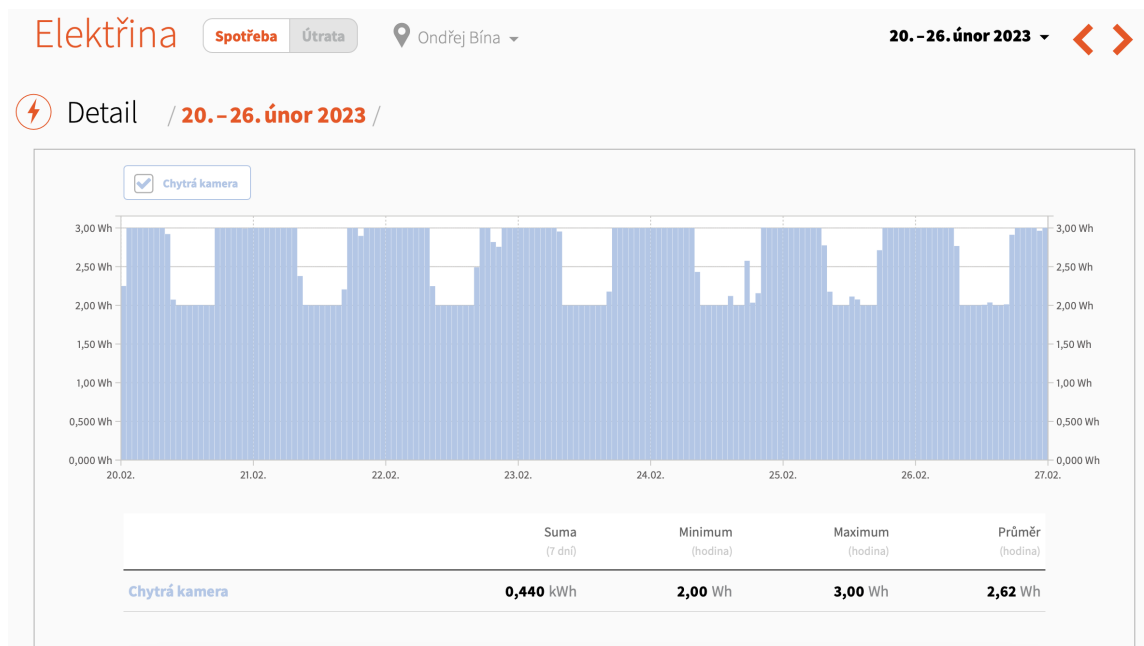
Kamera disponuje několika režimy, které mezi sebou přepíná automaticky. Z tohoto důvodu budu po dobu dvou týdnů měřit spotřebu této chytré kamery v čase a podle aktuálního výkonu následně odvodím, do jakého režimu a při jakých podmínkách se kamera přepnula. Svá tvrzení následně otestuji, zda jsou správná. Hlavními režimy, na které se zaměřím, jsou detekce pohybu, noční vidění IR a pohyb kamery. Pro měření stanovím dva experimenty. Prvním bude nepřetržité nahrávání, během kterého budu sledovat změny výkonu při pohybu kamerou. Druhý experiment bude kopírovat první, ale s tím rozdílem, že nahrávání bude zapnuto na základě detekce pohybu.

Testovací měření

Před prováděním samotného experimentu je nutné ověřit funkčnost kamery a měřícího prostředí. Při testovacím měření jsem naměřil výkon 2,23 W. Tento výkon je oproti výkonu uváděnému výrobcem (5 W – viz specifikace kamery v kapitole 3.5.1) znatelně nižší. Testovací měření jsem proto provedl opakovaně s podobnými výsledky. Proto tuto hodnotu považuji za správnou a s podobnými hodnotami budu počítat i experimentech.

Experiment 1 – nepřetržitý záznam

V tomto experimentu budu sledovat výkon chytré kamery při nepřetržitém záznamu. Během tohoto experimentu budu s kamerou i otáčet. Při těchto akcích budu zaznamenávat datum a čas, abych v naměřených datech viděl, jak se hodnoty změnily. V kameře je vložena SD karta, na kterou je nastaveno nepřetržitě ukládání. Experiment probíhal po dobu jednoho týdne – 20. - 26. února 2023.



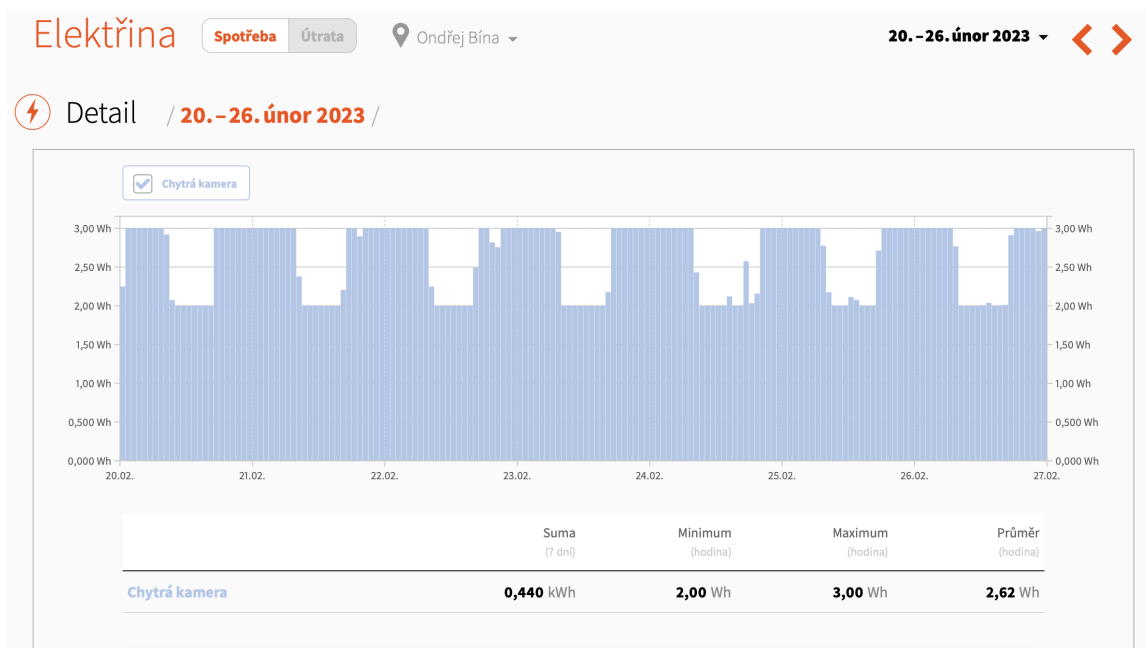
Obrázek 4.5: Výkon sledované kamery v průběhu experimentu 1

Na naměřených datech znázorněných grafem na obrázku 4.5 je vidět, že spotřeba kamery se pohybovala mezi dvěma a třemi watt hodinami, což v přepočtu odpovídá výkonu dvěma až třem wattům. Během dne se výkon pohyboval kolem dvou wattů a k večer se vždy zvedl na tři. V rámci experimentu jsem sledoval i změnu výkonu při pohybech s kamerou. Při detailním zobrazení dat v časech, kdy bylo s kamerou pohybováno, je vidět, že se její aktuální výkon zvedl až o 0,20 W. Tato změna je vzhledem k charakteru četnosti zanedbatelná a z toho důvodu ji při výpočtu celkové spotřeby za rok budu zanedbávat.

Experiment 2 – detekce pohybu

Tento experiment bude probíhat stejně jako předchozí, ale s tím rozdílem, že nebude zaznamenávat po celou dobu, ale záznam bude spuštěn při detekci pohybu. V režimu detekce pohybu musí kamera v reálném čase zpracovávat vstupní obraz. U této operace je předpoklad, že zařízení bude mít vyšší výkon, čímž se zvedne celková spotřeba. Experiment probíhal po dobu jednoho týdne – 27. února - 5. března 2023.

Na naměřených datech znázorněných grafem na obrázku 4.6 je vidět, že výkon kamery s aktivovanou detekcí pohybu se nijak zvláště výrazně od předchozího experimentu neliší (naměřené hodnoty spotřeby jsou téměř totožné). Drobnou změnou ovšem je, že při detekování pohybu se jednorázově zvedne výkon o 0,2 W, což ovšem na celkovou spotřebu nemá



Obrázek 4.6: Výkon sledované kamery v průběhu experimentu 2

výrazný vliv. Příčinou zvýšení výkonu je přepnutí kamery do režimu zápisu na SD kartu a režie spojené s tím.

4.2 Shrnutí

Tato kapitola se zabývá měřením výkonu a spotřeby jednotlivých chytrých zařízení v jejich různých režimech. U zařízení která nejsou přímo připojena do elektrické sítě a jsou napájena z bateriových článků bylo nutné použít alternativní metodu měření – měření zbytkové kapacity, která není tak přesná jako přímé měření, ale pro účely experimentu je to dostatečné.

Kapitola 5

Analýza naměřených dat

V této kapitole analyzuji výsledné hodnoty z experimentů chytrých zařízení, jejich průběh je popsán v kapitole 4.1. Při analýze je mým cílem zjistit přibližnou cenu za provoz vybraných zařízení v domácnosti a porovnat jejich spotřebu s jejich „hloupými“ předchůdci. Spotřebovanou elektrickou energii tedy převádím i na tomu odpovídající přibližnou cenu. K tomu potřebuji cenu elektrické energie, za kterou je uživatel schopen ji nakoupit. Jako tuto hodnotu jsem zvolil cenu 5,80 Kč za kWh – cena, za kterou nakupuje elektrickou energii má domácnost.

Data, ze kterých vycházím, jsem si exportoval ve formátu CSV z úložiště cloud Energomonitoru. Tato data následně zpracovávám pomocí nástroje Jupiter Notebook a knihovnamí Matplotlib¹, pandas², scikit-learn³, statsmodels⁴ v programovacím jazyce Python.

5.1 Časové řady

Analýza časových řad je specifický způsob analýzy shromážděných dat za určité období. Při analýze časových řad se zaznamenávají data periodicky v určitém intervalu. Analýza zaznamenaných dat může ukázat, jak se proměnné mění v čase. Analýza časových řad obvykle vyžaduje velký počet dat, aby byla zajištěna konzistence a spolehlivost. Rozsáhlý soubor dat zajišťuje reprezentativní velikost vzorku, a že analýza dokáže prolomit hlučná data. Zajišťuje také, že žádné objevené trendy nebo vzory nejsou odlehlé a mohou zohledňovat sezónní rozdíly. Data časových řad lze navíc použít pro predikci – předpovídání budoucích dat na základě historických dat. V praxi se historická data využívají i pro kontrolu předpovědi – zaznamenaná data se rozdělí na dvě části, kde první část slouží pro vytvoření předpovědi a s druhou se předpověď porovnává.⁵

Pro práci s časovými řadami existuje několik modelů. Exponenciální vyhlazování a model ARIMA (neboli *autoregresní integrovaný klouzavý průměr*) jsou dva nejrozšířenější přístupy k vytvoření prognóz časových řad. Zatímco modely exponenciálního vyhlazování jsou založeny na popisu trendu a sezónnosti v datech, model ARIMA má za cíl popsat autokorelace v datech.⁶

¹Knihovna Matplotlib – <https://matplotlib.org> [25. dubna 2023]

²Knihovna pandas – <https://pandas.pydata.org> [25. dubna 2023]

³Knihovna scikit-learn – <https://scikit-learn.org> [25. dubna 2023]

⁴Knihovna statsmodels – <https://www.statsmodels.org> [25. dubna 2023]

⁵Analýza časových řad – <https://www.tableau.com/learn/articles/time-series-analysis> [1. dubna 2023]

⁶Model ARIMA – <https://otexts.com/fpp2/arima.html> [2. dubna 2023]

ARIMA je model statistické analýzy, který využívá data časových řad buď k jejich lepšímu pochopení nebo k předpovídání budoucích trendů. Model je vhodný především pro krátkodobé předpovědi.⁷ Model ARIMA se skládá celkem ze tří částí. Autoregresní část, kterou definujeme počet hodnot z minulosti, ze kterých se odvíjí aktuální hodnota. Integrovaná část vyjadřuje řád diference – jinými slovy kolikrát po sobě se diference provádí. Klouzavý průměr vyjadřuje počet časových intervalů v minulosti, ze kterých se uplatňují chyby v modelu. [7]

Model ARIMA(p, d, q) je dán následujícím vztahem: [9]

$$\left(1 - \sum_{i=1}^p \varphi_i L^i\right) (1 - L)^d X_t = \left(1 + \sum_{i=1}^q \theta_i L^i\right) \varepsilon_t$$

kde L značí operátor zpoždění (lagu), φ udávají parametry autoregresní části, θ jsou parametry části klouzavého průměru a ε jsou chybové členy. Chybové členy ε se obecně považují za nezávislé, identicky rozdělené proměnné vybrané z normálního rozdělení s nulovým průměrem.

Při předpovědi budoucího průběhu se na model ARIMA lze dívat jako na „kaskádu“ dvou modelů.

$$Y_t = (1 - L)^d X_t$$

$$\left(1 - \sum_{i=1}^p \varphi_i L^i\right) Y_t = \left(1 + \sum_{i=1}^q \theta_i L^i\right) \varepsilon_t$$

Z těchto dvou částí je možné vytvářet předpověď pro Y_t . Model ARIMA budu v této práci sestavovat z části naměřených dat chytré žárovky a při předpovědi jejího výkonu.

5.2 Chytrá žárovka

U chytré žárovky byly navrženy dva experimenty. Prvním bylo manuální ovládání po stanovenou dobu, během které se sledoval výkon v čase. Druhým experimentem bylo sledování výkonu žárovky v automatickém režimu, z čehož se následně dá odvodit spotřeba za libovolné období.

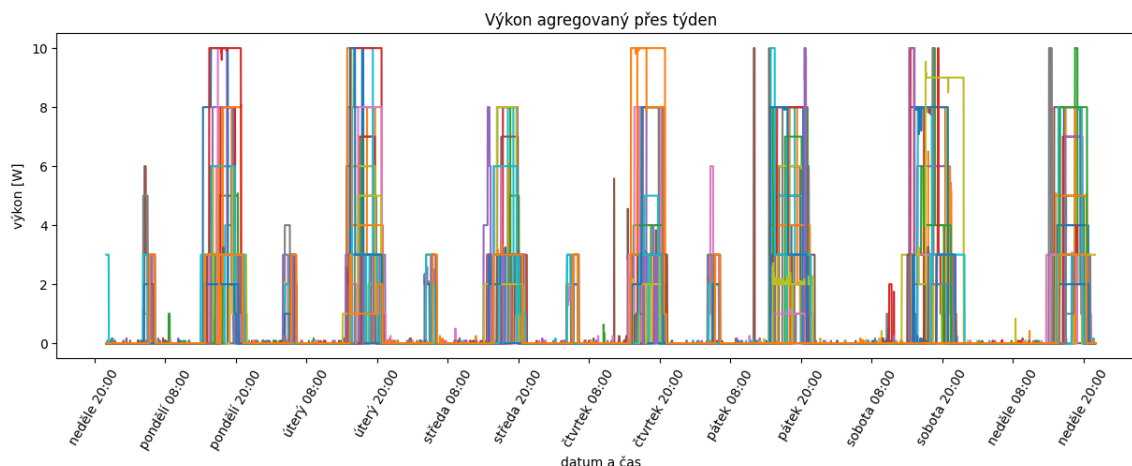
5.2.1 Experiment 1

Vyhodnocování spotřeby a výhodnosti chytré žárovky je důležité z naměřeného období vybrat kvalitní vzorek dat. Za kvalitní vzorek dat se považuje celistvý úsek z dat, který vyjadřuje co nejobjektivnější frekvenci využívání.

Na obrázku 5.1 jsou vidět změny výkonu chytré žárovky po dobu třiceti dvou týdnů. Každá barva znázorňuje jeden týden experimentu. Ze změn je patrné, že intervaly využívání uživatelem jsou relativně pravidelné, a to v pracovních dnech mezi čtvrtou a šestou hodinou ránní a ve večerních hodinách mezi druhou a jedenáctou hodinou večerní. O víkendech jsou změny převážně pravidelně zvýšené ve večerních až nočních hodinách.

Celková spotřeba ve sledovaném období při použití těchto dat se rovná 3,56 kWh, čemuž při ceně 5,80 Kč za kWh odpovídá cena 20,63 Kč (při přepočtu na rok by to bylo 5,8 kWh

⁷Model ARIMA – <https://www.investopedia.com/terms/a/autoregressive-integrated-moving-average-arima.asp> [2. dubna 2023]



Obrázek 5.1: Výkon chytré žárovky agregovaný přes týden se zachováním času v období 6. června 2022 - 22. ledna 2023

s cenou 33,62 Kč). Součástí této spotřeby a ceny jsou ovšem zahrnuty i případné výkyvy – např.: uživatel zapomněl žárovku při odchodu z domácnosti vypnout a byla tak rozsvícená po celý den na plný výkon, nebo naopak uživatel odjel na dovolenou a žárovku tak nezapínal. Tyto výkyvy částečně eliminuji tak, že v časech, kdy byla žárovka zapnutá (výkon není nulový) alespoň dvakrát, udělám z nenulových hodnot výkon medián, a tím zjistím normální používanost pro daný čas v týdnu. Pseudokód pro takovouto úpravu dat je zapsán v 5.1.

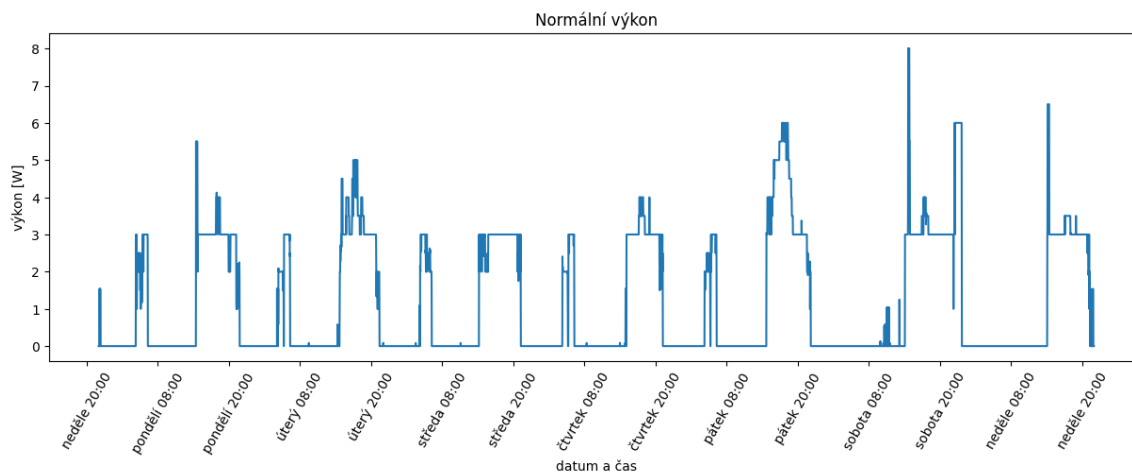
```
avgData = []
for time = 0; time < count(weeksData[0]); time++):
    dataInTime = []
    for (weekNum = 0; weekNum < count(weeksData); weekNum++):
        if weeksData[weekNum][time]:
            dataInTime.push(weeksData[weekNum][time])
    avgData.push(count(dataInTime) >= 2 ? median(dataInTime) : 0)
```

Výpis 5.1: Úprava dat pro agregaci přes týden

Z takto upravených hodnot lze zjistit, že celková spotřeba za týden je 195,41 Wh, od toho odvíjející se cena za provoz 1,13 Kč. Při předpokladu stejného využívání během celého roku, po přepočtu na rok vyjde spotřeba 10,19 kWh s přibližnou cenou 59,10 Kč.

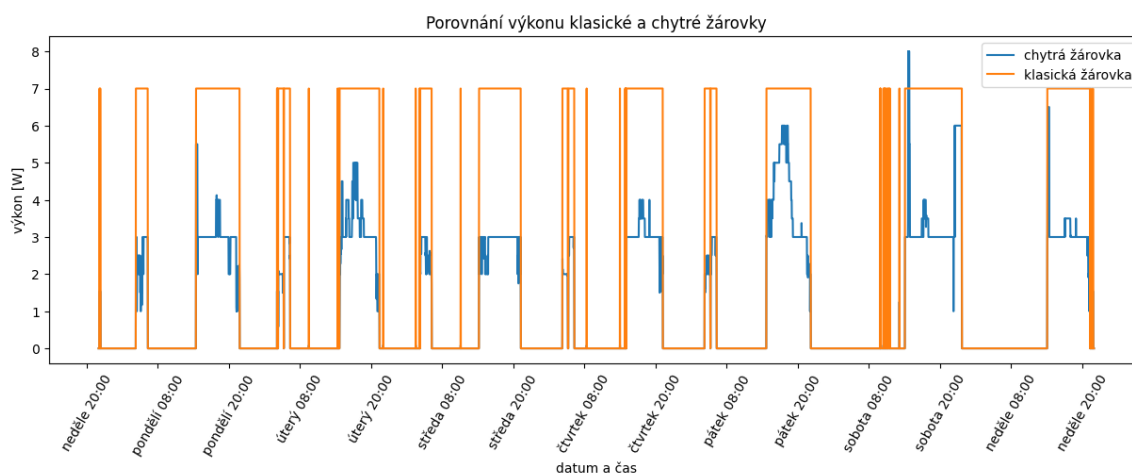
Jestliže známe normální spotřebu a cenu za provoz chytré žárovky, nastává otázka, jaký je to rozdíl oproti použití klasické žárovky. Abych zachoval frekvenci užívání, využiji normalizovaná data z grafu 5.2, kde hodnotu výkonu nahradím za výkon klasické žárovky (6 W) naměřený v kapitole 4.1.1. Po dosažení tohoto výkonu a vypočtení spotřeby zjistíme, že celková spotřeba za týden by byla 371,9 Wh a od toho by se odvíjela cena 2,16 Kč. Při přepočtu na rok vychází spotřeba 19,39 kWh a cena 112,47 Kč.

Když porovnáme spotřebu a cenu klasické žárovky s chytrou, tak zjistíme, že díky chytré žárovce jsme schopni spotřebu snížit přibližně na polovinu. Z naměřených výkonů klasické a chytré žárovky při stejné svítivosti v kapitolách 4.1.1 a 4.1.1 je vidět, že výkon chytré žárovky je nepatrně vyšší než výkon klasické žárovky. Dá se tedy říci, že důvodem nižší spotřeby (a potažmo z toho vyplývající nižší ceny) za provoz při použití chytré žárovky



Obrázek 5.2: Normální výkon chytré žárovky během týdne, získaný z dat za období 6. června 2022 - 22. ledna 2023

namísto klasické, je změna chování uživatele, která vedla k nastavení nižší svítivosti. Rozdíl výkonů spotřeby chytré a klasické žárovky je vidět v grafu na obrázku 5.3.



Obrázek 5.3: Porovnání výkonů chytré a klasické žárovky

Stejného výkonu, jako jsem dosáhl s chytrou žárovkou, můžu dosáhnout také výměnou klasické žárovky za slabší. Pomocí přímé úměry lze dopočítat potřebný výkon pro stanovenou spotřebu:

$$\frac{6 \text{ W} * 10,19 \text{ kWh}}{19,39 \text{ kWh}} = 3,15 \%$$

Při předpokladu přímé úměrnosti mezi výkonem a svítivostí můžeme odhadnout přibližnou svítivost takovéto žárovky:

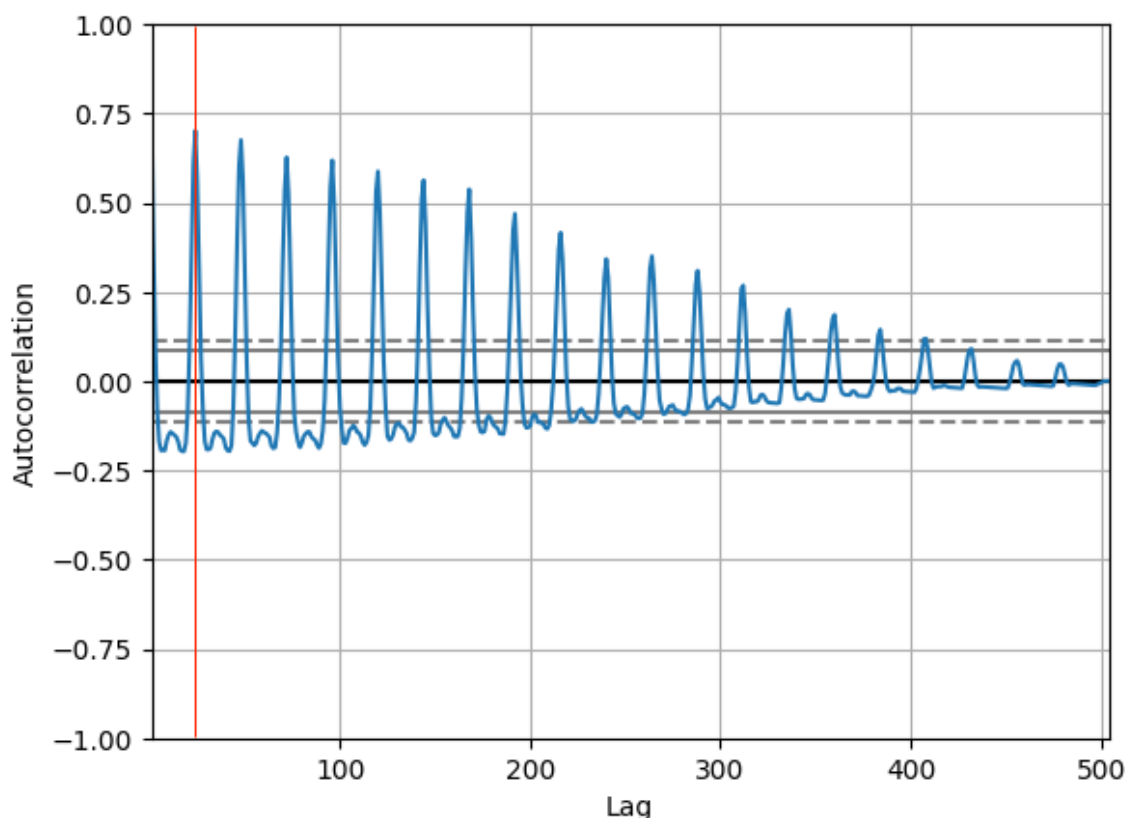
$$\frac{470 \text{ lm} * 3 \text{ W}}{6 \text{ W}} = 235 \text{ lm}$$

Pro porovnání, při použití chytré žárovky se výkon pohyboval kolem 3 W. Při tomto výkonu žárovka svítila silou přibližně 200 lm.

Z naměřených dat vyplývá, že použití chytré žárovky místo původní klasické žárovky je výrazně úspornější. Ovšem pokud by uživatel místo původní žárovky použil slabší o svítivost přes 200 lm, měla by výkon kolem 3 W. Pokud by uživateli nevadilo svítit stále touto slabší žárovkou, pak by se i při použití klasické žárovky dosáhlo stejné úspory. Dalším úsporným řešením by bylo pořídit více žárovek o různém výkonu a svítivosti. Toto řešení má ovšem vyšší pořizovací náklady.

Při používání chytré žárovky jsou v grafu výkonu 5.1 vidět periodické změny trendu užívání. Díky periodě lze aplikovat některý z modelů časových řad (popsané v kapitole 5.1) a predikovat budoucí průběh. Z naměřených dat zvolím jejich část, která bude vstupem do modelu, a na zbylé části naměřených dat (výstup modelu) budu předpověď modelu ověřovat.

Pro otestování modelu jsem vybral období tři týdnů (5. - 25. září 2022), na kterých jsem se pokusil sestavit model ARIMA a předpovědět budoucí průběh. Při autokorelaci nad daty se mi ovšem nepodařilo nalézt korelaci, ze které bych získal parametry, které se využívají při vytváření modelu ARIMA. Důvodem bylo „přehlcení“ daty (overfitting). Z toho důvodu jsem provedl agregaci dat po jedné hodině. Při autokorelaci nad agregovanými daty mi vyšla funkce podobná sinusoidě (viz obrázek 5.4). Graf autokorelace nám říká, jakou korelaci mezi sebou mají data s daty, která jsou zpožděna o k jednotek v diskrétním časovém signálu. Lag tedy vyjadřuje zpoždění [4]. Přerušovaná čára souběžně jdoucí s plnou čarou označuje hranice, za kterými jsou hodnoty významně odlišné od nuly.⁸

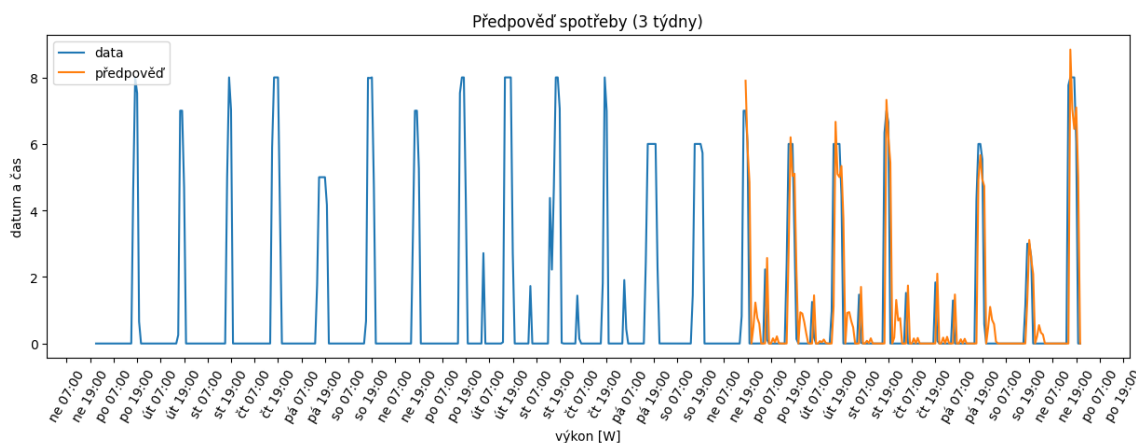


Obrázek 5.4: Autokorelace výkonu naměřeného za v období 5. - 25. září 2022

⁸Vysvětlení odlišnosti nule – <https://stats.stackexchange.com/questions/49571/understanding-the-blue-dotted-lines-in-an-acf-from-r#answer-49572>

Z takto připravených dat jsem vytvořil model ARIMA a predikoval výkon v týdnu – na dvou týdnech jsem model založil a na jednom týdnu jsem predikci ověřoval. Při vytváření modelu ARIMA je nutné nastavit parametry, na základě kterých se bude model vytvářet a podle kterých se bude provádět výsledná předpověď. Model ARIMA potřebuje trojici parametrů (p, d, q) , kde p značí pořadí lagu, d značí stupeň diferenciacce a q značí řád klouzavého průměru. Jako parametry jsem nastavil trojici $(20, 1, 0)$ – parametr p jsem zvolil na základě výstupu autokorelace (viz obrázek 5.4, v lagu 20 je pozitivní korelace, šlo by vybrat i jiný lag, ale zvolil jsem tento), diferenční řád (parametr d) jsem zvolil 1 a klouzavý průměr (parametr q) jsem zvolil 0. Parametr diferenčního řádu a klouzavého průměru jsem zvolil na základě obecného doporučení⁹. Hodnoty výsledné předpovědi (obrázek 5.5) jsou velice podobné skutečným datům. Chybu mezi skutečnými a předpovězenými daty jsem spočítal jako střední kvadratickou chybu (MSE), která se rovná 2,064, což je přijatelná hodnota, když se podíváme s jakými daty pracujeme. Hodnota MSE vyjadřuje rozdíl mezi daty (v tomto případě originálních a předpovězených) a lze ji vypočíst jako součet umocněných rozdílů hodnot na stejných pozicích v obou datech.

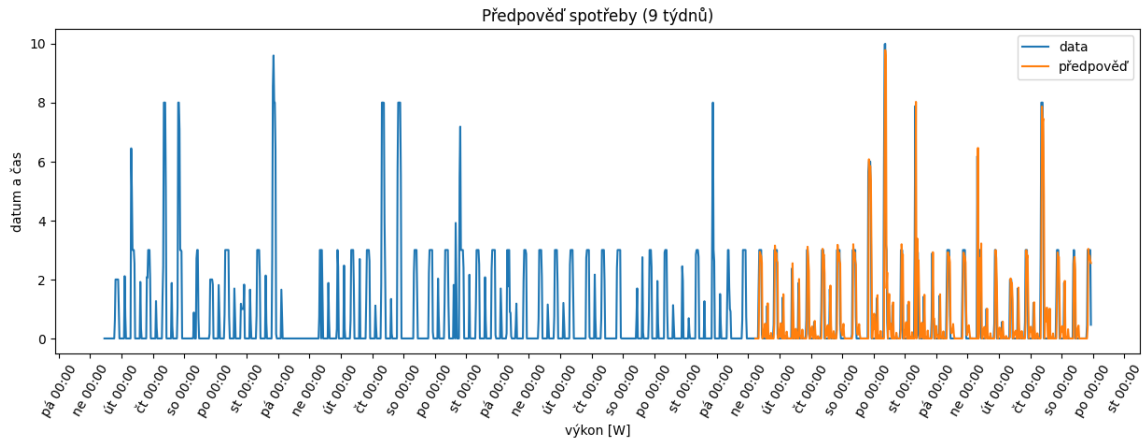
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$



Obrázek 5.5: Predikovaná data v období 5. - 25. září 2022

Abych nepredikoval pouze na základě dvou náhodně vybraných týdnů, chtěl jsem predikci založit na dvou třetinách všech naměřených dat. V tomto případě mi ovšem stejně jako v prvním pokusu nevyšla žádná korelace (důvodem bylo opět přehlcení daty). Data bych musel více agregovat, což vzhledem k charakteru dat není možné, jelikož by došlo k přílišnému zkreslení a výsledek by nic nevypovídal. Pokus jsem opakoval ještě pro menší objem dat – pro období devíti týdnů. V tomto případě už korelace nastala a následná predikce (obrázek 5.6) vyšla dokonce přesněji (s hodnotou MSE 1,264) než tomu bylo u dat období tří týdnů. Pro takto rozsáhlá data tedy model ARIMA není vhodný a lepší by bylo využít jiný model, například model exponenciálního vyhlazování (viz kapitola 5.1).

⁹Jak vytvořit model ARIMA – <https://machinelearningmastery.com/arima-for-time-series-forecasting-with-python/>



Obrázek 5.6: Predikovaná data v období 2. ledna - 5. března září 2023

5.2.2 Experiment 2

V tomto experimentu jsem zjišťoval spotřebu a z toho vyplývající cenu za provoz chytré žárovky v automatickém režimu řízeném dle nastaveného kalendáře. Při měření jsem zjistil, že v průběhu experimentu byly hodnoty výkonu v aktivních stavech (zapínání, zapnuto, vypínání) stabilní – ve vypnutém stavu nulové a v aktivním stavu rovné krátkodobému výkonu. Při nastavení 59 % je výkon roven 7 W.

Když tento výkon srovnáme s výkonem klasické žárovky (6 W), jejíž výkon je v aktivních stavech také stálý, liší se pouze o 1 W. Otázka je, jak se tento rozdíl projeví na spotřebě. Klasická žárovka měla výkon 6 W spotřebovala ročně 19,39 kWh a její provoz tak ročně stál 112,47 Kč.

$$\frac{7 \text{ W} * 19,39 \text{ kWh}}{6 \text{ W}} = 22,62 \text{ kWh}$$

Po dosazení do trojčlenky dostáváme spotřebu 22,62 kWh, což je v přepočtu na cenu 132,20 Kč. Při porovnání zjistíme, že roční cena za provoz při přechodu z klasické na chytrou žárovku se nijak výrazně nezvýšila. Při pořizovací ceně klasické a chytré žárovky ovšem není cílem nastavit jednu hodnotu jasu a využívat ji po celý rok.

Tento režim je vhodný například při odjezdu na dovolenou, kdy uživatel nechce, aby případný zloděj v noci poznal, že je dům či byt prázdný. Pokud bychom vzali v úvahu, že uživatel chce odjet na týden an dovolenou a od šesti hodin odpoledne chce nechat do desíti hodin večer svítit žárovku (nejčastější doba provozu žárovky viz kapitola 5.2.1) v obývacím pokoji. Při nastavené svítivosti na 59 % by žárovka za týden spotřebovala 196 Wh, čemuž by odpovídala cena 1,14 Kč.

5.3 Chytrá termostatická hlavice

Analýza spotřeby chytré termostatické hlavice je rozdělena na dvě části – spotřebu samotné hlavice a spotřebu její centrální stanice.

Z naměřených dat výkonu centrální stanice jsem zjistil, že její výkon je po celou dobu provozu konstantní v hodnotě 1 W. Centrální stanice tedy za jednu hodinu spotřebuje 1 Wh elektrické energie, z čehož vyplývá, že za rok by stanice spotřebovala 8,76 kWh za cenu 50,80 Kč.

Spotřeba centrální stanice ale není jediný náklad chytré termostatické hlavice, jelikož i samotná hlavice na radiátoru je napájena a to dvěma bateriemi AA. Z měření jsem zjistil, že zbytková kapacita baterií (každého článku) na konci experimentu činila 616 mAh z celkové původní kapacity 2970 mAh (viz kapitola 4.1.2). Zbytková kapacita je tedy přibližně 20 % původní kapacity. Vzhledem k samovolnému vybíjení baterií [8] nelze s jistotou říci, zda by zbylá kapacita v bateriích vydržela do další topné sezóny a případně pokryly provoz alespoň po část tohoto období. Bateriové články typu AA o srovnatelné kapacitě se prodávají přibližně po 15 Kč za článek. Baterie do termostatické hlavice tedy ročně vyjdou přibližně na 30 Kč.

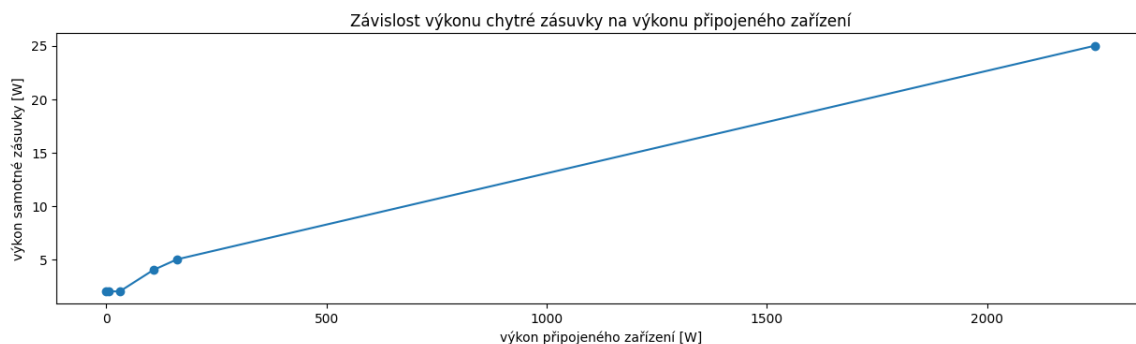
Při instalaci jedné termostatické hlavice v domácnosti nás její provoz tedy ročně vyjde přibližně na 80,80 Kč. Při instalaci N termostatických hlavic v domácnosti, nemusí být cena za provoz nutně N -násobná. K jedné centrální stanici je totiž možné připojit několik termostatické hlavici současně. Pokud bychom tedy do domácnosti, kde už jedna centrální stanice je, přidali další termostatickou hlavici, cena ze provoz by se zvýšila jen o cenu za provoz samotné termostatické hlavice, to je o cenu dvou bateriových článků typu AA.

5.4 Chytrá zásuvka

Experimenty s chytrou zásuvkou měly za cíl sledovat, kolik zásuvka spotřebuje ve stavech zapnuto a vypnuto při připojení různé zátěže. Pro simulaci různé zátěže jsem zvolil několik zařízení, která vyvíjí požadovaný výkon, který zásuvka musí dodávat.

Z výsledků měření jsem zjistil, že v případech kdy zásuvka zamezuje zařízení v přístupu k elektrické energii, nebo k zásuvce žádné zařízení připojené není, vyvíjí zásuvka výkon 1 W. Z tohoto faktu vyplývá, že pokud jednu takovou zásuvku necháme v zásuvce, tak i když ji nebudeme využívat, její provoz nás bude ročně stát 50,80 Kč. Podobný případ je v případě, kdy je zásuvka zapnutá a není k ní připojeno žádné zařízení. V takovém stavu zásuvka vyvíjí výkon 2 W, které by nás za rok stály 101,60 Kč.

Zajímavější a překvapivější výsledky jsou ovšem z měření výkonu, kdy bylo připojené zařízení v provozu. Tyto výsledky totiž ukazují, že výkon samotné chytré zásuvky závisí na příkonu připojeného zařízení. Výkon chytré zásuvky se zvyšujícím se příkonem připojeného zařízení zvyšuje také.



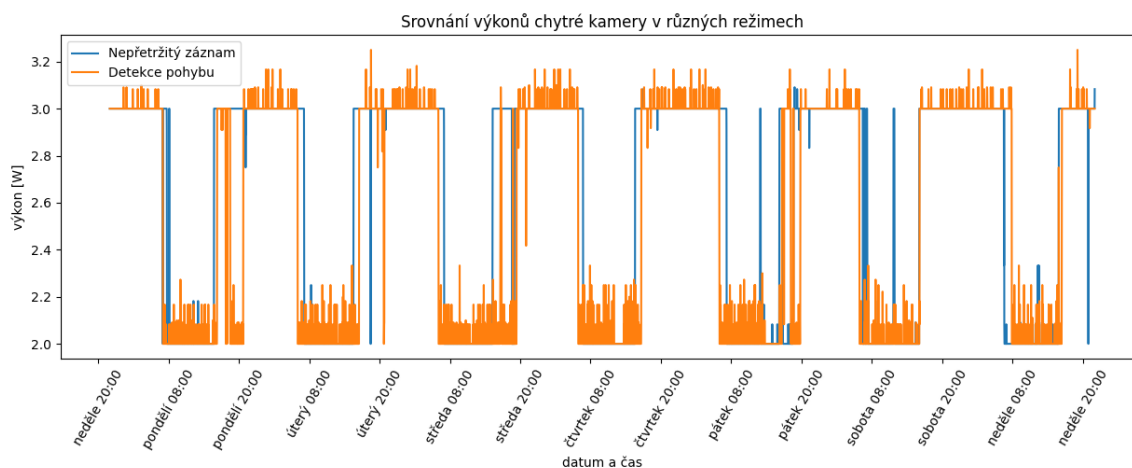
Obrázek 5.7: Závislost výkonu chytré zásuvky na výkonu připojeného zařízení

5.5 Chytrá kamera

V experimentu s chytrou kamerou jsem měřil data, ze kterých budu odvozovat, do jakých režimů byla kamera přepnuta, z jakých důvodů a jaká by byla cena při celoročním provozu takovéto kamery v domácnosti.

Z výsledků měření jsem zjistil, že výkon chytré kamery závisí na denní době. Tento jev souvisí s okolním osvětlením a tím, že kamera disponuje nočním viděním IR. Jelikož k večeru se stmívá, kamera přepne režim z klasického snímání na nočního vidění IR, které zvyšuje spotřebu. Tento jev se dá potvrdit porovnáním výsledků měření výkonu se záznamy uloženými na SD kartě. V časech, kdy kamera zvyšuje svůj výkon, se zároveň na záznamu přepne režim do nočního vidění (obraz přeblikne a stane se černobílým). Faktem ovšem je, že měření probíhalo v zimním období, kdy slunce zapadá dříve, později vychází a tím pádem je tma a vyšší spotřeba kamery déle než v letních dnech. Pokud se kamera používá v domácnosti, je velká pravděpodobnost, že zde bude rozsvíceno a noční režim tak nebude aktivován (jak je vidět i ve výsledcích měření). Z tohoto důvodu budu tento fakt zanedbávat.

Když porovnáme výsledky z měření v experimentu 1 a experimentu 2, je vidět, že se výrazně neliší. Rozdíl, který můžeme ovšem pozorovat, je ten, že v experimentu 2 (režim detekce pohybu) se opakovaně zvyšuje výkon o 0.2 W. Tento nárůst je pravděpodobně způsoben detailní analýzou obrazu, aby se rozlišilo, zda byl pohyb před kamerou dostatečný pro zahájení záznamu.



Obrázek 5.8: Srovnání výkonů chytré kamery v různých režimech

Z naměřených dat experimentu 1 lze spočítat, že provoz kamery během jednoho roku v místnosti, kde se střídá denní světlo se tmou, by uživatele vyšel na 133,32 Kč a spotřebovalo by se 22,99 kWh elektrické energie. Pokud by ovšem byla kamera provozována v prostorech, které jsou většinu času ve tmě, a využívalo by se výhradně nočního režimu s kamerou IR, spotřeba by byla přibližně 26,28 kWh, od čehož se odvíjí přibližná cena za provoz 152,42 Kč. Podobné hodnoty vyšly i v experimentu 2. I když je v naměřených datech (znázorněných na obrázku 5.8) vidět, že spotřeba se při detekci pohybu lehce zvedla, na celkové spotřebě se to v experimentu neprojevalo. Tento jev je způsoben rozdílnou dobou, kdy kamera snímala místnost za světla (například bylo rozsvíceno), a kdy byla kamera přepnutá do nočního režimu IR. Podmínky pro provádění experimentů bohužel nebylo možné nasimulovat stejně, jelikož by byly potřeba dvě stejné kamery, které by byly v různých režimech, a experimenty by se na nich prováděly paralelně.

Když shrneme získané informace, můžeme říci, že více než samotný nárůst výkonu o 0,2 W při spínání v režimu detekce pohybu se na spotřebě projevuje snímání za aktivovaného nočního režimu pomocí IR.

5.6 Shrnutí

Kapitola analýzy naměřených dat se zaměřuje na zpracování informací naměřených v předchozí kapitole. Při analýze bylo zajímavým zjištěním, že zatím co režimy u některých zařízení nemají na výslednou spotřebu téměř vliv, u jiných zařízení je spotřeba několikanásobně rozdílná, pouhou změnou okolností jejich používání.

Při hledání trendů používání chytrých zařízení jsem zjistil, že jsou nejvýraznější u chytrých žárovek. U nich jsem tedy trendy popsal modelem časových řad pro predikci do budoucna. U ostatních zařízení tyto trendy nejsou nijak zvlášť výrazné a popis modelem by tak nešel vytvořit nebo byl zbytečný. Zvolený model ARIMA je ovšem určen spíše pro práci s kratšími časovými úseky a pro učení z velkého množství dat (které by bylo v mém případě) tak není zcela optimální.

Kapitola 6

Závěr

Pokud bychom měli shrnout, zda se chytrá zařízení v domácnosti z hlediska spotřeby elektrické energie vyplatí nebo ne, nemůžeme potvrdit ani jedno. U chytrých zařízení záleží jak na jejich charakteristice, tak na konkrétním umístění daného zařízení v domácnosti.

Při srovnání výhodnosti chytrých zařízení v domácnosti vychází chytrá žárovka z hlediska spotřeby elektrické energie nejlépe. Na rozdíl od ostatních testovaných chytrých zařízení je její výkon ve stavu, kdy ji uživatel nevyužívá zanedbatelný (je menší než 1 W). U ostatních chytrých zařízení se výkon v tomto stavu pohybuje mezi jedním a třemi wattly.

Při nahrazení klasických zařízení za chytré v domácnosti uživatele pravděpodobně nebude zajímat jen spotřeba s cenou, ale i celková použitelnost zařízení v domácnosti. Při použití chytrých zařízení, která jsou ovládaná skrze mobilní aplikace, je nutné myslet na to, že mobilní aplikace jsou často jediným způsobem, jak zařízení ovládat, a že ji tak budou pravděpodobně muset používat všichni členové domácnosti. K této aplikaci musí také být chytré zařízení připojené, což může být omezení například při použití chytré žárovky použité v tomto experimentu – žárovka musí být připojena k nějakému účtu, ke kterému jsou přihlášeny aplikace. Všichni členové domácnosti tak musejí být přihlášení k totožnému účtu, což nemusí být vždy vhodné.

V průběhu experimentů nastalo také hned několik komplikací, která přímo souvisí s chytrou doménou testovaných zařízení. Chytrých kamer jsem v experimentu testoval několik, ovšem pouze jedna z testovaných byla provozuschopná. První problém byl s podporou od výrobce, která se netýká pouze kamer, ale obecně všech chytrých zařízení. Kamera nebyla už při instalaci schopna komunikace se serverem výrobce, který byl nedostupný a kameru tak nebylo možné nakonfigurovat. Dalším problémem byla registrace zařízení k účtu jiného uživatele, bez kterého nebylo možné kameru opět nainstalovat ani po vrácení do továrního nastavení. Chytrá zařízení jsou svou charakteristikou velice podobná chytrým telefonům a je nutné k nim i tak přistupovat. Proto je nutné si při koupi ověřit, zda jsou v pořádku, připravena k použití novým uživatelem a například správně odhlášena z cizích účtů. Komplikace nemusejí nastat pouze při instalaci, ale stejně jako jakékoliv jiné komplikovanější zařízení se mohou pokazit. Při použití termostatické hlavice v průběhu experimentu nastávaly komplikace s kalibrací. V normálním stavu je hlavice kalibrovaná tak, aby optimálně tlačila na jehlicový ventil. Tato kalibrace se ovšem několikrát samovolně během experimentů změnila (bylo nutné ji následně znovu správně nastavit) a radiátor začal nepřetržitě topit, což ve výsledku znamená, že uživatel na energiích za teplo zaplatí více, než ušetří na elektrické energii díky chytrým zařízením.

Z výsledků práce se dá dopočítat i přibližná spotřeba a cena provozu chytrých zařízení po celé domácnosti. Počítejme, že máme domácnost s obývacím pokojem, chodbou, kuchyní

a ložnicí, do kterých umístíme chytrá zařízení (do ostatních místností jako toaleta, koupelna, komora a podobné umístit chytrá zařízení nebudeme). Do každé této místnosti umístíme jednu chytrou žárovku, do obývacího pokoje a na chodbu umístíme chytré kamery a do každého pokoje chytrou termostatickou hlavici, které připojíme na jednu centrální stanici (čímž ušetříme spotřebu dalších tří centrálních stanic). Takováto domácnost by tedy obsahovala čtyři chytré žárovky, dvě chytré kamery a čtyři chytré termostatické hlavice s jednou centrální stanicí. Provoz takovéto domácnosti by ročně spotřeboval 95,5 kWh (+ 8 bateriových článků typu AA) a cena by byla přibližně 673,90 Kč. Oproti tomu, když bychom v domácnosti neměli kamery a místo chytrých žárovek používali klasické LED, spotřeba by byla přibližně 77,56 kWh a stála by tak uživatele 449,85 Kč. Nahrazením za chytrá zařízení jsme ve výsledku nešetřili, a to z důvodu, že jsme přidali do domácnosti dvě chytré kamery a chytré termostatické hlavice, jejichž spotřeba se výrazně projevuje na spotřebě (činí přes polovinu spotřebované elektrické energie).

Výsledky této práce jsou přínosem především pro spotřebitele, kteří bude zvažovat pořízení chytrých zařízení do domácnosti. Z práce mohou získat informace o vhodnosti pro konkrétní využití, přínosy konkrétních zařízení a také jejich omezení.

Rozmístění chytrých zařízení v domácnosti na výslednou spotřebu hraje velkou roli. Chytrá zařízení by uživatel měl vždy rozmísťovat po předešlém zjištění charakteristik zařízení.

Zajímavým a užitečným rozšířením této práce by mohlo být také doplnění o úspornost v jiných oblastech, jako například úspory tepelné energie při použití chytrých termostatických hlavic. Tato práce se zaměřuje pouze na spotřebu elektrické energie vlastních hlavic a ve výsledné ceně nezohledňuje úspory tepelné energie dosažených díky ní.

Literatura

- [1] BOB ZOLLO. *Measuring Cell Capacity*. Červen 2017.
- [2] FARAHANI, S. Chapter 6 - Battery Life Analysis. In: FARAHANI, S., ed. *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. Burlington: Newnes, 2008, s. 207–224 [cit. 2022-12-11]. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8393-7.00006-6>. ISBN 978-0-7506-8393-7. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750683937000066>.
- [3] HOLÁSEK, V. *Měření spotřeby elektrické energie v domácnosti*. 2016 [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/p6cjz/>.
- [4] KSV MURALIDHAR. *Understanding Autocorrelation in Time Series Analysis*. Srpen 2021.
- [5] MAGDALENA SZYMCZYK, P. A. *Selected Energy Consumption Aspects of Sensor Data Transmission in Distributed Multi-Microcontroller Embedded Systems* [online]. MDPI, březen 2022 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/6/848>.
- [6] STANKOVIC, L., STANKOVIC, V., LIAO, J. a WILSON, C. Measuring the energy intensity of domestic activities from smart meter data. *Applied Energy*. 2016, sv. 183, s. 1565–1580, [cit. 2022-12-15]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.087>. ISSN 0306-2619. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916313897>.
- [7] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *ARIMA* [online]. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2021 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=ARIMA&oldid=20373774>.
- [8] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *Self-discharge* [online]. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2022 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Self-discharge&oldid=1114154873>.
- [9] WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *Autoregressive integrated moving average* [online]. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Autoregressive_integrated_moving_average&oldid=1144826256.
- [10] WILLIAMS, A. *How much power does your smart home use?* [online]. The Ambient, listopad 2021 [cit. 2022-10-13]. Dostupné z: <https://www.the-ambient.com/features/smart-home-energy-use-costs-bills-2778>.