



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

## HODNOCENÍ PROVOZU REÁLNÉHO PV SYSTÉMU

EVALUATION OF REAL PV SYSTEM OPERATION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vít Macák

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2024



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Vít Macák**  
Studijní program: Energetika  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**  
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Hodnocení provozu reálného PV systému

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je věnována problematice malých fotovoltaických systémů užívaných pro generování elektrické energie v rodinných domech. V rámci práce bude zpracován rešeršní popis fotovoltaických instalací a základních komponent. Popsán bude konkrétní vybraný fotovoltaický systém a provedeno jeho technicko–ekonomické hodnocení. Dále budou posouzeny možnosti rozšíření či modifikace současného systému zásobujícího konkrétní objekt. Práce bude zahrnovat zjednodušené bilanční posouzení energetických toků a základní ekonomické parametry.

### Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte stručné představení technologie fotovoltaických systémů a uveďte přehled hlavních prvků.
2. Popište vybranou reálnou instalaci PV systému a energetické charakteristiky zásobovaného objektu.
3. Proveďte zhodnocení provozu reálného PV systému na základě dostupných dat z monitoringu systému.
4. Formulujte doporučení k dalšímu provozu a zhodnoťte možnosti dalšího rozšíření systému.

### Seznam doporučené literatury:

CIHELKA, Jaromír. Solární tepelná technika. Praha: T. Malina, 1994, 203 s. : il. ISBN 80-900759-5-9.

PAVELEK, Milan. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 192 s., ISBN 978-80-214-4300-6.

CENEK, Miroslav. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003, 248 s. : il. ; 21 cm. ISBN 80-86534-03-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá fotovoltaickými systémy, jejich konfiguracemi a hlavními komponentami. Analyzuje konkrétní instalaci na rodinném domě, zhodnocuje provozní data a ekonomickou návratnost systému. Práce také poskytuje doporučení pro další provoz a možnosti rozšíření systému.

### **Klíčová slova**

Fotovoltaika, rodinný dům, elektrická energie, bilance, vyhodnocení

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis covers photovoltaic systems, their various configurations and main components. It analyses a specific installation on a single-family house, evaluating the operational data and the economic return of the system. The thesis also provides recommendations for future operations and system expansion options.

### **Key words**

Photovoltaics, family house, electricity, energy balance, evaluation

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MACÁK, Vít. Hodnocení provozu reálného PV systému. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157861>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jirí Pospíšil.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Hodnocení provozu reálného PV systému** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce a s využitím nástrojů generativní umělé inteligence v souladu s principy akademické integrity.

24. května 2024

-----  
Datum

-----  
Vít Macák

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce a zároveň poskytnutí volnosti při zpracovávání. Děkuji svým rodičům za poskytnutí všech důležitých podkladů a informací o systému, za jejich pomoc při jazykové korektuře práce a jejich podporu během studia. Také děkuji svým přátelům, přítelkyni a kolegům i pracovníkům fakulty za vytváření velmi příjemného prostředí při studiu.



## OBSAH

ÚVOD.....	10
1 Konfigurace fotovoltaických systémů.....	11
1.1 Ostrovní systémy .....	12
1.1.1 Ostrovní systémy bez zásobníku energie .....	12
1.1.2 Ostrovní systémy se zásobníkem energie.....	13
1.1.3 Hybridní ostrovní systémy .....	15
1.2 Systémy připojené k síti.....	17
1.2.1 On-grid systémy přímo připojené na síť .....	18
1.2.2 On-grid systémy připojené na distribuční síť přes domovní síť .....	18
2 Součásti fotovoltaického systému .....	19
2.1 Fotovoltaický panel.....	19
2.1.1 Umístění a orientace.....	21
2.2 Střídač .....	23
2.3 Akumulace energie .....	24
3 Charakteristika vybraného objektu a instalace .....	25
3.1 Elektrická energie RD – spotřebiče a bilance .....	26
3.1.1 Bilance elektrické energie .....	28
3.2 Instalovaný FV systém – popis komponent.....	33
3.2.1 Fotovoltaické panely CanadianSolar HiKu CS3W-450MS.....	33
3.2.2 Optimalizace a monitoring – Tigo TS4-A-O a Growatt ShineWiFi-X.....	35
3.2.3 Baterie Growatt ARK 10.2H.....	37
3.2.4 Hybridní střídač SPH 10000TL3 BH-UP.....	39
3.3 Bilance vytápění RD .....	41
4 Ekonomické zhodnocení stávajícího FV systému .....	45
4.1 Instalace FV systému – soupiska počátečních nákladů .....	45
4.2 Návrh investice do systému.....	46
4.2.1 Zjednodušený výpočet doby návratu investice .....	46
4.2.2 Procentuální návratnost pro různá období (ROI) .....	48
5 Budoucnost provozu a možné rozšiřující investice .....	55
5.1 Nahrazení benzínového auta za elektromobil .....	55
5.2 Virtuální baterie – změna vztahů s obchodníky.....	60
ZÁVĚR.....	64
SEZNAM LITERATURY .....	65
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, ZKRATEK A INDEXŮ.....	68
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	72
SEZNAM TABULEK .....	73

## ÚVOD

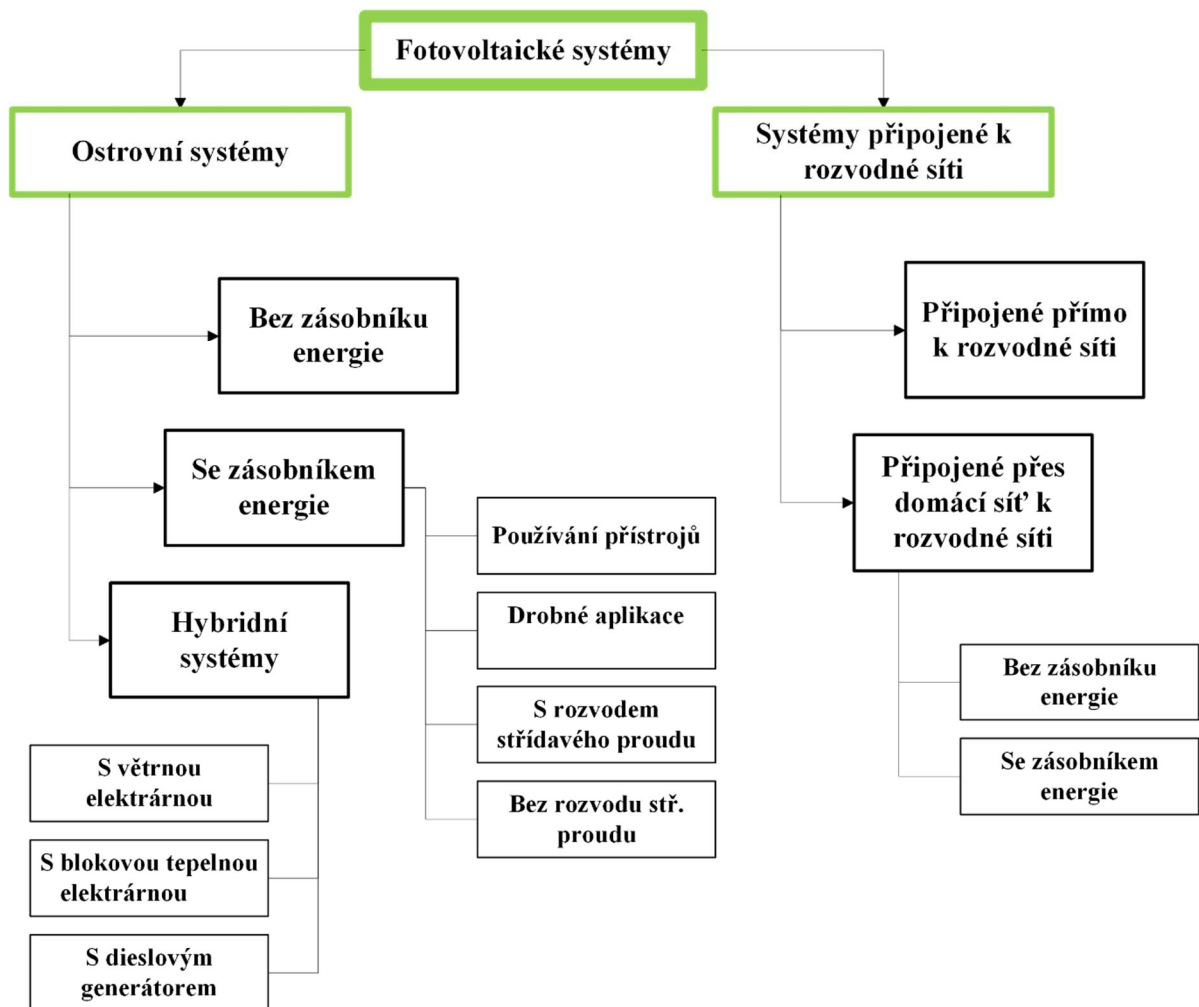
Fotovoltaické systémy se v posledních letech staly atraktivním prvkem v oblasti obnovitelných zdrojů energie. Díky jejich schopnosti přímo přeměňovat sluneční energii na elektrickou energii přinášejí významné environmentální a ekonomické výhody. Tato práce se zaměřuje na podrobnou analýzu fotovoltaických systémů s důrazem na reálné aplikace a jejich provozování. Historie fotovoltaických systémů sahá až do poloviny 20. století, kdy byly první solární články využívány pro napájení vesmírných satelitů. S postupem času a technologickým pokrokem se fotovoltaické systémy staly dostupnými i pro běžné uživatele a začaly být instalovány na střechách rodinných domů, průmyslových budov a jako součást veřejných projektů. V současné době jsou fotovoltaické systémy považovány za jednu z nejperspektivnějších technologií pro dosažení udržitelného rozvoje a snížení závislosti na fosilních palivech.

Cílem této bakalářské práce je poskytnout komplexní přehled o fotovoltaických systémech, jejich komponentách a provozních vlastnostech. Práce je rozdělena do několika kapitol, z nichž první dvě kapitoly slouží jako teoretický základ. První kapitola se věnuje konfiguraci různých typů fotovoltaických systémů, včetně ostrovních a on-grid systémů. Druhá kapitola pak podrobně popisuje hlavní součásti fotovoltaického systému, jako jsou panely, střídače a systémy akumulace energie. Třetí kapitola představuje konkrétní případ reálné instalace fotovoltaického systému na rodinném domě. Zde jsou popsány energetické charakteristiky zásobovaného objektu a instalované komponenty systému. Čtvrtá kapitola se zabývá ekonomickým zhodnocením této instalace, včetně analýzy návratnosti investice. V závěrečné páté kapitole jsou formulována doporučení pro další provoz systému a možnosti jeho rozšíření, například o elektromobil či virtuální baterii.

Motivací pro vypracování této práce je nejenom rostoucí zájem o obnovitelné zdroje energie, ale také zhodnocení rodinné investice a motivace pro ostatní spotřebitele. Práce má za cíl nejenom osvětlit technologické a ekonomické aspekty fotovoltaických systémů, ale také přispět k širšímu pochopení jejich významu a potenciálu pro budoucnost energetiky.

## 1 Konfigurace fotovoltaických systémů

Fotovoltaické systémy lze rozdělit na základě propojení s rozvodnou elektrickou sítí a spolupráce s dalšími komponentami. Základní rozdělení je na ostrovní systémy a systémy připojené k rozvodné síti. Na obr. 1 je přehledně znázorněno podrobnější rozdělení, jednotlivé druhy a konfigurace jsou popsány v kapitolách 1.1 a 1.2. [1]



Obr. 1: Rozdělení fotovoltaických systémů[1], překresleno autorem

## 1.1 Ostrovní systémy

Ostrovní nebo také off-grid systém je konfigurace zapojení fotovoltaických panelů se spotřebiči a dalšími komponentami, pro kterou je charakteristická absence připojení k rozvodné síti elektrické energie, ať již z technických, nebo ekonomických důvodů. Vyznačuje se tím, že výroba je rovna spotřebě systému. Solární výnos, tedy produkce elektrické energie z panelů, však nemusí být v korespondenci se spotřebou systému. V důsledku toho se OS navrhuji s vhodnou formou akumulace, nebo je solární zdroj doplněn jiným zdrojem energie. Takový systém pak popisujeme jako hybridní. [1]

První fotovoltaické systémy, které se začaly ekonomicky používat, byly právě ostrovní a byly používány v místech bez rozvodných sítí – nejdříve ve vesmíru, kvůli jejich váze, robustnosti a odolnosti vůči radiaci [2]. Následně se pak použití rozšířilo i na zem, kde tyto systémy obhospodařují elektrickou energií objekty, jež jsou vzdálené od rozvodné sítě. Takové objekty mohou být různých velikostí, na různých lokacích a jejich lokalita tak nemusí být pevně daná, díky kompaktnosti systému.

Příklady použití ostrovních fotovoltaických systémů na zemi [1]:

- obytné vozy, čluny a lodě,
- rekreační objekty s menší návštěvností – víkendové a prázdninové chaty a kempy,
- objekty v horských, či tropických oblastech – alpské chaty, střediska na menších ostrovech apod.,
- sloupky pro tísňové volání, parkovací automaty, bójky, pouliční lampy [3],
- telekomunikační, monitorovací a výzkumné stanice,
- čerpací systémy v pouštních oblastech [4],
- klíčové objekty ve vesnicích v rozvojových zemích – nemocnice, školy apod.,
- elektrifikace oblastí v rozvojových zemích,
- drobná elektronika – kalkulačky, hodiny, nabíječky, outdoorová svítidla, rádia atd.

Oproti FVS připojeným k rozvodné síti tvoří ostrovní systémy mnohem menší část z celkového počtu fotovoltaických instalací na světě. Dle zdroje [1], který zpracovává údaje z roku 2017, bylo jen 10 % fotovoltaických systémů ostrovních.

Dle zdroje [5] stačí, aby vesnice v rozvojové zemi se zátěží okolo 10 kW byla 40 km daleko od nejbližšího místa rozvodné sítě a už se ekonomicky více vyplatí vytvořit pro vesnici ostrovní systém než budovat přírodní síť.

### 1.1.1 Ostrovní systémy bez zásobníku energie

Ostrovní fotovoltaický systém bez akumulace je zdroj elektrické energie, který je ojediněle používán v rozvojových zemích výrazně vystavených slunečnímu záření. V jiných oblastech však tyto systémy své využití nenalezly, právě kvůli absenci akumulace energie pro pokrytí spotřeby při slabém až žádném slunečním záření.

Hlavní aplikace takových systémů je tak čerpání vody, zavlažování a další podpora základních potřeb domácností.

Jejich hlavní výhodou je jednoduchost systému, a s tím spjatá nízká cena systémů, jak pořizovací, tak cena údržby a oprav. Jak už bylo však zmíněno, absence akumulace přináší hlavní nevýhodu systému, a to právě neschopnost dodávat elektrickou energii při zvýšené oblačnosti a v noci. Se zvyšující se podporou rozvinutých zemí a snižující se cenou těchto systémů se dnes již ostrovní systémy bez akumulace instalují málokdy. [5]

### 1.1.2 Ostrovní systémy se zásobníkem energie

Ostrovní fotovoltaický systém se zásobníkem energie je systém, který obsahuje komponentu pro akumulaci energie. Často používanou formou akumulace elektrické energie je baterie. Pokud jde však o domácnost, či jiný systém, který spotřebovává i teplo, lze efektivně akumulovat energii ve formě tepla. Více o akumulaci energie v kapitole 2.3 Akumulace. [1]

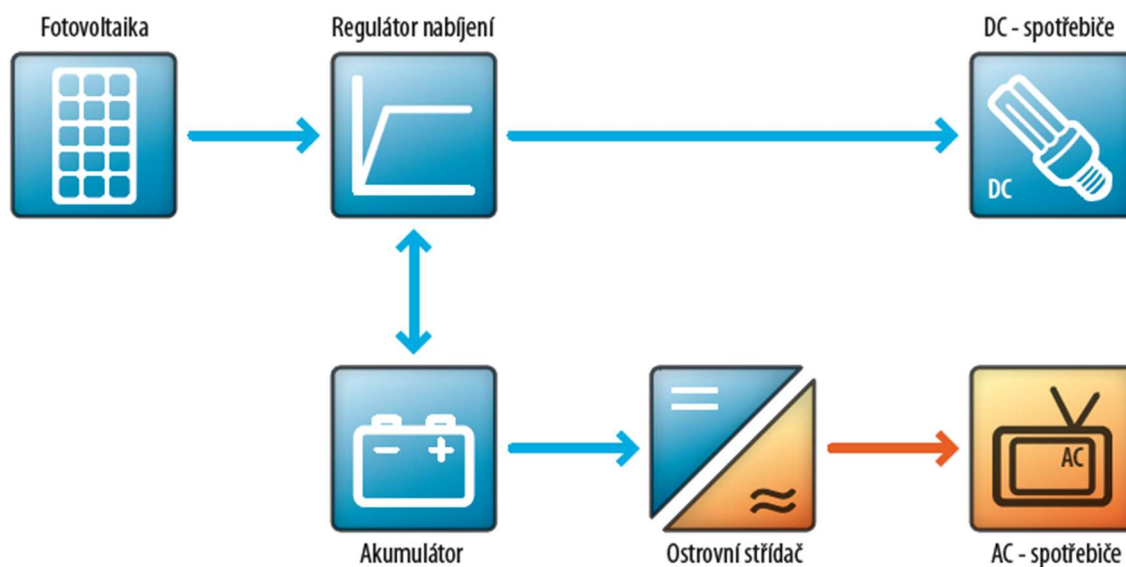
OFVS s akumulací nalézá v dnešní době mnoho využití o různých velikostech systému. Příklady využití jsou tak shodné s těmi uvedenými v úvodní kapitole 1.1 Ostrovní systémy. [1]

Smyslem takového systému je dodávat spotřebičům elektrickou energii v době zvýšeného svitu a zároveň přebytečnou energii napájet akumulátor, ze kterých následně můžeme napájet spotřebiče v době se sníženým až žádným slunečním osvitem – večerní hodiny či nepříznivé počasí. Akumulace tak dělá fotovoltaický systém spolehlivější a flexibilnější než systém bez akumulace. Akumulační prvek, jako je baterie, však společně s dalšími komponentami, jako regulátor napětí, značně přidává na pořizovací i servisní ceně systému i na komplexnosti systému. Pro spolehlivý chod je potřeba správně dimenzovat baterii, aby byla schopná pokrýt spotřebu systému i při delší době bez slunečního svitu, což může dále navýšit cenu systému. Pokud jde tedy o objekty s vyšší spotřebou, jako budovy či celé vesnice, používají se tyto systémy v oblastech se zvýšeným slunečním svitem nebo v lokalitách, kde očekáváme návštěvnost jen v letních dnech s příznivějším počasím. Stále častější uplatnění tak OFVS s akumulací nalézá v rozvojových zemích, kde produkuje energii pro důležité budovy, jako jsou nemocnice, školy apod. [5; 6]

V korespondenci s rozdělením na obr. 1 lze tak OFVS s akumulací rozdělit na:

- pro používání přístrojů – zde spadá napájení přístrojů na satelitech, lodích, bójkách;
- pro drobné aplikace – drobnou aplikací můžeme nazvat provoz strojů, které spotřebují stejnosměrné napětí vyrobené v panelu, či jiné jednoúčelové systémy (čerpací, komunikační, monitorovací stanice, parkovací automaty atd.);
- OS bez, nebo s rozvodem střídavého proudu.

Na obrázku níže je vyobrazen základní princip zapojení systému. Další strana je věnována fotografiím reálných FV systému s akumulací elektrické energie.



Obr. 2: Schématický princip ostrovního fotovoltaického systému s akumulací pro napájení DC i AC spotřebičů [1]



Obr. 3: Příklad použití off-grid FV systémů s akumulací energie napříč oblastmi [8]



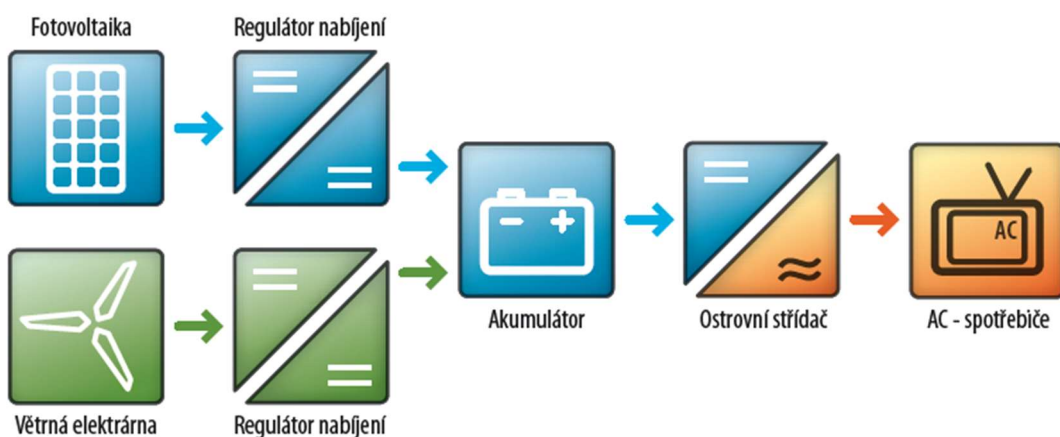
Obr. 4: Příklady využití FV systému s akumulací elektrické energie v oblasti komunikační a monitorovací [32]

### 1.1.3 Hybridní ostrovní systémy

Kapitola vychází, z mimo níže citovaných zdrojů, ze zdrojů [5; 7; 8].

Hybridním ostrovním fotovoltaickým systémem nazýváme soustavu FV systému a jiného zdroje energie. Systém kombinuje výrobu z fotovoltaických panelů s dalším zdrojem, a tak zajišťuje spolehlivé dodávky elektrické energie objektům bez připojení k rozvodné síti. Díky tomu, při správném návrhu, není potřeba velkých akumulátorů.

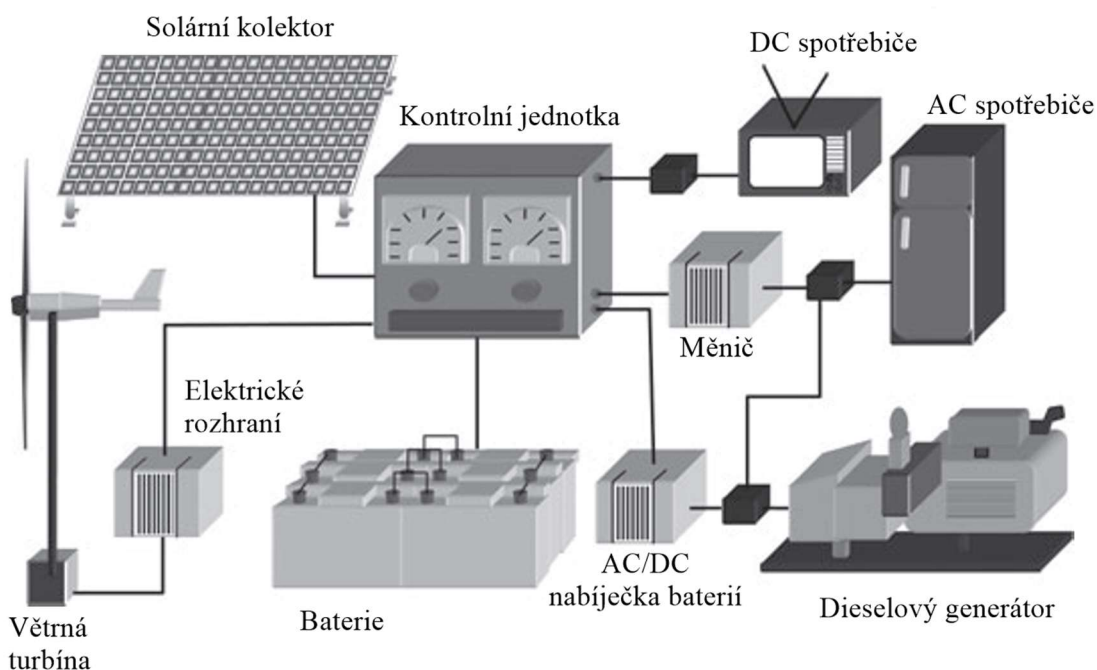
Zdroje energie používané paralelně s FV panely mohou být větrné či vodní turbíny a dieselové agregáty.



Obr. 5: Schématický princip hybridního ostrovního fotovoltaického/větrného systému [1]

Větrné, stejně jako FV generátory, při samostatném použití často neodpovídají energetickým potřebám systémů, a tak musíme dimenzovat generátory a uložení energie na vyšší parametry, čímž zvyšujeme cenu systému. Jejich kombinací tak můžeme zvýšit flexibilitu a spolehlivost systému, protože rychlost větru může být vyšší v době, kdy je sluneční záření nižší, a to zejména v noci nebo za oblačného počasí. Vzhledem k tomu, že oba systémy operují v závislosti na námi neovlivnitelných meteorologických podmínkách, může být vhodné podpořit systém i záložním zdrojem energie na fosilní paliva, jako je dieselový motor. Příklad zapojení takového systému je zobrazen na obr. 6. [9]

Kombinace s malými průtočnými či kaskádovými vodními elektrárnami přináší spolehlivé řešení pro oblasti se stálým vodním tokem, například v horských oblastech asijského kontinentu, kde tyto systémy mohou zásobovat odlehlé lokality. [10]



Obr. 6: Příklad zapojení hybridního FV-větrného systému s dieselovým generátorem [9]



## 1.2 Systémy připojené k síti

Fotovoltaické systémy připojené k veřejné distribuční síti elektrické energie, nazývané také jako on-grid systémy, se od ostrovních systémů liší právě připojením k rozvodné či distribuční síti, se kterou se vzájemně ovlivňují. Tím však přibývá i na komplexnosti systému, aby se zajistil správný, efektivní a bezpečný provoz mezi panely, spotřebiči a sítí. Připojení k rozvodné síti však pro fotovoltaický systém přináší i značné výhody. Z rozvodné sítě můžeme čerpat elektřinu potřebnou pro pokrytí spotřeby, kterou není schopen pokrýt instalovaný FV systém, a to bez nutnosti instalování například dalšího zdroje, jako je tak u hybridního OFVS. Na druhou stranu, pokud FV systém produkuje více elektrické energie, než je aktuálně potřeba (nebo je kapacita akumulčních prvků), může být přebytečná energie exportována zpět do distribuční sítě, což, dle nastavení smluvních podmínek, může vlastníkovému systému přinést finanční příjmy z odkupu této energie, nebo se nabízí možnost využití tzv. virtuálních baterií, jejíž princip je vysvětlen v kapitole 5.2. [1; 11]

Je důležité, aby systémy připojené k veřejné síti byly navrženy a instalovány v souladu s místními předpisy a normami pro bezpečný a spolehlivý provoz. To zahrnuje nejen správnou instalaci a dimenzování komponent, ale také zabezpečení v případě ostrovního provozu, kdy by systém neúmyslně dodával energii do sítě během jejího výpadku, což by mohlo ohrozit pracovníky opravující síť. [12]

Vzhledem k rychlému rozvoji technologií, snižování nákladů a vládním podpůrným programům se on-grid fotovoltaické systémy stávají stále více dostupnějšími pro domácnosti a malé firmy [13]. Zatímco použití těchto systémů dlouhou dobu bylo převážně na menších rodinných domech či vilách, dnes se tyto systémy instalují i na další typy budov, například školy, zemědělské budovy, sklady, nákupní centra, průmyslové stavby. Mimo to se objevují instalace i na dalších plochách, jako protihlukové stěny u dopravních cest či zastřešení nástupišť nebo parkovišť. Dále na některých volných plochách vznikají větší fotovoltaické elektrárny nebo také solární parky<sup>1</sup> či farmy. Umístěné mohou být třeba na nevyužité ploše v průmyslových zónách, pastvinách, na brownfieldech<sup>2</sup> či vodních plochách a vznikají i pilotní projekty pro umístění kolektorů na oběžnou dráhu Země s bezdrátovým přenosem energie na povrch. [1; 11; 14]

---

<sup>1</sup> Pojem solární park se používá k popisu souboru solárních elektráren, které sdílejí prostor nebo infrastrukturu, ale mají například jiné majitele nebo jde o projekty z rozdílných let. Dále je využíván pojem klastr, který označuje elektrárny, které jsou územně blízko sebe, ale nic nesdílí.

<sup>2</sup> „Brownfield (z angličtiny, česky „hnědé pole“) je nemovitost (pozemek, objekt, areál), která je nedostatečně využívána, zanedbaná, a může být i kontaminovaná. Vzniká jako pozůstatek průmyslové, zemědělské, rezidenční, vojenské či jiné aktivity. Může se jednat o jednotlivé budovy, komplexy budov, areály s budovami nebo jen plochy bez budov. Jako ekvivalent pro výraz „brownfield“ používá Ministerstvo pro místní rozvoj ČR název „deprimující zóna“.“ [31]

### 1.2.1 On-grid systémy přímo připojené na síť

Fotovoltaické systémy připojené přímo k rozvodné síti (on-grid) jsou navrženy tak, aby produkovanou elektrickou energii okamžitě dodávaly do veřejné elektrické sítě. Tyto systémy jsou vybaveny střídačem, který převádí stejnosměrný (DC) proud generovaný solárními panely na střídavý (AC) proud, kompatibilní s rozvodnou sítí. Výhodou provozování takového systému jsou finanční úspory díky nižší spotřebě z rozvodné sítě a možnost prodeje přebytečné energie a jednoduchost instalace, přinášející i nižší investiční náklady. Nevýhodou je závislost odběru na funkčnosti distribuční sítě a neefektivitě provozu při nízké spotřebě, kdy dochází k nevyužití produkované energie či přetížení sítě, při kterém provozovateli hrozí regulace ČEPSem. [1]

### 1.2.2 On-grid systémy připojené na distribuční síť přes domovní síť

Fotovoltaické systémy připojené přes domácí síť k rozvodné síti mohou fungovat ve dvou základních režimech: bez zásobníku energie a se zásobníkem energie. Tyto systémy nabízejí flexibilnější možnosti využití vyrobené energie a mohou zvýšit energetickou nezávislost domácnosti. [15]

Systémy bez zásobníku energie jsou obdobné jako systémy přímo připojené na síť, s tím rozdílem, že vyrobená energie je nejprve spotřebována v domácnosti a přebytek je poté dodáván do rozvodné sítě. Střídač je tak důležitým prvkem, který zajišťuje kompatibilitu s domácí sítí. Tyto systémy jsou vhodné pro provoz s pravidelnou denní spotřebou energie jako například kanceláře, školy apod. Umožňují efektivní využití solární energie během denního svitu, kdy je spotřeba vyšší, a zároveň umožňují prodej přebytečné energie do sítě. Výhodou takových systémů jsou nižší investiční náklady díky absenci baterie. Nevýhodou je pak závislost výroby na počasí a nemožnost akumulace energie do nočních hodin. [1; 16]

Fotovoltaické systémy s akumulací energie jsou vybaveny bateriemi (nejčastěji lithiovými) či jinou formou akumulace energie, které umožňují ukládání vyrobené energie pro pozdější využití. Oproti systémům bez akumulace mají navíc schopnost uchovávat přebytečnou energii během dne, tedy výroby, a využívat ji v době, kdy slunce nesvítí, ať již kvůli nepříznivému počasí či v nočních hodinách. V praxi se tyto systémy stávají stále populárnějšími v domácnostech, kde spotřeba energie v ranních a večerních hodinách často převyšuje produkci solárních panelů. Systém s akumulací umožňuje maximální využití vlastní vyrobené energie, což vede k vyšší energetické nezávislosti a snížení nákladů na elektrickou energii. Nevýhodou jsou vyšší investiční náklady na akumulátor energie a výdaje spojené s údržbou. [1; 15; 16]

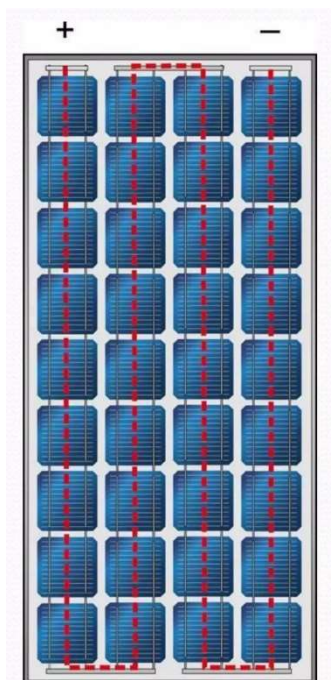
## 2 Součásti fotovoltaického systému

Kapitola má za cíl seznámit čtenáře s komponentami, které společně tvoří fotovoltaické systémy popsané v předchozí kapitole. Uvádí různé typy těchto komponent a vysvětluje základy principů fungování jednotlivých komponent. Kapitola, kromě dalších citovaných zdrojů, vychází ze zdroje [1].

### 2.1 Fotovoltaický panel

Fotovoltaický panel, nebo také fotovoltaický modul či generátor, je přirozeně nejdůležitější komponenta FVS, která je zodpovědná za generování elektrické energie.

Krystalické typy FV modulů jsou tvořeny z krystalických článků, které jsou sériově zapojeny. Zapojení článků je tradičně provedeno spájením kontaktů na přední straně (záporný pól) předchozího článku s kontakty na zadní straně (kladný pól) následujícího článku. V závislosti na velikosti článku se tímto postupem vytvoří většinou obdélníková síť čítající 36 až 72 článků, většinou rozdělené do 4 až 6 řad. Počet řad článků bývá sudý, aby kontakty na připojení panelů do systému byly na jedné straně panelu. Zapojení je znázorněno na obr. 7, kde je červenou přerušovanou čarou znázorněn tok elektrického proudu panelem.



Obr. 7: Rozložení fotovoltaických článků v panelu [1]

Fotovoltaické panely lze rozdělit podle různých kritérií, nejčastěji podle typu fotovoltaických článků. Druhy článků, které se liší například účinností přeměny energie, tvarem, tloušťkou, strukturou, barvou či způsobem výroby a cenou, lze rozdělit na:

- krystalické křemíkové články
  - monokrystalické,
  - polykrystalické,
  - polykrystalické z taženého pásu,
  - články se zadním kontaktem,
- tenkovrstvé články
  - amorfni křemíkové,
  - krystalické tenkovrstvé,
  - s diselenidem mědi a india (CIS),
  - s teluričitanem kademnatým (CdTe),
  - koncentrátorové články,
- nanostrukturované články
  - s diselenidem mědi a india
  - plastové
  - barvivem senzitivované články.

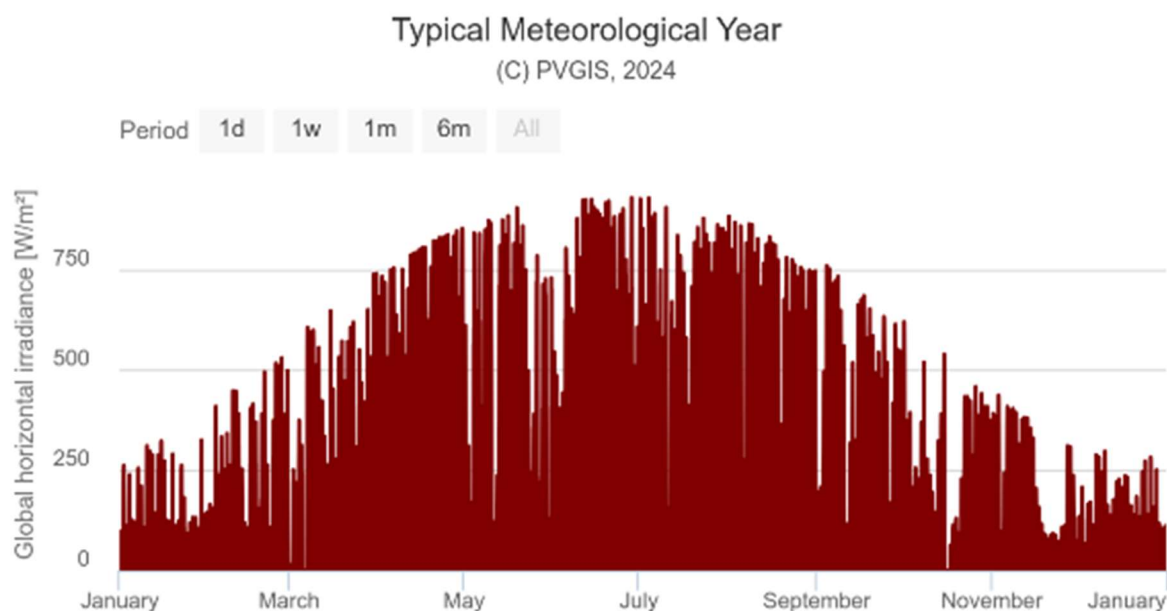
Dle konstrukce lze rozdělit pak panely následovně:

- **Monofaciální**, které zachytávají sluneční světlo pouze z jedné strany. Jsou nejrozšířenějším typem solárních panelů.
- **Bifaciální**, které jsou schopné zachytávat sluneční energii jak z přední, tak i ze zadní strany. Mají tak vyšší efektivitu, protože umožňují využít i odražené a rozptýlené světlo. Panely mají průhlednou zadní vrstvu, což umožňuje, aby světlo, které projde panelem nebo se odrazí od země nebo jiné povrchové plochy, bylo zachyceno zadní stranou panelu. Tím se zvyšuje celková produkce elektrické energie.
- **Flexibilní**, jež jsou vyrobené z tenkých filmů nanesených na flexibilní substráty. Jsou lehké, ohebné a mohou být instalovány na zakřivené povrchy.
- **Barevné a průhledné**, které jsou navrhovány pro splnění estetických požadavků staveb.
- **PERC panely** (Passivated Emitter and Rear Cell). Ty využívají speciální vrstvu na zadní straně článků, která zvyšuje účinnost zachycování světla a minimalizuje rekombinaci nosičů náboje. [17; 18]

### 2.1.1 Umístění a orientace

Pro efektivní umístění fotovoltaického systému je vhodná znalost charakteristik přenosu sluneční energie na Zemi. Důležitá hodnota určující intenzitu slunečního záření je tzv. solární konstanta, někdy také nazývaná jako momentální globální záření, značená  $E_0$ . Hodnota intenzity slunečního záření je ovlivňována vzdáleností Země od Slunce a na rozmezí zemské atmosféry nabývá hodnot od  $1325 \text{ W/m}^2$  do  $1420 \text{ W/m}^2$ . Solární konstanta je roční průměr tohoto rozmezí, a tak je  $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ .

Pro aplikace na povrchu Země je však nutno uvážit vlivy atmosféry. Atmosféra intenzitu záření snižuje hned několika způsoby – odrazem, absorpcí a rozptylem. Solární konstanta tak na povrchu Země nabývá hodnot v závislosti na ročním období a na počasí. Referenční hodnota solární konstanty je stanovena na  $1000 \text{ W/m}^2$ , což odpovídá letním bezoblačným dnům, například na jihu Evropy. Na následujícím grafu z webového nástroje PVGIS jsou vykresleny hodnoty  $E_0$  pro vybranou lokaci – Přerov, Olomoucký kraj, kde je maximální hodnota  $928 \text{ W/m}^2$ .

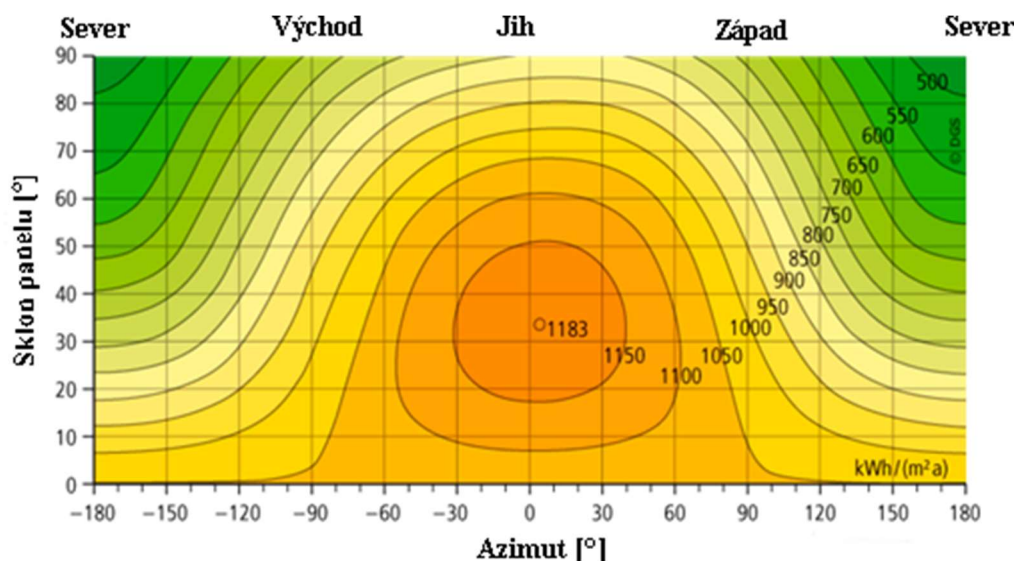


Obr. 8: Graf hodnot solární konstanty na povrchu Země ve vybrané lokalitě v průběhu roku na základě typického meteorologického roku [33]

Orientace, tedy vychýlení vůči jihu a náklon plochy panelu, je další faktor ovlivňující produkci elektřiny panelem a lze ji popsat těmito veličinami:

- **Azimut FV panelu  $\alpha$**  – úhel vychýlení roviny kolmé na plochu generátoru vůči přímce sever-jih. V solární technice se primárně označuje jih jako  $0^\circ$ . Vychýlení na východ má záporné znaménko a vychýlení na západ kladné znaménko.
- **Sluneční azimut  $\alpha_S$**  – úhel mezi rovinou meridiánu a poledníkovou rovinou Slunce, kde meridián je rovina procházející body S (sever), J (jih) a Ze (zenit<sup>3</sup>).
- **Sklon panelu  $\beta$**  – úhel naklonění plochy panelu vůči vodorovné rovině (tečné k zeměkouli). Pokud umístíme panel svisle, například na zeď stavby,  $\beta = 90^\circ$ . Pokud je panel instalován vodorovně,  $\beta = 0^\circ$ .
- **Výška slunce  $\gamma_S$**  – úhel mezi vodorovnou rovinou a aktuální pozicí Slunce.

Pro severní část polokoule, a tedy i naši lokaci, je nevhodnější azimut  $\alpha = 0^\circ$ , tedy orientace panelu kolmo k jihu. Efektivní sklon panelu  $\beta$  se liší v závislosti na období. Pro letní období je nejvýhodnější  $\beta = 5^\circ$  až  $40^\circ$  a pro zimní období  $\beta = 30^\circ$  až  $85^\circ$  v závislosti na azimutu. Graf zobrazuje závislost ročního dopadu energie v kWh na  $1 \text{ m}^2$  za rok a lze z něho vyčíst optimální úhel pro efektivní celoroční provoz pevné instalace panelu. [1]



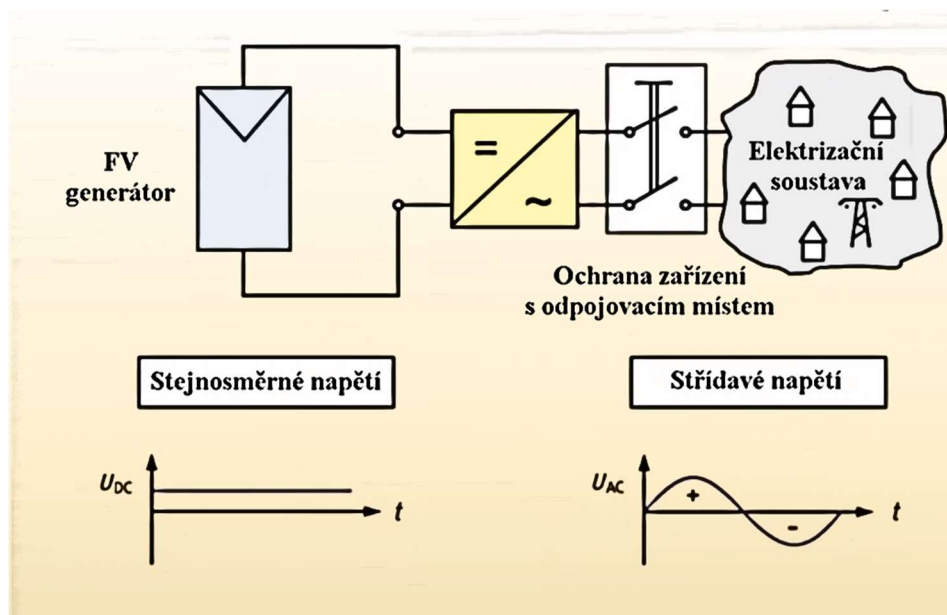
Obr. 9: Graf závislosti osvitu plochy na azimutu a sklonu pro celý rok [1]

<sup>3</sup> Zenit je označení pro pomyslný bod přímo nad danou lokací. Společně s podnožníkem (Nadir) tvoří přímku kolmou na plochu tvořenou body S, J, V, Z. Někdy se však jako Zenit označuje nejvyšší poloha Slunce za určitý den, většinou okolo 12:00.

## 2.2 Střídač

Střídač je zařízení, které převádí stejnosměrný proud (DC) generovaný solárními panely na střídavý proud (AC), který je kompatibilní s rozvodnou sítí a domácími elektrickými spotřebiči. Princip fungování střídače spočívá v rychlém přepínání spínacích prvků, které vytvářejí pulzující stejnosměrný proud, jenž je následně filtrován a transformován na střídavý proud. Hlavními komponenty střídače jsou výkonové polovodičové spínače, transformátory, filtry a řídicí elektronika, která zajišťuje optimální provoz a bezpečnost systému.

Střídače lze rozdělit do dvou základních kategorií: síťové (on-grid) a ostrovní (off-grid). Síťové střídače jsou navrženy pro systémy připojené k veřejné rozvodné síti a umožňují dodávku přebytečné energie do sítě. Ostrovní střídače se používají v systémech, které nejsou připojeny k síti, a často spolupracují s bateriovými úložišti pro zajištění nepřetržité dodávky energie. Kombinací těchto dvou lze popsat i třetí kategorii – hybridní střídače, které jsou schopny spolupracovat jak se sítí, tak bateriovým uložištěm. Střídač je nezbytný v každém fotovoltaickém systému, protože většina elektrických zařízení a spotřebičů funguje na střídavý proud. Bez střídače by nebylo možné efektivně využívat energii vyrobenou solárními panely, ani ji dodávat do rozvodné sítě. [19]



Obr. 10: Princip střídače pro FVS připojený k síti [1]

## 2.3 Akumulace energie

Podkapitola vychází, mimo zdroj [1], také ze zdrojů [5; 16; 20].

Akumulace energie vyrobené FV systémem je klíčovým aspektem, který umožňuje efektivní využití vyrobené energie nejen v okamžiku její produkce, ale i v době, kdy slunce nesvítí. Existují různé způsoby akumulace energie. V domácnosti se však využívá hlavně akumulace elektrické energie a tepelné energie.

Bateriové úložiště je nejrozšířenějším způsobem akumulace elektrické energie. Baterie umožňují ukládat přebytečnou energii vyrobenou fotovoltaickými panely během dne a využívat ji v noci nebo během špičkové spotřeby. Mezi nejpoužívanější typy baterií patří lithium-iontové (Li-ion) baterie, které se vyznačují vysokou energetickou hustotou, dlouhou životností a nízkou mírou samovybití. Li-ion baterie existují v různých chemických složeních, například lithium-kobalt-oxid ( $\text{LiCoO}_2$ ), lithium-železo-fosfát ( $\text{LiFePO}_4$ ) a lithium-nikl-mangan-kobalt-oxid (NMC). Každý typ má své specifické vlastnosti:  $\text{LiCoO}_2$  nabízí vysokou kapacitu, ale je méně stabilní při přehřátí;  $\text{LiFePO}_4$  je stabilnější a bezpečnější, ale má nižší energetickou hustotu; NMC nabízí vyvážený poměr mezi kapacitou, stabilitou a životností. Kromě Li-ion baterií jsou stále používány i olovo-kyselinové baterie, které jsou levnější, ale mají kratší životnost a nižší účinnost. Průtočné baterie jsou další variantou, která nabízí dlouhou životnost a flexibilitu v kapacitě, ale vyžaduje složitější infrastrukturu a vyšší pořizovací náklady.

Akumulace tepelné energie je další metodou, která umožňuje využití energie z FVS k ohřevu vody nebo vzduchu pro domácí potřeby. Tepelné akumulátory ukládají přebytečné teplo získané během dne pomocí elektrických ohříváčů napájených z fotovoltaických panelů. Toto teplo lze pak využít pro vytápění nebo ohřev vody v domácnosti, což může přinést další úspory i na jiných palivech jako plyn nebo dřevo.

Jak již bylo avizováno v předchozích kapitolách, akumulátory zvyšují energetickou nezávislost a stabilitu systému a poskytují zálohu při poruše sítě. Nevýhody zahrnují vysoké pořizovací náklady na bateriové systémy a potřebu údržby, zejména u olovo-kyselinových baterií. Baterie mají omezenou životnost, která je ovlivněna cykly nabíjení a vybíjení, teplotními podmínkami a správou nabíjení. Přebytek nebo nedostatek nabíjení může vést ke zkrácení životnosti baterie, proto je vhodné použití inteligentních řídicích systémů pro optimalizaci výkonu a životnosti baterií.



### 3 Charakteristika vybraného objektu a instalace

Následující kapitola je věnována objektu s fotovoltaickým systémem, jenž byl vybrán pro tuto práci. Objekt je dvoupatrový rodinný dům se sklepem, dostavěn v roce 1933 a zrekonstruován v roce 2000. Nachází se v městě Přerov v Olomouckém kraji. V podkapitolách níže je popsána energetická charakteristika domu, zaměřující se na instalovaný FV systém a na nakládání s elektrickou energií, plynem a tuhými palivy.

V rodinném domě (fotografie na obr. 11) zpočátku žili čtyři členové rodiny. V roce 2023, kterým se primárně tato práce zabývá, však prostory využívali z většiny rodiče, a to z toho důvodu, že obě děti absolvují akademické studium v distančních lokalitách. Prvorozený potomek se tak do rodinného sídla vracel na letní prázdniny, Vánoce a Velikonoce, a to i s partnerem. Druhorozený potomek v domě pobývá častěji i přes akademický rok a vracel se průměrně každý druhý týden na víkend a také zde pobýval přes léto a Vánoce. V domě se tak v průběhu roku měnil počet obyvatel mezi 2 až 5, což má vliv na energetickou spotřebu objektu, nejvíce pak na temporální nárůstu spotřeby elektrické energie v létě. Detailně jsou vlivy popsány v dalších kapitolách.



Obr. 11: Fotografie vybraného RD s FV panely

### 3.1 Elektrická energie RD – spotřebiče a bilance

#### Spotřebiče:

Elektrická energie je v domě používána k provozu různých elektrospotřebičů, vaření, vytápění a chlazení. Níže uvedená tabulka obsahuje příkon a odhad celkové spotřeby spotřebičů, které významně přispěly ke spotřebě domácnosti za rok 2023. Odhad spotřeby byl vytvořen konzultací s obyvateli domu, při které byl sestaven týdenní odhad pro všechny důležité spotřebiče a tato data byla sečtena. Uváděné příkony byly odečteny ze štítků spotřebičů, z manuálů výrobce, či byly změřeny wattmetrem. Je nutné podotknout, že u některých spotřebičů může být pro výpočet dlouhodobé spotřeby velmi nepřesné uvádění nominálního příkonu stanoveného výrobcem, jelikož dokážou regulovat svůj výkon, nebo spotřebič mění svůj příkon v průběhu pracovního cyklu. Ve vytvořené tabulce toto bylo kompenzováno ubráním hodin provozu. V tabulce jsou také zmíněné spotřebiče s nulovou dobou provozu. Jedná se o zařízení, která jsou zapojena, ale nebyla ještě využita. Jde o elektrický ohřev akumulární nádrže za kotlem, který v tuto chvíli slouží jako záloha pro plynový zdroj tepla a o nabíječku pro elektromobil, která byla pořízena společně s FV systémem, ačkoliv vůz na elektrický pohon domácnost zatím nevlastní. Tyto spotřebiče jsou zmíněny, protože se uvažují v dalších kapitolách.

Takto vytvořená tabulka může pomoci spotřebiteli porozumět spotřebě energie v jeho domácnosti a případně zvážit nějaká úsporná, cílená opatření, popřípadě provozu kterých spotřebičů se vyhnout při výpadku sítě.

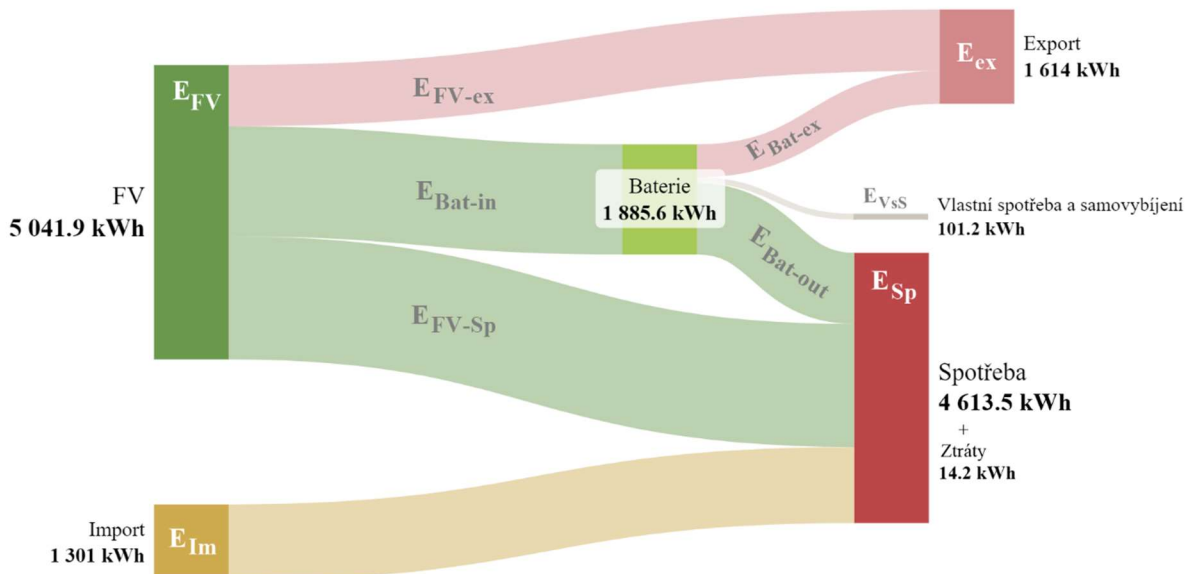
V tabulce jsou také sestupně zvýrazněny spotřeby daných spotřebičů – tzn. hodnoty přispívající k roční spotřebě nejvíce, jsou označeny nejsytlejší červenou barvou. Můžeme tak říct, že nejvíce ke spotřebě domácnosti přispívá praní prádla, myčka a indukční varná deska, což jsou zařízení typická pro většinu domácností. Méně typické spotřebiče s vysokou spotřebou ve vybrané domácnosti jsou pak vířivka a audio systém.

Tab. 1: Přehled spotřebičů a jejich odhadovaných ročních spotřeb

Spotřebič/Kategorie	Příkon [W]	Spotřeba [Wh]	Spotřebič/Kategorie	Příkon [W]	Spotřeba [Wh]
<b><u>Praní:</u></b>			<b><u>Tepelný komfort</u></b>		
Pračka	1900	775 200	Klimatizace	1925	31 055
Sušička	600	275 400	Kotel kondenzační	60	272 160
Žehlička	2300	46 920	Bojler	2200	0
<b><u>Koupelna:</u></b>			<b><u>Obývací pokoj</u></b>		
Ohřívač vzduchu	2000	30 000	Televize	118	249 098
Vysoušeč vzduchu	330	60 060	Audio	190	536 750
<b><u>Kuchyň:</u></b>			PC	27	12 177
Varná deska indukční	1600	569 600	<b><u>Nabíjení</u></b>		
Digestoř	105	1 607	Nabíjení mobilů	7 - 15	8 662
Pečenka	475	23 750	Nabíjení notebooků	65	2 895
Trouba	900	137 700	<b><u>Ostatní</u></b>		
Varná konvice	2200	45 540	Osvětlení	7	11 172
Mikrovlnka	1200	9 792	Vysavač	800	40 800
Kávovar	1300	17 862	Autonabíječka	11000	0
Lednice s mrazákem	163	117 686	Vánoční ozdoby	20	8 400
Toustovač	800	10 200	FV Systém - Střídač	5	43 680
Myčka	1950	713 700			
<b><u>Dílna a zahrada</u></b>					
Výřivka	1800	507 600			
Ohřívač vzduchu	2000	6 800			
Vřtačka	1050	1 050			
Tlakový čistič	2100	8 400			
Mrazák	75	21 840			
Vinný bar	100	24 360			

### 3.1.1 Bilance elektrické energie

Pro lepší orientaci a pochopení poměrů mezi výrobou FV elektrárny, importem, spotřebou a exportem byly vypracovány následující tabulky a grafy. Jako první je bilanční diagram elektrické energie pro rok 2023, který přehledně vizualizuje poměry mezi pohyby elektrické energie v rámci domácnosti.



Obr. 12: Sankeyho bilanční diagram elektrické energie pro rok 2023 vybraného RD

Většina hodnot pro vytvoření tohoto diagramu byla známá z monitoringu systému nebo z faktur. Na následující tabulce je rozbor všech použitých hodnot. Jelikož ne všechny hodnoty byly dohledatelné, následuje soustava rovnic, pomocí které byly dopočítány ostatní hodnoty.

Tab. 2: Hodnoty bilance elektrické energie RD

Značení	Hodnota [kWh]	Popis	Zdroj
$E_{FV}$	5 041,9	Elektřina vyrobená FV panely	Monitoring
$E_{FV-ex}$	1 049,1	Výroba FV panelů hned prodána do sítě	Výpočet
$E_{FV-sp}$	2 107,2	Výroba FV panelů hned spotřebována	Výpočet
$E_{Bat-in}$	1 885,6	Výroba FV panelů uschována do baterie	Monitoring
$E_{Vybití}$	1 784,4	Vybíjení baterie do systému	Monitoring
$E_{Bat-ex}$	564,9	Prodej elektřiny do sítě z baterií	Výpočet
$E_{Bat-out}$	1 219,5	Spotřeba pokrytá elektřinou z baterie	Výpočet
$E_{VSS}$	101,2	Vlastní spotřeba a samovybíjení baterie	Výpočet
$E_{ex}$	1 614	Celková prodaná elektřina do sítě	Faktura Entri, a.s.
$E_{Sp}$	4 613,2	Celková spotřeba domácnosti	Monitoring
$E_{Ztráty}$	14,2	Ztráty a nepřesnosti systému	Výpočet
$E_{Im}$	1 301	Elektřina nakoupena od distributora ze sítě	Faktura ČEZ, a.s.

Z následující soustavy rovnic (3.1) až (3.7), které byly odvozeny z bilančního diagramu na obr. 12, byly vypočteny ostatní neznáme. Protože je soustava neúplná, byl zaveden odhad, že 65 % exportované elektřiny ( $E_{ex}$ ) bylo vzato přímo z panelů.

$$E_{FV} = E_{Bat-in} + E_{FV-ex} + E_{FV-sp} \quad (3.1)$$

$$E_{ex} = E_{FV-ex} + E_{Bat-ex} \quad (3.2)$$

$$E_{Sp} + E_{Ztráty} = E_{Bat-out} + E_{FV-sp} + E_{Im} \quad (3.3)$$

$$E_{Vybití} = E_{Bat-ex} + E_{Bat-out} \quad (3.4)$$

$$E_{Bat-in} = E_{Vybití} + E_{VSS} \quad (3.5)$$

$$E_{FV} + E_{Im} = E_{ex} + E_{VSS} + E_{ztráty} + E_{Sp} \quad (3.6)$$

$$E_{FV-ex} = 0,65 \cdot E_{ex} \quad (3.7)$$

Po dosazení známých hodnot byly určeny zbylé toky energie. Z rovnice (3.7) byla určena elektřina exportovaná do sítě přímo z výroby panelů.

$$E_{FV-ex} = 0,65 \cdot 1614 = 1049,1 \text{ kWh} \quad (3.8)$$

Z rovnice (3.2) byla určena elektřina exportovaná do sítě z baterie.

$$E_{Bat-ex} = E_{ex} - E_{FV-ex} = 1614 - 1049,1 \text{ kWh} = 564,9 \text{ kWh} \quad (3.9)$$

Z rovnice (3.4) byla odvozena elektřina využitá pro spotřebu vzatá z baterie.

$$E_{Bat-out} = E_{Vybití} - E_{Bat-ex} = 1784,4 - 564,9 \text{ kWh} = 1219,5 \text{ kWh} \quad (3.10)$$

Z rovnice (3.1) pak byla určena výroba z panelů jdoucí přímo ke spotřebě.

$$\begin{aligned} E_{FV-sp} &= E_{FV} - E_{Bat-in} - E_{FV-ex} \\ E_{FV-sp} &= 5041,9 - 1885,6 - 1049,1 = 2107,2 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Z rovnice (3.3) byly nakonec určeny ztráty systému, nepřesnosti měření, rozdílná měřidla ze stran distributora (ČEZ, a.s.), či kupujícího přebytků elektřiny (Entri, a.s.).

$$\begin{aligned} E_{ztráty} &= E_{Bat-out} + E_{FV-sp} + E_{Im} - E_{Sp} \\ E_{ztráty} &= 1219,5 + 2107,2 + 1301 - 4613,5 \text{ kWh} = 14,2 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Pomocí rovnice (3.6) byla bilance celého systému verifikována. Ztráta samovybitím a vlastní spotřeba baterie  $E_{VSS}$  byla vypočítána rovnicí (3.17) na straně 38.

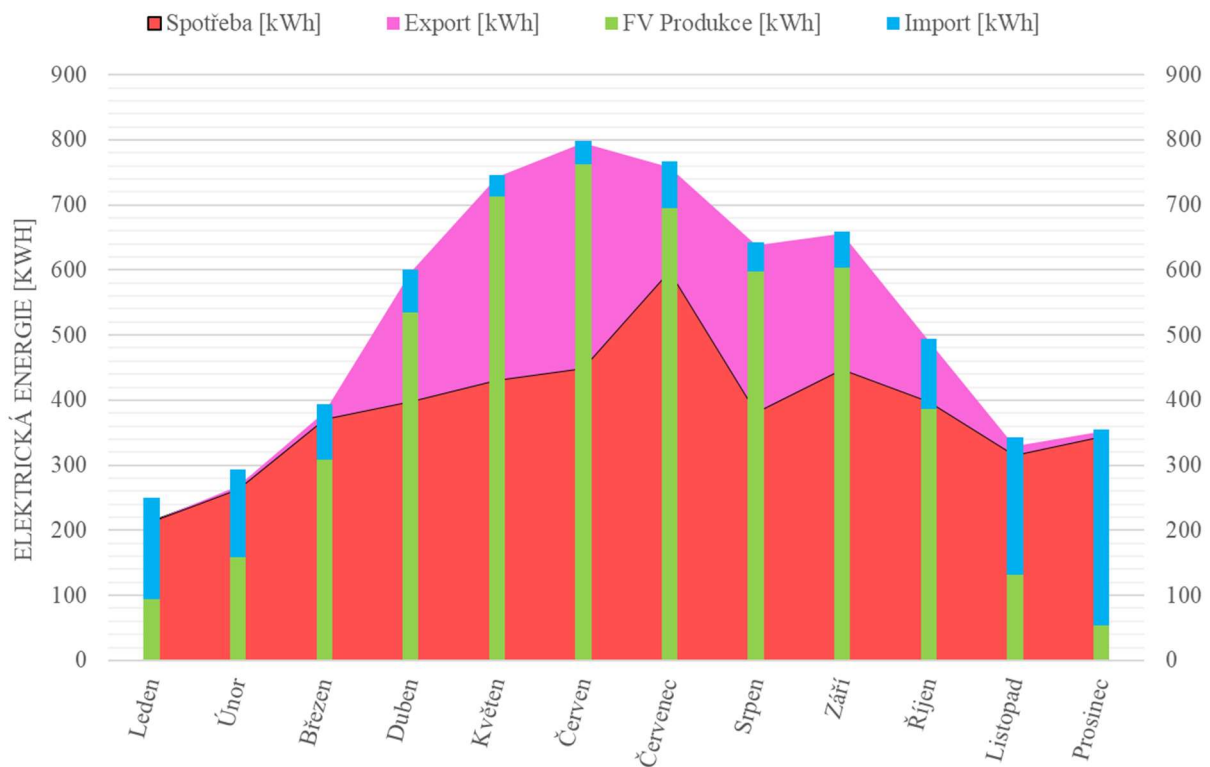
$$\begin{aligned} E_{FV} + E_{Im} &= E_{ex} + E_{VSS} + E_{ztráty} + E_{Sp} \\ 5041,9 + 1301 \text{ kWh} &= 1614 + 101,2 + 14,2 + 4613,5 \text{ kWh} \\ 6342,9 \text{ kWh} &= 6342,9 \text{ kWh} \quad \checkmark \end{aligned} \quad (3.13)$$

Vytvořený bilanční diagram znázorňuje celkový součet toků elektřiny za rok 2023, což vytváří například dojem, že není třeba importovat elektřinu se sítě, protože exportovaná elektřina je větší než ta importovaná. Proto je vhodné si vytvořit bilanci s měsíčním rozlišením. Tabulka (tab. 3) a graf (obr. 13) vyjadřují měsíční bilance významných toků elektřiny. Hodnoty byly získány stejným způsobem jako pro diagram na straně 28.

Tab. 3: Měsíční bilance spotřeby, produkce, importu a exportu pro rok 2023

Měsíc	Spotřeba [kWh]	FV Produkce [kWh]	Import [kWh]	Export [kWh]
Leden	213,8	94,0	156	1
Únor	263,6	158,7	135	5
Březen	371,9	309,1	85	10
Duben	398,8	535,4	65	198
Květen	431,3	712,6	34	312
Červen	448,6	762,1	36	347
Červenec	599,2	695,6	71	159
Srpen	381,5	597,4	45	257
Září	447,3	603,4	55	209
Říjen	397,8	386,8	108	94
Listopad	315,6	132,4	210	14
Prosinec	343,8	54,4	301	8

Na následujícím grafu byly hodnoty z Tab. 3 převedeny do grafického znázornění.



Obr. 13: Graf měsíční bilance spotřeby, produkce, importu a exportu pro rok 2023

Na grafu vidíme, že průběh žádného z parametrů není konstantní. Příčinnou nekonstantního průběhu spotřeby je několik faktorů, jako změna počtu pobývajících v objektu, která je popsána v úvodu kapitoly 3, jenž v létě s sebou přináší vyšší využití spotřebičů, provoz klimatizace a venkovní vířivky, ale také absenci motivace šetřit s energií, jelikož baterie často bývají plné. Výrazný pokles spotřeby v srpnu je způsoben odjezdem rodiny na 10denní dovolenou. Průběh dalších hodnot je charakterizován a přímo ovlivněn produkcí solárních panelů, tedy sluneční energie dopadající na RD.



### 3.2 Instalovaný FV systém – popis komponent

Tato podkapitola je věnována popisu vybrané instalace a slouží jako přehled konkrétních komponent v systému. Obecný princip jednotlivých komponent se čtenář může dozvědět v kapitole 2 *Součásti fotovoltaického systému*. Údaje a parametry položek jsou převzaty z technických listů či manuálů výrobce, obchodních letáků a štítků na zařízeních.

#### 3.2.1 Fotovoltaické panely CanadianSolar HiKu CS3W-450MS

Fotovoltaické panely jsou mimo distribuční síť jediným zdrojem elektrické energie pro vybraný rodinný dům. Na střeše domu je umístěno celkem 12 panelů CanadianSolar HiKu CS3W-450MS. V následující tabulce je přehled základních parametrů panelu. Datasheet a záruční list produktu je také k dispozici online na [www.solarreviews.com](http://www.solarreviews.com) [21]

Tab. 4: Základní parametry panelu CanadianSolar HiKu CS3W-450MS [21]

CanadianSolar Hiku CS3W-450MS	
Nominální maximální výkon ( $P_{N \max}$ )*	450 W
Účinnost panelu*	20,4 %
Provozní napětí*	41,3 V
Provozní proud*	10,96 A
Provozní teplota*	-40 až +85 °C
Nominální provozní teplota	41 ± 3 °C
Teplotní koeficient	- 0,34 % / °C
Typ článku	Monokrystalický křemík
Rozložení článku	2 × (12 × 6)
Rozměry (výška × šířka × hloubka)	2108 × 1048 × 35 mm
* Hodnoty naměřeny za standardních testovacích podmínek, tj. osvit 1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1,5 a T článku 25 °C	

Výrobce dále uvádí vyšší toleranci zastínění panelu, vyšší spolehlivost díky nižšímu vnitřnímu proudu, nižší teplotě hot-spotů, minimalizaci dopadu mikro-prasklin nebo odolnosti proti zatížení sněhem do 5,4 kPa. Výrobce poskytuje 12letou záruku pokrývající materiálové vady vzniklé při výrobě či přepravě, ovlivňující funkčnost panelu a 25letou záruku na výkon panelu s lineárním průběhem. Tedy za první rok provozu garantuje, že maximální nominální výkon neklesne pod 97,5 % předepsaného  $P_{N \max}$ , tedy 438,8 W, a že s každým dalším rokem neklesne  $P_{N \max}$  o 0,6 %. Zároveň deklaruje, že na konci této 25leté periody, nebude  $P_{N \max}$  nižší než 83,1 %, tedy 374 W. [21]

### Rozložení panelů:

Jak bylo již avizováno, na střeše je instalovaných 12 panelů, které společně tvoří elektrárnu o maximálním jmenovitém výkonu 5,4 kW. Panely jsou však rozděleny do třech polí. 8 panelů je orientováno na jih, 3 panely na východ a 1 panel na západ. Detailnější charakter rozložení je níže v tab. 5. Panely lze vidět na fotografiích na obr. 11 v úvodu kapitoly 3.

Tab. 5: Rozdělení panelů na střeše vybraného RD

Pole	Počet n	Výkon $P_{N\max}$	Azimut $\alpha$	Sklon $\beta$	Plocha S
Jih	8	3,60 kW	-15 °	38 °	17,67 m <sup>2</sup>
Východ	3	1,35 kW	-105 °	35 °	6,63 m <sup>2</sup>
Západ	1	0,45 kW	75 °	35 °	2,21 m <sup>2</sup>



Obr. 14: Fotovoltaický panel CanadianSolar HiKu CS3W-450MS [21]

### 3.2.2 Optimalizace a monitoring – Tigo TS4-A-O a Growatt ShineWiFi-X

O optimalizaci výkonu a účinnosti na úrovni panelů a jednotlivých polí se starají čtyři optimalizéry TS4-A-O od výrobce Tigo, společně se systémy Tigo Access Point (TAP) a Cloud Connect Advanced (CCA). Tento systém zajišťuje maximální využití elektrárny, které je ovlivněno i částečným zastíněním jednotlivých panelů či jejich znečištěním a rozdíly mezi orientací panelů. Umožňují tak každému panelu či poli panelů pracovat na optimálním výkonu s nejvyšší účinností bez závislosti na provozních podmínkách ostatních panelů v systému. Dále značně přispívají k bezpečnosti systému díky schopnosti rychlého odstavení v případě zkratu, či požáru. [22]

Tab. 6: Základní parametry optimalizéru Tigo TS4-A-O [22]

Tigo TS4-A-O	
Maximální proud	20 A
Rozsah vstupního napětí	16 – 80 V
Maximální výstupní výkon	700 W
Maximální účinnost	99,6 %
Časový limit rychlého vypnutí	30 sekund
Komunikace	Bezdrátová
Provozní teplota	- 40 až + 70 °C
Rozměry (výška × šířka × hloubka)	139,7 × 138,4 × 22,9 mm
Záruka	25 let
Vlastní spotřeba včetně TAP a CCA	3 až 7 W



Obr. 15: Vlevo optimalizér TS4-A-O, vpravo TAP a CCA kit [22]

V neposlední řadě tyto optimizéry umožňují monitoring a vzdálenou diagnostiku na úrovni jednotlivých panelů. Tento systém pak může sbírat a předávat data monitorovacímu softwaru střídače, který může data odesílat na server výrobci. Tento přenos dat je v našem případě zajištěn zařízením Growatt ShineWiFi-X. Pro koncového uživatele, tedy provozovatele systému, jsou data k dispozici přes mobilní aplikaci ShinePhone nebo webovou stránku server.growatt.com.

Tab. 7: Základní parametry zařízení Growatt ShineWiFi-X [23]

Growatt ShineWiFi-X	
Podporovaná frekvence WiFi přenosu	2,4 GHz
Podporované standardy WiFi	802.11 b/g/n
Konektor (připojení ke střídači)	USB
Maximální spotřeba	1,2 W
Maximální vzdálenost od WiFi routeru	50 m
Interval přenosu dat	5 minut
Rozměry (výška × šířka × hloubka)	135 × 79 × 29 mm
Provozní teplota	-20 do +65 °C
Záruka	1 rok



Obr. 16: Datové přenosové zařízení Growatt ShineWiFi-X [23]

### 3.2.3 Baterie Growatt ARK 10.2H

Pro akumulaci elektrické energie z FV panelů slouží li-iontová baterie, jejíž parametry jsou v tabulce níže. Využitelná kapacita baterie je 9,83 kWh, nicméně pro standardní provoz se využívá jen kapacita 7,8 kWh. 20 % kapacity, tedy 2 kWh, jsou po celou dobu udržovány a rezervovány pro případ výpadku vnější distribuční sítě.

Tab. 8: Základní parametry Li-ion baterie Growatt ARK 10.2H [23]

Growatt ARK 10.2H	
Počet modulů	4
Maximální kapacita	10,24 kWh 50 Ah
Maximální výkon	9,83 kW
Maximální proud	48 A
Maximální napětí	227,2 V
Nominální kapacita ( $C_N$ )	9,216 kWh 45 Ah
Nominální výkon	5,12 kW
Nominální proud	25 A
Nominální napětí	204,8 V
Rezervní kapacita	2 kWh
DoD (hloubka vybití)	90 %
Minimum životních cyklů	6 000
Záruka	10 let
Provozní teplota	- 10 až +50 °C
Typ	Lithium železo fosfátová
Rozměry (výška × šířka × hloubka)	970 × 640 × 250 mm

Jelikož monitoring systému nabízí i údaje o nabíjení a vybíjení, můžeme odhadnout, kolika cykly baterie za rok 2023 již prošla. Uvedené hodnoty jsou:

- nabíjení ( $E_{Bat-in}$ )= 1 885,6 kWh,
- vybíjení ( $E_{Vybití}$ )= 1 784,4 kWh.

Za jeden cyklus baterie považujeme nabití na 100 % a vybití na 0 %, nebo ekvivalentní průběh. V našem případě je ekvivalent vybití a nabití 9,216 kWh, uvažujeme-li nominální kapacitu baterie. Počet proběhlých cyklů ( $n_c$ ) můžeme určit jako podíl celkové nabitě energie za rok ( $E_{Bat-in}$ ) a nominální kapacity ( $C_N$ ).

$$n_c = \frac{E_{Bat-in}}{C_N} \quad (3.14)$$

$$n_c = \frac{1\,885,6}{9,216} \text{ cyklů} \quad (3.15)$$

$$n_c = 204,6 \text{ cyklů} \quad (3.16)$$

Porovnáme-li tuto hodnotu s deklarovaným minimem 6000 životních cyklů, podílem můžeme určit, že tohoto minima dosáhneme při stejném počtu proběhlých cyklů ročně za 29 let. Je však třeba vzít v potaz, že živostnost baterie ovlivňuje i teplota při provozu, rychlost nabíjení a vybíjení, hloubka vybití a samotná konstrukce a kvalita zpracování článku. [24]

Nerovnost mezi hodnotami nabíjení a vybíjení ( $E_{VSS}$ ) můžeme vysvětlit vlastní spotřebou baterie – řídicích, monitorovacích a bezpečnostních systémů a samovybíjením.

$$E_{VSS} = E_{Bat-in} - E_{Vybití} \quad (3.17)$$

$$E_{VSS} = 1885,6 - 1784,4 \text{ kWh} \quad (3.18)$$

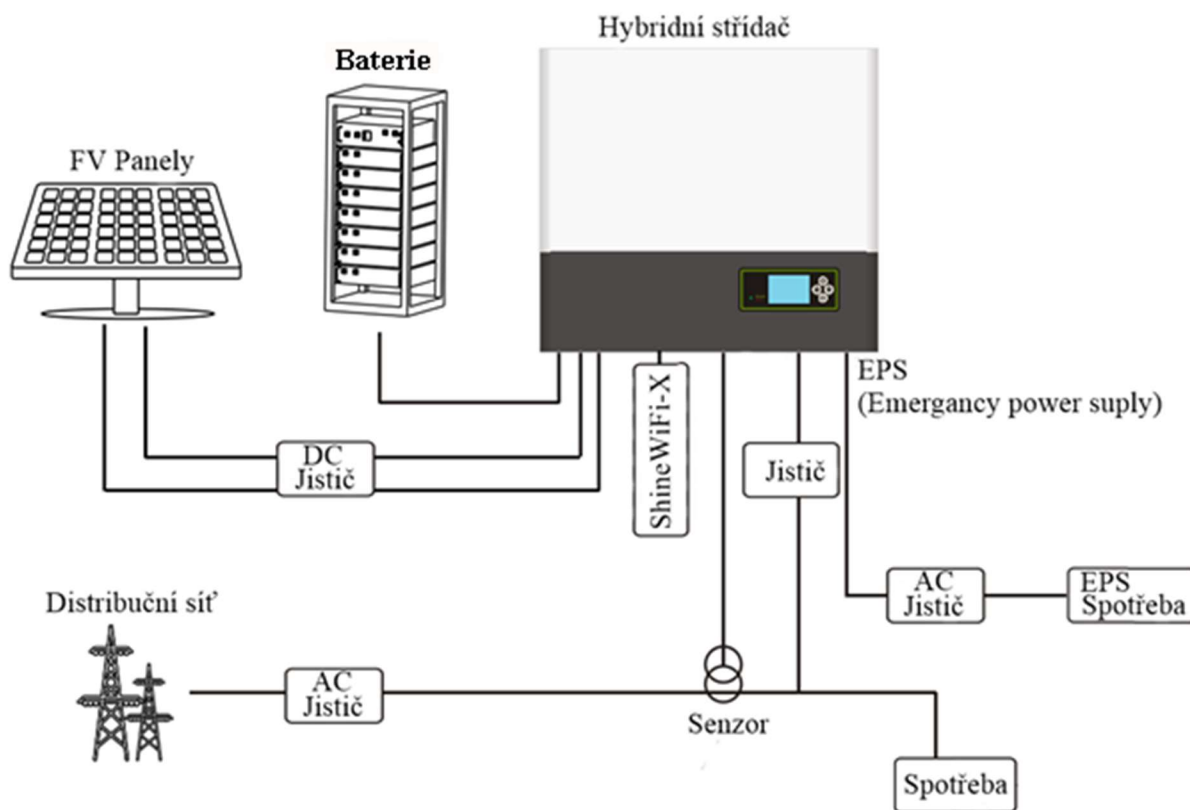
$$E_{VSS} = 101,2 \text{ kWh}$$



Obr. 17: Baterie Growatt AKR 10.2H [23]

### 3.2.4 Hybridní střídač SPH 1000TL3 BH-UP

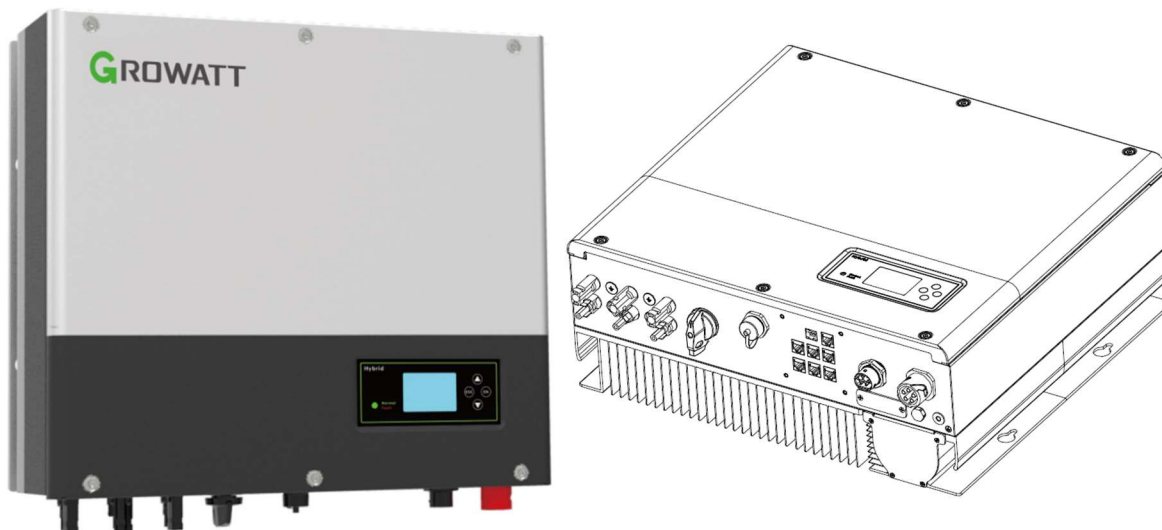
Tento hybridní střídač slouží jako centrální uzel mezi fotovoltaickými panely, baterií, vnější sítí a domácí spotřebou. Obsahuje také měniče mezi stejnosměrným a střídavým proudem. Zajišťuje spolehlivý a bezpečný chod celého systému, i jeho monitoring. Na obrázku níže je zobrazeno zapojení střídače do systému, které je stejně jako tabulka parametrů převzata z datasheetu a uživatelské příručky zařízení.



Obr. 18: Zapojení Hybridního střídače Growatt SPH 1000TL3 BH-UP [23], upraveno

Z diagramu zapojení vidíme, že střídač je se spotřebou domu propojen dvěma způsoby.

- Spotřeba: Obvod využíván při standartním chodu. Odstaven při výpadku distribuční sítě.
- EPS spotřeba: Obvod je odstaven při standartním chodu. Při výpadku distribuční sítě zásobuje spotřebiče v domácnosti z baterie a FV panelů.



Obr. 19: Hybridní střídač SPH 10000TL3 BH-UP [23]; upraveno

Tab. 9: Základní parametry hybridního střídače SPH 10000TL3 BH-UP [23]

SPH 10000TL3 BH-UP	
Max. doporučený výkon FV pole	15 000 W
Jmenovitý výkon	10 000 W
Jmenovité AC napětí	230 V / 400 V
Maximální výstupní proud	15,2 A
Přepnutí od EPS režimu	< 10 ms
Účinnost	97,5 %
Vlastní spotřeba maximální	13 W
Provozní teplota	- 25 až +60 °C
Rozměry (výška × šířka × hloubka)	505 × 453 × 198 mm
Záruka	10 let



### 3.3 Bilance vytápění RD

O vytápění a ohřev vody se stará několik zařízení:

- kondenzační plynový kotel,
- krbová kamna,
- zásobníkový ohřivač vody s přídatným elektrickým ohřevem.

**Kondenzační kotel** slouží jako zdroj pro ústřední vytápění. Zajišťuje ohřev jak topné vody pro 12 topných těles rozmístěných po domě, tak ohřev teplé vody pro hygienické a další potřeby domácnosti.

Tab. 10: Základní parametry kotle THERM 17 KDZ.A

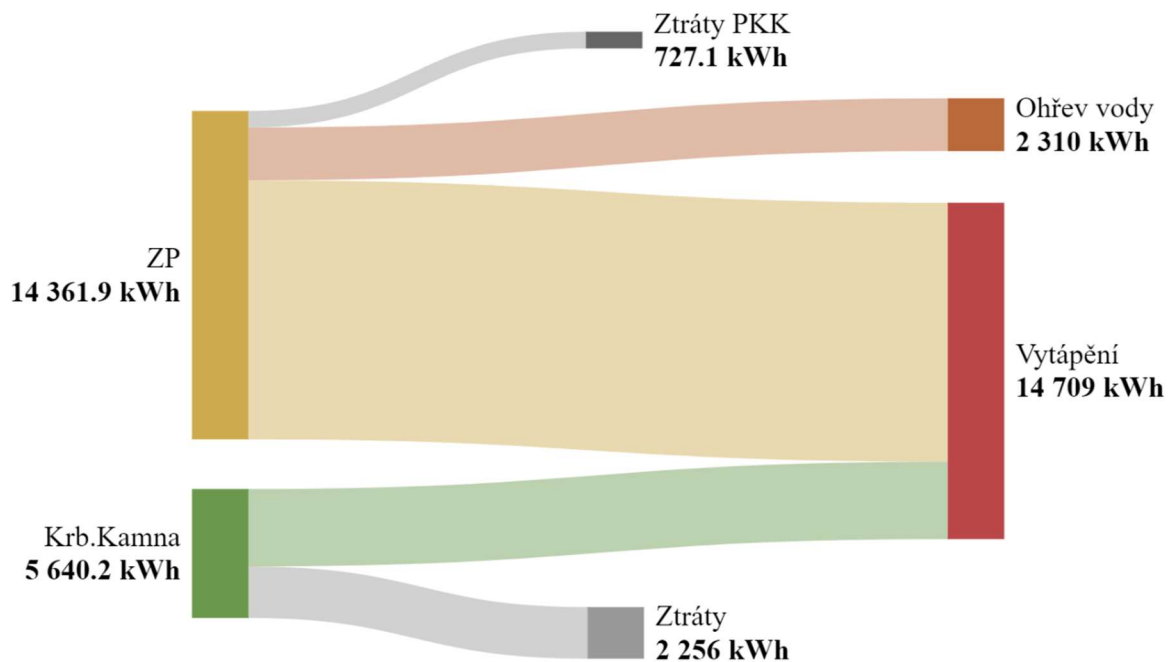
THERM 17 KDZ.A	
Palivo	Zemní plyn
Výkon pro ohřev topné vody	15,7 kW
Výkon pro ohřev teplé vody	15,7 kW
Minimální tepelný výkon	3,2 kW
Spotřeba paliva	0,35 až 1,7 m <sup>3</sup> /h
Průměrná teplota spalin	50 °C
Účinnost kotle	98 až 106 %
Elektrický příkon při pohotovostním stavu	4,4 W
El. příkon při nominálním tepelném výkonu	52,3 W
Teplota udržovaná v externí nádrži na teplou vodu	65 °C

**Krbová kamna**, která se nachází v obývacím pokoji, jsou zde primárně z estetického důvodu. Přes zimní období však doplňují ústřední topný systém jako lokální zdroj pro nejméně využívané místnosti – obývací pokoj a kuchyň. Jako palivo se využívá kusové dřevo získané pokácením vlastních, již neplodných, starých stromů na zahradě na kraji města.

**Elektrický ohřev v bojleru** je v tuto chvíli připravena jako rezervní zdroj ohřevu teplé vody. Primárně se tak TV ohřívá topnou vodou z PKK.

Tab. 11: Základní parametry bojleru OKC 100 NTR

OKC 100 NTR	
Ohřev	Topnou vodou / Elektřinou
Výkon výměníku topná voda/teplá voda	24 kW
Výkon elektrické patrony	2,2 kW
Objem nádrže na teplou vodu	87 l
Doba ohřevu el. patronou na 60 °C	2,2 h



Obr. 20: Bilanční diagram tepelné energie v RD

Na bilančním diagramu výše jsou znázorněny zdroje a spotřeba tepelné energie v kWh.

Tab. 12: Hodnoty bilance tepelné energie RD

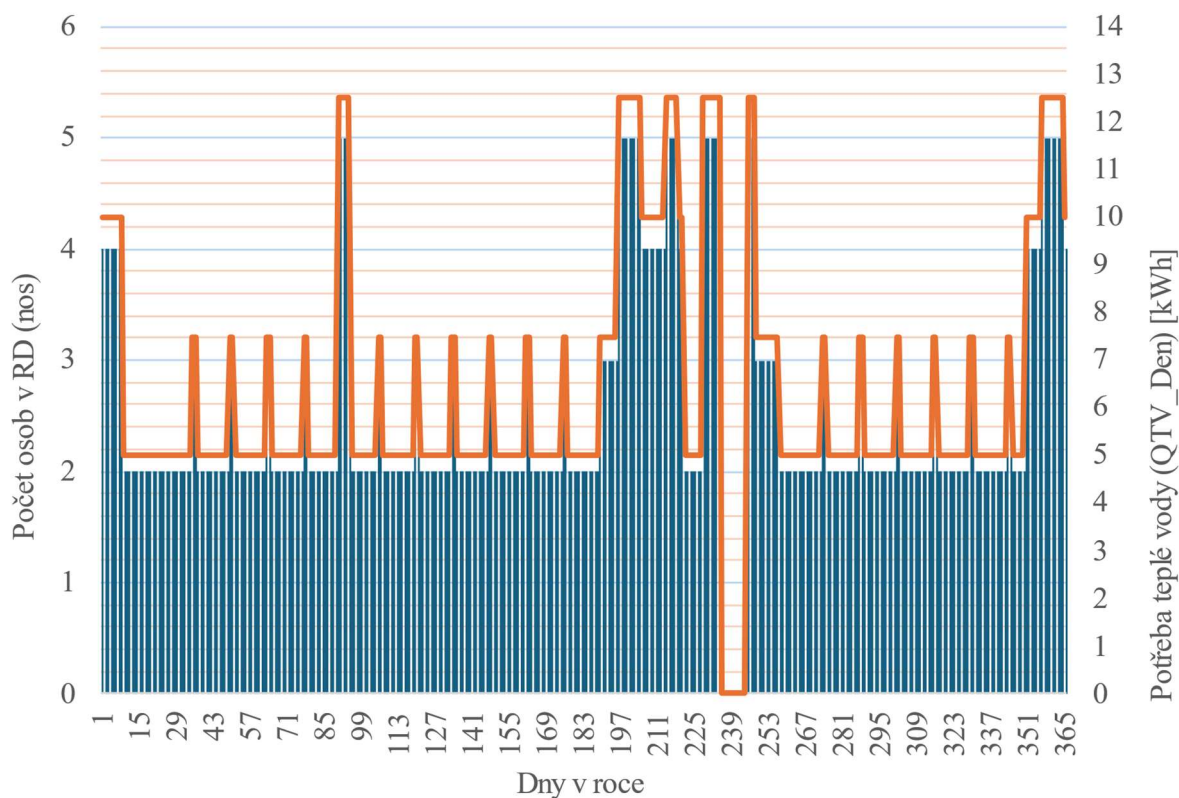
Značení	Hodnota [kWh]	Popis	Zdroj
$Q_{ZP}$	14 361,9	Zemní plyn dodaný do PKK	Faktura ČEZ, a.s.
$Q_{PKK}$	13 634,8	Teplo vyrobené kondenzačním kotlem	Výpočet
$Q_{PKK-TV}$	2 310	Teplo z kotle pro ohřev teplé vody	Výpočet
$Q_{PKK-Top}$	11 324,8	Teplo z kotle k vytápění RD	Výpočet
$Q_{Krb}$	3 384,2	Teplo produkované krbovými kamny	Výpočet
$Q_{Top}$	14 709	Teplo spotřebované pro vytápění RD	Výpočet

$Q_{ZP}$  je hodnota přítoku energie převzata přímo z faktury, kde je uveden převod ze spotřeby plynu v  $m^3$  na kWh. Tato hodnota byla pak přepočítána přes účinnost kondenzačního kotle, která byla zvolena 95 %.

$$Q_{PKK} = Q_{ZP} \cdot 0,95 = 14\,341,9 \cdot 0,95 = 13\,634,8 \text{ kWh} \quad (3.19)$$

Energie potřebná pro pokrytí požadavků na teplou vodu byla vypočítána z několika faktorů. Webový zdroj projektuj-teplna-cerpadla.cz uvádí pro roční výpočet průměrnou potřebu vody na osobu za den 48 litrů, nebo 2,5 kWh [25]. Počet osob v domácnosti, jenž je proměnný, je uveden na grafu na obr. 21, kde je následně uvedena i potřeba vody v kWh pro každý den, která byla vypočtena dle rovnice (3.20).

$$Q_{TV\_Den} = 2,5 \cdot n_{OS} \quad (3.20)$$



Obr. 21: Počet osob v RD v průběhu roku a nároky na teplou vodu

$$Q_{PKK-TV} = \sum Q_{TV\_Den} = 2\,310 \text{ kWh} \quad (3.21)$$

Poté bylo možné určit jaké množství tepla z kotle je použito pro vytápění prostor domu.

$$Q_{PKK-Top} = Q_{PKK} - Q_{PKK-TV} = 13\,634,8 - 2\,310 \text{ kWh} = \mathbf{11\,324,8 \text{ kWh}} \quad (3.22)$$

Teplu vyprodukované krbovými kamny v obývacím pokoji bylo vypočítáno z výhřevnosti použitého paliva, tedy suchého kusového dřeva z jabloně. Dle webu eshopzahrada.cz lze uvažovat výhřevnost dřeva jabloně stejnou, jako pro dub. Výhřevnost dubového dřeva pak byla nalezena v databázi phyllis2 –  $Q_i^r = 17 \text{ MJ/kg}$  [26]. Množství dřeva bylo pak odhadnuto na základě skladovacího prostoru a přepočtu na objemovou hmotnost z prostorového metru rovnajícího. Množství využitého paliva  $M_{pal}$  tak bylo 1194,4 kg dřeva. Účinnost krbových kamen  $\eta$  byla uvážena 60 %. Převod mezi MJ a kWh je  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ .

$$Q_{Krb} = \frac{Q_i^r \cdot M_{pal} \cdot \eta}{3,6} = \frac{17 \cdot 1194,4 \cdot 0,6}{3,6} = \mathbf{3384,16 \text{ kWh}} \quad (3.23)$$

Sečtením kamny vyprodukovaného tepla  $Q_{Krb}$  a tepla dodaného kotlem pro vytápění  $Q_{PKK-T}$  byla získána celková roční spotřeba tepla pro vytápění RD.

$$Q_{Top} = Q_{Krb} + Q_{PKK-Top} = 3\,384,16 + 11\,324,8 \text{ kWh} = \mathbf{14\,709 \text{ kWh}} \quad (3.24)$$

Tyto hodnoty mohou být užitečné, pokud se provozovatel rozhodne k využití elektrické energie z panelů k vyhřívání vody či prostor. Je nutno uvést, že tepelná bilance nezahrnuje vytápění pomocí reverzního chodu klimatizace. Nároky na vytápění RD se tak mohou blížit k 15 000 kWh ročně.

## 4 Ekonomické zhodnocení stávajícího FV systému

Tato kapitola má za cíl seznámit čtenáře s pořizovací cenou systému, jenž byl popsán v předchozí kapitole. Ceny jednotlivých položek a částky z dotačních programů byly převzaty z cenové nabídky dodavatele TEPLLO-CHLAD s.r.o. Investiční náklady byly plně pokryty bez bankovních půjček investorem, tedy majiteli domu.

### 4.1 Instalace FV systému – soupiska počátečních nákladů

Tab. 13: Rozpis investičních nákladů na FV systém – převzato z cenové nabídky

Položka	Kusů	Kč/kus	Kč celkem bez DPH
FV systém Growatt (střídač + baterie)	1	187 100	187 100
Solární panely HiKu 450MS	12	5 980	71 760
Střešní kontrakce	12	2 055	24 660
Rozvodnice AC s Back-up přepínáním	1	13 540	13 540
Rozvodnice DC 1000 V 2x MPPT	1	7 850	7 850
Solární kabel DC 6	210 m	38	7 980
Konektor MC6	22	149	3 278
Pomocný a úchytný materiál			2 900
Elektroinstalační materiál			4 600
Optimizér Tigo TS4-A-O	4	1 180	4 720
CCA kit	1	4 000	4 000
TAP kit	1	1 615	1 615
Nabíjecí stanice THOR 11AS-P	1	40 000	40 000
Montáž, připojení, zprovoznění, otestování			44 560
Revize			1 900
Doprava			1 900
Vyřízení dotace Nová zelená úsporám			9 000
<b>Celkem</b>		<b>431 363 Kč</b>	
<b>Daň 15 %</b>		<b>496 067 Kč</b>	
<b>Dotace NZÚ</b>		<b>- 265 000 Kč</b>	
<b>Celkové investiční náklady</b>		<b>231 067 Kč</b>	

## 4.2 Návratnost investice do systému

Investice do fotovoltaického systému vytváří návratnost na základě snížení, nebo dokonce eliminace výdajů za elektrickou energii kupovanou z distribuční sítě či vytvářením příjmu z prodeje elektřiny do DS. U takových systémů se návratnost vyjadřuje v čase, za jak dlouho úspory a příjmy získané vlastnictvím systému dosáhnou hodnot pořizovacích, a dále i servisních nákladů. Návratnost můžeme také ale vyjádřit v procentech pro určité období. Vstupní faktory pro výpočet návratnosti jsou tak následující:

- pořizovací cena systému,
- degradace a životnost komponent a servisní náklady,
- množství vyrobené elektřiny FV systémem,
- spotřeba elektřiny domácností,
- příjem z elektřiny exportované do DS,
- výdaje za import elektřiny z DS pro pokrytí nedostatků.

Pro přesnější výpočet také mohou být uvažovány tyto faktory:

- různé vlivy na cenu, jako politický vliv (Greendal) či jiné geopolitické události a inflace,
- vliv technologických pokroků na snížení cen komponent,
- dotace na servisní náklady,
- nakládání s úsporami a návratnost případných vedlejších investic.

Vzhledem k počtu proměnných a vlivů na vývoj některých faktorů, je výpočet návratnosti takové investice komplexní. Následující výpočty lze považovat za hrubé odhady. Pro zvýšení smysluplnosti výpočtu můžeme však zavést několik scénářů pro určení rozmezí návratnosti.

### 4.2.1 Zjednodušený výpočet doby návratu investice

Pomocí tohoto modelu získáme počet let, za které se provozovateli vrátí investovaná částka díky úsporám na nakupované elektřině.

Tab. 14: Hodnoty pro výpočet doby návratu investice do FVS

Značení	Hodnota	Popis	Zdroj
$M_{inv}$	231 000 Kč	Počáteční investiční náklady	Tab. 13
$E_{SpFVS}$	3 300 kWh	Roční spotřeba systémem vyrobené el.	Výpočet
$E_{ex}$	1 600 kWh	Průměrný roční export elektřiny	Tab. 2
$C_{ex}$	1,5 Kč/kWh	Průměrná výkupní cena elektřina	Faktura Entri, a.s.
$E_{im}$	1 300 kWh	Roční import elektřiny	Tab. 2
$C_{im}$	8,5 Kč/kWh	Průměrná nákupní cena elektřiny	Vyúčtování ČEZ, a.s.

Nejdřív byla určena spotřeba elektřiny ze systému, jež je dána součtem hodnot  $E_{FV-S}$  a  $E_{Bat-out}$ , které byly již odvozeny v bilančním výpočtu v rovnicích (3.10) a (3.11).

$$E_{SpFVS} = E_{FV-Sp} + E_{Bat-out} = 2107 + 1220 = \mathbf{3\ 327\ kWh} \quad (4.1)$$

Výpočet návratnosti byl započat určením úspor ( $M_U$ ), tedy kolik peněz bylo uspořeno vlastnictvím a provozováním FVS oproti situaci, kdybychom systém neměli.

$$M_U = E_{SpFVS} \cdot C_{im} = 3\ 327 \cdot 8,5 = 28\ 280\ Kč \quad (4.2)$$

Pozitivně také přispívá prodej přebytků do sítě ( $M_{ex}$ ). Cena je pro každý den rozdílná a je stanovena jako průměr spotových cen elektřiny pro daný den, které jsou dostupné na webu společnosti OTE, a.s. (ote-cr.cz). Tento způsob tak nevyužívá cenových pohybů v průběhu dne.

$$M_{ex} = E_{ex} \cdot C_{ex} = 1\ 600 \cdot 1,5 = 2\ 400\ Kč \quad (4.3)$$

Negativně návratnost ovlivňuje pokrývání nedostatků importem z DS ( $M_{im}$ ). Cena elektřiny  $C_{im}$  byla odvozena od stávající ceny, která byla odečtena z vyúčtování firmy ČEZ, kdy byla vydělena celková zaplacená částka 11 545 Kč nakoupenou elektřinou  $E_{im}$ . Cena tak zahrnuje i stálé platby distributorovi, které nejsou ovlivněné množstvím nakoupené elektřiny.

$$M_{im} = E_{im} \cdot C_{im} = 1\ 300 \cdot 8,5 = 11\ 050\ Kč \quad (4.4)$$

Návratnost pak byla určena jako podíl zisku a počáteční investice, popřípadě servisních nákladů. Jelikož ale byla návratnost odhadnuta na 11 let, není servis a výměna částí systému uvažována, jelikož toto číslo nepřesahuje životnost významných komponent FVS.

$$t_N = \frac{M_{inv}}{M_U + M_{ex} - M_{im}} = \frac{231\ 000}{19\ 630} = \mathbf{11,7\ let} \quad (4.5)$$

Výpočtem byla návratnost investice určena na 12 let, neboli v roce 2035 provoz systému zaplatí investiční náklady. To je pro tento typ investic do zdrojů energie dobrý průměr. Tento výpočet však nepojednává o dalším průběhu investice. Nezahrnuje změny cen elektřiny, náklady na obměnu komponent po jejich životnosti, či další faktory.

#### 4.2.2 Procentuální návratnost pro různá období (ROI)

Návratnost vyjádřená v procentech je přístup používaný ve většině případů na obchodních trzích. Dovoluje nám vyjádřit návratnost pro libovolnou dobu od uskutečnění investice. Takto je možné provést analýzu investice a provozu, při které je možné uvážit další parametry. ROI neboli return on investment – návratnost investice, se většinou pohybuje v rozmezí od  $-100\%$  do  $+\infty\%$ , kdy  $-100\%$  je úplná ztráta hodnoty bez jakéhokoli zisku a  $0\%$  je hranice, která odpovídá návratnosti vypočítané v předchozí kapitole a indikuje, že investice do systému se již zaplatila jeho provozem. ROI větší než  $0\%$  již indikuje finanční zisky nad rámec počáteční investice a v případě FVS i nad rámec servisních nákladů. Právě kvůli servisním nákladům v důsledku životnosti komponent nemusí ROI vždy stoupat [27].<sup>4</sup>

Pro výpočet návratnosti vybraného FVS byly zvoleny časové horizonty 10, 15, 20, 30, a 50 let od uskutečnění investice pro tři různé scénáře – optimistický, pesimistický a střední. Dále byla zavedena možnost reinvestice úspor a zisků do dalších investičních nástrojů, například do akciových fondů. Výpočet je ukázán na optimistickém scénáři pro časový horizont 20 let. Výpočty pro zbylé scénáře jsou matematicky stejné.

##### Optimistický scénář

Uvažované faktory:

- Životnost
  - baterie – 29 let, tedy 6000 cyklů, jak je odvozeno na straně 38,
  - střídač – 15 let,
  - panely – 30 let.
- S časem nižší ceny komponent v důsledku technologických inovací.
- Dotace na výměnu komponent pokryje 40 % výdajů.
- Degradace produkce – 0,5 % ročně.
- Cena elektřiny prudce vzroste v důsledku Greendealu či geopolitické události, která má za důsledek nárůst cen komodit a v průběhu let dále mírně roste, jak je znázorněno na grafu na obr. 22 na straně 51.
- Export přebytků z produkce do sítě není nijak regulován a lze potenciálu prodeje využít v plné výši.
- Návratnost vedlejších investic úspor a zisků z provozu je 15 % ročně.
- Je uvažován pokles spotřeby domácnosti, a tedy pokles importu.

V důsledku konce životnosti komponent byly i se započítáním dotací navýšeny náklady na provoz následovně. V roce 2038 by byl nahrazen střídač za 30 000 Kč, v roce 2052 by byly nahrazeny všechny tři komponenty za 155 000 Kč, v roce 2068 by byl opět nahrazen střídač za 20 000 Kč.

Výpočet pro návratnost investice do systému za 20 let při optimistickém scénáři ( $ROI_{20-op}$ ) byl zahájen určením celkových nákladů ( $M_{inv-20-op}$ ) na systém za 20 let, které byly navýšeny o výměnu střídače a sníženy o dotaci.

---

<sup>4</sup> Výpočet ROI byl inspirován konverzací s generativní umělou inteligencí ChatGPT 4o, která je plně dostupná na <https://chatgpt.com/share/9a1259df-3d49-48c4-9b09-e8742338d910>. Postup byl upraven tak, aby odpovídal situaci vybraného FVS a zvoleným faktorům, které do výpočtu vstupovali.



$$M_{inv-20-op} = 231\,067 + 30\,000 - 12\,000 = 249\,067 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

Zisk z provozu ( $Z_{20-op}$ ) byl určen jako suma zisku z každého roku v období dvaceti let. Například pro rok 2026 byl zisk stanoven následovně:

$$Z_{2026-op} = M_{sum-2026-op} - M_{im-2026-op} \quad (4.7)$$

kde  $M_{sum}$  je celková úspora a příjem z provozu v daném roce a  $M_{im}$  jsou náklady na pokrytí nedostatků v daném roce a jsou určeny dále v rovnici (4.13).

$$M_{sum-2026-op} = M_{U-2026-op} + M_{ex-2026-op} \quad (4.8)$$

$M_U$  je úspora na importu elektřiny. Cena elektřiny byla odhadnuta na 8,36 Kč/kWh a množství spotřebované energie vyrobené FVS bylo odhadnuto se započítáním degradace na 3 349,7 kWh.

$$M_{U-2026-op} = C_{im-2026-op} \cdot E_{SpFVS-2026-op} \quad (4.9)$$

$$M_{U-2026-op} = 8,36 \cdot 3\,349,7 = 28\,003,20 \text{ Kč}$$

$M_{ex}$  je příjem za exportovanou elektřinu. Výkupní cena elektřiny byla odhadnuta na 1,43 Kč/kWh a množství exportované energie vyrobené FVS bylo odhadnuto se započítáním degradace na 1 649,8 kWh

$$M_{ex-2026-op} = C_{ex-2026-op} \cdot E_{ex-2026-op} \quad (4.10)$$

$$M_{ex-2026-op} = 1,43 \cdot 1\,649,8 = 2\,351 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

$$M_{sum-2026-op} = 28\,003,2 + 2\,351 = 30\,354,2 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

$$M_{im-2026-op} = E_{im-2026-op} \cdot C_{im-2026-op} \quad (4.13)$$

$$M_{im-2026-op} = 1\,1000 \cdot 8,36 = 9\,196 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

Poté bylo možno spočítat zisk za rok 2026.

$$Z_{2026-op} = 30\,356,2 - 9\,196 = 21\,158,2 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

Takto byly napočítané všechny jednotlivé zisky pro roky 2023 až 2042. Ty byly sečteny pro určení celkového zisku pro období.

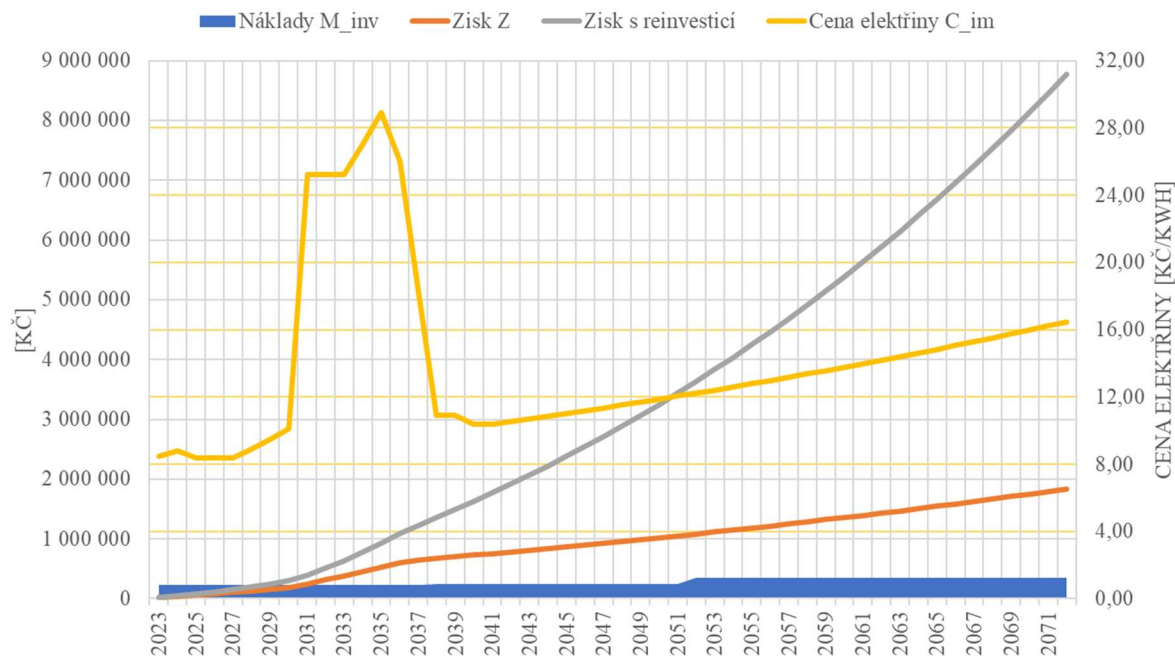
$$Z_{op} = \sum_{2023}^{2042} Z_{i-op} = 782\,411 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

Následně byla určena návratnost vztahem

$$\begin{aligned} ROI_{20-o} &= \frac{Z_{op} - M_{inv-20-op}}{M_{inv-20-op}} \cdot 100 \\ &= \frac{782\,411 - 249\,067}{249\,067} \cdot 100 = \mathbf{214,14\%}. \end{aligned} \quad (4.17)$$

Tímto jsme dosáhli odhadu 214% návratnosti investice za 20 let při optimistickém scénáři. Pokud však zisky (Z) každoročně reinvestujeme s ročním zhodnocením 15 %, můžeme dosáhnout až návratnosti  $ROI_{20-op}$  670 %. Tohoto výsledku bylo dosaženo přičtením zisku z investování, jehož hodnota se každým rokem zvedne o zisk Z z každého roku a o 15% celkové hodnoty.

Na grafu níže je znázorněna cena elektřiny ( $C_{im}$ ), se kterou bylo ve výpočtu uvažováno, společně s křivkami znázorňující zisky a zisky s reinvestováním, jak se sčítají v průběhu let. Modrou barvou jsou znázorněny náklady v průběhu let. Bylo tak zobrazeno i grafické znázornění doby návratu investice ( $t_N$ ) pro různé scénáře.



Obr. 22: Grafické znázornění návratnosti FVS pro optimistický scénář

Výsledné hodnoty návratností pro dané časové horizonty s variantou reinvestice jsou tak následující:

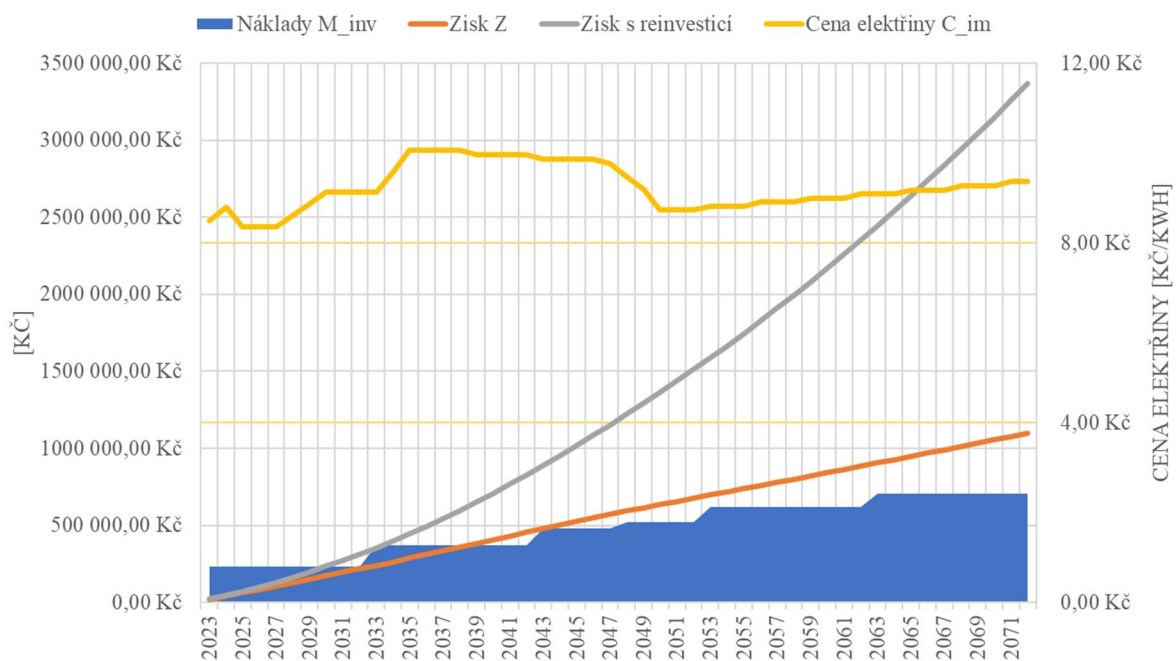
Tab. 15: Výsledné hodnoty ROI FVS pro optimistický scénář

Optimistický scénář	Bez reinvestice	S reinvesticí
$ROI_{10-op}$	35,5 %	122 %
$ROI_{15-op}$	178,2 %	433,1 %
$ROI_{20-op}$	214,1 %	670 %
$ROI_{30-op}$	216,6 %	962,3 %
$ROI_{50-op}$	418,6 %	2 375,9 %

### Pesimistický scénář

Uvažované faktory:

- Životnost
  - baterie – 10 let,
  - střídač – 10 let,
  - panely – 25 let.
- S časem nižší ceny komponent v důsledku technologických inovací.
- Výměna komponent není dotována.
- Degradace produkce – 2 % ročně.
- Cena elektřiny mírně vzroste v důsledku Greendealu. Mimo to však stagnuje a roste minimálně, viz obr. 23.
- Export přebytků je od roku 2030 regulován a od 2050 úplně nemožný.
- Návrstnost vedlejších investic úspor a zisků z provozu je 8 % ročně.
- Je uvažován mírný pokles spotřeby domácnosti, a tedy pokles importu.



Obr. 23: Grafické znázornění návratnosti FVS pro pesimistický scénář

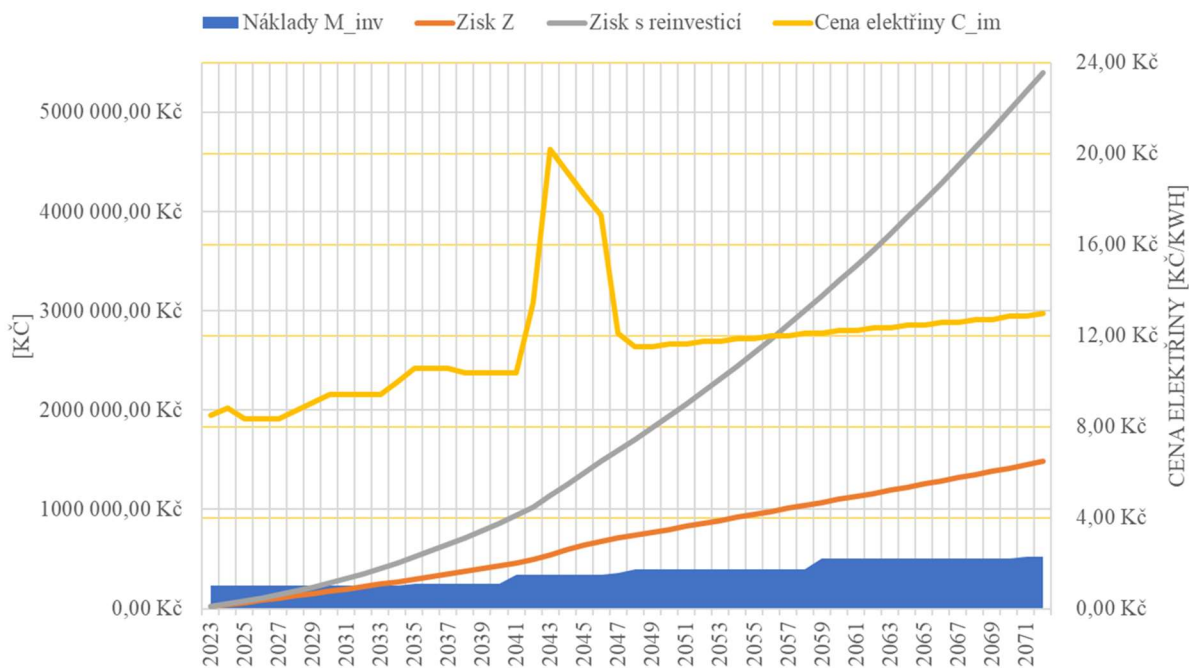
Tab. 16: Výsledné hodnoty ROI FVS pro pesimistický scénář

Pesimistický scénář	Bez reinvestice	S reinvesticí
$ROI_{10-Pes}$	-5,7 %	35 %
$ROI_{15-Pes}$	-9,6 %	46,9 %
$ROI_{20-Pes}$	22,4 %	122,67 %
$ROI_{30-Pes}$	29,8 %	190,3 %
$ROI_{50-Pes}$	55,6 %	377 %

### Střední scénář

Uvažované faktory:

- Životnost
  - baterie – 18 let,
  - střídač – 12 let,
  - panely – 25 let.
- S časem nižší ceny komponent v důsledku technologických inovací.
- Dotace na výměnu komponent pokryje 25 % výdajů.
- Degradace produkce – 1 % ročně.
- Cena elektřiny vzroste v důsledku Greendealu a geopolitické události, která má za důsledek nárůst cen komodit a v průběhu let dále mírně roste.
- Export přebytků z produkce do sítě je regulován a lze tak potenciálu prodeje využít zhruba z 60 %.
- Návratnost vedlejších investic úspor a zisků z provozu je 11 % ročně.
- Je uvažován pokles spotřeby domácnosti, a tedy pokles importu.



Obr. 24: Grafické znázornění návratnosti FVS pro střední scénář

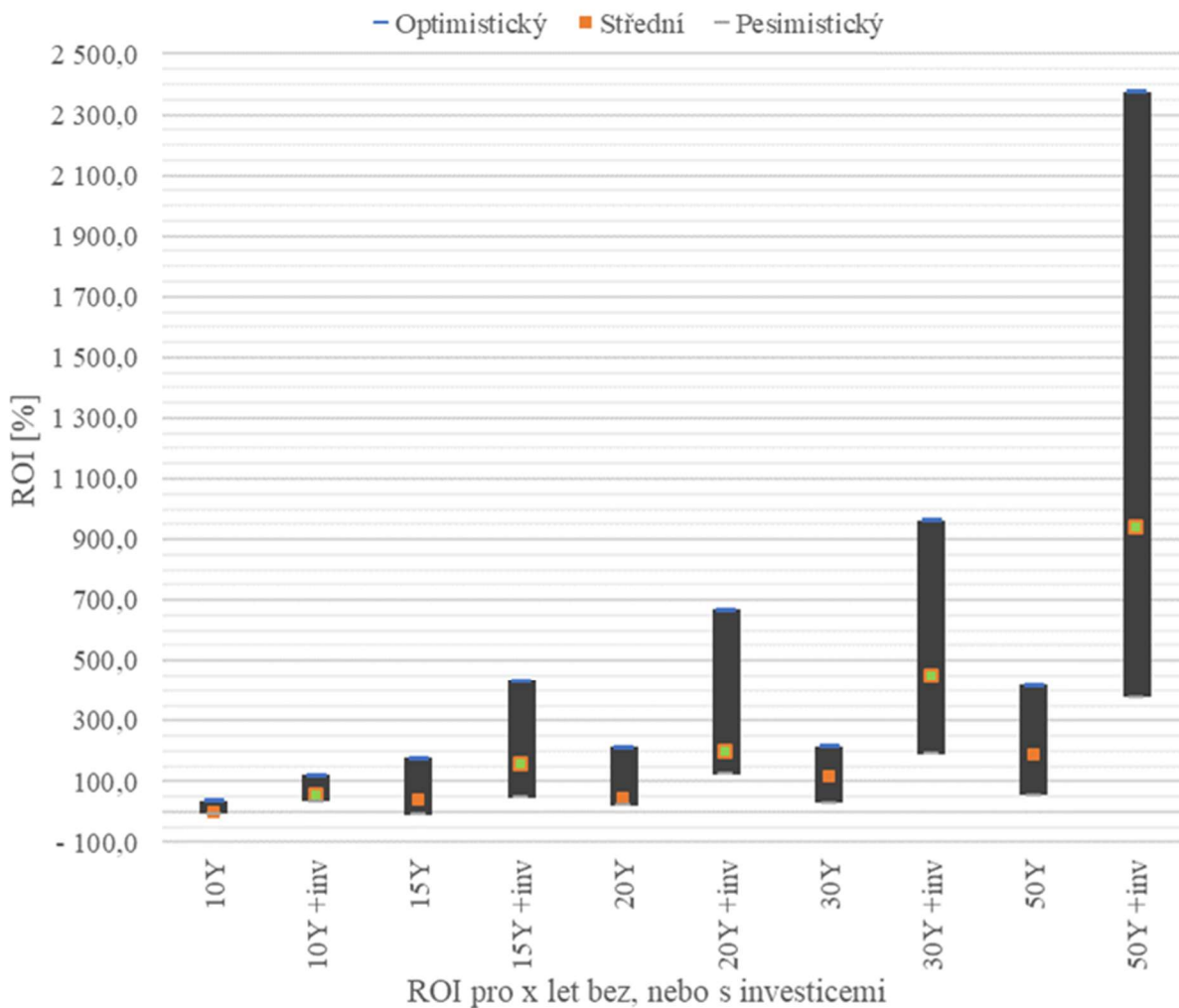
Tab. 17: Výsledné hodnoty ROI FVS pro střední scénář

Střední scénář	Bez reinvestice	S reinvesticí
$ROI_{10-Stř}$	- 3,3 %	53,4 %
$ROI_{15-Stř}$	39,2 %	155,8 %
$ROI_{20-Stř}$	43,2 %	198,6 %
$ROI_{30-Stř}$	114,8 %	445,5 %
$ROI_{50-Stř}$	185,2 %	939,4 %

Z výsledných hodnot můžeme vyčíst, že reinvestice úspor výrazně napomáhá k návratnosti ve všech scénářích. Pro rekapitulaci byla vytvořena tabulka a graf znázorňující pesimistickou, střední a optimistickou návratnost pro různá období, bez, nebo s reinvesticemi.

Tab. 18: Rekapitulace výsledků ROI pro daná období pro různé scénáře

Hodnoty ROI v %	10 let	15 let	20 let	30 let	50 let
Optimistický	35,5	178,2	214,1	216,6	418,6
Střední	-3,3	39,2	43,2	114,8	185,2
Pesimistický	-5,7	-9,5	22,4	29,8	55,6
Optimistický s reinvesticí	122,1	433,1	669,7	962,3	2 375,9
Střední s reinvesticí	53,4	155,8	198,6	445,5	939,4
Pesimistický s reinvesticí	35,1	46,9	122,7	190,3	377,0



Obr. 25: Grafické znázornění rozmezí návratností

## 5 Budoucnost provozu a možné rozšiřující investice

Tato kapitola je věnována možným technickoekonomickým rozšířením vybraného rodinného domu a jeho systémů, které by měli zefektivnit využití FV systému a zvýšit tak i jeho návratnost.

Tradičně by mohl být systém rozšířen o tepelné čerpadlo pro ohřev vody či vytápění prostor nebo o další akumulární prvky. Tyto možnosti však byly zavrhnuty po konzultaci s provozovatelem, který si nepřeje již další investice náročné na kapitál a s potřebou zásahu do stavební části domu. Rozšíření FVS například o solární panely pro zvýšení výkonu také není možné, jelikož plocha střechy je již plně využita. Pozornost tak byla přeměřována na možnost nahrazení benzínového automobilu za elektrický automobil a využití tak přebytků k jeho nabíjení, nebo možností změn na straně tarifů nákupu a prodeje elektřiny do DS.

### 5.1 Nahrazení benzínového auta za elektromobil

Tímto krokem je snaha o úsporu výdajů za provoz auta se spalovacím motorem. Hlavním cílem je vyhodnocení peněžních úspor za palivo a popřípadě servis.

Momentálně vlastněný vůz je 2017 Ford Focus Hatchback, jehož spotřeba je 6,9 l/100 km. Tímto vozem se ročně najezdí něco málo přes 4 000 km. Pro výpočet návratnosti při koupi elektromobilu byl uvažován výpočetní model ROI pro střední scénář, viz strana 53. Přidané faktory pro výpočet jsou následující:

- stávající vůz Ford by byl prodán za 200 000 Kč,
  - spotřeba tohoto vozu  $Sp_{benz}$  je 6,9 l/100 km,
- prvotní investice, tedy cena elektromobilu by byla 470 000 Kč – například Dacia Spring,
  - spotřeba ( $Sp_{EV}$ ) tohoto vozu je uvažována 14 kWh/100 km,
  - servisní náklady byly odhadnuty na 4 000 Kč každých 8 let,
- elektromobil se bude nabíjet výhradně doma pomocí již nainstalované nabíječky,
- cena benzínu se v průběhu let vyvíjí stejně jako cena elektřiny, viz obr. 24.

Výpočet je takřka identický jako pro návratnost samotného FVS, který je popsán v kapitole 4.2.2. Nutné bylo jen upravit bilanci elektrické energie, aby byl započítán provoz auta, tedy zvýšení importu z DS, snížení exportu do DS a uvedení ceny provozu benzínového auta, která byla následně přičtena k ročním úsporám celého systému. Největším rozdílem je však počáteční investice, která narostla z 231 tisíc korun na 501 067 Kč, jelikož dnes koupě elektromobilu není nijak soukromým osobám dotována.

Jeden z faktorů, který bylo třeba uvážit, je proměnnost výroby FV v průběhu roku, jak je popsáno v tab. 3 v kapitole 3.1. Tímto je proměnná i dostupnost elektrické energie pro nabíjení vozu. Následující tabulka popisuje právě potřebu elektrické energie v průběhu roku. Výsledkem je tak roční spotřeba elektroauta a množství elektřiny, o které bylo třeba navýšit import z DS. Měsíční nájezdy  $N_{vůz}$  byly odhadnuty na základě konzultace s uživatelem vozu, export byl převzat z tab. 3 a zaokrouhlen.

Množství elektřiny  $E_{im-EVplus}$ , o které bylo nutné navýšit import elektřiny, bylo vypočítáno následovně, kde  $E_{EV}$  je spotřeba vozu v kWh.

$$E_{im-EVplus} = E_{EV} - E_{ex} \quad (5.1)$$

$$E_{EV} = N_{v\u00fatz} \cdot \frac{Sp_{EV}}{100} \quad (5.2)$$

Vzhledem k tomu, že ve většině měsíců byl export vyšší, než je měsíční spotřeba vozu, nebylo potřeba navyšovat import a přebytek bylo tak stále možno exportovat.

Tab. 19: Určení spotřeby a dodatečného importu pro elektromobil

Měsíc	Nájezd $N_{v\u00fatz}$ [km]	Export $E_{ex}$ [kWh]	Spotřeba EV $E_{EV}$ [kWh]	Import navíc $E_{im-EVplus}$ [kWh]
Leden	350	2	49	47
Únor	350	5	49	44
Březen	350	10	49	39
Duben	350	200	49	0
Květen	350	300	49	0
Červen	400	350	56	0
Červenec	400	160	56	0
Srpen	250	260	35	0
Září	350	200	49	0
Říjen	350	90	49	0
Listopad	350	15	49	34
Prosinec	350	8	49	41
<b>Roční suma</b>	<b>4200 km</b>	<b>1600 kWh</b>	<b>588 kWh</b>	<b>205 kWh</b>



Výpočet byl upraven následovně:

- K investičním nákladům  $M_{inv}$  byla přičtena nákupní cena elektromobilu  $M_{inv}$  a odečtena prodejní cena vozu se spalovacím motorem  $M_{sell-benz}$ .
- K nákladům  $M_{inv}$  byly přičteny ceny za servis a výměnu baterií v průběhu let.
- Od ročního exportu elektřiny  $E_{ex}$  byla odečtena roční spotřeba elektromobilu  $E_{ES}$ .
- Byl navýšen import o  $E_{im-EVplus}$  kvůli nedostatku elektřiny v zimních měsících.
- K ročním úsporám  $M_U$  byla přičtena cena provozu benzínového auta, která byla určena z ceny benzínu  $C_{benz}$  a roční spotřeby paliva určené ze spotřeby auta  $Sp_{benz}$ .

Výpočet pro návratnost investice do systému s elektromobilem za 20 let při středním scénáři ( $ROI_{20-EV}$ ) s ukázkou kalkulace pro rok 2026 byl proveden následovně.

Celkové náklady ( $M_{inv-20-EV}$ ) na systém za 20 let jsou tak dány investicí do FVS (231 067 Kč), koupí elektromobilu (470 000 Kč), prodejem auta (200 000 Kč), částečně dotovanou výměnou baterií a měniče (112 500 Kč) a dvěma výměnami baterie elektromobilu (8 000 Kč).

$$M_{inv-20-EV} = 231\,067 + 470\,000 - 200\,000 + 112\,500 + 8\,000 \text{ Kč} \quad (5.3)$$

$$M_{inv-20-EV} = 621\,567 \text{ Kč}$$

$$E_{ex-EV} = E_{ex} - E_{EV} = 1\,649,7 - 588 = 1\,061,7 \text{ kWh} \quad (5.4)$$

$$E_{im-EV} = E_{im} + E_{im-EVplus} = 1\,100 + 205 = 1\,305 \text{ kWh} \quad (5.5)$$

$$M_{U-2026} = C_{im-2026} \cdot E_{SpFVS-2026} + C_{benz-2026} \cdot N_{v\u00faz} \cdot \frac{Sp_{benz}}{100} \quad (5.6)$$

$$M_{U-2026} = 8,36 \cdot 3\,349,3 + 37,05 \cdot 4\,200 \cdot \frac{6,9}{100} = 38\,737,5 \text{ Kč}$$

Aktualizovaný celkový zisk za období 20 let, jehož výpočet je vysvětlen rovnicemi (4.7) až (4.16) byl tak stanoven jako

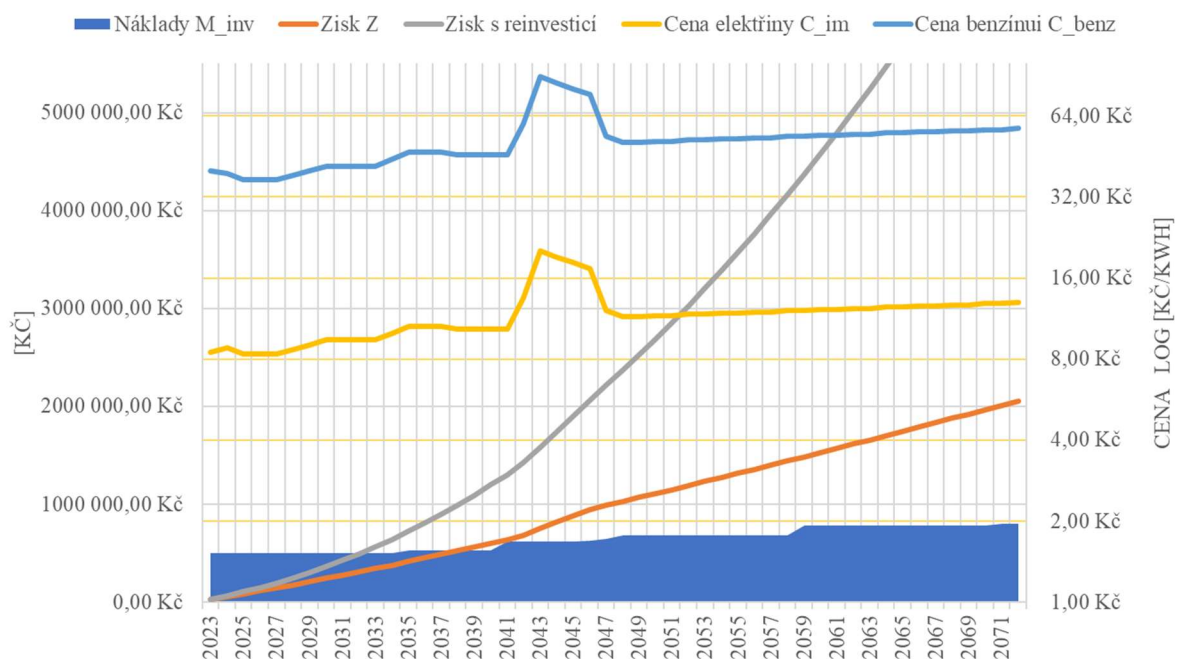
$$\sum_{2023}^{2042} Z_{EV} = 682\,720 \text{ Kč.} \quad (5.7)$$

Následně bylo možné vypočítat návratnost investice do FVS a elektromobilu v horizontu 20 let.

$$ROI_{20-} = \frac{\sum_{2023}^{2042} Z_{EV} - M_{inv-20-EV}}{M_{inv-20-E}} \cdot 100 \quad (5.8)$$

$$ROI_{20-EV} = \frac{682\,720 - 621\,567}{621\,567} \cdot 100 = \mathbf{9,84\%}$$

Tímto bylo dosaženo odhadu 9,84% návratnosti investice za 20 let při vybraném středním scénáři. Pokud by však byly zisky (Z) opět reinvestovány s ročním zhodnocením 11 %, může být dosaženo až návratnosti  $ROI_{20-EV}$  129,3 %. Tohoto výsledku bylo dosaženo přičtením zisku z investování, jehož hodnota se každým rokem zvedne o Z z každého roku a o 15% celkové hodnoty. Z kalkulace všech veličin pro každý rok opět získáme grafické znázornění návratnosti.



Obr. 26: Grafické znázornění návratnosti FVS a EV

Po výpočtu ROI pro všechny časové horizonty byly získány tyto výsledky.

Tab. 20: Výsledné hodnoty ROI FVS a EV

Střední scénář	Bez reinvestice	S reinvesticí
$ROI_{10-EL}$	-38,50 %	-2,28 %
$ROI_{15-EL}$	-7,12 %	70,95 %
$ROI_{20-EL}$	9,84 %	129,30 %
$ROI_{30-EL}$	74,78 %	344,10 %
$ROI_{50-EL}$	156,54 %	835,23 %

Z výsledku může být odvozeno, že ještě více než u investice čistě do FVS, je důležité efektivně využívat úspory získané provozem FV systému a užíváním elektromobilu. Nelze však říct, že by elektromobilita pozitivně přispěla k návratnosti celého systému. Spíše naopak investice do elektromobilu snižuje návratnost celého projektu o 50 až 100 % i při reinvestování úspor. Je však nutné poznamenat, že i tak se doba návratu investice pohybuje kolem 11 let, což lze považovat za kladný výsledek. Důvodem, proč tuto investici zvolit, může být také vzrůstající politický nátlak na prodej a provoz automobilů se spalovacím motorem v rámci Greendealu. S tím přichází také pravděpodobnost dotací na koupi elektromobilu, která by tak snížila počáteční investiční náklady a ROI by se tak zvýšila na atraktivnější hodnoty.

Dalším faktorem, který je vhodný uvážit, je rozvoj elektromobilů, které jsou schopné vybíjet svou baterii zpět do zdroje, tedy ke spotřebě domácnosti. Zaparkované auto v garáži tak efektivně slouží jako přídatná forma akumulace elektrické energie a rozšiřuje tak využitelnost systému. Taková technologie je označována jako V2H – Vehicle-to-Home, tedy z vozidla do domu. Využívání elektromobilu pro takové účely však může mít negativní dopad na životnost baterie. [28]

## 5.2 Virtuální baterie – změna vztahů s obchodníky

Tento výpočet má za cíl porovnat dvě situace, tedy volbu využitelných produktů subjektů operujících na trhu s elektřinou – ČEZ Prodej, a.s. a Entri, a.s. Jelikož příští rok končí fixace cen dle stávající smlouvy na dodávku elektřiny od firmy ČEZ Prodej, a.s. může být vhodné zhodnotit další nabízené smlouvy na dodávku elektřiny. První scénář uvažuje smlouvu na tři roky s ceníkem Elektřina Fix na 3 roky do ČEZ popsáním v tab. 23 a zároveň s pokračováním prodeje přebytků do DS dle smlouvy a ceníku SPOT500 od firmy Entri popsáním v tab. 23. Druhý scénář uvažuje přerušeni vztahu s firmou Entri, a.s., tedy ukončení prodeje přebytků z FVS do DS dle jejich ceníku a místo toho nakládání s přebytky dle smlouvy a ceníku Elektřina pro soláry od ČEZ. Tato forma vztahu je známá jako virtuální baterie, přestože tento pojem je jen registrovaný produkt firmy E.ON. V minulosti nabízela produkt na podobném principu i firma BOHEMIA ENERGY entity s.r.o. Vzhledem k tomu, že využití produktu firmy E.ON je omezeno jen na projekty zajištěné jimi, je tak ČEZ zatím jediná možnost využití principu virtuální baterie [29].

Princip smlouvy Elektřina pro soláry je následovný. „O hodnotu přebytečné energie z vaší fotovoltaiky, neboli přetok, odeslané do distribuční sítě vám ve vyúčtování snížíme částku za spotřebovanou elektřinu, a to až do výše vaší spotřeby v MWh. Hodnota přetoků je stanovena ve vyšší obchodní části ceny (řádek 1 a 2 na předchozí straně tohoto ceníku). Distribuční a statní poplatky, jako např. daň za elektřinu odebranou ze sítě z vyúčtování odečíst nelze.“ [30] Z toho vyplývá, že systémem exportovaná elektřina má hodnotu ceny za dodávku bez stálé platby ( $C_{VT}$ ) a zároveň je finančně zhodnoceno jen exportované množství elektřiny menší nebo rovno množství importované elektřiny. Cenové vyrovnání je vyúčtováno jednou za rok. To přináší značnou nevýhodu, protože pokud by byl export elektřiny  $E_{ex}$  větší, než import  $E_{im}$ , byl by pak rozdíl prodáván do DS zadarmo. Na první pohled je však z ceníku a této definice čitelné, že exportovaná elektřina má tímto způsobem mnohem vyšší hodnotu než při prodeji na spotovém trhu přes společnost Entri, konkrétně může mít přes 2,5krát větší cenu. Jak je však uvedeno v tabulce a dále ve výpočtu, ceník Elektřina pro soláry má několik cenových nevýhod, proto stojí za to, si tyto možnosti porovnat.

Výpočet byl proveden pro následující tři roky, tedy období platnosti cen na cenících a byly zavedeny následující předpoklady:

- výkupní cena exportů  $C_{ex}$  byla odhadnuta na 1,5 Kč pro všechny 3 roky na základě faktur z předešlých kvartálů Q3 a Q4 2023,
- množství importované i exportované elektřiny je neměnné.

Tab. 21: Předpoklady pro výpočet výhodnosti smluv pro následující tři roky

Import $E_{im}$	1 300 kWh/rok
Export $E_{ex}$	1 600 kWh/rok
Průměrná výkupní cena $C_{ex}$	1,5 Kč/kWh

Tab. 23: Ceny elektřiny z ceníku *Elektřina pro soláry* [25]

<b>PRO SOLÁRY (ceny jsou uvedeny s DPH)</b>				
Obchodní část	Cena za dodávku	Vysoký tarif ( $C_{VT}$ )	3,9809	Kč/kWh
		Stálá platba (SP)	423,5	Kč/měsíc
Distribuční část	Cena za distribuci	Vysoký tarif ( $C_{DVT}$ )	2,43895	Kč/kWh
	Stálá platba za rezervovaný příkon podle jističe	nad 3×20 A do 3×25 A včetně ( $J_{3x25}$ )	248,05	Kč/měsíc
		Daň z elektřiny ( $Tax_{EI}$ )	0,03424	Kč/kWh
	Ostatní poplatky	Cena za systémové služby ( $C_{SS}$ )	0,25751	Kč/kWh
Činnost OTE (OTE)		5,01	Kč/měsíc	

Tab. 23: Ceny elektřiny z ceníku *Elektřina Fix na 3 roky* [34] a SPOT500

<b>FIX NA 3 ROKY (ceny jsou uvedeny s DPH)</b>				
Obchodní část	Cena za dodávku	Vysoký tarif ( $C_{VT}$ )	3,61	Kč/kWh
		Stálá platba (SP)	154,88	Kč/měsíc
Distribuční část	Cena za distribuci	Vysoký tarif ( $C_{DVT}$ )	2,43895	Kč/kWh
	Stálá platba za rezervovaný příkon podle jističe	nad 3×20 A do 3×25 A včetně ( $J_{3x25}$ )	248,05	Kč/měsíc
		Daň z elektřiny ( $Tax_{EI}$ )	0,03424	Kč/kWh
	Ostatní poplatky	Cena za systémové služby ( $C_{SS}$ )	0,25751	Kč/kWh
Činnost OTE (OTE)		5,01	Kč/měsíc	
<b>SPOT500</b>				
	Průměrná výkupní cena již s poplatky ( $C_{ex}$ )		1,5	Kč/kWh
	Stálá platba ( $Sp_{ex}$ )		6,33	Kč/měsíc

Z uvedených ceníků byla určena cena elektřiny za rok a následně za 3 roky. Pro využití ceníku Fix na 3 roky a exportu dle SPOT500 byl určen celkový roční výdaj  $M_{FIX+ENTRI}$  následovně.

$$M_{FIX+ENTRI} = M_{\check{C}EZ\ FIX} - M_{ex} \quad (5.9)$$

Kde  $M_{\check{C}EZ\ FIX}$  je výdaj za importovanou elektřinu. Dle ceníku se cena skládá z částí, které jsou ovlivněny množstvím čerpané elektřiny v kWh a částí, která je ovlivněná dobou trvání odběru. Cena za dodávku ve vysokém tarifu  $C_{VT}$  je v této smlouvě klesající. Během třech let je hodnota  $C_{VT}$  rovna 3,97, 3,59 a 3,27 Kč/kWh. Ve výpočtu je použit průměr těchto hodnot.

$$M_{\check{C}EZ\ FIX} = (C_{VT} + C_{DVT} + Tax_{EL} + C_{SS}) \cdot E_{im} + (SP + J_{3x25} + OTE) \cdot 12 \quad (5.10)$$

$$M_{\check{C}EZ\ FIX} = (3,61 + 2,44 + 0,03 + 0,26) \cdot 1\ 200 + (154,88 + 248,05 + 5,01) \cdot 12 \text{ Kč} \quad (5.11)$$

$$M_{\check{C}EZ\ FIX} = 12\ 504,1 \text{ Kč}$$

$M_{ex}$  je příjem za exportovanou elektřinu a také se skládá z části ovlivněné množstvím a částí ovlivněné dobou trvání smlouvy.

$$M_{ex} = C_{ex} \cdot E_{ex} + SP_{ex} \cdot 12 \quad (5.12)$$

$$M_{\check{C}EZ\ FIX} = 1,5 \cdot 1\ 600 + 6,33 \cdot 12 \text{ Kč}$$

$$M_{\check{C}EZ\ FIX} = 2\ 324 \text{ Kč}$$

Výsledný roční výdaj je tak dle rovnice (5.9)

$$M_{FIX+ENTRI} = 12\ 504,1 - 2\ 324 = 10\ 180,1 \text{ Kč.} \quad (5.13)$$

Pro scénář s využitím ceníku Elektřina pro soláry byl určen celkový roční výdaj  $M_{\check{C}EZ-SOLAR}$  následovně.

$$M_{\check{C}EZ-SOLAR} = M_{\check{C}EZ} - M_{SOLAR} \quad (5.14)$$

Kde  $M_{\check{C}EZ}$  je výdaj za importovanou elektřinu a výpočet se řídí dle rovnice (5.10) a hodnoty byly vzaty z tab. 23

$$M_{\check{C}EZ} = (3,98 + 2,44 + 0,03 + 0,26) \cdot 1\,200 + (423,5 + 248,05 + 5,01) \cdot 12 \text{ Kč} \quad (5.15)$$

$$M_{\check{C}EZ} = 16\,172,6 \text{ Kč}$$

$M_{SOLAR}$  je příjem, neboli spíše sleva, za exportovanou elektřinu. Jelikož je dle podmínek možné finančně ohodnotit jen export množstevně menší nebo roven importu, a v našem případě je export vždy větší než import, bylo tak počítáno s množstvím rovné importu.

$$M_{SOLAR} = E_{im} \cdot C_{VT} \quad (5.16)$$

$$M_{SOLAR} = 1\,200 \cdot 3,98 = 4\,777,1 \text{ Kč}$$

Výsledný roční výdaj byl tak dle rovnice (5.14) určen jako

$$M_{\check{C}EZ-SOLAR} = 16\,172,6 - 4\,777,1 = 11\,395,5 \text{ Kč}. \quad (5.17)$$

Výsledky, které byly použity pro vyhodnocení, jsou tak následující. Roční náklady na elektřinu s využitím smlouvy Fix na tři roky a prodejem přebytků dle SPOT500 byly vypočítány na 10 180,1 Kč ročně, zatímco využití smlouvy Elektřina pro soláry zapříčiňuje celkové náklady 11 395,5 Kč ročně. Pokud výpočet rozšíříme na 3 roky, tedy dobu platnosti ceníků, celkové náklady na toto období za elektřinu budou 30 540,3 Kč, respektive 34 186,5 Kč.

Tímto postupem bylo dospěno k závěru, že **virtuální baterie od firmy ČEZ prodej, a.s. se nevyplatí**, a to ani kdyby se množství exportované a importované elektřiny rovnalo. Aby se tento smluvní vztah vyplatil, musela by výkupní cena elektřiny klesnout na 0,7 Kč/kWh, nebo by musela být odečtena i hodnota přebytku přerůstající import.

Hlavní faktor, který přispěl k nevhodnosti virtuální baterie, je skoro trojnásobně větší položka stále platby (SP), nesnižování ceny v průběhu smluvního období a nezhodnocení veškerého exportovaného množství, kvůli kterému by bylo 400 kWh ročně exportováno zadarmo.

## ZÁVĚR

Závěrem této bakalářské práce je komplexní shrnutí zjištění a výsledků, které byly dosaženy během jejího vypracování. První kapitola seznamuje čtenáře s různými typy fotovoltaických systémů. Druhá kapitola poskytla obecný přehled hlavních součástí fotovoltaického systému, jako jsou fotovoltaické panely a důležitost jeho orientace, střídače a akumulací systémy. Třetí kapitola se zaměřila na konkrétní případovou studii instalace fotovoltaického systému na rodinném domě. Analýza energetických charakteristik zásobovaného objektu a detailní popis instalovaných komponent ukázaly, jak může být takový systém efektivně integrován do domácí energetické sítě. Bilance elektrické energie a vytápění RD byly podrobně popsány, což poskytlo přehled o spotřebě energie (tab. 1, obr. 12, obr. 13 a obr. 20) a potenciálu pro další optimalizaci. Čtvrtá kapitola byla věnována ekonomickému zhodnocení fotovoltaického systému. Byla provedena analýza návratnosti investice, která ukázala, že doba návratnosti se pohybuje mezi 8 až 12 lety v závislosti na zvoleném scénáři (tab. 20). Tento výpočet zahrnoval jak počáteční náklady na instalaci a úspory na nákladech na elektrickou energii, tak očekávané servisní náklady, pohyby cen a spotřeby či snížení produkce FVS v důsledku degradace. Poslední kapitola se zabývala možnostmi budoucího rozšíření o elektromobil a optimalizace ekonomického nastavení systému. Bylo zjištěno, že nahrazení benzínového auta za elektromobil by mělo negativní dopad na návratnost investice, a proto elektromobilita nedává ekonomický smysl, dokud se cena vozů nesníží, nebo nákup nebude dotován. Stejně tak využití virtuální baterie by nepřineslo oproti prodeji přebytků na spotovém trhu žádné další úspory. Z toho můžeme vyvodit, že tato koncepce je vhodná pro systémy s malými, nebo žádnými akumulacími schopnostmi s vysokou spotřebou.

Celkově lze konstatovat, že cíle této práce byly úspěšně naplněny až na teoretické zhodnocení možností rozšíření zdrojů, jako tepelné čerpadlo, další fotovoltaické, či fototermitické panely nebo zařízení pro ohřev vody. Jedním z nedostatků práce by mohlo být hodnocení systému na základě jednoho roku provozu, což nemusí poskytovat dobrou základnu pro analýzu následujících až desítek let.

Navazující práce by právě mohla doplnit tyto nedostatky nebo další možnosti jako integrace pokročilých softwarů pro chytrou domácnost nebo zvažování instalace dalších akumulací a výrobních kapacit pro zajištění stabilního přísunu energie. Dále by bylo užitečné provést dlouhodobé sledování ekonomických a ekologických přínosů fotovoltaických systémů, aby bylo možné přesněji vyhodnotit jejich vliv na domácí a globální energetickou politiku.

Tato práce přispěla k lepšímu pochopení fotovoltaických systémů a jejich praktického využití a věřím, že poskytne hodnotné informace jiným provozovatelům FVS nebo lidem, kteří o podobných investicích přemýšlejí.



## SEZNAM LITERATURY

- [1] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. *Fotovoltaické systémy: energetická příručka: pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost*. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1
- [2] FAIRBANKS, E. S. a M. T. GATES. Adaptation of thin-film photovoltaic technology for use in space. In: *Conference Record of the Twenty Sixth IEEE Photovoltaic Specialists Conference - 1997*. 1997, s. 979-982. ISSN 0160-8371. Dostupné z: doi:10.1109/PVSC.1997.654252
- [3] GAUTAM, Ruchi a Harpreet CHANNI. *Energy Consumption by Solar LED Streetlights in Domestic Application*. In: . 2023/03/08, s. 213-221. ISBN 978-981-19-8962-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-981-19-8963-6\_20
- [4] HMIDET, Ali, Umashankar SUBRAMANIAM, Rajvikram Madurai ELAVARASAN, et al. Design of Efficient Off-Grid Solar Photovoltaic Water Pumping System Based on Improved Fractional Open Circuit Voltage MPPT Technique. *International Journal of Photoenergy*. Hindawi, 2021, **2021**, 4925433. ISSN 1110-662X. Dostupné z: doi:10.1155/2021/4925433
- [5] SOORI, P.K., L. PARTHASARATHY, M. OKANO a Awet AMARE. *Intelligent off-grid photovoltaic supply systems*. 2009/04/01, **40**, 141-145.
- [6] AKHTER NAQVI, Asad, Talha NADEEM, Bin NADEEM, Ahsan AHMED, ASAD a Asad ZAIDI. Designing of an off-grid Photovoltaic system with battery storage for remote location. *TECCIENCIA*. 2021/11/20, **16**, 15-28. Dostupné z: doi:10.18180/tecciencia.2021.31.2
- [7] MOHANTY, Parimita, K. Rahul SHARMA, Mukesh GUJAR, Mohan KOLHE a Aimie Nazmin AZMI. *PV System Design for Off-Grid Applications*. In: . Cham: Springer International Publishing, 2016, s. 49-83. ISBN 978-3-319-14663-8. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-14663-8\_3
- [8] DESPOTOVIC, Dr Zeljko a Milovan MAJSTOROVIC. *VOLTAGE STABILIZATION AND SYNCHRONISATION OF DC/AC POWER CONVERTERS IN MOBILE " OFF-GRID " SOLAR POWER SYSTEM*. 2016/11/24.
- [9] NOTTON, G. Hybrid wind-photovoltaic energy systems. In: *Stand-Alone and Hybrid Wind Energy Systems*. Elsevier, 2010, s. 216-253. ISBN 9781845695279. Dostupné z: doi:10.1533/9781845699628.2.216
- [10] ZHU, Yanmei, Shijun CHEN, Guangwen MA, Weibin HUANG, Xiaoyan HAN a Lijie DING. Complementary operation of a small cascade hydropower station group and photovoltaic power stations. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2020/09/01, **22**. Dostupné z: doi:10.1007/s10098-020-01896-x
- [11] RONG-JONG WAI a WEN-HUNG WANG. Grid-Connected Photovoltaic Generation System. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* [online]. 2008, **55**(3), 953-964 [cit. 2024-03-25]. ISSN 1549-8328. Dostupné z: doi:10.1109/TCSI.2008.919744

- [12] WOYTE, A., R. BELMANS a J. NIJS. Testing the islanding protection function of photovoltaic inverters. *IEEE Transactions on Energy Conversion* [online]. 2003, **18**(1), 157-162 [cit. 2024-03-25]. ISSN 0885-8969. Dostupné z: doi:10.1109/TEC.2002.808410
- [13] BAZILIAN, Morgan, Ijeoma ONYEJI, Michael LIEBREICH, et al. Re-considering the economics of photovoltaic power. *Renewable Energy* [online]. 2013, **53**, 329-338 [cit. 2024-03-25]. ISSN 09601481. Dostupné z: doi:10.1016/j.renene.2012.11.029
- [14] CALTECH. Space Solar Power Project. *Space Solar Power Project* [online]. [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://www.spacesolar.caltech.edu>
- [15] BRÁZDA, Kryštof. *Domovní fotovoltaická elektrárna* [online]. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117308>. Bakalářka práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.
- [16] MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 978-80-247-3525-2.
- [17] TAI, Qidong a Xing-Zhong ZHAO. Pt-free transparent counter electrodes for cost-effective bifacial dye-sensitized solar cells. *J. Mater. Chem. A* [online]. 2014, **2**(33), 13207-13218 [cit. 2024-05-23]. ISSN 2050-7488. Dostupné z: doi:10.1039/C4TA01404A
- [18] KUMBAROĞLU, Gürkan S., Mehmet Emre ÇAMLIBEL a Cem AVCI. TECHNO-ECONOMIC COMPARISON OF BIFACIAL VS MONOFACIAL SOLAR PANELS. *Engineering Structures and Technologies* [online]. 2021, 2021-12-31, **13**(1), 7-18 [cit. 2024-05-23]. ISSN 2029-882X. Dostupné z: doi:10.3846/est.2021.17181
- [19] SCHLIEGER. Jak vybrat nejlepší střídač pro fotovoltaiku: Vše, co potřebujete vědět. *Schlieger.cz* [online]. 2024 [cit. 2024-05-23]. Dostupné z: <https://schlieger.cz/blog/pruvodce-vyberem-stridace-pro-fotovoltaiku-vse-co-potrebujete-vedet/>
- [20] LORENZO, Eduardo. *Solar electricity: Engineering of photovoltaic systems*. Sevilla, Španělsko: PROGENSA, 1994. ISBN 84-86505-55-0.
- [21] SOLARREVIEWS.COM. *Canadian Solar CS3W-450MS solar panel* [online]. 2022 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.solarreviews.com/manufacturers/canadian-solar/solar-panels/canad49988hikucs3w450ms>
- [22] IFTECH S.R.O. Optimizéry. *IfTECH s.r.o* [online]. 2020, 6.4.2020 [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/cs/91-optimizery>
- [23] GROWATT NEW ENERGY. Growatt. *Global Leading Distributed Energy Solution Provider* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://en.growatt.com/>
- [24] HRZINA, Pavel. Cykly a životnost baterie. *TZB-info* [online]. 2020, 1.9.2020 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/21096-cykly-a-zivotnost-baterie>
- [25] GT ENERGY S.R.O. Příprava teplé vody pro rodinný dům. *Projektuj Tepelná Čerpadla* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-čerpadla.cz/cz/priprava-teple-vody-pro-rodinny-dum>

- [26] Phyllis2: wood, oak (#2148). *ECN Phyllis classification* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://phyllis.nl/Biomass/View/2148>
- [27] OPENAI. *ChatGPT 4o: Solar investment ROI* [online]. 2024 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://chatgpt.com/share/9a1259df-3d49-48c4-9b09-e8742338d910>
- [28] NEDELEA, Andrei. Bidirectional Charging EVs: V2G, V2H, And V2L Explained. *InsideEVs* [online]. 2024 [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://insideevs.com/features/709000/bidirectional-charging-v2l-v2g/>
- [29] BŘEZINOVÁ, Jana. UŠETŘENO.CZ S.R.O. Virtuální baterie do fotovoltaiky: Porovnání dodavatelů. *Elektřina.cz* [online]. 2020 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/virtualni-baterie-do-fotovoltaiky>
- [30] ČEZ PRODEJ, A.S. *Ceník elektřiny pro domácnosti: Elektřina pro soláry* [PDF]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ceniky/moo\\_ele\\_cez\\_pro\\_solary\\_080324\\_2024.pdf](https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ceniky/moo_ele_cez_pro_solary_080324_2024.pdf)
- [31] WIKIPEDIE, Příspěvatelé. Brownfield. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 2. 11. 2023 [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Brownfield>
- [32] SEPSCO. Off Grid Solar PV for Camera and WiFi Applications. *Sepeco-solarlighting.com* [online]. 2013 [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://www.sepco-solarlighting.com/blog/off-grid-solar-pv-for-camera-and-wifi-applications>
- [33] JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). *European Commission* [online]. [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR)
- [34] ČEZ PRODEJ, A.S. *Ceník elektřiny pro domácnosti: Elektřina Fix na 3 roky* [PDF]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ceniky/moo\\_ele\\_cez\\_fix\\_na\\_3\\_roky\\_010524\\_2024.pdf](https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ceniky/moo_ele_cez_fix_na_3_roky_010524_2024.pdf)

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, ZKRATEK A INDEXŮ

<i>Symbol</i>	<i>Veličina</i>	<i>Jednotka</i>
$\alpha$	Azimut panelu	°
$\alpha_S$	Sluneční azimut	°
$\beta$	Sklon panelu	°
$C$	Měrná cena	Kč/kWh; Kč/měsíc; Kč/l
$C_N$	Nominální kapacita baterie	kWh; Ah
$E$	Energie	Wh, kWh
$E_0$	Solární konstanta	W/m <sup>2</sup>
$\eta$	Účinnost	%
$\gamma_S$	Výška slunce	°
$J_{3x25}$	Stálá platba za příkon dle jističe	Kč/měsíc
$M$	Cena	Kč
$M_{pal}$	Množství paliva	kg
$n$	Počet	-
$n_c$	Počet cyklů baterie	-
$N_{vůz}$	Nájezd vozu	km
$O_{TE}$	Poplatek za činnost Operátora trhu s energiemi (OTE, a.s.)	Kč/měsíc
$P_{N\ max}$	Maximální nominální výkon	W
$Q$	Tepelná energie	kWh
$Q_i^r$	Výhřevnost paliva	MJ/kg
$ROI$	Return on investment (návrátnost investice)	%
$ROI\ FVS$	Návrátnost investice do fotovoltaického systému	%
$S$	Plocha	m <sup>2</sup>
$S_p$	Spotřeba (auta)	l/km; kWh/km
$SP$	Stálá platba	Kč/měsíc
$T$	Teplota	°C
$t_N$	Doba návratnosti	rok

$Tax_{EL}$	Daň z elektřiny	Kč/kWh
Z	Finanční zisk	Kč
<b>Index</b>	<b>význam</b>	
10	10 let	
15	15 let	
20	20 let	
30	30 let	
50	50 let	
2026	Pro rok 2026	
Bat-ex	Z baterie do sítě	
Bat-in	Do baterie	
Bat-out	Z baterie ke spotřebě	
Benz	Benzínový vůz	
ČEZ	Nákup v rámci ceníku Pro soláry	
ČEZ FIX	Nákup dle ceníku Elektřina fix na 3 roky	
ČEZ SOLAR	Využití ceníku Pro soláry	
DVT	Distribuce ve vysokém tarifu	
EV	Elektromobil	
ex	Export	
FIX+ENTRI	Nákup dle ceníku Elektřina fix na 3 roky a prodej dle ceníku SPOT500	
FV	Fotovoltaický panel	
FV-ex	Export do sítě z FV panelů	
FV-Sp	Z panelů ke spotřebě	
Im	Import – nákup	
im-Evplus	Import navíc kvůli provozu elektromobilu	
inv	Investice	
Krb	Krbová kamna	
N	Nominální	
Op	Optimistický scénář	

Pes	Pesimistický scénář
PKK	Plynový kondenzační kotel
PKK-Top	Z kotle k vytápění prostor
PKK-TV	Z kotle pro ohřev teplé vody
sell	Prodej (auta)
SOLAR	Výkup v rámci ceníku Pro soláry
sp	Spotřeba
SpFVS	Spotřeba krytá fotovoltaickým systémem
SS	Systémové služby
Stř	Střední scénář
sum	Součet
Top	Vytápění prostor
TV_Den	Potřeba teplé vody na den
U	Úspora
VsS	Vlastní spotřeba a samovybití baterie
VT	Vysoký tarif
Vybití	Vybití baterie
ZP	Zemní plyn
Ztráty	Ztráty a nepřesnosti systému

### **Zkratka**

### **Význam**

%	Procento
AC	Střídavý proud
ČEPS	Česká elektroenergetická přenosová soustava (ČEPS, a.s.)
ČR	Česká republika
DC	Stejnoseměrný proud
DPH	Daň z přidané hodnoty
DS	Distribuční soustava
EPS	Emergency Power Supply (Nouzové zásobování energií)
EV	Elektromobil

FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FVS	Fotovoltaický systém
$\infty$	Nekonečno
J	Jih
Kč	Koruna česká – cenová měna
km	Kilometr – jednotka vzdálenosti
kPa	Kilo pascal – jednotka tlaku
kW	Kilo watt – jednotka výkon
kWh	Kilo watt hodina, jednotka množství elektrické energie
OFVS	Ostrovní fotovoltaický systém
OS	Ostrovní systém
PKK	Plynový kondenzační kotel
RD	Rodinný dům
S	Sever
TV	Teplá voda
V	Východ
Z	Západ

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Rozdělení fotovoltaických systémů[1], překresleno autorem.....	11
Obr. 2: Schématický princip ostrovního fotovoltaického systému s akumulací pro napájení DC i AC spotřebičů [1] .....	14
Obr. 3: Příklady použití off-grid FV systémů s akumulací energie napříč oblastmi [8] .....	14
Obr. 4: Příklady využití FV systému s akumulací elektrické energie v oblasti komunikační a monitorovací [32] .....	15
Obr. 5: Schématický princip hybridního ostrovního fotovoltaického/větrného systému [1] .....	15
Obr. 6: Příklad zapojení hybridního FV-větrného systému s dieslovým generátorem [9] .....	16
Obr. 7: Rozložení fotovoltaických článků v panelu [1].....	19
Obr. 8: Graf hodnot solární konstanty na povrchu Země ve vybrané lokalitě v průběhu roku na základě typického meteorologického roku [33] .....	21
Obr. 9: Graf závislosti osvětlení plochy na azimutu a sklonu pro celý rok [1].....	22
Obr. 10: Princip střídače pro FVS připojený k síti [1] .....	23
Obr. 11: Fotografie vybraného RD s FV panely .....	25
Obr. 12: Sankeyho bilanční diagram elektrické energie pro rok 2023 vybraného RD ..	28
Obr. 13: Graf měsíční bilance spotřeby, produkce, importu a exportu pro rok 2023.....	32
Obr. 14: Fotovoltaický panel CanadianSolar HiKu CS3W-450MS [21] .....	34
Obr. 15: Vlevo optimizér TS4-A-O, vpravo TAP a CCA kit [22] .....	35
Obr. 16: Datové přenosové zařízení Growatt ShineWiFi-X [23] .....	36
Obr. 17: Baterie Growatt AKR 10.2H [23] .....	38
Obr. 18: Zapojení Hybridního střídače Growatt SPH 10000TL3 BH-UP [23], upraveno .....	39
Obr. 19: Hybridní střídač SPH 10000TL3 BH-UP [23]; upraveno .....	40
Obr. 20: Bilanční diagram tepelné energie v RD .....	42
Obr. 21: Počet osob v RD v průběhu roku a nároky na teplou vodu.....	43
Obr. 22: Grafické znázornění návratnosti FVS pro optimistický scénář.....	51
Obr. 23: Grafické znázornění návratnosti FVS pro pesimistický scénář .....	52
Obr. 24: Grafické znázornění návratnosti FVS pro střední scénář.....	53
Obr. 25: Grafické znázornění rozmezí návratností.....	54
Obr. 26: Grafické znázornění návratnosti FVS a EV .....	58



## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Přehled spotřebičů a jejich odhadovaných ročních spotřeb.....	27
Tab. 2: Hodnoty bilance elektrické energie RD.....	29
Tab. 3: Měsíční bilance spotřeby, produkce, importu a exportu pro rok 2023.....	31
Tab. 4: Základní parametry panelu CanadianSolar HiKu CS3W-450MS [21].....	33
Tab. 5: Rozdělení panelů na střeše vybraného RD.....	34
Tab. 6: Základní parametry optimizéru Tigo TS4-A-O [22].....	35
Tab. 7: Základní parametry zařízení Growatt ShineWiFi-X [23].....	36
Tab. 8: Základní parametry Li-ion baterie Growatt ARK 10.2H [23].....	37
Tab. 9: Základní parametry hybridního střídače SPH 10000TL3 BH-UP [23].....	40
Tab. 10: Základní parametry kotle THERM 17 KDZ.A.....	41
Tab. 11: Základní parametry bojleru OKC 100 NTR.....	41
Tab. 12: Hodnoty bilance tepelné energie RD.....	42
Tab. 13: Rozpis investičních nákladů na FV systém – převzato z cenové nabídky.....	45
Tab. 14: Hodnoty pro výpočet doby návratu investice do FVS.....	46
Tab. 15: Výsledné hodnoty ROI FVS pro optimistický scénář.....	51
Tab. 16: Výsledné hodnoty ROI FVS pro pesimistický scénář.....	52
Tab. 17: Výsledné hodnoty ROI FVS pro střední scénář.....	53
Tab. 18: Rekapitulace výsledků ROI pro daná období pro různé scénáře.....	54
Tab. 19: Určení spotřeby a dodatečného importu pro elektromobil.....	56
Tab. 20: Výsledné hodnoty ROI FVS a EV.....	59
Tab. 21: Předpoklady pro výpočet výhodnosti smluv pro následující tři roky.....	60
Tab. 23: Ceny elektřiny z ceníku Elektřina pro soláry [25].....	61
Tab. 23: Ceny elektřiny z ceníku Elektřina Fix na 3 roky [34]a SPOT500.....	61