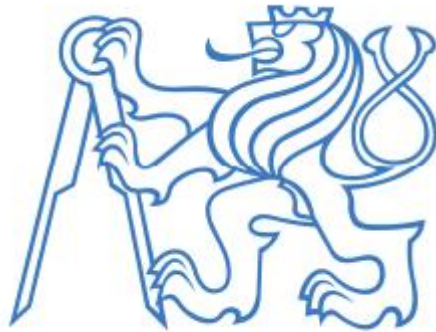


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ V PRAZE

Fakulta strojní – Ústav energetiky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**ÚSPORY A OPTIMALIZACE TOKU  
ENERGIÍ RODINNÉHO DOMU**

**HOUSEHOLD ENERGY OPTIMISATION AND  
SAVINGS**

Autor práce: Josef Kubr

Vedoucí práce: Ing. Martin Neužil, Ph.D

2024

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kubr** Jméno: **Josef** Osobní číslo: **501253**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav energetiky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Úspory a optimalizace toku energií rodinného domu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Household energy optimisation and savings**

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte Bakalářskou práci (BP) na výše uvedené téma, tj. zpracujte optimalizaci provozu energetického hospodářství rodinného domu (RD):

- 1) V teoretické části BP proveďte rešerši:
  - použití tepelných čerpadel pro vytápění a ohřev TUV v RD,
  - použití fotovoltaické elektrárny (FVE) pro úspory spotřeby elektrické energie RD,
- 2) V praktické části BP zpracujte:
  - popis stavební konstrukce RD,
  - popis otopné soustavy (OS),
  - popis ohřevu TV RD,
  - popis FVE a připojení na elektrickou soustavu RD,
  - popis způsobu měření a zaznamenávání dat OS, TV a FVE,
  - popis způsobu zpracování dat OS, TV a FVE,
- 3) stanovte roční spotřebu energie na vytápění dle zdrojů tepla (plynový kotel, elektrokotel, TČ),
- 4) stanovte roční spotřebu energie na ohřev TV dle zdrojů tepla (plynový kotel, elektrokotel, TČ),
- 5) porovnejte náklady na výrobu tepla podle jednotlivých zdrojů tepla,
- 6) stanovte výrobu elektrické energie z FVE,
- 7) vyjádřete ekonomický vliv FVE na snížení nákladů pro provoz OT a ohřev TV.

Seznam doporučené literatury:

Haselhuhn R.: Fotovoltaika - budovy jako zdroj proudu, HEL, Ostrava, 2010

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Martin Neužil, Ph.D. ústav energetiky FS**

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.04.2024** Termín odevzdání bakalářské práce: **03.06.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2025**

Ing. Martin Neužil, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michal Kolovratník, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## Anotační list

<b>Jméno autora:</b>	Josef Kubr
<b>Název BP:</b>	Úspory a optimalizace toku energií rodinného domu
<b>Anglický název:</b>	Household energy optimisation and savings
<b>Akademický rok:</b>	2023/2024
<b>Ústav/Obor:</b>	Teoretický základ strojního inženýrství
<b>Vedoucí BP:</b>	Ing. Martin Neužil, Ph.D
<b>Bibliografické údaje:</b>	Počet stran: 72 Počet obrázků: 12 Počet tabulek: 21 Počet grafů: 18 Počet příloh: 4
<b>Klíčová slova:</b>	Tepelé čerpadlo (TČ), plynový kotel, akumulční nádrž (AKU), teplá voda (TV), fotovoltaická elektrárna (FVE), otopná soustava, topný faktor (COP), spotřeba energie.
<b>Keywords:</b>	Heat pump (HP), gas boiler, accumulator tank (AT), hot water (HW), photovoltaic power plant (PVPP), heating system, coefficient of performance (COP), energy consumption.
<b>Abstrakt:</b>	<p>Rodinný dům prošel modernizací energetického hospodaření. V bakalářské práci zhodnocuji modernizaci především u výroby tepla z finančního hlediska. Teoretická část se zabývá základní znalosti týkající se tepelných čerpadel a fotovoltaických elektráren. Čtenář se dozví, na jakém principu zmíněná zařízení pracují a jakým způsobem se využívají. Praktická část obsahuje postup při zhodnocení modernizace energetického hospodaření.</p> <p>V první praktické části se věnuji popisu rodinného domu, aktuálnímu stavu a modernizaci energetického hospodaření rodinného domu. Pozornost jsem věnoval i použitým softwarům (Loxone, MyUplink, VRM Portal), kterým se naměřená data zaznamenávala.</p>

Pomocí zaznamenaných dat popisují odběr teplé vody, spotřebu elektrické energie tepelného čerpadla na ohřev teplé vody a otopné soustavy v průběhu sledovaného zimního období a následně v průběhu roku.

V druhé praktické části jsem pomocí zpracovaných dat porovnal nainstalované zdroje tepla. Porovnávanými zdroji tepla byly TČ a plynový kotel. Diskontní doba návratu TČ vyšla na 10,7 a 19,5 let dle výše reálné diskontní sazby -5,4 % a 2,7 %

Pro plnohodnotné porovnání jsem do úvahy zahrnul vliv FVE. Kvůli nedostatku naměřených dat výroby FVE systémem Loxone jsem využil zaznamenaná data systémem VRM Portal a odhad roční výroby navržený při projektování FVE. Na základě vypočtených vyrovnaných nákladů na elektřinu LCOE, denních průběhů výroby fotovoltaické elektrárny a stavu nabití baterie jsem určil náklady na provoz tepelného čerpadla v kombinaci s fotovoltaickou elektrárnou. Výsledná diskontní doba návratu je 9,4 let při reálné diskontní sazbě -5,4 % a 15,8 let při reálné diskontní sazbě 2,7 %.

V průběhu praktické části a v poslední kapitole bakalářské práce jsou uvedeny různé optimalizace, které mají za cíl zefektivnit zacházení s energiemi.

## **Abstract:**

The bachelor thesis deals with the modernization of energy management in a family house, primarily focusing on financial aspects, particularly heat production. The theoretical part directs fundamental knowledge of heat pumps and photovoltaic power plants and the principles by which the devices mentioned above are operated and utilized. The practical part outlines the evaluation process of energy management modernization.

The first practical part describes the family house, its current state, and the modernization of its energy management system. Attention is given to the software utilized (Loxone, MyUplink, VRM Portal) for recording data. Afterwards, the thesis applies recorded data to analyse the hot water consumption of the heat pump and electricity consumption for water heating and heating systems during the winter period and throughout the year.

The second practical part compares installed heat sources using processed data. The compared heat sources include heat pumps and a gas boiler. The discounted payback period for the heat pump ranged from 10.7 to 19.5 years based on actual discount rates of -5.4 % and 2.7 %, respectively. To facilitate a comprehensive comparison, the impact of photovoltaic integration was considered. Due to a lack of measured data on photovoltaic production via the Loxone system, data from the VRM Portal and estimated annual production from the photovoltaic design were utilized. Based on the calculated balanced cost of electricity (LCOE), daily photovoltaic power plant production profiles, and battery charge status, the costs of operating the heat pump combined with the photovoltaic power plant were determined. The resulting discounted payback period was 9.4 years at a real discount rate of -5.4 % and 15.8 years at a real discount rate of 2.7 %.

Various optimizations to enhance energy efficiency are discussed in the practical and final parts of the thesis.

# Obsah

Úvod.....	1
1 Teoretická část.....	2
1.1 Tepelné čerpadlo.....	2
1.1.1. Topný faktor .....	3
1.1.2. Typy tepelných čerpadel.....	4
2 Praktická část.....	9
2.1 Popis rodinného domu.....	9
2.2 Modernizace energetického hospodářství rodinného domu .....	10
2.2.1 Fotovoltaická elektrárna .....	10
2.2.2 Otopná soustava a ohřev TV .....	13
2.3 Způsob měření a zaznamenávání dat.....	14
2.4 Způsob zpracování naměřených dat .....	18
2.5 TV.....	19
2.5.1 Výpočet odběru TV v průběhu roku.....	24
2.5.2 Výpočet spotřeby elektrické energie pro ohřev TV v průběhu roku .....	27
2.6 Otopná soustava.....	30
2.6.1 Posouzení modernizace energetického hospodaření .....	32
2.6.2 Výpočet spotřeby elektrické energie pro ohřev otopné soustavy v průběhu roku	35
2.7 Porovnání nainstalovaných zdrojů tepla bez zohlednění FVE .....	37
2.8 Výroba elektrické energie FVE .....	43
2.9 Ekonomický vliv FVE na náklady ohřevu TV a otopné soustavy .....	46
2.10 Návrh optimalizací .....	55
Závěr .....	59
Literatura.....	60
Obrázky.....	I
Přílohy.....	IV

## **Seznam symbolů a zkratk**

TV – Teplá voda

TČ – Tepelné čerpadlo

FVE – Fotovoltaická elektrárna

AKU – Akumulační nádrž

COP – Topný faktor tepelného čerpadla

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Martin Nežil Ph.D. za ochotu a vedení.

# Úvod

Řada domácností či jiných objektů se snaží snížit náklady na energii. Úsporný, tj. optimalizovaný provoz je ekologičtější a finančně výhodnější. Úspory energií a optimalizace provozu objektu nutně neznamenají omezení tepla v budovách a tím snížení komfortu. K úsporám energií lze dojít např. snížením ztrát, zamezením plýtvání tepla nebo zefektivněním přeměny tepla, což v každém objektu a každé situaci může znamenat něco jiného. Každý objekt má potenciál být z energetického hlediska úspornější, ale od určité meze se investování z finančního hlediska nevyplatí.

Téměř polovina obyvatel v České republice žije v rodinných domech. Cílem práce je na konkrétním rodinném domu posoudit potenciální finanční a energetické úspory a navrhnout možná řešení pro jejich využití, která by se dala přenést i na jiné rodinné domy.

Konkrétní rodinný dům se nachází na okraji Liberce ve Vesci. Jedná se o dvoupatrový dům s garáží, podkrovím a dvěma balkóny. Obytná plocha činí  $222\text{ m}^2$ . Na třech světových stranách střechy je instalována fotovoltaická elektrárna o výkonu 20 kWp. Zdroj tepla byl do nedávna plynový kotel, který se po pořízení elektrokotle a tepelného čerpadla vzduch-voda používá jako bivalentní, tj. záložní zdroj tepla.

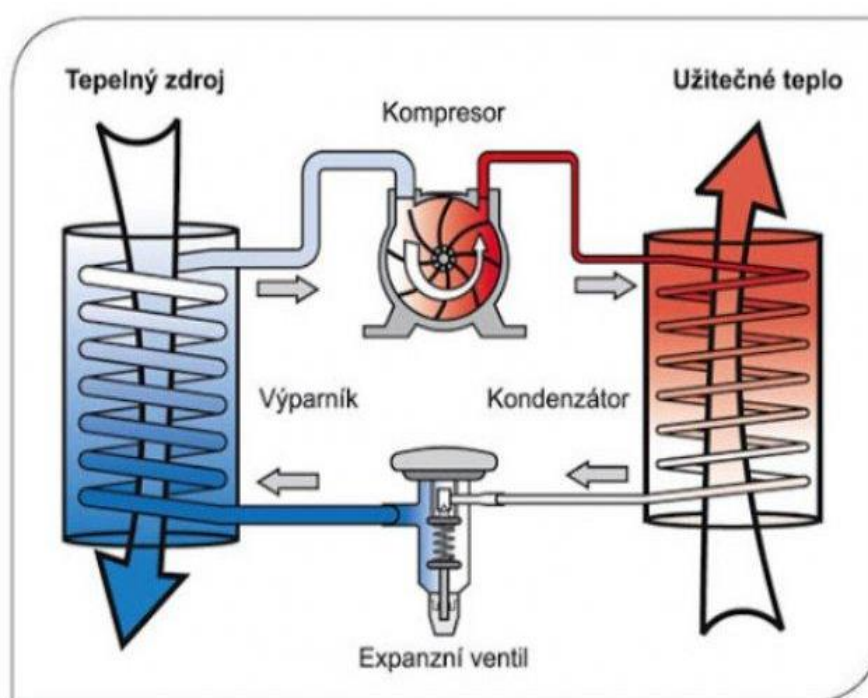
První část práce zaměřuji především na získání dat pro následné zpracování a analýzu. Ve druhé části porovnám tři různé zdroje tepla z finančního hlediska. V závěrečné části práce navrhuji optimalizace.



# 1 Teoretická část

## 1.1 Tepelné čerpadlo

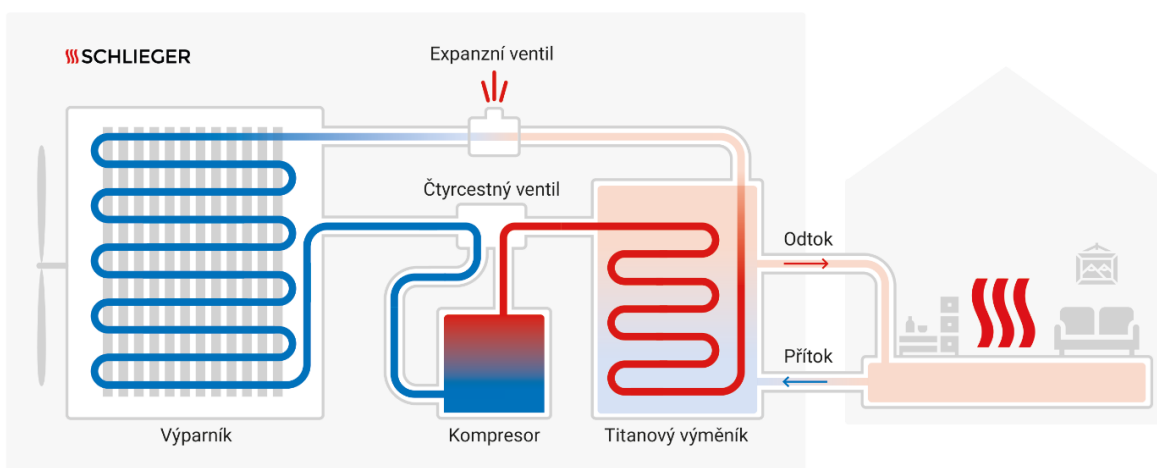
Účel tepelného čerpadla je odebrat okolní teplo na primárním okruhu (viz. obrázek 1), kde teplonosnou látkou je nemrznoucí směs, s nižší teplotou a následně získané teplo použít na ohřátí sekundárního okruhu, kde teplonosná látka je vzduch nebo voda, s vyšší teplotou. K tomu, aby došlo k transportu tepla z prostředí o nižší teplotě do prostředí o vyšší teplotě, musíme dodat energii. Nejčastěji se energie dodává pomocí kompresoru. Příklad celého schéma zapojení je znázorněn na obrázku 2. [1]



Obr. 1 Schéma primárního okruhu tepelného čerpadla

Princip tepelného čerpadla s kompresorem je založen na cyklické změně skupenství pracovní látky (chladiwa) v primárním okruhu, kondenzací páry na kapalinu a odpařením kapaliny na páru. Pracovní okruh se podle tlaku dělí na dvě části. Vysokotlaká začíná kompresorem, za ním je tepelný výměník tzv. kondenzátor a končí expanzním ventilem. Ventil omezuje průchod chladiva do druhé části a udržuje kompresorem vytvořený vysoký tlak, který je potřebný ke kondenzaci stlačených par chladiva za vyšší teploty. Za expanzním ventilem až ke vstupu do kompresoru se nachází nízkotlaká část okruhu. Její hlavní částí je výměník tzv. výparník. V něm, při nižším tlaku, a tedy i teplotě oproti poměrům v kondenzátoru, se vypařuje zkapalněné chladivo. [2]

V kompresoru jsou stlačovány páry chladiva, přičemž jejich teplota vzroste. V kondenzátoru teplé páry chladiva své teplo odevzdávají sekundárnímu okruhu, ochladí se, zkonduzují a stékají dolů. Expanzní ventil ochlazené chladivo se stále vysokým tlakem postupně propouští, snižuje jeho tlak a tím i teplotu. Ve výparníku při nižším tlaku chladivo odebírá tepelnou energii z okolí (např.: proudícímu vzduchu, proudící vodě, zemi pomocí vrtu nebo kolektoru) a odpařuje se. [2]



Obr. 2 Schéma příkladu celého zapojení

### 1.1.1. Topný faktor

Základním parametrem tepelných čerpadel je topný faktor, pro který se často používá zkratka COP (Coefficient of performance). Jedná se o bezrozměrnou veličinu vyjadřující účinnost tepelného čerpadla. Spočte se jako poměr mezi teplem dodávaným tepelným čerpadlem a tepelným ekvivalentem přiváděné energie. Teoretický topný faktor  $\varepsilon$  lze vypočítat podle následujícího vztahu:

$$\varepsilon = \frac{Q_{t\check{c}}}{Q_p} = \frac{Q_0 + Q_p}{Q_p} = \frac{Q_0}{Q_p} + 1 > 1$$

$Q_0$  ... teplo odebírané z okolí

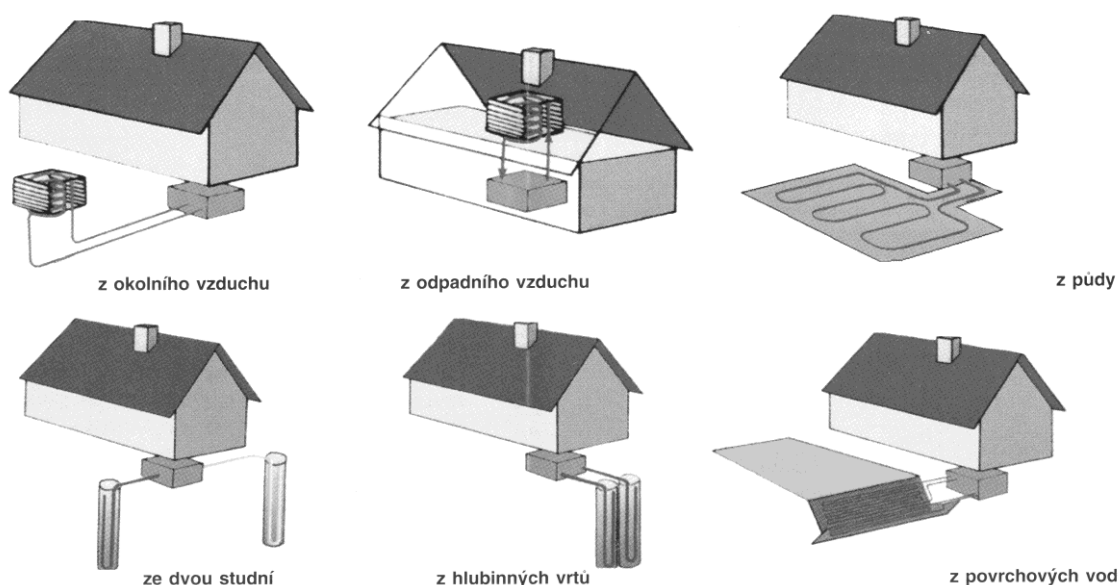
$Q_p$  ... tepelný ekvivalent přiváděné energie

$Q_{t\check{c}} = Q_0 - Q_p$  ... teplo dodávané tepelným čerpadlem

Běžně se topný faktor pohybuje v rozmezí od 2,5 do 5, ale prakticky nikdy není stálý, protože jak z uvedeného vztahu vyplývá, topný faktor závisí na okolních podmínkách. [3]

### 1.1.2. Typy tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla se dělí podle zdroje tepla a ohřívané látky. Nazývají se „zdroj energie“/ „ohřívaná látka“, kde ohřívaná látka je voda případně vzduch. Schémata jednotlivých druhů systémů jsou znázorněna na následujícím obrázku.



Obr. 3 Schémata druhů systémů tepelných čerpadel

#### Vzduch/ voda

Tepelná čerpadla vzduch/ voda vyniká snadnou instalací, možností aplikace prakticky na jakoukoliv stavbu a nízkou cenou díky absenci zemní práce. Výkon se mění s okolní teplotou, ze které čerpadlo tepelnou energii odebírá. S rostoucí teplotou okolního vzduchu roste výkon čerpadla a obráceně. Klesne-li teplota pod určitou hranici tzv. bod bivalence, který je obvykle mezi  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tepelné čerpadlo přestává být účinné a musí se dopomoci jiným zdrojem tepla např.: elektrickou topnou patronou ve výměníku nebo elektrokotlem. Kvůli závislosti na okolní teplotě vzduchu není vhodné jejich použití v horských nebo chladných oblastech. [4]

Tepelná čerpadla vzduch/ voda existují ve více provedeních. Skládají se buď z venkovní a vnitřní jednotky propojené chladivem tzv. split zapojení, nebo z kompaktního zapojení, kdy celé tepelné čerpadlo může stát venku nebo uvnitř stavby. V případě split zapojení tvoří venkovní jednotku pouze výparník a zbytek okruhu obsahuje vnitřní jednotka. Je možné mít obě jednotky uvnitř a na místo tepla venkovního vzduchu odebírat tzv. odpadní teplo, kde se využívá tepla, které domácnost produkuje. Celé zařízení vytváří určitou úroveň hluku a je proto důležité čerpadlo správně umístit, aby nerušilo residenty nebo sousedy. [4]

Používají se tři základní provozní režimy systému vzduch/ voda. První a nejjednodušší je monovalentní provoz, kdy je tepelné čerpadlo jediným zdrojem tepla. Při druhém alternativně-bivalentním provozu tepelné čerpadlo pracuje pouze po část topné sezóny, při největších mrazech je odstaveno a využívá se přídatný zdroj například kotel. Třetí paralelně-bivalentní provoz, kdy tepelné čerpadlo pracuje po celou topnou sezónu a při nejnižších teplotách se připojí další zdroj tepla například kotel. [5]

### **Země/ voda**

Tepelná čerpadla země/ voda poskytují celoročně stabilní výkon a vysoký topný faktor bez ohledu na venkovní teplotu. Stejně jako tepelná čerpadla vzduch/ voda se zemní čerpadla provozují v bivalentním provozu, což znamená že za bodem bivalence se zapne doplňkový zdroj tepla. Nevýhody jsou vliv na povrchovou vegetaci (týká se kolektoru), vysoké náklady a náročná instalace, pro kterou jsou potřeba zemní práce, vhodný prostor a země.

Pro čerpání tepla ze země se využívá zemní kolektor nebo geotermální vrty. Instalace zemního kolektoru vyžaduje plošně rozsáhlejší, ale výrazně levnější výkopové práce na pozemku oproti geotermálním vrtům. [6]

Díky nezávislosti na venkovních klimatických podmínkách lze tepelné čerpadlo země/ voda použít kdekoliv, nevyjímaje horských oblastí. Zmíněné výhody zaručují výrazně vyšší úspory než tepelná čerpadla vzduch/ voda. [6]

### **Voda/ voda**

Nejvyšší topný faktor poskytují tepelná čerpadla voda/ voda, bohužel vhodných lokalit pro jejich instalaci je velice málo. Využívá se tepelná energie vody povrchové nebo podzemní. Pokud to geologické predispozice pozemku dovolí, preferuje se využití podzemní vody pomocí studny. Teplota podzemní vody se stabilně pohybuje mezi 8 °C až 10 °C. Geotermální podzemní vody mají teplotu i přes 30 °C. [7]

Pro využití podzemních vod jsou zapotřebí dvě studny. Jedna zdrojová, ze které se čerpá teplá voda a druhá vsakovací, kterou se vrací voda studená. Studny by od sebe měly být vzdálené minimálně patnáct metrů a pro rodinný dům by se vydatnost pramene měla pohybovat okolo 0,5 l/s. Pořizovací náklady jsou nižší než u geotermálních vrtů, avšak provozní náklady bývají kvůli spotřebě ponorného čerpadla vyšší. [7]

Využití povrchových vod jako jsou řeky, rybníky a jiné vodní plochy pro zdroj tepla pro tepelná čerpadla je ojedinělé. Na dno využívaných vod se umístí hadice, které fungují jako kolektor. Nevýhodami jsou značně kolísavá teplota povrchových toků a náročná administrativa pro povolení instalace. [7]

## 1.2 Fotovoltaická elektrárna

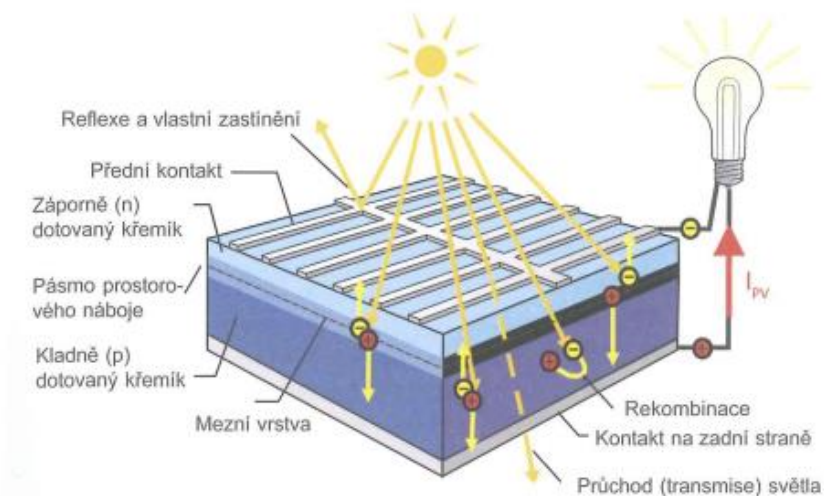
Solární technikou budovy se získává energie s minimálními emisemi a skleníkovými plyny v bilanci životního cyklu. Přispívají tedy ke snížení klimatické zátěže. Pomocí vyrobené elektrické energie FVE lze bivalenci vyrovnat nebo dosáhnout přebytku. [8]

Solární článek zajišťuje přeměnu světla na elektrickou energii, tj. fotovoltaický jev. Přeměna probíhá bez hluku, emisí a spotřeby látek v solárně aktivních minerálech. Solární článek je tvořen polovodiči, nejčastěji z křemíku. Polovodič je látka, která se přívodem energie může stát vodivou. Čtyři valenční elektrony atomu křemíku se váží na valenční elektrony sousedních atomů. V krystalických solárních článcích tak vzniká pravidelná krystalická mřížka. V článku se vedle sebe nachází kladně a záporně nabitě polovodičové oblasti. Mezi opačně nabitými oblastmi vzniká vnitřní elektrické pole zapříčiněné difúzí přebytečných elektronů ze záporné polovodičové oblasti (n) do kladné (p). Vzniká oblast s malým počtem volných nosičů náboje (vrstva prostorového náboje). V oblasti n vrstvy prostorového náboje zbývají kladné a v oblasti p záporně nabitě atomy. Vzniká elektrické pole orientované proti směru pohybu nosičů náboje, aby difúze elektronů nemohla pokračovat donekonečna. [8]

Pomocí dopadajícího světla na solární článek, zářivá energie fotonů uvolní elektrony z jejich vazeb. Fotony se absorbují a uvolněné záporně nabitě elektrony na svém místě zanechají kladný náboj (díru). Vnitřní elektrické pole zajišťuje, že elektrony a díry se přitahují. Záporný náboj putuje k přední straně článku a kladné náboje k zadní straně. Vznikají tak opačné polarity přední a zadní strany článku. Mezi nimi je rozdílný potenciál, který lze naměřit v podobě elektrického napětí. Zmíněné napětí naprázdno nabývá hodnot 0,6 až 0,7 V. Uzavřením elektrického obvodu teče obvodem proud. Některé elektrony nedosahují kontaktů a rekombinují. Rekombinace je jev, při kterém nastane svázání volného elektronu s atomem s chybějícím vnějším elektronem. Rekombinovaný elektron se nepodílí na průtoku proudu. [8]

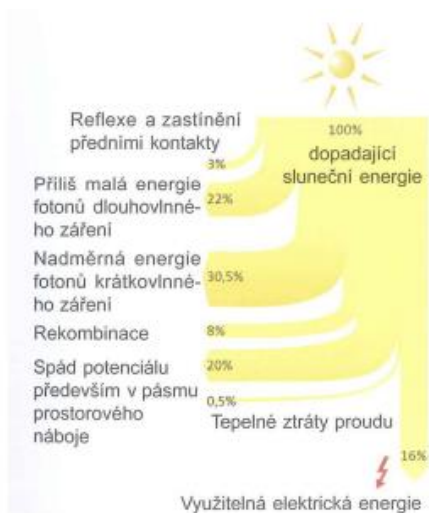
Strana solárního článku na kterou dopadá sluneční svit je záporně dotovaná fosforem. Druhá strana solárního článku odvrácená od slunce je kladně dotovaná bórem. Pro odebrání proudu jsou na stranách solárního článku umístěny kontakty. Kontakt na zadní straně obvykle tvoří celoplošná elektroda. Na přední straně tvoří kontakt tenká mřížka zakrývající co nejmenší část plochy povrchu solárního článku. Povrch solárního článku je pokrytý antireflexní vrstvou, aby se zamezilo odražení světla. Antireflexní vrstva dává solárním

článků jejich typickou černou (v případě monokrystalických článků) nebo modrou barvou (u polykrystalických článků). [8]



Obr. 4 Konstrukce a přeměna energie v krystalickém křemíkovém solárním článku

Ke ztrátám na solárním článku dochází rekombinací, odrazem světla a zastíněním předními kontakty. Významná část energie se ztrácí formou dlouhovlnného nebo krátkovlnného záření, které nelze využít. Solární článek využívá pouze část spektra slunečního záření. Nevyužitá energie se absorbuje a mění v teplo. [8]



Obr. 5 Tok energie v solárním článku

### 1.3 Typy solárních článků

Nejčastějšími typy solárních článků jsou monokrystalický a polykrystalický křemík. Dalšími typy jsou amorfni a pásové křemík. Odlišují se od sebe tvarem, barvou a výkonovými parametry. [8]

### **Monokrystalické články**

Z názvu vyplývá, že se solární články skládají z jediného krystalu. Monokrystalické články bývají čtvercové nebo čtvercové se zaoblenými rohy. Tvar článku je daný způsobem výroby. Protože se materiál článku skládá z jediného krystalu, jeho barva povrchu je tmavomodrá až černá. Monokrystalické články dosahují účinnosti přes 21 %, průměrná účinnost činí 15 až 17 %. [8] [9]

Monokrystalické panely jsou z uvedených typů těmi nejdražšími. Je to dáno zejména výrobním procesem. Způsob, kterým se monokrystalické panely vyrábí se nazývá Czochralského proces. Zmíněný proces je energeticky náročný a vzniká při něm přebytečný křemík, který lze dále použít při výrobě polykrystalických článků. [8]

### **Polykrystalické články**

Polykrystalické články jsou tvořeny více krystaly. Jsou snadno rozpoznatelné typickou modrou barvou. Stejně jako monokrystalické polykrystalické články mají nejčastěji čtvercový tvar. Jejich obvyklá účinnost se pohybuje v rozsahu 13 až 16 %. Polykrystalický křemík lze vyrábět jednodušeji a levněji než monokrystalický křemík. Obvyklou metodou výroby je blokové lití. Díky struktuře polykrystalických článků dokáží lépe využít rozptýlené světlo. [8] [9]



## 2 Praktická část

### 2.1 Popis rodinného domu

Dvoupatrový rodinný dům zobrazený na obr. 6 s obytnou plochou  $222\text{ m}^2$ , do které není započítána garáž a podkroví. Dům byl dokončen v roce 2007 a bydlí v něm čtyřčlenná rodina. Výška stropů v přízemí je 2,6 m a v prvním nadzemním patře 2,5 m. Vnější plocha stěn má  $279\text{ m}^2$  z toho  $41\text{ m}^2$  jsou okna, dveře a garážová vrata. Obvodové stěny jsou postaveny z cihel Porotherm o šířce 44 cm, součástí stěn je zateplení z polystyrenu o šířce 10 cm. Okna jsou plastová z pětikomorového profilu REHAU S799 (tloušťka 70 mm) s izolačními dvojskly 4/16/4 (plněno Argonem). Dále jsou zatepleny podlahy v přízemí, strop prvního patra. Střecha je pokryta betonovými taškami Bramac. Půdorys přízemního a prvního patra viz. příloha 1.



Obr. 6 Rodinný dům

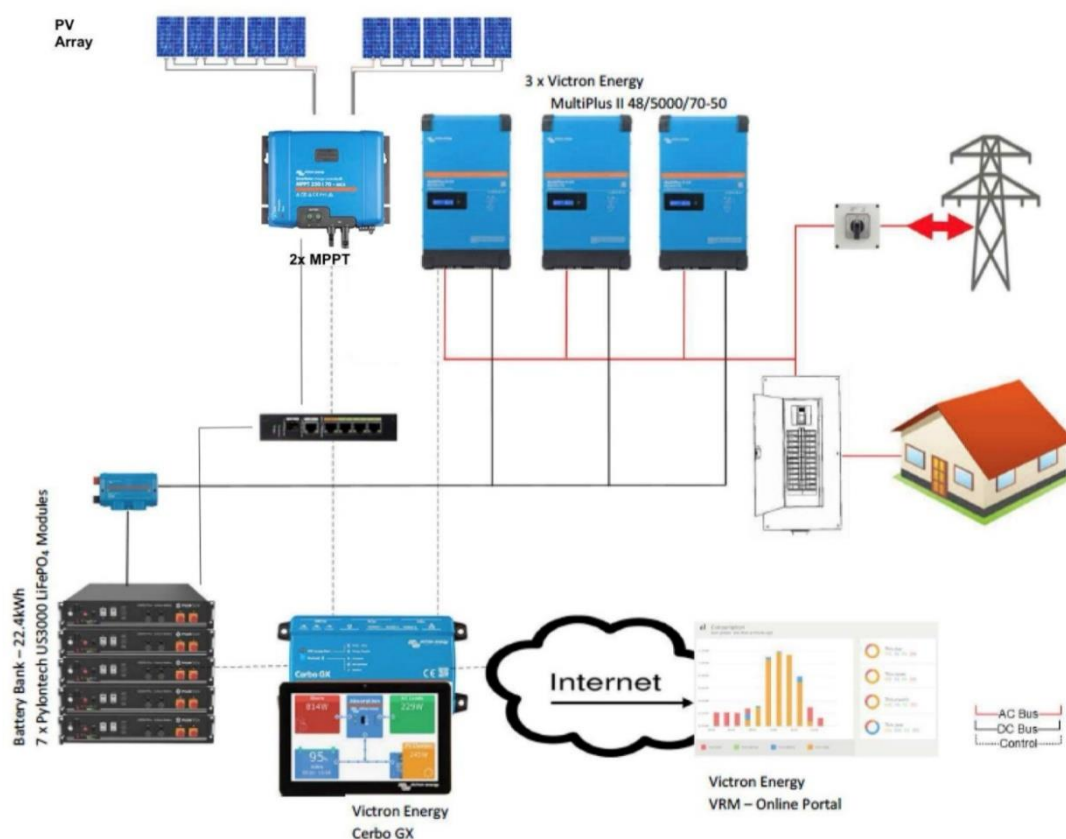


## 2.2 Modernizace energetického hospodářství rodinného domu

Z důvodu vysoké spotřeby a ceny elektřiny byla počátkem června roku 2023 instalována na střechu fotovoltaická elektrárna o výkonu 20 kWp. Hlavním cílem byla energetická soběstačnost po co nejdelší období kalendářního roku.

Do října roku 2023 veškeré teplo, tj. pro otopnou soustavu a TV zajišťoval plynový kotel značky Buderus o tepelném výkonu 28 kW. Po nenadálém prudkém zdražení plynu byla snaha co nejdříve plynový ohřev nahradit jiným zdrojem energie. Situace byla vyřešena pořízením TČ vzduch-voda s akumulací nádobou a elektrokotlem. Otopná soustava je dvoutrubková. Předávání tepla do místností zajišťují radiátory vybavené řízenými termostatickými hlavicemi Netatmo. Aktuální provedení viz. schéma na obr. 7.

Rodinný dům je vybaven dvěma dobíjecími stanicemi pro dva plug-in hybridní automobily. Automobily byly pořízeny v roce 2021 a 2023. Od jejich pořízení spotřeba elektrické energie celé domácnosti výrazně vzrostla.



Obr. 7 Zjednodušené schéma zapojení FVE

### 2.2.1 Fotovoltaická elektrárna

Třífázová hybridní fotovoltaická elektrárna je sestavená z komponentů společnosti Victron Energy a solárních panelů LONGI. Základem jsou 3 měniče/nabíječe MultiPlus-II

o celkovém výkonu 12 kW. Monokrystalické solární panely o celkovém instalovaném výkonu 20 kWp jsou připojeny k FVE přes 2 MPPT solární regulátory SmartSolar RS 450. Výkon FVE převyšuje ten, které jsou střídače schopny pojmout. Přebytečný výkon se využívá na dobíjení baterie. Celkem 40 panelů je rozděleno do 6 stringů na 3 střešní plochy o sklonu 35° s různou orientací (východ, jih, západ). Bateriové úložiště je sestaveno z 8 ks lithiových baterií (obr. 8) LiFePo4 Pylontech US5000 48 V o celkové kapacitě 38,4 kWh. Pro řídicí systém FVE a zároveň komunikační rozhraní je použito zařízení Cerbo GX.



Obr. 8 Střídače FVE a baterie

Za účelem nabíjení plug-in hybridních automobilů jsou v garáži instalovány 2 dobíjecí stanice Victron Energy EV Charging station (obr. 9) o maximálním výkonu 22 kW

v třífázovém režimu. Využívaná vozidla podporují nabíjení ve dvoufázovém režimu o maximálním nabíjecím výkonu 6,4 kW a v jednofázovém režimu o výkonu 3,7 kW.



Obr. 9 Nabíjecí stanice

### **Komponenty FVE**

3x Měnič/nabíječ Victron Energy MultiPlus-II 48V/5000VA/70A-50A

2x MPPT solární regulátor Victron Energy SmartSolar RS 450/200-Tr

1x Victron Energy Cerbo GX

8x Baterie PylonTech US5000 4,8 kWh, 48 V

40x LONGI LR5-66HPH 500W

2x Victron Energy EV Charging station 22 kW

### **Základní parametry FVE**

Instalovaný výkon panelů: 20 kWp

Instalovaný výkon střídačů: 12 kW

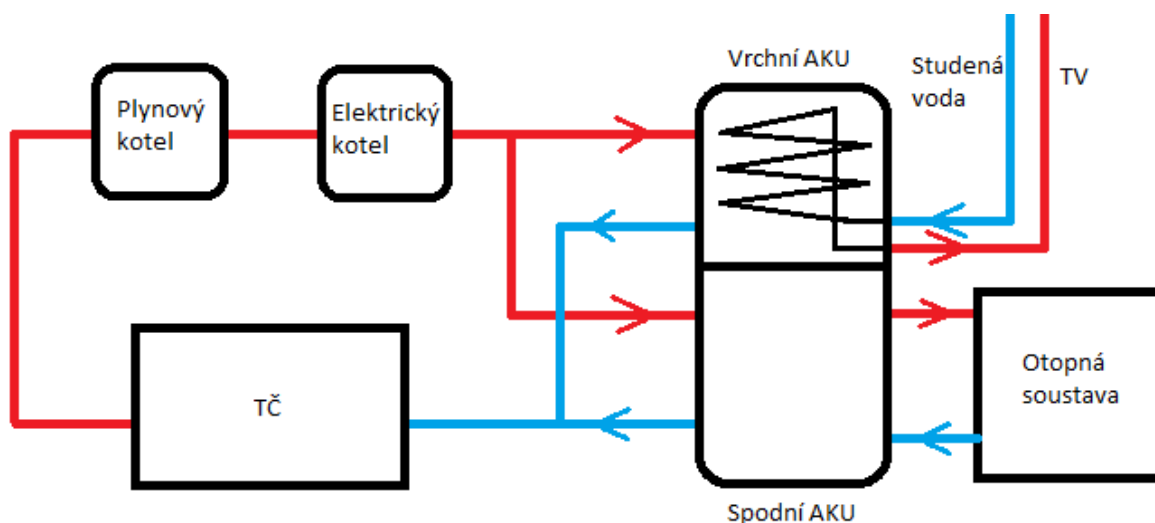
Celková kapacita baterií: 38,4 kWh

Předpokládaná roční výroba: 18 MWh

Předpokládaný max. dosažitelný AC výkon: 16,64 kW

Hodnota hlavního jističe: 3x 25 A

## 2.2.2 Otopná soustava a ohřev TV



Obr. 10 Zjednodušené schéma zapojení topné soustavy

Základem otopné soustavy je TČ NIBE F2120-16 s řídicí jednotkou SMO S40. Jedná se o tepelné čerpadlo vzduch – voda s frekvenčně řízeným invertorem a třífázovým připojením, což je optimální pro rovnoměrné zatížení fází. Rovnoměrné zatížení fází je důležité pro domácnosti využívající FVE.

TČ je připojeno přes čtyřcestný ventil ke kombinované akumulární nádrži. Cirkulaci tohoto ohřívacího okruhu zajišťuje oběhové čerpadlo (plnicí čerpadlo). Toto plnicí oběhové čerpadlo a čtyřcestný ventil jsou plně řízeny řídicí jednotkou TČ dle potřeb domácnosti. Čtyřcestný ventil určuje, která část AKU se ohřívá dle nastavených priorit.

Kombinovaná akumulární nádrž s přípravou TV v integrovaném nerezovém výměníku je rozdělena těsným dělicím plechem na dvě části. Voda se mezi částmi nemísí, ale dochází k předávání tepla pro zvýšení sezónního topného faktoru TČ.

Spodní část AKU je součástí otopné soustavy. Rozsah teplot topné vody je určován řídicí jednotkou TČ v závislosti na venkovní teplotě. V horní části spodní AKU se nachází přívod ohřáté vody od TČ a v dolní části je napojeno vratné potrubí ochlazené vody do TČ. V horní části spodní AKU je dále napojen přívod teplé vody do otopné soustavy a v dolní části je napojeno vratné potrubí ochlazené vody z otopné soustavy, tj. vody která byla využita pro ohřev obytných prostor. V okruhu otopné soustavy se nachází oběhové čerpadlo, které zajišťuje proudění topné vody z AKU do radiátorů a zpět. Toto oběhové čerpadlo automaticky reguluje své otáčky a tím průtok dle požadavků radiátorů topné soustavy.

Vrchní část AKU je využívána pro ohřev TV. V horní části vrchní AKU se nachází přívod ohřáté vody od TČ a v dolní části je napojeno vratné potrubí ochlazené vody do TČ. Teplotu

vody v zásobníku pro ohřev TV si monitoruje a reguluje řídicí jednotka TČ. Tato část AKU je vybavena nerezovým výměníkem, který zajišťuje ohřev studené vody na TV. Studená voda se do výměníku přivádí v dolní části vrchní AKU nádrže. V horní části vrchní AKU se z výměníku odebírá TV a je přiváděna do kohoutků.

Jako bivalentní zdroj pro případ nedostatečného výkonu TČ je sériově připojen průtokový elektrokotel Dražice TJ2 EHP s příkonem 9 kW. Jako druhý bivalentní či záložní zdroj byl použit původní plynový kotel. Plynový kotel je připojen sériově k TČ.

### **Akumulační nádrž**

Označení: Regulus HSK 600 P

Celkový objem nádrže: 560 l

Statická ztráta: 99 W

Objem kapaliny v nádrži celkem: 539 l

Objem kapaliny nad dělicím plechem: 235 l

Objem kapaliny pod dělicím plechem: 304 l

Objem výměníku TV nad dělicím plechem: 21 l

Plocha výměníku TV nad dělicím plechem: 6 m<sup>2</sup>

### **Tepelné čerpadlo**

Označení TČ: NIBE F2120-16

Řídicí jednotka: NIBE SMO S40

### **Plynový kotel**

Označení: Buderus Logamax U052-28

Maximální jmenovitý topný výkon: 28 kW

### **Elektrokotel**

Označení: Dražice TJ2 EHP

Příkon: 3, 6, 9 kW

## **2.3 Způsob měření a zaznamenávání dat**

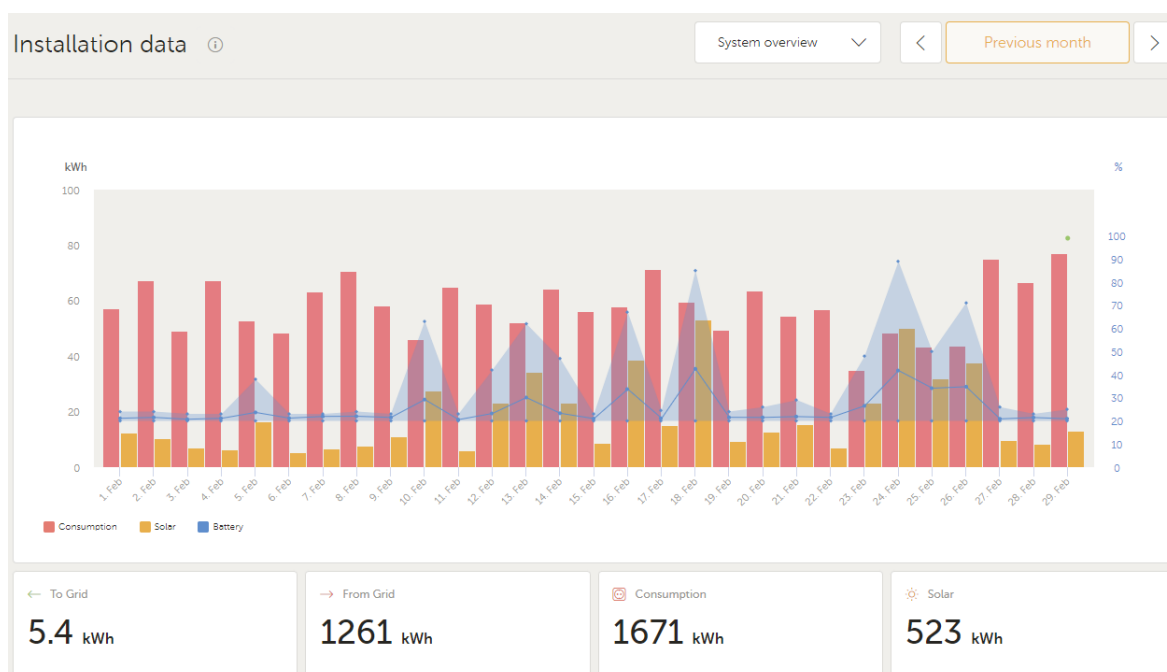
### **VRM Portal**

VRM Portal je komunikační rozhraní FVE společnosti Victron Energy. V našem případě se používá k monitorování a nastavování parametrů FVE, baterií, dobíjecí stanice pro

automobily a také sledování spotřeby elektrické energie domácnosti. VRM Portal je přístupný přes aplikaci v mobilním telefonu nebo přes webové rozhraní.

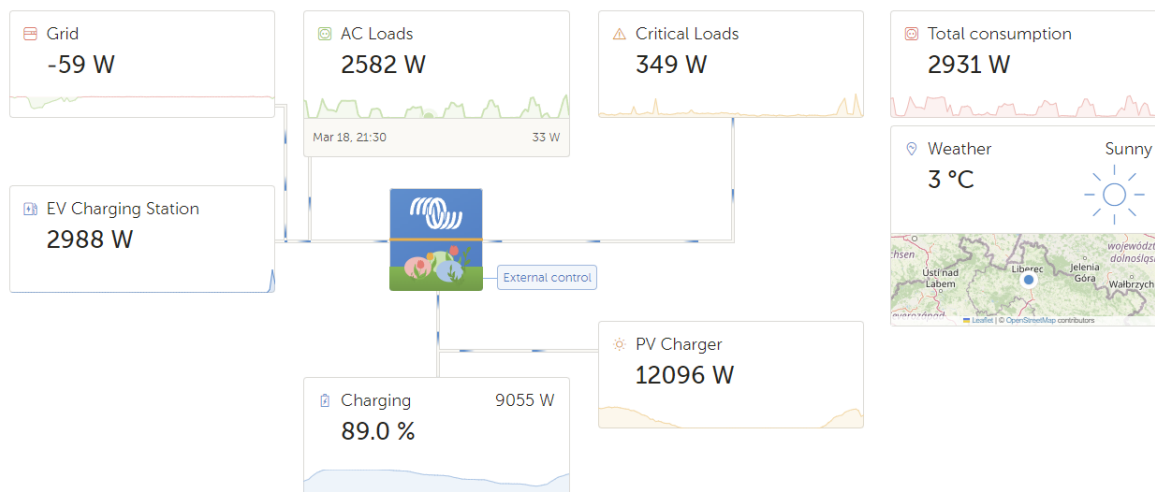
Aplikace umožňuje sledovat stav domácnosti v reálném čase viz. obr. 11, nebo v libovolném časovém úseku viz. graf 1.

Mezi sledované veličiny patří: spotřeba elektrické energie v domácnosti, množství vyrobené elektrické energie FVE, stav nabití baterie, spotřeba elektrické energie ze sítě, spotřeba elektrické energie z baterie, přímá spotřeba elektrické energie z FVE, export elektrické energie do sítě, uložená elektrická energie do baterie.



Graf 1 VRM Portal – hospodaření s elektrickou energií

Výše uvedený graf 1 znázorňuje spotřebu elektrické energie, výrobu elektrické energie FVE a stav nabití baterie. Část obrázku s grafem popisuje jednotlivé dny v měsíci. Pod grafem se nachází celkový součet zmíněných veličin za měsíc.



Obr. 11 VRM Portal – Přehled elektrického hospodaření domácnosti

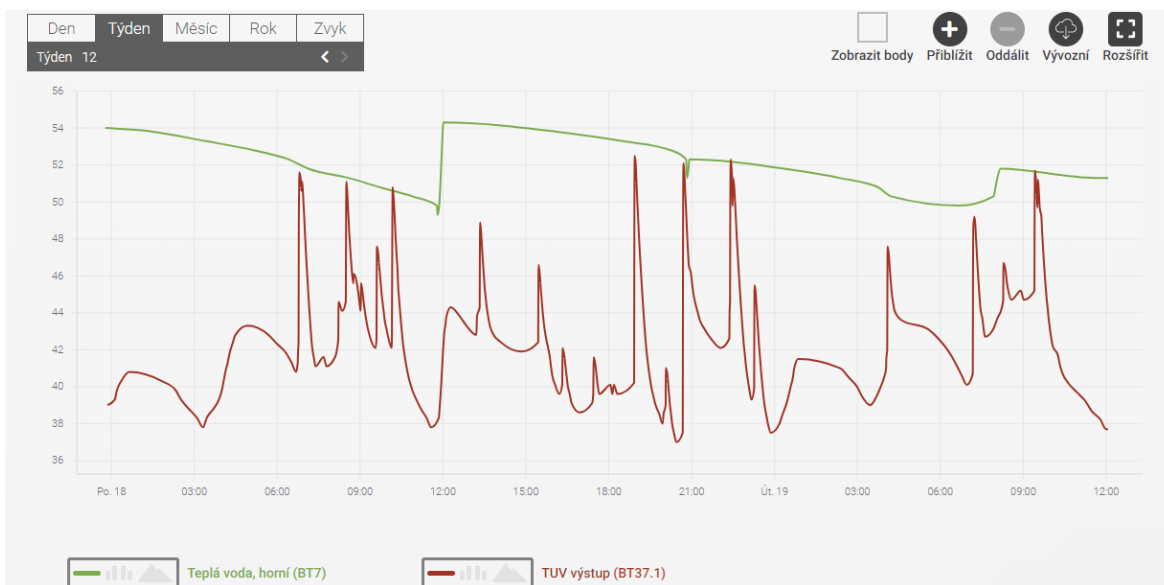
Na obrázku 11 je aktuální přehled domácnosti. Blok s názvem „Grid“ představuje elektrickou energii importovanou/exportovanou ze/do sítě. Blok „EV Charging Station“ monitoruje stav nabíjecích stanic pro automobily. Dole na obrázku se nachází blok popisující stav nabití baterie a zároveň se znázorňuje údaj, zda se baterie nabíjí nebo vybíjí. Blok „PV Charger“ ukazuje aktuální množství vyráběné elektrické energie FVE. Blok „AC Loads“ představuje spotřebu nezálohovaných okruhů (TČ a nabíjecí stanice elektromobilů). Blok „Critical Loads“ představují spotřebu zálohovaných okruhů domácnosti. Zálohované okruhy jsou v případě výpadku sítě napájeny z baterií FVE. Blok „Total consumption“ zobrazuje celkovou spotřebu domácnosti (součet „AC Loads“ a „Critical Loads“).

### MyUplink

MyUplink je komunikační rozhraní pro řízení a sledování stavu TČ NIBE. Prostřednictvím tohoto rozhraní se monitoruje venkovní teplota, nastavuje a monitoruje vnitřní teplota a teplota TV v domácnosti. MyUplink je přístupné přes aplikaci v mobilním telefonu nebo přes webové rozhraní. Zde je možné sledovat celou řadu údajů v reálném čase nebo v libovolném časovém úseku. Řídící jednotka TČ SMO S40 zajišťuje řízení a komunikaci s celým systémem topení a ohřevu TV. Díky této jednotce je možné sledovat velké množství veličin a parametrů celého TČ.

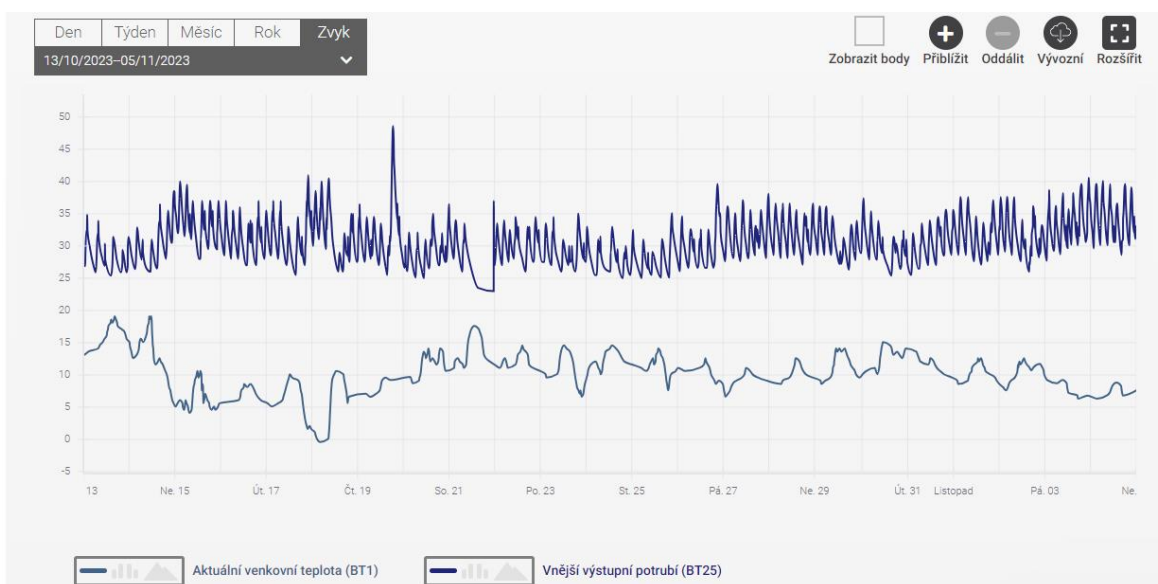
Pro naše účely sledování TV bude stačit sledovat spodní teplotu, horní teplotu vrchní části AKU a teplotu vody vystupující z výměníku do kohoutků domácnosti. Pro monitorování topného systému budeme sledovat vypočítanou teplotu pro topný systém, výstupní a vratnou teplotu topné vody, venkovní teplotu a vnitřní teplotu domácnosti. Dále množství elektrické energie spotřebované TČ.





Graf 2 MyUplink – průběh teplot TV a AKU

Na grafu 2 je graf znázorňující teploty TV v průběhu dvou dnů. Zelená křivka představuje teplotu vody v horní části AKU pro ohřev TV. Na jejím průběhu jsou viditelná místa náhlého zvýšení jinak klesající teploty vody, kdy se sepnulo TČ. Červená křivka popisuje teplotu TV na výstupu z výměníku AKU. Pokud je teplota vysoká, odpovídající teplotě vody v AKU, znamená to, že nastal odběr TV. Pokud se odběr TV přeruší, tak její teplota v potrubí vlivem tepelných ztrát postupně klesá.



Graf 3 MyUplink – průběh teplot otopné soustavy a AKU

Graf 3 uvedený výše znázorňuje závislost venkovní teploty a teploty vody na výstupu z AKU pro ohřev otopné soustavy. Tmavě modrá křivka představuje teplotu vody AKU pro ohřev otopné soustavy. Světle modrá křivka popisuje průběh venkovní teploty v průběhu



měsíce. TČ ohřívá vodu pro otopnou soustavu na základě zvolené ekvitermní křivky. Na grafu je viditelný propad venkovní teploty mezi nedělí 15. - nedělí 22. a ve stejné období zvýšení teploty vody pro otopnou soustavu.

## **Loxone**

Zmíněná rozhraní VRM Portal a MyUplink neumožňují zaznamenávání hodnot v pravidelných intervalech a vzájemně nekomunikují. Hodnoty v těchto rozhraních a řídicích jednotkách TČ a FVE se zaznamenávají v čase, kdy dojde ke změně hodnoty sledované veličiny. Zaznamenaná data mohou obsahovat několik měření ve stejné minutě a další měření může proběhnout i za několik hodin. Uložená a následně exportovaná data by byla z těchto důvodů obtížně zpracovatelná a nepřehledná.

Z tohoto důvodu byl použit pro záznam a monitorování dat Loxone Miniserver Compact. Loxone je systém pro řízení chytré domácnosti, který pro nastavování jednotlivých periférií a příslušenství používá software Loxone Config. V Loxone Config lze pomocí blokových schémat programovat a ovládat připojená zařízení a nastavovat monitorování potřebných veličin a dat. Pro komunikaci s uživatelem a vizualizaci se používá aplikace pro mobilní telefon nebo webové rozhraní Loxone.

Použitý Miniserver Compact, řídicí jednotky FVE a TČ komunikují prostřednictvím sítě LAN protokolem Modbus TCP. Díky tomu můžeme potřebné údaje z TČ a FVE v reálném čase zobrazovat a zaznamenávat v pravidelných časových intervalech. Navíc můžeme využít Loxone Miniserver k sledování a záznamu dalších důležitých parametrů, jako je detailnější spotřeba elektrické energie a odběr studené i teplé vody domácnosti.

Veškerá získaná data z Loxone jsou sjednocena a exportována pro další zpracování.

## **MS Excel**

Data získaná z Loxone Miniserver jsem zpracoval v programu MS Excel. Záznamy jsou pořizovány v patnácti minutových intervalech.

### **2.4 Způsob zpracování naměřených dat**

Kapitola má za cíl vytvořit přehled sledovaných veličin charakterizující domácnost a popsat postup zpracování dat. Mezi sledované veličiny patří: spotřeby elektrické energie na ohřev vody pro otopnou soustavu a TV, odběr TV, spotřeba elektrické energie automobilů a celé domácnosti, výroba elektrické energie FVE a venkovní teplota.

Aplikace Loxone ukládá data do .xml souborů s názvem veličiny a měsíce. Data jsem naimportoval do MS Excel. Loxone zaznamenává data formou počítadla, tzn. že každých 15

minut přičte hodnotu k předchozí hodnotě. Dalším krokem bylo přiřadit hodnoty jednotlivých veličin k patnácti minutovým intervalům. Každý řádek zpracovaných dat viz. příloha 3 představuje horní hranici patnácti minutového intervalu.

Veličiny zpracovaných vstupních dat jsem pomocí Excel funkce POSUN transformoval do přehlednější podoby viz. příloha 4.

V nadcházejících kapitolách jsou pro přehlednost výsledky provedených výpočtů zaokrouhlené. Pokud se s výslednou hodnotou dále pracuje, do vzorce byla dosazena nezaokrouhlená.

## 2.5 TV

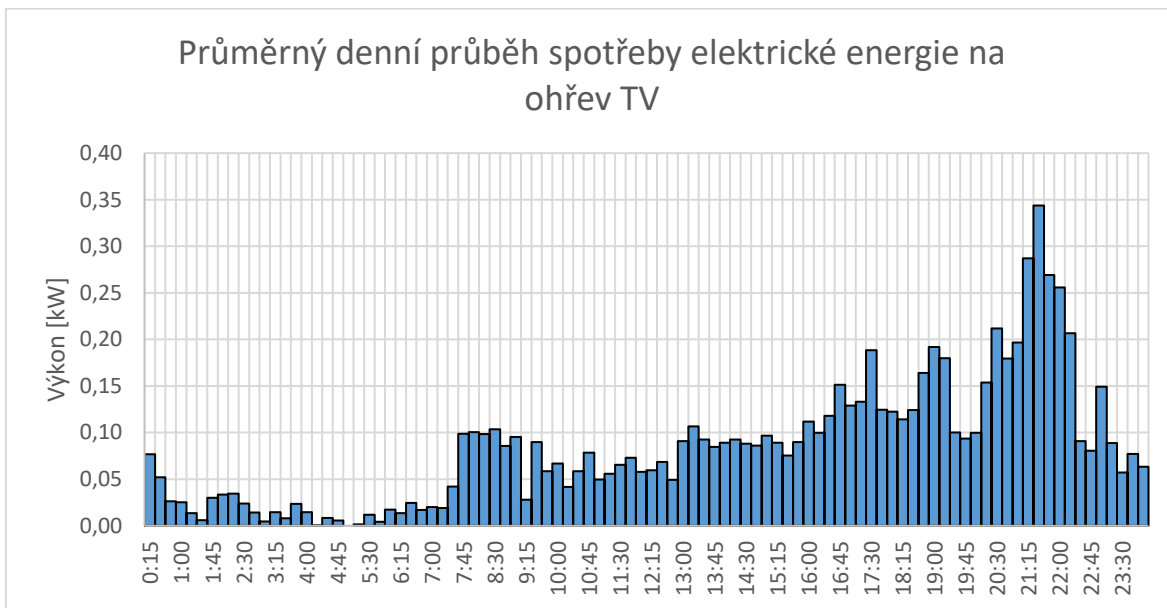
Ohřev TV zajišťuje TČ. Její spotřebu máme možnost vyjádřit pomocí spotřebované elektrické energie pro ohřev vrchní části AKU a odebraného množství TV. V domácnosti je využívána myčka na nádobí a pračka s vlastním ohřevem vody. Proto se TV v domácnosti používá téměř výhradně pro sprchu, vanu a umyvadla.

Křivka spotřeby elektrické energie by měla být o krátkou dobu posunuta zpět oproti křivce odběru. Po otevření kohoutku nastane odběr TV. Vrchní AKU pro ohřev TV se při odběru TV ochlazuje a pokud dolní část vrchní AKU klesne pod teplotu 48 °C, sepne se TČ. Nastane spotřeba elektrické energie a teplota vody postupně stoupá. TČ vypne ohřev, pokud dolní teplota vrchní AKU stoupne nad 52 °C.

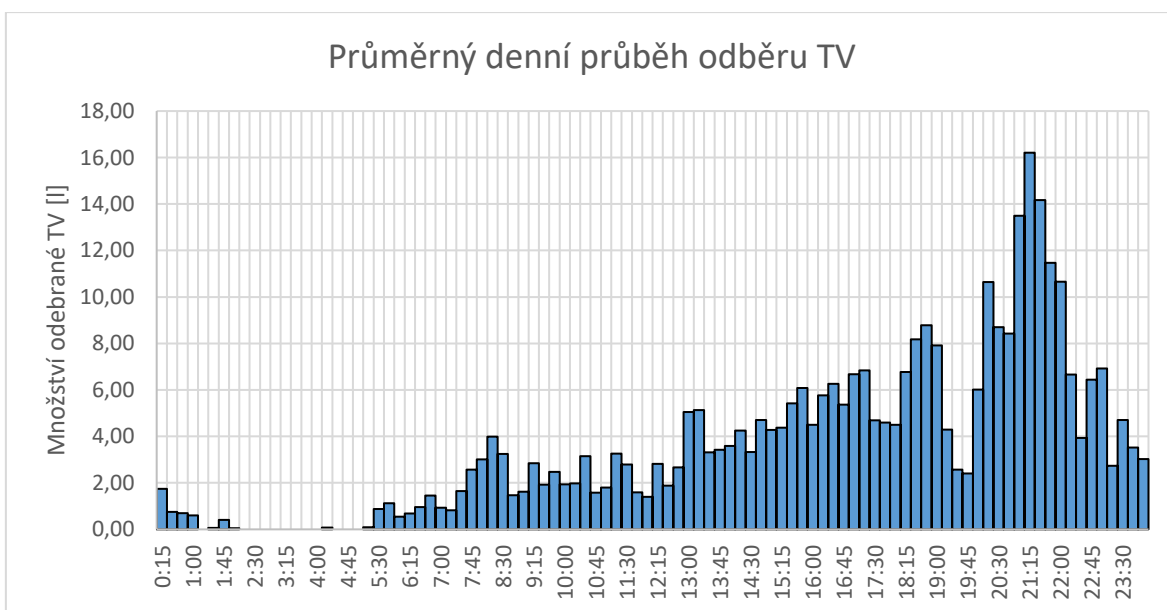
Teplota AKU klesá nejen vlivem odběru TV, ale i tepelných ztrát. Přibližně jednou až dvakrát za den se TČ na krátkou dobu sepne, aby se dorovnaly tepelné ztráty AKU. Bez odběru TV klesne teplota vody ve vrchní AKU o cca 7 °C za 24 h.

Odběr TV je zkreslený její teplotou, která se pohybuje mezi 55 °C a 38 °C dle délky odběru. Sprcha a vana jsou vybaveny termostatickými bateriemi. Při odběru, kdy spodní část AKU nestihne klesnout pod teplotu 48 °C, TČ nespustí ohřev TV. V případě, kdy bude teplota odbírané TV nižší, bude potřebné množství odebírané TV větší. Na základě pozorování byla vypočtena průměrná teplota odebírané TV 46,6 °C.

Ze zpracovaných dat jsem byl schopný sestavit graf popisující průměrný denní průběh spotřeby elektrické energie a odběru TV viz. graf 4.



Graf 4 Průměrný denní průběh spotřeby elektrické energie na ohřev TV

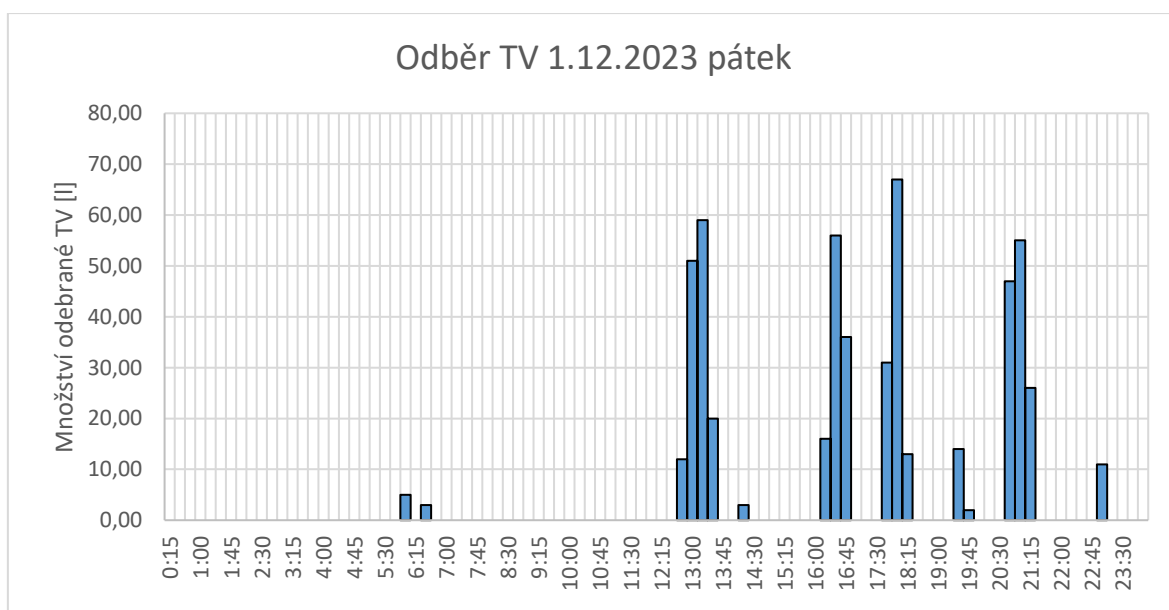


Graf 5 Průměrný denní průběh odběru TV

V grafech 4 a 5 jsou viditelné špičky spotřeby TV. Ranní špička, druhá polední, třetí odpolední a poslední čtvrtá večerní. Odpolední a večerní špičky jsou nejvýznamnější.

V grafu průměrného průběhu denní spotřeby elektrické energie je zřejmá menší špička v noci, která je zapříčiněna ztrátovým ohřevem AKU. Z grafu průběhu odběru TV vyplývá, že k žádnému odběru TV nedochází.

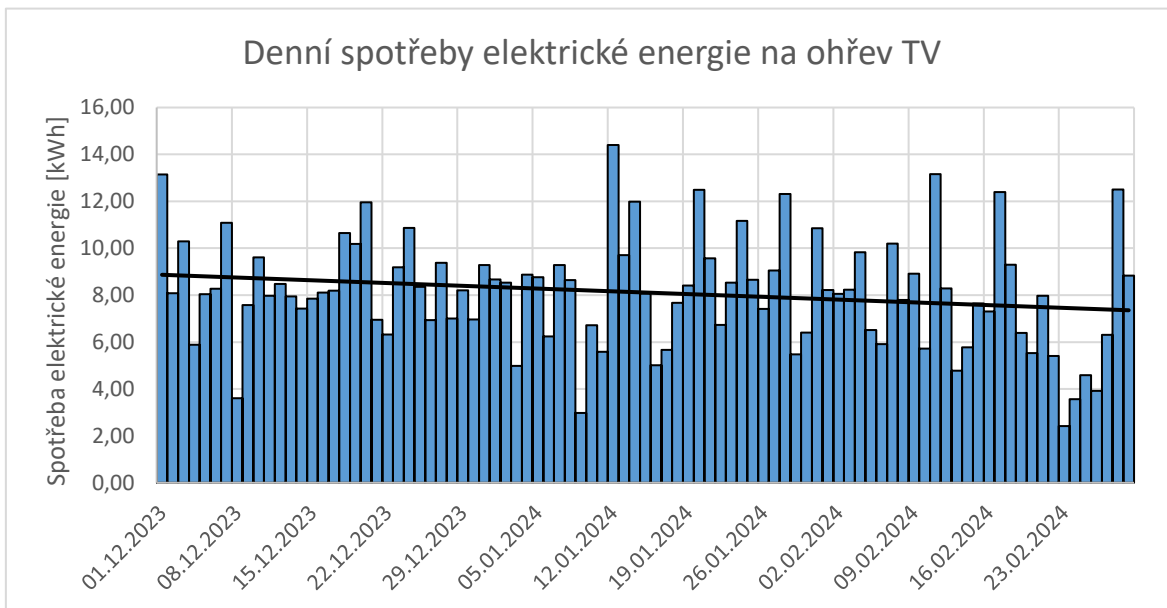
Nejvyšší průměrná hodnota odběru TV 16,2 litrů se nachází ve večerní špičce. Hodnota je poměrně nízká z několika důvodů. Odběr TV může trvat až hodinu a vodorovná osa rozděluje jednotlivé sloupce po patnácti minutách, tudíž jejich součet bude lépe odpovídat skutečnému odběru TV pro koupel nebo sprchu. Mezi průměrovanými hodnotami se často vyskytuje nulový odběr, který výslednou průměrnou hodnotu výrazně snižuje. Ve skutečnosti se odběr TV pro jednu koupel pohybuje okolo 130 litrů. V grafu průměrného denního průběhu odběru TV by nejvyšší špička byla shora omezena maximálním průtokem a dosahovala by zhruba 65 litrů. Pro lepší představu běžného denního průběhu odběru TV viz graf 6.



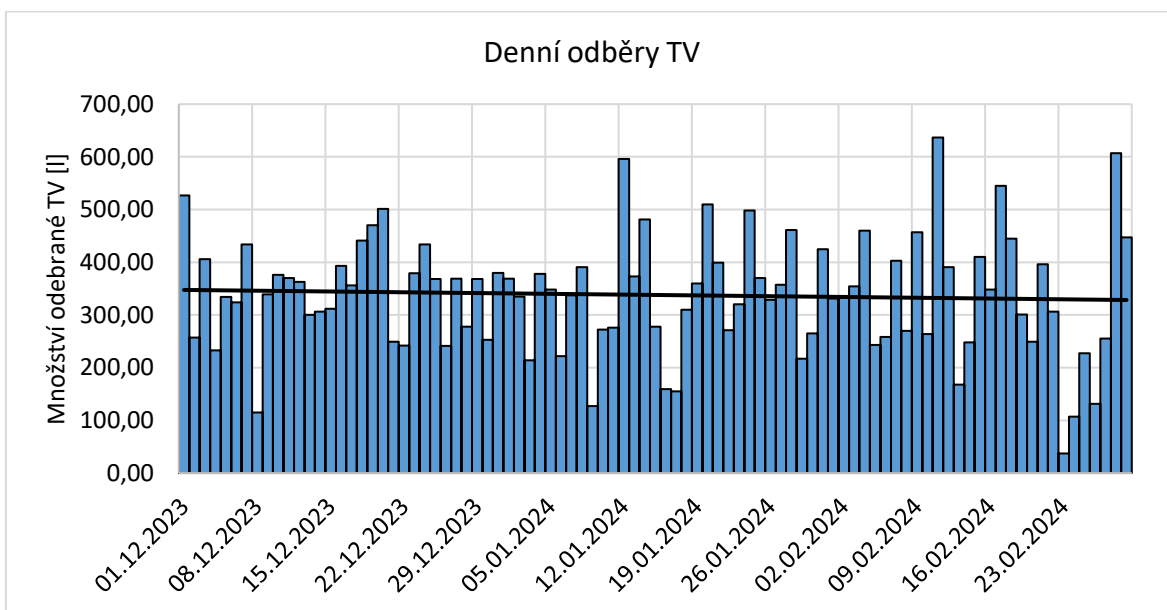
Graf 6 Odběr TV 1.12.2023 pátek

Sběr dat přes systém Loxone použitý pro tvorbu výše uvedených grafů začal na začátku prosince a byl ukončen na konci února. Soubor dat znázorňuje spotřebu TV za prosinec, leden a únor, tedy v zimním období. Sledované zimní období je kvůli přestupnému roku o den delší, tj 91 dnů.

Spotřeby elektrické energie pro ohřev TV a odběry TV v průběhu zimního období viz. graf 7.



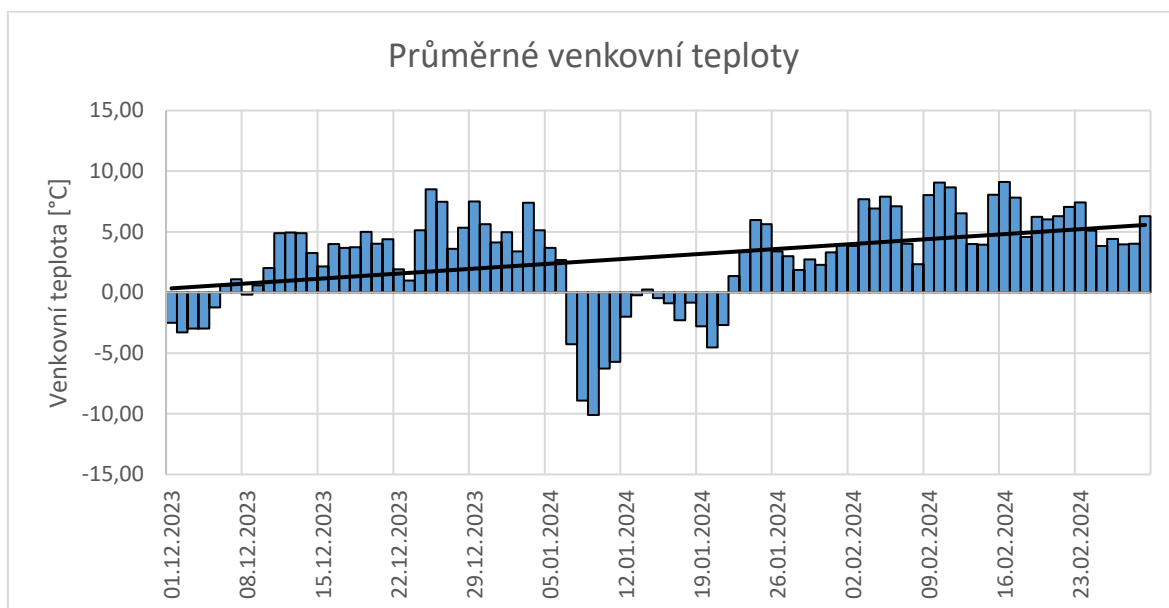
Graf 7 Denní spotřeby elektrické energie na ohřev TV



Graf 8 Denní odběry TV

Denní odběry TV v pozorovaném zimním období mírně klesají. Mírně klesající lineární proložení grafu je zapříčiněno především koncem sledovaného období, kdy byl nízký odběr TV. Denní spotřeby elektrické energie na ohřev TV v průběhu zimního období klesají výrazněji. Jedním z důvodů je již zmíněný snížený odběr TV ke konci zimního období.

Druhým důvodem je rostoucí venkovní teplota viz. graf 9. Vyšší venkovní teplota kladně ovlivňuje topný faktor (COP) TČ a tím snižuje jeho spotřebu elektrické energie.



Graf 9 Průměrné venkovní teploty

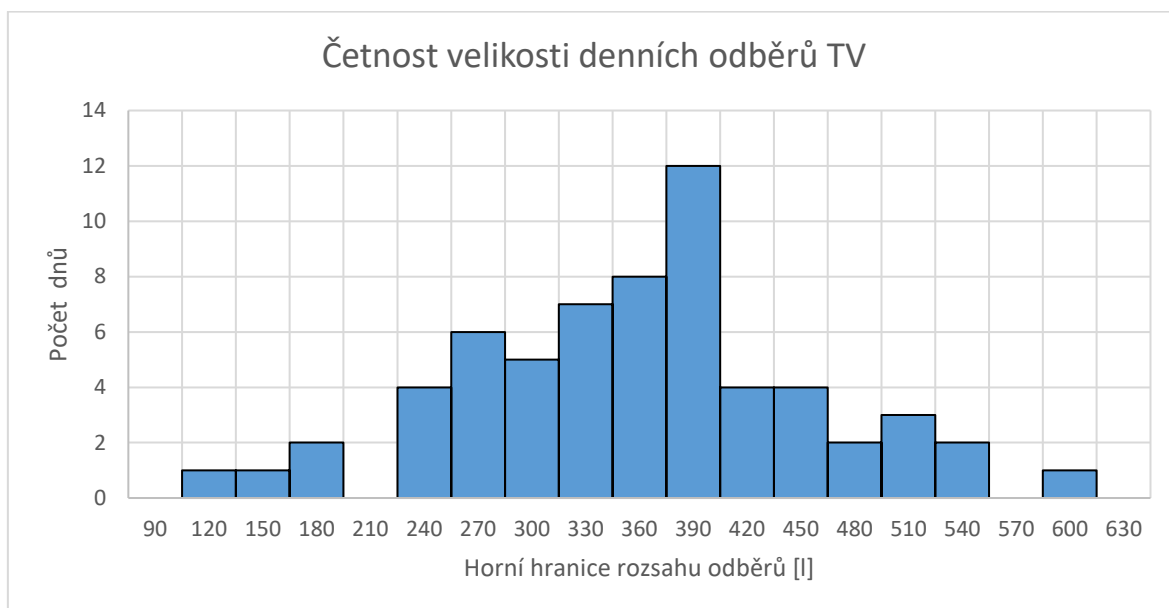
Přehled spotřeby elektrické energie pro ohřev TV a odběru TV za zimní období:

Tabulka 1 Spotřeby TV v zimním období

	Spotřeba elektrické energie na ohřev TV [kWh/den]	Odběr TV [l/den]
Aritmetický průměr	8,1	337,9
Směrodatná odchylka	2,4	111,9
Medián	8,1	339,0

Odběr TV v tabulce 1 je poměrně vysoký. Průměrný denní odběr TV vychází na 337,9 litrů a k jeho ohřátí bylo spotřebováno 8,1 kWh elektrické energie. Nesmíme zapomenout, že odběr TV není využíván na mytí nádobí ani praní. Myčka na nádobí a pračka si ohřívají vodu samostatně. Jedná se tedy téměř výhradně o vodu spotřebovanou ve vaně a sprchovém koutu. Směrodatné odchyly dosahují velikosti jedné třetiny aritmetického průměru, ke kterému se vztahují. Vysoká směrodatná odchylka naznačuje vysoký rozdíl odběru TV ze dne na den, což lze pozorovat na grafu 8. Obě hodnoty mediánu jsou téměř totožné s aritmetickými průměry. Medián blízký aritmetickému průměru znamená, že rozložení našeho souboru dat, viz. graf 10, je blízké normálnímu (Gaussovu) rozdělení. Celková

spotřeba elektrické energie pro ohřev TV ve sledovaném zimním období byla 738,2 kWh a celkový odběr vody 30,8 m<sup>3</sup>.

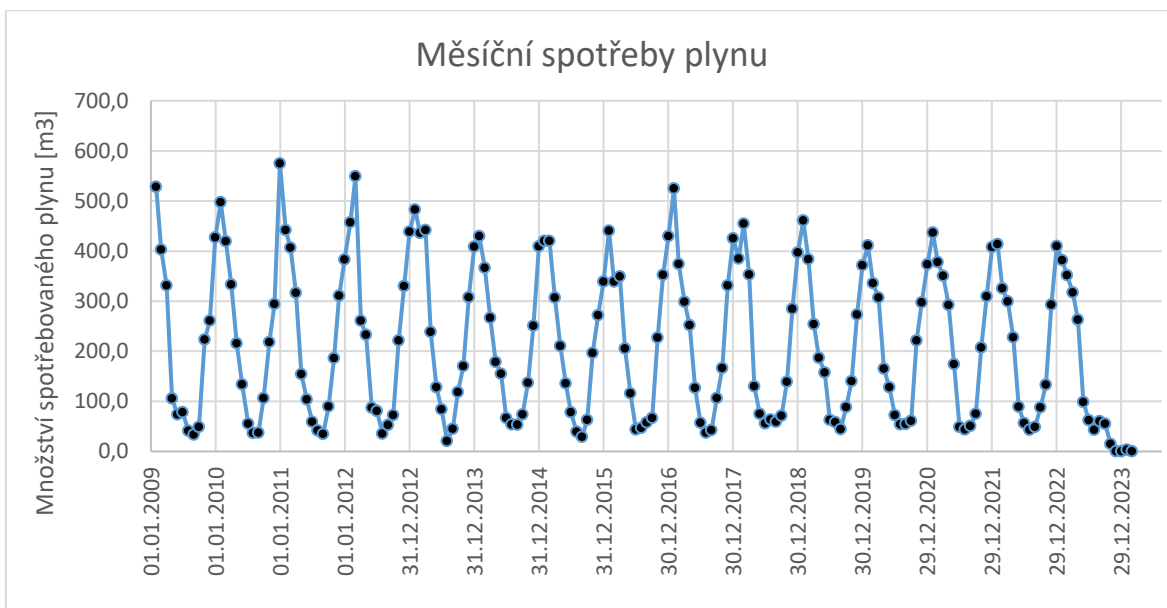


Graf 10 Četnost velikosti denních odběrů TV

Graf 10 vyjadřuje rozložení odběru TV ve sledovaném období. Na vodorovné ose se nachází horní hranice intervalů odběru TV a svislá osa vyjadřuje počet dnů s odběry TV v daných intervalech. Z histogramu vyplývá, že v zimním období nenastal den s nižším odběrem TV než 90 litrů a vyšším než 600 litrů. Nejčastěji odebírané množství TV za den je 360 až 390 litrů.

### 2.5.1 Výpočet odběru TV v průběhu roku

Výše uvedená data se vztahují na sledované zimní období. Mimo zaznamenávání dat systémem Loxone jsou k dispozici měsíční záznamy spotřeb vody, plynu a elektřiny od roku 2009. V této kapitole týkající se TV nás bude zajímat měsíční spotřeby plynu, viz. graf 11 a tabulka 2. Díky měsíčním záznamům dokážeme zjistit, jak se mění odběr TV v průběhu roku.



Graf 11 Měsíční spotřeby plynu

Před nainstalováním TČ se ohřívala TV a otopná soustava pomocí plynového kotle. Graf 11 znázorňuje měsíční spotřeby plynu od ledna roku 2009 do října roku 2023, kdy se plynový kotel stal záložním zdrojem tepla. Každá špička výše uvedeného grafu znázorňuje zimní období (prosinec, leden, únor), dochází zde zároveň k ohřevu otopné soustavy a TV. Naopak nejnižší hodnoty představují letní období (červen, červenec, srpen), protože se ohřívá výhradně TV.

Tabulka 2 Průměrné spotřebované množství plynu v posledních třech letech

	Zimní období (prosinec, leden, únor-90 dnů)	Přechodná období (zbylé měsíce)	Letní období (červen, červenec, srpen)
Průměrné spotřebované množství plynu v posledních třech letech [m <sup>3</sup> ]	1171,6	1256,8	152,5

Průměrné roční množství spotřebovaného plynu z posledních třech let vychází 2580,9 m<sup>3</sup>/rok. Spotřeba plynu v přechodném období je vyšší než v zimním, protože za přechodné období uvažujeme šest měsíců.



Pro výpočet množství spotřebované TV v letním období, nejdříve musíme zjistit tepelnou energii potřebnou pro ohřev TV. K jejímu výpočtu jsem vycházel ze spotřeb plynu z posledních třech letních období, kdy byla jeho spotřeba nejstabilnější. Výhřevnost plynu jsem získal zprůměrováním výhřevností plynu uvedených na měsíčních záznamech spotřeb plynu z posledních třech let. Za účinnost ohřevu plynového kotle jsem dosadil hodnotu 0,8.

Výpočet tepelné energie pro ohřev TV v letním období:

$$E_{\text{letní}_{TV}} = v_P \cdot H \cdot \eta$$

$$\{E_{\text{letní}_{TV}}\} = 152,5 \cdot 10,93 \cdot 0,8$$

$$E_{\text{letní}_{TV}} = 1333,8 \text{ kWh/letní období} = 14,5 \text{ kWh/den}$$

$v_P$  ... spotřebovaný objem plynu [ $m^3$ /letní období]

$H$  ... výhřevnost plynu [ $kWh/m^3$ ]

$\eta$  ... účinnost ohřevu plynového kotle [-]

Plynový kotel ohřival studenou vodu na teplotu 55 °C. Za teplotu studené vody jsem zvolil standardních 10 °C.

Výpočet množství odebrané TV v letním období:

$$v_{\text{letní}_{55}} = \frac{E_{\text{letní}}}{c \cdot \rho_{36} \cdot (t_{2,55} - t_1)}$$

$$\{v_{\text{letní}_{55}}\} = \frac{1333,8}{0,00116 \cdot 994,9 \cdot (55 - 10)}$$

$$v_{\text{letní}_{55}} = 25,6 \text{ m}^3/\text{letní období} = 278,7 \text{ l/den letního období}$$

$c$  ... měrná tepelná kapacita vody do 50 °C [ $kWh/(kg \cdot K)$ ]

$\rho_{36}$  ... hustota vody při 36,0 °C [ $kg/m^3$ ]

$t_{2,55}$  ... teplota ohřáté vody plynovým kotlem [°C]

$t_1$  ... teplota studené vody [°C]

Vypočítané množství odebrané TV má teplotu 55 °C. Abychom mohli porovnat odebranou TV při použití TČ a plynového kotle, musíme vypočítat, jak velké je množství TV při 46,6 °C, tj teplota TV ohřáté TČ:

$$v_{\text{letní}_{46,6}} = \frac{v_{\text{letní}_{55}} \cdot (t_{2_{55}} - t_1)}{(t_{2_{46,6}} - t_1)}$$

$$\{v_{\text{letní}_{46,6}}\} = \frac{25,6 \cdot (55 - 10)}{(46,6 - 10)}$$

$$v_{\text{letní}_{46,6}} = 31,5 \text{ m}^3 / \text{letní období} = 342,7 \text{ l} / \text{den letního období}$$

$t_{2_{55}}$  ... teplota ohřáté vody plynovým kotlem [°C]

$t_{2_{46,6}}$  ... teplota ohřáté vody TČ [°C]

$t_1$  ... teplota studené vody [°C]

Shrnutí výsledků letní a zimní tepelné energie potřebné pro pokrytí odběru TV:

Tabulka 3 Letní a zimní odběr TV

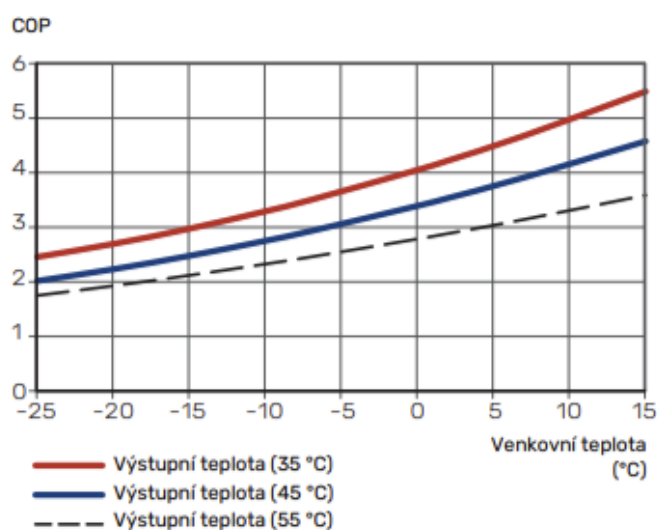
	Letní období (červen, červenec, srpen)	Zimní období (prosinec, leden, únor- 91 dnů)
Množství odebrané vody o teplotě 46,6 °C [m <sup>3</sup> /období]	31,5	30,8
Množství odebrané vody o teplotě 46,6 °C [l/den]	342,7	337,9

Množství odebrané vody v letním období je nepatrně vyšší než v zimním období. Denní rozdíl činí necelých 5 litrů vody. Přesnost výsledků mohla ovlivnit nepřesně zvolená účinnost plynového kotle nebo teplota studené a ohřáté vody. Množství odebrané TV v letním období vychází z posledních tří let, zimní období bylo monitorováno prvně. Zároveň je možné, že letošní odběr TV v zimním období byl nižší nebo vyšší než obvykle. Kvůli případným nepřesnostem a nedostatku pozorovaných zimních období jsem stanovil, že odběr množství TV v průběhu roku je konstantní. Pro další výpočty budu používat naměřené hodnoty odběru TV, tj. sloupec zimního období tabulky 3.

## 2.5.2 Výpočet spotřeby elektrické energie pro ohřev TV v průběhu roku

Neměnný odběr množství TV v průběhu roku neznamená, že spotřeba elektrické energie je taktéž neměnná. V zimním období je podstatně nižší průměrná denní teplota, která má negativní vliv na COP. Pomocí naměřených hodnot jsme schopni spočítat, jaké bylo COP.

COP můžeme získat dvěma způsoby. Technická dokumentace TČ uvádí diagram závislosti TČ na venkovní teplotě (graf 12). V diagramu se nachází tři křivky, každá se vztahuje k určité teplotě, na kterou TČ vodu ohřívá. Pro určení skutečného COP využiji naměřené spotřeby elektrické energie a vypočítanou získanou tepelnou energii. Teplota, na kterou TČ ohřívá vodu se pohybuje kolem 52 °C. Nejbližší teplota, kterou křivky popisují je 55 °C, tj. černá přerušovaná křivka. Závislost jsem vynesl do grafu v MS Excel a určil  $COP_{TV\_zimní\_teor}$  pro průměrnou naměřenou venkovní teplotu ve sledovaném zimním období 3 °C.



Graf 12 Diagram závislosti COP na venkovní teplotě

Získaný  $COP_{TV\_teor}$  2,9 využiji pro výpočet teoretické získané tepelné energie, kterou porovnáme se skutečnou získanou tepelnou energií.

Výpočet tepelné energie pro ohřev TV v zimním období s teoretickým COP:

$$E_{TČ\_TV\_teor} = S_{TČ\_TV} \cdot COP_{TV\_zimní\_teor}$$

$$\{E_{TČ\_TV\_teor}\} = 738,2 \cdot 2,9$$

$$E_{TČ\_TV\_teor} = 2163,6 \text{ kWh/zimní období} = 23,8 \text{ kWh/den zimního období}$$

$S_{TČ\_TV}$  ... spotřeba elektrické energie TČ pro ohřev TV [kWh/zimní období]

$COP_{TV\_zimní\_teor}$  ... topný faktor TČ při teplotě 3 °C a teplotě ohřáté vody 55 °C uvedený výrobcem [-]

Pro druhý způsob výpočtu jsem využil naměřené množství odebrané vody v zimním období. Pro teplotu studené vody jsem zvolil standardních 10 °C. Teplotu ohřáté vody jsem určil jako průměrnou hodnotu z měření teploty TV na výstupu z AKU při odběru TV.

Výpočet tepelné energie pro ohřev TV v zimním období na základě měřeného odběru TV:

$$E_{T\check{C}_{TV}} = c \cdot \rho_{27,3} \cdot v \cdot (t_{2,46,6} - t_1)$$
$$\{E_{T\check{C}_{TV}}\} = 0,00116 \cdot 996,4 \cdot 30,8 \cdot (46,6 - 10)$$

$$E_{T\check{C}_{TV}} = 1303,1 \text{ kWh/zimní období} = 14,3 \text{ kWh/den zimního období}$$

$c$  ... měrná tepelná kapacita vody do 50 °C [kWh/(kg · K)]

$\rho_{27,3}$  ... hustota vody při 27,3 °C [kg/m<sup>3</sup>]

$v$  ... množství odebrané vody [m<sup>3</sup>/zimní období]

$t_1$  ... teplota studené vody [°C]

Skutečné COP TČ pro ohřev TV v zimním období se vypočte:

$$COP_{TV\_zimní\_skut} = \frac{E_{T\check{C}_{TV}}}{S_{T\check{C}_{TV}}}$$
$$\{COP_{TV\_zimní\_skut}\} = \frac{1303,1}{738,2}$$
$$COP_{TV\_zimní\_skut} = 1,8$$

$S_{T\check{C}_{TV}}$  ... spotřeba elektrické energie TČ pro ohřev TV [kWh/zimní období]

$E_{T\check{C}_{TV}}$  ... tepelná energie pro ohřev TV [m<sup>3</sup>/den]

Skutečné COP<sub>TV\_zimní\_skut</sub> je o 39,8 % nižší než teoretické COP<sub>TV\_zimní\_teor</sub>, což znamená, že skutečný ohřev vody TČ je méně efektivní než teoretický. Skutečná získaná tepelná energie je při stejné spotřebě elektrické energie o 9,5 kWh/den nižší. Výrazně nižší COP<sub>TV\_zimní\_skut</sub> je především zapříčiněn konstrukcí AKU. AKU pro TV a otopnou soustavu jsou od sebe odděleny tenkým plechem, to znamená, že si mezi sebou předávají teplo. Protože je AKU pro ohřev TV výrazně teplejší, část svého tepla předává AKU pro ohřev otopné soustavy a COP<sub>TV\_skut</sub> vychází nižší. COP TČ pro ohřev otopné soustavy bude naopak vyšší.

Za předpokladu, že skutečné COP<sub>TV</sub> je vždy o 39,8 % nižší než teoretické COP<sub>TV\_teor</sub>, můžeme vypočítat COP<sub>TV\_vypoč</sub>. Teploty ročních období jsem získal od českého hydrometeorologického ústavu. Za teplotu zimního období jsem dosadil naměřenou průměrnou teplotu. Teplotu letního a přechodného období jsem určil jako průměrné teploty příslušných měsíců z posledních třech let. Vzhledem k neměnnému odběru množství TV

v průběhu roku, mohou odhadnout spotřebu elektrické energie TČ v jednotlivých ročních obdobích.

Odhad spotřeb elektrické energie pro ohřev TV v průběhu roku:

Tabulka 4 Odhad spotřeb elektrické energie pro ohřev TV v průběhu roku

	Zimní období (prosinec, leden, únor-91 dnů)	Přechodná období (zbylé měsíce)	Letní období (červen, červenec, srpen)
Průměrná venkovní teplota [°C]	3,0	8,0	18,3
COP [-]	1,8	1,9	2,3
Spotřeba elektrické energie pro ohřev TV [kWh]	738,2	1344,8	563,4
Spotřeba elektrické energie pro ohřev TV [kWh/den]	8,1	7,3	6,1

Z tabulky 4 vyplývá, že se denní spotřeba elektrické energie pro ohřev TV mění v průběhu roku o 2 kWh/den. Spotřeba elektrické energie pro ohřev TV se vztahuje ke sledovanému zimnímu období, které vychází z naměřených hodnot. Výsledky týkající se přechodného a letního období nemusí odpovídat skutečnosti. Především v letním období, kdy se neohřívá voda otopné soustavy, teplejší AKU pro ohřev TV předává AKU pro ohřev otopné soustavy jen minimální teplo. Letní COP bude vyšší a spotřeba elektrické energie pro ohřev TV nižší. To samé jen v menší míře platí pro přechodné období. Celková odhadovaná spotřeba elektrické energie pro ohřev TV za rok je 2646,3 kWh/rok (2638,2 kWh v rok, který není přestupný).

## 2.6 Otopná soustava

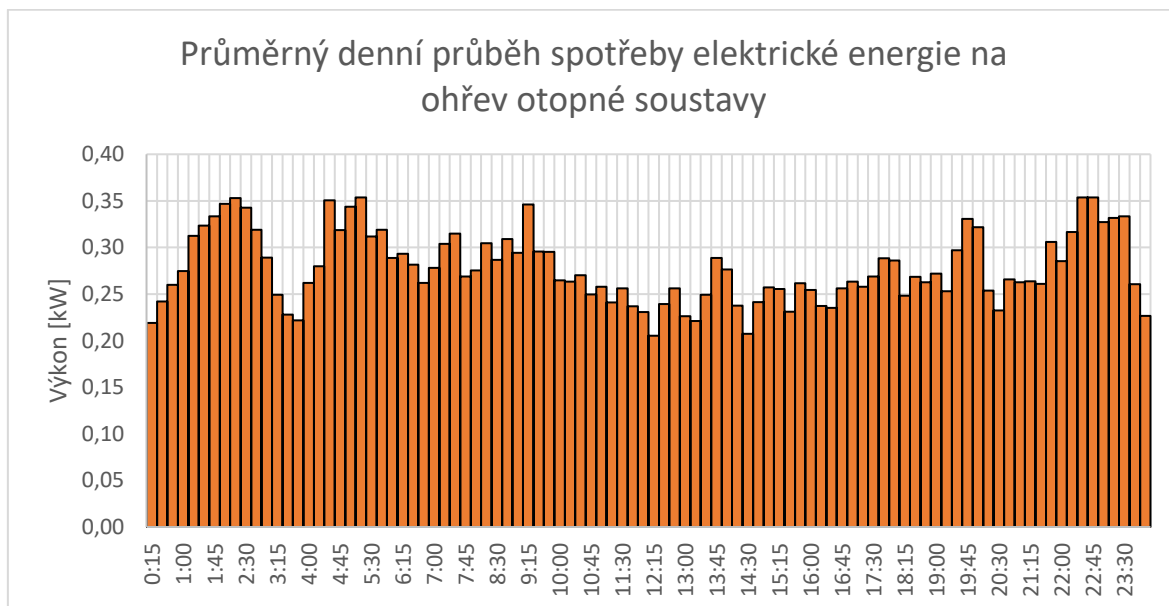
U otopné soustavy budu řešit spotřebu elektrické energie pro její ohřev. Spotřebu elektrické energie ovlivňuje několik faktorů: počasí, požadovaná vnitřní teplota, velikost vytápěného prostoru, izolace rodinného domu a efektivita ohřevu vody. Nejpodstatnějším faktorem je vliv počasí především venkovní teplota a sluneční svit. TČ svůj výkon reguluje na základě topné křivky, tj. ekvitemní regulace, kterou lze manuálně upravit. Čidlo

venkovní teploty, podle které řídicí jednotka TČ určuje teplotu otopné vody, je umístěno na severní straně domu. Což je místo, které neovlivňuje sluneční svit.

Požadovaná vnitřní teplota, o kterou se výše uvedenou regulací snažíme je 22,5 °C. Teplotní čidlo umístěné v obývacím pokoji na jižní straně domu zaznamenává teplotu společně s ostatními údaji TČ v Loxone. Na radiátorech ve většině místností jsou nainstalované hlavice Netatmo s integrovanými teploměry. Tyto hlavice zajišťují udržování výše uvedené teploty v jednotlivých místnostech.

Efektivita ohřevu vody se stejně jako u ohřevu TV v průběhu roku mění s venkovní teplotou.

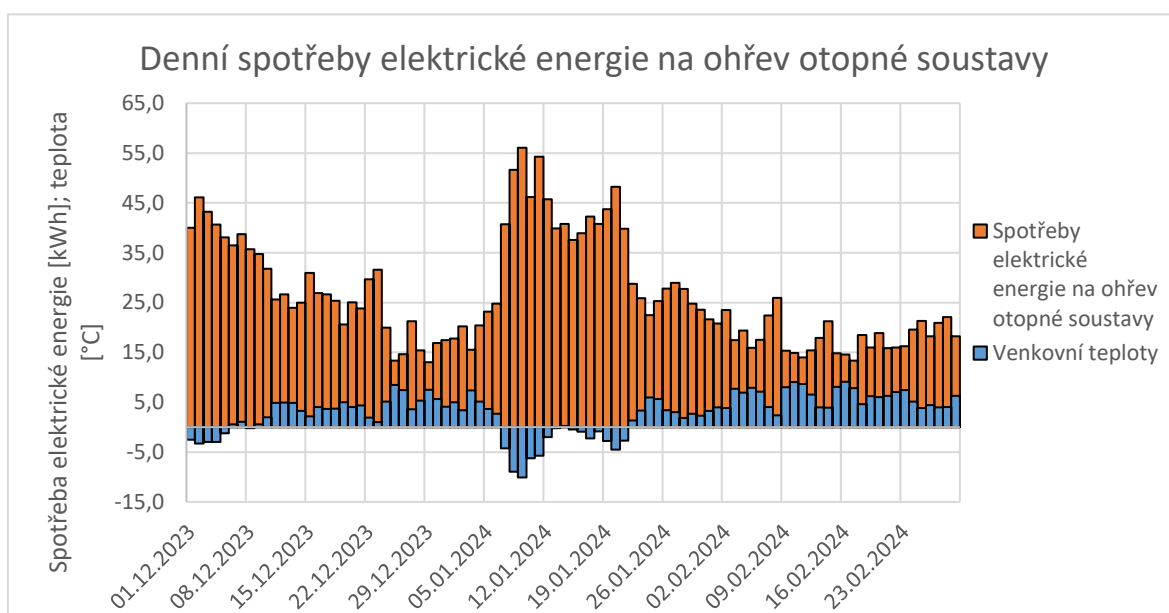
K dispozici jsou data ze zimního období. Stejně jako v kapitole o TV jsem z naměřených hodnot vytvořil grafy spotřeb elektrické energie na ohřev otopné soustavy v zimním období za jednotlivé dny a v průběhu dne.



Graf 13 Průměrný denní průběh spotřeby elektrické energie na ohřev otopné soustavy

TČ ohřívá vodu pro ohřev TV nebo otopnou soustavu. Řídicí jednotka je nastavena, aby měl ohřev TV přednost před ohřevem otopné soustavy z důvodu komfortu. Přednost pro ohřev TV je zřejmý v časech 12:00 až 22:00 hodin na grafu 13, kdy je spotřeba elektrické energie pro ohřev otopné soustavy relativně nízká, protože odběr TV je v danou dobu vysoký. Ve zmíněném časovém intervalu se v čase 20:00 hodin nachází špička. V tu samou dobu se v grafu 4 spotřeby elektrické energie pro ohřev TV nachází krátký časový úsek

s nízkou spotřebou elektrické energie mezi odpolední a večerní špičkou.



Graf 14 Denní spotřeby elektrické energie na ohřev otopné soustavy

Graf 14 popisuje denní spotřeby elektrické energie pro ohřev otopné soustavy a venkovní teploty v průběhu sledovaného zimního období. Venkovní teplota zásadně ovlivňuje elektrickou spotřebu. Dne 9. 1. 2024, kdy byla venkovní teplota nejnižší tj.  $-10,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  byla spotřeba elektrické energie nejvyšší tj.  $56,1\text{ kWh}$ .

Tabulka 5 Spotřeba elektrické energie na ohřev otopné soustavy

	Spotřeba elektrické energie na ohřev otopné soustavy [kWh/den]
Aritmetický průměr	26,7
Směrodatná odchylka	10,8
Medián	23,8

Statistické vyhodnocení spotřeby elektrické energie u otopné soustavy nenabývá přílišného významu. Ze směrodatné odchylky (tabulka 5) je zřejmé, že spotřeba elektrické energie je velmi nestálá a vysoce závislá na venkovní teplotě. Nejpodstatnější hodnotou je celková spotřeba elektrické energie ve sledovaném období  $2430,6\text{ kWh}$  a průměrná denní spotřeba  $26,7\text{ kWh}$ .

### 2.6.1 Posouzení modernizace energetického hospodaření

Získávání spotřeby elektrické energie TČ pro ohřev otopné soustavy v průběhu celého roku není jednoduché. Dokončením modernizace týkající se energetického hospodaření (viz. kapitola 2.2) a zavedením chytré domácnosti se zefektivnilo zacházení s tepelnou energií otopné soustavy. To znamená, že data z měsíčních spotřeb plynu předchozích let jsou

neodpovídající k nově provedeným změnám domácnosti. Zefektivnění se docílilo zejména optimalizací topné křivky. Instalací a nastavením radiátorových hlavice se eliminovalo zbytečné přetápění místností vlivem slunečního svitu i dalšími zdroji tepla např. kuchyňské spotřebiče, počítače nebo i větším počtem osob v místnosti. Na okna byla nainstalována čidla, která automaticky uzavírají ventily radiátorových hlavice při větrání v místnostech. Při větším poklesu teploty v místnostech dojde k upozornění a vyzvání k zavření otevřených oken. Díky monitorování a záznamu teplot došlo k vyhodnocení požadovaného komfortu a topná křivka byla optimalizována.

Zefektivnění zacházení s tepelnou energií pro ohřev otopné soustavy lze dokázat výpočtem COP pro ohřev otopné soustavy. Pokud výsledné COP bude vyšší než teoretické, došlo k zefektivnění domácnosti. Teoretická hodnota COP pro ohřev otopné soustavy není stejná jako pro ohřev TV. Teplota vody pro ohřev otopné soustavy je nižší než pro ohřev TV a tím  $COP_{otop\_zimní}$  vyšší než  $COP_{TV\_zimní}$ . TČ ohřívá vodu pro otopnou soustavu na teplotu, která se v zimním období pohybuje kolem 45 °C.  $COP_{otop\_zimní\_teor}$  nejlépe popisuje modrá křivka na grafu 12. Stejným způsobem jako v kapitole 2.5.2 jsem závislost vynesl do grafu v MS Excel a určil  $COP_{otop\_zimní\_teor}$  pro průměrnou naměřenou venkovní teplotu ve sledovaném zimním období 3 °C. Výsledné  $COP_{otop\_zimní\_teor}$  vychází 3,6.

Pro určení skutečného  $COP_{otop\_zimní}$  musíme nejprve zjistit získanou tepelnou energii. Získanou tepelnou energii pro ohřev otopné soustavy před modernizací vypočteme rozdílem získané tepelné energie celkové a získané tepelné energie pro ohřev TV. Získanou tepelnou energii pro ohřev TV jsem vypočítal v kapitole 2.5.2. Sledované zimní období bylo letos o den delší, proto jsem provedl výpočet v jednotkách vztažených na den zimního období. Výsledek uvedený v jednotkách kWh/zimní období bude popisovat poslední sledované zimní období, tj. 91 dnů.

Výpočet získané tepelné energie pro ohřev otopné soustavy v zimním období před modernizací:

$$E_{Plyn\_zimní\_otop} = v_p \cdot H \cdot \eta - E_{TČ\_TV}$$

$$\{E_{Plyn\_zimní\_otop}\} = 13,0 \cdot 10,93 \cdot 0,8 - 14,3$$

$$E_{Plyn\_zimní\_otop} = 99,5 \text{ kWh/den zimního období} = 9054,9 \text{ kWh/zimní období}$$

$v_p$  ... spotřebovaný objem plynu [ $m^3$ /den zimního období]

$H$  ... výhřevnost plynu [ $kWh/m^3$ ]

$\eta$  ... účinnost ohřevu plynového kotle [-]



$E_{T\check{c}_{TV}}$  ... tepelná energie pro ohřev TV [kWh/den]

COP TČ v zimním období pro ohřev otopné soustavy:

$$COP_{otop\_zimní} = \frac{E_{Plyn\_zimní\_otop}}{S_{T\check{c}_{otop}}}$$

$$\{COP_{otop\_zimní}\} = \frac{9054,9}{2430,6}$$

$$COP_{otop\_zimní} = 3,7$$

$S_{T\check{c}_{otop}}$  ... spotřeba elektrické energie TČ pro ohřev otopné soustavy  
po modernizaci [kWh/zimní období]

$E_{Plyn\_zimní\_otop}$  ... tepelná energie pro ohřev otopné soustavy  
před modernizací [kWh/zimní období]

Získané  $COP_{otop\_zimní}$  pro ohřev otopné soustavy je mírně vyšší než teoretické. Výsledná hodnota je ovlivněna konstrukcí AKU, viz. kapitola 2.5.2. Abych byl schopen přesvědčivě dokázat, že došlo k optimalizaci a zefektivnění, vypočítám celkové skutečné a celkové teoretické COP.

Výpočet získané tepelné energie pro ohřev otopné soustavy a TV v zimním období před modernizací:

$$E_{Plyn\_zimní} = v_p \cdot H \cdot \eta$$

$$\{E_{Plyn\_zimní}\} = 13,0 \cdot 10,93 \cdot 0,8$$

$$E_{Plyn\_zimní} = 113,8 \text{ kWh/den zimního období} = 10357,9 \text{ kWh/zimní období}$$

$v_p$  ... spotřebovaný objem plynu [ $m^3$ /den zimního období]

$H$  ... výhřevnost plynu [kWh/ $m^3$ ]

$\eta$  ... účinnost ohřevu plynového kotle [-]

COP TČ v zimním období pro ohřev otopné soustavy a TV:

$$COP_{zimní} = \frac{E_{Plyn\_zimní}}{S_{T\check{c}}}$$

$$\{COP_{zimní}\} = \frac{10357,9}{3168,8}$$

$$COP_{zimní} = 3,3$$

$S_{TČ}$  ... celková spotřeba elektrické energie TČ [kWh/zimní období]

$E_{plyn\_zimní}$  ... tepelná energie pro ohřev otopné soustavy a TV [kWh/zimní období]

Při dodržení poměru celkového COP a COP pro ohřev otopné soustavy jsem schopen vypočítat celkové teoretické COP. Celkové teoretické COP vychází 3,2.

Přehled COP:

Tabulka 6 Přehled vypočtených COP v zimní období

	Pro ohřev TV	Pro ohřev otopné soustavy	Celkové
COP [-]	1,8	3,7	3,3
COP <sub>teor</sub> [-]	2,9	3,6	3,2

Teoretické COP má být vždy vyšší než skutečné. COP pro ohřev TV jsem se věnoval v kapitole 2.5.2 a stanovil jsem, že nízké skutečné COP na ohřev TV je zapříčiněno konstrukcí AKU. Naopak COP pro ohřev otopné soustavy by mělo být ze stejného důvodu vyšší. Výpočtem skutečného COP pro ohřev otopné soustavy jsem potvrdil zmíněnou hypotézu.

Celkové skutečné COP vychází nepatrně vyšší než celkové teoretické COP. Za předpokladu, že potřebná tepelná energie pro ohřev TV zůstala neměnná, můžu konstatovat zefektivnění zacházení s tepelnou energií otopné soustavy po modernizaci energetického hospodářství.

## 2.6.2 Výpočet spotřeby elektrické energie pro ohřev otopné soustavy v průběhu roku

Hospodářství s tepelnou energií se modernizací zefektivnilo, ale poměr potřebné tepelné energie pro ohřev otopné soustavy mezi jednotlivými ročními období zůstává stejný. Jelikož se v letním období netopí, pro získání spotřeby elektrické energie v průběhu roku využiji poměr potřebného tepla pro ohřev otopné soustavy mezi zimním a přechodným období. Za přechodné období uvažuji jarní a podzimní měsíce (březen, duben, květen, září, říjen, listopad) a pro zimní období (prosinec, leden, únor). Porovnávací období má různé časové úseky. Jednotky veličin ve výpočtech jsou vztaženy na den daného období. Výsledky

s jednotkami vztaženými na zimní období popisují svojí délkou poslední zimní období, tj. 91 dnů.

V posledních třech letech před modernizací bylo spotřebované množství plynu v zimním období 1171,6 m<sup>3</sup> (za 90 dnů) a v přechodném období 1256,8 m<sup>3</sup> (za 183 dnů). Potřebnou tepelnou energii pro ohřev otopné soustavy v zimní období před modernizací jsme již vypočetli v kapitole 2.6.1 ( $E_{Plyn\_zimní\_otop}$ ). Množství tepelné energie pro ohřev otopné soustavy v přechodném období před modernizací vypočteme obdobně.

Výpočet potřebné tepelné energie pro ohřev otopné soustavy v přechodném období před modernizací:

$$E_{Plyn\_přechod\_otop} = v_P \cdot H \cdot \eta - E_{TČ\_TV}$$

$$\{E_{Plyn\_přechod\_otop}\} = 6,9 \cdot 10,93 \cdot 0,8 - 14,3$$

$$E_{Plyn\_přechod\_otop} = 45,7 \text{ kWh/den přechodného období} \\ = 8365,8 \text{ kWh/přechodné období}$$

$v_P$  ... spotřebovaný objem plynu [m<sup>3</sup>/den zimního období]

$H$  ... výhřevnost plynu [kWh/m<sup>3</sup>]

$\eta$  ... účinnost ohřevu plynového kotle [-]

$E_{TČ\_TV}$  ... tepelná energie pro ohřev TV [kWh/den]

Poměr tepelných energií pro ohřev otopné soustavy v zimním a přechodném období:

$$\frac{E_{Plyn\_přechod\_otop}}{E_{Plyn\_zimní\_otop}} = \frac{45,7}{99,5} = 0,459$$

$E_{Plyn\_přechod\_otop}$  ... tepelná energie pro ohřev otopné soustavy

před modernizací [kWh/den přechodného období]

$E_{Plyn\_zimní\_otop}$  ... tepelná energie pro ohřev otopné soustavy

před modernizací [kWh/den zimního období]

Výsledným poměrem a spotřebou elektrické energie pro ohřev otopné soustavy v zimním období po modernizaci nyní dokážu vypočítat spotřebu elektrické energie pro ohřev otopné soustavy v přechodném období po modernizaci.

Výpočet spotřeby elektrické energie pro ohřev otopné soustavy v přechodném období po modernizaci:

$$S_{T\check{c}_{p\check{r}echod\_otop}} = 0,459 \cdot S_{T\check{c}_{zimn\acute{i}\_otop}}$$

$$S_{T\check{c}_{p\check{r}echod\_otop}} = 0,459 \cdot 26,7$$

$$S_{T\check{c}_{p\check{r}echod\_otop}} = 12,3 \text{ kWh/den přechodného období}$$

$$= 2245,6 \text{ kWh/přechodné období}$$

Odhad spotřeb elektrické energie pro ohřev TV v průběhu roku:

Tabulka 7 Odhad spotřeb elektrické energie pro ohřev TV v průběhu roku

	Zimní období (prosinec, leden, únor–91 dnů)	Přechodná období (zbylé měsíce)	Letní období (červen, červenec, srpen)
Průměrná venkovní teplota [°C]	3,0	8,0	18,3
Spotřeba elektrické energie pro ohřev otopné soustavy po modernizaci [kWh]	2430,6	2245,6	0
Spotřeba elektrické energie pro ohřev otopné soustavy po modernizaci [kWh/den]	26,7	12,3	0

Výsledné spotřeby jsou vysoce citlivé na venkovní teplotu. Výsledky týkající se zimního období vychází z naměřených hodnot sledovaného jednoho zimního období. Je možné, že nadcházející roční období budou chladnější nebo teplejší. Tabulku lze použít pouze pro odhad. Případná roční spotřeba elektrické energie pro ohřev otopné soustavy vychází 4676,2 kWh (4463,4 kWh v rok, který není přestupný). Sečtením případných ročních spotřeb elektrické energie pro ohřev TV a otopné soustavy získám odhadovanou roční spotřebu elektrické energie TČ 7322,5 kWh (7287,7 kWh v rok, který není přestupný).

## 2.7 Porovnání nainstalovaných zdrojů tepla bez zohlednění FVE

Rodinný dům má k dispozici zdroje tepla – TČ, plynový a elektrický kotel. V této kapitole budu z ekonomického hlediska porovnávat provoz všech tří uvedených zdrojů tepla.

V kapitole 2.5.2 jsem určil spotřebu elektrické energie TČ pro ohřev TV a otopné soustavy. Abych zjistil náklady na provoz TČ, vynásobím spotřebu elektrické energie cenou elektřiny. Použita je aktuální cena elektřiny.

Modernizací zdroje tepla se zefektivnilo hospodaření s tepelnou energií otopné soustavy. Nicméně vyřazením TČ a používáním pouze plynového kotle se řada optimalizací uvedených při modernizaci neuplatní. Budu uvažovat, že spotřeba plynu by byla stejná jako před modernizací. Množství spotřebovaného plynu získáme z měsíčních záznamů spotřeb plynu viz. tabulka 2. Vynásobením spotřeby plynu jeho cenou získáme roční náklady na provoz. Ceny plynu byly v minulých letech poměrně stálé, protože byly fixované u dodavatele plynu (ČEZ Prodej) na 3 roky. Po skončení platnosti fixovaných cen se cena plynu více než ztrojnásobila a nyní klesá. Právě před začátkem platnosti vyšších cen, byla provedena modernizace zdroje tepla. Výpočet ročního nákladu na provoz plynového kotle provedu pro několik cen plynu. Ceny plynu se vztahují k jednotce kWh. Průměrné roční spotřebované množství plynu plynovým kotlem vynásobím výhřevností, tj. 10,93 kWh/m<sup>3</sup>, tím získám roční spotřebu plynového kotle v jednotkách energie kWh.

Celkové ceny plynu včetně DPH a stálých měsíčních plateb:

- Plyn fixovaný do 1.6.2023 (Plyn jen pro Vás, fixace 3 roky, Topím 25-45 MWh, ČEZ Prodej)
  - Cena vychází z vyúčtování: 1,01 Kč/kWh
- Plyn pro domácnosti během Období regulace od 1.6.2023 (Plyn na dobu neurčitou, Topím 25-45 MWh, ČEZ Prodej)
  - Cena vychází z ceníku v době ukončení fixace a stejné spotřeby plynu: 3,42 Kč/kWh
- Plyn pro domácnosti od 1.1.2024 (Plyn na dobu neurčitou, Topím 25-45 MWh, ČEZ Prodej)
  - Cena vychází z aktuálního ceníku a stejné spotřeby plynu: 2,69 Kč/kWh

Cena elektřiny se skládá ze stálých měsíčních plateb, nízkých a vysokých tarifů. Nízký a vysoký tarif je rozložený v různých hodinách dne. Na základě dat získaných měsíčními opisy elektroměru jsem zjistil, že poměr nakoupené elektřiny ze sítě, od zprovoznění TČ, mezi nízkým a vysokým tarifem je 0,16. Poměr je v průběhu roku nestálý. V zimním období se automobily nabíjejí v jinou dobu než v letním období, kdy se využívá solární výroby FVE. Samotná FVE, kterou zatím neuvažuji, výrazně ovlivní poměr mezi množstvím nakupované elektřiny v nízkém a vysokém tarifu v průběhu roku. Z výše uvedených důvodů budu

uvažovat poměr na základě doby trvání tarifů za den. Nízký tarif trvá 20 h a vysoký 4 h. Výsledný poměr činí 5:1, tj. 0,2. Získaný poměr využiji k určení střední výše ceny obou tarifů. Zahnutím stálých měsíčních plateb určím výslednou cenu elektřiny.

Cena elektřiny i plynu po skončení platnosti fixovaných cen výrazně vzrostla. Při pořízení FVE byl změněn dodavatel elektřiny z ČEZ Prodej na ELYN. Změna dodavatele nastala, protože ELYN nabízí příznivější ceny elektřiny a cenu exportované elektřiny. Pro zajímavost jsem přehled cen elektřiny doplnil o aktuální cenu nabízenou ČEZ Prodej. Dále budu uvažovat aktuální cenu od dodavatele ELYN.

Celkové ceny elektřiny včetně DPH a stálých měsíčních plateb bez využití FVE:

- Elektřina fixovaná do 1.6.2023 (Elektřina jen pro Vás, fixace 3 roky, D57d, 3x 25 A, ČEZ Prodej)
  - Cena vychází z vyúčtování celkové spotřebované elektřiny: 2,79 Kč/kWh
- Elektřina pro domácnosti během Období regulace od 1.6.2023 (Elektřina na dobu neurčitou, D57d, 3x 25 A, ČEZ Prodej)
  - Cena vychází z ceníku v době ukončení fixace a stejné spotřeby elektřiny: 6,82 Kč/kWh
- Elektřina pro domácnosti od 1.1.2024 (Elektřina na dobu neurčitou, D57d, 3x 25 A, ČEZ Prodej)
  - Cena vychází z aktuálního ceníku a stejné spotřeby elektřiny: 6,61 Kč/kWh
- Elektřina podle trhu od 1.1.2024 (Elektřina podle trhu, D57d, 3x 25 A, ELYN)
  - Cena vychází z aktuálního ceníku a stejné spotřeby elektřiny: 5,37 Kč/kWh

Plynový kotel je dnes využíván pouze jako záložní zdroj tepla. Při modernizaci byl pořízen i druhý záložní zdroj tepla elektrický průtokový kotel. Spotřeba elektrické energie elektrického průtokového kotle je z principu vyšší než TČ. Z tohoto důvodu nemá smysl uvažovat případ, že by se spotřeba tepla pokrývala jenom elektrickým průtokovým kotlem. K porovnání dojde pouze u TČ a plynového kotle.

## Přehled ročního provozu plynového kotle a TČ:

Tabulka 8 Přehled ročního provozu plynového kotle a TČ; ceny včetně DPH

	Spotřeba energie [kWh/rok]	Cena elektřiny/plynu [Kč/kWh]	Náklady na ohřev daným zdrojem tepla [Kč/rok]
Plynový kotel	28209,3	1,01 (do 1.6.2023)	28491
		3,42 (od 1.6.2023)	96476
		2,69 (od 1.1.2024)	75883
TČ	7278,7	2,79 (do 1.6.2023)	20333
		6,82 (od 1.6.2023)	49702
		5,37 (od 1.1.2024)	39135

Hodnoty v tabulce 8 se vztahují k roku, který není přestupný. Odhadovaná spotřeba elektrické energie TČ za celý rok je téměř čtyřikrát nižší než spotřeba energie plynového kotle. Výrazný rozdíl je zapříčiněn vysokým topným faktorem TČ. Modernizace energetického hospodaření také přispívá nízké elektrické spotřebě TČ vlivem nižší potřebné tepelné energie pro otopnou soustavu.

Náklady na ohřev daným zdrojem jsou zcela závislé na ceně elektřiny/plynu. Ceny elektřiny se od 1.6.2023 více než zdvojnásobily a ceny plynu více než ztrojnásobily. Počátkem roku 2024 se ceny energií začaly snižovat.

Při aktuálních cenách energií je provoz TČ výhodnější. Roční náklady ohřevu plynovým kotlem by se rovnaly aktuálním ročním nákladům ohřevu TČ při ceně plynu 1,37 Kč/kWh. Z ročních úspor a velikosti investice je možné určit dobu prosté návratnosti TČ.

Výpočet prosté návratnosti TČ:

$$PN_{T\check{c}} = \frac{\text{Investice } T\check{c}}{\text{Roční náklady na provoz (plynového kotle) - } T\check{c}}$$

$$\{PN_{T\check{c}}\} = \frac{550014}{75883 - 39135}$$

$$PN_{T\check{c}} = 15 \text{ let}$$

Odhadovaná živostnost TČ je přes 20 let, což znamená, že se investice při zvolených podmínkách vyplatila. Prostá návratnost neuvažuje vliv inflace, degradace zařízení, vývoj cen energií a rizikovost investice.

Pro přesnější odhad návratnosti použijeme diskontní dobu návratnosti se zohledněním inflace. Diskontní faktor je v uvažovaném případě reálná diskontní sazba. Z důvodů nestálé inflace stanovím dvě hodnoty reálné diskontní sazby -5,4 % a 2,7 %. Postup výpočtu vysvětlení je v nadcházející kapitole 2.9.1.

Výpočet diskontní doby návratnosti TČ:

$$\text{Diskontovaná roční úspora} = \frac{\text{Prostá roční úspora}}{(1 + r)^t}$$

$r$  ... reálná diskontní sazba [-]

$t$  ... pořadí roku od uvedení do provozu [-]

Tabulka 9 Výpočet diskontní doby návratnosti TČ

Rok	Úspory_-5,4 % [Kč]	Kumulované úspory_-5,4 % [Kč]	Úspory_2,7 % [Kč]	Kumulované úspory_2,7 % [Kč]
1	38846	38846	35782	35782
2	41063	79909	34841	70623
3	43407	123316	33925	104548
4	45885	169201	33033	137582
5	48504	217705	32165	169747
6	51273	268978	31319	201066
7	54200	323178	30496	231562
8	57294	380471	29694	261256
9	60564	441035	28913	290170
<b>10</b>	64021	<b>505056</b>	28153	318323
<b>11</b>	67676	<b>572732</b>	27413	345736
12	71539	644270	26692	372429
13	75622	719893	25991	398419
14	79939	799832	25307	423727
15	84502	884334	24642	448369
16	89326	973660	23994	472363
17	94425	1068084	23363	495727
18	99815	1167899	22749	518476
<b>19</b>	105512	1273411	22151	<b>540627</b>
<b>20</b>	111535	1384946	21569	<b>562196</b>

Celková investice TČ činí 550 014 Kč včetně DPH. V případě záporné reálné diskontní sazby -5,4 % se investice v průběhu let zvýhodní a diskontovaná doba návratnosti vychází na cca 10,7 let. Naopak kladná reálná diskontní sazba má na investici negativní vliv. Diskontní doba návratnosti při 2,7% reálné diskontní sazbě je 19,5 let.



Výrazný rozdíl reálných diskontních sazeb je zapříčiněn nestálou výší inflace. Reálná diskontní sazba ve výši -5,7 % vychází z průměrné inflace za rok 2023 10,7 %. Druhá hodnota 2,7 % vychází z meziroční inflace v únoru roku 2024 a její hodnota je 2 %.

Mimo hodnotu inflace výslednou dobu návratnosti výrazně ovlivní ceny energií. Zvýšením cen plynu a snížením cen elektřiny by se doba návratnosti zkrátila a naopak.

### Provoz plynového kotle v zimním období

V zimním období je COP nejnižší, kdežto účinnost plynového kotle zůstává v průběhu roku neměnná. Nyní ověřím, zda se vyplatí provoz plynového kotle na místo TČ v zimním období. Spotřebu elektrické energie TČ získám z naměřených dat. Spotřebu energie plynového kotle získám z měsíčních měření spotřebovaného množství plynu a jeho výhřevnosti.

Přehled ročních spotřeb energií a nákladů na provoz plynového kotle a TČ:

Tabulka 10 Náklady na ohřev daným zdrojem tepla v zimním období

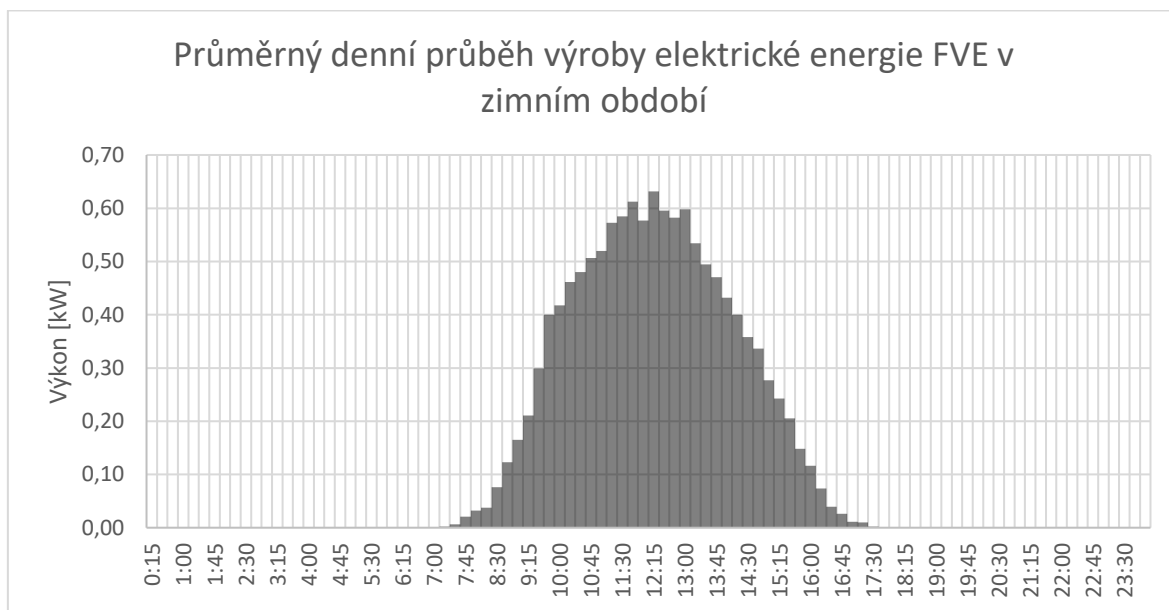
	Spotřeba energie [kWh/zimní období (90 dnů)]	Cena elektřiny/plynu [Kč/kWh]	Náklady na ohřev daným zdrojem tepla [Kč/zimní období]
Plynový kotel	12805,2	1,01 (do 1.6.2023)	12933
		3,42 (od 1.6.2023)	43794
		2,69 (od 1.1.2024)	34446
TČ	3134,0	2,79 (do 1.6.2023)	8744
		6,82 (od 1.6.2023)	21374
		5,37 (od 1.1.2024)	16829

V tabulce 10 za zimní období považuji prosinec, leden, únor (90 dnů). Navzdory očekávání je v zimním období rozdíl elektrické spotřeby TČ a spotřeby energie plynového kotle výraznější než za celý rok. Jedním z vysvětlení by mohlo být, že letošní zimní období bylo neobvykle teplejší. Průměrná naměřená teplota za sledované zimní období byla 3 °C. V archivu Českého hydrometeorologického ústavu jsou průměrné teploty zimních období (2020, 2021, 2022) v Libereckém kraji 1,3 °C. Sledované zimní období není tedy výrazně teplejší. Rozdíl spotřeb energií je výraznější než za celý rok. Důvodem je zefektivnění hospodaření s tepelnou energií otopné soustavy. Náklady ohřevu plynovým kotlem

v zimním období by se rovnaly aktuálním ročním nákladům ohřevu TČ při ceně plynu 1,30 Kč/kWh.

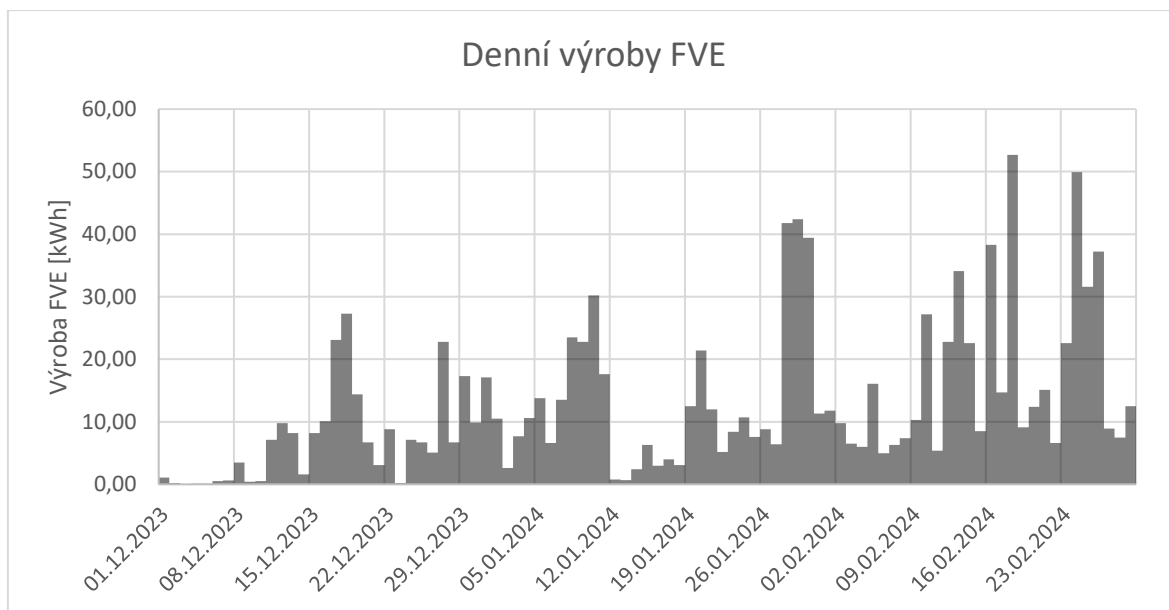
## 2.8 Výroba elektrické energie FVE

Zaznamenávání systémem Loxone probíhalo v zimním období. Výroba FVE je v zimním období nízká, v případě pokrytí panelů sněhem je nulová. K dispozici máme průměrný denní průběh výroby FVE (graf 15) a denní výroby FVE v průběhu sledovaného období (graf 16).



Graf 15 Průměrný denní průběh výroby elektrické energie FVE v zimním období

Z grafu 15 lze vymezit dobu, ve které FVE vyráběla elektrickou energií. Výroba FVE začínala přibližně v 8:00 hodin a končila okolo 17:00 hodiny. Špička výroby elektrické energie se nacházela v poledních hodinách.



Graf 16 Denní výroby elektrické energie FVE

Velmi nekonzistentní množství vyrobené elektrické energie v průběhu sledovaného zimního období je znázorněn na grafu 16. Na konci zimního období byly dny, kdy množství vyrobené elektrické energie FVE přesahovalo 30 kWh za den. Naopak téměř nulová výroba FVE byla na přelomu listopadu a prosince, protože panely FVE byly pokryty sněhem.

Po většinu zimního období byla výroba FVE nízká a vyrobená elektrická energie FVE se přímo spotřebovala a nedošlo k dobíjení baterie. V zimním období je řídicí jednotka FVE nastavena na minimální úroveň nabití baterie 20 %. Při poklesu pod tuto hodnotu je elektrická energie importována ze sítě. Zamezením dlouhodobého využívání baterie pod 20 % se prodlužuje životnost baterie. Mimo zimní období je minimální úroveň nabití baterie nastavena na 10 %.

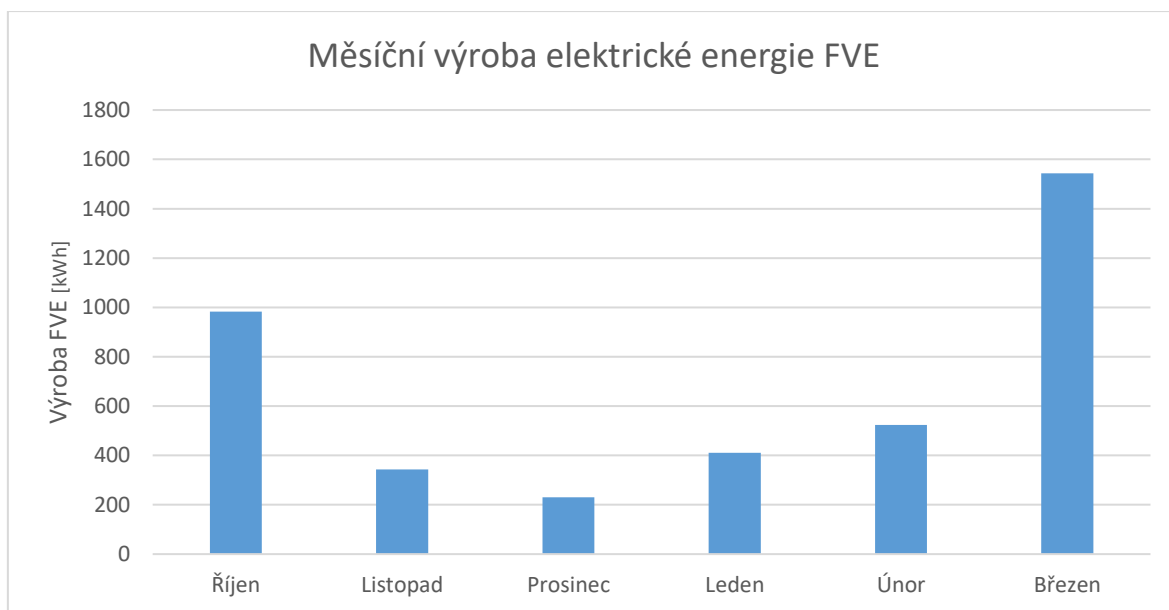
Přehled denní výroby FVE v zimním období:

Tabulka 11 Přehled denní výroby FVE v zimním období

	Výroba elektrické energie FVE [kWh/den zimního období]
Aritmetický průměr	12,7
Směrodatná odchylka	11,8
Medián	8,8

Vysoká směrodatná odchylka potvrzuje nekonzistentní výrobu FVE v zimním období. Nízká hodnota mediánu oproti aritmetickému průměru nám napovídá, že se nejedná o Gaussovo rozdělení. Celkové množství vyrobené elektrické energie FVE za sledované zimní období bylo 1154,8 kWh.

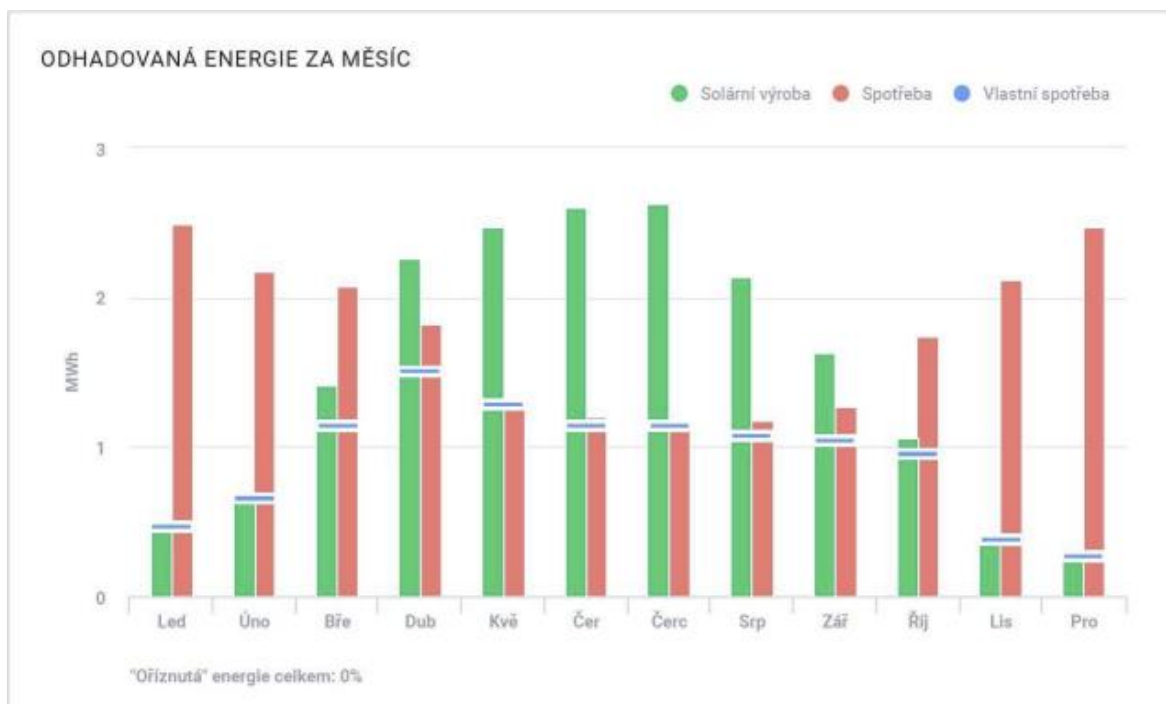
Pro získání výroby FVE v průběhu roku nemám dostatečné množství dat. VRM Portal zaznamenává data týkající se FVE od jejího nainstalování, tj. od poloviny června 2023. Pro duben, květen a červen prozatím nejsou naměřená data. Export elektrické energie do sítě byl povolen společností ČEZ Distribuce a zprovozněn začátkem září. Z tohoto důvodu měly dva z nejvýznamnějších měsíců pro výrobu (červenec, srpen) množství vyrobené elektrické energie FVE omezené kapacitou baterií a spotřebou domácnosti. Řádné zaznamenávání systémem VRM Portal plně zprovozněné FVE začalo 8. září 2023. Z ucelených měsíců pro tvorbu grafu výroby FVE v průběhu roku mám k dispozici měsíce říjen 2023 až březen 2024 (graf 12), tj. polovina roku s nejnižší denní dobou slunečního svitu.



Tabulka 12 VRM Portal-Měsíční výroby elektrické energie FVE

Data využita pro tvorbu grafu 12 byla zaznamenána systémem VRM Portal. Měsíce prosinec, leden a únor patří do sledovaného zimního období, které bylo současně monitorováno systémem Loxone.

Výroba FVE v jednotlivých měsících roku byla odhadnuta při projektování FVE. Vzhledem k tomu, že dosavadní naměřená výroba FVE přibližně odpovídá odhadované výrobě FVE, budu v nadcházející kapitole pracovat s odhadovanou výrobou FVE v průběhu roku (graf 17).



Graf 17 Odhad výroby FVE vytvořený při projektování

V grafu 17 je pro současnou domácnost vypovídající pouze solární výroba (zelená). Spotřeba není zcela směřodatná, protože projektování FVE předcházelo celé modernizaci energetického hospodaření domácnosti a pořízení druhého hybridního automobilu. Odhadované hodnoty výroby FVE jsou si velmi blízké s prakticky naměřenými. Až na nadprůměrný březen z hlediska výroby FVE se odchylky odhadované výroby FVE od skutečné pohybují do 100 kWh/měsíc.

## 2.9 Ekonomický vliv FVE na náklady ohřevu TV a otopné soustavy

Část spotřeby elektrické energie TČ pokryje FVE. Částečným pokrytím elektrické spotřeby TČ se roční náklady na ohřev TV a otopné soustavy výrazně snížily. Od určité denní doby je výkon FVE dostatečný pro krytí elektrické spotřeby TČ. V průběhu dne může nastat situace, kdy solární výkon FVE například vlivem počasí na určitou dobu poklesne. V této situaci využije FVE energii uloženou v baterii. V letním a částečně přechodném období má FVE dostatečný výkon na pokrytí celé spotřeby elektrické energie TČ. Výroba FVE nemá dostatečný výkon na pokrytí elektrické spotřeby TČ v zimním období.

FVE má vliv na cenu nakupované elektřiny. Výroba elektrické energie FVE výrazně snižuje množství importované elektřiny ze sítě, tím se cena elektřiny mírně zvyšuje. Aktuální celková cena elektřiny ze sítě po zahrnutí vlivu FVE je 5,82 Kč/kWh.

### 2.9.1 LCOE baterie

Kromě zimního období dodává elektrickou energii TČ mimo dobu slunečního svitu baterie FVE. V nadcházejících výpočtech budu uvažovat, že využívání elektrické energie uložené v baterii nebo vyrobené FVE není zdarma. Náklady v jednotkách Kč/kWh jsem vyjádřil pomocí LCOE (Levelised Cost of Energy – vyrovnaná cena elektřiny), která uvažuje degradaci kapacity baterie (amortizaci) a reálnou diskontní sazbu, tj. se zohledněním vlivu inflace. Reálná diskontní sazba se vypočte pomocí diskontní sazby a inflace. Pokud by diskontní sazba převyšovala výši inflace, reálná diskontní sazba by potenciální zisk z investice v průběhu životnosti negativně ovlivnila. Vysoká hodnota inflace kladně ovlivní potenciální zisk z investice a tím i námi počítané LCOE. Naopak vysoká diskontní sazba může zapříčinit, že potenciální investované peníze by se lépe úročily v bance. Diskontní sazbu jsem převzal z České národní banky. Inflace byla v posledních dvou letech velmi vysoká. Jako hodnotu inflace použiji průměrnou roční inflaci z roku 2023.

Výpočet reálné diskontní sazby:

$$r = \left( \frac{100 + R}{100 + i} - 1 \right) * 100$$
$$\{r\} = \left( \frac{100 + 4,75}{100 + 10,7} - 1 \right) * 100$$
$$r = -5,4 \%$$

*R ... diskontní sazba [%]*

*i ... průměrná inflace za rok 2023 [%]*

Výsledná reálná diskontní sazba je záporná. Záporný výsledek snižuje výslednou hodnotu LCOE.

Životnost baterie udává výrobce v počtu cyklů, po kterých kapacita baterie klesne na 80 % původní kapacity, tj. 6000 cyklů. Životnost baterie vyjádřenou v časové jednotce jsem stanovil jako délku záruky, tj. 10 let.

Výpočet LCOE baterie s hodnotou inflace 10,7 %:

$$LCOE_{baterie_{10,7}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{\text{Roční náklady na provoz baterie}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{\text{Roční množství elektrické energie uložené do baterie}}{(1+r)^t}}$$

*t ... pořadí roku od uvedení do provozu [-]*

Tabulka 13 Výpočet LCOE baterie s hodnotou inflace 10,7 %

Rok	Náklady [Kč]	Kapacita baterie [kWh]	Počet cyklů [-]	Čítatel	Jmenovatel
1	359000	38,4	600	379392	24349
2	0	37,6	600	0	25217
3	0	36,9	600	0	26106
4	0	36,1	600	0	27014
5	0	35,3	600	0	27941
6	0	34,6	600	0	28886
7	0	33,8	600	0	29848
8	0	33,0	600	0	30827
9	0	32,3	600	0	31820
10	0	30,7	600	0	32026
			Suma	379392	284034

$$\{LCOE_{baterie_{10,7}}\} = \frac{379392}{284034}$$

$$LCOE_{baterie_{10,7}} = 1,34 \text{ Kč/kWh}$$

Kvůli nestálosti výše inflace jsem poslední výpočet LCOE baterie provedl i pro druhou hodnotu inflace. Za druhou hodnotu inflace jsem zvolil meziroční inflaci z února roku 2024, tj. 2 %. V takovém případě by reálná diskontní sazba vycházela 2,7 %.

Výpočet LCOE baterie s hodnotou inflace 2 %:

Tabulka 14 Výpočet LCOE baterie s hodnotou inflace 2 %

Rok	Náklady [Kč]	Kapacita baterie [kWh]	Počet cyklů [-]	Čítatel	Jmenovatel
1	359000	38,4	600	349575	22435
2	0	37,6	600	0	21409
3	0	36,9	600	0	20422
4	0	36,1	600	0	19471
5	0	35,3	600	0	18557
6	0	34,6	600	0	17677
7	0	33,8	600	0	16830
8	0	33,0	600	0	16016
9	0	32,3	600	0	15233
10	0	30,7	600	0	14126
			Suma	349575	182176

$$\{LCOE_{baterie_{2}}\} = \frac{349575}{182176}$$

$$LCOE_{baterie_{2}} = 1,92 \text{ Kč/kWh}$$

Výsledný rozdíl ceny elektrické energie z baterie při inflaci 10,7 % a 2 % je 0,58 Kč/kWh.

## 2.9.2 LCOE FVE

Stejně jako u baterie vypočtu LCOE pro FVE. Opět provedu výpočet pro dvě hodnoty inflace, tj. 10,7 % a 2 %. Reálné diskontní faktory tedy budou -5,4 % a 2,7 %. Dobu životnosti FVE budu uvažovat délku záruky systému, tj. 25 let. Odhadovaná roční výroba FVE uvedená na návrhu projektu je 18 MWh/rok. Budu uvažovat, že míra roční degradace panelů FVE je 0,7 %. Na konci záruky by FVE měla účinnost výroby 83 %.

Výpočet LCOE FVE s hodnotou inflace 10,7 %:

$$LCOE_{FVE_{10,7}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{\text{Roční náklady FVE}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{\text{Roční množství vyrobené elektrické energie FVE}}{(1+r)^t}}$$

*t ... pořadí roku od uvedení do provozu [-]*

Tabulka 15 Výpočet LCOE FVE s hodnotou inflace 10,7 %

Rok	Náklady [Kč]	Výroba FVE [kWh]	Čítec	Jmenovatel
1	1135000	18 000	820078	19022
2	0	17 856	0	19942
3	0	17 712	0	20905
4	0	17 568	0	21913
5	0	17 424	0	22968
6	0	17 280	0	24072
7	0	17 136	0	25227
8	0	16 992	0	26436
9	0	16 848	0	27701
10	0	16 704	0	29024
11	0	16 560	0	30408
12	0	16 416	0	31856
13	0	16 272	0	33370
14	0	16 128	0	34954
15	0	15 984	0	36609
16	0	15 840	0	38340
17	0	15 696	0	40149
18	0	15 552	0	42041
19	0	15 408	0	44017
20	0	15 264	0	46083
21	0	15 120	0	48241
22	0	14 976	0	50496
23	0	14 832	0	52851



24	0	14 688	0	55311
25	0	14 400	0	57306
		Suma	820078,3	879241

$$\{LCOE_{FVE_{10,7}}\} = \frac{1199470}{879241}$$

$$LCOE_{FVE_{10,7}} = 0,93 \text{ Kč/kWh}$$

Výpočet LCOE FVE s hodnotou inflace 2 %:

$$LCOE_{FVE_2} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{\text{Roční náklady FVE}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{\text{Roční množství vyrobené elektrické energie FVE}}{(1+r)^t}}$$

Tabulka 16 Výpočet LCOE FVE s hodnotou inflace 2 %

Rok	Náklady [Kč]	Výroba FVE [kWh]	Čísel	Jmenovatel
1	776000	18 000	755628	17527
2	0	17 856	0	16931
3	0	17 712	0	16353
4	0	17 568	0	15795
5	0	17 424	0	15254
6	0	17 280	0	14731
7	0	17 136	0	14224
8	0	16 992	0	13735
9	0	16 848	0	13261
10	0	16 704	0	12802
11	0	16 560	0	12359
12	0	16 416	0	11929
13	0	16 272	0	11514
14	0	16 128	0	11113
15	0	15 984	0	10725
16	0	15 840	0	10349
17	0	15 696	0	9986
18	0	15 552	0	9634
19	0	15 408	0	9294
20	0	15 264	0	8966
21	0	15 120	0	8648
22	0	14 976	0	8341
23	0	14 832	0	8044
24	0	14 688	0	7757
25	0	14 400	0	7405
		Suma	755628	296675

$$\{LCOE_{FVE_2}\} = \frac{1105203}{296675}$$

$$LCOE_{FVE_2} = 2,55 \text{ Kč/kWh}$$

Investice a délka životnosti FVE je výrazně vyšší než u baterie, proto je výsledný rozdíl mezi LCOE FVE výraznější, tj. 1,61 Kč/kWh při inflaci 10,7 % a 2 %.

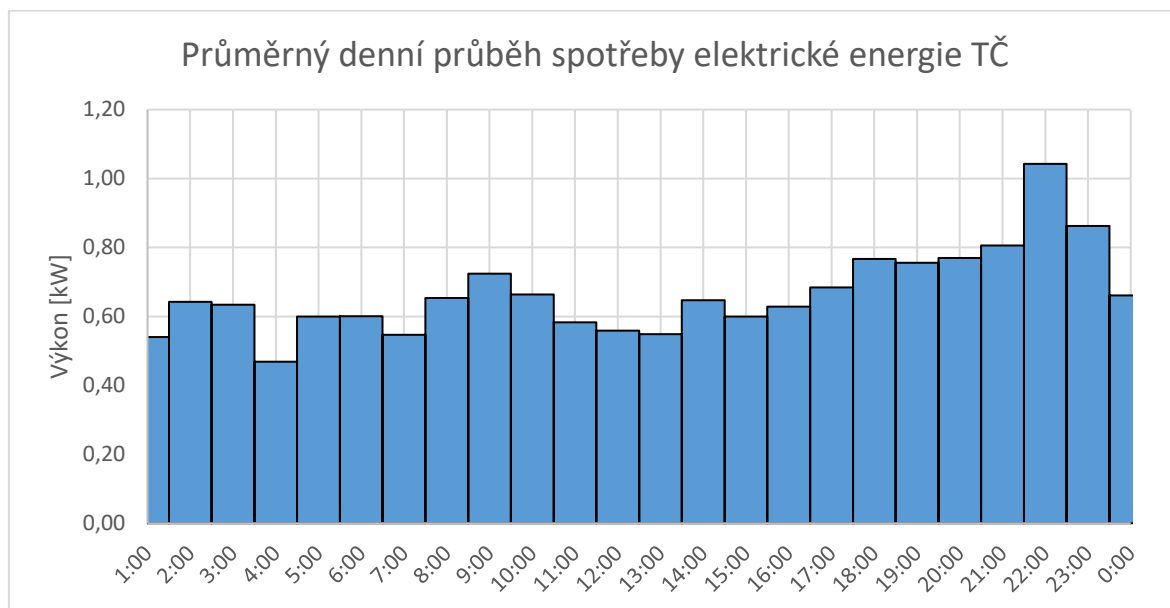
## 2.10 Způsob krytí elektrické spotřeby TČ v průběhu roku

V každém ročním období je poměr mezi způsoby krytí elektrické spotřeby TČ různý (FVE, baterie, síť). V letním období budu předpokládat, že TČ ohřívá pouze TV a výroba FVE zajistí plně soběstačný provoz domácnosti, tj. bez importu elektřiny ze sítě. Výroba FVE v zimním období není dostatečná a budu uvažovat, že se vyžívá pouze elektřina ze sítě. Určení poměru mezi způsoby krytí elektrické spotřeby TČ v přechodném období je nejobtížnější, protože se využívá elektřina z výroby FVE, baterií i elektřina ze sítě.

### Způsob krytí elektrické spotřeby TČ v přechodném období

Spotřebu elektrické energie TČ v přechodném období jsem určil jako součet elektrických spotřeb na ohřev TV, která je v průběhu roku neměnná, a na ohřev otopné soustavy, která je 0,459krát nižší než v zimním období (viz kapitola 2.6.2).

Odhadovaný průběh denní spotřeby elektrické energie na ohřev TV a otopné soustavy použitím TČ v přechodném období:

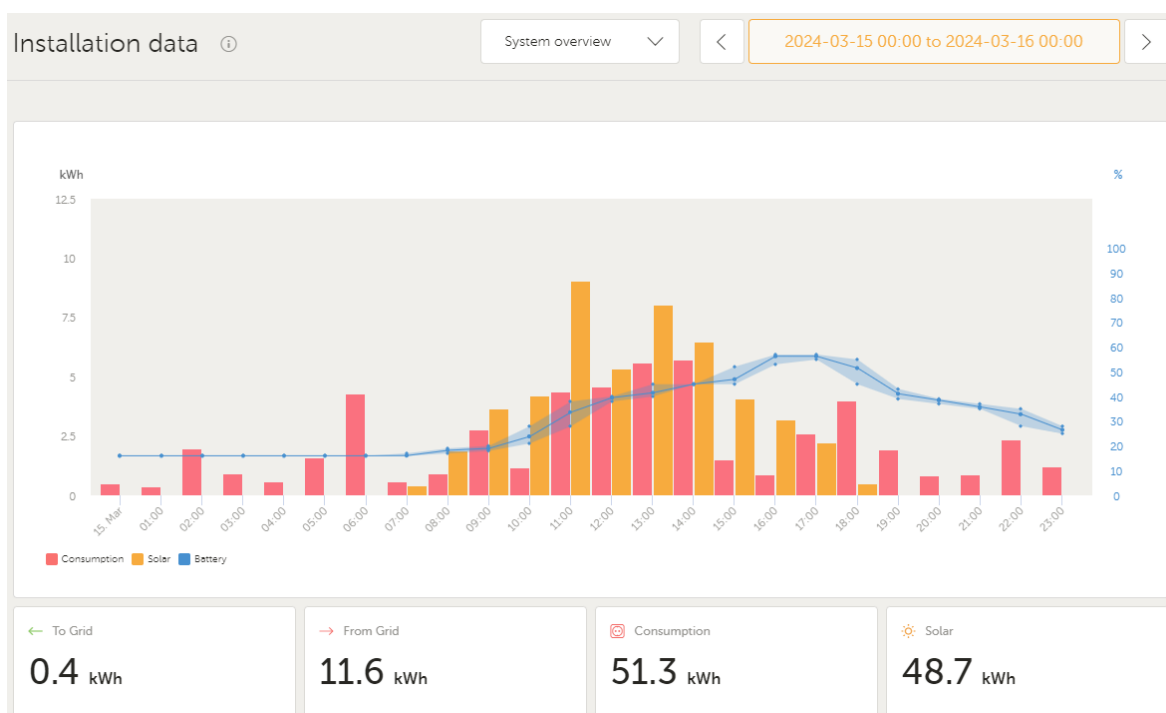


Graf 18 Odhadovaný průměrný denní průběh spotřeby elektrické energie TČ v přechodném období

Graf 18 jsem upravil, aby jednotlivé sloupce popisovaly spotřebu elektrické energie za celé hodiny, nikoliv 15minutové úseky, jak tomu bylo v některých grafech. To umožní lepší porovnání s níže uvedeným grafem 19.

Způsoby krytí elektrické spotřeby TČ jsou znázorněny na grafu 19. Graf znázorňuje denní průběh stavu nabití baterie (modrá), výroby elektrické energie FVE (žlutá) a spotřeby elektrické energie domácnosti (červená) ze dne 15.3.2024. Znázorněný den jsem zvolil na základě množství vyrobené elektrické energie FVE (48,7 kWh), který zhruba odpovídá průměrnému množství vyrobené denní elektrické energie FVE v přechodném období na základě odhadu (50,2 kWh).

Průběh denní výroby elektrické energie FVE a stavu nabití baterie dne 15.3.2024:



Graf 19 Průběh denní výroby elektrické energie FVE a stavu nabití baterie dne 15.3.2024

Ve zvolený den na grafu 19 je výroba FVE dostatečná pro pokrytí elektrické spotřeby domácnosti a dobíjení baterií. Modré body na začátku dne znázorňující kapacitu baterie a nabývají hodnot 15 %, což je nejnižší bod vybití baterií. Vybité baterie na začátku dne znamenají, že výroba elektrické energie předchozího dne byla nižší než toho vyobrazeného. Na konci dne stav nabití baterie klesne k 25 %.

Vyobrazený den na grafu 19 využiji pro stanovení poměru mezi způsoby krytí elektrické spotřeby TČ. Budu uvažovat, že od 1:00 do 9:00 pro pokrytí spotřeby elektrické energie TČ 5,4 kWh se importuje elektrina ze sítě. Následuje časový úsek od 9:00 do 18:00, kdy spotřebu

elektrické energie TČ 7,4 kWh kryje výroba elektrické energie FVE. Od 18:00 hodin do 1:00 hodiny se využívá pro krytí elektrické spotřeby TČ 7,6 kWh baterie.

Poměr mezi způsoby krytí elektrické spotřeby TČ v den přechodného období:

Tabulka 17 Poměr mezi způsoby krytí elektrické spotřeby TČ v den přechodného období

Časový úsek	Zdroj elektrické energie	Spotřeba elektrické energie TČ [kWh/den]
1:00-9:00	Síť	5,4
9:00-18:00	FVE	7,4
18:00-1:00	Baterie	7,6
<hr/>		
Celý den		20,4

### Způsob krytí elektrické spotřeby TČ v letním období

Spotřeba elektrické energie TČ v den letního období odpovídá elektrické spotřebě TČ na ohřev TV. Výroba elektrické energie FVE v den letního období začíná v 6:00 hodin a končí ve 20:00 hodin. Uvedené časy jsem určil na základě sledovaných dat systémem VRM Portal. Zbýlý čas kryje elektrickou spotřebu TČ baterie.

Tabulka 18 Poměr mezi způsoby krytí elektrické spotřeby TČ v den letního období

Časový úsek	Zdroj elektrické energie	Spotřeba elektrické energie TČ [kWh/den]
6:00-20:00	FVE	3,7
20:00-6:00	Baterie	2,4
<hr/>		
Celý den		6,1

### 2.11 Odhad ročního ekonomického vlivu FVE

Náklady Kč/kWh FVE pro krytí spotřeby TČ budou odpovídat LCOE FVE. Pro stanovení nákladů Kč/kWh baterií pro krytí spotřeby TČ jsem sečetl LCOE baterie a FVE. V předcházejících kapitolách jsme počítali LCOE a diskontní návratnost TČ pro dvě hodnoty reálné diskontní sazby. Políčka tabulky 19 popisující náklady, které obsahují dvě hodnoty oddělené lomítkem vyjadřují náklady při reálné diskontní sazbě: -5,4 %/2,7 %.

Přehled zdrojů tepla a jejich nákladů pro pokrytí elektrické spotřeby TČ za celý rok:

Tabulka 19 Ekonomický vliv FVE na náklady ohřevu TV a otopné soustavy za celý rok

Roční období	Zdroj elektrické energie	Spotřeba elektrické energie TČ [kWh]	Náklady [Kč/kWh]	Náklady [Kč]	Náklady [Kč/období]	Náklady [Kč/rok]
Zimní (prosinec, leden, únor) – 90 dnů	Síť	3134	5,82	18240		28849/ 34925
Přechodné (zbylé měsíce)	FVE	1302	0,93/2,55	1215/3317	9788/14825	
	Baterie	1335	2,77/4,47	3029/5964		
	Síť	953	5,82	5544		
Letní (červen, červenec, srpen)	FVE	344	0,93/2,55	321/877	821/1860	
	Baterie	220	2,77/4,47	500/983		
Celý rok	Síť	7278,7	5,37	39135		

Spodní řádek tabulky 19 popisuje roční náklady na provoz TČ bez vlivu FVE, tj. s původní cenou a spotřebou elektrické energie krytou importem (nákupem) ze sítě. Roční úspory na ohřevu TV a otopné soustavy využitím FVE se pohybují kolem 10300/4200 Kč/rok (podle výše reálné diskontní sazby -5,4 % /2,7 %). Výsledné úspory zajištěné FVE při reálné diskontní sazbě -5,4 % nejsou příliš vysoké, protože se jedná o úspory pouze na provozu TČ. FVE ušetří peníze na provozu celé domácnosti nikoliv pouze na provozu TČ. Podělením výsledných ročních nákladů celkovou elektrickou spotřebou získám průměrnou cenu elektřiny 3,96/4,79 Kč/kWh (podle výše reálné diskontní sazby -5,4 %/2,7 %).

Tabulka 19 pracuje s průměrnými náklady Kč/kWh (LCOE) u FVE a baterie za dobu jejich uvažované životnosti, tj. do konce záruky. Ve skutečnosti se FVE i baterie mohou používat se sníženou funkčností vlivem degradace nadále. Ceny energií mohou

v následujících letech nepředvídatelně kolísat, a proto se uvažují aktuální ceny. Spotřeby elektrické energie TČ jsou silně vázané na venkovní teplotu. V provedených výpočtech předpokládám, že v uvažované životnosti FVE a baterie míra degradace nedosáhne takové výše, ve které by se změnil poměr mezi dodávanou elektrickou energií zdrojů. Uvažuji, že vlivem degradace se pouze snižuje množství exportované elektřiny do sítě.

## 2.12 Porovnání nainstalovaných zdrojů tepla se zohledněním FVE

Přehled ročního provozu plynového kotle, TČ a TČ v kombinaci s FVE při aktuálních cenách energií:

Tabulka 20 Přehled ročního provozu plynového kotle, TČ a TČ v kombinaci s FVE

	Spotřeba energie [kWh/rok]	Cena elektřiny/plynu [Kč/kWh]	Náklady na ohřev daným zdrojem tepla [Kč/rok]
Plynový kotel	28209,3	2,69	75883
TČ	7278,7	5,37	39135
TČ v kombinaci s FVE	7278,7	4,15/5,31	28849/34925

V tabulce 20 políčko obsahující lomítko popisuje cenu elektřiny vypočtenou v kapitole 2.11. Hodnoty jsou pro dvě různé reálné diskontní sazby. Vlivem FVE jsou odhadované roční náklady na provoz TČ o cca 47035/40958 Kč/rok (podle výše reálné diskontní sazby - 5,4 %/2,7 %) nižší než provoz plynového kotle.

Nyní mohu znovu vypočítat diskontní návratnost TČ, tentokrát v kombinaci s FVE. Výpočet provedu opět pro obě varianty, reálných diskontních sazeb -5,4 % a 2,7 %.

Úspory porovnávají náklady původního stavu s tím navrhovaným nebo v našem případě aktuálním. V původním stavu výrobu tepla zajišťoval plynový kotel. Výrobu tepla v aktuálním stavu zajišťuje TČ v kombinaci s FVE. Výpočet jsem provedl obdobným způsobem v kapitole 2.7. Na místo rozdílu nákladů na provoz plynového kotle a TČ jsem vypočetl rozdíl mezi plynovým kotlem a TČ v kombinaci s FVE. Dále jsem uvažoval, že v původním stavu bez kombinování FVE s TČ by elektřina určená pro krytí elektrické spotřeby TČ byla exportována do sítě za výkupní cenu 2 Kč/kWh. Zmíněná cena je aktuální a poměrně

vysoká, lze předpokládat, že se v nedaleké budoucnosti bude snižovat. Od počátku roku číslo 2 v tabulce 21 budu uvažovat výkupní cenu 1 Kč/kWh.

Výpočet diskontní doby návratnosti TČ:

Tabulka 21 Výpočet diskontní doby návratnosti TČ

Rok	Potenciální ztráty exportu elektřiny [Kč]	Rozdíl nákladů plynového kotle a TČ [Kč]	Úspory_5,4 % [Kč]	Kumulované úspory_5,4 % [Kč]	Úspory_2,7 % [Kč]	Kumulované úspory_2,7 % [Kč]
1	6404	45653	42950	42950	39562	39562
2	3202	45653	48979	91929	41558	81120
3	3202	45653	51775	143704	40465	121586
4	3202	45653	54731	198435	39402	160987
5	3202	45653	57855	256290	38366	199353
6	3202	45653	61157	317447	37357	236710
7	3202	45653	64648	382096	36375	273085
8	3202	45653	68339	450434	35419	308504
9	3202	45653	72240	<b>522674</b>	34488	342991
10	3202	45653	76363	<b>599037</b>	33581	376572
11	3202	45653	80722	679759	32698	409270
12	3202	45653	85330	765090	31838	441108
13	3202	45653	90201	855290	31001	472110
14	3202	45653	95350	950640	30186	502296
15	3202	45653	100793	1051433	29393	<b>531689</b>
16	3202	45653	106546	1157979	28620	<b>560308</b>
17	3202	45653	112628	1270607	27868	588176
18	3202	45653	119057	1389664	27135	615311
19	3202	45653	125853	1515517	26421	641732
20	3202	45653	133037	1648554	25727	667459

Nově vypočtená diskontní návratnost TČ se zohledněným vlivem FVE při reálné diskontní sazbě ve výši -5,4 % je cca 9,4 let a při reálné diskontní sazbě 2,7 % cca 15,8 let.

Výsledek je pouze orientační, protože je závislý na mnoha proměnných. Některé faktory, ovlivňující výsledek jsou v posledních letech velmi nestabilní. Zejména ceny energií a výše inflace. Zmíněné faktory výrazně ovlivní návratnost investic s životností 10 let nebo v případě FVE 25 let. Mezi další proměnné patří např. venkovní teplota, doba slunečního svitu, snížení nebo zvýšení elektrické spotřeby domácnosti.

## 2.13 Návrh optimalizací

V této kapitole se budu věnovat optimalizacím týkající se energetického hospodaření rodinného domu. Optimalizace zmíněné v průběhu práce proběhly krátce před sledovaným zimním obdobím. Některé optimalizace např. upřednostnění nabíjení automobilů v době výroby FVE se uvedly do provozu v průběhu mé práci, z tohoto důvodu se jim nevěnuji. Zde navrhnou nové nebo popíšu již uskutečněné optimalizace na základě zpracovaných dat.

### **Zamezení ztrátového dohřevu vrchní AKU pro TV**

V kapitole 2.5 jsem krátce zmínil ztrátový dohřev AKU. Jednalo se o pravidelnou spotřebu elektrické energie pro ohřev TV mezi 1:00 hodinou až 5:00 hodinou (graf 4), kdy nenastává odběr TV (graf 5). Ohřev AKU je v uvedené dobu zcela zbytečný, protože první znatelný odběr TV nastane nejčastěji ve 12:00 hodin. Pro pokrytí nízkých odběrů TV před 12:00 hodinou vystačí uložené teplo AKU. Zamezením ztrátového dohřevu vrchní AKU snížíme tepelné ztráty. Zároveň se sníží import elektřiny ze sítě případně spotřeba energie uložené v bateriích. Po východu slunce začíná výroba elektrické energie FVE.

Řešení bylo realizováno v systému Loxone, vytvořením podmínky a změnou nastavených parametrů v řídicí jednotce TČ. Od 0:00 hodin do 11:00 hodin je teplota, při které TČ spustí ohřev TV, snížena z 48 °C na 42 °C. V případě, že by v tomto časovém úseku nastal jednorázový odběr TV vyšší než 20 litrů, TČ spustí ohřev TV.

### **Dočasné zvýšení teploty vody AKU pro TV při exportu přetoků elektrické energie do sítě**

V případě přetoků nadbytečné elektrické energie do sítě se zvýší teplota vrchní AKU pro ohřev TV, tím se zvětší vydatnost (množství uložené tepelné energie) AKU pro ohřev TV a při dalším ohřevu bez slunečního svitu bude možné čerpat menší množství elektrické energie z baterie.

Řešení bylo realizováno v systému Loxone. Při splnění nastavených podmínek přetoků elektrické energie do sítě dojde v řídicím systému TČ ke zvýšení spouštěcí teploty z 48 °C na 53 °C a tím dochází k ohřátí AKU pro TV na vyšší teplotu než v běžném provozním režimu.

### **AKU pro TV**

Vysoká část spotřeby elektrické energie TČ pro ohřev TV se kryje nákupem ze sítě případně uloženou energií v baterii. Instalací druhé AKU by bylo možné ohřát TV v době



výroby FVE a následně ji využít mimo dobu slunečního svitu. V době slunečního svitu je také vyšší venkovní teplota, díky které má TČ vyšší COP.

AKU pro ohřev TV by se uplatnila především v letním a přechodném období. V zimním období je výroba elektrické energie FVE nedostačující, navíc je TČ používáno na ohřev otopné soustavy.

### **TČ využívající odpadní teplo**

Střídače FVE a dobíjení baterií automobilů výrazně zvyšují teplotu garáže, ve které jsou umístěny. Kvůli vysoké teplotě byl nainstalován v horní části místnosti ventilátor, teplý vzduch se odvádí mimo prostor garáže. Chladnější venkovní vzduch je přiváděn větracím otvorem na opačné straně místnosti. Dodatečnou instalací TČ vzduch-voda by bylo možné využít odpadní teplo pro pomocný ohřev TV.

Využití zmíněného TČ využívajícího odpadní teplo by nabývalo nejvyššího významu v letním a přechodném období. V zimním období by TČ ochlazovalo garáž na nežádoucí teplotu, příliš nízká teplota by ochlazovala zbytek domu.

## Závěr

Bakalářská práce se zabývá porovnáním zdrojů tepla přítomných v konkrétním rodinném domu, vyhodnocením vlivu FVE na výrobu tepla a hledáním různých optimalizací, které by měly za výsledek energetickou úsporu domácnosti. Přítomnými zdroji tepla jsou TČ, elektrický průtokový kotel a plynový kotel. Teoretická část poskytuje základní znalosti týkající se TČ a FVE pro pochopení jejich principů a použití.

V praktické části zhodnocuji modernizaci energetického hospodaření rodinného domu z hlediska výroby tepla. Nejprve posuzuji variantu bez uvažování FVE. Roční náklady na provoz plynového kotle jsou 75 883 Kč/rok, kdežto roční náklady TČ 39 135 Kč/rok. Na základě roční úspory 36 748 Kč/rok jsem posoudil diskontní návratnost investice do TČ pro dvě hodnoty reálné diskontní sazby -5,4 % a 2,7 %. Diskontní doba návratu činí 10,7 a 19,5 let. Při provozu TČ a plynového kotle v zimním období kdy je COP TČ nejnižší, provoz plynového kotle není výhodnější.

Zahrnutím vlivu FVE a baterie se výrazně sníží množství nakupované elektřiny ze sítě a tím se zvýší cena elektřiny ze sítě. FVE také výrazně sníží roční náklady na provoz TČ. Roční náklady na provoz TČ v kombinaci s FVE a s využitím baterie jsou 28 849 Kč/rok při reálné diskontní sazbě -5,4 % a 34 925 Kč/rok při reálné diskontní sazbě 2,7 %. Výsledná diskontní doba návratu při reálné diskontní sazbě -5,4 % a 2,7 % je 9,4 a 15,8 let.

Vliv FVE na diskontní dobu návratu je výraznější při méně příznivé reálné diskontní sazbě 2,7 %. Nezávisle na FVE je výsledná diskontní doba návratnosti nižší, než minimální doba životnosti TČ což je 20 let. Zpětné posouzení investice do modernizace energetického hospodaření rodinného domu z hlediska výroby tepla se vyplatila.

Výsledná diskontní doba návratnosti je závislá na mnoha proměnných. Roční náklady na výrobu tepla plynovým kotlem vychází z posledních třech let, kdy teplota zimního období byla srovnatelná s letošním sledovaným zimním období. Mezi nejvýznamnější proměnné patří uvažované životnosti FVE a baterie, které mohou být vyšší za cenu snížené funkčnosti, výše inflace a ceny energií, které mohou v následujících 25 letech výrazně kolísat.

Dále jsem navrhl možné optimalizace, které by měly za výsledek energetickou úsporu domácnosti. Optimalizace zamezení ztrátového dohřevu vrchní AKU pro TV a dočasné zvýšení teploty vody AKU pro TV místo exportu přetoků elektrické energie do sítě jsou pouze softwarové, tudíž bez finančních nákladů a obětování komfortu. Pro zbylé dvě optimalizace je nutná počáteční investice. Jedná se o pořízení AKU pro TV a TČ využívající odpadní teplo.

## Literatura

- [1] Tepelná čerpadla. *Tzbinfo* [online]. 2023, 1 [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- [2] Tepelná čerpadla: Tepelná čerpadla - základní informace. *Tzbinfo* [online]. 2023, 2021, 1 [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23093-tepelna-cerpadla-zakladni-informace>
- [3] Topný faktor COP - účinnost tepelného čerpadla. *ABECEDA* [online]. GT Energy, 2006 [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-cerpadla>
- [4] Tepelné čerpadlo vzduch/voda princip. *ABECEDA* [online]. GT Energy, 2006 [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-vzduch-voda>
- [5] Kogenerační jednotky se spalovacím motorem: Soustavy s tepelným čerpadlem. Praha. Prezentace v PowerPointu
- [6] Tepelné čerpadlo země/voda princip. *ABECEDA* [online]. GT Energy, 2006 [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-zeme-voda>
- [7] Tepelné čerpadlo voda/voda princip. *ABECEDA* [online]. GT Energy, 2006 [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-voda-voda>
- [8] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [9] FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY A PANELY: Výklad. Online. In: Svět energie. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/slunecni-elektrarny-podrobne/fotovoltaicke-clanky-a-panely/vyklad#:~:text=Polykrystalick%C3%A9%20C4%8D1%C3%A1nky&text=Podlo%C5%BEka%20m%C3%A1%20v%C4%9Bt%C5%A1inou%20C4%8Dtvercov%C3%BD%20tvar,citliv%C3%A9%20na%20p%C5%99esnou%20ji%C5%BEn%C3%AD%20orientaci..> [cit. 2024-04-26].

- Obr. 1 Schéma tepelného čerpadla. In: STAVEBNICTVI3000.CZ [online]. Hradec Králové: VEGA spol. [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/co-znamená-topný-faktor-tepelneho-čerpadla-cop-ci-chladicí-faktor-klimatizace-eer-a-jak-se-behem-roku-mění>
- Obr. 2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda. In: SCHLIEGER [online]. Chotěboř: Schlieger [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://www.schlieger.cz/radce/jak-funguje-tepelne-čerpadlo-vzduch-voda/>
- Obr. 3 Možnosti získávání nízkopotenciálního tepla pro použití TČ ve vytápění. Praha. Prezentace v PowerPointu
- Obr. 4 HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- Obr. 5 HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma primárního okruhu tepelného čerpadla .....	2
Obr. 2 Schéma příkladu celého zapojení .....	3
Obr. 3 Schémata druhů systémů tepelných čerpadel .....	4
Obr. 4 Konstrukce a přeměna energie v krystalickém křemíkovém solárním článku .....	7
Obr. 5 Tok energie v solárním článku .....	7
Obr. 6 Rodinný dům .....	9
Obr. 7 Zjednodušené schéma zapojení FVE.....	10
Obr. 8 Střídače FVE a baterie .....	11
Obr. 9 Nabíjecí stanice.....	12
Obr. 10 Zjednodušené schéma zapojení topné soustavy .....	13
Obr. 11 VRM Portal – Přehled elektrického hospodaření domácnosti.....	16
Obr. 12 Diagram závislosti COP na venkovní teplotě	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

## Seznam tabulek

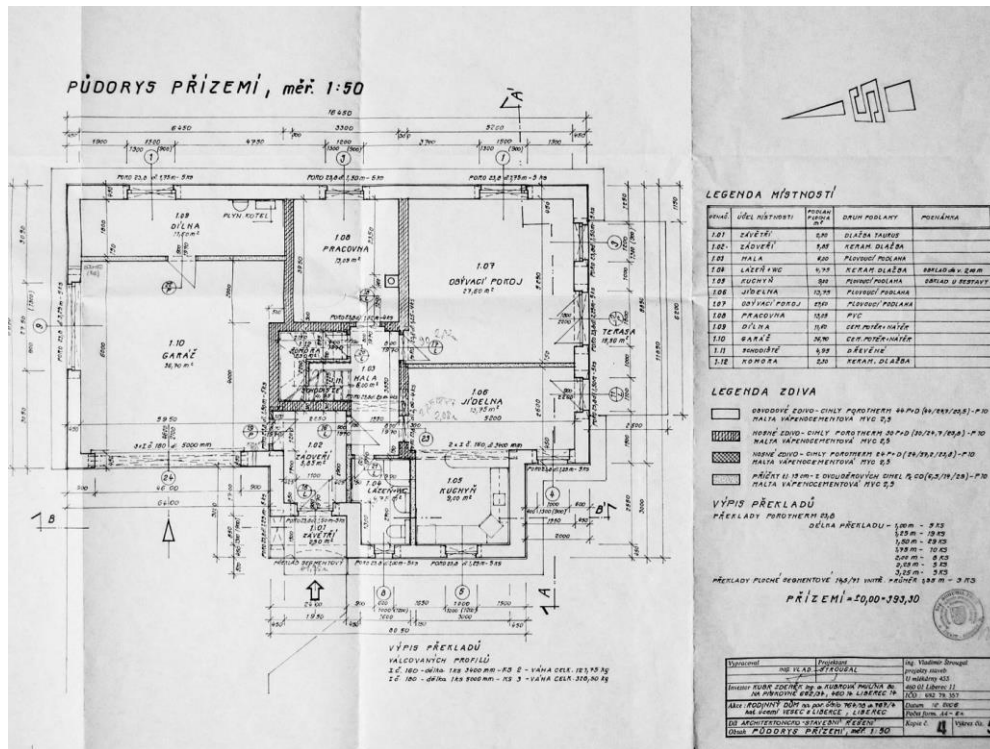
Tabulka 1 Spotřeby TV v zimním období .....	23
Tabulka 2 Průměrné spotřebované množství plynu v posledních třech letech.....	25
Tabulka 3 Letní a zimní odběr TV.....	27
Tabulka 4 Odhad spotřeb elektrické energie pro ohřev TV v průběhu roku .....	30
Tabulka 5 Spotřeba elektrické energie na ohřev otopné soustavy.....	32
Tabulka 6 Přehled vypočtených COP v zimní období.....	35
Tabulka 7 Odhad spotřeb elektrické energie pro ohřev TV v průběhu roku .....	37
Tabulka 8 Přehled ročního provozu plynového kotle a TČ; ceny včetně DPH.....	40
Tabulka 9 Výpočet diskontní doby návratnosti TČ .....	41
Tabulka 10 Náklady na ohřev daným zdrojem tepla v zimním období.....	42
Tabulka 11 Přehled denní výroby FVE v zimním období.....	44
Tabulka 12 VRM Portal-Měsíční výroby elektrické energie FVE.....	45
Tabulka 13 Výpočet LCOE baterie s hodnotou inflace 10,7 %.....	48
Tabulka 14 Výpočet LCOE baterie s hodnotou inflace 2 %.....	48
Tabulka 15 Výpočet LCOE FVE s hodnotou inflace 10,7 %.....	49
Tabulka 16 Výpočet LCOE FVE s hodnotou inflace 2 %.....	50
Tabulka 17 Poměr mezi způsoby krytí elektrické spotřeby TČ v den přechodného období .....	53
Tabulka 18 Poměr mezi způsoby krytí elektrické spotřeby TČ v den letního období....	53
Tabulka 19 Ekonomický vliv FVE na náklady ohřevu TV a otopné soustavy za celý rok .....	54
Tabulka 20 Přehled ročního provozu plynového kotle, TČ a TČ v kombinaci s FVE...	55
Tabulka 21 Výpočet diskontní doby návratnosti TČ .....	56

## Seznam grafů

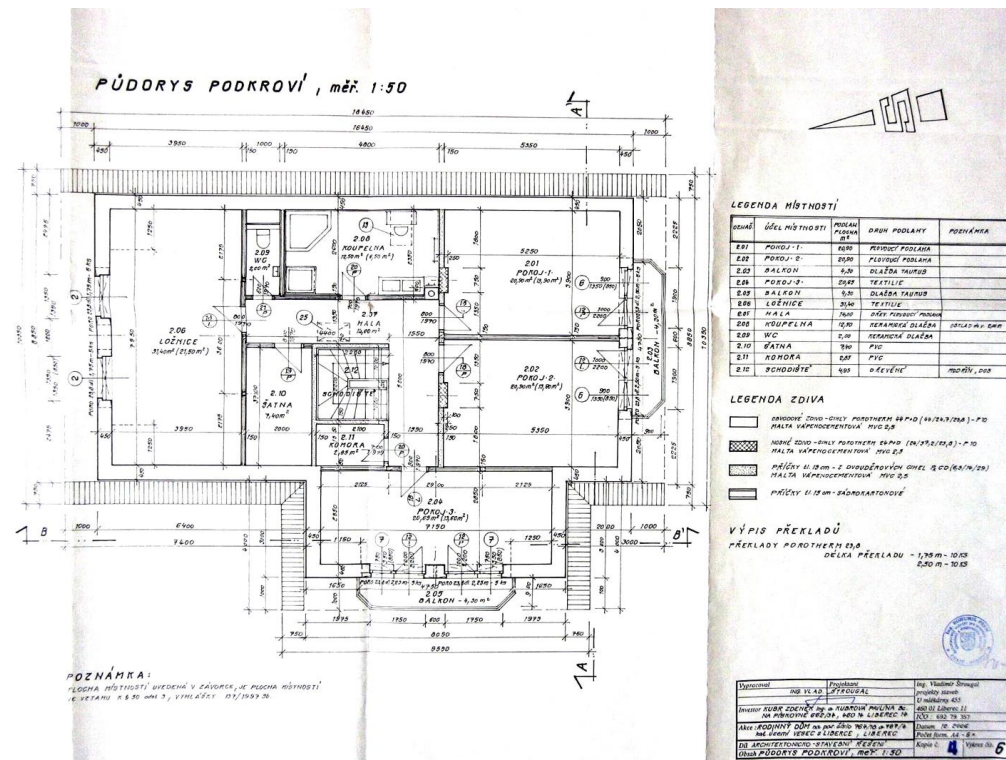
Graf 1 VRM Portal – hospodaření s elektrickou energií .....	15
Graf 2 MyUplink – průběh teplot TV a AKU .....	17
Graf 3 MyUplink – průběh teplot otopné soustavy a AKU .....	17
Graf 4 Průměrný denní průběh spotřeby elektrické energie na ohřev TV .....	20
Graf 5 Průměrný denní průběh odběru TV .....	20
Graf 6 Odběr TV 1.12.2023 pátek .....	21
Graf 7 Denní spotřeby elektrické energie na ohřev TV .....	22
Graf 8 Denní odběry TV .....	22
Graf 9 Průměrné venkovní teploty.....	23
Graf 10 Četnost velikosti denních odběrů TV .....	24
Graf 11 Měsíční spotřeby plynu .....	25
Graf 12 Průměrný denní průběh spotřeby elektrické energie na ohřev otopné soustavy	31
Graf 13 Denní spotřeby elektrické energie na ohřev otopné soustavy .....	32
Graf 14 Průměrný denní průběh výroby elektrické energie FVE v zimním období.....	43
Graf 15 Denní výroby elektrické energie FVE .....	44
Graf 16 Odhad výroby FVE vytvořený při projektování.....	46
Graf 17 Odhadovaný průměrný denní průběh spotřeby elektrické energie TČ v přechodném období .....	52
Graf 18 Průběh denní výroby elektrické energie FVE a stavu nabití baterie dne 15.3.2024 .....	52

# Přílohy

## Příloha 1



## Příloha 2





### Příloha 3

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	/S/@T	TČ TUV [m3]	TČ TUV [Wh]	TČ topení [Wh]	Domácnost [Wh]	XC60 [Wh]	XC90 [Wh]	FV výroba [kWh]	Plynový kotel [h]	Venkovní teplota [°C]
10404	29.02.2024 8:15	40,43	885208	2887328,04	13210604,7	1478617,83	2868251,41	7579874,8	2,629	5,6
10405	29.02.2024 8:30	40,43	885208	2887774,98	13211155,2	1478617,83	2868251,41	7580174,8	2,629	5,7
10406	29.02.2024 8:45	40,43	885208	2888169,97	13211658,9	1478617,83	2868251,41	7580374,8	2,629	5,9
10407	29.02.2024 9:00	40,43	885208	2888579,25	13212263,5	1478617,83	2868324,61	7580674,8	2,629	6
10408	29.02.2024 9:15	40,43	885208	2889000,17	13213433,4	1478617,83	2868665,27	7580874,8	2,629	6,1
10409	29.02.2024 9:30	40,431	885208	2889432,75	13214627,6	1478617,83	2869004,76	7581174,8	2,629	6,2
10410	29.02.2024 9:45	40,439	885855	2889561,24	13216017,9	1478617,83	2869352,78	7581574,8	2,629	6,3
10411	29.02.2024 10:00	40,47	886067	2889561,24	13216737,8	1478617,83	2869690,47	7581974,8	2,629	6,6
10412	29.02.2024 10:15	40,481	886927	2889561,24	13218077,6	1478617,83	2870028,2	7582274,8	2,629	6,5
10413	29.02.2024 10:30	40,481	886940	2889561,24	13219087,9	1478617,83	2870824,65	7582674,8	2,629	6,7
10414	29.02.2024 10:45	40,481	886940	2889561,24	13219391,2	1478617,83	2870925,88	7583074,8	2,629	6,8
10415	29.02.2024 11:00	40,481	886940	2889561,24	13219552,8	1478617,83	2870925,88	7583574,8	2,629	7
10416	29.02.2024 11:15	40,481	886940	2889561,24	13219655,2	1478617,83	2870925,88	7584174,8	2,629	7,3
10417	29.02.2024 11:30	40,481	886940	2889561,24	13220088,1	1478617,83	2871246,28	7584874,8	2,629	7,7
10418	29.02.2024 11:45	40,481	886940	2889869,99	13221474,2	1478617,83	2871272,66	7585574,8	2,629	7,9
10419	29.02.2024 12:00	40,481	886940	2890240,73	13222833,2	1478617,83	2873099,16	7586374,8	2,629	8,1
10420	29.02.2024 12:15	40,481	886940	2890627,84	13224190,4	1478617,83	2873998,75	7587074,8	2,629	8,3
10421	29.02.2024 12:30	40,481	886940	2891030,27	13225543,2	1478617,83	2874915,73	7587574,8	2,629	8,3
10422	29.02.2024 12:45	40,481	886940	2891447,91	13226684,9	1478617,83	2875576,23	7588174,8	2,629	8,1

### Příloha 4

Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	
Spotřeba elektrické energie na ohřev topné soustavy [kW]																							
20,5	Medián	0,08	0,02	0,12	0,21	0,32	0,28	0,26	0,35	0,56	0,36	0,28	0,04	0,01	0,00	0,00	0,27	0,26	0,54	0,24	0,34	0,35	
11,0	Směrodatná odchylka	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,26	0,30	0,29	0,39	0,30	0,31	0,28	0,28	0,28	0,27	0,30	0,28	0,29	0,28	0,29	0,28	
25,5	Průměrné hodnoty průběhu spotřeby na topení [kW]	0,22	0,23	0,24	0,24	0,27	0,28	0,28	0,30	0,31	0,30	0,29	0,26	0,24	0,25	0,22	0,25	0,27	0,30	0,28	0,29	0,30	
Suma	Čas	0,15	0,30	0,45	1,00	1,15	1,30	1,45	2,00	2,15	2,30	2,45	3,00	3,15	3,30	3,45	4,00	4,15	4,30	4,45	5,00	5,15	
40,0	01.12.2023	0,61	0,61	0,54	0,21	0,00	0,00	0,15	0,93	0,76	1,00	0,93	0,60	0,59	0,59	0,58	0,53	0,59	0,51	0,00	0,00	0,00	
46,1	02.12.2023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,93	0,86	0,76	0,49	0,59	0,59	0,39	0,60	0,06	0,00	0,00	0,28	0,53	0,71	0,69	0,69	
43,2	03.12.2023	0,00	0,01	0,45	0,63	1,56	1,12	1,02	0,67	0,71	0,93	0,64	0,03	0,00	0,00	0,00	0,44	0,73	1,09	0,66	1,01	0,69	
40,7	04.12.2023	0,63	0,53	0,61	0,00	0,00	0,00	0,03	0,53	0,70	0,95	0,71	0,62	0,54	0,61	0,42	0,55	0,00	0,00	0,00	0,11	0,54	
36,1	05.12.2023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,45	0,83	1,07	0,80	0,60	0,59	0,53	0,07	0,00	0,00	0,00	0,39	0,55	0,80	0,73	0,97	
36,5	06.12.2023	0,00	0,00	0,00	0,12	0,48	0,57	0,73	0,58	0,49	0,55	0,55	0,55	0,00	0,00	0,00	0,01	0,48	0,58	0,55	0,87	0,87	
36,7	07.12.2023	0,47	0,42	0,56	0,34	0,00	0,00	0,00	0,11	0,49	0,65	0,67	1,06	0,73	0,59	0,59	0,47	0,00	0,00	0,00	0,24	0,49	
39,7	08.12.2023	0,57	0,58	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,48	0,82	0,88	0,59	0,44	0,59	0,34	0,46	0,00	0,00	0,13	0,50	0,50	
34,7	09.12.2023	0,00	0,32	0,48	0,66	0,66	0,47	0,56	0,54	0,53	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,47	0,48	0,83	0,95	0,64	0,57	
31,8	10.12.2023	0,40	0,49	0,57	0,45	0,23	0,61	0,54	0,54	0,59	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,41	0,68	1,03	0,82	0,59	0,59	
29,6	11.12.2023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,52	0,66	0,53	0,54	0,42	0,49	0,54	0,00	0,00	0,00	0,01	0,47	0,47	0,56	0,51	0,51	
26,7	12.12.2023	0,00	0,00	0,00	0,07	0,40	0,45	0,50	0,50	0,48	0,50	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,44	0,47	0,49	0,49	0,49	
24,0	13.12.2023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,45	0,52	0,49	0,50	0,51	0,50	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,47	
29,0	14.12.2023	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,48	0,52	0,51	0,52	0,54	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,47	0,49	
31,0	15.12.2023	0,51	0,47	0,99	0,94	0,63	0,57	0,48	0,59	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,47	0,55	0,66	0,54	0,46	0,56	0,56	
26,9	16.12.2023	0,49	0,51	0,52	0,54	0,55	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	
26,7	17.12.2023	0,00	0,00	0,16	0,46	0,48	0,50	0,51	0,53	0,54	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,40	0,76	0,80	0,54	0,53	
25,3	18.12.2023	0,00	0,33	0,47	0,43	0,71	0,80	0,56	0,36	0,59	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,42	0,51	0,82	0,66	0,55	0,56	
20,6	19.12.2023	0,00	0,00	0,00	0,35	0,47	0,49	0,51	0,53	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,46	0,49	0,51	0,53	0,54	0,54	
29,1	20.12.2023	0,43	0,46	0,14	0,49	0,50	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,45	0,46	0,47	0,49	0,52	0,13	0,00	0,00
29,8	21.12.2023	0,55	0,51	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,48	0,54	0,53	0,53	0,55	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29,7	22.12.2023	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,47	0,59	0,51	0,51	0,53	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,46	0,64
29,2	23.12.2023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00