



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**Fakulta elektrotechnická**  
**Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

**Návrh a optimalizace provozu PV systému s bateriovým  
úložištěm pro průmyslový objekt**

**Design and optimization of PV system with battery storage  
for industrial building**

Diplomová práce

Master thesis

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Management energetiky a elektrotechniky

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Králík, Ph.D.

**Bc. Vojtěch Češík**

**Praha 2022**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Češík** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **478079**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Návrh a optimalizace provozu PV systému s bateriovým úložištěm pro průmyslový objekt**

Název diplomové práce anglicky:

**Design and optimization of PV system with battery storage for industrial building**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište současný stav a budoucí vývoj v sektoru elektroenergetiky a dopravy v EU
- 2) Provedte analýzu dostupných PV technologií a jejich klíčových parametrů pro výroby elektřiny se zaměřením na systémy s akumulací energie
- 3) Popište a analyzujte vybraný komerční objekt a zhodnoťte praktickou aplikovatelnost PV systému
- 4) Navrhněte optimální PV systém s bateriovým úložištěm s návazností na budoucí využití elektromobilů a proveďte technické a ekonomické zhodnocení výsledného návrhu

Seznam doporučené literatury:

B. Sun, "A multi-objective optimization model for fast electric vehicle charging stations with wind, PV power and energy storage," J. Clean. Prod., vol. 288, p. 125564, Mar. 2021  
EUROPEAN COMMISSION: 2030 climate & energy framework  
MPO: Návrh vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu České republiky + Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility  
MPO:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Tomáš Králík, Ph.D. katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **07.02.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **20.05.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2023**

Ing. Tomáš Králík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Vojtěch Češík

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Tomáši Králíkovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, odborný dohled, a především také za cenné rady nejen v rovině akademické, ale také v té osobní. Rád bych také poděkoval panu prof. Ing. Oldřichovi Starému, CSc., doc. Dr. Ing. Janu Kynclovi a Ing. Pavlu Hrzinovi, Ph.D. za odborné konzultace. Děkuji též Ing. Richardovi Gáborovi, Ing. Tomáši Tomkovi a Miroslavovi Červenému ze společnosti reWATT s.r.o. za jejich čas a rady v oblasti realizace fotovoltaických systémů. Na závěr bych rád poděkoval především mým rodičům, kteří mi studium umožnili a po celou dobu jeho trvání mě podporovali.

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a optimalizací provozu fotovoltaického systému s bateriovým úložištěm pro průmyslový objekt. Je v ní popsán současný stav a také očekávaný budoucí vývoj v sektoru elektroenergetiky a dopravy v Evropské unii s ohledem na aktuální klimatické cíle. Následně je zde provedena charakteristika dostupných technických řešení fotovoltaických elektráren, přičemž hlavní důraz byl kladen především na analýzu možností jejich využití v průmyslových objektech. Práce se dále zabývá návrhem vhodného nastavení fotovoltaického systému a popisem matematického modelu, který slouží k simulaci reálného provozu navrženého systému za účelem výběru jeho optimální dimenze pomocí technického a ekonomického porovnání možných variant. Pro vybraný průmyslový objekt jsou v rámci práce posouzeny podmínky pro výstavbu elektrárny a je zde provedena také analýza potřeby elektrické energie včetně spotřebních diagramů. S využitím matematického modelu je pro daný objekt navržena vhodná dimenze fotovoltaického systému, a to i s ohledem na očekávaný budoucí rozvoj elektromobility. V závěrečné části práce je provedena analýza využití vyrobené elektrické energie a také ekonomické posouzení celého projektu.

## Klíčová slova

Solární energie, fotovoltaická elektrárna, bateriové úložiště, elektromobilita, optimalizace

## Abstract

The aim of this diploma thesis is the design and optimization of a photovoltaic system with a battery storage for an industrial building. The first part consists of the description of the current state and expected future development of the electric power engineering sector and transport in the European Union with regards to the current climatic objectives. Then, a characteristic of available technical solutions for photovoltaic power stations is described, with the analysis of possible implementation within industrial buildings being the priority. The second part consists of the design of a suitable setting of the photovoltaic system and the description of a mathematical model, which is used to simulate a realistic service of the designed system to select its optimal dimensions. The thesis contains the evaluation of needed requirements for building an electric power station within the industrial building, including an analysis of energy requirements and energy consumption diagrams. Using the mathematical model, an optimal dimension of the photovoltaic system for the industrial building is designed, with the expected course of future development of electromobility taken into consideration. The final part of the thesis consists of an analysis of use of produced electric energy and an economic evaluation of the entire project.

## Key words

Solar energy, photovoltaic power station, battery energy storage system, electromobility, optimization

# Obsah

1. Úvod .....	11
2. Klimatické cíle Evropské unie .....	12
2.1. Cíle pro rok 2020 .....	12
2.1.1. Obchodování s emisemi .....	13
2.2. Cíle pro rok 2030 .....	13
2.2.1. Pařížská dohoda .....	13
2.2.2. European Green Deal .....	13
2.2.3. Revidované cíle pro rok 2030 .....	14
3. Dopad cílů EU na sektor energetiky a dopravy .....	15
3.1. Budoucí vývoj v sektoru elektroenergetiky .....	16
3.1.1. Útlum fosilních a rozvoj obnovitelných zdrojů .....	16
3.1.2. Výstavba nových zdrojů elektrické energie .....	18
3.1.3. Elektroenergetika v České republice .....	19
3.2. Budoucí vývoj v sektoru dopravy .....	21
3.2.1. Elektromobilita v České republice .....	22
3.2.2. Vliv elektromobility na elektrizační soustavu ČR .....	23
3.2.3. Enviromentální přínos elektromobilů .....	24
3.3. Aktualizace závěrů s ohledem na současné dění .....	25
4. Využití PV systémů v průmyslových objektech .....	26
4.1. Klíčové komponenty PV systémů .....	27
4.1.1. Fotovoltaické panely .....	27
4.1.2. Měniče .....	28
4.1.3. Bateriové úložiště .....	28
4.2. Popis funkcí PV systémů .....	29
4.2.1. Systém bez BESS .....	29
4.2.2. Systém s BESS .....	29
4.2.3. Doplnující funkce systému .....	32
5. Návrh optimálního nastavení PV systému .....	34
5.1. Jednoduchý systém .....	34
5.1.1. Stanovení požadavků na výsledný systém .....	34
5.1.2. Vývojový diagram jednoduchého systému .....	34
5.2. Komplexní systém .....	35
5.2.1. Stanovení požadavků na výsledný systém .....	36
5.2.2. Predikce modelového spotřebního a výrobního diagramu .....	37



5.2.3. Snižování hodnot rezervované kapacity .....	39
5.2.4. Vývojový diagram komplexního systému .....	43
5.2.5. Výběr vhodné řídicí sestavy .....	46
6. Návrh výpočetního modelu .....	48
6.1. Model jednoduchého PV systému .....	48
6.1.1. Systém bez BESS .....	48
6.1.2. Systému s BESS .....	50
6.2. Model komplexního systému .....	53
6.2.1. Využití BESS pro PS .....	53
6.2.2. Využití volné části BESS .....	56
6.2.3. Přehled využití vyráběné elektřiny s BESS .....	58
6.2.4. Využití přebytečné elektřiny na dobíjení EV .....	59
6.3. Ekonomická část výpočetního modelu .....	60
6.3.1. Výpočet úspor a příjmů za prodej elektřiny .....	60
6.3.2. Výpočet výdajů .....	62
6.3.3. Ekonomické hodnocení projektu .....	63
7. Popis vybraného průmyslového objektu .....	65
7.1. Konstrukční parametry budovy .....	65
7.2. Zeměpisné faktory .....	66
7.3. Analýza spotřeby elektrické energie .....	66
7.3.1. Způsob připojení objektu .....	66
7.3.2. Roční spotřeba energie .....	66
7.3.3. Platby za elektrickou energii .....	67
7.3.4. Vytápění a chlazení objektu .....	68
7.3.5. Spotřební diagramy .....	69
7.4. Vozový park .....	71
8. Aplikace výpočetního modelu .....	73
8.1. Stanovení vstupů technické části modelu .....	73
8.1.1. Výchozí spotřební diagramy .....	73
8.1.2. Vstupy modelu spojené s instalací FVE .....	74
8.1.3. Vstupy modelu spojené s instalací BESS .....	76
8.1.4. Vstupy modelu spojené s dobíjením EV .....	77
8.2. Stanovení vstupů ekonomické části modelu .....	79
8.2.1. Míra inflace .....	79
8.2.2. Vstupy ovlivňující výši úspor a příjmů .....	80

8.2.3. Vstupy ovlivňující výši výdajů .....	81
8.2.4. Stanovení diskontní sazby .....	85
8.3. Přijaté zjednodušující předpoklady výpočtu .....	86
9. Popis navržených systémů .....	88
9.1. Optimální dimenze systémů .....	88
9.2. Přehled využití systémů .....	89
9.2.1. Jednoduchý systém .....	89
9.2.2. Komplexní systém .....	91
9.3. Ekonomické zhodnocení .....	94
9.4. Citlivostní analýza.....	96
9.4.1. Výchozí cena elektrické energie.....	96
9.4.2. Průměrný roční růst cen elektřiny po roce 2028 .....	97
9.4.3. Průměrný roční růst cen rezervované kapacity .....	98
9.4.4. Výše dotace .....	98
9.4.5. Diskontní sazba .....	100
9.2. Závěrečné zhodnocení projektu.....	101
10. Závěr.....	102
Seznam použité literatury .....	104
Seznam použitých zkratk.....	110
Seznam použitých značek a symbolů .....	111
Seznam grafů.....	114
Seznam obrázků .....	115
Seznam tabulek.....	115

# 1. Úvod

Odvětví energetiky a dopravy v Evropské unii momentálně prochází velmi dynamickým vývojem. Za hlavní příčinu tohoto dění by se dala označit především snaha o zvýšení energetické nezávislosti a také o omezování negativních dopadů lidské činnosti na životní prostředí. Jelikož právě tyto dva sektory se na tvorbě emisí podílí nejvíce, není překvapením, že na ně má aktuální klimatická politika významný dopad. V současné době jsme tak svědky útlumu fosilních zdrojů, které jsou nahrazovány zdroji obnovitelnými. Tento trend by se měl navíc v budoucnu ještě urychlovat.

Také v sektoru dopravy se očekává odklon od vozů se spalovacím motorem. Pro zajištění adekvátní náhrady je zatím jediným ve větší míře realizovatelným východiskem elektrifikace vozového parku. V tomto ohledu je ale nutné zdůraznit, že přestože jsou elektromobily obecně považovány za bezemisní, ve skutečnosti to platí pouze pro emise lokální. Celková emisní stopa je pak závislá na energetickém mixu dané země. Enviromentální přínos elektromobility je tak do značné míry závislý právě na úspěšné transformaci elektroenergetiky. Rozvoj elektromobility navíc zcela jistě zapříčiní významný nárůst spotřeby elektrické energie, z čehož lze usuzovat, že potřeba nových ekologických zdrojů se v budoucnu bude zvyšovat. Je tedy zřejmé, že zajímat se o kombinaci ekologických fotovoltaických zdrojů a elektromobility má zcela jistě smysl, neboť tato dvě odvětví spolu velmi úzce souvisí.

Právě tuto souvislost je velmi důležité respektovat a již v dnešní době ji při návrhu fotovoltaických systémů zahrnout do úvahy. Již v blízké budoucnosti totiž bude pravděpodobně možné využívat přebytečnou vyrobenou elektřinu právě k dobíjení elektromobilů. Tato skutečnost by přitom mohla výrazně ovlivnit návrh systému, kdy by potenciálně mohlo dojít ke změně optimální dimenze, a také ke zvýšení rentability celého projektu. Hlavní potenciál v tomto ohledu spatřuji především v rámci průmyslových objektů, kam obvykle zaměstnanci dojíždí automobily za prací. Dané vozy tak v průběhu dne stojí v areálu budovy a bylo by potenciálně možné je dobíjet elektřinou vyráběnou přímo v daném místě. Hlavním cílem této práce tedy bude pro vybraný průmyslový objekt navrhnout vhodnou konfiguraci fotovoltaického systému s bateriovým úložištěm a zjistit, zda je investice do takového projektu výhodná. Při návrhu bude brán v úvahu také očekávaný budoucí rozvoj elektromobility a následně bude posouzen vliv tohoto faktoru na výsledný návrh.

V první části bude nejprve za účelem opodstatnění významu fotovoltaických zdrojů popsán současný stav a také očekávaný budoucí vývoj v sektoru elektroenergetiky a dopravy v Evropské unii s ohledem na aktuální klimatické cíle. Následně bude provedena charakteristika dostupných technických řešení fotovoltaických elektráren, přičemž hlavní důraz bude kladen na analýzu možností jejich využití v průmyslových objektech.

Další část bude zaměřena na návrh vhodného nastavení fotovoltaického systému a popis matematického modelu, který slouží k simulaci jeho reálného provozu za účelem výběru optimální dimenze. Pro vybraný průmyslový objekt budou v rámci práce posouzeny podmínky pro výstavbu elektrárny a bude zde provedena také analýza potřeby energie včetně spotřebních diagramů. S využitím matematického modelu bude pro daný objekt navržena vhodná dimenze fotovoltaického systému, a to i s ohledem na očekávaný budoucí rozvoj elektromobility. V závěrečné části práce je provedena analýza využití vyrobené elektrické energie a také ekonomické posouzení celého projektu včetně citlivostních analýz.

## 2. Klimatické cíle Evropské unie

Zajištění dostatečného množství energie bylo, a i nadále bude, jednou z hlavních podmínek rozvoje společnosti. Bez stabilního a ekonomicky efektivního přístupu k surovinám a energiím není možné udržet ekonomickou, sociální a ani politickou stabilitu [1]. V současné době je však kromě zajištění dostatečného množství energie čím dál více kladen důraz i na způsoby, kterými je získávána a následně spotřebována.

Hlavním důvodem tohoto vývoje je především snaha o snížení vlivu lidské činnosti na globální změny klimatu, jejichž příčinou je takzvaný skleníkový efekt. Skleníkové plyny, které ho způsobují, se v atmosféře vyskytují zcela běžně a jejich koncentrace se v dlouhodobém horizontu mění přirozeně. V důsledku lidské činnosti se však tato koncentrace v posledních dekádách výrazně zvyšuje, což k soustavnému oteplování zcela jistě přispívá.

Dle prognóz uvedených v [2] by navýšení průměrné globální teploty o více než 2 °C oproti teplotám běžným v předindustriálním období mělo velice negativní dopad na životní prostředí a mohlo by zapříčinit dokonce nezvratné změny s velmi nepříznivým vlivem nejen na kvalitu lidského života. Evropská unie se tato rizika snaží snižovat a přijímá opatření, jejichž cílem je tyto vlivy co možná nejvíce omezit.

### 2.1. Cíle pro rok 2020

První balíček v rámci EU v oblasti klimatu a energetiky byl dohodnut již v roce 2008. Tento balíček stanovil cíle, které měly být dosaženy do roku 2020, přičemž hlavní z těchto cílů dle [3] jsou uvedeny v následujících bodech:

- Snížení emisí skleníkových plynů o 20 % oproti úrovním roku 1990
- Zvýšení podílu energie z obnovitelných zdrojů na 20 %
- Zvýšení energetické účinnosti o 20 %

Jelikož lhůta pro naplnění těchto cílů již uplynula, lze provést zhodnocení jeho průběhu. Dle [4; 5] byly všechny z uvedených cílů splněny, přičemž v rámci celé Evropské unie došlo ke snížení hrubých emisí skleníkových plynů dokonce o 31 % v porovnání s rokem 1990, což je pokles výrazně přesahující cílovou hodnotu.

V oblasti obnovitelných zdrojů dosáhla EU podílu výroby na celkové spotřebované energii ve výši 21,3 %. Využívání OZE v dopravě roste pomaleji, ale předběžné údaje naznačují, že EU těsně dosáhla i 10% využití obnovitelné energie v tomto odvětví.

Co se týká energetické účinnosti, spotřeba primární energie a konečná spotřeba energie poklesla pod cílovou úroveň, a to o 5 %, respektive o 3 %. Je však nutné poznamenat, že tohoto snížení bylo dosaženo spíše vlivem omezení v roce 2020 v důsledku pandemie onemocnění COVID-19.

Z uvedených informací je zřejmé, že v širším měřítku skutečně došlo k naplnění stanovených cílů. Na úrovni jednotlivých členských států však ke splnění dílčích cílů v mnohých případech nedošlo. Například požadovaného snížení emisí dle [5] dosáhlo pouze 21 států EU. Země, které daný cíl nesplnily, byly Bulharsko, Kypr, Finsko, Irsko, Malta, ale například i Německo, které je obecně považováno za světového leadera ve výrobě energie z obnovitelných zdrojů [6].

### 2.1.1. Obchodování s emisemi

Balíček cílů pro rok 2020 byl přelomový také z toho důvodu, že v zájmu dosažení cílů Evropská unie vytvořila a později reformovala systém pro obchodování s emisemi nazývaný EU ETS, jehož účelem je snížit emise skleníkových plynů zejména z energeticky náročných průmyslových odvětví a elektráren. V současné době EU ETS pokrývá přibližně 40 % z celkových emisí produkovaných v rámci Unie [7].

Celý systém funguje na bázi takzvaných emisních povolenek. Jedna taková povolenka je ekvivalentem tuny oxidu uhličitého, případně oxidu dusného nebo perfluorovaných uhlovodíků vypouštěných do ovzduší. Držitele jedné povolenky proto opravňuje k vypuštění jedné tuny zmíněných emisí [8].

Tento nástroj motivuje ke snižování emisí skleníkových plynů co nejefektivnějším způsobem, jelikož subjekty, které mají možnost redukovat emise s nižšími náklady, mohou uspořené emisní povolenky nebo jiné emisní kredity prodat těm, u nichž by taková redukce byla nákladnější.

## 2.2. Cíle pro rok 2030

V rámci dlouhodobějších výhledů bylo samozřejmě potřeba vytyčit směr také pro budoucí období. Již v roce 2014 byl tedy dohodnut rámec politiky v oblasti klimatu a energetiky obsahující ambicióznější soubor cílů pro období let 2021–2030, přičemž cíle v oblasti obnovitelných zdrojů a energetické účinnosti byly v roce 2018 dodatečně revidovány a navýšeny. Tyto cíle dle informací dostupných z [9] jsou uvedeny v následujících bodech:

- Snížení emisí skleníkových plynů alespoň o 40 % oproti roku 1990
- Zvýšení podílu energie z OZE na celkové spotřebě alespoň na 32 %
- Zvýšení energetické účinnosti alespoň o 32,5 %

### 2.2.1. Pařížská dohoda

Z uvedených cílů je patrné, že Evropská unie vnímá důležitost omezení klimatických změn a v celosvětovém měřítku zaujímá v tomto ohledu vedoucí postavení [10]. Jak však vyplývá z informací uvedených v úvodu kapitoly 2, změna klimatu a zhoršování životního prostředí představují existenciální hrozbu nejen pro Evropskou unii, ale pro celý svět. Není tedy divu, že se o snižování negativních dopadů na životní prostředí snaží i další státy.

V zájmu udržení nárůstu průměrné globální teploty výrazně pod hranicí 2 °C oproti teplotám běžným v předindustriálním období byla v roce 2015 dojednána Pařížská dohoda, jejíž ratifikací se doposud 192 zemí po celém světě zavázalo činit kroky odpovídající tomuto záměru [11]. Všechny členské státy Evropské unie v souladu se závazkem plynoucím z podpisu a ratifikace Pařížské dohody odsouhlasily, že EU nasměrují na cestu k tomu, aby se do roku 2050 stala první klimaticky neutrální ekonomikou a společností. Toto rozhodnutí vstoupilo v platnost v roce 2019, kdy ho schválila Evropská rada.

### 2.2.2. European Green Deal

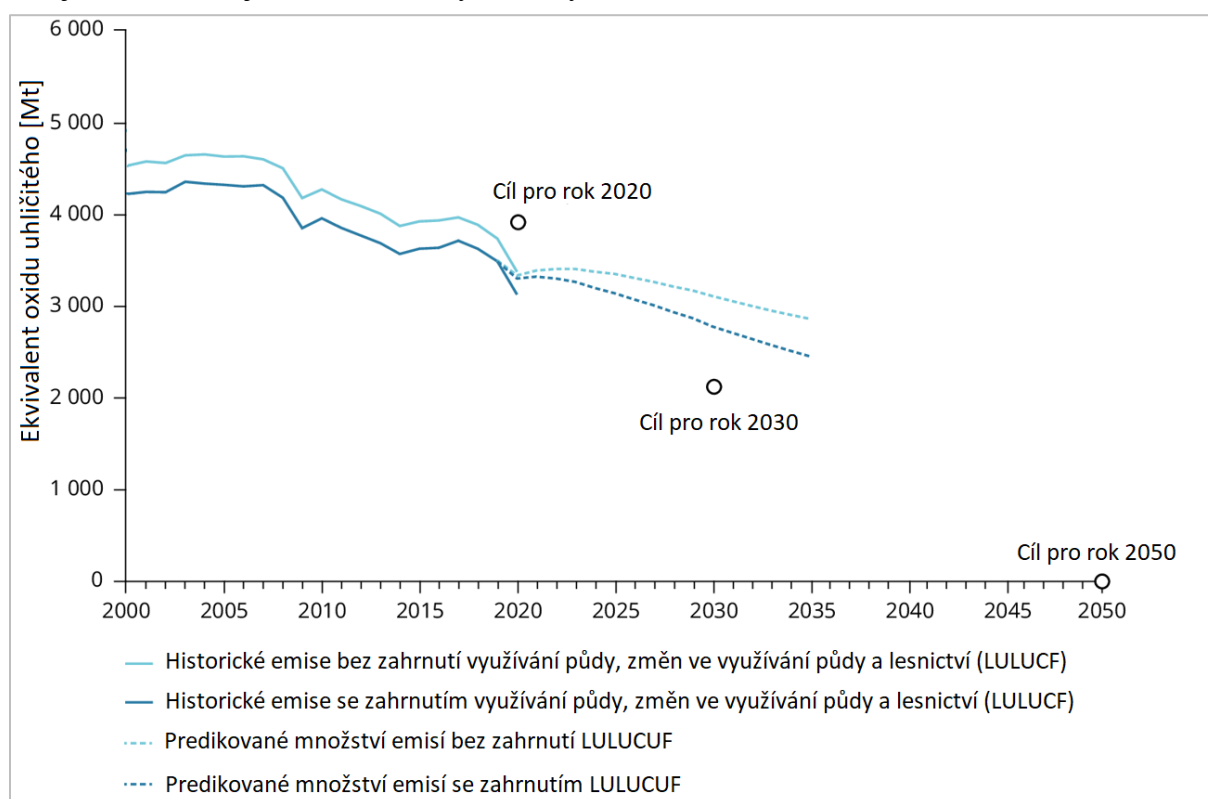
Takto ambiciózní rozhodnutí, kterým transformace EU na klimaticky neutrální společnost jistě je, přináší celou řadu výzev. K jejich překonání představila EU v roce 2019 plán s názvem Zelená dohoda pro Evropu. Tento plán stanoví, jakým způsobem učinit z Evropy do roku 2050 první klimaticky neutrální kontinent, jak oživit hospodářství, zlepšit zdraví a kvalitu života občanů a pečovat o přírodu tak, aby nikdo nebyl opomenut.

Zelená dohoda pro Evropu se vztahuje na všechna odvětví hospodářství, zejména na energetiku, dopravu, zemědělství, budovy a průmyslová odvětví, jako je ocelářský průmysl, výroba cementu, informační a komunikační technologie, textilní a chemický průmysl [12].

Jako důležitou součást Zelené dohody představila Evropská komise v roce 2020 také návrh nařízení, kterým se stanoví rámec pro dosažení klimatické neutrality, takzvaný evropský právní rámec pro klima. Nařízení zakotvuje závazek EU dosáhnout do roku 2050 klimatické neutrality do právní úpravy. Evropský právní rámec pro klima tak stanoví cíl a směřování veškeré politiky EU na období do roku 2050 [13].

### 2.2.3. Revidované cíle pro rok 2030

V zájmu dosažení klimatické neutrality ve stanoveném termínu uvedla Evropská komise v roce 2020 nový plán na snížení emisí skleníkových plynů v EU do roku 2030 nejméně o 55 % ve srovnání s rokem 1990 [9]. Jedná se tak o změnu původních cílů popsanych v rámci úvodu podkapitoly 2.2. Za účelem splnění tohoto cíle byl v roce 2021 zveřejněn balíček Fit for 55, který obsahuje celkem 13 legislativních návrhů, z nichž některé upravují již existující legislativu, zatímco jiné přinášejí zcela nový právní rámec. Za zmínku stojí zcela jistě například plán revize systému emisního obchodování EU ETS, či změna směrnice o obnovitelných zdrojích, dle které je nutné současný cíl navýšit z 32 % až na 40 % [14].



Graf 2.1 - Historický trend a budoucí predikce emisí v EU, převzato z [15] a volně přeloženo

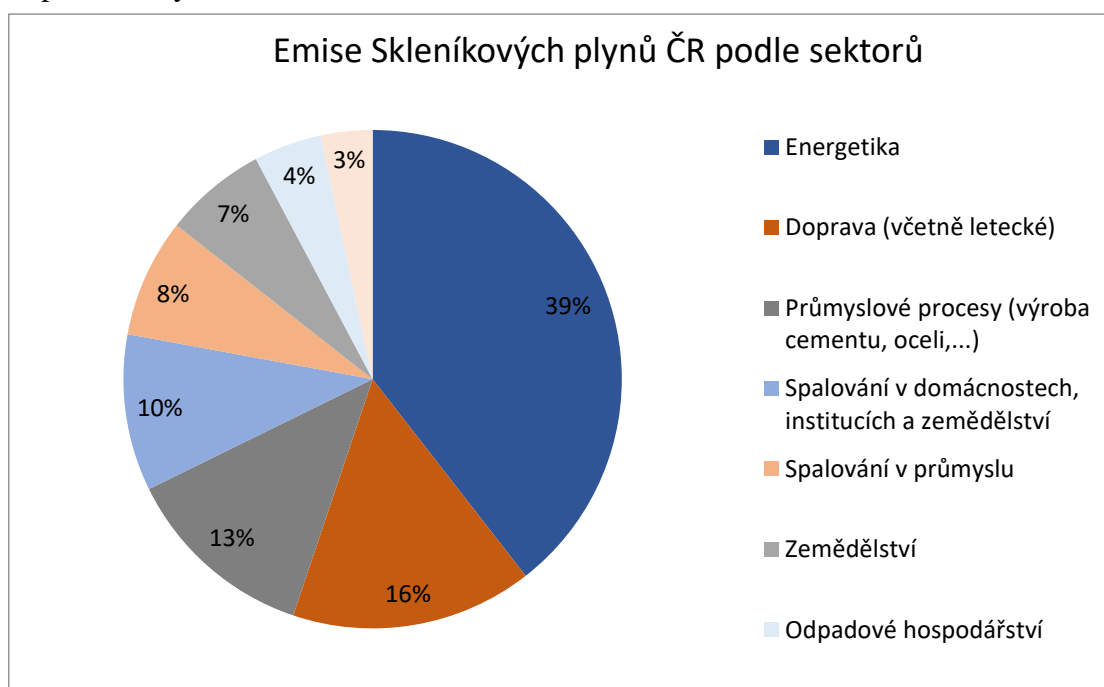
Je více než zřejmé, že nově navrhované cíle jsou velmi ambiciózní. To dokládá i Graf 2.1, který zobrazuje historický vývoj a také budoucí prognózy emisí skleníkových plynů v rámci Evropské unie. Tyto prognózy, které byly vytvořeny na základě souhrnu aktuálních dílčích cílů jednotlivých států EU, jasně ukazují, že v současnosti nastavené cíle napříč členskými státy by pro splnění nově stanovených limitů nedostačovaly a bude potřeba provést jejich zpřísnění [15].

### 3. Dopad cílů EU na sektor energetiky a dopravy

V rámci předchozích podkapitol byly popsány klimatické cíle Evropské unie a také důvody jejich zavedení. Z rozsahu jednotlivých cílů lze usuzovat, že jejich plnění bude mít významný dopad na naprostou většinu odvětví a zejména pak na ta odvětví, která jsou nejvíce zodpovědná za vypouštění skleníkových plynů.

Z informací uvedených v [16] vyplývá, že v rámci Evropské unie se na tvorbě emisí nejvíce podílí sektor energetiky, přičemž jeho celkový podíl je přibližně 24 %. Na druhém místě pak figuruje sektor dopravy s podílem 18 %. Dalšími významnými znečišťovateli jsou především průmyslové objekty, domácnosti a zemědělství.

Přesné podíly, kterými jednotlivá odvětví přispívají, se samozřejmě v rámci jednotlivých členských států liší. Následující graf znázorňuje rozdělení emisí v České republice dle [17]. Ze zobrazených hodnot jasně vyplývá, že v ČR je podíl, kterým ke znečištění přispívá sektor elektroenergetiky, ještě výrazně vyšší než průměrná hodnota v rámci EU. To je samozřejmě dáno složením energetického mixu České republiky, který je stále výrazně závislý na fosilních zdrojích, při jejichž spalování vzniká značné množství emisí [18]. Konkrétně v roce 2020 se fosilní zdroje na výrobě energie podílely celkem z 52,5 %, přičemž 40 % je zastoupeno hnědým uhlím [19].



Graf 3.1 - Rozdělení emisí v České republice dle sektorů za rok 2018, vlastní tvorba dle dat z [17]

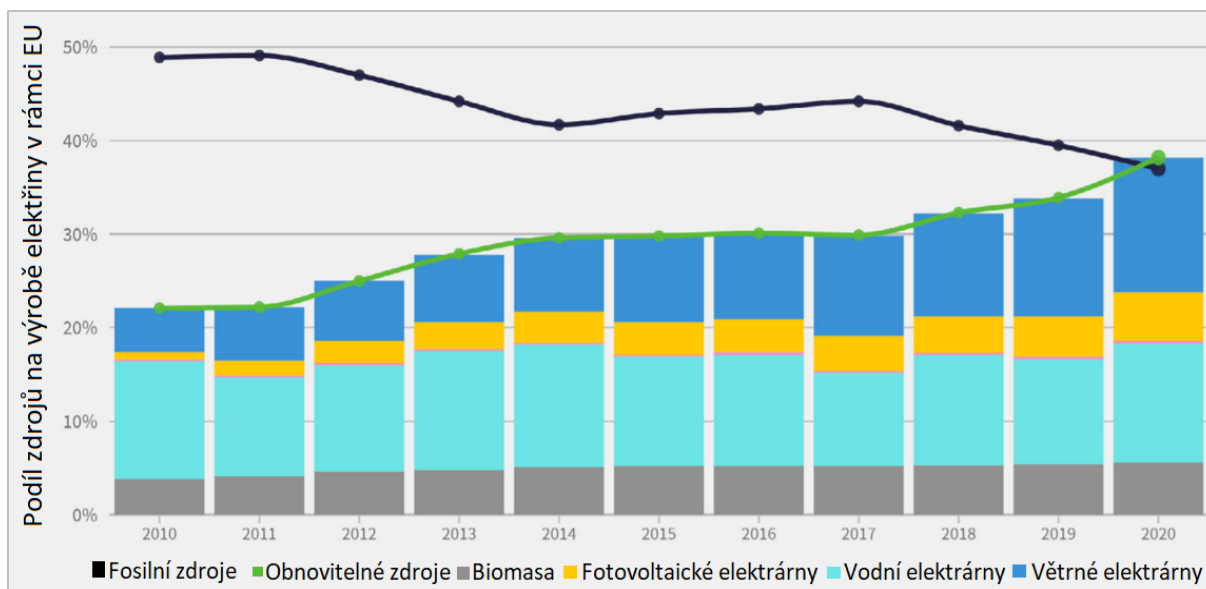
Při konfrontaci uvedených klimatických cílů s těmito daty je naprosto zřejmé, že snaha o snižování emisí zcela jistě významně zasáhne právě i sektor energetiky a dopravy jakožto dva hlavní emitenty skleníkových plynů. Budoucí vývoj v rámci těchto odvětví tedy pravděpodobně bude velmi dynamický a pokud je třeba učinit v rámci takového vývoje informované rozhodnutí, které se týká například investice do nového zdroje energie, je naprosto klíčové analyzovat předpokládaný budoucí vývoj a jeho případný vliv na řešený projekt. Za tímto účelem bude v rámci následujících podkapitol popsán očekávaný budoucí vývoj elektroenergetiky a dopravy v Evropské unii se zaměřením na Českou republiku.

### 3.1. Budoucí vývoj v sektoru elektroenergetiky

Jak bylo zmíněno v předešlém textu, odvětví elektroenergetiky je v rámci Evropské unie nejvýznamnějším producentem emisí. Je tedy více než zřejmé, že popsané klimatické cíle mají, a i nadále budou mít, výrazný vliv na dění v tomto sektoru. Předmětem této podkapitoly tedy bude popsat dosavadní vývoj, současný stav a také očekávaný budoucí vývoj v odvětví elektroenergetiky, a to jak v rámci Evropské unie jako celku, tak i v rámci České republiky.

#### 3.1.1. Útlum fosilních a rozvoj obnovitelných zdrojů

V rámci podkapitoly 2.1 byly popsány klimatické cíle pro rok 2020, které měly v posledních letech na sektor elektroenergetiky zásadní vliv. Typickým jevem těchto let bylo především snižování podílu, kterým se na výrobě elektrické energie podílejí fosilní zdroje, a naopak zvyšování podílu, kterým se na výrobě podílejí zdroje obnovitelné. Tato situace je znázorněna i v následujícím grafu, který zobrazuje vývoj zmíněných podílů v rámci Evropské unie za minulou dekádu dle [20].



Graf 3.2 - Vývoj podílů fosilních a obnovitelných zdrojů v rámci Evropské unie, převzato z [20] a volně přeloženo

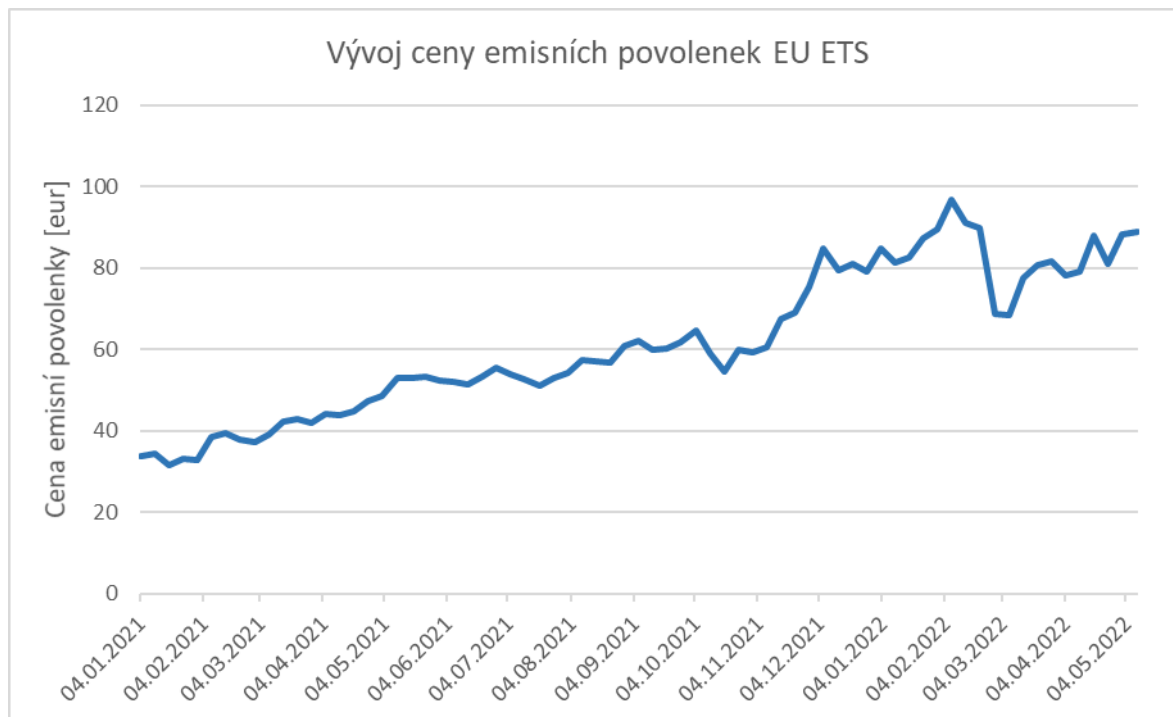
Co se týká rozdělení OZE na jednotlivé zdroje, nejvíce zastoupeny byly především větrné elektrárny, které se na výrobě podílely ze 14 %. Dále pak elektrárny vodní, u kterých je ale nutné poznamenat, že jejich instalovaný výkon se na rozdíl od zbývajících obnovitelných zdrojů v posledních letech prakticky nemění a změny ve výrobě jsou dány pouze změnami průtoku. Téměř shodný příspěvek pak měly zdroje využívající biomasu a také fotovoltaické elektrárny, jejichž podíl v poslední době rostl spolu s podílem větrných zdrojů nejrychleji.

Jedním z klíčových mechanismů, který popsaný trend snižování podílu fosilních zdrojů podporuje, je právě systém obchodování s emisemi EU ETS, jehož zavedení již bylo stručně popsáno v rámci podkapitoly 2.1.1. Tento systém udává horní hranici celkových emisí pro určené sektory, mezi které spadá právě i elektroenergetika. Tato hranice je dána celkovým množstvím vydaných emisních povolenek. Elektrárny spalující fosilní paliva s tepelným příkonem nad 20 MW jsou do zmíněného systému zahrnuty a v souvislosti s tím jsou nuceny za vypouštění emise platit. Jelikož se v průběhu let horní hranice emisí snižuje a vydávaných emisních povolenek ubývá, jejich cena postupně roste a tím snižuje konkurenceschopnost fosilních zdrojů oproti zdrojům ekologickým [21; 22].



Množství vydávaných povolenek navíc v následujících letech bude klesat ještě rychleji, jelikož revidovaná verze systému nově plánuje snížit celkové množství emisí zahrnuté v systému EU ETS o 61 % do roku 2030, což je výrazné navýšení oproti původně plánovaným 40 %. Tato verze navíc předpokládá ukončení přidělování bezplatných povolenek do roku 2025 [21]. Tlak na provozovatele fosilních zdrojů tedy v dohledné době bude ještě narůstat.

Je však otázkou, zda samotné emisní povolenky budou mít kýžený efekt. Dodatečné náklady, které nákup emisních povolenek pro elektrárny spalující fosilní paliva znamená, jsou závislé právě na ceně emisních povolenek. Vývoj této ceny za necelý rok a půl je zobrazen v následujícím grafu.



Graf 3.3 - Vývoj ceny emisní povolenky EU ETS, vlastní tvorba dle dat z [23]

Z vyznačeného průběhu lze vidět, že během minulého roku se cena emisních povolenek více než zdvojnásobila, čímž se samozřejmě výrazně zvýšily i náklady fosilních zdrojů na výrobu elektřiny. To by zcela logicky dle principu funkce emisních povolenek mělo vést k jejich výraznému odstavování, nicméně v praxi se tak nestalo. Je totiž nutné si uvědomit, že růst ceny povolenky v tomto konkrétním případě nebyl důvodem pro odstavení fosilních zdrojů, nýbrž spíše následkem jejich zvýšené potřeby. Ta nastala především v důsledku výrazného zdražení plynu, což do značné míry podnítilo nárůst využívání uhlí k výrobě elektřiny na klíčových trzích, jelikož tento způsob byl i přes nutnost nákupu emisních povolenek z ekonomického pohledu výhodnější. Větší využívání uhlí samozřejmě zvýšilo množství produkovaných emisí a tím pádem došlo také k navýšení poptávky po emisních povolenkách. Následný růst jejich ceny se pouze promítl do výsledných cen elektrické energie, které samozřejmě také dramaticky vzrostly [24].

Z výše uvedených informací je zřejmé, že aby emisní povolenky skutečně snižovaly konkurenceschopnost uhelných elektráren, je nejprve zapotřebí zajistit jejich náhradu v adekvátní výši, která zaručí, že se uhelné zdroje na trhu skutečně neuplatní. V opačném případě by docházelo pouze k růstu cen elektřiny vlivem růstu cen emisních povolenek, přičemž fosilní zdroje by v zájmu uspokojení poptávky dále nacházely uplatnění.

### 3.1.2. Výstavba nových zdrojů elektrické energie

V předešlé podkapitole byly jasně uvedeny důvody, z nichž vyplývá nutnost výstavby nových zdrojů elektrické energie, které nahradí stávající elektrárny spalující fosilní paliva. V tomto ohledu je tedy nezbytné, aby finanční investice v budoucnu směřovaly právě do udržitelných projektů zahrnující právě i ekologické zdroje elektřiny. Základní otázkou však je, jaké zdroje jsou v tomto ohledu vlastně vhodné. Evropská unie za účelem zodpovězení této otázky vytvořila společný klasifikační systém pro udržitelné hospodářské činnosti, neboli taxonomii EU, který jasně stanoví, které projekty lze považovat za udržitelné.

Tento systém umožňuje vykazovat, jak moc udržitelná, nebo naopak škodlivá, je činnost firmy ve vztahu k životnímu prostředí a klimatu. Investoři, kteří si uvědomují rizika plynoucí ze změn klimatu pak budou spíše vkládat finance do takových činností, které jsou opravdu udržitelné, z čehož by teoreticky plynula vyšší konkurenceschopnost takových projektů. Primárně je tedy taxonomie nástrojem pro finanční trhy, nicméně je možné, že orgány EU nebo jednotlivé členské země budou systém využívat pro své vlastní hodnocení ekonomických aktivit, například při rozdělování dotací nebo schvalování státní podpory. Na dotace na klimatickou transformaci ekonomiky by tedy v budoucnu potenciálně mohly mít nárok jen ty projekty, které jsou dle taxonomie transparentně označeny jako udržitelné. V tuto chvíli ale zdaleka není jasné, v jakém rozsahu k takovému využití dojde, a už vůbec není možné automaticky předpokládat, že na všechny činnosti označené v taxonomii za udržitelné bude EU automaticky poskytovat dotace [25; 26].

Pro odvětví elektroenergetiky mezi podporované projekty pochopitelně patří výstavba OZE, a to včetně akumulace elektrické energie [27]. Je však zřejmé, že okamžitá náhrada většího počtu fosilních zdrojů těmi obnovitelnými není z pohledu některých členských států realistická a je tedy otázkou, jaké další zdroje bude možné považovat za zelenou investici. Podle posledního návrhu Evropské komise z konce minulého roku by tedy mezi udržitelné zdroje energie měly být zařazeny také jaderné a plynové elektrárny, na které do značné míry spoléhá například i ČR. V obou uvedených případech je však jejich zařazení spojeno s poměrně přísnými doplňujícími podmínkami [28].

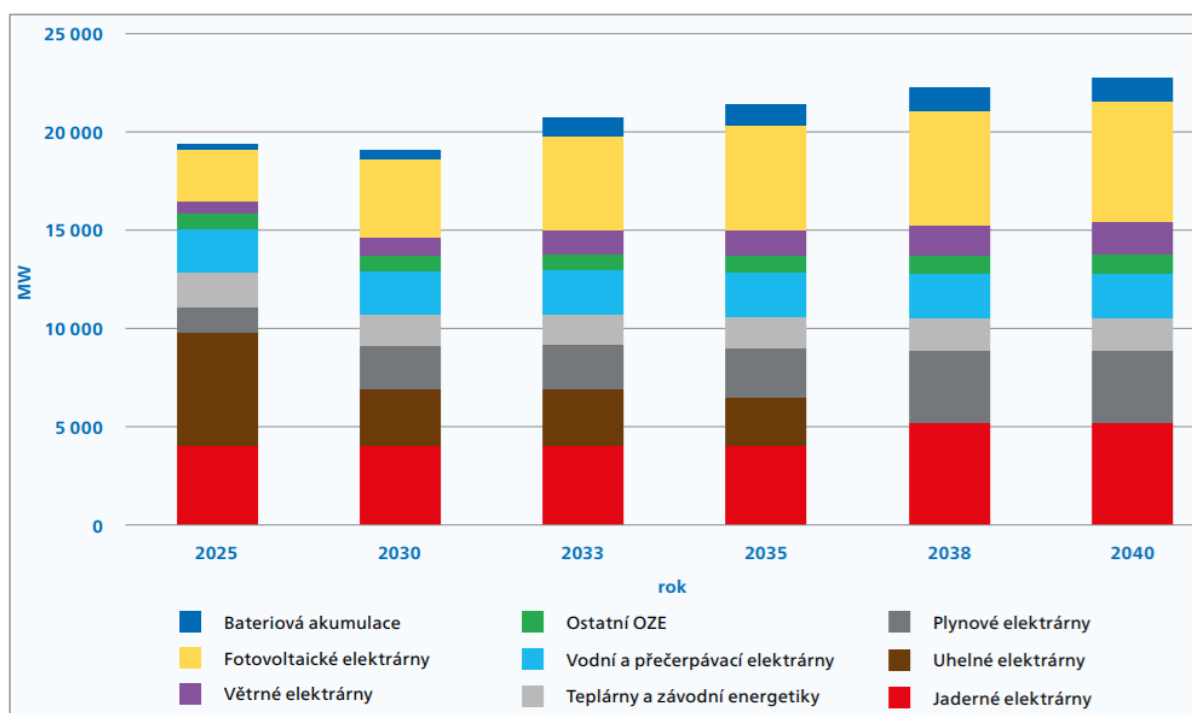
Projekty výstavby jaderných elektráren mají například dostat zelený status, jen pokud budou zahájeny nejpozději do roku 2045. Stavby nových i modernizace stávajících bloků mají navíc podléhat schválení ze strany EU, takzvané notifikaci. Nové zdroje by navíc bylo možné stavět jen za dodržení přísných podmínek nakládání s jaderným odpadem.

Přísná jsou i pravidla pro nové plynové zdroje, které mají být podle návrhu přijatelné dokonce pouze do roku 2030. Zelený status například hodlá Evropská komise přiznat jen těm plynovým elektrárnám nebo teplárnám, které se staví jako přímá náhrada uhelných. A to pouze v případě, že je nelze nahradit obnovitelným zdroji. Plynové elektrárny navíc budou muset dodržovat velmi přísné emisní limity a například již od roku 2026 mají spolu s fosilním zemním plynem spalovat také bezemisní plyn, tedy vodík či bioplyn. To koresponduje také s emisními limity, které byly v rámci taxonomie pro výrobu elektřiny stanoveny. Za takzvané technologicky neutrální budou považovány zdroje s emisní intenzitou do 100 gCO<sub>2</sub>e/kWh. Naopak zdroje s intenzitou vyšší než 270 gCO<sub>2</sub>e/kWh budou považovány za škodlivé [29]. Při porovnání těchto hodnot s měrnými emisemi plynových a paroplynových elektráren, které se například v Německu pohybují průměrně okolo 410 gCO<sub>2</sub>/kWh, dojdeme k závěru, že plynové zdroje zaujmou v transformaci energetiky spíše přechodnou roli [30].

### 3.1.3. Elektroenergetika v České republice

Jak vyplývá z informací uvedených v rámci předchozí podkapitoly, v rámci Evropské unie by do budoucna mělo docházet k útlumu fosilních, a naopak výraznému rozmachu obnovitelných zdrojů, které by měly uhelné zdroje nahradit. Pouze jako přechodné zdroje umožňující tuto transformaci lze při splnění popsanych podmínek uvažovat jaderné a plynové elektrárny. Jednotlivé členské státy však mají rozdílné potenciály pro využití OZE a pro některé z nich bude tedy ona transformace výrazně složitější.

Jedním z těchto států je právě i Česká republika. V současné době je energetický mix ČR velmi závislý na fosilních a jaderných zdrojích. Konkrétní výše podílů pro rok 2020 byla 48 % pro fosilní a 37 % pro zdroje jaderné [31]. Z těchto hodnot lze usuzovat, že úplná náhrada těchto zdrojů těmi obnovitelnými není v dohledné budoucnosti v tuzemsku možná, což vyplývá i ze závěrů [28]. V příštích letech tak bude v České republice pravděpodobně docházet spíše k postupné transformaci s využitím přechodných zdrojů. Tato situace je patrná i z následujícího grafu, který zobrazuje netto instalovaný výkon pro jednotlivé roky a kategorie zdrojů dle takzvaného koncepčního scénáře předpokládaného v [32].

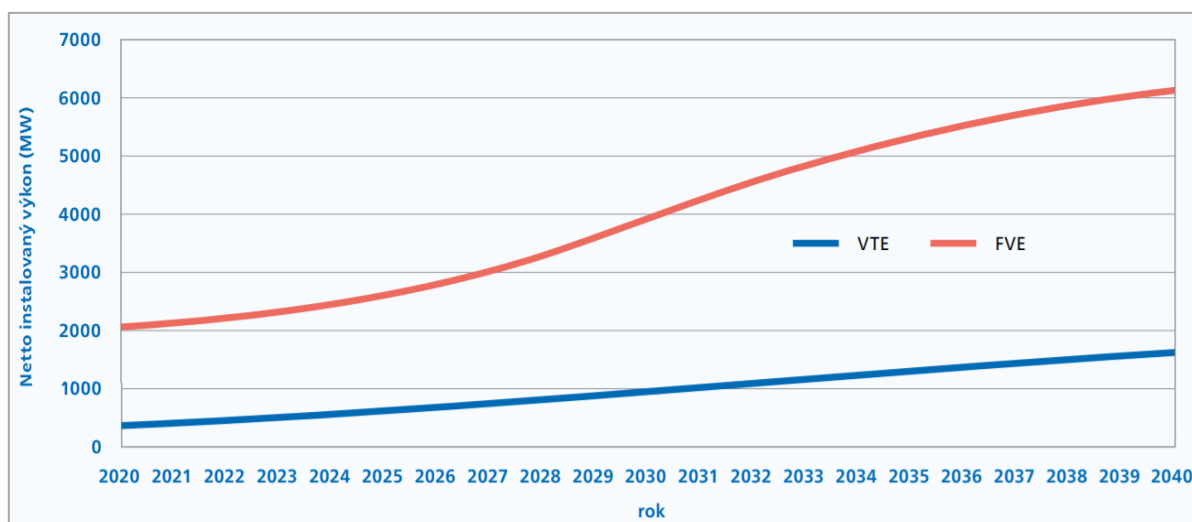


Graf 3.4 - Netto instalovaný výkon pro jednotlivé roky a kategorie zdrojů dle koncepčního scénáře

Tento scénář předpokládá hned několik klíčových faktorů. Prvním z nich je transformace teplárenství a závodních energetik z uhlí na zemní plyn, biomasu, odpad, popřípadě jiná paliva. Dále pak zprovoznění nového jaderného bloku v Dukovanech v roce 2036 v souladu s právě probíhajícím notifikačním řízením u EK a souběh s původními bloky do období 2045-47. Po roce 2025 scénář předpokládá výraznější útlum uhelných zdrojů až do roku 2038, který by měl být rokem úplného odklonu od uhelné energetiky. Dodržení bezpečnostních a spolehlivostních parametrů provozu ES ČR bude v závislosti na útlumu uhelných elektráren a rozvoji ostatních elektráren vyžadovat doplnění mixu o další zdroje. V koncepčním scénáři se předpokládá doplnění plynovými elektrárnami tak, aby byla zajištěna spolehlivost (LOLE 6-8 h) a soběstačnost pokrytí spotřeby alespoň z 90 % tuzemskými zdroji dle ASEK.

Vzhledem k emisním cílům je takové doplnění říditelné výroby možné pouze ve formě moderních paroplynových bloků. Aby byly takovéto nové paroplynové elektrárny k zajištění bezpečnosti dodávky dostupné včas, mělo by být v roce 2030 uvedeno do provozu nejprve 900 MW, do roku 2035 dalších 300 MW a do roku 2038 pak dalších 1200 MW netto instalovaného výkonu nových zdrojů. Celkem by muselo dojít k výstavbě až 2400 MW do roku 2040. Je však nutné zmínit, že předpoklad výstavby nových plynových elektráren v současné době není podložen skutečnými investičními projekty, ani nastavením mechanismů umožňujících výstavbu těchto zdrojů s přijatelným rizikem pro investory, zvláště při uvážení dodatečných podmínek jejich provozu určených v taxonomii. S ohledem na informace uvedené v [32] je také vhodné poznamenat, že nejen dle koncepčního scénáře, který je v podstatě střední variantou, ale i podle zbývajících dvou uvažovaných scénářů, se z České republiky od roku 2030 stane dovozce elektrické energie.

Vývoj instalovaného výkonu obnovitelných zdrojů v horizontu let 2020 až 2040 je uvažován dle NEKP dostupného z [33], kdy klíčová by měla být především kombinace OZE s bateriovou akumulací. Její instalovaný výkon by po roce 2030 měl progresivně vystoupat k poměru 20 % celkového netto instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren, jejichž instalovaný výkon by v následujících dekadách měl významně růst, jak dokládá i následující graf.



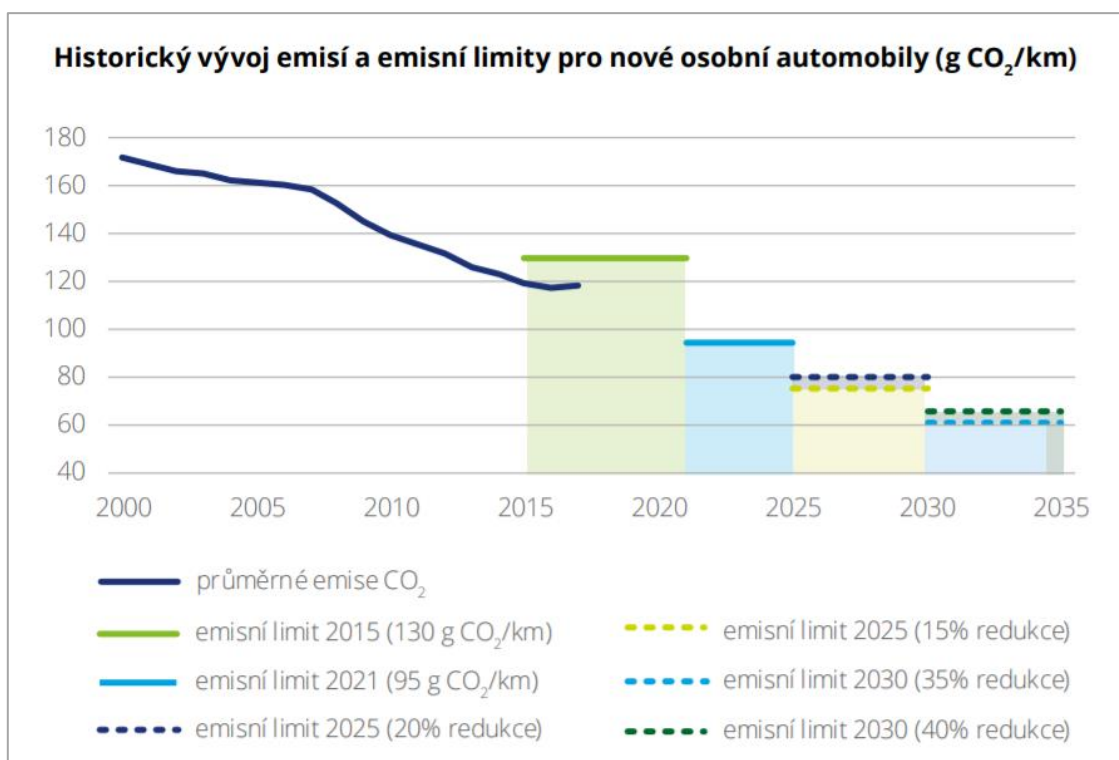
Graf 3.5 - Znárodnění vývoje predikce FVE a VTE do roku 2040 dle NEKP a ČEPS [32]

S ohledem na revizi cílů pro rok 2030 je navíc možné usuzovat, že nárůst instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren bude ještě výraznější. Ze všech informací uvedených v rámci této kapitoly se tedy dá vyvodit závěr, že v rámci transformace elektroenergetiky bude v České republice docházet k odstavování uhlí, přičemž důsledkem by mělo být rostoucí využívání plynových elektráren jakožto přechodných zdrojů. V zájmu zachování zdrojové přiměřenosti bude kladen stále větší důraz i na rozvoje OZE, kdy nejvýznamnější nárůst by měly zaznamenat větrné, ale také především fotovoltaické elektrárny. Optimalizace jejich intermitentního výkonu by měla být do značné míry řešena akumulacími prvky, jejichž instalovaný výkon podle všem informací bude v budoucnu také narůstat. Z toho důvodu má zcela jistě smysl se kombinací fotovoltaických elektráren a akumulacími prvky zabývat.

## 3.2. Budoucí vývoj v sektoru dopravy

Stejně jako v odvětví elektroenergetiky, i v dopravě bude třeba snižovat množství produkováných emisí. Dle [34] proto EU nastavila cíl omezit produkci skleníkových plynů v dopravě do roku 2050 o 60 procent vůči roku 1990. Tento záměr je velmi ambiciózní, jelikož na rozdíl od jiných odvětví, ve kterých emise od roku 1990 klesají, v dopravě naopak vlivem rostoucí mobility rostou. Hlavní podíl na vyprodukovaných emisích v sektoru ve výši 72 % má přitom silniční doprava a zejména pak osobní automobily. To platí i přesto, že v uplynulých dekádách docházelo ke zvyšování palivové účinnosti u nových vozů. Je navíc třeba vzít v úvahu, že v posledních letech se již tato účinnost nezvyšuje a zřejmě byla dosažena její hranice [34]. Je tedy patrné, že bez náhrady vozů se spalovacím motorem alternativou s nižší emisní stopou nebude v budoucnu možné klimatické cíle naplnit.

Nejedná se však pouze o dlouhodobý výhled do roku 2050. Již v současné době musí sektor dopravy dynamicky reagovat na aktuální přísná nařízení ze strany EU, přičemž v případě neplnění těchto nařízení hrozí výrobcům značné finanční pokuty. Následující graf znázorňuje limity emisí CO<sub>2</sub>, které výrobci automobilů budou moct v následujících letech u svých nově prodaných automobilů vypustit, přičemž touto hodnotou je myšlen průměr za celou flotilu nových prodaných vozů.



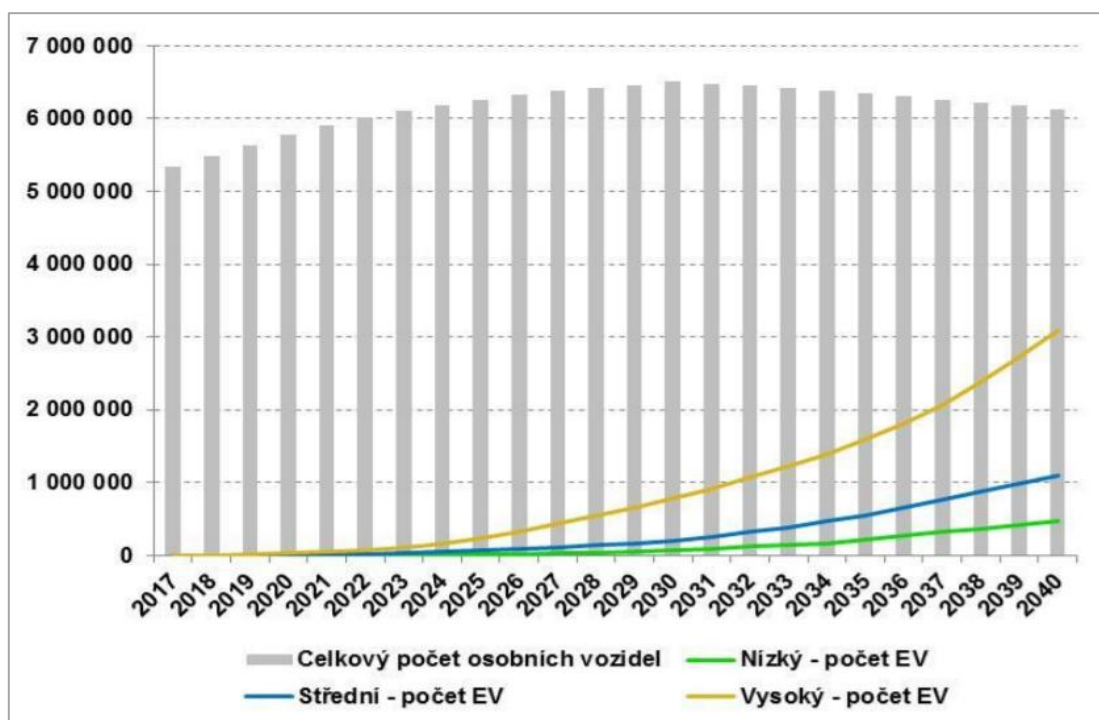
Graf 3.6 - Historický vývoj a emisní limity pro nové osobní automobily [35]

Z vyobrazeného grafu lze vidět, že limit vypouštěného CO<sub>2</sub> by měl do roku 2030 poklesnout o 35 %. V takovém případě by však podíl bezemisních vozů na nových registracích musel ve stejném roce činit 38 %. Jak navíc vyplývá z informací uvedených v podkapitole 2.2.3, je více než pravděpodobné, že současné limity budou v zájmu plnění revidovaných cílů ještě zpřísněny. Dle [14] dojde v rámci balíčku Fit for 55 k revizi nařízení o výkonnostních normách pro emise CO<sub>2</sub> u osobních vozidel a lehkých užitkových vozidel, přičemž se očekává, že s touto revizí přijdou nové přísnější normy.

Lze tedy usuzovat, že k náhradě vozů se spalovacím motorem skutečně bude docházet, je však otázkou, jakým způsobem lze tuto náhradu efektivně provést. Dle [35] je v tomto směru zatím jediným ve větší míře realizovatelným východiskem, a tedy i nutným předpokladem, elektrifikace vozového parku. Elektromobily jsou obecně považovány za bezemisní a k plnění emisních limitů se tedy hodí. Při zavedení předpokladu, že výrobci automobilů budou chtít plnit stanovené limity a vyhnout se tak značným pokutám, lze dojít k závěru, že v následujících letech bude s velkou pravděpodobností v rámci EU docházet k masivnímu nárůstu počtu elektromobilů.

### 3.2.1. Elektromobilita v České republice

Rozvoj elektromobility se dle dostupných informací samozřejmě nevyhne ani České republice. Obecné predikce, které z emisních limitů vyvozují předpokládaný podíl elektromobilů na nově registrovaných vozech, však obecně nelze aplikovat pro všechny členské státy. Odlišná kupní síla, geografické rozdíly, různě rozvinutá infrastruktura a také výše investiční podpory samozřejmě ovlivňují to, jakou rychlostí se v rámci jednotlivých členských států počty elektromobilů zvyšují. Z toho důvodu je vhodné zabývat se daty, která jsou relevantní přímo pro Českou republiku. Následující graf například znázorňuje projekci nárůstu počtu osobních automobilů s elektrickým pohonem ve třech uvažovaných scénářích dle [36].



Graf 3.7 - Projekce počtu osobních automobilů s elektrickým pohonem v letech 2018–2040 dle scénářů [36]

Ze zobrazených průběhů je zřejmé, že mezi jednotlivými scénáři jsou poměrně značné rozdíly. Je však nutné si uvědomit, že naprostá většina doposud zpracovaných strategických dokumentů ani nezávislých studií ještě nezohledňuje revizi cílů pro rok 2030 tak, jak byly popsány v podkapitole 2.2.3. Je tedy pravděpodobné, že vzhledem k navýšení cílů a zpřísnování emisních limitů lze předpokládat spíše rychlejší rozvoj elektromobility. S ohledem na tuto skutečnost se dá očekávat spíše průběh blízkící se vysokému scénáři z předešlého grafu. Tento průběh do značné míry koresponduje i s hodnotami, které uvažuje vysoký scénář aktualizovaného Národního akčního plánu čisté mobility, který do roku 2030 předpokládá v rámci České republiky přibližně 500 tisíc osobních vozů s elektrickým pohonem [37].

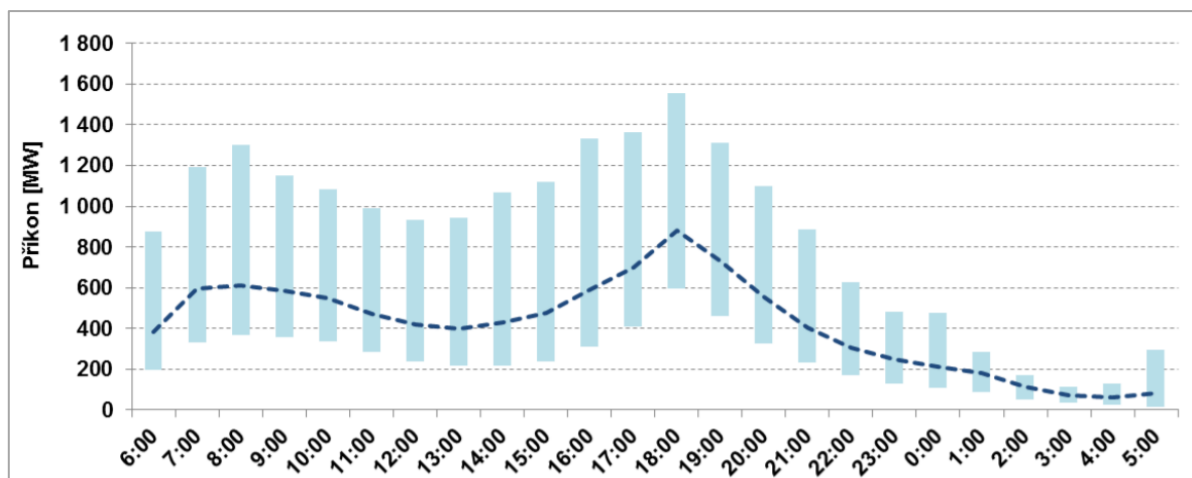
Takovéto predikce se v současné době mohou zdát poněkud vysoké, a to především s ohledem na vyšší pořizovací cenu EV v porovnání s automobily se spalovacím pohonem, která do značné míry brání růstu jejich prodávaného množství. Vyšší pořizovací ceny jsou způsobeny hlavně stále ještě velmi vysokými cenami trakčních baterií. Je však nutné vzít v úvahu, že ceny baterií by se na úroveň, kdy nastane cenová parita mezi vozy s elektrickým a spalovacím motorem, mohly dle [35] dostat již okolo roku 2025, čímž by tato překážka byla eliminována.

Dalším faktorem, který v současné době brání výraznějšímu rozvoji elektromobility je často nedostatečně rozvinutá dobíjecí infrastruktura. Například v ČR je relativně nízký počet elektromobilů na jeden dobíjecí bod, ale zároveň také relativně nízká hustota dobíjecích bodů. Dle [38] bylo ke konci roku 2021 evidováno 1525 dobíjecích bodů, kdy na každý z nich tak připadalo v průměru devět elektrických vozidel. Počty nabíjecích bodů nicméně meziročně rostou a dle [37] by při uvažování vysokého scénáře mělo být do roku 2030 v rámci České republiky okolo 60 tisíc veřejně přístupných dobíjecích bodů. Jak však vyplývá z informací uvedených v [36], potřeba dobíjecích bodů v takovém případě mohla být dokonce ještě vyšší. Z této skutečnosti lze usuzovat, že se s vysokou pravděpodobností bude zvyšovat potřeba dobíjení vozů v domácnostech a také v zaměstnání.

### 3.2.2. Vliv elektromobility na elektrizační soustavu ČR

Rostoucí podíl vozidel s elektrickým pohonem bude mít v rámci ČR zcela jistě zásadní vliv na elektrizační soustavu. Prvním aspektem je v tomto směru samozřejmě navýšení celkové roční spotřeby elektřiny vlivem dobíjení trakčních akumulátorů. Uváděné hodnoty jsou v rámci dostupných zdrojů poměrně podobné, kdy například dle informací dostupných z [39; 40] by se v případě elektrifikace všech osobních automobilů v ČR jednalo o navýšení přibližně o 20 TWh ročně. Po započítání nákladní a autobusové dopravy by celkové navýšení roční spotřeby mohlo dle [35] být až 30,5 TWh.

Ještě významnějším problémem z pohledu elektrizační soustavy by mohlo být navýšení špičkových zatížení spojené s rozvojem elektromobility. Dobíjení většího počtu vozů s elektrickým pohonem v určitém časovém intervalu samozřejmě bude klást vysoké nároky na adekvátní výši výkonu soustavy. Tuto situaci znázorňuje následující graf, na kterém je zobrazen předpokládaný denní diagram nabíjení EV v roce 2030 pro vysoký scénář dle [36].



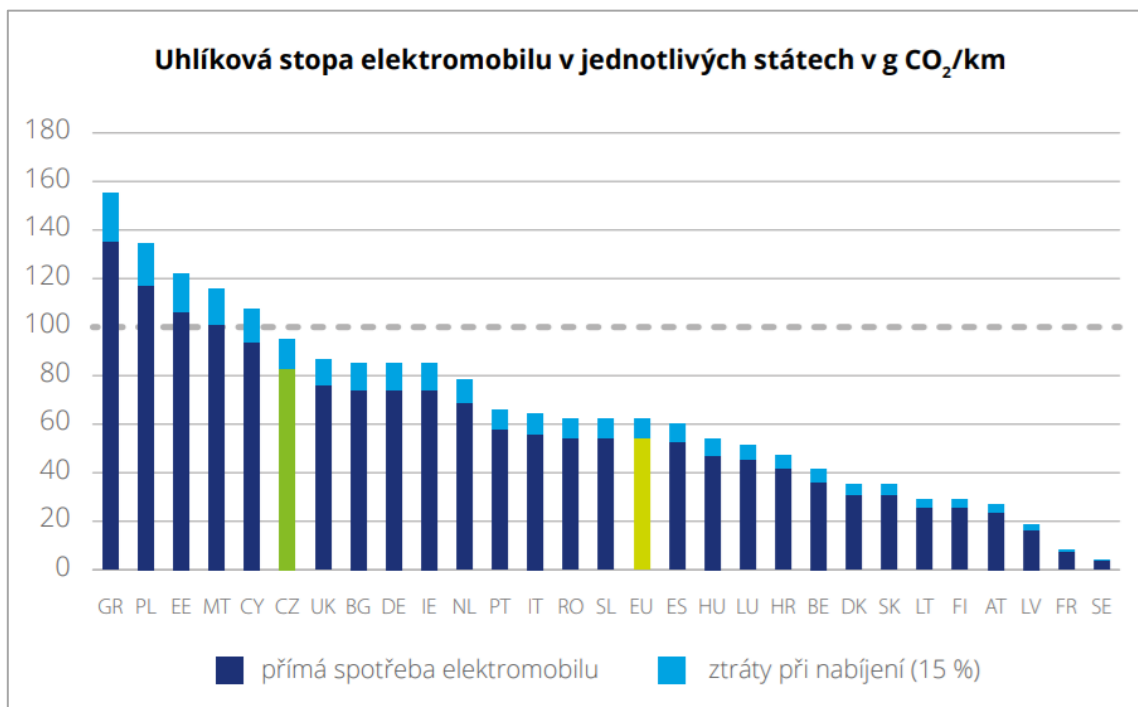
Graf 3.8 - Denní diagram nabíjení EV v roce 2030 pro vysoký scénář dle [36]

Data maximálních soudobých příkonů z dobíjení pro jednotlivé hodiny jsou uvedena formou sloupců, jejichž dolní hranice je ohraničena 5. percentilem a horní hranice 95. percentilem maximálního soudobého příkonu. Tato data je tedy třeba chápat jako maximální hodnoty, které lze v daných hodinách očekávat, přičemž v grafu jsou zobrazené včetně značného rozptylu. Nejčastější hodnoty těchto maximálních výkonů v rámci jednotlivých hodin se pak nachází v okolí uvedené střední hodnoty vyznačené modrou křivkou.

Je však nutné poznamenat, že dimenzování ES by mělo respektovat horní hranice možných výkonových maxim. Pokud bychom tedy vzali v úvahu teoretickou horní hranici dodatečného potřebného příkonu ve výši necelých 1 600 MW, jednalo by se o navýšení přibližně o 13 % oproti maximálnímu zatížení ES v České republice z roku 2021 ve výši 12 097 MW. Takovéto zvýšení je samozřejmě značné, především pokud uvážíme, že toto špičkové zatížení soustavy bylo z více jak poloviny pokryto parními elektrárnami spalujícími fosilní zdroje [41]. Při jejich plánovaném odstavení by si tedy zvýšená poptávka zcela jistě vyžadovala adekvátní náhradu, v případě ČR zřejmě ve formě plynových zdrojů, jak je popsáno v podkapitole 3.1.3.

### 3.2.3. Enviromentální přínos elektromobilů

Jak vyplývá z informací uvedených v kapitole 3.2, hlavním důvodem zavádění elektromobility je snižování dopadu mobility na životní prostředí. Je však otázkou, zda jsou elektromobily v tomto směru skutečně přínosné. Jak již bylo zmíněno, vozy s elektrickým pohonem jsou všeobecně považovány za bezemisní. To ale ve skutečnosti platí pouze pro lokální emise produkované přímo konkrétním automobilem. Reálně emise samozřejmě silně závisejí na energetickém mixu dané země [42]. V následujícím grafu můžeme vidět, že například v České republice se průměrná uhlíková stopa elektromobilu přibližně 95 g/km. Podobných hodnot již v současné době dosahují i nové vozy s hybridním pohonem [8].



Graf 3.2 - Uhlíková stopa elektromobilu v jednotlivých státech [35]



Pokud se navíc chceme bavit o snižování dopadu vozidel na životní prostředí komplexně, je třeba se zamyslet, jaký dopad na něj mají akumulátory, které jsou klíčovým komponentem elektromobilů. Dle [43] má z životního cyklu trakčních baterií největší dopad jejich výroba. Ta je totiž velmi náročná jak energeticky, tak i na těžbu potřebných prvků. Většina trakčních akumulátorů se v současné době vyrábí v Číně [44]. Pokud však uvážíme skutečnost, že energetický mix Číny je velmi závislý právě na spalování fosilních paliv, můžeme se ptát, zda se snaha EU o ekologický přístup ve skutečnosti neopírá právě o principy, které je potřeba změnit. Klíčový je v případě trakčních akumulátorů také konec jejich životního cyklu. Je obecným faktem, že trakční akumulátory by se měly na jeho konci recyklovat, aby se nestaly environmentálním a bezpečnostním rizikem. V řadě případů však v tomto ohledu narážíme na problém, jelikož většina baterií současné generace není pro recyklaci projektována. V současnosti však probíhá snaha o hledání efektivních způsobů recyklace akumulátorů, které pro budoucí využití vypadají velmi slibně. Z toho důvodu věřím, že v budoucnu tento aspekt nebude výrazným problémem [45; 35].

Co se týká emisní stopy, je nutné zdůraznit, že jak bylo uvedeno, lokálně nulové emise elektromobily skutečně mají. To je jejich velká výhoda oproti automobilům se spalovacím motorem, zejména při provozu ve městech, která často trápí smog a vysoké koncentrace škodlivých plynů. Nahrazení značného počtu vozů se spalovacím motorem právě elektromobily by mohlo přispět k řešení překračování emisních limitů ve městech [46]. S ohledem na celkovou emisní stopu je však patrné, že environmentální přínos elektromobilů by za současného stavu v řadě států nebyl nikterak významný. Jak však vyplývá ze závěrů předchozí kapitoly, složení energetického mixu by v budoucnu mělo být v tomto ohledu příznivější a pokud se bude transformace elektroenergetiky dařit dle stanovených cílů, měl by narůstat i environmentální význam elektromobility.

Z uvedených informací lze vyvodit závěr, že environmentální přínos elektromobility i její praktická uskutečnitelnost jsou do značné míry závislé na úspěšné transformaci elektroenergetiky. Zajištění dostatečného množství zelené elektrické energie v požadovaném čase je klíčovým předpokladem kýženého efektu, který by rozvoj elektromobility měl mít. Zajímat se o kombinaci čisté elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů a elektromobility má tedy zcela jistě smysl, neboť tato dvě odvětví spolu velmi úzce souvisí a korespondují.

### 3.3. Aktualizace závěrů s ohledem na současné dění

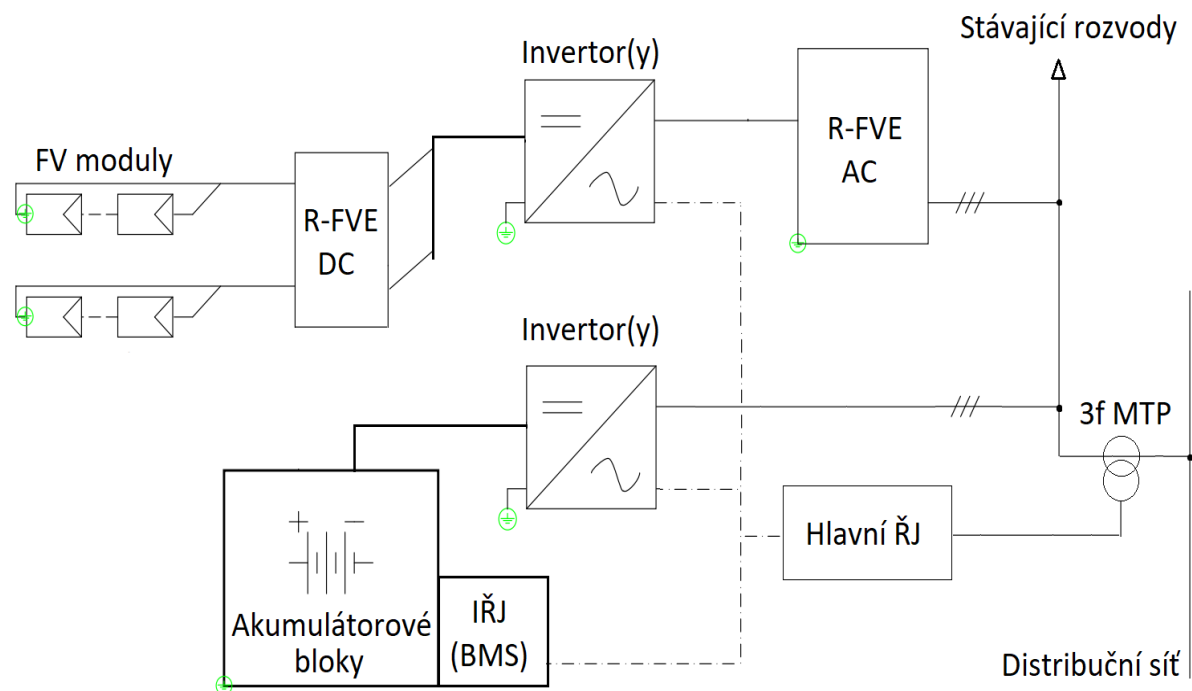
V rámci předešlého textu byla provedena analýza současného stavu a také předpokládaného budoucího vývoje v sektoru energetiky a dopravy. Právě předpoklady budoucího dění zde byly založeny především na klimatických cílech EU. S ohledem na současné dění, kdy jsme svědky válečného konfliktu na Ukrajině, je však otázkou, zda dané cíle neztratí na své důležitosti.

V tomto směru je však klíčové si uvědomit, že snižování závislosti na fosilních palivech a přechod k obnovitelným zdrojům znamená také snižování naší závislosti na subjektech, u kterých tato závislost představuje bezpečnostní riziko [47]. Dle mého názoru tedy Green Deal najde uplatnění nejenom jako nástroj pro zmírnění dopadů lidské činnosti na životní prostředí, ale také jako nástroj pro zvýšení naší energetické nezávislosti. Všechny závěry uvedené v předešlém textu jsou tak z mého pohledu stále relevantní.

## 4. Využití PV systémů v průmyslových objektech

V rámci předchozí kapitoly byly jasně shrnuty důvody, kvůli kterým má zcela jistě smysl zabývat se PV systémy. V této práci se zaměřím výhradně na detailní popis možností aplikace PV systémů v průmyslových objektech. Informace popsané v rámci této kapitoly vychází z uvedených zdrojů a také z praktických zkušeností zástupců společnosti reWATT s.r.o., která se instalací PV systémů zabývá.

Aby bylo možné vybrat optimální systém, který vyhoví všem standardům a svými parametry bude odpovídat konkrétním požadavkům, je zapotřebí nejprve provést analýzu dostupných technologií a možností jejich využití. V dnešní době lze vytvořit celou řadu systému, které se liší svými parametry, využitými komponenty a celkovou funkcí. Zcela základním kritériem, podle kterého lze výsledné sestavy dělit, je způsob jejich připojení k distribuční síti. Podle tohoto kritéria je možno rozlišit takzvané on-grid, off-grid a také hybridní systémy. Problematika tohoto dělení již byla detailně popsána v rámci mé předešlé práce dostupné z [48]. Jelikož v podmínkách ČR je zpravidla ekonomicky nevýhodné, aby byl pro průmyslové objekty s vyšší spotřebou využit ostrovní systém, je v naprosté většině případů instalována síťová FVE, která případně může být doplněna o samostatné bateriové úložiště sloužící k optimalizaci spotřeby v objektu a také k využití přebytečné vyrobené energie. Velmi zjednodušené schéma takového systému lze vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 4.1 - Zjednodušené jednofázové schéma FV systému s BESS – vlastní tvorba dle [49]

Princip funkce takového systému se může pro různé konkrétní případy využití lišit, a to jednak na základě parametrů využitých komponent, ale také v závislosti na nastavení řídicí jednotky. V rámci této kapitoly tedy uvedu klíčové komponenty PV systémů a jejich technické parametry. Dále se zaměřím na popis fungování PV systémů v průmyslových objektech.

## 4.1. Klíčové komponenty PV systému

Každý PV systém se skládá z mnoha různých komponent, přičemž hlavními funkčními prvky jsou především fotovoltaické panely, měniče a bateriová úložiště. Princip funkce těchto komponent, dostupné typy a také jejich klíčové technické parametry jsem již detailně zmapoval a popsal v rámci [48]. Některé části jsem za účelem zajištění celistvosti této práce převzal a v následujících podkapitolách budou přímo citovány, jelikož z informací v nich uvedených budu v dalších částech práce vycházet.

### 4.1.1. Fotovoltaické panely

*Fotovoltaické panely, které po propojení vytváří takzvané pole, jsou nezbytnou součástí každé FVE. Samotný panel je tvořen propojením určitého množství fotovoltaických článků, které zajišťují přeměnu dopadajícího záření ze Slunce na elektrickou energii. Samotná přeměna energie dopadajícího záření na elektrickou je energií založena na fotovoltaickém jevu. Jednotlivé články jsou vlastně velkoplošné ploché křemíkové fotodiody. Fotony slunečního záření dopadající na článek, pokud mají dostatečnou energii, vyráží z krystalické mřížky elektrony, které následně emitují a stávají se volnými. Na P-N přechodu se tak vytvoří napětí, přičemž každý článek je schopen generovat stejnosměrné napětí o hodnotě přibližně 0,5 V. Zvýšení výstupního napětí a proudu lze dosáhnout sériovým a paralelním propojováním více článků, čímž vzniká panel, který má nominální napětí nejčastěji 24 V, nebo 48 V. Pomocí elektrod lze elektrický proud z článků odvádět do připojeného vnějšího obvodu. Pokud vynásobíme napětí a proud, dostaneme výkon panelu. Velikost proudu je přímo úměrná intenzitě dopadajícího záření, vliv na účinnost přeměny má také orientace panelů a jejich sklon [48].*

Na základě informací od zástupců společnosti reWATT s.r.o. jsem došel k závěru, že v současné době jsou pro instalace v průmyslových objektech využívány převážně panely s články z krystalického křemíku, přičemž v dnešní době již převažují především ty monokrystalické. Z tohoto důvodu budu dále uvažovat pouze tento typ panelů, jehož klíčové parametry jsou popsány v následujících bodech.

- **Instalovaný výkon**

*Instalovaný výkon, který udává maximální hodnotu výkonu za ideálních podmínek (světelné záření směřující kolmo na panel, ideální teplota, panel bez nečistot, definovaná výkonová hustota záření a podobně) [48].*

- **Účinnost**

Účinnost přeměny fotovoltaického panelu udává procentuální poměr dopadající sluneční energie, které se přemění na použitelnou elektřinu. Hodnota účinnosti udávaná výrobcem je podobně jako instalovaný výkon měřena za ideálních podmínek [50].

- **Degradace**

Vzhledem k tomu, že jsou solární panely vystaveny okolním živlům, podléhají v průběhu času degradaci, což má za následek pokles jejich výkonu. Rychlost tohoto poklesu je kromě intenzity okolních invazivních vlivů a úrovně údržby dána také kvalitou využitých panelů. Rychlost degradace je standardně zahrnuta v záruce, kdy výrobce garantuje hranici, pod kterou výkon v daném čase neklesne. Ve většině případů je tento pokles nejvýznamnější v prvním roce provozu, přičemž v dalších letech se ustálí a výkon klesá lineárně [50].

### 4.1.2. Měníče

Hlavní funkcí měniče pro FVE je měnit stejnosměrné napětí na střídavé. Grid-tie měniče, které jsou v rámci průmyslových objektů zpravidla využívány, jsou schopny pouze přeměny stejnosměrného napětí na střídavé přímo z pole panelů a řízení toku energie pouze v jednom směru [48]. Klíčové parametry měničů jsou popsány v následujících bodech.

- **Maximální výstupní AC výkon**

Výstupní výkon měniče udává, kolik energie je měnič schopný poskytnout za jednotku času. Udává se nejčastěji ve watttech [48].

- **Účinnost**

Z fyzikální podstaty vyplývá, že účinnost jakékoli přeměny energie je vždy menší než 100 %. Tuto přeměnu vždy doprovází ztráty. Účinnost vyjadřuje podíl výstupní energie ku energii vstupní. Udává se v procentech a je klíčovým ukazatelem efektivity zařízení [48].

### 4.1.3. Bateriové úložiště

Bateriové úložiště instalované spolu s FVE slouží především k ukládání přebytečné vyrobené elektrické energie, která se v reálném čase nespotřebovala. Využití baterií může uživatelům přinést řadu výhod, nicméně zejména kvůli vysokým pořizovacím nákladům není jejich využití vhodné pro všechny instalace. V rámci [48] byly popsány různé typy baterií, nicméně pro instalace v průmyslových objektech se v dnešní době využívají téměř výhradně akumulátory lithiové. Jejich klíčové parametry jsou uvedeny a popsány níže.

- **Kapacita a výkon**

Kapacita baterie udává množství elektrické energie, které je možno do baterie uložit. Uvádí se většinou v kilowatthodinách. Výkon na druhou stranu udává, kolik elektrické energie je BESS schopné poskytnout za jednotku času. Uvádí se většinou v kW [48].

- **Maximální hloubka vybití (DOD)**

Tento parametr vychází ze skutečnosti, že u většiny baterií je žádoucí při vybití zachovat určitý náboj. Pokud budeme baterii zcela vybit, výrazně se tím sníží její životnost a dojde k znehodnocení vstupní investice. Hloubka vybití se vztahuje ke kapacitě dané baterie. Pokud má například baterie kapacitu 10 kWh a výrobce uvádí DOD 90 %, není žádoucí využít po plném nabití více jak 9 kWh. Čím vyšší má baterie DOD, tím více je možné využít z celkové kapacity baterie [48].

- **Účinnost nabíjecího/vybíjecího cyklu**

Účinnost nabíjecího/vybíjecího cyklu je poměr elektrické energie, kterou lze při vybití baterie získat, ku energii potřebné pro její nabití. Udává se v procentech a čím je vyšší, tím více se celý proces nabíjení vyplatí [48].

- **Životnost**

Životnost baterií se uvádí v počtu nabíjecích cyklů, nebo v letech, přičemž výrobce garantuje určitou hodnotu kapacity, kterou si i po tomto množství cyklů, či let využívání, baterie udrží [48].

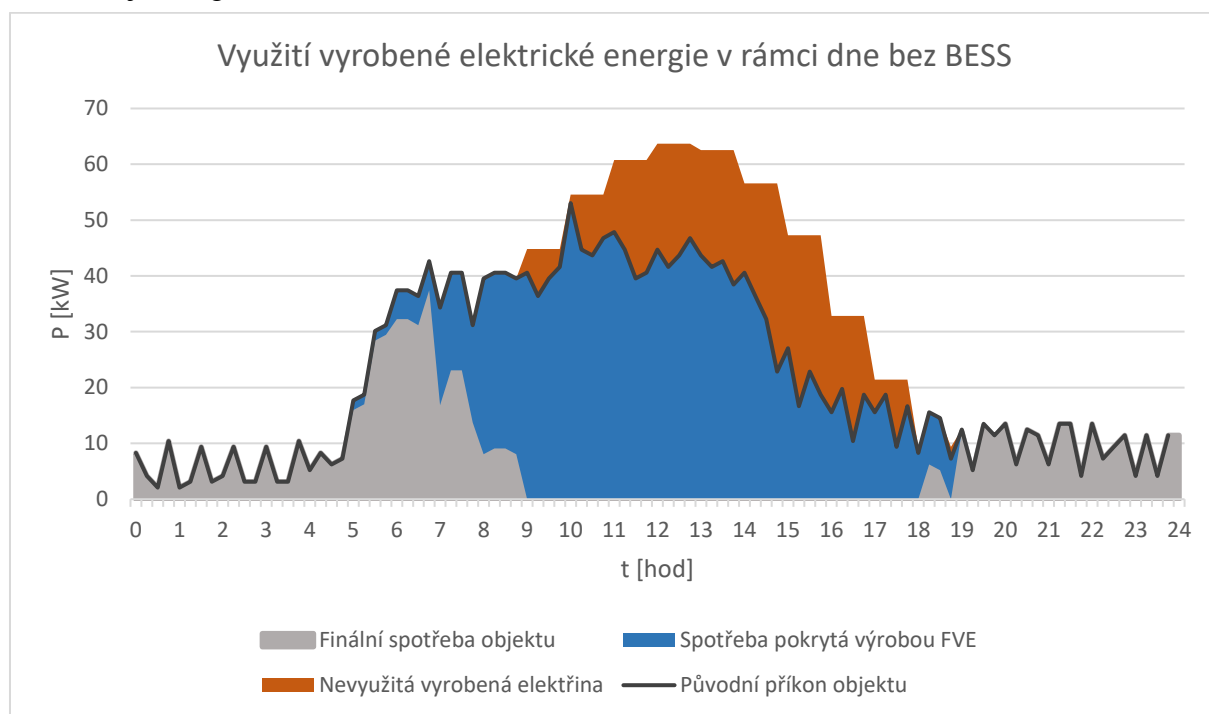
## 4.2. Popis funkcí PV systémů

V rámci této podkapitoly budou popsány funkce PV systému, které lze v průmyslových objektech využít. Nejprve se budu věnovat popisu základního systému bez využití BESS a následně také systému, který je bateriovým úložištěm vybaven a nabízí tak více možností využití vyrobené energie. Na závěr budou zmapovány také doplňující funkce, jejichž využití může být v kombinaci s PV systémy výhodné.

### 4.2.1. Systém bez BESS

- **Pokrytí okamžité spotřeby objektu vyrobenou elektřinou**

Nejméně komplexní možností je zcela jistě využití samotné fotovoltaické elektrárny bez bateriového úložiště a dalších prvků. Přesto je tato možnost v podmínkách ČR stále značně zastoupena, a to především z důvodu nižších investičních výdajů oproti systémům s BESS. Nespornou nevýhodou však je, že výroba FVE je značně intermitentní a pokrytí spotřeby objektu je možné jen v okamžitém času výroby. Pokud je navíc výkon elektrárny vyšší než spotřeba objektu v daném čase, není možné odpovídající část výkonu využít a přebytečná energie je dodávána do DS [51]. Princip takto navrženého systému je zřejmý z následujícího grafu.



Graf 4.1 - Využití vyrobené energie z FVE v rámci dne bez BESS – vlastní tvorba dle [52]

Tento graf znázorňuje typický letní den provozu FVE. Pokud je původní příkon objektu definován jako  $P_C$ , pak z celkového množství vyrobené elektřiny ve vybraném dni byla využita energie  $E_{U,FVE}$  a přebytečná energie  $E_R$  byla dodána do DS. Nová denní spotřeba objektu je pak rovna  $E_{C,FVE}$ .

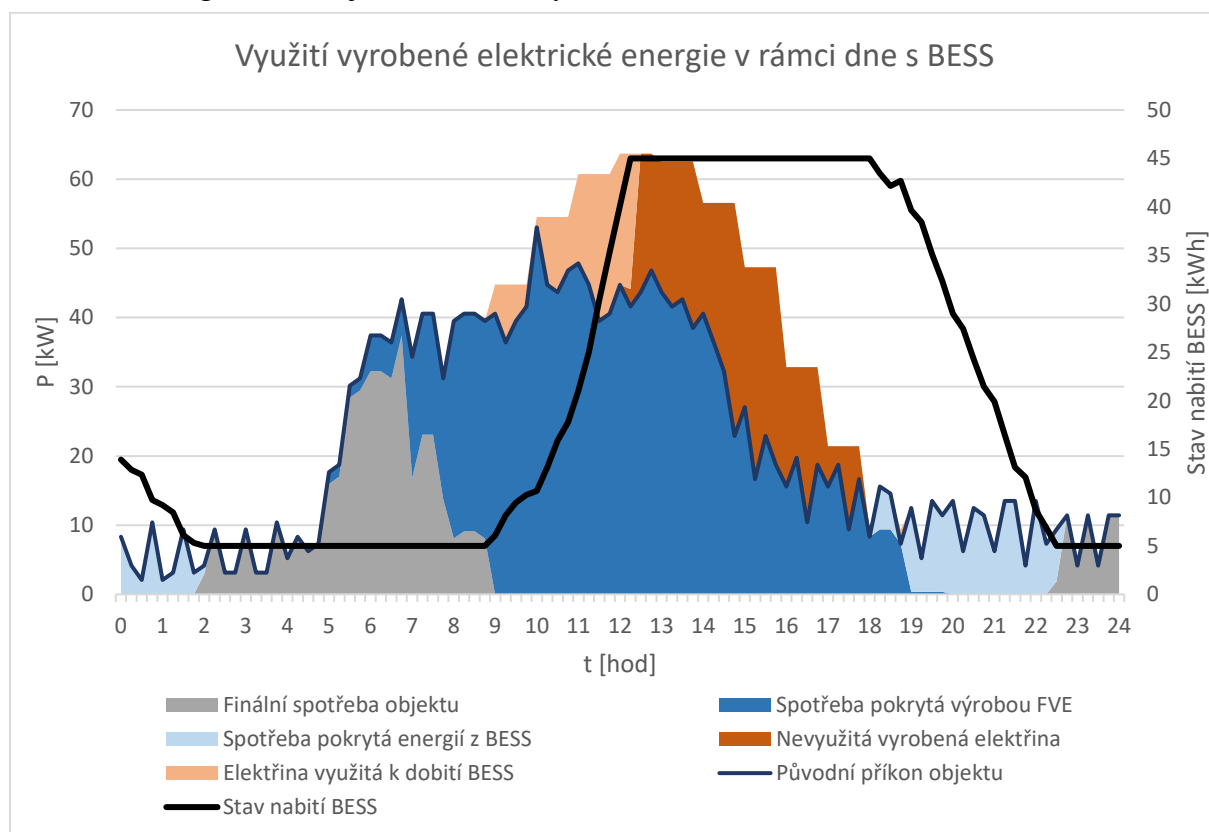
### 4.2.2. Systém s BESS

V podmínkách České republiky jsou v současné době ceny, za které lze přebytečnou elektřinu z FVE prodávat, zpravidla nižší než ceny, za které průmyslové objekty elektřinu nakupují. Prodej přebytků energie tedy často není z ekonomického hlediska výhodný.

Řešením tohoto problému může být do značné míry optimalizace dimenze FVE tak, aby se přetoky energie do sítě minimalizovaly. Druhou možností je pak využití bateriového úložiště, které lze využít k uchování přebytků energie v čase výroby a jejich následnému využití v době, kdy FVE spotřebu objektu zcela nepokrývá [53].

- **Základní využití BESS**

Bez aplikace nadřazeného řídicího prvku funguje BESS ve většině případů tak, že pokud je výkon elektrárny v daném čase vyšší než spotřeba objektu, baterie se nabíjí, až dokud nedosáhne maximální povolené úrovně nabití. Pokud je naopak okamžitá spotřeba objektu vyšší než výroba FVE, energii z baterií lze využít k jejímu pokrytí. Princip funkce takového systému dle [54] je zřejmý z následujícího grafu, který znázorňuje využití vyrobené elektrické energie v rámci jednoho dne s využitím BESS.



Graf 4.2 - Využití vyrobené energie z FVE v rámci dne s BESS – vlastní tvorba dle [54]

Původní spotřeba  $P_C(i)$  je pro tento modelový den zvolena shodně jako v případě systému bez baterií. Na první pohled jsou patrné rozdíly ve funkci obou systémů, kdy vidíme, že v případě zahrnutí BESS můžeme část energetických přebytků  $E_{R,BESS}$  využít pro dobití baterie a využít k dodatečnému pokrytí části spotřeby  $E_{U,BESS}$ , čímž se zvýší míra využití vyrobené elektřiny. V tomto modelovém příkladu je například uvažováno úložiště o využitelné kapacitě 45 kWh, kdy v grafu lze přesně sledovat stav jeho nabití v čase  $SOC$ .

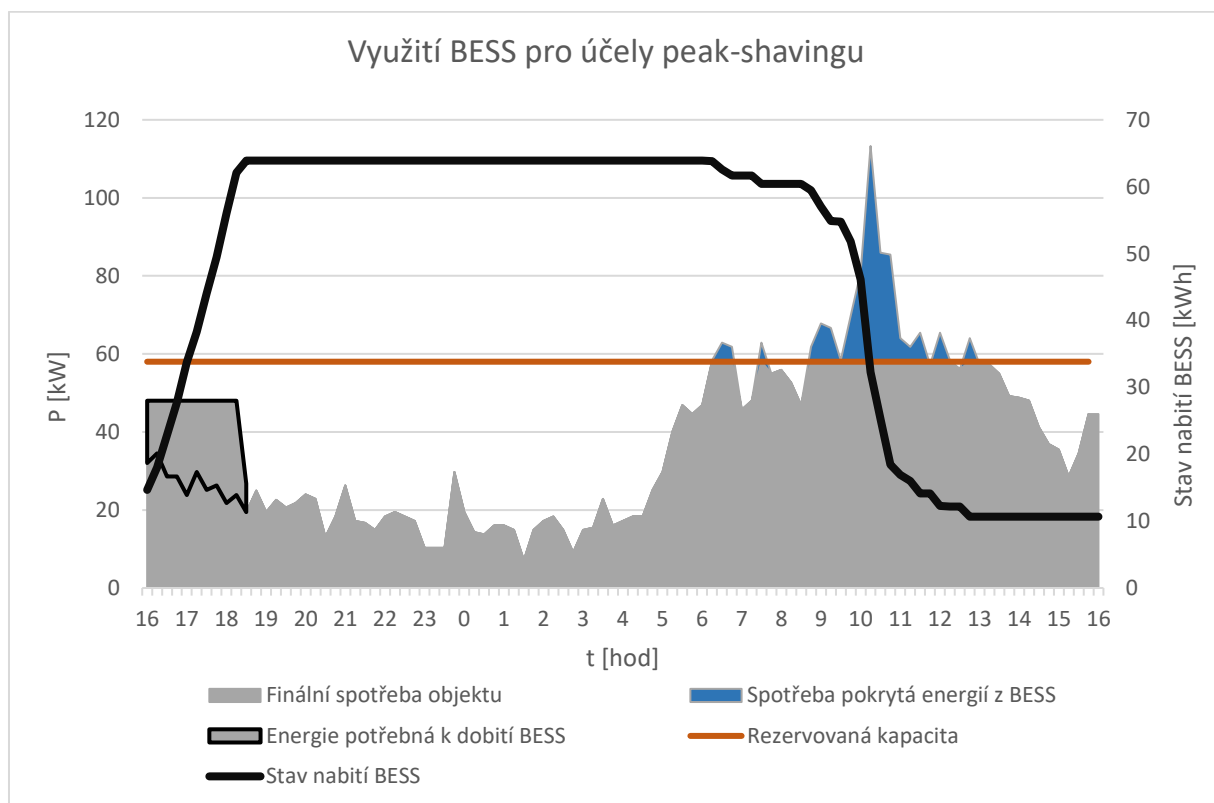
Tuto základní funkci ve většině případů zajišťuje integrovaná řídicí jednotka BESS. Možnosti těchto jednotek jsou však často omezené a často je žádoucí vybavit systém nadřazenou řídicí jednotkou, která umožňuje pokročilé možnosti využívání nejen BESS, ale mnohdy i dalších spotřebičů. V rámci dalších bodů tedy budou popsány některé funkce, kterých lze po zahrnutí pokročilejšího řízení využít.

- **Peak-shaving**

V rámci předchozího bodu byl popsán princip jednoduchého řízení, kdy k nabíjení BESS dochází pouze z přebytků vyrobené elektřiny a k jeho vybíjení vždy, pokud je spotřeba objektu vyšší než výroba FVE, a stav nabití je zároveň vyšší než stanovená minimální povolená úroveň nabití  $SOC_{MIN}$ .

V mnoha případech však je z ekonomického hlediska výhodnější ponechat úložiště nabitě a uloženou energii pak využít pro jiné účely. Jedním z takových účelů může být například omezování maximálních hodnot příkonu v objektu, neboli peak-shaving. V případě průmyslových objektů, které jsou velmi často napojeny do distribuční sítě s hladinou napětí VN či VVN, je významná část výdajů na elektrickou energii dána poplatky za sjednanou rezervovanou kapacitu, což je smluvně sjednaná hodnota maximálního čtvrt hodinového elektrického příkonu v kW, kterou smí zákazník odebrat v jednom odběrném místě z distribuční soustavy [55]. Elektrická energie uložená v bateriích tedy může být využita právě v časech, kdy je příkon objektu nejvyšší, čímž by došlo ke snížení maxima příkonu a také ke snížení rezervované kapacity a výdajů s ní spojených [56].

Modelový případ peak-shavingu lze vidět také v následujícím grafu, kdy v daném dni došlo ke snížení maximálního příkonu z přibližně 110 kW na méně než 60 kW, přičemž spotřebu pokrytou energií z BESS jsem definoval jako  $E_{PS}$ .

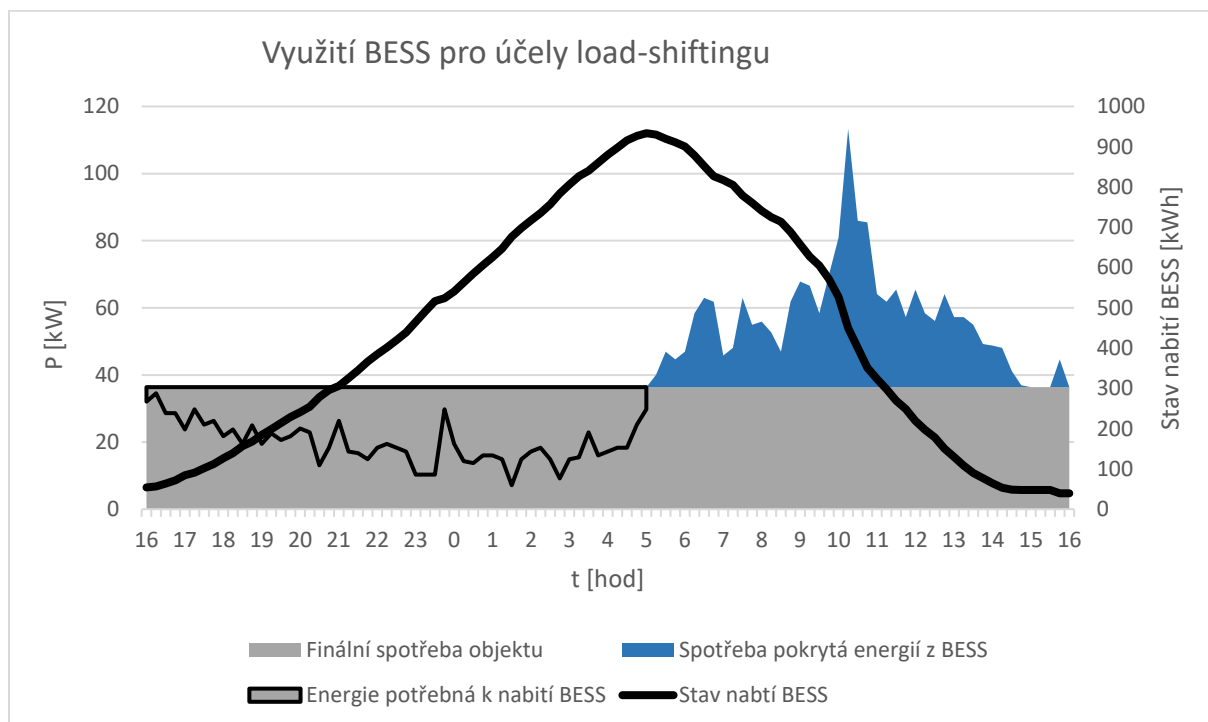


Graf 4.3 - Využití BESS pro účely peak-shavingu – vlastní tvorba dle [56]

U značné části instalací je úložiště dobíjeno ze sítě pokaždé, kdy není zcela nabito a kdy aktuální příkon objektu je nižší než sjednaná RK. Tento případ lze názorně vidět i v předchozím grafu, kdy v čase s nižším zatížením bylo BESS zcela nabito, čímž se zvýšila spotřeba objektu v tomto čase. Energií potřebnou pro nabití BESS jsem definoval jako  $E_{CH}$ .

- **Load-leveling**

Krajním případem snižování maximálního příkonu v objektu je takzvaný load-leveling, kdy hlavním cílem není pouze snížení maximálního příkonu, ale co možná největší vyrovnaní diagramu zatížení [56]. Teoretický ideální příklad tohoto využití BESS je zobrazen v následujícím grafu. Je však zřejmé, že pro tyto účely je třeba disponovat úložištěm o vysoké kapacitě. Jelikož v současné době je pořízení BESS velmi nákladné, jedná se prozatím spíše o teoretický případ.



Graf 4.4 - Využití BESS pro účely load-levelingu – vlastní tvorba dle [56]

- **Sledování aktuální ceny elektrické energie**

S využitím pokročilého řízení BESS je například také možné jeho dobíjení v časech, kdy je cena elektřiny nízká, a její následné využití v době, kdy jsou nákupní ceny elektřiny vysoké. Některé řídicí jednotky jsou v takovém případě schopné sledovat aktuální ceny elektřiny a podle toho řídit nabíjení úložiště. Pro toto využití BESS je však nutným předpokladem, že pro dané odběrné místo musí být sjednán tarif s měnící se cenou v čase, například s cenou navázanou na ceny spotového trhu, což samozřejmě nemusí být vždy výhodné [57].

### 4.2.3. Doplnující funkce systému

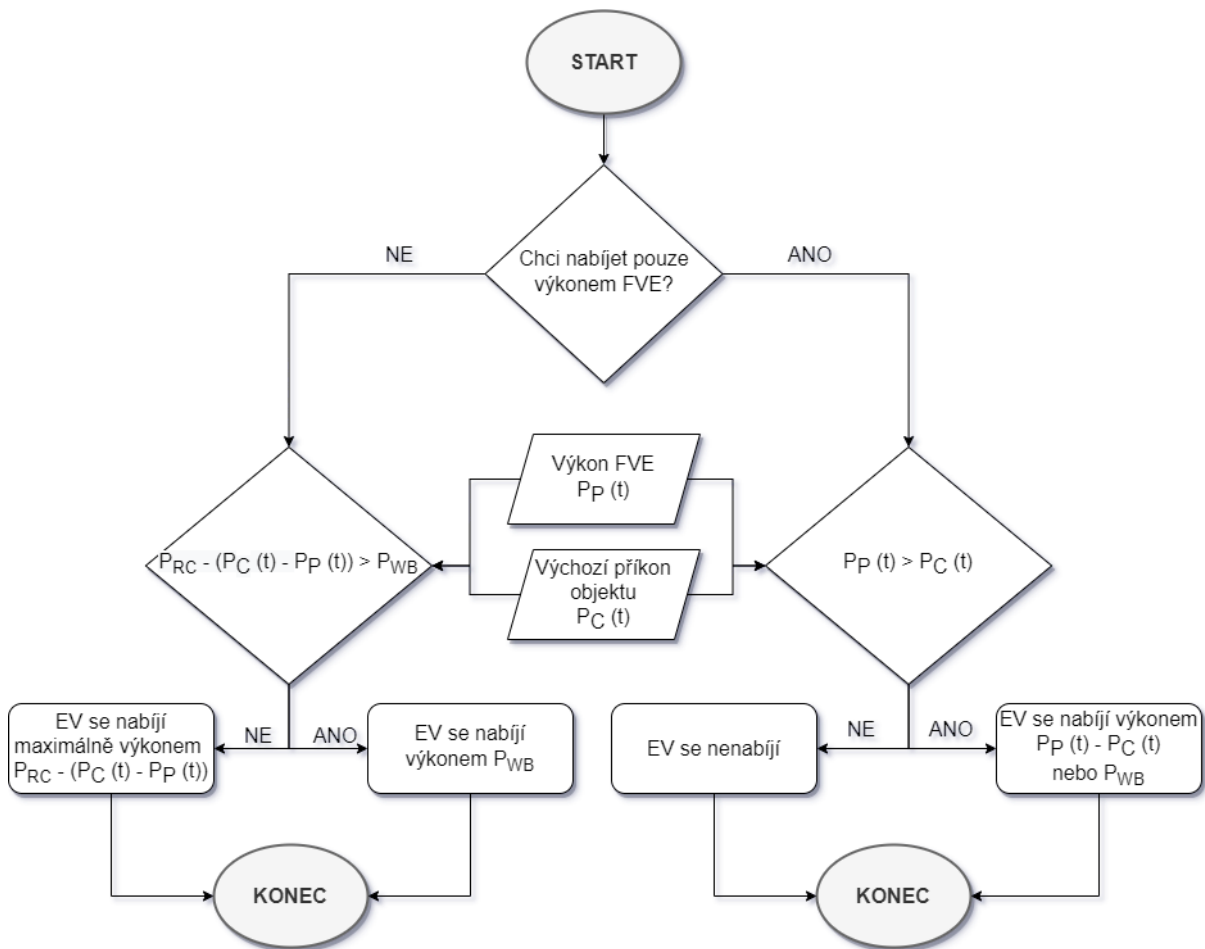
- **Řízené zapínání, vypínání či spojitá regulace příkonu vybraných spotřebičů**

Řídicí jednotky jsou na základě různých pokynů často schopny cíleně spínat vybrané spotřebiče v objektu či v některých případech dokonce spojitě řídit jejich příkon. Toho může být využito například spínáním některých spotřebičů pouze v časech, kdy je výkon FVE vyšší, než momentální příkon objektu. Zadruhé je tuto funkci možno využít také jako doplňující prvek dříve popsaného peak-shavingu. V daném časovém úseku je například možné snížit příkon těch spotřebičů, které nemají vysokou prioritu využívání, a tím pádem se může snížit potřeba využití BESS [58].



- **Inteligentní regulace nabíjení EV**

Vhodný řídicí systém umožňuje také inteligentní regulaci nabíjecích stanic pro EV. To může být výhodné hned z několika důvodů. První z nich přímo souvisí s předchozím bodem, kdy stejně jako v případě jiných spotřebičů lze volit dobíjecí výkon tak, aby nebyla překročena rezervovaná kapacita. Zároveň lze například povolit nabíjení pouze z přebytků elektriny vyrobené FVE, což nabízí velmi výhodnou možnost jejich využití. Takovýto princip fungování dobíjecího wallboxu s možností inteligentní regulace je zřejmý z následujícího vývojového diagramu [59].



Obrázek 4.2 - Vývojový diagram procesu inteligentního dobíjení EV – vlastní tvorba dle [59]

Kde:  $P_P$  je výkon FVE [kW]

$P_C$  je výchozí příkon objektu bez započítání výkonu FVE a příkonu wallboxů [kW]

$P_{RC}$  je sjednaná hodnota rezervované kapacity v objektu [kW]

$P_{WB}$  je maximální příkon dobíjecího wallboxu [kW]

Tato alternativa by mohla být v budoucnu dle mého názoru velmi využívána, jelikož jak vyplývá ze závěrů kapitoly 3.2, lze očekávat významný nárůst počtu EV, přičemž určitá část uživatelů pravděpodobně nebude mít možnost komfortního dobíjení v domácích podmínkách. Možnost dobít elektromobilu v zaměstnání tedy pravděpodobně bude velmi žádaná. Klíčová je v tomto ohledu také skutečnost, že v současné době dle [60] není pro vykonávání této činnosti potřeba licence na obchod s elektřinou, jejíž potřeba by pro značnou část investorů mohla být demotivujícím faktorem.

## 5. Návrh optimálního nastavení PV systému

V rámci předešlé kapitoly byly jasně definovány a popsány funkce PV systému, kterých lze při provozu v průmyslových objektech využít. Je patrné, že vzniklé systémy se mohou výběrem využívaných funkcí a nastavením jejich priorit do značné míry lišit, což může mít zásadní vliv také na ekonomickou výhodnost celého projektu.

Předmětem této kapitoly tedy bude provést návrh optimálního nastavení energetického systému, popsat využívané funkce a nastavení jejich priorit. V první části kapitoly bude popsán jednoduchý systém, který je možné provozovat bez nutnosti instalace nadřazené řídicí jednotky. V druhé části detailně popíšu princip fungování mnou navrženého komplexního systému, který poskytuje více možností využití a měl by také být oproti základní variantě z ekonomického hlediska výhodnější.

### 5.1. Jednoduchý systém

Aby bylo možné mnou navržený komplexní systém porovnat s jednodušší instalací a demonstrovat jeho vyšší výhodnost, zavedl jsem pro účely práce takzvaný jednoduchý systém, který kombinuje FVE s BESS fungujícím v základním režimu popsaném v rámci 4.1.2.

Výhodou takového systému je, že není potřeba aplikovat nadřazenou řídicí sestavu, nicméně z toho plynou omezené možnosti využití vyrobené elektřiny a jednotlivých prvků. Pro tento případ tedy nebude uvažována možnost využití peak-shavingu, ani využití přebytků na dobíjení elektromobilů. Jelikož mnou navržený komplexní systém z tohoto jednoduchého do určité míry vychází, bude právě jednodušší varianta popsána jako první.

#### 5.1.1. Stanovení požadavků na výsledný systém

Na základě předchozího vymezení jsem stanovil základní požadavky na výsledný systém, které určují způsoby využití vyrobené elektřiny a také jejich prioritu. Tyto požadavky jsou uvedeny a popsány v následujících bodech.

- **Priorita č. 1 – Pokrytí okamžité spotřeby objektu vyrobenou elektřinou**

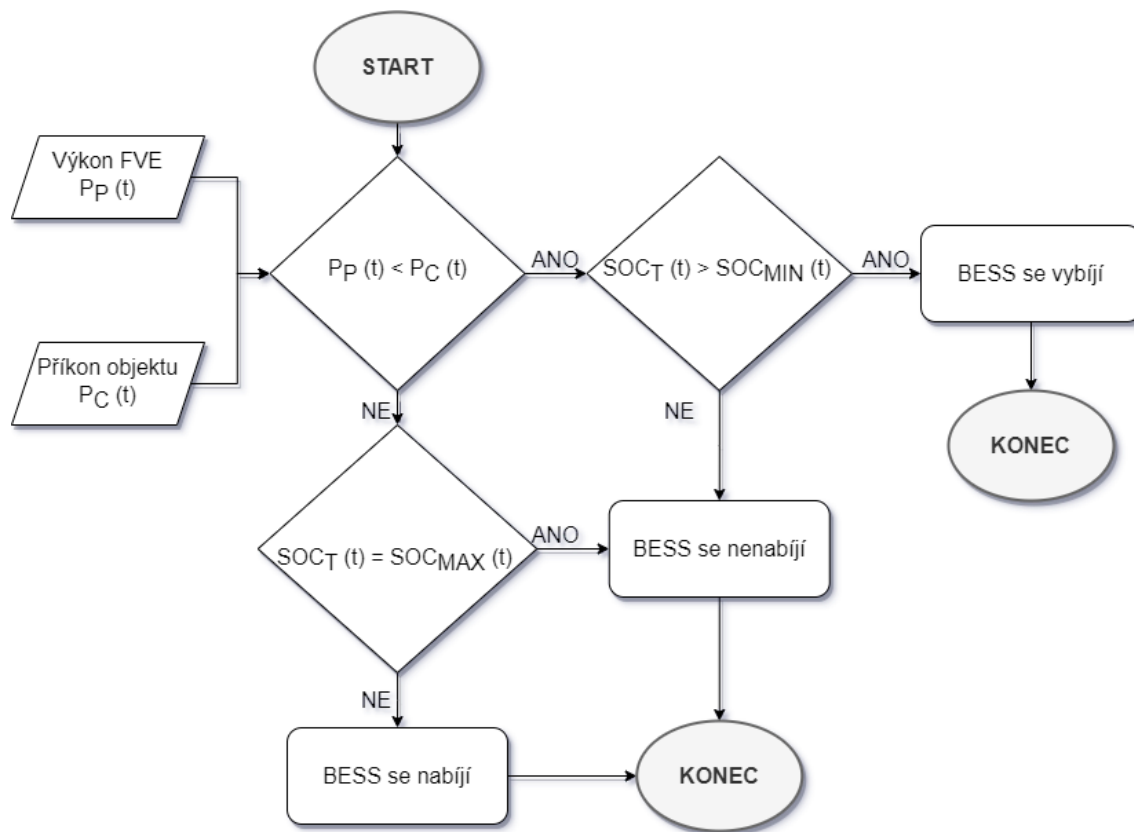
Z tohoto požadavku je zřejmé, že jednoduchý systém vychází z principu funkce FVE bez BESS popsaného v rámci 4.2.1. To znamená, že výkon FVE je v každém okamžiku prioritně využíván k pokrytí výchozí spotřeby objektu a k dalším účelům může být využito pouze přebytečného výkonu.

- **Priorita č. 2 – Využití BESS v základním režimu**

Jako hlavní režim fungování BESS jsem určil základní režim popsaný v rámci 4.2.2.

#### 5.1.2. Vývojový diagram jednoduchého systému

Konkrétní princip fungování jednoduchého systému je zřejmý ze zobrazeného vývojového diagramu. Primárně je uvažováno pokrytí spotřeby objektu výkonem FVE. Pokud je výkon elektrárny v daném čase vyšší než spotřeba objektu, baterie se nabíjí z přebytků, až dokud nedosáhne maximální povolené úrovně nabití, přičemž samozřejmě platí omezení v podobě maximálního výkonu BESS, který nelze překročit. Žádné další využití přebytečného výkonu se neuvažuje, tudíž přebytečná vyrobená elektřina bude dodávána do DS a prodávána za smlouvenou cenu. Pokud je naopak okamžitá spotřeba objektu vyšší než výroba FVE a baterie je dostatečně nabitá, uloženou energii lze využít k pokrytí spotřeby.



Obrázek 5.1 - 5.1.2. Vývojový diagram znázorňující princip funkce jednoduchého systému

Kde:  $P_p$  je výkon FVE [kW]

$P_c$  je výchozí příkon objektu bez započítání výkonu FVE [kW]

$SOC_T$  je úroveň nabití BESS [kWh]

$SOC_{MIN}$  je minimální stanovená úroveň nabití BESS [kWh]

$SOC_{MAX}$  je maximální stanovená úroveň nabití BESS [kWh]

Jelikož z pohledu zachování životnosti bateriových článků není vhodné jejich vybíjení pod úroveň udávanou výrobcem, neboli DOD, a zároveň také jejich plné nabíjení, je vhodné nastavit minimální a maximální dovolenou úroveň nabití BESS. Pro účely práce jsem tedy zavedl  $SOC_{MAX}$  jako maximální a  $SOC_{MIN}$  naopak jako minimální stanovenou úroveň nabití BESS. Skutečně využívaná část baterie  $C_U$  je v důsledku nastavení těchto hranic dána vztahem 1.

$$C_U = SOC_{MAX} - SOC_{MIN}$$

1

## 5.2. Komplexní systém

Předmětem této podkapitoly bude detailně popsat navržené principy fungování komplexního systému, který díky nadřazenému řízení nabízí více možností využití. Při návrhu vhodného nastavení komplexního systému jsem od počátku vycházel především z dvou hlavních myšlenek, které budou popsány v rámci následujících bodů.

- **Snaha o maximální využití potenciálu BESS**

První klíčovou myšlenkou byla úvaha o optimálním využití BESS. V rámci podkapitoly 4.2.2 byly jasně popsány standardní režimy provozu bateriového úložiště, přičemž při jejich bližším rozboru lze usoudit, že se do značné míry vzájemně vylučují. Například při provozu BESS v peak-shaving režimu je úložiště u značné části instalací dobíjeno ze sítě pokaždé, kdy není zcela nabitá a kdy aktuální příkon objektu je nižší než sjednaná RK. Takovýto princip využívání však nemusí být zcela vhodný při provozu BESS v kombinaci s FVE. Často totiž mohou nastat případy, kdy příkon objektu nedosahuje vysokých hodnot, nebo jsou jeho maxima snížena právě výrobou FVE, a BESS pak zůstává zbytečně zcela nabitá a nelze jej využít k uchování přebytku z FVE. Na základě těchto závěrů pak vyvstává otázka, zda by nebylo možné jednotlivé režimy navzájem kombinovat. Pokud by bylo možné dopředu určit, jaká část kapacity BESS bude využita pro účely PS, mohla by být zbývající využita pro standardní ukládání přebytků z FVE.

- **Snaha o návrh respektující budoucí vývoj elektromobility**

Druhou klíčovou myšlenkou bylo uvážení budoucího rozvoje elektromobility. V současné době v naprosté většině případů při návrhu PV systému uvažuje pouze aktuální spotřeba objektu. Dle mého názoru je však klíčové si uvědomit, že vzhledem k relativně vysoké životnosti FVE je nutné uvažovat faktory v dlouhodobém horizontu. V takovém případě je zcela určitě nezbytné při návrhu uvažovat právě i očekávaný budoucí nárůst počtu EV tak, jak byl popsán v podkapitole 3.2. Dá se předpokládat, že počet elektromobilů totiž poroste i v rámci vozového parku společnosti a také v rámci vozů, které využívají zaměstnanci k dojíždění do práce. Zahrnutí možnosti budoucího využití přebytků z FVE k dobíjení těchto vozů by mohlo vést ke změně optimální dimenze a ke zvýšení výhodnosti celého projektu.

### 5.2.1. Stanovení požadavků na výsledný systém

Na základě popsaných myšlenek jsem stanovil základní požadavky na výsledný systém, které vymezují způsoby využití vyrobené elektřiny a prvků systému a také jejich prioritu.

- **Priorita č. 1 – Pokrytí okamžité spotřeby objektu vyrobenou elektřinou**

Stejně jako v případě jednoduchého systému bude výkon FVE v každém okamžiku prioritně využíván k pokrytí spotřeby objektu a k dalším účelům může být využito pouze přebytečného výkonu.

- **Priorita č. 2 – Predikce množství energie potřebné pro PS a její bezpečné zajištění**

Jako hlavní režim fungování BESS jsem určil režim peak-shavingu. Na základě závěrů kapitoly 3.1 totiž usuzuji, že vzhledem k předpokládané obměně zdrojové základny a rostoucímu zastoupení intermitentních zdrojů bude v budoucnu docházet k významnému zvyšování cen RK, a především také poplatků za její případné překročení. Dle mého názoru totiž bude stále komplikovanější a nákladnější adekvátně dimenzovat soustavu a zajistit připravenost regulovatelných zdrojů s dostatečným celkovým výkonem.

Na základě toho jsem určil prioritu zajištění dostatku energie pro účely PS v každém okamžiku a s dostatečnou rezervou. Systém by však měl být na základě predikce budoucí spotřeby a výroby schopný dopředu určit, kolik energie, a tedy jaká část kapacity BESS bude v blízké budoucnosti pro účely PS potřeba. Nemělo by tedy docházet k nabíjení na maximální úroveň v době, kdy to není nezbytné, aby volná kapacita mohla být využita pro uložení přebytečné vyrobené elektřiny z FVE.

- **Priorita č. 3 – Využití volné kapacity BESS v základním režimu**

Pokud je v dané době možné uložit přebytečnou elektrickou energii z FVE do bateriového úložiště, tato energie by měla být s ohledem na prioritu č. 2 primárně uchována a využita pro účely PS, pokud systém vyhodnotí, že v blízké budoucnosti bude snižování příkonu objektu potřeba. Nedávalo by totiž význam bateriové úložiště vybijet, aby následně v krátkém intervalu muselo být opět nabíjeno z DS. V případě, že systém nepředpokládá v blízké budoucnosti nutnost využití PS, může být uložená energie využita v základním režimu pro pokrytí okamžité spotřeby tak, jak bylo pospáno v 4.2.2

- **Priorita č. 4 – Využití přebytků na dobíjení EV**

I při využití bateriového úložiště je samozřejmě potřeba počítat s tím, že část výkonu FVE se v rámci objektu nevyužije. V takovém případě jsem stanovil požadavek, aby systém byl schopný využít přebytečnou elektřinu k řízenému dobíjení elektromobilů tak, jak bylo popsáno v rámci podkapitoly 4.2.3

Z výše uvedených požadavků je zřejmé, že řídicí algoritmus komplexního systému bude na rozdíl od jednoduché varianty pracovat s více vstupy, než pouze s momentálními měřenými hodnotami výkonu FVE a příkonu objektu. Aby bylo možné princip fungování navrženého systému zcela pochopit a přesně popsat, musí být nejprve dostatečně vydiskutován právě princip určování všech nově zavedených vstupů, což bude předmětem následujících podkapitol 5.2.2 a 5.2.3. Na základě toho bude následně možné analyzovat vývojový diagram a shrnout princip fungování systému.

### 5.2.2. Predikce modelového spotřebního a výrobního diagramu

V úvodu této kapitoly byla popsána myšlenka, že pokud by bylo možné predikovat spotřebu objektu a také výrobu FVE, bylo by možné pro daný čas vyhradit pro účely PS pouze část kapacity BESS, přičemž zbývající část by mohla být využita pro standardní ukládání přebytků z FVE. Navržený komplexní systém kombinující oba režimy je tedy do značné míry závislý právě na předpovědi budoucí spotřeby a výroby FVE. Aby bylo možné zaručit správné fungování takového systému, musí být princip této predikce dostatečně vyřešen. Je naprosto zřejmé, že předpověď budoucích jevů se ne vždy shoduje s realitou, nicméně při dodržení určitých předpokladů a zásad lze dosáhnout dostatečné přesnosti predikce pro účely správného nastavení systému. V následujících bodech tedy bude popsán mnou navržený princip předpovědi spotřebního i výrobního diagramu.

- **Predikce výroby FVE**

Co se týká predikce budoucí výroby FVE, řídicí PLC v mnohých případech disponují možností stahování aktuálních dat a předpovědí osvitu z internetových databází. Jednou z těchto databází je například PV Forecast, který poskytuje predikované hodnoty osvitu jako on-line službu vhodnou zejména pro řídicí systémy fotovoltaických elektráren a bateriových úložišť. Na základě této předpovědi lze vypočítat množství vyrobené energie danou fotovoltaickou elektrárnou a odvodit průběh výroby FVE v čase, přičemž služba PV Forecast nabízí přibližnou předpověď osvitu a výroby FVE až na pět následujících dní. Více zpřesněnou předpověď na 8 následujících hodin pak nabízí doplňující služba PV Nowcast. Jelikož samozřejmě nelze předpokládat, že reálný osvit se bude v každém okamžiku s předpovědí shodovat, zavedl jsem následující předpoklady, které musí být nutně splněny, aby šlo danou předpověď využít k vytvoření diagramu výroby FVE, se kterým bude PLC počítat.

- Předpověď je relevantní maximálně na následujících 48 hodin – Obecně platí, že předpověď je tím přesnější, čím kratší je časový interval mezi ní a řešeným časovým úsekem. Z toho důvodu jsem zavedl předpoklad, že jako relevantní lze uvažovat data nejvíce na následující dva dny, přičemž v takovém horizontu bude využíváno předpovědi z databáze PV Forecast, která bude v pravidelných intervalech aktualizována a v rozmezí osmi hodin do řešeného časového úseku bude nahrazena službou PV Nowcast.
- Předpoklad nižšího skutečného osvitu – I při dodržení předchozí zásady se reálný osvit nemusí s předpovědí vždy přesně shodovat. Z toho důvodu jsem zavedl předpoklad nižšího skutečného osvitu, který v podstatě znamená, že řídicí PLC bude při výpočtech uvažovat pro každý časový okamžik pouze 80 % výkonu, který je udáván příslušnou databází.

Při dodržení výše uvedených předpokladů je možné uvažovat, že z dostupných dat lze vždy na dva následující dny vytvořit modelový diagram výroby  $P_{P,M}$ . Tento diagram pak bude sloužit pro výpočty PLC v reálném provozu.

#### • **Predikce spotřeby objektu**

V případě predikce spotřebního diagramu je situace zřejmě ještě komplikovanější. Pro tento případ totiž není dostupná žádná předpověď budoucích hodnot příkonu objektu a je tedy nutné vycházet pouze z historických dat. Aby bylo možné z těchto dat vycházet a vytvořit na jejich základě modelový diagram budoucí spotřeby, stanovil jsem několik klíčových předpokladů, které musí být dodrženy.

- Předpoklad periodického charakteru spotřeby – Při řešení predikce spotřeby z historických dat je možné využít skutečnosti, že spotřeba značné části průmyslových objektů má velmi periodický charakter. To vyplývá jednak z pevně stanovených časů směn provozu a také z určených vzorců chování, které se v rámci podniku každodenně opakují. Právě periodický charakter spotřeby je klíčovým předpokladem pro možnost využití historických dat k predikci dat budoucích. Spotřební diagramy by tedy v pracovních dnech v rámci jednotlivých ročních období měly mít co možná nejvíce podobný průběh, což je pro každý případ nutné zhodnotit v rámci důkladné prvotní analýzy. Aby byl komplexní systém skutečně efektivní, je navíc výhodné jej aplikovat především pro objekty s jednosměnným denním provozem. V takových objektech se nejvyšších maximálních hodnot příkonu dosahuje v době, kdy FVE standardně poskytuje nejvyšší výkon a z toho důvodu je možné předpokládat snížení maximálního příkonu právě vlivem FVE.
- Předpoklad dostatečného množství historických dat – Druhým předpokladem je, aby byly dostupné diagramy spotřeby objektu alespoň za dva předchozí roky. Pokud by se při výpočtech vycházelo pouze z diagramu za jeden rok, docházelo by k riziku neodhalení jednorázových událostí, jako například jednorázové denní přerušování provozu, snížení spotřeby a podobně. Z dat alespoň za dva roky je již možné tyto odchylky lépe eliminovat. Na základě historických hodnot lze vytvořit výchozí modelový diagram spotřeby tak, že pro daný časový úsek dosadíme maximální hodnotu spotřeby z historických diagramů v daném čase. Oba výchozí diagramy přitom musí být seřazeny tak, aby se překrývaly pracovní týdny a víkendy.

- Předpoklad vyšší budoucí spotřeby – Při počítání s historickými hodnotami spotřeby je nutné uvažovat, že by mohlo dojít k jejímu náhodnému zvýšení v rámci jednotlivých dnů i v případě, kdy podnik nebude plánovat žádné systémové navýšení výroby. Z toho důvodu jsem zavedl předpoklad, že hodnoty výchozího modelového diagramu sestaveného z hodnot naměřených diagramů z minulých let budou preventivně navýšeny o 10 %.

Při dodržení výše uvedených předpokladů je na základě historických dat možné vytvořit takzvaný výchozí modelový diagram spotřeby  $P_{C,M,V}$ . Při znalosti predikovaných diagramů výroby a spotřeby může systém následně vypočítat jednak budoucí sjednané hodnoty rezervované kapacity, a pro každý den provozu také množství energie, která bude potřebná pro účely PS. Tato problematika bude řešena v rámci následující podkapitoly.

### 5.2.3. Snižování hodnot rezervované kapacity

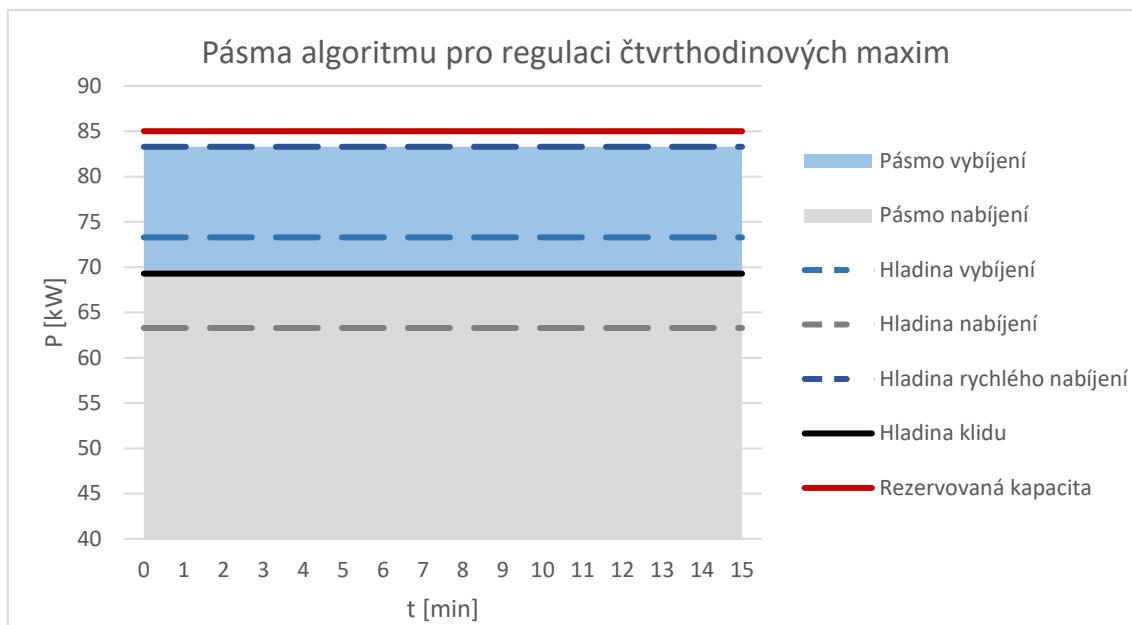
Jak vyplývá z požadavků stanovených v 5.2.1, hned druhou prioritou je snižování maximálního příkonu objektu a tím pádem redukce výdajů na rezervovanou kapacitu. V rámci této podkapitoly tedy popíšu principy, dle kterých bude systém za účelem snižování RK operovat. Bude zde také popsán princip výpočtu množství energie, která bude v rámci dne potřeba pro účely PS.

#### • Návrh algoritmu pro regulaci čtvrt hodinových maxim

V první řadě bylo potřeba navrhnout algoritmus pro regulaci čtvrt hodinových maxim, dle kterého bude systém v reálném provozu operovat. Při jeho návrhu jsem vycházel z informací uvedených v [61], kde se autor touto problematikou zabývá. Navrženým algoritmem jsem se inspiroval a s určitými úpravami ho využil.

Po řízení BESS bude konkrétně využit hladinový algoritmus s vyhodnocováním příkonu obohacený o predikci změny příkonu v příštím kroku. Tento algoritmus vyhodnocuje nejen momentální hodnotu příkonu budovy, ale určí i trend, kterým se příkon nyní ubírá. Díky tomu lze odhadnout pravděpodobnou hodnotu příkonu v příštím kroku. Pro účely algoritmu jsem definoval 2 pásma a celkem 4 hranice, které jsou popsány níže a také jasně znázorněny v grafu 5.1.

- Pásmo vybíjení – Pásmo vybíjení je shora ohraničeno hladinou rychlého vybíjení  $H_{VYB,R}$  a zdola hranicí klidu  $H_K$ . V tomto pásmu se algoritmus snaží stlačit aktuální příkon budovy na hranici vybíjení  $H_{VYB}$  pomocí PID regulátoru. Pokud by měl být akční zásah bateriového úložiště záporný, úložiště nebude ani vybíjet, ani nabíjet. Snaha regulovat na hranici  $H_{VYB}$  je vyvíjena pouze tehdy, je-li aktuální příkon budovy vyšší než tato hranice. Pokud by zásah PID regulátoru nebyl v některém okamžiku dostatečný a došlo by k překročení hranice  $H_{VYB,R}$ , BESS by se vybíjelo plným výkonem až dokud by příkon objektu neklesl pod  $H_K$ .
- Pásmo nabíjení – Pásmo nabíjení je shora ohraničeno  $H_K$ . V tomto pásmu se algoritmus snaží dobíjet BESS výkonem  $H_{NAB}$  pomocí PID regulátoru. Pokud by při přítomnosti došlo k překročení hranice  $H_K$ , úložiště se nabíjet přestane. Další příkaz k nabíjení dostane BESS až v případě poklesu aktuálního příkonu pod hranici  $H_{NAB}$ .



Graf 5.1 - Pásma algoritmu pro regulaci čtvrt hodinových maxim – vlastní tvorba dle [61]

Pro účely algoritmu jsem zavedl také takzvané výkonové pásmo  $P_{PID}$ , ve kterém operuje PID regulátor. Rozsah tohoto pásma je nutné zvolit dle charakteru spotřeby konkrétního objektu. Při tomto zavedení platí mezi jednotlivými hladinami vztahy 2 a 3, přičemž v dalším textu bude popsáno, jak lze pro každé období vypočítat hodnotu  $H_{VYB}$  a z ní také hodnoty dalších hladin.

$$H_{VYB} - H_{NAB} = H_{VYB,R} - H_{VYB} = P_{PID}$$

Kde:  $P_{PID}$  je rozsah pásma, ve kterém operuje PID regulátor [kW]

2

$$H_K = H_{VYB} - 0,4 * P_{PID}$$

3

- **Stanovení změny hodnot rezervované kapacity**

Pro návrh vztahů popisujících další vstupy bylo nejprve potřeba určit časové rozlišení výpočtů. V tomto ohledu jsem vyšel z předpokladu, že naprostá většina podniků má záznamy z průběhového měření spotřeby s patnáctiminutovými intervaly. V těchto intervalech je navíc vyhodnocován také průměrný příkon objektu, který se následně porovnává s RK objektu. Pro účely výpočtů jsem tedy zavedl časové úseky  $t$  o stejné délce 15 minut a také optimalizační období  $i$  o délce 24 hodin. Jedno optimalizační období se tak skládá z 96 sledovaných časových úseků. Z tohoto značení uvedeného níže tedy budu v rámci popisu uvedených vztahů vycházet.

$$\text{Časový úsek } t \rightarrow t \in \mathbb{N} \wedge t \in \langle 1; N_t \rangle; N_t = 96$$

Kde:  $N_t$  je počet časových úseků v optimalizačním období [-]

4

$$\text{Optimalizační období } i \rightarrow i \in \mathbb{N} \wedge i \in \langle 1; N_i \rangle; N_i = 365$$

Kde:  $N_i$  je počet optimalizačních období v roce [-]

5



Pro určité výpočty bylo potřeba dále zavést také delší časové intervaly, tedy měsíce  $m$  a roky provozu  $y$  dle následujícího značení.

$$\text{Měsíc } m \rightarrow m \in \mathbb{N} \wedge m \in \langle 1; N_m \rangle; N_m = 12$$

Kde:  $N_m$  je počet měsíců v roce [-]

6

$$\text{Rok } y \rightarrow y \in \mathbb{N} \wedge y \in \langle 1; N_y \rangle; N_y = T_{LF,FVE}$$

Kde:  $N_y$  je počet let provozu energetického systému [-]

$T_{LF,FVE}$  je doba životnosti energetického systému [roky]

7

Aby bylo možné dopředu stanovit reálné hodnoty RK, které budou po instalaci energetického systému sjednány na následující rok provozu, je nejprve pro všechna optimalizační období nezbytné určit maximální hodnotu  $P_{MAX,T}(i, m)$ , na kterou lze příkon objektu v daném období snížit.

Za tímto účelem je pro každé období nutné najít hodnotu příkonu  $P_{MAX,T,W}(i, m)$ , pro kterou platí vztah 8, přičemž v každém období předpokládám pro účely PS možnost využití nejvýše jednoho plného nabíjecího/vybíjecího cyklu využitelné části BESS  $C_U$ .

$$\sum_{t=1}^{N_t} \min[P_{C,M,V}(t, i) - P_{MAX,T,W}(i, m), 0] = C_U$$

Kde:  $P_{C,M,V}$  je výchozí modelový predikovaný příkon objektu [kW]

$C_U$  je využívaná kapacita BESS [kWh]

8

Maximální hodnotu  $P_{MAX,T}(i, m)$  lze následně dopočítat dle vztahu 9. Zavedením omezení maximálního snížení v podobě středního výkonu  $P_{AVG}$  bude zaručeno, že v každém období bude dostatek prostoru pro nezbytné nabití BESS, přičemž v takovém případě by se v podstatě jednalo o případ load-levelingu.

$$P_{MAX,T}(i, m) = \begin{cases} P_{MAX,T,W}(i, m), & P_{MAX,T,W}(i, m) \geq P_{AVG}(i, m) + P_{PID} \\ P_{AVG}(i, m), & P_{MAX,T,W}(i, m) < P_{AVG}(i, m) + P_{PID} \end{cases}$$

Kde:  $P_{AVG}$  je střední hodnota příkonu v daném optimalizačním období [kW]

9

Z výše uvedeného vztahu je patrné, že možné snížení je pro každé  $i$  počítáno z modelového diagramu spotřeby  $P_{C,M,V}$ , tedy bez uvažování výroby FVE. Tím je respektována skutečnost, že pro více vzdálenou budoucnost nelze s určitostí předpovídat její výrobu a mohou nastat situace, kdy bude elektrárna několik dní po sobě dodávat téměř nulový výkon. Při prvotním stanovení sjednávaných hodnot RK je tedy nutné předpokládat i takovou možnost, že ve dnech s nejvyšším zatížením se FVE nebude na snížení maximálního příkonu podílet.

Jelikož rezervovaná kapacita se v podmínkách České republiky smluvně sjednává minimálně na období celých měsíců, nikoli jednotlivých dnů, je potřeba najít hodnotu možného snížení maximálního příkonu objektu  $P_{MAX,R}(m)$  pro každý měsíc  $m$  dle vztahu 10.

Z uvedeného vzorce je zřejmé, že pro každý měsíc je uvažována hodnota ze dne, kdy je možné maximální příkon objektu snížit nejméně. Vypočítané hodnoty  $P_{MAX,R}$  pak řídicí PLC uvažuje v každém okamžiku reálného provozu jako hladinu vybíjení  $H_{VYB}$  tak, jak znázorňuje Graf 5.1.

$$P_{MAX,R}(m) = \max\{P_{MAX,T}(m)\}, \quad \text{pro } \forall m \in \mathbb{N} \wedge m \in \langle 1; N_m \rangle$$

10

Dle současného rámce se příslušné hodnoty rezervované kapacity sjednávají buď na období celého roku, nebo na již zmíněná období jednotlivých měsíců, přičemž tyto metody lze navzájem kombinovat. Jelikož platba za roční sjednanou RK je nižší než za měsíční, je výhodné volit rezervované roční hodnoty tak, aby se co nejvíce omezila potřeba měsíčního navyšování. Je tedy vhodné nastavit co možná nejvyšší konstantní roční hodnotu a v obdobích s vyšší spotřebou ji dodatečně zvyšovat na měsíční bázi.

To lze využít například u objektů s elektrickým vytápěním, u kterých se zpravidla v zimním období příkon zvyšuje. Z toho důvodu jsem roční sjednanou hodnotu  $P_{RC,Y,BESS}$  určil dle vztahu 11.

$$P_{RC,Y,BESS} = \min\{\text{ROUNDFIVE}[P_{MAX,R}(m) + P_{PID}]\}, \quad \text{pro } \forall m \in \mathbb{N} \wedge m \in \langle 1; N_m \rangle$$

11

Pro přehlednost jsem se rozhodl počítat pouze s hodnotami RK uváděných alespoň v násobcích 5 kW. Pro účely této práce jsem tedy definoval **ROUNDFIVE** jako funkci pro zaokrouhlení příslušného čísla na nejbližší vyšší násobek 5. Důležité bylo zahrnout také rozsah pásma pro činnost PID regulátoru  $P_{PID}$ , o který bude hodnota sjednané RK vyšší oproti  $P_{MAX,R}(m)$ . Hodnoty dodatečného zvýšení v jednotlivých měsících  $P_{RC,M,BESS}$  jsou pak dány vztahem 12, přičemž celková hodnota sjednané RK pro daný měsíc  $P_{RC}$  vznikne součtem  $P_{RC,Y,BESS}$  a  $P_{RC,M,BESS}$ .

$$P_{RC,M,BESS}(m) = \text{ROUNDFIVE}[P_{MAX,R}(m) + P_{PID}] - P_{RC,Y,BESS}$$

12

#### • Výpočet energie potřebné pro PS

V rámci 4.2.1 bylo zmíněno, že pro více vzdálenou budoucnost nelze s určitostí předpovídat její výrobu. Při snižování maximálního příkonu objektu však při dodržení předpokladů uvedených v 5.2.2 lze v krátkodobém měřítku výrobu FVE uvažovat. Je totiž nutné si uvědomit, že pokud příkon objektu bude v daném okamžiku pokrýván výkonem FVE, může dojít k značnému omezení maximálního příkonu i bez využití BESS, které by mohlo být využito například v uchování přebytečné vyrobené elektřiny. Pro účely těchto výpočtů jsem zavedl dodatečný předpoklad týkající se predikce diagramu spotřeby vybraného objektu, který je popsán níže.

- Předpoklad nejhorsího dne v měsíci – I při dodržení všech předpokladů uvedených v rámci 5.2.2 nelze s určitostí vědět, ve kterém dni v rámci měsíce bude spotřeba maximální. Z toho důvodu jsem zavedl předpoklad, že pro účely výpočtů bude jako finální modelový diagram sloužit diagram  $P_{C,M}$  předpokládající pro každý pracovní den v měsíci ten den, kdy je  $P_{MAX,T}$  maximální, tedy den, kdy je možné snížit maximální příkon objektu nejméně. Dny bez provozu (víkendy) se přitom nemění.

Na základě tohoto předpokladu lze výchozí modelový diagram předpokládané spotřeby objektu  $P_{C,M,V}$  upravit na finální modelový diagram  $P_{C,M}$ . Ze vztahu 13 lze následně vypočítat očekávaný modelový diagram spotřeby se započítáním výkonu FVE  $P_{C,M,FVE}$ .

$$P_{C,M,FVE}(t, i) = \begin{cases} 0, & P_{C,M}(t) - P_{P,M}(t, i) < 0 \\ P_{C,M}(t, i) - P_{P,M}(t, i), & P_{C,M}(t) - P_{P,M}(t, i) \geq 0 \end{cases}$$

Kde:  $P_{C,M}$  je finální modelový predikovaný příkon objektu [kW]

$P_{P,M}$  je modelový diagram výroby [kW]

13

Z hodnot tohoto diagramu pak může řídicí PLC dle vztahu 14 pro každé období  $i$  dopočítat také potřebnou energii, neboli také potřebnou kapacitu BESS  $C_N$ , která musí být vyhrazena pro účely snížení maximálního příkonu na hodnotu  $P_{MAX,R}(m)$ .

$$C_N(i, m) = \sum_{t=1}^{N_t} \min[P_{C,M,FVE}(t, i) - P_{MAX,R}(m), 0]$$

14

## 5.2.4. Vývojový diagram komplexního systému

V rámci předchozích podkapitol byly jasně vysvětleny způsoby, kterými je možné určit vstupy potřebné pro řízení komplexního systému. Na základě toho bylo dále možné vytvořit vývojový diagram a popsat principy fungování celého systému. Pro tvorbu diagramu jsem zavedl následující značení, kde:

$i$  je optimalizační období dlouhé 24 hodin [-]

$P_p$  je okamžitý výkon FVE [kW]

$P_C$  je okamžitý výchozí příkon objektu bez započítání výkonu FVE [kW]

$P_{P,M}$  je modelový diagram predikované výroby FVE [kW]

$P_{C,M}$  je modelový diagram predikované spotřeby objektu [kW]

$P_{MAX,R}$  je hodnota, na kterou lze snížit maximální příkon objektu [kW]

$E_{C,A,PS}$  je kumulativní množství nabitě energie pro účely PS [kWh]

$E_{C,N,PS}$  je kumulativní množství energie skutečně využitě pro účely PS [kWh]

$C_N$  je potřebná kapacita BESS (energie), která musí být vyhrazena pro účely PS [kWh]

$SOC_T$  je úroveň nabití BESS [kWh]

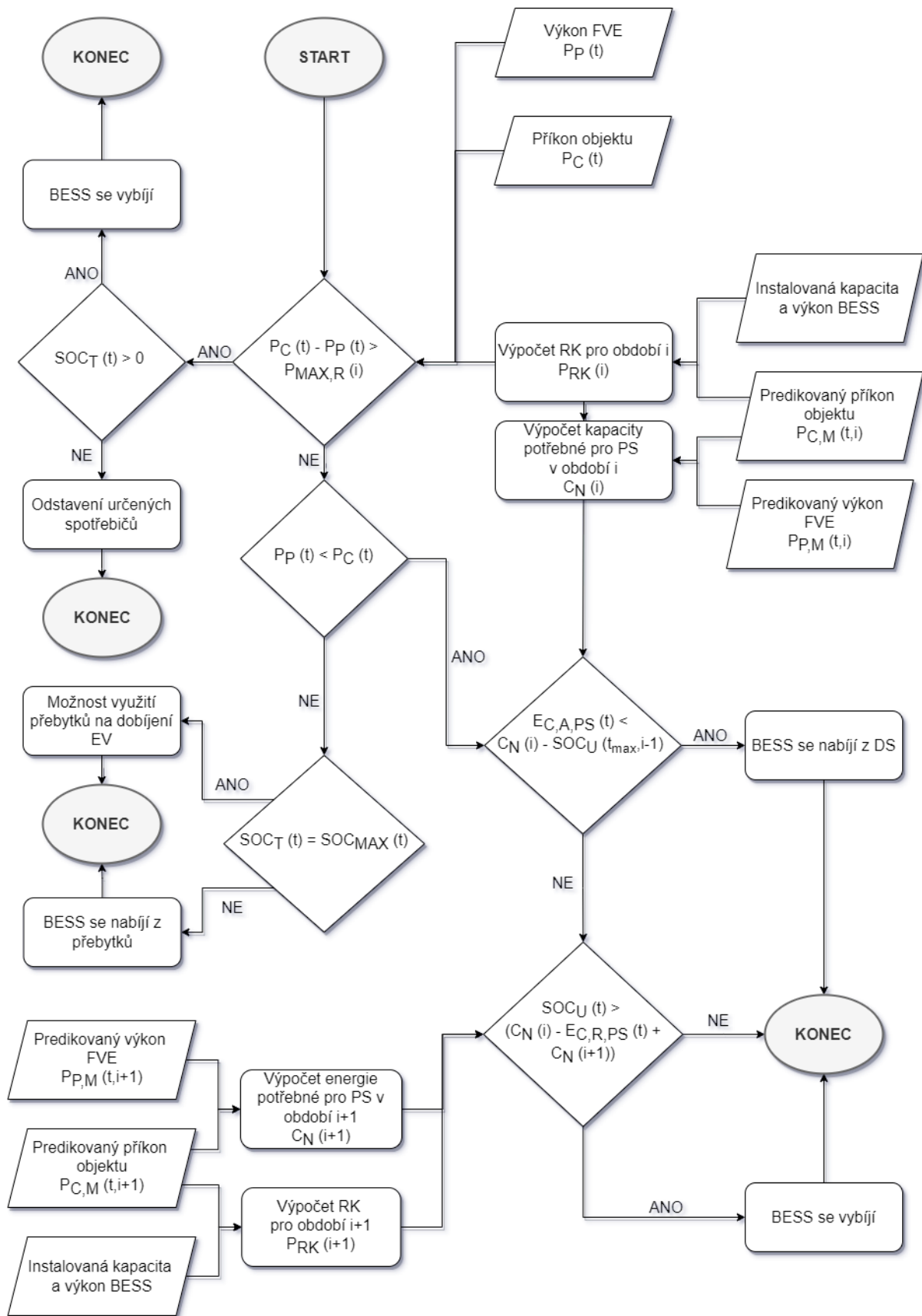
$SOC_U$  je úroveň nabití využívané části BESS [kWh]

$SOC_{MIN}$  je minimální stanovená úroveň nabití BESS [kWh]

$SOC_{MAX}$  je maximální stanovená úroveň nabití BESS [kWh]

$SOC_{S,PS}$  je dodatečná rezerva nabitě energie pro účely PS [kWh]

Při zavedení tohoto značení bylo následně možné vytvořit vývojový diagram komplexního systému, který je zobrazen a popsán v dalším textu.



Obrázek 5.2 - Vývojový diagram znázorňující princip fungování komplexního systému

Primárně je opět uvažováno pokrytí spotřeby objektu výkonem FVE. Další možnosti fungování komplexního systému jsou popsány následujících bodech.

- **Nabíjení BESS z přebytků vyrobené energie**

Jak je patrné z vývojového diagramu, BESS se nabíjí ve dvou případech. Prvním z nich je nabíjení z přebytků vyráběné energie, ke kterému dochází vždy, pokud úroveň nabití je nižší, než  $SOC_{MAX}$ , přičemž opět nelze překročit maximální výkon úložiště.

- **Nabíjení BESS z pro účely PS z DS**

Druhým případem je nabíjení energie potřebné pro účely PS. Pokud je dopředu známé množství energie potřebné pro snížení příkonu v daném optimalizačním období  $C_N(i)$ , je třeba v každém případě zajistit nabití BESS na požadovanou úroveň. Pokud BESS nebude na začátku optimalizačního období nabito dostatečně, rozhodl jsem se vzhledem k prioritě č. 2 uvedené v 5.2.1 zavést příkaz pro co možná nejrychlejší nabití elektřiny potřebné pro PS z distribuční sítě. Nabíjení tedy bude probíhat již od začátku příslušného období, a to až do okamžiku, kdy nastane rovnost dle vztahu 15. Následně algoritmus řízení úložiště zruší hladinu nabíjení  $H_{VYB}$  a tím i příkaz k nabíjení ze sítě. K jeho případnému obnovení dojde opět až na začátku následujícího optimalizačního období.

$$E_{C,A,PS}(t, i) = C_N(i) - SOC_U(N_t, i - 1)$$

15

- **Snížování maximálního příkonu objektu**

Stejně jako v případě nabíjení dochází k vybíjení úložiště ve dvou případech. Prvním z nich je vybíjení nezbytné pro snížení příkonu v daném optimalizačním období, které probíhá vždy, kdy je okamžitý příkon objektu po započítání výroby FVE vyšší, než  $P_{MAX,R}$ . Pro tyto účely by při dodržení všech předpokladů uvedených v 5.2.2 mělo být zajištěno dostatek energie již pouze na základě predikčních výpočtů. Za účelem zajištění naprosté spolehlivosti systému jsem se navíc rozhodl pro zavedení dodatečné rezervy nabití energie  $SOC_{S,PS}$  pro případy, kdy by v daném optimalizačním období bylo pro PS potřeba více energie, než bylo na základě výpočtů předpokládáno. Z toho důvodu je pro případ komplexního systému využívaná kapacita BESS  $C_U$  dána vztahem 16.

$$C_U = SOC_{MAX} - SOC_{MIN} - SOC_{S,PS}$$

Kde:  $SOC_{S,PS}$  je dodatečná rezerva nabití energie pro účely PS [kWh]

16

V případě potřeby bude systém schopný využít jednak této rezervní energie a také energie uložené v BESS díky stanovené minimální úrovni nabití  $SOC_{MIN}$ . V krajních případech, kdy by energie uložená v bateriích k pokrývání výkonových maxim nepostačovala, je následně možné přistoupit k odpojení spotřebičů, které jsou pro tento účely předem vybrány.

- **Využití části BESS nevyužívané pro PS**

Část bateriového úložiště, která v rámci optimalizačního období není vyhrazena pro PS, může být využita pro jiné účely. Jako primární možnost jsem vzhledem k prioritě č. 3 popsané v rámci 5.2.1 stanovil uložení přebytků vyrobené elektřiny z FVE a jejich alokaci pro následné využití pro účely PS nejpozději v následujícím optimalizačním období.

Jelikož předpověď výroby FVE bude známá na dva následující dny, bude v každém optimalizačním období alespoň přibližně známé množství potřebné energie pro PS v následujícím období a  $C_N(i + 1)$ . Na základě toho je pro každý okamžik optimalizačního období možné dle vztahu 17 provést výpočet množství energie  $E_{ZR}$ , kterou lze v daném čase využít v takzvaném základním režimu funkce BESS.

$$E_{ZR}(t, i) = \min\{SOC_U(t, i) - C_N(i) + E_{C,N,PS}(t, i) - C_N(i + 1), 0\}$$

Kde:  $E_{C,N,PS}$  je kumulativní množství energie skutečně využitě pro účely PS [kWh]

$SOC_U$  je úroveň nabití využívané části BESS [kWh]

17

### • Dobíjení elektromobilů

Pokud výkon FVE bude vyšší než příkon objektu a BESS bude zcela nabito, mohou být přebytky vyrobené elektřiny využity k dobíjení elektromobilů. Dobíjecí stanice řízené Foxtrotem jsou schopny plynulé regulace nabíjecího výkonu, takže lze využít kromě režimu nabíjení čistě z přebytků také režim, kdy jsou EV nabíjeny z DS, aniž by docházelo k překročení hranice  $P_{MAX,R}$ . Princip tohoto fungování je znázorněn v diagramu 4.2.

### 5.2.5. Výběr vhodné řídicí sestavy

Jelikož řídicí systémy často nabízí různé možnosti regulace systému, bylo nutné provést výběr konkrétní řídicí sestavy a ověřit, zda dostupné funkce pro řízení FVE s BESS odpovídají stanoveným požadavkům.

Pro účely práce jsem v tomto směru navázal spolupráci se společností Teco a.s., která je předním českým výrobcem průmyslových řídicích systémů pro inteligentní regulaci nejrůznějších procesů nejen v oblasti energetiky. Tyto systémy nenabízí pouze strohá standardizovaná řešení, nýbrž umožňují uživatelům tvořit a prostřednictvím ovládacích zařízení přímo aplikovat vlastní řídicí logické programy, a to přímo na základě jejich specifických požadavků. Hlavní řídicí jednotkou každého takového systému je PLC Tecomat Foxtrot. Na základě konzultací se zástupci společnosti jsem vytvořil přehled funkcí systémů ovládaných tímto PLC, které lze využít při inteligentní regulaci systémů FVE s BESS a také při dobíjení EV dle požadavků uvedených v rámci předchozích podkapitol. Tyto funkce jsou uvedeny a blíže popsány v následujících bodech.

- Předpověď počasí pro vybranou lokalitu – Jak již bylo zmíněno, výrobu FVE je možné na základě předpovědi počasí v krátkodobém časovém horizontu predikovat, přičemž vybrané PLC tuto funkci musí umožňovat. Foxtrot v tomto ohledu přímo disponuje možností stahování aktuálních dat a předpovědí osvětlení z internetových databází, a to včetně již popsaných databází PV Forecast a PV Nowcast.
- Pokročilé řízení BESS – Dalším požadavkem bylo, aby řídicí PLC bylo schopné řídit také nabíjení a vybíjení bateriového úložiště dle stanovených podmínek. Foxtrot umožňuje nastavení nejrůznějších logických příkazů odpovídajících požadovanému účelu, dle kterých se BESS v čase nabíjí a vybíjí. Je také důležité zmínit, že při návrhu algoritmu řízení čtvrt hodinových maxim jsem se inspiroval algoritmem vytvořeným v [47], kde byl jako řídicí prvek použit právě Foxtrot. Tato skutečnost tedy do značné míry potvrzuje jeho využitelnost pro tento účel.

- Řízené spínání a spojitá regulace příkonu vybraných spotřebičů – Zařízení je schopné na základě různých pokynů také cíleně spínat vybrané spotřebiče v objektu či v některých případech dokonce spojitě řídit jejich příkon, což může být využito jako pojistný mechanismus pro případy, kdy by v bateriovém úložišti nebylo dostatek energie potřebné na snížení maximálního příkonu objektu.
- Inteligentní regulace nabíjení EV – PLC umožňuje také inteligentní regulaci nabíjecích stanic pro EV tak, jak je detailněji popsáno v rámci 4.2.2. Dalším klíčovým prvkem je možnost integrovat nabíjecí stanice v objektu do platebního systému, což provozovateli umožňuje nabízet možnost zpoplatněného dobíjení EV.

Na základě výše uvedených skutečností jsem došel k závěru, že Tecomat Foxtrot disponuje potřebnými funkcemi pro řízení komplexního systému dle mnou navržených principů. Je tedy možné potvrdit, že po technické stránce je komplexní systém skutečně možné realizovat.

## 6. Návrh výpočetního modelu

V rámci předešlé kapitoly byly jasně definovány a popsány konkrétní principy fungování dvou typů navržených systémů. Předmětem této kapitoly bude na základě těchto principů vytvořit matematický model popisující technické parametry, a především také spotřební a výrobní diagramy v místě instalace. Takový model bude schopný simulovat reálný provoz systému, což může být využito k optimalizaci dimenze pomocí technicko-ekonomického porovnání možných variant. V rámci této kapitoly tedy budou detailně popsány matematické vztahy navrženého modelu.

### 6.1. Model jednoduchého PV systému

Jako první byl v rámci podkapitoly 5.1 popsán takzvaný jednoduchý systém, který kombinuje FVE s BESS fungujícím v základním režimu, tedy pokud je výkon elektrárny v daném čase vyšší než spotřeba objektu, baterie se nabíjí, až dokud nedosáhne maximální povolené úrovně nabití. Pokud je naopak okamžitá spotřeba objektu vyšší než výroba FVE, energii z baterií lze využít k jejímu pokrytí. Jelikož mnou navržený komplexní systém z tohoto jednoduchého do určité míry vychází, bude právě jednodušší varianta popsána jako první.

#### 6.1.1. Systém bez BESS

- **Určení časového rozlišení výpočtů**

V rámci podkapitoly 4.2.1 byl popsán princip fungování on-grid FVE bez bateriového úložiště. Již bylo zmíněno, že výroba FVE je značně intermitentní a pokrytí spotřeby objektu je možné jen v okamžiku výroby. Při tvorbě matematického modelu tedy v žádném případě není možné uvažovat data platná pro delší časová období, například údaje o velikosti denní, měsíční, či v nejhorších případech dokonce roční výroby a spotřeby elektrické energie. Graf 4.1 například znázorňuje, že pokud by byla uvažována denní suma výroby a spotřeby elektřiny, přetoky by v tomto konkrétním případě byly chybně považovány za nulové. Takovéto modely jsou bohužel v současné době na trhu s fotovoltaickými elektrárnami naprosto běžně využívány, přestože jejich přesnost je velmi nízká. Ve snaze předejít těmto nepřesnostem jsem se v navrženém modelu snažil počítat s co možná nejmenšími časovými úseky.

V rámci 5.2.3 bylo zmíněno, že většina průmyslových podniků má z důvodu připojení odběrného místa na hladině VN záznamy z průběhového měření spotřeby s patnáctiminutovými intervaly, přičemž pro účely výpočtů v minulé kapitole bylo zavedeno stejné rozlišení s časovými úseky  $t$  o délce 15 minut a také optimalizační období  $i$  o délce 24 hodin. Stejně časové rozlišení a jeho značení dle uvedených vztahů 4 až 7 tedy budu využívat i v rámci matematického modelu.

- **Výchozí stav výpočtu**

Výchozí stav je dán simulovaným diagramem spotřeby elektrické energie vybraného průmyslového objektu  $P_C$ , přičemž pro výpočty modelu může být využit jakýkoli roční diagram příkonu naměřený v minulých letech, pokud od té doby nedošlo k systémovému navýšení spotřeby. Z hodnot tohoto diagramu lze vypočítat celkovou výchozí roční spotřebu elektřiny  $E_C$  dle vztahu 18.



$$E_C = \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{N_t} P_c(t, i)$$

Kde:  $P_c$  je výchozí příkon objektu [kW]

18

- **Výroba elektřiny z FVE**

Prvním a klíčovým krokem nezbytným pro následné výpočty energetických zisků je vytvoření výrobního diagramu fotovoltaické elektrárny. Průměrný výkon elektrárny pro první rok provozu  $P_{P,1}$  je dán vztahem 19.

$$P_{P,1}(t, i) = P_{inst} * P_{kWp}(t, i) * d_1$$

Kde:  $P_{inst}$  je celkový instalovaný výkon FVE [kW]

$P_{kWp}$  je výkon FVE o výkonu 1 kWp pro konkrétní volené parametry dle [62] [kW]

$d_1$  je předpokládaná degradace panelů v prvním roce [%]

19

Již v prvním roce provozu jsem uvažoval degradaci panelů  $d_1$ , která právě na začátku provozu bývá nejvyšší a následně se ustálí a meziročně již dochází pouze k pozvolnému lineárnímu poklesu výkonu. Pro následující roky je tedy diagram výroby FVE možné vypočítat dle vztahu 20.

$$P_p(t, i, y) = P_{P,1}(t, i) * [(y - 1) * d_n]$$

Kde:  $d_n$  je průměrný roční pokles výkonu panelů v dalších letech [%]

20

Celková předpokládaná roční výroba  $E_p$  je pak dána následujícím vztahem 21.

$$E_p(y) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{N_t} P_{P,1}(t, i), & y = 1 \\ \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{N_t} P_p(t, i, y), & y \neq 1 \end{cases}$$

21

- **Spotřeba elektřiny s využitím FVE**

Na základě znalosti diagramů výchozí spotřeby elektřiny v objektu a výroby FVE lze dle vztahu 22 provést výpočet hodnot  $P_{C,FVE}$ , neboli diagramu spotřeby v objektu po započítání pokrytí části původní spotřeby elektřinou vyrobenou z fotovoltaické elektrárny. Z uvedeného vztahu je zřejmé, že vyrobená elektřina je v každém okamžiku prioritně využívána na pokrytí spotřeby objektu.

$$P_{C,FVE}(t, i, y) = \begin{cases} 0, & P_C(t, i) - P_P(t, i, y) < 0 \\ P_C(t, i) - P_P(t, i, y), & P_C(t, i) - P_P(t, i, y) \geq 0 \end{cases}$$

22

- **Nevyužitý výkon FVE**

Podobně jako v případě spotřebního diagramu lze dle vztahu 23 vytvořit také diagram přebytků  $P_R$ , který udává pro daný časový úsek  $t$  výši nevyužitého výkonu FVE.

$$P_R(t, i, y) = \begin{cases} P_P(t, i, y) - P_C(t, i), & P_C(t, i) - P_P(t, i, y) < 0 \\ 0, & P_C(t, i) - P_P(t, i, y) \geq 0 \end{cases}$$

23

- **Přehled využití vyráběné elektřiny**

Na základě vytvořených diagramů lze vypočítat jednak očekávanou roční spotřebu objektu po instalaci FVE  $E_{C,FVE}$  dle vztahu 24 a dále také množství nevyužité elektřiny  $E_R$ , která bude dodána do DS a prodána za smlouvenou cenu dle vztahu 25. Množství vyrobené elektřiny využité přímo ve vybraném objektu  $E_U$  pak lze dopočítat dle vztahu 26.

$$E_{C,FVE}(y) = \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{N_t} P_{C,FVE}(t, i, y)$$

24

$$E_R(y) = \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{N_t} P_R(t, i, y)$$

25

$$E_U(y) = E_P(y) - E_R(y)$$

26

## 6.1.2. Systému s BESS

- **Spotřeba elektřiny s využitím FVE a BESS**

Pro matematický popis systému s bateriovým úložištěm lze vyjít z rovnic 18 až 26, které popisují základní funkci FVE. Z důvodu značné obsáhlosti některých vztahů v této části bylo pro zvýšení přehlednosti potřeba v určitých případech zavést pomocné proměnné s označením  $P_{sub}$  v případě výkonu a  $E_{sub}$  v případě energie. Pokud proměnná  $P_{sub1}$  bude dána vztahem 27, pak lze vytvořit diagram finální spotřeby s využitím BESS  $P_{C,FINAL}$  dle vztahu 28. V některých vztazích již pro zvýšení jejich přehlednosti dále nebudu uvádět indexy značící roky provozu  $y$ , přičemž pro všechny proměnné, které jsou závislé na meziročním poklesu výkonu panelů či poklesu kapacity BESS, musí být samozřejmě v každém roce uvažovány odpovídající hodnoty.

$$P_{sub1}(t, i) = P_{C,FVE}(t, i) - \min \left\{ \frac{N_t}{t_D} * SOC_U(t - 1, i), P_{BESS} \right\}$$

Kde:  $SOC_U$  je úroveň nabití využívané kapacity BESS [kWh]

$P_{BESS}$  je výkon BESS [kW]

$t_D$  je čas jednoho dne v hodinách [hod]

27

$$P_{C,FINAL}(t, i) = \begin{cases} P_{sub1}(t, i), & P_{sub1}(t, i) > 0 \\ 0, & P_{sub1}(t, i) \leq 0 \\ P_{C,FVE}(t, i), & i = 1 \wedge t = 1 \end{cases}$$

28

Celkovou využívanou kapacitu v prvním roce provozu  $C_U(1)$  jsem pro jednoduchý systém určil dle vztahu 29.

$$C_U(1) = SOC_{MAX} - SOC_{MIN}$$

Kde:  $SOC_{MAX}$  je maximální stanovená úroveň nabití BESS [kWh]

$SOC_{MIN}$  je minimální stanovená úroveň nabití BESS [kWh]

29

V následujících letech provozu BESS je nutné kromě již popsaného poklesu výkonu panelů započítat také pokles kapacity bateriového úložiště. Ve výpočtech uvažuji lineární pokles využitelné kapacity daný vztahem 30.

$$C_U(y) = C_U(1) * \left( 1 - y * \frac{1 - SOH_{T_L,BESS}}{T_{L,BESS}} \right)$$

Kde:  $SOH_{T_L,BESS}$  je zbytková kapacita BESS na konci životnosti [%/ $C_U(1)$ ]

$T_{L,BESS}$  je doba životnosti BESS [roky]

30

Z výše uvedených vztahů lze názorně vidět, že pro využívání BESS v konkrétním časovém úseku není určující pouze stav nabití využívané části úložiště  $SOC_U$ , ale i maximální výkon úložiště  $P_{BESS}$ , který samozřejmě nelze překročit, i pokud by v úložišti bylo zdánlivě dostatek energie pro pokrytí momentální spotřeby. V celém výpočetním modelu je tedy tato podmínka respektována.

#### • Stav nabití BESS

Pokud další zavedená pomocná proměnná  $E_{sub1}$  je dána vztahem 31, pak úroveň nabití využívané části BESS na konci konkrétního časového úseku vypočítat dle vztahu 32, který odpovídá skutečnosti, že BESS v případě jednoduchého systému operuje v základním režimu popsanému v 4.2.2. Celková úroveň nabití bateriového úložiště  $SOC_T$  je následně dána vztahem 33.

$$E_{sub1}(t, i) = SOC_U(t - 1, i) + \min \left\{ \frac{P_R(t, i) + P_{C,FINAL}(t, i) - P_{C,FVE}(t, i)}{N_t/t_D}, \frac{P_{BESS}}{N_t/t_D} \right\}$$

31

$$SOC_U(t, i) = \begin{cases} E_{sub1}(t, i), & E_{sub1}(t, i) < C_U \\ C_U, & E_{sub1}(t, i) \geq C_U \\ 0, & i = 1 \wedge t = 1 \end{cases}$$

Kde:  $C_U$  je kapacita využívané části BESS v prvním roce provozu [kWh]

32

$$SOC_T(t, i) = SOC_U + SOC_{MIN}$$

33

Ze vztahů doposud uvedených v této podkapitole lze vidět, že stav nabití na konci časového úseku  $t$  značený jako  $SOC_U(t, i)$  je závislý na  $P_{C,FINAL}(t, i)$ , která je ale přímo závislá na stavu nabití baterie na konci předchozího časového úseku  $SOC(t - 1, i)$ . Tyto proměnné jsou tedy provázané a navzájem na sebe odkazují. Z toho důvodu bylo potřeba stanovit výchozí bod popsany v obou případech funkční hodnotou pro případ  $i = 1 \wedge t = 1$ , od kterého se výpočet dále odvíjí.

- **Nevyužitý výkon FVE**

I při využití bateriového úložiště je samozřejmě potřeba počítat s tím, že část výkonu FVE se v rámci objektu nevyužije. Pro vytvoření diagramu finálního přebytečného výkonu elektrárny  $P_{R,FINAL}$  jsem zavedl dvě pomocné proměnné, které jsou dány vztahy 34 a 35. Pro takové zavedení pak platí, že diagram finálního přebytečného výkonu lze vypočítat ze vztahu 36.

$$E_{sub2}(t, i) = SOC_U(t - 1, i) + \min \left\{ \frac{P_R(t, i)}{N_t/t_D}, \frac{P_{BESS}}{N_t/t_D} \right\}$$

34

$$P_{sub2}(t, i) = P_R(t, i) - P_{BESS}(t, i)$$

35

$$P_{R,FINAL}(t, i) = \begin{cases} \frac{N_t}{t_D} * [E_{sub2}(t, i) - C_U], & E_{sub2}(t, i) > C_U \wedge P_{sub2}(t, i) \in \mathbb{R} \\ P_{sub2}(t, i), & E_{sub2}(t, i) \leq C_U \wedge P_{sub2}(t, i) > 0 \\ 0, & E_{sub2}(t, i) \leq C_U \wedge P_{sub2}(t, i) < 0 \end{cases}$$

36

- **Přehled využití vyráběné elektřiny s BESS**

Podobně jako v případě systému bez BESS lze z vytvořených diagramů vytvořit přehled využití vyráběné elektřiny z FVE. Pro první rok provozu systému s využitím bateriového úložiště platí, že finální spotřeba podniku s využitím BESS  $E_{C,BESS}$  je dána vztahem 37, celkové množství nevyužité vyrobené elektřiny  $E_{R,BESS}$  vztahem 38 a množství využití vyrobené elektřiny  $E_{U,BESS}$  vztahem 39. V tomto vztahu jsem uvažoval také účinnost nabíjecího cyklu bateriového úložiště  $\eta_{BESS}$ .

$$E_{C,BESS}(y) = \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{N_t} P_{C,FINAL}(t, i, y)$$

37

$$E_{R,BESS}(y) = \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{N_t} P_{R,FINAL}(t, i, y)$$

38

$$E_{U,BESS}(y) = [E_P(y) - E_{R,BESS}(y) - E_U(y)] * \eta_{BESS} + E_U(y)$$

Kde:  $\eta_{BESS}$  je účinnost nabíjecího cyklu bateriového úložiště [%]

39

## 6.2. Model komplexního systému

V rámci této podkapitoly budou popsány matematické vztahy popisující provoz komplexního systému. Podobně jako v případě jednoduchého systému lze vyjít z rovnic 18 až 26, které popisují základní funkci FVE. Další části modelu budou popsány v rámci následujících podkapitol.

### 6.2.1. Využití BESS pro PS

Při matematickém popisu využití bateriového úložiště pro účely PS je možné vyjít z rovnic 2 až 14, které byly detailně vysvětleny v rámci 5.2.3. Tyto vztahy, které byly navrženy v rámci řídicího programu a budou tedy přímo definovat funkci celého systému v reálném provozu, lze totiž s drobnými úpravami využít i pro simulaci provozu pomocí navrženého modelu.

Hlavní úpravou nutnou pro potřeby simulace je změna významu pojmenování „Modelový diagram výroby“. Přestože v reálném provozu bude PLC znát předpověď pouze na následující dva dny, v rámci matematického modelu je třeba simulovat budoucí provoz v rámci celého roku. Z toho důvodu jsem pro účely simulace zavedl roční modelový diagram výroby  $P_{P,M}$ , který je dán vztahem 40, kde  $P_P$  je diagram dostupný z [62].

$$P_{P,M}(t, i) = 0,8 * P_P(t, i)$$

40

Ze vztahu 41 lze následně pro celý rok vypočítat očekávaný diagram modelové spotřeby s využitím FVE  $P_{C,M,FVE}$ , přičemž finální modelový predikovaný příkon objektu  $P_{C,M}$  je pro účely matematického modelu navržen stejně, jako pro potřeby reálného řízení popsané v 5.2.3.

$$P_{C,M,FVE}(t, i) = \begin{cases} 0, & P_{C,M}(t) - P_{P,M}(t, i) < 0 \\ P_{C,M}(t, i) - P_{P,M}(t, i), & P_{C,M}(t) - P_{P,M}(t, i) \geq 0 \end{cases}$$

Kde:  $P_{C,M}$  je finální modelový predikovaný příkon objektu [kW]

$P_{P,M}$  je modelový diagram výroby [kW]

41

Z hodnot tohoto diagramu pak lze dle vztahu 42 pro každé období  $i$  dopočítat také potřebnou energii, neboli také potřebnou kapacitu BESS  $C_N$ , která musí být vyhrazena pro účely snížení maximálního příkonu na hodnotu  $P_{MAX,R}(m)$ .

$$C_N(i, m) = \sum_{t=1}^{N_t} \min[P_{C,M,FVE}(t, i) - P_{MAX,R}(m), 0]$$

42

Pokud je známé množství energie potřebné pro snížení příkonu v daném optimalizačním období, je třeba v každém případě zajistit nabití BESS na požadovanou úroveň. V podkapitole 5.2.4 bylo uvedeno, že pokud BESS nebude na začátku optimalizačního období nabito dostatečně, nabíjení elektřiny potřebné pro PS z distribuční sítě bude probíhat co možná nejrychleji již od začátku příslušného období. Za tímto účelem je potřeba pro každý časový úsek  $t$  v daném období  $i$  určit maximální přípustný nabíjecí výkon  $P_{Ch,MAX}$  tak, aby při nabíjení BESS nedošlo k přeskoku do pásma vybíjení a také aby byl uvažován jeho maximální výkon  $P_{BESS}$ . Při zavedení pomocné proměnné dle vztahu 43 lze tento výkon vypočítat dle vztahu 44.

V tomto ohledu je nutné poznamenat, že v rámci nastavení systému je vhodné volit rozpětí optimalizačních období tak, aby se jejich poslední časový úsek  $t$  alespoň přibližně shodoval s koncem pracovních směn. Tím by mělo být zajištěno, že v první části každého období bude nižší spotřeba a tím pádem prostor pro případné nabíjení BESS z DS.

$$P_{sub3}(t, i) = \min\{P_{MAX,R}(m) - P_{PID} - P_{C,FVE}(t, i), P_{BESS}\}$$

43

$$P_{Ch,MAX}(t, i) = \begin{cases} P_{sub3}(t, i), & P_{sub3}(t, i) \geq 0 \\ 0, & P_{sub3}(t, i) < 0 \end{cases}$$

44

Při znalosti maximálního nabíjecího výkonu lze následně určit  $E_{C,A,PS}(t, i)$ , tedy kumulativní množství nabití energie pro PS v daném časovém úseku příslušného optimalizačního období, které je dáno vztahem 46, pokud zároveň platí vztah 45.

$$E_{sub3}(t, i) = \begin{cases} 0, & i = 1 \wedge t = 1 \\ \min\{C_N(i, m), SOC_U(N_t, i - 1)\}, & i \neq 1 \wedge t = 1 \\ E_{C,A,PS}(t - 1, i), & i \neq 1 \wedge t \neq 1 \end{cases}$$

45

$$E_{C,A,PS}(t, i) = \begin{cases} E_{sub3}(t, i) + \frac{P_{Ch,MAX}(t, i)}{N_t/t_D}, & E_{sub3}(t, i) + \frac{P_{Ch,MAX}(t, i)}{N_t/t_D} < C_N(i, m) \\ C_N(i, m), & E_{sub3}(t, i) + \frac{P_{Ch,MAX}(t, i)}{N_t/t_D} \geq C_N(i, m) \end{cases}$$

46

Konečné hodnoty nabíjecího výkonu  $P_{Ch}$  v jednotlivých časových úsecích pak získáme dle vztahu 48, pokud zavedená pomocná proměnná  $P_{sub4}(t, i)$  je dána vztahem 47. V tomto ohledu je nutné poznamenat, že nabíjení BESS z DS probíhá v každém optimalizačním období pouze do okamžiku, kdy kumulativní množství nabití energie  $E_{C,A,PS}$  dosáhne hodnoty  $C_N$ . Následně algoritmus řízení příkaz k nabíjení ze sítě. K jeho případnému obnovení dojde opět až na začátku následujícího optimalizačního období.

$$P_{sub4}(t, i) = \begin{cases} \frac{N_t}{t_D} * E_{C,A,PS}(t, i), & i = 1 \wedge t = 1 \\ \frac{N_t}{t_D} * [E_{C,A,PS}(t, i) - \min\{C_N(i), SOC_U(N_t, i - 1)\}], & i \neq 1 \wedge t = 1 \\ \frac{N_t}{t_D} * [E_{C,A,PS}(t, i) - E_{C,A,PS}(t - 1, i)], & i \neq 1 \wedge t \neq 1 \end{cases}$$

47

$$P_{Ch}(t, i) = \begin{cases} P_{sub4}(t, i), & P_{sub4}(t, i) > 0 \\ 0, & P_{sub4}(t, i) \leq 0 \end{cases}$$

48

Jelikož nabíjení elektřiny potřebné pro PS z distribuční sítě představuje navýšení spotřeby objektu, bylo pro účely výpočetního modelu potřeba vytvořit nový spotřební diagram  $P_{C,FVE,Ch}$  respektující toto navýšení. Ten je dán vztahem 49, přičemž důležité je v tomto případě také započítání případného přebytečného výkonu  $P_R$  v příslušných časových úsecích, které jsou přednostně využívány na dobíjení BESS. V reálném provozu totiž dochází k dobíjení BESS z přebytků vždy, pokud úložiště není zcela nabité.

$$P_{C,FVE,Ch}(t, i) = \begin{cases} P_{C,FVE}(t, i) + P_{Ch}(t, i) - P_R(t, i), & P_{C,FVE}(t, i) + P_{Ch}(t, i) - P_R(t, i) > 0 \\ 0, & P_{C,FVE}(t, i) + P_{Ch}(t, i) - P_R(t, i) \leq 0 \end{cases}$$

49

Diagram přebytečného výkonu po takovémto využití jeho části  $P_{R,Ch}$  je dán vztahem 50, přičemž diagram spotřeby objektu po snížení maximálního příkonu  $P_{C,FVE,Ch,PS}$  lze následně dopočítat dle vztahu 51.

$$P_{R,Ch}(t, i) = \begin{cases} P_R(t, i) + P_{C,FVE,Ch}(t, i) - P_{Ch}(t, i), & P_{Ch}(t, i) > P_{C,FVE,Ch}(t, i) \\ P_R(t, i), & P_{Ch}(t, i) \leq P_{C,FVE,Ch}(t, i) \end{cases}$$

50

$$P_{C,FVE,Ch,PS}(t, i) = \begin{cases} P_{C,FVE,Ch}(t, i), & P_{C,FVE,Ch}(t, i) < P_{MAX,R}(i) \\ P_{MAX,R}(i, m), & P_{C,FVE,Ch}(t, i) \geq P_{MAX,R}(i) \end{cases}$$

51

Při zavedení pomocné proměnné  $E_{sub4}$  dle vztahu 52 lze dále dopočítat pro každý časový úsek také kumulativní množství energie skutečně potřebné pro PS v daném optimalizačním období  $E_{C,R,PS}$  dle vztahu 53.

$$E_{sub4}(t, i) = \begin{cases} E_{C,R,PS}(t - 1, i), & t \neq 1 \\ 0, & t = 1 \end{cases}$$

52

$$E_{C,R,PS}(t, i) = \begin{cases} E_{sub4}(t, i) + \frac{P_{C,FVE,Ch}(t, i) - P_{MAX,R}(i)}{N_t/t_D}, & P_{C,FVE,Ch}(t, i) > P_{MAX,R}(i, i) \\ E_{C,R,PS}(t - 1, i), & P_{C,FVE,Ch}(t, i) \leq P_{MAX,R}(i, i) \end{cases}$$

53

Podle rovnice 54 je následně možné dopočítat stav nabití  $SOC_N$  části baterie  $C_N$  využívané v příslušném optimalizačním období pro účely PS. V tomto ohledu je nutné zdůraznit, že BESS samozřejmě ve skutečnosti není rozděleno na jednotlivé části a toto dělení jsem zavedl pouze pro účely výpočetního modelu.

$$SOC_N(t, i) = E_{C,A,PS}(t, i) - E_{C,R,PS}(t, i)$$

54

Z výše uvedených vztahů je zřejmé, že hodnoty  $E_{C,A,PS}(t, i)$  jsou přímo závislé na hodnotách modelového diagramu spotřeby navrženém pro účely PS  $P_{C,M,FVE}(t, i)$ , zatímco  $E_{C,R,PS}$  se počítá již ze simulovaného reálného spotřebního diagramu  $P_{C,FVE,Ch}(t, i)$ . Z toho důvodu mohou nastat případy, že stav nabití části BESS využívané pro PS na konci optimalizačního období nemusí být nulový. Tato skutečnost plně koresponduje s reálným provozem systému, při kterém také nelze zaručit naprostou shodu reálného výrobního a spotřebního diagramu s predikovanými modelovými diagramy, se kterými počítá řídicí PLC. Takovýto případný rozdíl nabití na konci optimalizačního období tedy musí být připočítán ke stavu nabití BESS v dalším optimalizačním období, což bude řešeno v další části práce.

## 6.2.2. Využití volné části BESS

V rámci výpočtů jsem zavedl takzvanou volnou kapacitu BESS  $C_{A,T}$ , která pro každý časový úsek optimalizačního období udává, jak velká část BESS není vyhrazena pro účely PS. Tato proměnná je dána vztahem 55.

$$C_{A,T}(t, i) = C_U - [C_N(i) - E_{C,R,PS}(t, i)]$$

55

### • Konečná spotřeba elektřiny s využitím FVE a BESS

Pro výpočet hodnot diagramu spotřeby s využitím FVE a řízeným BESS bylo dále nutné zavést hned několik proměnných. První z nich je pomocná proměnná  $P_{sub5}(t, i)$ , která je za předpokladu  $i \neq 1 \wedge t \neq 1$  dána vztahem 56 a za předpokladu  $i \neq 1 \wedge t = 1$  vztahem 57.

$$P_{sub5}(t, i) = P_{C,FVE,Ch,PS}(t, i) - \min \left\{ \frac{N_t}{t_D} * SOC_A(t - 1, i), P_{BESS} \right\}$$

Kde:  $SOC_A$  je úroveň nabití volné části BESS nevyhrazené pro účely PS [kWh]

56

$$P_{sub5}(t, i) = P_{C,FVE,Ch,PS}(t, i) - \min \left\{ \frac{N_t}{t_D} * SOC_U(N_t, i - 1), P_{BESS} \right\} - \min \left\{ \frac{N_t}{t_D} * SOC_U(N_t, i - 1), C_N(i) \right\}$$

57

Při zavedení této proměnné bylo dále možné popsat pomocnou proměnnou  $P_{sub6}(t, i)$  vztahem 58. Poslední zavedenou proměnnou dle vztahu 59 je  $E_{sub5}(t, i)$ .

$$P_{sub6}(t, i) = \begin{cases} P_{sub5}(t, i), & P_{sub5}(t, i) > 0 \\ 0, & P_{sub5}(t, i) \leq 0 \end{cases}$$

58



$$E_{sub5}(t, i) = \begin{cases} 0, & i = 1 \wedge t = 1 \\ SOC_U(N_t, i - 1) - \min\{C_N(i), SOC_U(N_t, i - 1)\}, & i \neq 1 \wedge t = 1 \\ SOC_A(t - 1, i), & i \neq 1 \wedge t \neq 1 \end{cases}$$

59

Vztah pro výpočet hodnot finálního diagramu spotřeby  $P_{C,FINAL}$  je při tomto značení dán vztahem 60. Při bližší analýze uvedených vzorců lze názorně vidět propojení jednotlivých optimalizačních období, kdy se energie nabitá ve využívané části BESS přenáší do dalšího období tak, že prioritně je s ní počítáno pro využití na PS v tomto období a pouze v případě přebytku je energii možné využít pro jiné účely.

$$P_{C,FINAL}(t, i) = \begin{cases} P_{sub6}(t, i), & E_{sub5}(t, i) + \frac{P_{R,Ch}(t, i)}{N_t/t_D} > \min\{C_{A,T}(t, i), C_N(i + 1)\} \\ P_{C,FVE,Ch,PS}(t, i), & E_{sub5}(t, i) + \frac{P_{R,Ch}(t, i)}{N_t/t_D} \leq \min\{C_{A,T}(t, i), C_N(i + 1)\} \end{cases}$$

60

- **Stav nabití části BESS nevyužívané pro PS**

Kapacita pomyslné volné části bateriového úložiště  $C_{A,T}$ , která v rámci optimalizačního období není vyhrazena pro PS, může být využita pro jiné účely. Jako primární možnost jsem vzhledem k prioritě č. 2 popsané v rámci 5.2.1 stanovil uložení přebytků vyrobené elektřiny z FVE a jejich alokaci pro následné využití pro účely PS nejpozději v následujícím optimalizačním období.

Pokud úroveň nabití volné části BESS přesáhne vypočítanou hodnotu  $C_N(i + 1)$ , BESS může být dále využito k neregulovanému využití uložených přebytků v základním režimu funkce BESS dle priority č. 3. Pro výpočet stavu nabití volné části jsem zavedl následující pomocné proměnné, konkrétně  $E_{sub6}(t, i)$  dle vztahu 61 a  $E_{sub7}(t, i)$  dle vztahu 62.

$$E_{sub6}(t, i) = E_{sub5}(t, i) + \min\left\{\frac{P_{R,Ch}(t, i) + P_{C,FINAL}(t, i) - P_{C,FVE,Ch,PS}(t, i)}{N_t/t_D}, \frac{P_{BESS}(t, i)}{N_t/t_D}\right\}$$

61

$$E_{sub7}(t, i) = \begin{cases} E_{sub6}(t, i), & E_{sub6}(t, i) \leq C_{A,T}(t, i) \\ C_{A,T}(t, i), & E_{sub6}(t, i) > C_{A,T}(t, i) \end{cases}$$

62

Při zavedení těchto proměnných pak pro úroveň nabití volné části BESS nevyužívané pro PS  $SOC_A$  platí vztah 63. Stav nabití takzvané využívané části baterie pak lze dopočítat ze vzorce 64 a celkovou energii uloženou v BESS  $SOC_T$  dle 65.

$$SOC_A(t, i) = \begin{cases} E_{sub5}(t, i) + \frac{P_{R,Ch}(t, i)}{N_t/t_D}, & E_{sub5}(t, i) + \frac{P_{R,Ch}(t, i)}{N_t/t_D} \leq \min\{C_{A,T}(t, i), C_N(i + 1)\} \\ E_{sub7}(t, i), & E_{sub5}(t, i) + \frac{P_{R,Ch}(t, i)}{N_t/t_D} > \min\{C_{A,T}(t, i), C_N(i + 1)\} \end{cases}$$

63

$$SOC_U(t, i) = SOC_A(t, i) + SOC_N(t, i)$$

64

$$SOC_T(t, i) = SOC_U(t, i) + SOC_{S,PS} + SOC_{MIN}$$

Kde:  $SOC_{S,PS}$  je dodatečná rezerva nabité energie pro účely PS [kWh]

65

Z uvedených vztahů je zřejmé zavedení dodatečné rezervy nabité energie pro případy, kdy by v daném optimalizačním období bylo pro PS potřeba více energie, než bylo předpokládáno na základě predikovaných diagramů. Toto zavedení respektuje předpoklady popsané v rámci podkapitoly 5.2.1.

- **Nevyužitý výkon FVE**

Pro vytvoření diagramu finálního přebytečného výkonu FVE s využitím BESS a pokročilým řízením systému jsem zavedl dvě pomocné proměnné, které jsou dány vztahy 66 a 67.

$$E_{sub8}(t, i) = E_{sub5}(t, i) + \min \left\{ \frac{P_{R,Ch}(t, i)}{N_t/t_D}, \frac{P_{BESS}}{N_t/t_D} \right\}$$

66

$$P_{sub7}(t, i) = P_{R,Ch}(t, i) - P_{BESS}$$

67

Pro takové zavedení pak platí, že diagram finálního přebytečného výkonu  $P_{R,FINAL}$  lze vypočítat ze vztahu 68.

$$P_{R,FINAL}(t, i) = \begin{cases} \frac{N_t}{t_D} * [E_{sub5}(t, i) - C_{A,T}(t, i)], & E_{sub8}(t, i) > C_{A,T}(t, i) \\ P_{sub7}(t, i), & E_{sub8}(t, i) \leq C_{A,T}(t, i) \wedge P_{sub7}(t, i) > 0 \\ 0, & E_{sub8}(t, i) \leq C_{A,T}(t, i) \wedge P_{sub7}(t, i) < 0 \end{cases}$$

68

### 6.2.3. Přehled využití vyráběné elektřiny s BESS

Pro první rok provozu komplexního systému platí, že finální spotřeba podniku  $E_{C,BESS}$  je dána vztahem 69, celkové množství nevyužité vyrobené elektřiny  $E_{R,BESS}$  vztahem 70 a množství využití vyrobené elektřiny při respektování účinnosti BESS  $E_{U,BESS}$  vztahem 71.

$$E_{C,BESS}(y) = \sum_{i=1}^{N_d} \sum_{t=1}^{N_t} P_{C,FINAL}(t, i, y)$$

69

$$E_{R,BESS}(y) = \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{N_t} P_{R,FINAL}(t, i, y)$$

70

$$E_{U,BESS}(y) = [E_P(y) - E_{R,BESS}(y) - E_U(y)] * \eta_{BESS} + E_U(y)$$

71

## 6.2.4. Využití přebytečné elektřiny na dobíjení EV

Doposud v rámci popisu komplexního systému nebylo uvažováno využití přebytečné vyrobené elektřiny k dobíjení elektromobilů, které je dáno prioritou č. 4 popsanou v 5.2.1. Tato možnost využití je výhodná jak z pohledu investora, tak i z pohledu zaměstnanců, kteří mohou své EV dobíjet za zvýhodněnou cenu.

V rámci tvorby části modelu popisující toto nabíjení bylo nejprve nutné určit hodnoty přebytečného výkonu FVE, které skutečně lze pro dobíjení vozů využít. Je totiž nutné si uvědomit, že zaměstnanci budou s největší pravděpodobností chtít dobíjet zejména v pracovní době. Výsledný diagram přebytečného výkonu využitelného k nabíjení EV  $P_{EV,R}$  je tedy při uvažování těchto skutečností dán vztahem 72.

$$P_{EV,R}(t, i, y) = \begin{cases} \min\{P_{R,FINAL}(t, i, y)\}, & t_{EV,min} < t < t_{EV,max} \\ 0, & t_{EV,min} \geq t \geq t_{EV,max} \end{cases}$$

Kde:  $t_{EV,min}$  je časový úsek, kterým začíná pracovní směna [-]

$t_{EV,max}$  je časový úsek, kterým končí pracovní směna [-]

72

Pokud rozdělíme skupinu EV v areálu na vozy firemní a na vozy v soukromém vlastnictví zaměstnanců, logicky lze určit prioritu využívání přebytků elektřiny pro dobíjení firemních vozů. Pokud zavedeme  $E_{EV,N}$  jako průměrné množství elektřiny, které v optimalizačním období firemní EV pro svůj provoz potřebují, pak energie využitá v daném dni pro jejich dobíjení je dána vztahem 73. Roční sumu energie využitou pro tentýž účel  $E_{EV,R,U,Y}$  lze při započítání poklesu výkonu FVE následně dopočítat dle vzorce 74.

$$E_{EV,R,U}(i, y) = \min \left\{ \sum_{t=1}^{N_t} \frac{P_{EV,R}(t, i, y)}{N_t/t_D}, E_{EV,N}(i, y) \right\}$$

Kde:  $E_{EV,N}$  je průměrné množství elektřiny, potřebné pro dobíjení firemních EV [kWh/den]

73

$$E_{EV,R,U,Y}(y) = \sum_{i=1}^{N_i} [E_{EV,R,U}(i, y)]$$

74

Pro popis dobíjení EV zaměstnanců jsem se dále rozhodl počítat s týdenními sumami energie. Pro tento postup jsem se rozhodl zejména proto, že u většího množství aut s často neznámými vzorci využívání lze jen těžko odhadovat požadavky na jejich dobíjení v rámci jednotlivých dní. Pro příklad lze uvést modelovou situaci, kdy v týdnu může být vůz využíván pouze na krátké cesty do zaměstnání, nicméně o víkendu může jeho majitel plánovat výlet na vzdálenější chatu, tudíž si rád během pracovního týdne nabije baterii více.

Pro týdenní sumu přebytků využitelných pro dobíjení EV zaměstnanců  $E_{EV,R,EM}$  jsem tedy zavedl vztah 75, přičemž uvažuji možnost nabíjení pouze v pracovních dnech.

$$E_{EV,R,EM}(w, y) = \sum_{i=7*w-6}^{7*w-2} \left[ \sum_{t=1}^{N_t} \frac{P_{EV,R}(t, i, y)}{N_t/t_D} - E_{EV,R,U}(i, y) \right]$$

75

Pro daný týden  $w$  lze dopočítat sumu přebytečné energie využitě na dobíjení EV zaměstnanců  $E_{EV,R,EM,U}$  ze vztahu 76. V tomto ohledu ve výpočtech uvažují zjednodušeně pro všechny zaměstnanecké vozy stejné průměrné týdenní množství energie  $E_{EV,EM,N}$ , kterou by jejich uživatelé rádi dobili. Počet těchto vozů je pak dán jako  $N_{EV,EM}$ . Roční suma přebytečné energie využitě k dobíjení EV zaměstnanců  $E_{EV,R,EM,U,Y}$  je následně dána vzorcem 77.

$$E_{EV,R,EM,U}(w, y) = \min\{E_{EV,R,EM}(w, y), N_{EV,EM}(y) * E_{EV,EM,N}(w)\}$$

Kde:  $E_{EV,EM,N}$  je množství elektřiny potřebné pro dobítí EV zaměstnanců [kWh/týden]

76

$$E_{EV,R,EM,U,Y}(y) = \sum_{w=1}^{N_w} [E_{EV,R,EM,U}(w, y)]$$

77

### 6.3. Ekonomická část výpočetního modelu

V rámci této kapitoly byl doposud jasně definován matematický model simulující reálnou funkci navržených systémů. Aby bylo možné zhodnotit výhodnost instalace vybrané sestavy, a také najít z ekonomického hlediska její nejvhodnější dimenzi, bylo zapotřebí vytvořit také navazující ekonomickou část výpočetního modelu, což je i hlavním předmětem této podkapitoly. Ekonomická část bude pro oba navržené typy sjednocena, přičemž některé části jsou samozřejmě platné pouze pro komplexní systém.

#### 6.3.1. Výpočet úspor a příjmů za prodej elektřiny

V první řadě budu popisovat úspory, kterých se instalací systému dosáhne. Jedná se o úspory za nákup elektrické energie a také za rezervovanou kapacitu. Dále pak budou popsány vztahy potřebné pro výpočet příjmů za prodej elektrické energie, a to jak na dobíjení EV, tak i za prodej nevyužitě elektřiny dodané do DS.

- **Výpočet úspor za elektrickou energii**

Celkové úspory za nákup elektrické energie jsou pro daný rok  $y$  dány vztahem 78. Ze vztahu je zřejmé, že kromě elektřiny využitě pro pokrytí původní spotřeby v objektu  $E_{U,BESS}(y)$  je započítána i energie využitá na dobíjení firemních elektromobilů  $E_{EV,R,U,Y}(y)$ . Je to z toho důvodu, že pokud by k dobíjení firemních EV nebylo využito přebytků z FVE, bylo by třeba je dokupovat z DS a spotřeba objektu by se tak oproti výchozímu stavu zvýšila.

Jelikož nelze po celou dobu životnost předpokládat stejné ceny elektrické energie, musí být v rámci stanovení vstupů výpočtu uvažovány i jejich změny.

$$SAV_{EE}(y) = [E_{U,BESS}(y) + E_{EV,R,U,Y}(y)] * CST_{EE}(y)$$

Kde:  $CST_{EE}$  je cena elektrické energie [-]

78

- **Výpočet úspor za rezervovanou kapacitu**

Pokud je uvažován komplexní systém s pokročilým řízením, který je schopný snižovat maximální příkon, je možné dosáhnout i úspor za rezervovanou kapacitu. Pro první rok provozu pak platí, že oproti výchozímu stavu jsou úspory za část roční RK dány vztahem 79.

$$SAV_{RC,Y}(y) = \sum_{m=1}^{N_m} [P_{RC,Y,0} - P_{RC,Y,BESS}(y)] * CST_{RC,Y}(y)$$

Kde:  $P_{RC,Y,0}$  je hodnota původní roční rezervované kapacity [kW]

$CST_{RC,Y}$  je výchozí měrná cena roční rezervované kapacity [Kč/kW]

79

Roční úspory vzniklé nižší potřebou navyšování v jednotlivých měsících prvního roku provozu jsou dány vztahem 80.

$$SAV_{RC,M}(m, y) = \sum_{m=1}^{N_m} [[P_{RC,0}(m) - P_{RC,Y,0}] - [P_{RC,M,BESS}(m, 1)]] * CST_{RC,M}(y)$$

Kde:  $P_{RC,0}$  je původní hodnota měsíční rezervované kapacity [kW]

$CST_{RC,M}$  je výchozí měrná cena měsíční rezervované kapacity [Kč/kW]

80

Celková roční úspora vzniklá snížením maximálního příkonu objektu je pak dána jejich součtem dle vztahu 81.

$$SAV_{RC,T}(y) = [[SAV_{RC,Y}(y) + SAV_{RC,M}(y)]]$$

81

- **Výpočet příjmů za prodej elektřiny na dobíjení EV**

Prodej přebytků elektrické energie z výroby FVE na dobíjení EV zaměstnanců může v případě využití komplexního systému významně zvýšit výhodnost celé instalace. Příjmy za takový prodej jsou dány vztahem 82.

$$INC_{EE,EV}(y) = E_{EV,R,EM,U,Y}(y) * CST_{EE,EV}(y)$$

Kde:  $CST_{EE,EV}$  je cena elektřiny prodávané na účely dobíjení EV [Kč]

82

- **Výpočet příjmů za prodej elektřiny dodané do sítě**

Poslední formou příjmů jsou příjmy za prodej nevyužité elektřiny dodané do DS, které jsou dány vztahem 83.

$$INC_{EE,G}(y) = [E_{R,BESS}(y) - E_{EV,R,U,Y}(y) - E_{EV,R,EM,U,Y}(y)] * CST_{EE,G}(y)$$

Kde:  $CST_{EE,G}$  je cena elektřiny prodávané obchodníkovi [Kč]

83

### 6.3.2. Výpočet výdajů

V rámci ekonomického modelu je samozřejmě kromě úspor a příjmů sledovat také výdaje, které jsou s realizací projektu spojené. V případě instalace energetického systému FVE s BESS se jedná především o investiční výdaje spojené s pořízením příslušného systému, dále provozní výdaje spojené s jeho údržbou a v neposlední řadě je nutné vzít v úvahu také výdaj v podobě daně z příjmů. Popisem výše zmíněných položek se tedy budu zabývat v rámci této podkapitoly.

- **Výpočet investičních výdajů**

Zpravidla největším výdajem spojeným s instalací FVE s BESS je právě počáteční investice. Cena každého systému je dána především jeho dimenzí, dále také kvalitou využitých komponent, provedením a rozsahem doplňujících služeb. Celkové investiční výdaje spojené s pořízením příslušného systému jsou dány vztahem 84. Ze vztahu je patrné, že v případě komplexního systému s pokročilým řízením je nutné započítat také výdaje spojené s nákupem řídicí sestavy. Dále je zde také brána v úvahu možnost získání dotace.

$$IN_{TOTAL,0} = [IN_{FVE,M} * P_{inst} + IN_{BESS,M} * C_T + IN_{SR}] * [1 - k_{SUBSIDY}]$$

Kde:  $IN_{FVE,M}$  měrné výdaje na pořízení FVE [Kč/kWp]

$IN_{BESS,M}$  měrné výdaje na pořízení BESS [Kč/kWh]

$IN_{SR}$  výdaje spojené s nákupem nadřazené řídicí sestavy [Kč]

$k_{SUBSIDY}$  je procentuální poměr výše dotace ku celkovým investičním výdajům [%]

84

- **Výpočet provozních výdajů**

Dalším výdajem spojeným s provozem FV systému jsou zcela jistě výdaje na jeho pravidelnou údržbu, servis a pojištění. Pro výpočet jejich výše jsem zavedl vztah 85, z kterého je zřejmé, že celkové výdaje jsou přímo úměrné dimenzi systému. V průběhu let předpokládám jejich zvyšování shodné s průměrnou inflací.

$$EXP_O(y) = [EXP_{O,FVE,M} * P_{inst} + EXP_{O,BESS,M} * C_T + EXP_{O,P}] * [1 + k_{i,inflation}]^{y-1}$$

Kde:  $EXP_{O,FVE,M}$  jsou měrné provozní výdaje spojené s FVE [Kč/kWp]

$EXP_{O,BESS,M}$  jsou měrné provozní výdaje spojené s BESS [Kč/kWh]

$EXP_{O,P}$  jsou výdaje spojené s pojištěním systému [Kč/kWh]

$k_{i,inflation}$  je průměrná meziroční inflace [%]

85

- **Výpočet daně z příjmu**

Při popisu výdajů nelze opomenout ani daň z příjmů. Je totiž zapotřebí si uvědomit, že peníze utržené prodejem elektrické energie do sítě a na dobíjení EV zaměstnanců jsou považovány za příjem a podléhá tedy příslušné dani. Náklady spojené s provozem systému, tedy především provozní náklady a také odpisy, naopak mohou tvořit daňový štít. Pokud tedy pro celkové příjmy v daném roce  $INC_T$  platí vztah 86, pak celkový daňový efekt  $EXP_{TAX}$  je při uvažování dán vztahem 87.

$$INC_T(y) = INC_{EE,EV}(y) + INC_{EE,G}(y)$$

86

$$EXP_{TAX}(y) = [INC_T(y) - [EXP_O(y) + DEP_T(y)]] * s_{TAX}(y)$$

Kde:  $DEP_T$  jsou daňové odpisy spojené s náklady projektu [%]  
 $s_{TAX}$  je sazba daně z příjmů [%]

87

### 6.3.3. Ekonomické hodnocení projektu

Na základě znalosti veškerých výdajů, příjmů a úspor spojených s vybraným projektem je možné provést jeho ekonomické zhodnocení. Právě výhodnost projektu je většinou klíčovým aspektem při rozhodování každého investora. Hlavním předmětem této podkapitoly tedy bude popis kritérií ekonomického hodnocení a také návrh metody optimalizace dimenze výsledného systému.

- **Kritéria hodnocení**

Pro účely ekonomického hodnocení jsem se rozhodl vybrat dvě základní kritéria. Jako primární kritérium jsem zvolil čistou současnou hodnotu projektu  $NPV$ , která vyjadřuje hodnotu přínosu investice v dnešních cenách. Jako doplňující kritérium bude sledováno také vnitřní výnosové procento  $IRR$ . Pro výpočet obou zmíněných kritérií je nezbytné znát roční peněžní toky  $CF$ . Při zavedení vztahu 88 lze roční  $CF$  vypočítat ze vztahu 89.

$$SAV_T(y) = SAV_{EE}(y) + SAV_{RC,T}(y)$$

88

$$CF(y) = SAV_T(y) + INC_T(y) - [IN(y) + EXP_O(y) + EXP_{TAX}(y)]$$

Kde:  $IN$  jsou dodatečné investiční výdaje v daném roce [Kč]

89

Pokud jsou známy hodnoty peněžních toků pro všechny roky životnosti projektu, pak  $NPV$  lze pro zvolenou diskontní sazbu  $r$  dopočítat dle vztahu 90.

$$NPV = -IN_{TOTAL,0} + \sum_{y=1}^{T_{LF}} \frac{CF(y)}{(1+r)^y}$$

Kde:  $T_{LF}$  je očekávaná životnost projektu [roky]

90

Pro vnitřní výnosové procento IRR pak platí, že se jedná o takovou hodnotu diskontní sazby, pro kterou platí, že hodnota NPV je rovna nule. Lze ji tedy popsat vztahem 91. Oba vzorce byly převzaty z [63].

$$0 = -IN_{TOTAL,0} + \sum_{y=1}^{N_y} \frac{CF(y)}{(1 + IRR)^y}$$

91

- **Optimalizace dimenze navrženého systému**

Významnou výhodou navrženého výpočetního modelu je skutečnost, že ho lze využít nejen pro technické a ekonomické zhodnocení určité dimenze systému, ale také k vyhledání takové dimenze, která je z ekonomického hlediska nejvýhodnější. Jako kritériální funkci této optimalizační úlohy jsem zavedl funkci popsanou vztahem 92, kde proměnnými budou  $P_{inst}$ ,  $C_T$  a  $P_{BESS}$ .

$$NPV \stackrel{!}{=} MAX$$

92

Omezující podmínky jsou pak dány vztahy 93, 94 a 95. Tato omezení mohou být v praxi dána například parametry využitých komponent, omezenými rozměry střechy, dimenzí transformátoru, kabelů a dalších lokálních prvků.

$$P_{inst} \leq P_{inst,MAX}$$

Kde:  $P_{inst,MAX}$  je maximální možný instalovaný výkon FVE [kWp]

93

$$C_T \leq C_{T,MAX}$$

Kde:  $C_{T,MAX}$  je maximální možná instalovaná kapacita BESS [kWh]

94

$$P_{BESS} \leq P_{BESS,MAX}$$

Kde:  $P_{BESS,MAX}$  je maximální možný výkon BESS [kW]

95

V tomto směru je nutné poznamenat, že jelikož je životnost BESS je zpravidla nižší než životnost FVE, může v průběhu provozu systému dojít k výměně úložiště. Optimalizační výpočet se následně upraví tak, že se přidají další proměnné  $C_{T,n}$  a  $P_{BESS,n}$ , přičemž je samozřejmě nutné od roku výměny upravit také příslušné parametry BESS ve všech vztazích popsaných v rámci předešlého textu a započítat dodatečnou investici.

V této kapitole byl navržen a detailně popsán matematický výpočetní model, který lze využít pro nalezení optimální dimenze PV systému s BESS. Tento model lze při splnění požadovaných předpokladů přizpůsobit a využít při návrhu optimálního systému pro libovolný průmyslový objekt. Při takovéto aplikaci je vždy nutné nejprve shromáždit veškerá potřebná data a následně provést jejich detailní analýzu tak, aby bylo možné správně stanovit všechny potřebné vstupy modelu a navrhnout odpovídající systém. Detailní popis vybraného průmyslového objektu tedy bude předmětem následující kapitoly.



## 7. Popis vybraného průmyslového objektu

V rámci této práce se budu zabývat návrhem fotovoltaického systému pro společnost Teco a.s., se kterou jsem za tímto účelem navázal spolupráci. Vedení jmenované společnosti v současné době o instalaci PV systému uvažuje a tato práce jim bude sloužit jako podklad pro výběr vhodného systému. Předmětem této kapitoly tedy bude popsat hlavní budovu společnosti, její konstrukční parametry, podmínky dané umístěním a další faktory, které významně ovlivňují funkci celé elektrárny. Následně bude provedena analýza spotřeby energií v objektu. Na základě těchto poznatků bude dále možné provést návrh konkrétních konfigurací elektrárny. Data uvedená v rámci této kapitoly, u kterých není uveden zdroj, jsem získal v rámci osobního výzkumu, nebo přímo od zástupců společnosti.

### 7.1. Konstrukční parametry budovy

Na následujícím obrázku je zobrazena hlavní budova, pro kterou má být systém navržen. Jedná se o moderní halu, která v sobě sdružuje jak výrobní, tak i kancelářské prostory. Objekt s půdorysnými rozměry 60,5 x 21,5 metrů má rovnou střechu, která je vhodná pro umístění fotovoltaických panelů téměř po celé její ploše kromě nejvyšší středové části a také dvou míst, ve kterých jsou umístěny vývody vzduchotechnické jednotky. Celková plocha využitelná pro instalaci je tedy přibližně 1 1150 m<sup>2</sup>.



Obrázek 7.1 - Hlavní budova společnosti Teco a.s. [64]

V bezprostřední blízkosti budovy se nachází zastřešená parkovací stání, jejichž dvě střešní konstrukce lze případně také využít pro umístění panelů. Rozměr každé této střechy je 21 x 6 metrů. Je také důležité poznamenat, že při osobní prohlídce areálu jsem zjistil, že celá stavba je na instalaci fotovoltaického systému připravena a byla s ohledem na tuto skutečnost již navržena. Z toho důvodu lze například zavést předpoklad, že střešní konstrukce má dostatečnou nosnost a je uzpůsobena k umístění elektrárny včetně zátěžové nosné konstrukce. Objekt navíc disponuje i místností připravenou pro umístění střídačů a bateriového úložiště. V rámci celé budovy jsou pak připraveny prostupy a trasy pro vedení kabelů, a to včetně tras ke zmiňovanému parkovacímu stání. Na základě výše uvedených skutečností je tedy možné učinit závěr, že daná budova je z konstrukčního hlediska vhodná pro výstavbu FVE.

## 7.2. Zeměpisné faktory

Areál společnosti se nachází v průmyslové zóně na okraji Kolína, přičemž přesné souřadnice popisované budovy jsou 50.0095300N, 15.2325467E. Jak vyplývá z informací uvedených v [65], výkon fotovoltaických panelů je ovlivněn množstvím slunečního záření, které na ně v průběhu dne dopadá. To je dáno především umístěním, sklonem a orientací panelů. Při znalosti těchto tří veličin je možné získat přesná data o množství dopadajícího záření z [62].

Sklon ani orientace však v tomto případě nejsou vzhledem k plochému typu střechy předem pevně určeny a je tedy možné je do určité míry zvolit, jelikož v takových případech jsou obě hodnoty dány parametry nosné konstrukce sloužící k upevnění modulů.

## 7.3. Analýza spotřeby elektrické energie

Jedním z klíčových kroků při návrhu komplexního energetického systému pro konkrétní objekt je provedení detailní analýzy spotřeby energií. Jedině na základě přesných dat lze navrhnout optimální konfiguraci. Jelikož objekt ke svému vytápění využívá systému tepelných čerpadel, který bude detailněji popsán v dalším textu, jediným nakupovaným energetickým vstupem je elektrická energie. V rámci této kapitoly tedy budou uvedeny informace o její spotřebě včetně spotřebních diagramů a popsán zde bude i systém vytápění a chlazení budovy.

### 7.3.1. Způsob připojení objektu

Jednou z určujících informací je, že objekt je připojen na hladině vysokého napětí, konkrétně na hladině 22 kV. Společnost disponuje vlastní trafostanicí umístěnou v areálu, ve které se nachází transformátor o zdánlivém výkonu 160 kVA. Z vyhlášky č. 359/2020 Sb. O měření elektřiny vyplývá, že je-li elektrická energie odebírána z distribuční soustavy na napěťové hladině od 1 kV do 52 kV a s rezervovaným příkonem do 250 kW, musí být využito průběhové měření typu B. Díky tomu bylo možné získat dostatek dat pro detailní analýzu spotřeby a také pro tvorbu spotřebních diagramů, což bude předmětem dalších podkapitol.

### 7.3.2. Roční spotřeba energie

Údaje o roční spotřebě elektřiny za čtyři uplynulé roky včetně relativních změn oproti prvnímu roku provozu jsou uvedeny v následující tabulce.

Rok	2018	2019	2020	2021
Celková spotřeba elektrické energie [MWh/rok]	145,2	153,1	151,7	159,8
Relativní změna oproti roku 2018	0 %	5 %	4 %	10 %

Tabulka 7.1 - Vývoj ročních spotřeb elektrické energie od začátku provozu

Z uvedených hodnot lze vidět, že roční spotřeba energie se meziročně zvyšuje, a to kromě roku 2020, kdy byla výjimka z trendu daná především vlivem celosvětové pandemie. Je však nutné poznamenat, že dle zástupců společnosti již výroba zřejmě dosáhla svého pomyslného limitu, kdy kapacity budovy ani výrobní kapacity strojů neumožňují další navyšování výroby a s tím spojené zvyšování spotřeby elektrické energie. Z toho důvodu budou ve výpočtech uvažovat rok 2021 a jeho spotřebu jako modelovou a v dalších letech nebudou předpokládat její růst.

### 7.3.3. Platby za elektrickou energii

- **Variabilní část ceny**

V následující tabulce jsou uvedeny jednotkové ceny jednotlivých složek variabilní části ceny elektrické energie, které byly vyčteny z příslušných faktur, přičemž veškeré uváděné ceny a také výpočty v rámci práce jsou uvažovány bez DPH. Je zřejmé, že vzhledem k odběru ze sítě VN je zejména cena za použití sítí v porovnání s NN výrazně nižší.

Údaj	Hodnota bez DPH	
	VT	NT
Platba za silovou elektřinu [Kč/MWh]	1949	1493
Cena za použití sítí [Kč/MWh]	66,8	
Cena za systémové služby [Kč/MWh]	77,1	
Daň z elektřiny [Kč/MWh]	28,3	
Celková platba za variabilní část ceny [Kč/MWh]	2121,2	1665,2

Tabulka 7.2 – Platby za variabilní část ceny elektřiny

V tabulce si lze všimnout, že společnost využívá dvou časových pásem, kdy dle smlouvy je NT aktivní o víkendech a ve všední dny vždy od 20:00 do 8:00. Ve zbývajícím čase je aktivní naopak VT.

Společnost má platnou smlouvu garantující fixaci cen do konce roku 2022. Vzhledem k současnému vývoji na trhu s elektřinou je pravděpodobné, že následně dojde ke skokovému navýšení cen, což bude řešeno v další části práce.

- **Fixní část ceny**

Jelikož energetický systém může při odpovídající konfiguraci snížit nejen množství elektřiny odebírané ze sítě, ale také rezervovanou kapacitu, je nutné se zabývat také rozbořem takzvané fixní části ceny elektřiny. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty smluvené rezervované kapacity pro jednotlivé části roku a také příslušné jednotkové ceny bez DPH.

Údaj	Hodnota	
	Červen – Září	Říjen – Květen
Roční rezervovaná kapacita [MW]	0,045	
Měsíční rezervovaná kapacita [MW]	0,015	0,025
Platba za roční rezervovanou kapacitu [Kč/MW/měsíc]	176 388	
Platba za roční rezervovanou kapacitu [Kč/MW/měsíc]	196 119	
Celkové platby za rezervovanou kapacitu [Kč/rok]	146 241	

Tabulka 7.3 - Platby za rezervovanou kapacitu

Z uvedených hodnot je patrné, že vzhledem ke snížené spotřebě v letních měsících dané absencí potřeby vytápění budovy se v těchto měsících snižuje i rezervovaná kapacita. Snaha o snižování fixních plateb je vzhledem k jejich znatelné výši logická. Tato skutečnost již v rámci práce byla vydiskutována v rámci podkapitoly 6.3.1.

### 7.3.4. Vytápění a chlazení objektu

Popisovaná budova je navržena s důrazem na co možná nejvyšší úspornost. K vytápění, chlazení i větrání jsou tedy využívány moderní a vysoce efektivní systémy, které budou blíže popsány v následujících bodech.

- **Vytápění**

K vytápění budovy je využíváno tepelných čerpadel. Konkrétně se jedná o kaskádu dvou čerpadel země-voda, konkrétní typ je HP3BW 41 G. Základní technické parametry tohoto typu čerpadla jsou uvedeny v následující tabulce.

Údaj	Hodnota
Tepelný výkon [kW]	41
Příkon [kW]	10
Topný faktor (COP) [-]	4,1

Tabulka 7.4 - Technické parametry tepelného čerpadla

Čerpadla využívají celkem dvanáct zemních vrtů, které jsou hluboké 125 metrů, přičemž teplota uvnitř vrtů se celoročně pohybuje okolo 10 °C. Pomocí tepelných čerpadel je voda z vrtů přehřívána na vyšší teplotu, konkrétně asi 35 °C, a pomocí podlahového topení je dále rozváděna po celé budově.

Dle propočtů by tepelný výkon potřebný pro vytápění budovy při velice nízké okolní teplotě -25 °C měl být asi 70 kW, přičemž maximální topný výkon obou čerpadel je 82 kW. Tomu při uvažovaném topném faktoru odpovídá příkon čerpadel 20 kW. Je však zřejmé, že takto extrémní mrazy jsou spíš výjimečné a je tedy logické, že potřebný příkon tepelných čerpadel je po většinu zimního období znatelně nižší než uvedené maximum.

Kromě energie získané z vrtů je navíc zužitkováno i veškeré odpadní teplo. Otopná soustava budovy umožňuje v zimě pro topení využít odpadní teplo ze serverů a celoročně pak teplo vzniklé chlazením výrobních strojů. Konkrétně z chlazení pájecího stroje se odvádí 1,5 kW tepelného výkonu, který je využíván pro přehřívání TUV.

Využita je také vzduchotechnická jednotka o maximálním příkonu 10,4 kW s funkcí rekuperace tepla, díky které je možné využití tepla z odpadního vzduchu předáním tohoto tepla čerstvému chladnému vzduchu přivedeného z venku. Rekuperační jednotka tak v rámci budovy plně nahrazuje přirozené větrání okny a tím šetří náklady na vytápění. V současné době není tato jednotka osazena regulačním prvkem, který by spojitě řídil její příkon. V různých dlouhých intervalech tedy dochází k jejímu spínání, kdy jednotka pracuje na plný výkon.

- **Chlazení**

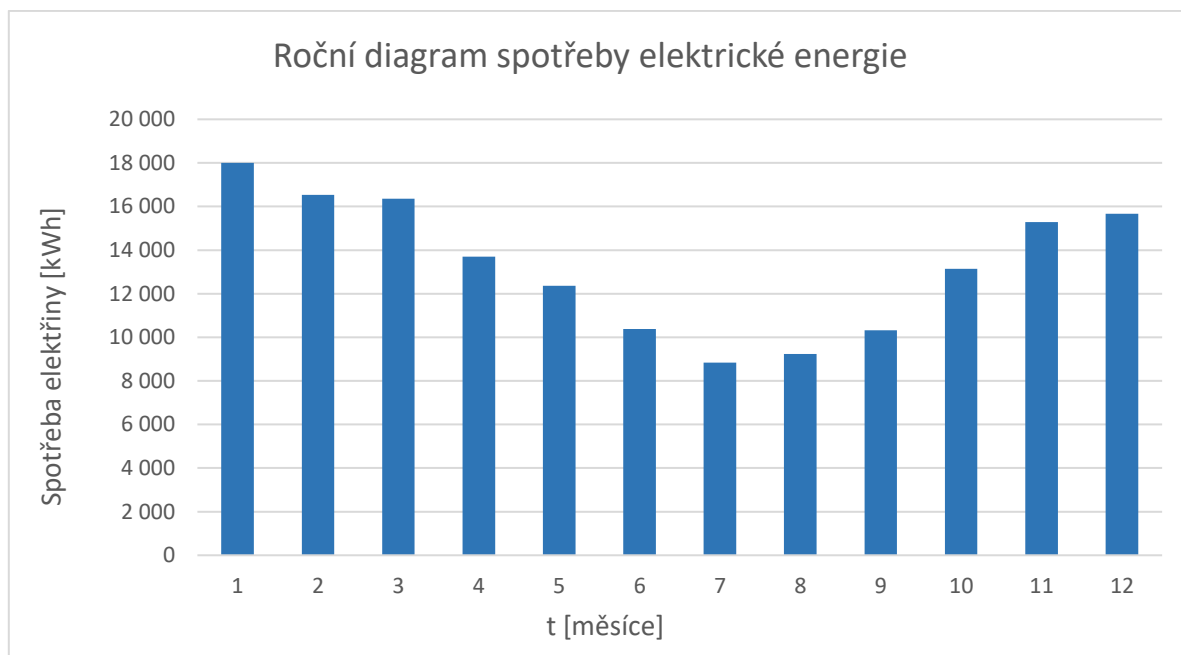
Celý objekt je chlazen pasivně prostřednictvím chladu z vrtů, kdy dochází k přenosu tepla v deskovém výměníku umístěném v technické místnosti. Nemrznoucí směs proudící v chladícím stropním systému odebírá tepelnou energii z místností a tím dochází k udržování příjemné teploty v celém objektu. Tento způsob chlazení významně šetří provozní náklady, jelikož využívá pouze dvou oběhových čerpadel o příkonu pouhých 300 W. Využíváním energie z vrtů k letnímu chlazení navíc dochází k teplotní regeneraci vrtů pro další zimní období. Je tedy zřejmé, že díky tomuto úspornému systému chlazení objektu ubývá potřeba energeticky náročnějších klimatizací.

### 7.3.5. Spotřební diagramy

V této podkapitole bude provedena analýza spotřebních diagramů, která bude doplněna komentářem vysvětlujícím daný průběh a charakter spotřeby.

- **Roční diagram**

V podkapitole 7.3.2 bylo uvedeno, že vzhledem k aktuálnosti výše spotřeby bude jako modelový rok uvažován rok 2021. Roční diagram spotřeby elektřiny uvádějící hodnoty pro jednotlivé měsíce je zobrazen v následujícím grafu.



Graf 7.1 - Roční diagram spotřeby elektrické energie

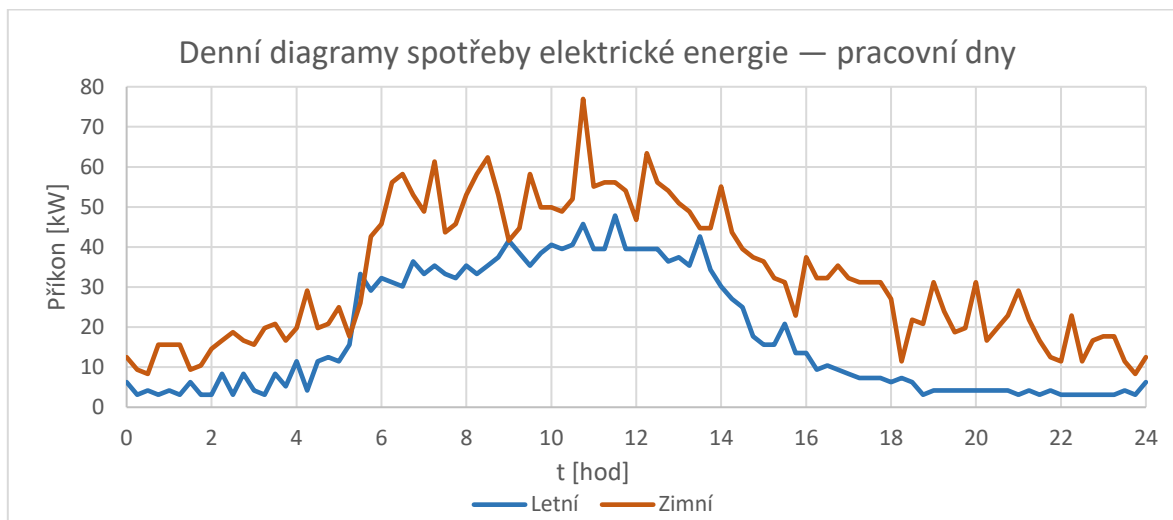
Z průběhu lze na první pohled vyčíst znatelný rozdíl mezi letním a zimním obdobím, který je samozřejmě daný potřebou vytápění. Je patrné, že v únoru, březnu, listopadu a prosinci byla spotřeba elektřiny téměř shodná a pohybovala se okolo 16 MWh. Zvýšená spotřeba v lednu se dá připsat chladnějšímu počasí, jak vyplývá i z dat uvedených v [66], kdy měsíc leden je ve Středočeském kraji statisticky nejchladnějším měsícem. Tento výkyv lze tedy brát jako přirozený a lze ho očekávat i v dalších letech.

V rámci letního období lze za standardní měsíční spotřebu při plném provozu považovat přibližně 10,5 MWh. Určité snížení v červenci a srpnu je samozřejmě dáno snížením výroby v důsledku čerpání dovolených. V přechodném období se pak spotřeba pohybuje typicky mezi dvěma výše uvedenými hodnotami v závislosti na průměrné teplotě v daném měsíci. Z výše uvedených skutečností usuzuji, že rok 2021 skutečně lze vzhledem k typickému průběhu spotřeby využít jako modelový a údaje o spotřebě z tohoto roku využít při dalších výpočtech.

- **Denní diagramy**

Jelikož v rámci měření typu B je základním měřicím intervalem jedna čtvrt hodina, je na základě dostupných hodnot možné vyobrazit detailní průběh příkonu objektu pro jakýkoli den v roce. Pro názornou ukázkou a následnou analýzu denních diagramů jsem zobrazil náhodně vybrané denní průběhy, a to jak pro pracovní dny, tak i pro víkendy. V obou případech jsou uvedeny křivky pro letní a zimní období.

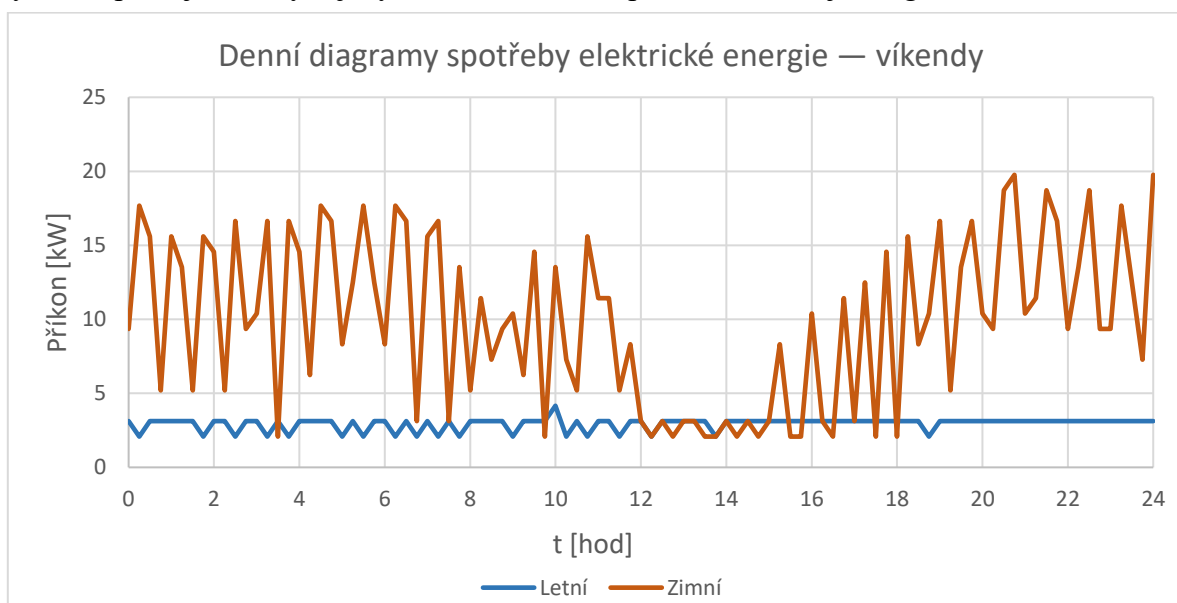
V následujícím grafu jsou konkrétně vyobrazeny denní diagramy spotřeby elektřiny pro pracovní dny. Z průběhů je na první pohled zřetelný rozdíl mezi letním a zimním obdobím, kdy průměrný rozdíl příkonů v rámci celého dne je přibližně 15 kW.



Graf 7.2 - Denní diagramy spotřeby elektrické energie — pracovní dny

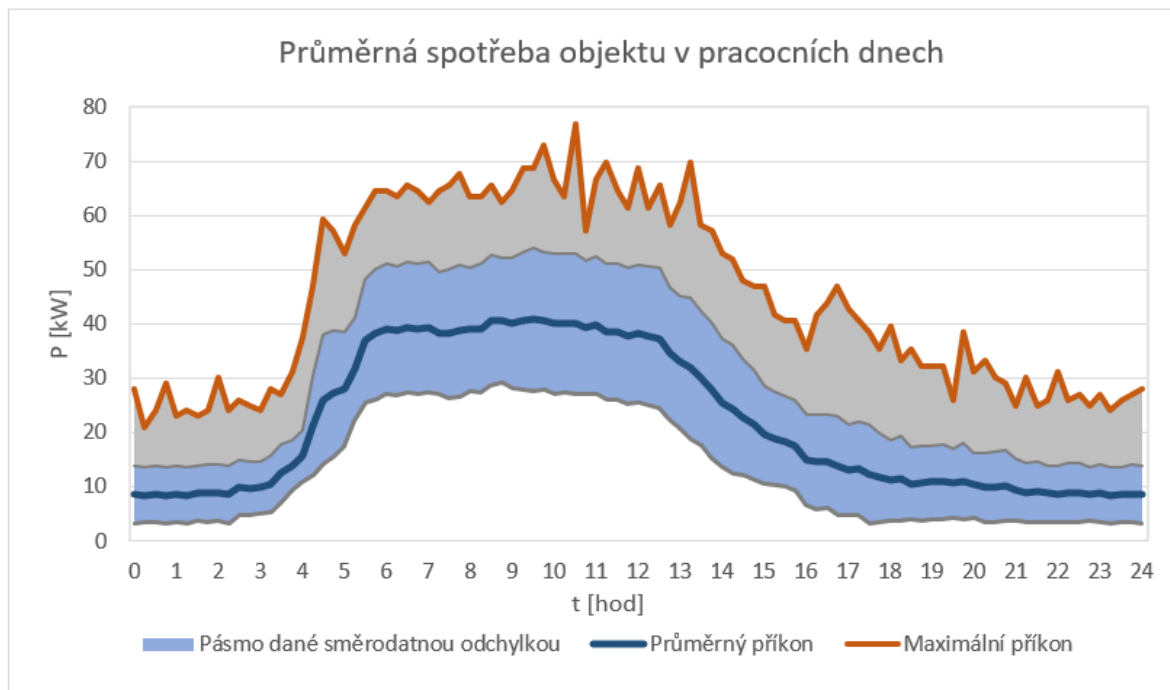
Co se detailního rozboru průběhů týká, z grafu lze vyčíst, že při zanedbání elektrického vytápění se příkon objektu v nočních hodinách pohybuje v rozmezí 3 až 8 kW. Tato spotřeba je dána především spotřebou vzduchotechnického systému o příkonu 3 kW, serverovny o přibližném výkonu 2 kW a lednic. Zanedbat nelze ani vlastní spotřeba transformátoru, která i při chodu naprázdno dle datového listu činí 860 W.

Na základě průběhů spotřeby víkendových dnů, které jsou zobrazeny v následujícím grafu, lze potvrdit, že minimální stálý příkon objektu se skutečně pohybuje kolem 3 kW. Na průběhu znázorňující zimní víkendový den je pak zřejmé, jakým způsobem ovlivňují spotřebu tepelná čerpadla, a především také rekuperační jednotka a její spínání. Jak již bylo zmíněno, v současné době není její výkon regulován spojitě a jednotka tedy střídavě spíná na plný výkon. V podkapitole 7.3.4 bylo také zmíněno, že tepelná čerpadla většinu času na plný výkon nepracují. Oba tyto jevy lze názorně vidět právě v následujícím grafu.



Graf 7.3 - Denní diagramy spotřeby elektrické energie — víkendy

Důležitým předpokladem pro využití mnou navrženého komplexního systému je periodicky opakující se spotřeba, kdy příkon objektu je v jednotlivých pracovních dnech velmi podobný. Tuto skutečnost však nelze potvrdit pouze na základě několika vybraných dnů. Z toho důvodu jsem provedl statistické zhodnocení historického diagramu spotřeby. Pro každý časový čtvrt hodinový úsek byly analyzovány všechny hodnoty naměřené v tomto čase napříč všemi dny v rámci jednoho roku, z nichž byla vypočítána maximální hodnota, výběrový průměr a směrodatná odchylka. Výstupem této analýzy je následující graf, který zobrazuje průběh průměrné spotřeby v pracovních dnech v rámci celého roku a také teoretický maximální průběh, který byl sestaven z maximálních hodnot pro každý úsek napříč celým rokem.



Graf 7.4 - Průměrná spotřeba v pracovních dnech – vlastní tvorba

V tomto grafu lze pozorovat, že hodnoty příkonu by se v rámci roku měly nejčastěji pohybovat v takzvaném pásmu daném směrodatnou odchylkou, jehož spodní a horní hranice jsou udány odečtením či přičtením směrodatné odchylky k průměrným hodnotám. Vzhledem ke způsobu vytápění objektu je logické, že v zimním období budou hodnoty příkonu vyšší, nicméně by nemělo docházet k překročení hodnot průběhu maximálního příkonu. Je také patrné, že tvar zobrazených křivek je velmi podobný konkrétním vybraným denním průběhům, které znázorňuje Graf 7.2, přičemž nejvyšší spotřeby dosahuje objekt přibližně mezi 5:00 až 16:00, což koresponduje s časem výroby fotovoltaických zdrojů. Na základě statistické analýzy jsem tedy usoudil, že průběh spotřeby má požadovaný charakter a mnou navržený komplexní systém tedy má smysl aplikovat.

## 7.4. Vozový park

Jelikož cílem práce je navrhnout optimální dimenzi energetického systému nejen na základě momentální spotřeby objektu, ale také na základě dlouhodobějšího výhledu s ohledem na možnou implementaci elektromobilů do vozového parku, bylo zapotřebí zmapovat právě i využívání vozidel v rámci společnosti, a to jak firemní flotily, tak i soukromých vozů zaměstnanců, kteří by do budoucna potenciálně mohli své vozy dobíjet z přebytků, tedy výhodně pro obě strany.

- **Firemní flotila vozů**

Společnost vlastní celkově sedm vozů, které využívá pro různé účely. Dva z nich připadají pro běžné užívání řediteli a technickému řediteli společnosti. Tyto vozy jsou běžně využívány na každodenní cesty do práce a často také na různě dlouhé služební cesty, jejichž délka často může být až stovky kilometrů. Velmi podobný charakter využívání mají i dva vozy využívané obchodními zástupci společnosti.

Dalším vozem je distribuční dodávka, která je každodenně využívána pro dopravy zboží na poštu. Tato dodávka standardně najede jednu až dvě takovéto cesty denně. Servisní vůz je pak ze všech uvedených využíván s nejnižší pravděpodobností, průměrně asi jednou do týdne, kdy cílová lokace místa servisní kontroly může být v podstatě kdekoli v rámci České republiky.

Na základě rozhovorů s vedoucími pracovníky a majitelem jsem zjistil, že idea budoucího využívání vozů s elektrickým pohonem je společnosti velmi blízká a že v následujících letech lze s vysokou pravděpodobností očekávat nahrazení některých stávajících vozů právě elektromobily, přičemž nejvíce pravděpodobné je nahrazení vozů ředitele a technického ředitele již v příštím roce.

- **Vozy zaměstnanců**

Z celkového počtu 70 zaměstnanců, kteří denně pracují v kolínské budově, jich do areálu dojíždí automobilem dle pozorování v průměru asi 50. Již bylo zmíněno, že v budoucnu se dá s vysokou pravděpodobností očekávat výrazný nárůst počtu vozidel s elektrickým pohonem. Je pravděpodobné, že jejich počet se bude v průběhu let zvyšovat i v rámci vozového parku zaměstnanců, kteří využívají automobily při dopravě do práce.

Nabíjení elektromobilů v hodinách s nejvyšší intenzitou slunečního osvětlení může být do budoucna velice výhodným způsobem, jak využít případné přebytky vyráběné elektřiny v letních měsících. Možnost nabízet svým zaměstnancům dobítí jejich soukromých vozů za cenu výhodnou pro obě strany je určitě vhodné zvážit, což bude také jedním z předmětů optimalizačních výpočtů v další části práce.

- **Dobíjení elektromobilů**

Přestože společnost v současné době nedisponuje žádným vozem s elektrickým pohonem, v areálu se přímo u parkoviště nachází nabíjecí stanice sdružující dvě dobíjecí místa, každé o maximálním nabíjecím výkonu 22 kW. Je tedy zřejmé, že infrastruktura pro dobíjení je již alespoň částečně připravena. Její případně rozšiřování bude i s ohledem na výkonovou zatížitelnost transformátoru a rozvodů v areálu řešeno dále.

Na základě všech informací popsaných v rámci této kapitoly jsem došel k závěru, že analyzovaná budova je obecně vhodná pro výstavbu PV systému, přičemž splňuje i všechny potřebné předpoklady pro aplikaci mnou navrženého komplexního systému. Z toho důvodu má smysl se dále zabývat konkrétními možnostmi návrhu energetické sestavy a aplikovat navržený matematický model za účelem výběru její nevhodnější dimenze.



## 8. Aplikace výpočetního modelu

V rámci předchozích podkapitol byl za účelem simulace reálného provozu systému navržen matematický model, který lze využít k optimalizaci dimenze systému pomocí technicko-ekonomického porovnání možných variant. Tento model pracuje s celou řadou vstupů, které jsou ovlivněny technickými parametry vybraných komponent, konstrukčními parametry vybraného průmyslového objektu, platnou legislativou a podobně. Předmětem této kapitoly tedy bude stanovit a popsat veškeré potřebné vstupy, které jsou relevantní pro konkrétní objekt popsany v předchozí kapitole.

### 8.1. Stanovení vstupů technické části modelu

#### 8.1.1. Výchozí spotřební diagramy

Pro účely výpočetního modelu bylo nejprve zapotřebí vytvořit diagramy spotřeby elektrické energie. Jako první se jedná o takzvaný diagram výchozí spotřeby objektu, který slouží pro simulaci reálné spotřeby v jednotlivých letech provozu. V rámci předešlé kapitoly jsem došel k závěru, že vzhledem k typickému průběhu spotřeby lze pro tento účel využít spotřební diagram z roku 2021. Jelikož kapacity budovy ani výrobní kapacity strojů již neumožňují další navyšování výroby a s tím spojené zvyšování spotřeby elektrické energie, nebudu v průběhu dalších let uvažovat její navyšování. Výsledný diagram výchozí spotřeby  $P_C$  je tedy dán vztahem 96.

$$P_C(t, i) = P_{C,2021}(t, i)$$

Kde:  $P_{C,2021}$  je naměřený příkon objektu z roku 2021 [kW]

96

Dalším nezbytným diagramem, který je nutné vytvořit pro simulaci provozu komplexního systému, je také takzvaný výchozí modelový diagram spotřeby  $P_{C,M,V}$ , na jehož základě se provádí výpočty možného snížení maximálního příkonu objektu. Při jeho tvorbě jsem vycházel z klíčových předpokladů uvedených v rámci 5.2.1, které je nutné dodržet.

Prvním z těchto předpokladů je, aby byly dostupné diagramy historické spotřeby objektu alespoň za dva předchozí roky. Na základě toho lze vytvořit výchozí modelový diagram spotřeby tak, že pro daný časový úsek dosadíme maximální hodnotu spotřeby z historických diagramů v daném čase. Druhým předpokladem je, že hodnoty výchozího modelového diagramu sestaveného z hodnot naměřených diagramů z minulých let budou preventivně navýšeny o 10 %. Při dodržení výše uvedených předpokladů jsem výchozí modelový diagram spotřeby  $P_{C,M,V}$  vytvořil dle vztahu 97, kdy jsem bral v úvahu také nárůst spotřeby mezi řešenými lety a provedl jsem proporcionální navýšení hodnot z roku 2020.

$$P_{C,M,V}(t, i) = 1,1 * \max \left\{ P_{C,2021}(t, i), P_{C,2020}(t, i) * \frac{E_{C,2021}}{E_{C,2020}} \right\}$$

Kde:  $P_{C,2020}$  je naměřený příkon objektu z roku 2020 [kW]

$E_{C,2020}$  je naměřená roční spotřeba objektu z roku 2020 [kWh]

$E_{C,2021}$  je naměřená roční spotřeba objektu z roku 2021 [kWh]

97

## 8.1.2. Vstupy modelu spojené s instalací FVE

### • Výběr vhodných FV panelů

Po průzkumu trhu a porovnání různých panelů od mnoha značek jsem se rozhodl pro výběr monokrystalických křemíkových panelů Jinko Solar Tiger N-Type 66TR 410 Watt. Tento typ panelu jsem zvolil zejména s ohledem na nadstandardní účinnost, záruku a také na nízkou míru degradace. Důležité parametry panelů jsou uvedeny v následující tabulce.

Parametr	Hodnota
Maximální výkon panelu	410 W
Účinnost ( $\eta$ )	21,48 %
Degradace v prvním roce ( $d_1$ )	1 %
Degradace v dalších letech ( $d_n$ )	0,4 %
Rozměry	1855×1029×30 mm
Záruka	15 let na produkt, 30 let na výkon

Tabulka 8.1 – Parametry fotovoltaického panelu Jinko Solar Tiger N-Type 66TR 410 Watt, lze dohledat v [67]

### • Výběr vhodných měničů

Při výběru měničů jsem se rozhodl pro střídače od výrobce SolarEdge Technologies, jelikož je to inovativní výrobce, který se soustředí na optimalizaci na úrovni jednotlivých panelů s využitím takzvaných výkonových optimizérů. Využití této technologie má hned několik výhod. První z nich je značné omezení ztrát výkonu zaviněných zastíněním některých panelů v řetězci, rozdílným tempem jejich degradace či odlišnou orientací. Díky tomu lze získat z jednotlivých panelů více energie než u klasického sériového zapojení. Druhou výhodou je pak možnost nepřetržitého monitoringu výkonu jednotlivých panelů, díky čemuž je velmi snadné odhalit porouchané kusy a není potřeba při každé servisní kontrole provádět detailní měření. Třetí nespornou výhodou je schopnost optimizérů snížit při odpojení měniče napětí jednotlivých panelů pouze na 1 V. Tato funkce významně zvyšuje bezpečnost systému, a to především při případných požárech [68].

Měniče SolarEdge lze pořídit v mnoha provedeních, jejichž výstupní výkon se pohybuje v rozmezí 3 až 100 kW, přičemž jednotlivé typy lze navzájem kombinovat. Jelikož vytvořený matematický model má sloužit právě k nalezení optimální dimenze systému, bude přesný výkon měniče určený až na základě výsledných hodnot výpočtu. V tabulce 8.2 jsou tedy uvedeny pouze obecné parametry měničů SolarEdge.

Parametr	Hodnota
Maximální vstupní výkon (DC)	4 až 150 kW
Jmenovitý výstupní výkon (AC)	3 až 100 kW
Maximální efektivita	98 až 98,2 %
Záruka měničů	12 let základní / 20 let prodloužená
Záruka optimizérů	25 let

Tabulka 8.2 – Parametry měničů SolarEdge, lze dohledat v [67]

Předpokládanou dobu životnosti systému  $T_{LF}$  jsem stanovil na 25 let, což je pro životnost PV systémů standardní číslo. V tomto případě tato hodnota plně koresponduje také s nadprůměrnými hodnotami záručních dob klíčových komponent. Začátek provozu systému jsem na základě informací od zástupců společnosti reWATT s.r.o. stanovil na začátek roku 2024, což zohledňuje časovou náročnost realizace a současné zatížení instalačních firem.

- **Diagram výroby FVE**

Na základě informací uvedených v rámci předchozích podkapitol bylo dále možné vytvořit diagram  $P_{kWp}$ , který udává hodnoty výkonu FVE o celkovém instalovaném výkonu 1 kWp. Takový diagram je možné získat z databáze [62], která poskytuje přesná naměřená data osvitu a také výroby fotovoltaických elektráren pro konkrétní zadané parametry, jako je přesná poloha FVE, orientace a sklon panelů a také celkové ztráty systému.

Sklon ani orientace panelů není vzhledem k plochému typu střechy předem pevně určena a je tedy možné ji do určité míry zvolit, jelikož v takových případech jsou obě hodnoty dány parametry nosné konstrukce sloužící k upevnění modulů. Jak vyplývá z [69], v podmínkách České republiky je z pohledu celkové roční výroby elektřiny optimální umístit panely tak, aby byly orientovány k jihu a jejich sklon byl asi 35°. Obě tyto hodnoty však mohou být v praxi různé v závislosti na konkrétních místních podmínkách.

V současné době se pro instalace na ploché střechy ve většině případů využívají zátěžové konstrukce, jelikož nenarušují integritu střešní krytiny a jejich stabilita je zajištěna pouze přidanou zátěží. Jak vyplývá z kalkulací v návrhovém softwaru K2 dostupného z [70], s rostoucím sklonem panelů dramaticky roste také potřeba zatížení, což je dáno tlakovými vlivy větru. Z toho důvodu často není vhodné využití konstrukcí s vyšším sklonem, a to i v případě využití větrolamů. Hala společnosti Teco a.s. se navíc nachází na volném prostranství a v okolní oblasti není hustá zástavba. Vyšší část budovy je tedy nechráněna před větrnými vlivy. V takových případech může být rozdíl v požadovaném přitížení značný, což vyplývá i z hodnot v následující tabulce.

Údaj	Hodnota	
Sklon panelů [°]	10	15
Požadované zatížení zátěžové konstrukce [kg/panel]	9	16

Tabulka 8.3 - Požadované zatížení v závislosti na sklonu panelů

Z uvedených hodnot je patrné, že se zvyšováním sklonu by zatížení střechy mohlo vzrůst nad únosnou mez. Z toho důvodu jsem stanovil mezní hranici náklonu panelů na 15°. Tento sklon je v praxi běžně využíván, jelikož potřebné přitížení je pro většinu střech akceptovatelné a je zachována i samočistící schopnost modulů. Z dat dostupných z [62] navíc vyplývá, že celkové množství dopadajícího záření v Kolíně není v porovnání s optimálním sklonem 35° o tolik nižší. Pokles činí v celoročním měřítku pouze 5 %, což je možné tolerovat. Určitou nevýhodou však je, že s nižším sklonem dopadá na panely méně záření v zimních měsících, kdy je obecně výroba FVE nejnižší.

Hodnoty požadované zátěže v tabulce 8.3 platí pouze v případě, kdy je k sobě v řadě propojeno více panelů. Obecně platí, že čím je celistvý blok spojených částí konstrukce rozsáhlejší, tím nižší je potřeba celkového zatížení. Z toho důvodu je výhodné tvořit delší spojitě řady a neosazovat pouze dva nebo tři spojené panely. Jelikož jedna z delších stran budovy Teco a.s. je orientována na jihozápad, kdy odklon od čisté jižní orientace tvoří asi 35°, nebylo by při volbě jižní orientace možné využít značnou část rozlohy střechy, jelikož především v rozích obdélníkových částí by diagonálně umístěné panely tvořily právě takovéto kratší řady. Z toho důvodu jsem se rozhodl uvažovat umístění řad vodorovně s hranou objektu tak, aby byly orientovány na jihozápad. Na základě výše uvedených informací jsem tedy pro vytvoření diagramu  $P_{kWp}$  volil data platná pro město Kolín, jihozápadní orientaci panelů s odklonem 35° od jihu a sklon panelů 15°.

Celkové ztráty systému jsem vzhledem k využití vysoce účinných komponent stanovil na 13 %, přičemž průměrná doporučená hodnota je 14 %. Pro toto nastavení je index výnosnosti FVE přibližně 1 045 kWh/kWp/rok. Výsledný diagram je sestaven z reálných naměřených hodnot, kdy v tomto případě jsem vybral konkrétně nejnovější dostupné hodnoty z roku 2020, které mohou být využity k simulaci provozu FVE v dalších letech. Jelikož naměřená data jsou dostupná jako průměrné hodnoty v hodinových intervalech, zavedl jsem zjednodušující předpoklad, že ve všech čtyřech patnáctiminutových časových úsecích v dané hodině bude uvažován shodný průměrný výkon FVE.

### 8.1.3. Vstupy modelu spojené s instalací BESS

- **Výběr vhodné technologie BESS**

Přestože navržený matematický model je schopný najít nejvhodnější dimenzi BESS s rozlišením jednotek kWh, při samotné instalaci je zpravidla nutné se přizpůsobit dostupným modulárním řešením a omezeným možnostem jejich škálování. Při návrhu BESS jsem se tedy snažil o výběr technologií, ze kterých lze tvořit úložiště s různou kapacitou a výkonem tak, aby bylo možné se co možná nejvíce přiblížit optimální dimenzi dle výsledků optimalizačního výpočtu. Zároveň jsem vybíral kvalitní technologie s dobrými technickými parametry, které jsou navíc schopny komunikovat s Foxtrotem, což je klíčový předpoklad možnosti jejich využití v rámci komplexního systému. Na základě uvedených důvodů jsem se rozhodl pro výběr řešení kombinující střídače od výrobce Studer Innotec a bateriové bloky od Pylon Technologies, z nichž jde vytvořit BESS o různé kapacitě a výkonu.

Jednofázové střídače Studer XTH je možné pořídit v provedeních s výkonem 6 a 8 kW, přičemž na jednu fázi lze využít v paralelním provozu až tři střídače zároveň. Pro každou fázi lze tyto střídače propojit až s šestnácti paralelně zapojenými bateriovými bloky Pylontech US3000C o nominální kapacitě 3,55 kWh. Teoreticky lze tedy tímto způsobem vytvořit úložiště s maximálním výkonem 72 kW a kapacitou až 170,4 kWh. Vzhledem k tomu, že dle 7.3.5 byl maximální příkon objektu v roce 2021 přibližně 76 kW jsem došel k závěru, že teoretický maximální výkon úložiště je dostatečný a není třeba řešit výběr technologií s vyšším výkonem. Na základě technických parametrů využitých komponent dostupných z [67; 71] jsem stanovil odpovídající hodnoty vstupů modelu, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Parametr	Hodnota
Maximální možná instalovaná kapacita ( $C_{T,MAX}$ )	170,4 kWh
Maximální možný výkon BESS ( $P_{BESS,MAX}$ )	72 kW
Účinnost nabíjecího/vybíjecího cyklu ( $\eta_{BESS}$ )	95 %
Životnost bateriového úložiště ( $T_{L,BESS}$ )	13 let
Zbytková kapacita BESS na konci životnosti ( $SOH_{T_{L,BESS}}$ )	80 %

Tabulka 8.4 – Vstupy modelu spojené s výběrem technologie BESS

Při určování životnosti BESS jsem vycházel ze skutečnosti, že bateriové bloky Pylontech by měly dosahovat životnosti 6000 cyklů, anebo 15 let dle toho, co nastane dříve. Vzhledem k omezené životnosti střídačů a další použité elektroniky, jejichž záruční doby nedosahují takto vysokých hodnot, jsem však pro účely práce zavedl předpoklad, že BESS bude vyměněno již v průběhu třináctého roku provozu. Pro účely práce zjednodušeně uvažuji nulovou zbytkovou hodnotu nahrazovaného BESS. V rámci optimalizačního výpočtu bude vzhledem k vyřazení BESS dopočítána také optimální dimenze nového náhradního úložiště.

- **Nastavení BESS**

Kromě výběru technologie a určení jejích technických parametrů bylo nezbytné stanovit také vstupy určující nastavení BESS, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Parametr	Hodnota
Maximální stanovená úroveň nabití ( $SOC_{MAX}$ )	$0,9 * C_T$ kWh
Minimální stanovená úroveň nabití ( $SOC_{MIN}$ )	$0,1 * C_T$ kWh
Dodatečná rezerva nabití energie pro účely PS ( $SOC_{S,PS}$ )	$0,1 * C_T$ kWh
Rozsah pásma, ve kterém operuje PID regulátor ( $P_{PID}$ )	7 kW

Tabulka 8.5 - Vstupy modelu spojené s nastavením BESS

Při určování maximální a minimální úrovně nabití jsem vycházel z maximální hloubky vybití uváděné výrobcem bateriových modulů, která by neměla překročit 90 %. Z toho důvodu jsem stanovil minimální úroveň na 10 %, přičemž maximální úroveň ekvivalentně na 90 % celkové kapacity BESS. Pro případ komplexního systému bylo dále nutné určit výši dodatečné rezervy nabití energie pro účely PS, kterou jsem zavedl v zájmu zajištění jejího dostatečného množství v každém okamžiku. Tuto rezervu jsem určil prostým odhadem jako 10 % celkové kapacity.

Rozsah pásma, ve kterém operuje PID regulátor, je nutné stanovit pro konkrétní případ s ohledem na charakter spotřeby tak, aby pro regulaci bylo dostatek prostoru a BESS nebylo často vybíjeno plným výkonem. Zároveň však nemůže být tato hodnota příliš vysoká, aby jejím vlivem nebyly výrazně snižovány úspory vzniklé snížením RK. Na základě analýzy spotřebičů v objektu a možných skokových změn příkonu jsem zjistil, že nejvyšší změny zapříčiňuje vzduchotechnická jednotka s rekuperací, která v současné době spíná plným výkonem. Tuto jednotku však lze po přidání řídicího prvku nastavit tak, aby její příkon byl navyšován a snižován spojitě. Jelikož příkon dalších spotřebičů je regulován buď spojitě, nebo se pohybuje pod hodnotou 7 kW, došel jsem k závěru, že pro většinu případů by mělo být dostatečné pásmo právě s tímto rozsahem. Pro náhradní úložiště instalované v průběhu 13. roku provozu pak předpokládám stejné nastavení.

#### 8.1.4. Vstupy modelu spojené s dobíjením EV

- **Dobíjení firemních EV**

V kapitole 7.4 bylo zmíněno, že lze již v příštím roce s vysokou pravděpodobností očekávat nahrazení automobilů ředitele a technického ředitele vozy s elektrickým pohonem. Z této informace jsem tedy vycházel a zavedl jsem předpoklad, že již od začátku provozu systému budou v areálu provozovány 2 elektromobily. Možnost výměny dalších firemních vozů se dle vedení společnosti dále nepředpokládá a z toho důvodu nebudu další nárůst počtu firemních EV uvažovat. Jelikož v areálu je v současné době již dostupná nabíjecí stanice sdružující dvě dobíjecí místa, každé o maximálním nabíjecím výkonu 22 kW, neuvažoval jsem ani potřebu jejího pořízení. Tato stanice je vybavena řídicími prvky, které umožňují regulaci jejího výkonu dle požadavků popsanych v 4.2.3. V souvislosti s dobíjením firemních EV je také důležité poznamenat, že jelikož mnou navržený algoritmus řízení komplexního systému určuje hodnotu sjednávané RK na základě dne s nejvyšší spotřebou a bez započítání výroby FVE, reálný příkon objektu bude v naprosté většině případů nižší než RK, což by mělo zaručovat dostatek prostoru pro nabíjení firemních EV bez jejího překročení. Z toho důvodu nepovažuji za nutné navyšovat hodnoty RK z důvodu dobíjení firemních EV.

Na základě znalosti ročního nájezdu, který je v případě obou řešených vozů přibližně 30 000 km, jsem dle vztahu 98 vypočítal průměrné množství elektřiny, které v rámci optimalizačního období firemní EV pro svůj provoz potřebují.

$$E_{EV,N} = 0,7 * \frac{n_{Km,Y}}{100 * 365} * E_{EV,100} = 0,7 * \frac{30\,000}{100 * 365} * 20 \cong 11,5 \text{ kWh}$$

Kde:  $n_{Km,Y}$  je průměrný počet najetých kilometrů v roce [-]

$E_{EV,100}$  průměrná spotřeba EV na 100 ujetých kilometrů [kWh]

98

Při výpočtu jsem uvažoval průměrnou spotřebu 20 kWh/100 km dle [72]. Dále jsem předpokládal, že vozy samozřejmě nebudou vždy dobíjeny pouze v objektu firmy, i když tato varianta je preferována, ale také v domácnostech a na veřejných dobíjecích stanicích. Z toho důvodu jsem započítal předpokládané snížení průměrného požadovaného množství energie o 40 %. Jelikož přesné vzorce nabíjení elektromobilů nejsou v současné době známe, stanovil jsem tuto hodnotu pouze odhadem, přičemž předpokládám možnost jejího upravení na základě skutečného spotřebního chování v prvních letech provozu. Pro výpočty bylo dále nutné určit začátek a konec pracovních směn, jelikož pouze v tomto časovém úseku budou automobily v areálu a bude možné je nabíjet. Čas možného začátku nabíjení jsem stanovil na 6:00 a čas konce na 15:00, čemuž odpovídají časové úseky  $t_{EV,min} = 56$  až  $t_{EV,max} = 91$ .

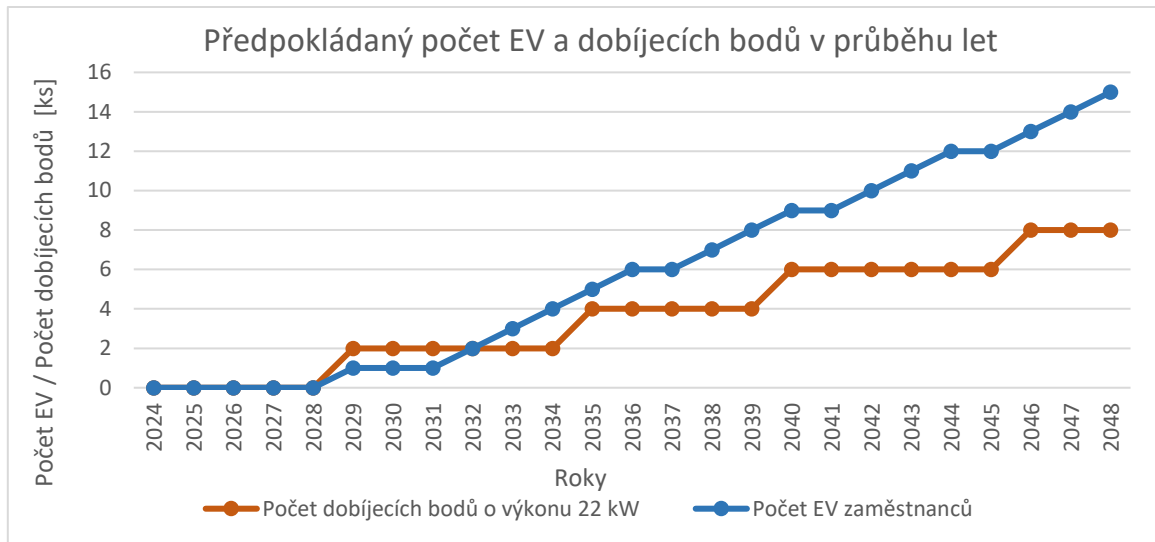
#### • Dobíjení EV zaměstnanců

Pro výpočet množství přebytečné vyrobené energie využitě k dobíjení EV zaměstnanců bylo v první řadě nezbytné určit jejich předpokládaný počet v jednotlivých letech provozu. V tomto ohledu jsem vycházel z grafu 3.7, který znázorňuje projekci nárůstu počtu osobních automobilů s elektrickým pohonem. Na základě hodnot zobrazených v daném grafu jsem pro každý rok vypočítal očekávané procentuální zastoupení EV ve vozovém parku ČR. Jelikož není zcela jisté, jakým tempem se bude elektromobilita vyvíjet přímo v oblasti Kolína, rozhodl jsem se pro účely výpočtu uvažovat spíše konzervativně hodnoty středního scénáře. Výsledný poměr jsem následně aplikoval na celkový počet padesáti vozidel zaměstnanců, kteří automobilem pravidelně dojíždí do práce.

Pro dobíjení vozů zaměstnanců bude potřeba zajistit také adekvátní množství nových dobíjecích stanic. V tomto ohledu jsem rozhodl, že využívány budou dobíjecí stanice AgeVolt Pillar EDGE. Tyto stanice sloupkového provedení mají dva dobíjecí body o výkonu 22 kW a jsou vhodné pro využití s Foxtrotem. Pro každé dva elektromobily by měl být zpočátku dostupný alespoň jeden dobíjecí bod, přičemž je předpokládáno postupné dokupování stanic reagující na rostoucí počet EV v areálu.

Jako mezní hranici jsem s ohledem na rezervovanou kapacitu objektu stanovil pořízení maximálně 4 stanic. Je totiž nutné si uvědomit, že spolu se stanicí pro dobíjení firemních EV bude při tomto omezení dostupných celkem 10 dobíjecích bodů o výkonu 22 kW. Celkový výkon takové sestavy tak bude násobně převyšovat hodnoty sjednané RK. Je však potřeba brát v úvahu také prostor pro nabíjení daný právě výkonem FVE a skutečnost, že v některých případech může být výhodné nabíjet více vozů nižším výkonem a alespoň částečně tak uspokojit potřeby více zaměstnanců.

Hodnoty předpokládaného počtu EV zaměstnanců a dobíjecích bodů v areálu společnosti pro jednotlivé roky provozu systému jsou zobrazeny v následujícím grafu.



Graf 8.1 - Předpokládaný počet EV a dobíjecích bodů v průběhu let

Pro výpočet množství přebytečné elektřiny využitě k dobíjení EV zaměstnanců bylo potřeba určit také průměrné množství energie, které budou v rámci týdne vozy pro svůj provoz potřebovat. Tuto hodnotu jsem vypočítal dle vztahu 99.

$$E_{EV,EM,N} = 0,5 * \frac{n_{Km,Y}}{100 * 365} * E_{EV,100} = 0,5 * \frac{15\,000}{100 * \frac{365}{7}} * 20 \cong 28,8 \text{ kWh}$$

Kde:  $n_{Km,Y}$  je průměrný počet najetých kilometrů v roce [-]

$E_{EV,100}$  průměrná spotřeba EV na 100 ujetých kilometrů [kWh]

99

Při výpočtu jsem opět uvažoval průměrnou spotřebu 20 kWh/100 km a analogicky s případem firemních vozů jsem opět odhadem stanovil předpokládané snížení průměrného požadovaného množství energie, tentokrát o 50 %. Roční průměrný nájezd jsem shodně pro všechny vozy stanovil na 15 000 km dle [73].

## 8.2. Stanovení vstupů ekonomické části modelu

### 8.2.1. Míra inflace

Jedním z klíčových vstupů ekonomické části výpočetního modelu je míra inflace v jednotlivých letech provozu. V současné době jsou hodnoty inflace velmi vysoké, kdy dle [74] by roční míra inflace pro rok 2022 měla být 13,1 %. Je však nutné si uvědomit, že ČNB dlouhodobě usiluje o to, aby se skutečná hodnota inflace významně nelišila od inflačního cíle, který je 2 %. Toho dosahuje především změnami úrokových sazeb, což právě činí i vzhledem k aktuální situaci [75]. Dle prognóz uvedených v [74] by tak již ke konci roku 2023 měla být roční míra inflace 2,7 %.

Z dat ČSÚ jsem dále zjistil, že skutečná míra inflace se již před současným výkyvem v letech 2017 až 2020 pohybovala v průměru také okolo 2,7 % [76]. Na základě těchto zdrojů jsem tedy pro účely výpočtů stanovil průměrnou hodnotu meziroční inflace  $k_{i,inflation}$  na 2,7 %.

## 8.2.2. Vstupy ovlivňující výši úspor a příjmů

- **Úspory za nákup elektřiny**

Pro výpočet úspor za nákup elektřiny bylo nejprve třeba stanovit předpokládané budoucí nákupní ceny  $CST_{EE}$ . V podkapitole 7.3.3 bylo zmíněno, že společnost má platnou smlouvu garantující fixaci pouze do konce roku 2022. Bylo tedy nutné určit, za jaké ceny bude elektřina nakupována po jejím skončení.

Při určování hodnot pro roky 2024 až 2026 jsem vycházel z cen kontraktů futures na elektrickou energii v baseload ze dne 6. 5. 2022 dostupných z [77]. Na jejich základě jsem přibližně stanovil cenu silové elektřiny ve VT a po přičtení plateb za další složky dle tabulky 7.2 také celkové nákupní ceny dle následující tabulky.

Rok	Celková platba za variabilní část ceny bez DPH [Kč/MWh]		Relativní změna cen oproti předchozímu roku [%]
	VT	NT	
2024	5 000	4 000	-
2025	4 450	3 560	-11 %
2026	3 961	3 168	-11 %
2027	3 881	3 105	-2 %
2028	3 804	3 043	-2 %

Tabulka 8.6 - Předpokládané nákupní ceny elektřiny v letech 2024 až 2029

V současné době jsou využívána dvě časová pásma, kdy dle smlouvy je NT aktivní vždy o víkendech a ve všední dny od 20:00 do 8:00. Ve zbývajícím čase je aktivní naopak VT. Toto rozdělení jsem se rozhodl zachovat i pro další roky, jelikož dle mého názoru odpovídá sníženému objemu spotřeby v časech platnosti NT a očekávám, že by stejná struktura rozdělení cen mohla být zachována i v budoucích letech. Pro NT uvažuji ceny podobně jako doposud přibližně o 20 % nižší. Z hodnot uvedených v předešlé tabulce lze usuzovat, že ceny v současné době zřejmě již dosáhly svého maxima a v následujících letech se na základě klesajících cen futures kontraktů dá očekávat spíše jejich pokles. Je však složité určit, kdy se tento pokles zastaví. Dle závěrů kapitoly 3 a také vzhledem k současnému světovému dění usuzuji, že se ceny na svou původní úroveň již spíše nevrátí. Na druhou stranu však považuji za nepravděpodobné, že by docházelo k jejich dalšímu výraznému růstu jako v posledním roce. Z toho důvodu jsem zavedl předpoklad, se budou nákupní ceny od roku 2026 do roku 2028 snižovat o 2 % ročně, následně se ustálí a v dalších letech již budou meziročně růst pouze o inflaci, tedy o 2,7 %.

- **Úspory za rezervovanou kapacitu**

Pro výpočty úspor za RK jsem jako výchozí ceny  $CST_{RC,Y}$  a  $CST_{RC,M}$  předpokládal hodnoty uvedené v tabulce 7.3. Jejich výše je dána platným cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu, kterým se stanovují ceny za související službu v elektroenergetice a ostatní regulované ceny. Je patrné, že výše poplatků za RK není určována tržně, ale právě příslušnými rozhodnutími, kterými dochází k její aktualizaci. Mezi lety 2016 a 2020 došlo k nárůstu cen RK distributora ČEZ Distribuce, a. s. přibližně o 6,5 %. V souvislosti se závěry kapitoly 3 však usuzuji, že v budoucnu bude docházet k výraznějšímu růstu než doposud, jelikož bude stále komplikovanější a nákladnější zajistit připravenost regulovatelných zdrojů o adekvátním celkovém výkonu.



Je také nutné poznamenat, že náklady na rozvoj sítí budou pravděpodobně růst i vlivem rozvoje elektromobility, v jehož důsledku se budou zvyšovat právě i nároky na ES. Tuto skutečnost dokládá i Graf 3.8, na kterém je zobrazeno předpokládané významné zvýšení zatížení soustavy vlivem nabíjení EV. Z toho důvodu jsem stanovil pro další roky provozu průměrný meziroční růst cen RK  $k_{i,RC}$  vyšší, než očekávanou průměrnou inflaci, konkrétně na 3 %.

- **Příjmy za prodej elektřiny na dobíjení EV**

Významnou částí příjmů jsou v případě využití mnou navrženého komplexního systému také příjmy za prodej elektřiny na dobíjení EV zaměstnanců. Pro jejich výpočet je klíčové stanovit cenu  $CST_{EE,EV}$ , za kterou bude energie pro tento účel prodávána.

V tomto ohledu je nutné poznamenat, že celý systém je do značné míry založen na skutečnosti, že prodejní cena bude stanovena tak, aby dobíjení v práci bylo pro zaměstnance výhodné a byli k němu motivováni. Jen tak bude možné využít maximum přebytečné vyrobené energie. Z toho důvodu jsem se rozhodl stanovit prodejní cenu pro každý rok jako 90 % ceny, za kterou společnost nakupuje elektřinu v nízkém tarifu. V každém roce by tak cena měla být pro zaměstnance výhodná a předpokládám, že je bude dostatečně motivovat k dobíjení v podniku. V případech, kdy zaměstnanci budou mít zájem o dobítí vozu nejen z přebytků vyrobených FVE, bude jim účtována aktuální nákupní cena podniku. V tomto ohledu je důležité zmínit, že přestože v současné době není pro prodej elektřiny na dobíjení EV potřeba licence na obchod s elektřinou, jedná se o poskytovanou službu a předpokládám, že v obou zmíněných případech bude nutné prodejní ceny zatížit daní z přidané hodnoty.

- **Příjmy za prodej elektřiny dodané do DS**

Při stanovení ceny  $CST_{EE,G}$ , za kterou bude prodávána přebytečná energie dodaná do DS, jsem vycházel z nabídky společnosti Pražská plynárenská, a.s., která nabízí možnost výkupu přebytků z fotovoltaických elektráren [78]. Pro zdroje do 30 kWp je v současné době výkupní cena 1 690,- Kč/MWh, přičemž společnost vykupuje i od výrobců, kteří u ní nemají smluvně sjednaný odběr za 1 190,- Kč/MWh. Pro elektrárny s vyšším výkonem je cena sjednávána individuálně až na základě diagramů skutečných přetoků do DS, není ji tedy možné dopředu naprosto přesně stanovit. Při jejím odhadu jsem vycházel z ceny pro menší zdroje, kdy do roku 2024 očekávám její drobné navýšení na 1 250 Kč/MWh. V dalších letech uvažuji meziroční změny výkupních cen shodné jako u cen nákupních.

### 8.2.3. Vstupy ovlivňující výši výdajů

- **Investiční výdaje**

Jelikož účelem navrženého modelu je nalezení ekonomicky optimální dimenze, bylo třeba pro výši investičních výdajů vytvořit spojité funkce popisující měrné výdaje na pořízení FVE  $IN_{FVE,M}$  a také BESS  $IN_{BESS,M}$ . Ty jsou popsány vztahy 100 a 101. Jako základ pro vytvoření těchto funkcí jsem využil křivky takzvaných měrných způsobilých výdajů dle podmínek aktuálního dotačního programu Národní plán obnovy, které jsou dostupné z [79]. Vzhledem k důležitosti přesného stanovení způsobilých výdajů pro vyplacení dotace usuzuji, že tyto křivky budou relativně dobře korespondovat se současnou situací na trhu a poslouží jako dobrý základ k vytvoření výdajových funkcí. Pro účely mého modelu jsem provedl několik doplňujících úprav.

Případné zvýšení cenové hladiny respektuji zahrnutím koeficientu změny cenové hladiny  $k_{PI}$ , jehož změnou lze základní křivky libovolně posunout do požadovaného cenového pásma. V tomto konkrétním případě jsem vzhledem k současné situaci na trhu a také vzhledem k vysoké kvalitě využitých komponent stanovil jeho výši na 1,15. Druhou úpravou bylo zavedení možnosti snížit investiční výdaje spojené s pořízením BESS v případě, kdy jeho výkon je nižší než instalovaná kapacita.

$$IN_{FVE,M} = \begin{cases} k_{PI} * [29\ 061 - 60,6 * P_{inst}], & P_{inst} < 100 \\ k_{PI} * [23\ 333 - 3,3 * P_{inst}], & P_{inst} \geq 100 \end{cases}$$

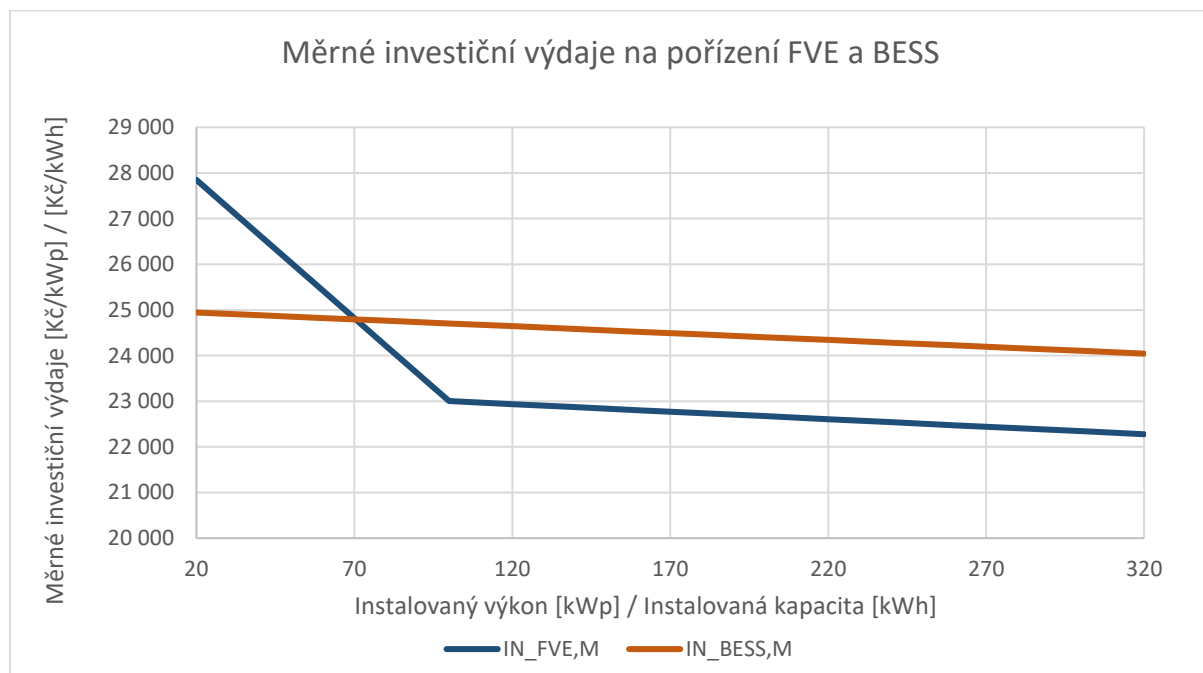
Kde:  $k_{PI}$  je koeficient změny cenové hladiny, v tomto případě 1,15 [-]

100

$$IN_{BESS,M} = k_{PI} * [25\ 003 - 3 * C_T] - \begin{cases} 30 * [C_T - P_{BESS}], & C_T - P_{BESS} > 0 \\ 0, & C_T - P_{BESS} \leq 0 \end{cases}$$

101

Funkce výdajů spojených s pořízením FVE a BESS pro případ, kdy  $k_{PI} = 1$  a zároveň  $C_T = P_{BESS}$ , jsou vyobrazeny v následujícím grafu. Z průběhů je patrné, že s rostoucí dimenzí vlivem úspor z rozsahu měrné investiční výdaje klesají. U větších projektů FVE však citlivost měrných výdajů na změnu dimenze není tak výrazná jako u projektů do 100 kWp, jelikož cena systému je u těchto dimenzí z většiny určena náklady, které jsou na dimenzi do značné míry nezávislé.



Graf 8.2 - Měrné investiční výdaje na pořízení FVE a BESS – vlastní tvorba

Již bylo zmíněno, že BESS bude v průběhu třináctého roku provozu potřeba vyměnit z důvodu jeho omezené životnosti. Předmětem optimalizačního výpočtu tedy bude nalézt také optimální dimenzi nového BESS, jehož pořízení samozřejmě musí být zahrnuto započítáním odpovídajících investičních výdajů. Při určování jejich výše jsem opět vycházel ze vztahu 101, přičemž předpokládám navýšení této hodnoty o inflaci za příslušnou dobu, v tomto případě 13 let.

V případě komplexního systému je pak nutné započítat také výdaje spojené s nákupem nadřazené řídicí sestavy  $IN_{SR}$ , které jsem po konzultaci se zástupci společnosti stanovil na 50 000 Kč bez DPH. V dalších letech provozu je potřeba uvažovat také výdaje spojené s pořízením a instalací dobíjecích stanic. Jejich výchozí výši pro první rok provozu jsem stanovil na 50 000 Kč bez DPH za jednu stanici, přičemž v průběhu let bude tato částka meziročně navyšována o inflaci 2,7 %.

- **Dotace**

Část vstupních investičních výdajů může být pokryta dotací. Za účelem vydiskutování této možnosti jsem provedl analýzu dotačních programů, díky kterým lze získat finanční podporu na výstavbu PV systémů. V rámci této analýzy jsem identifikoval celkem tři programy, které jsou určeny pro podporu firem. Konkrétně se jedná o Modernizační fond, již zmíněný Národní plán obnovy a také Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost, neboli zkráceně OP TAK.

V rámci Modernizačního fondu však lze o podporu na střešní FVE o výkonu do 1 MWp žádat pouze v případech, kdy se místo realizace nachází v Praze, což v případě budovy Teco a.s. není splněno. V případě programu Národní plán by pak sice teoreticky bylo možné o podporu požádat, nicméně v rámci první vypsané výzvy je možné posílat žádosti nejpozději do 30. 6. 2022. V tomto časovém horizontu již není časově možné zařídit všechny náležitosti, které jsou pro podání žádosti potřebné. V současné době navíc není jisté, zda v rámci tohoto programu bude vypsaná další výzva.

Na základě výše uvedených skutečností jsem došel k závěru, že nejvhodnější bude žádat o podporu v programu OP TAK. Tento program byl spuštěn na začátku roku 2022, nicméně plánovaná výzva na podporu fotovoltaických zdrojů s bateriovým úložištěm by měla být vypsaná nejdříve v červenci tohoto roku. Z toho důvodu momentálně není známo její přesné znění, a tedy ani přesné podmínky. Jelikož však OP TAK přímo vychází z předcházejícího programu OP PIK, je dle mého názoru možné předpokládat, že by podmínky pro získání dotace mohly být podobné. Z toho důvodu jsem vycházel z podmínek programu OP PIK uvedených v dokumentu *Výzva III. programu podpory Úspory energie – Fotovoltaické systémy s/bez akumulace pro vlastní spotřebu* dostupného z [80], na jehož základě jsem identifikoval a pro účely práce přejal informace o klíčových podmínkách pro obdržení podpory. Nejdůležitější z nich jsou popsány v následujících bodech.

- Projekt, který bez dotace dosáhne vyšší hodnoty výnosového procenta než 15 %, nebude dotace poskytnuta.
- Dotace na projekt je poskytována minimálně ve výši 2 milionů Kč a maximálně do výše 50 milionů Kč.
- V rámci výzvy nebude podpořen projekt, který neprokáže poměrnou dobu ročního využití instalovaného výkonu alespoň ve výši 860 hodin/rok.
- Výrobna elektřiny nesmí dodat do přenosové nebo distribuční soustavy více než třicet procent vyrobené elektřiny, kdy v případě středních podniků se jedná o průměrnou hodnotu za dobu 3 let od zahájení provozu

V případě dodržení všech stanovených podmínek byla výše podpory v rámci programu OP PIK pro střední podniky 70 % ze vstupní investice. Podobně jako v případě předpokladů jsem tuto hodnotu pro účely práce převzal a stanovil  $k_{SUBSIDY}$  na 70 %.

Je však nutné poznamenat, že vzhledem k současnému vývoji cen by podpora v rámci nově vypisovaných výzev mohla být nižší. Například ve zmíněném programu NPO je poskytována dotace pouze ve výši 35 % na pořízení FVE a 50 % na pořízení BESS. V případě tohoto programu však není stanovena velmi limitující podmínka na minimální využití vyrobené elektřiny v objektu a administrativní proces nutný k získání dotace je výrazně jednodušší, než tomu bylo v případě programu OP PIK. Tyto dva programy tedy nelze zcela srovnávat. V případě změny výše dotace je možné její hodnotu pružně upravovat a nalézt optimální dimenzi na základě aktuálně platných podmínek. Případný dopad snížení míry dotace bude dostatečně vydiskutován také v rámci citlivostní analýzy.

- **Provozní výdaje**

Pro další výpočty bylo potřeba stanovit také vstupy ovlivňující výši provozních výdajů. V první řadě se jedná o výši měrných provozních výdajů spojených s údržbou a servisem FVE a BESS. Tyto výdaje jsem určil na základě informací od zástupců společnosti reWATT s.r.o. Díky tomu, že v rámci systému budou využity měniče SolarEdge, které s využitím výkonových optimizérů umožňují monitorovat jednotlivé panely, odpadá potřeba pravidelného měření jejich výkonu za účelem odhalení vadných kusů. Z toho důvodu je možné uvažovat nižší výdaje  $EXP_{O,FVE,M}$  ve výši 100 Kč/kWp. Měrné provozní výdaje spojené s údržbou BESS  $EXP_{O,BESS,M}$  jsem dále uvažoval ve výši 120 Kč/kWh. Obě uvedené hodnoty jsou platné pro rok 2024, přičemž v dalších letech předpokládám jejich navyšování o inflaci.

Dále bylo potřeba určit také výši výdajů spojených s pojištěním systému  $EXP_{O,P}$ . Takové pojištění je možné získat spolu s pojištěním hlavní nemovitosti, je-li systém její součástí. V takovém případě je potřeba zvýšit celkovou pojistnou částku nemovitosti tak, aby zahrnovala i současnou hodnotu sestavy. Výši výdajů na pojištění systému  $EXP_{O,P}$  jsem tedy stanovil přibližným odhadem na 0,2 % z účetní hodnoty systému v daném roce na základě informací dostupných z [81]. Pro účely stanovení zůstatkové hodnoty systému v jednotlivých letech předpokládám rovnoměrné účetní odepisování FVE po dobu 25 let a BESS po dobu 12 let.

- **Daň z příjmů**

Při určování vlivu projektu na výši daně z příjmů jsem vycházel z platného zákona č. 586/1992 Sb., dle kterého jsem stanovil sazbu daně na 19 %, což odpovídá dani z příjmu právnických osob. Pro účely práce jsem zavedl předpoklad, že se tato sazba v průběhu životnosti projektu nebude měnit. Výpočet změny základu daně jsem pro jednotlivé roky provedl sečtením všech výnosů a nákladů spojených s projektem, přičemž příjmy za prodej elektřiny jsem uvažoval jako výnosy a provozní výdaje jako náklady.

Pro určení celkové výše nákladů spojených s projektem bylo dále třeba dopočítat také daňové odpisy. Pravidla pro odepisování FVE a jejich zařazení v rámci hmotného majetku jsou dána novelou zákona o daních z příjmů č. 346/2010 Sb. Dle této novely se technologická část FVE, do které spadají především panely, střídače a rozvaděče, odepisuje rovnoměrně nepřerušovaně po dobu 240 měsíců. Stavební část FVE, která zahrnuje konstrukci, kabelové svody a zemnění, se odepisuje jako technické zhodnocení v rámci navýšení zůstatkové ceny budovy podle typu budovy a řadí se do 5. odpisové skupiny. Dle informací od zástupců společnosti reWATT s.r.o. uvažuji zastoupení technologické části ve výši 80 % a stavební části ve výši 20 % ze vstupní investice. BESS jsem jako dlouhodobý hmotný majetek zařadil do odpisové skupiny 3 (akumulátory, baterie), jejíž minimální doba odepisování je 5 let.

Na základě kalkulací jsem z důvodu vyšší výhodnosti pro stavební část FVE a BESS zvolil možnost zrychleného daňového odepisování. Jelikož v průběhu provozu uvažuji i pořizování dobíjecích stanic, bylo potřeba vyřešit také otázku jejich zahrnutí do účetnictví. Z informací uvedených v [82] jsem zjistil, že pokud je wallbox součástí nemovitosti a jeho pořizovací cena je zároveň nižší než 80 000 Kč, jedná se o jednorázový daňově uznatelný náklad. Tento způsob jsem tedy vzhledem k nižší předpokládané ceně wallboxů využil. Na základě výše popsanych skutečností jsem pro jednotlivé roky vypočítal změnu základu daně a s tím spojené zvýšení či naopak snížení splatné daně z příjmů v příslušném roce. Vzhledem k dlouhodobě dobré finanční kondici společnosti jsem neuvažoval možnost, že by v některých letech mohlo dojít k daňové ztrátě.

#### 8.2.4. Stanovení diskontní sazby

Posledním vstupem optimalizačního výpočtu, který bylo nutné stanovit, byla výše diskontní sazby. Při jejím určování jsem vyházel z kvalifikovaného názoru a zkušeností odborníka na tuto problematiku, pana prof. Ing. Oldřicha Starého, CSc. Na základě získaných informací jsem následně učinil vlastní závěry, které budou vydiskutovány v dalším textu.

Běžnou praxí je, že podniky často využívají jako diskontní sazbu pro realizované projekty WACC. Tímto krokem však mohou nastat dva problémy. Prvním problémem je, že při využití konstantní hodnoty WACC jako diskontní sazby je předpokládána také konstantní zadluženost podniku po celou dobu životnosti projektu. Pokud se zadluženost analyzovaného podniku v průběhu let mění, mění se i hodnota WACC. V praxi se však proměnlivý diskont spíše nevyužívá.

Druhý problém je, že při výpočtu WACC firma počítá s průměrným rizikem spojeným s celým jejím podnikáním a nikoli s rizikem konkrétního projektu, které se často liší. Na základě toho pak může například chybně dojít ke schválení projektu, jehož IRR je sice vyšší než WACC podniku, ale nikoli vyšší, než by měl být výnos odpovídající riziku konkrétního projektu.

Z těchto důvodů jsem se rozhodl jako diskontní sazbu využít výnos kapitálových aktiv stanovený z modelu CAPM pro odvětví konkrétního řešeného projektu. Pro jeho výpočet jsem stanovil bezrizikový výnos jako výnos státního dluhopisu s názvem „*Státní dluhopis České republiky, 3,50%, 2022 – 2035*“. Dále také prémii za riziko na 5,31 % a beta koeficient firmy podnikající v sektoru energetiky s průměrným zadlužením  $\beta_L$  na 0,84 dle informací z [83; 84]. Výsledná diskontní sazba  $r$  je pak dána vztahem 102, kdy jsem se rozhodl výsledek zaokrouhlit na celé číslo a pro účely výpočtů budu tedy uvažovat diskontní sazbu ve výši 8 %.

$$r = R_f + \beta_L * (R_m - R_f) = 3,5 + 0,84 * 5,31 = 7,96 \cong 8 \%$$

Kde:  $R_f$  je bezrizikový výnos [%]

$R_m$  je očekávaný výnos trhu [%]

$\beta_L$  je beta firmy podnikající v sektoru energetiky s průměrným zadlužením [%]

102

### 8.3. Přijaté zjednodušující předpoklady výpočtu

Na základě vztahů popsaných v rámci kapitoly 6 jsem vytvořil výpočetní model v prostředí Microsoft Excel, viz příloha č. 1. Vzhledem k vysoké výpočetní náročnosti jsem přijmul zjednodušující předpoklad, že detailní výpočet dle vztahů popsaných v rámci 6 bude proveden pouze pro první a čtrnáctý rok provozu, ve kterém by již mělo být nainstalováno náhradní BESS s potenciálně odlišnými parametry. Hodnoty pro ostatní roky budou následně dopočítány pomocí lineárního proložení, které odpovídá poklesu výkonu FVE a také poklesu kapacity BESS. V rámci této kapitoly tedy budou popsány náhradní vztahy pro výpočet veličin, kterých se dané zjednodušení týká.

Při znalosti přesných hodnot celkové vyrobené elektřiny  $E_P$  pro první a čtrnáctý rok lze na základě zjednodušení dopočítat hodnoty pro zbývající roky dle vztahu 103.

$$E_P(y) = \begin{cases} E_P(1) * [1 - (y - 1) * d_n], & \text{pro } y \in \langle 2; 13 \rangle \\ E_P(14) * [1 - (y - 14) * d_n], & \text{pro } y \in \langle 15; 25 \rangle \end{cases}$$

103

V dalších letech provozu je nutné uvažovat také pokles množství využití energie  $E_U$ . V rámci zjednodušení jsem pro jeho výpočet zavedl vztah 104, přičemž množství nevyužití elektřiny lze následně vypočítat dle vzorce 105. V tomto ohledu je nutné poznamenat, že ve skutečnosti pokles těchto hodnot pravděpodobně nebude dokonale lineární a jedná se skutečně pouze o zjednodušení.

$$E_U(y) = \begin{cases} E_U(1) * [1 - (y - 1) * d_n], & \text{pro } y \in \langle 2; 13 \rangle \\ E_U(14) * [1 - (y - 14) * d_n], & \text{pro } y \in \langle 15; 25 \rangle \end{cases}$$

104

$$E_R(y) = E_P(y) - E_U(y)$$

105

Analogicky s případem  $E_U$  jsem zavedl také předpoklad lineárního poklesu roční sumy energie využití pro nabíjení firemních EV dle 106.

$$E_{EV,R,U,Y}(y) = \begin{cases} E_{EV,R,U,Y}(1) * [1 - (y - 1) * d_n], & \text{pro } y \in \langle 2; 13 \rangle \\ E_{EV,R,U,Y}(14) * [1 - (y - 14) * d_n], & \text{pro } y \in \langle 15; 25 \rangle \end{cases}$$

106

Kromě již popsaného poklesu výkonu panelů bylo pro výpočet některých veličin potřeba vzít v úvahu také pokles kapacity bateriového úložiště. Ve výpočtech uvažuji lineární pokles využitelné kapacity, kdy poměrná zbytková kapacita  $c_{M,R}$  je pro zbývající roky dána vztahem 107. Ve vztahu předpokládám, že pro náhradní úložiště bude uvažována stejná životnost a také stejná hodnota  $SOH_{T_L,BESS}$ , jako pro výchozí BESS.

$$c_{M,R}(y) = \begin{cases} \left[ 1 - (y - 1) * \frac{1 - SOH_{T_L,BESS}}{T_{L,BESS}} \right], & \text{pro } y \in \langle 2; 13 \rangle \\ \left[ 1 - (y - 14) * \frac{1 - SOH_{T_L,BESS}}{T_{L,BESS}} \right], & \text{pro } y \in \langle 15; 25 \rangle \end{cases}$$

107

Množství využité energie v objektu ve zbývajících letech  $E_{U,BESS}$  je pak dáno vztahem 108, přičemž pokles výkonu panelů je již zahrnut v  $E_U(y)$ . Množství nevyužitých přebytků v následujících letech  $E_{R,BESS}$  lze vypočítat dle vztahu 109.

$$E_{U,BESS}(y) = \begin{cases} E_U(y) + [E_{U,BESS}(1) - E_U(1)] * c_{M,R}, & \text{pro } y \in \langle 2; 13 \rangle \\ E_U(y) + [E_{U,BESS}(14) - E_U(14)] * c_{M,R}, & \text{pro } y \in \langle 15; 25 \rangle \end{cases} \quad 108$$

$$E_{R,BESS}(y) = E_P(y) - E_{U,BESS}(y) \quad 109$$

Na poklesu kapacity BESS jsou závislé také hodnoty sjednané rezervované kapacity. Tuto skutečnost jsem zahrnul přímo do výpočtu celkových úspor za RK, jejichž výše je pro ostatní roky dána vztahem 110.

$$SAV_{RC,T}(y) = \begin{cases} SAV_{RC,T}(1) * C_{M,R}(y) * [1 + k_{i,RC}(y)]^{y-1}, & \text{pro } y \in \langle 2; 13 \rangle \\ SAV_{RC,T}(14) * C_{M,R}(y) * [1 + k_{i,RC}(y)]^{y-1}, & \text{pro } y \in \langle 15; 25 \rangle \end{cases} \quad 110$$

Pro hodnoty vstupů, které byly jasně definovány a popsány v rámci této kapitoly, jsem následně provedl optimalizační výpočty, na jejichž základě bylo možné vybrat optimální dimenzi obou navržených typů energetického systému. Detailní analýzou, zhodnocením a srovnáním výsledných systémů se budu zabývat v rámci následující kapitoly.

## 9. Popis navržených systémů

V rámci této kapitoly bude proveden detailní popis navržených optimálních dimenzí obou typů systémů. Budou zde popsány jejich klíčové technické parametry, provedena analýza využití vyrobené elektrické energie a na závěr také ekonomické zhodnocení projektu včetně citlivostní analýzy.

### 9.1. Optimální dimenze systémů

Na základě přesných vstupů stanovených v rámci předchozí kapitoly bylo možné využít navržený matematický model pro nalezení optimální dimenze obou typů PV systémů. V následující tabulce jsou uvedeny klíčové parametry navržených systémů.

Parametr	Jednoduchý systém	Komplexní systém
<b>FVE</b>		
Instalovaný výkon elektrárny [kWp]	77,08	84,87
Jmenovitý výstupní výkon měničů [kW]	75	80
<b>BESS využívané v letech 2024 až 2036</b>		
Maximální výstupní výkon BESS [kW]	24	48
Kapacita bateriového úložiště [kWh]	31,95	53,25
Efektivita nabíjecího/vybíjecího cyklu [%]	95	
<b>Náhradní BESS využívané v letech 2036 až 2048</b>		
Pro oba systémy nebude náhradní BESS pořizováno		

Tabulka 9.1 – Optimální navržená dimenze PV systémů

Z uvedených údajů je zřejmé, že vlivem změny nastavení a zařazení dalších funkcí v rámci komplexního systému skutečně došlo ke změně optimální dimenze oproti jednoduchému systému. V obou případech pak vyšla nejlépe alternativa, při které nedojde k instalaci nového BESS v průběhu třináctého roku provozu. Výhodnost instalace BESS je totiž velmi závislá na dotaci, což bude vysvětleno v rámci dalších podkapitol.

Optimální dimenze byly v obou případech voleny i s ohledem na omezené možnosti škálování BESS. V následujících bodech jsou jasně uvedeny konkrétní sestavy klíčových komponent, ze kterých jsou systémy složeny. Při výběru měničů SolarEdge jsem využil možnosti jejich předdimenzování, kdy je možné na daný střídač připojit FVE o větším instalovaném výkonu, než je jeho výstupní výkon. Vzhledem k neoptimálnímu sklonu by navíc ani v jednom případě nemělo k překročení tohoto výkonu docházet, takže nebylo třeba toto omezení výkonu uvažovat ani ve výpočtech.

- **Navržená výchozí sestava – jednoduchý systém**

Panely: 188 ks Jinko Solar Tiger N-Type 66TR 410 Watt

Střídače: 1 ks SolarEdge SE50K a 1 ks SolarEdge SE25K

BESS: 3 ks Studer XTH 8000-48 a 9 ks Pylontech US3000C Plus 48V

- **Navržená výchozí sestava – komplexní systém**

Panely: 207 ks Jinko Solar Tiger N-Type 66TR 410 Watt

Střídače: 1 ks SolarEdge SE50K a 1 ks SolarEdge SE30K

BESS: 6 ks Studer XTH 8000-48 a 15 ks Pylontech US3000C Plus 48V



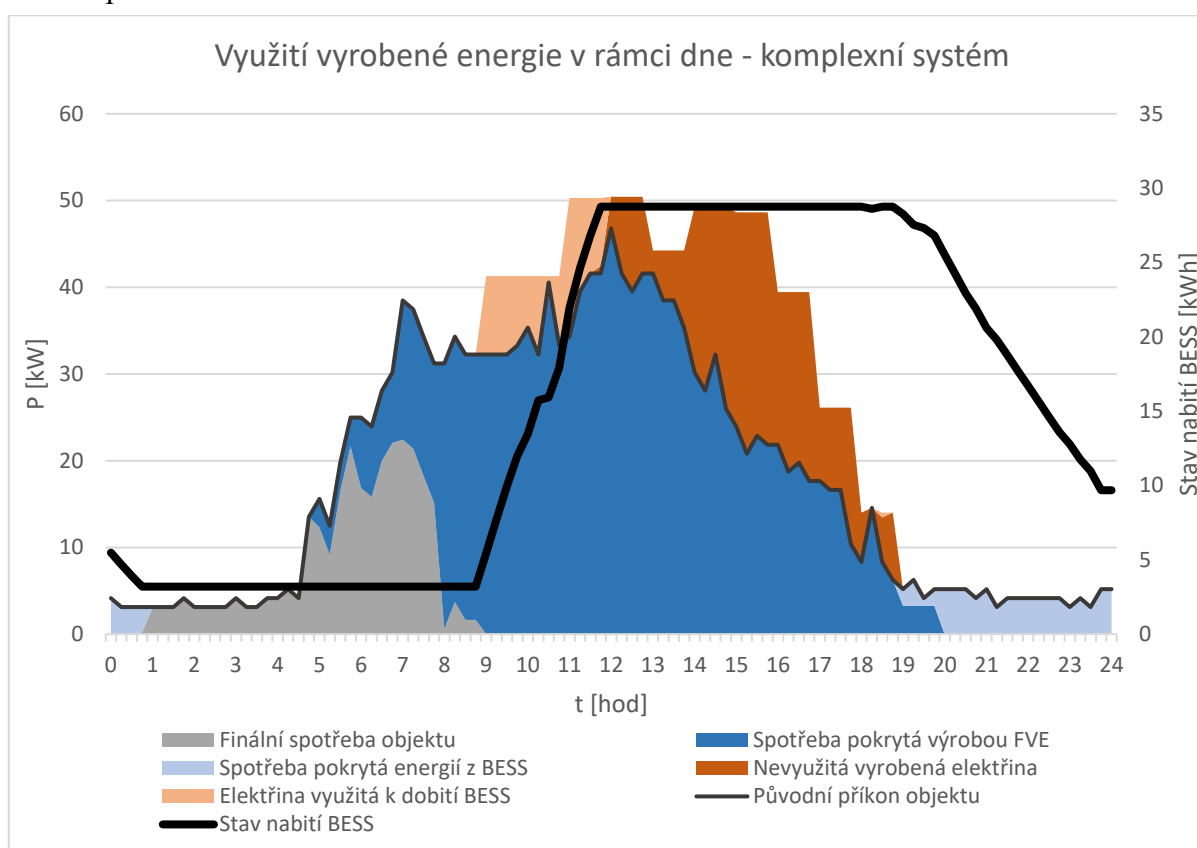
## 9.2. Přehled využití systémů

Předmětem této podkapitoly bude provést popis využití navržených systémů.

### 9.2.1. Jednoduchý systém

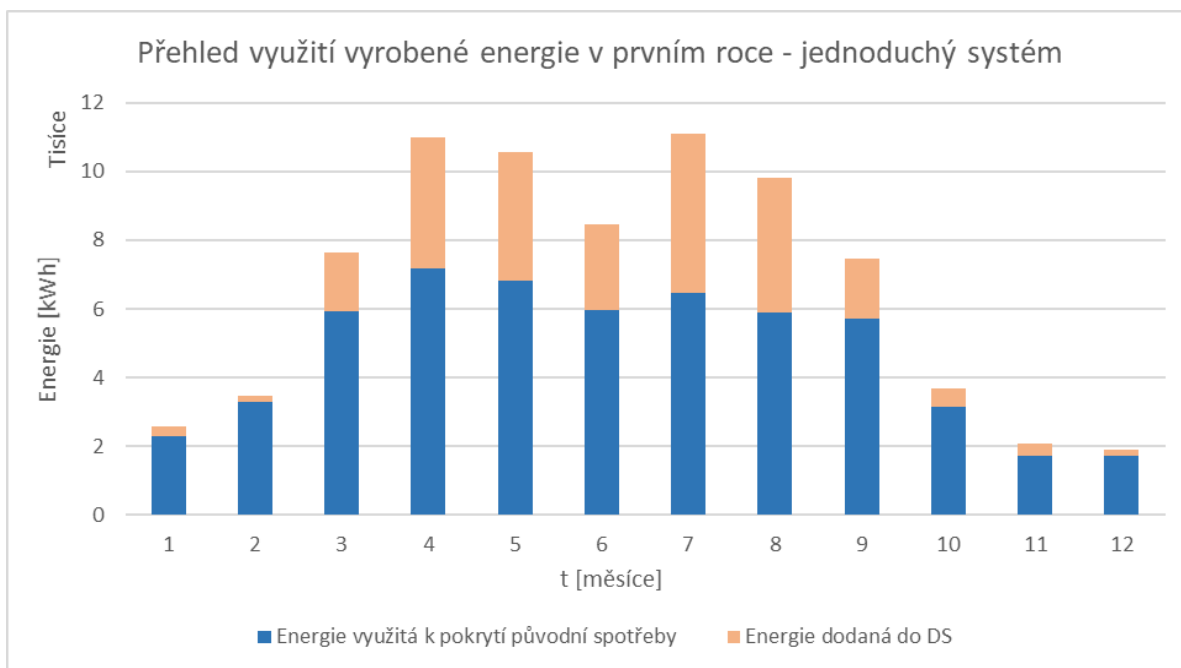
V případě jednoduchého systému slouží vyrobená elektrická energie primárně k pokrytí výchozí spotřeby objektu. Případné přebytky jsou ukládané do BESS a využívány v takzvaném základním režimu. Nevyužitá elektřina je pak dodávána do DS a prodávána za smlouvenou cenu.

Princip fungování jednoduchého systému je zřejmý z následujícího grafu, který zobrazuje využití vyrobené elektřiny v rámci letního dne. Přímým spotřebováním elektřiny z FVE došlo ke snížení denní spotřeby o 345 kWh. Dále je patrné, že BESS bylo z úrovně  $SOC_{MIN}$  nabit na  $SOC_{MAX}$  a ve večerních hodinách docházelo naopak k jeho vybíjení. Díky tomuto využití BESS byla spotřeba v daném dni snížena o dalších 24 kWh. Do DS bylo dodáno přibližně 96 kWh.



Graf 9.1 - Využití vyrobené energie v rámci dne – jednoduchý systém (výstup výpočetního modelu)

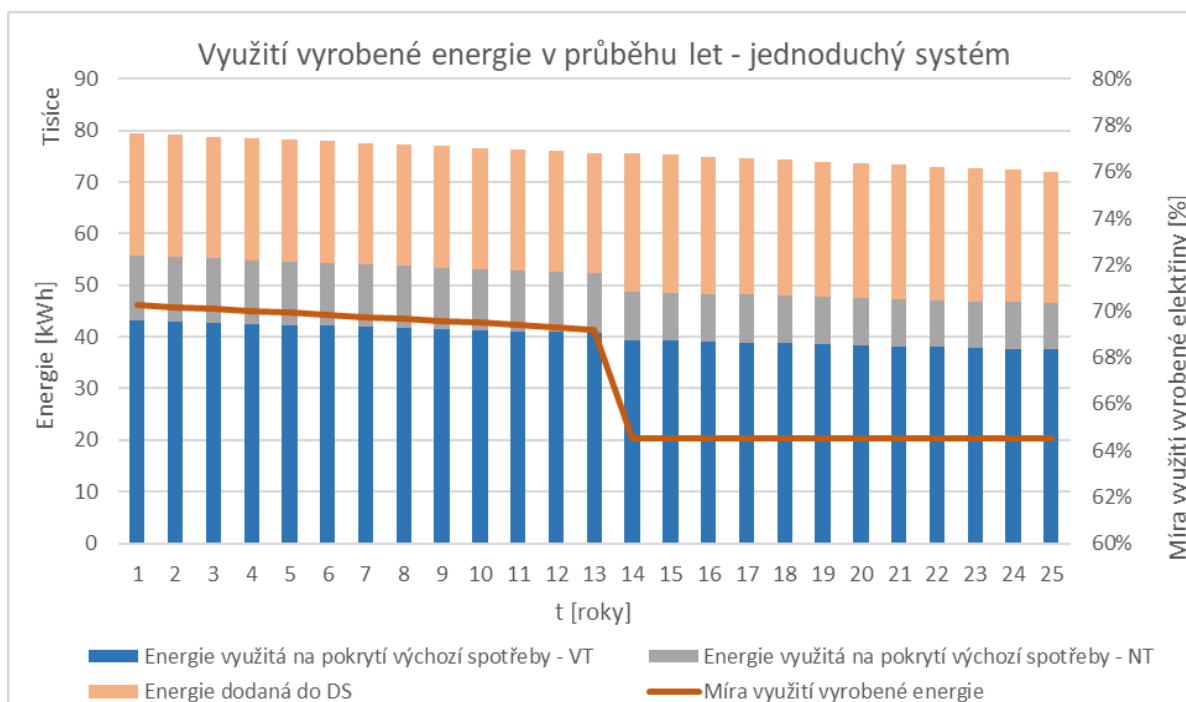
Množství elektřiny využité v jednotlivých měsících prvního roku provozu pak znázorňuje Graf 9.2. Z celkového množství vyrobené elektřiny, které pro první rok činí přibližně 79,8 MWh, bude využito celkem 56 MWh, přičemž díky BESS se spotřebuje přibližně o 5,9 MWh energie více oproti variantě bez BESS. Míra využití vyrobené elektřiny v tomto roce tak bude téměř 70,3 %. Celková spotřeba objektu v prvním roce by se následně měla pohybovat okolo 103 MWh. Ze zobrazeného grafu je též patrné, že nejvyššího snížení spotřeby se dosáhne v letních měsících, což je samozřejmě vzhledem k vyšší míře osvětlení logické.



Graf 9.2 - Přehled využití vyrobené energie v prvním roce provozu – jednoduchý systém

- Využití vyrobené elektřiny v následujících letech**

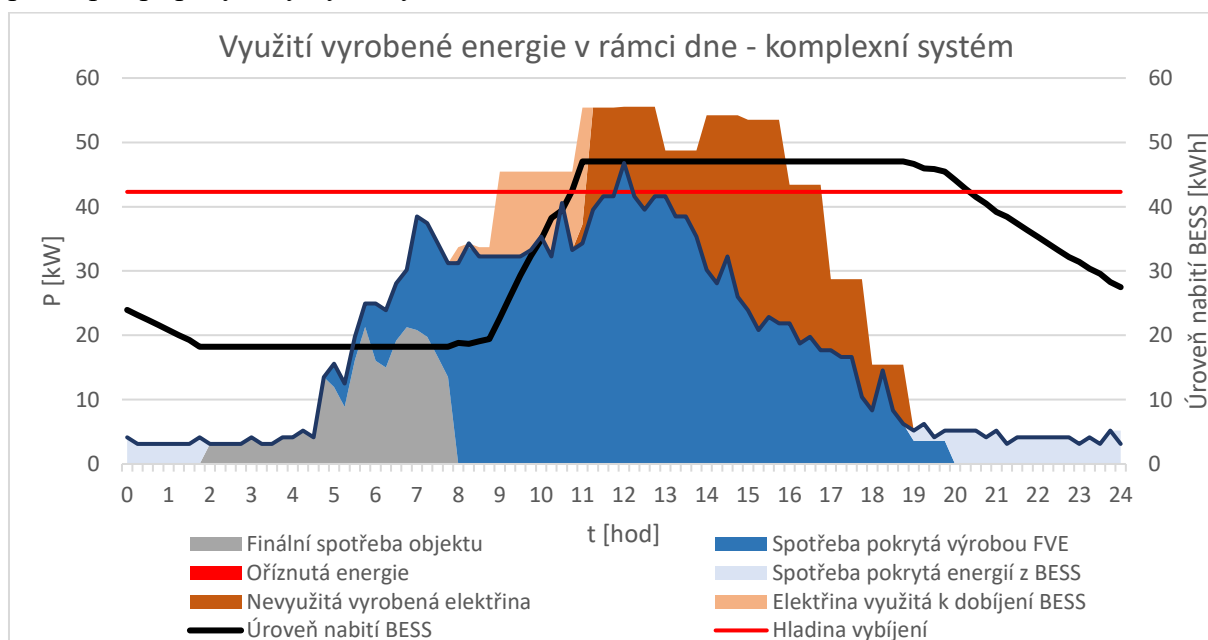
Situaci v dalších letech provozu zobrazuje Graf 9.3. V tomto grafu lze vidět, že dle zavedených vztahů dochází k meziročnímu lineárnímu poklesu výkonu FVE. V prvních třinácti letech provozu postupně klesá také míra využití vyrobené elektřiny, což je zapříčiněno vlivem poklesu kapacity BESS. V důsledku vyřazení úložiště dojde mezi třináctým a čtrnáctým rokem ke skokovému poklesu míry využití přibližně na 64 %. Vzhledem k tomu, že dle zjednodušujících vztahů zavedených v rámci 8.3 jsem přijal předpoklad lineárního poklesu množství využití elektrické energie, se míra využití po vyřazení BESS již nemění.



Graf 9.3 - Využití vyrobené energie v průběhu let – jednoduchý systém

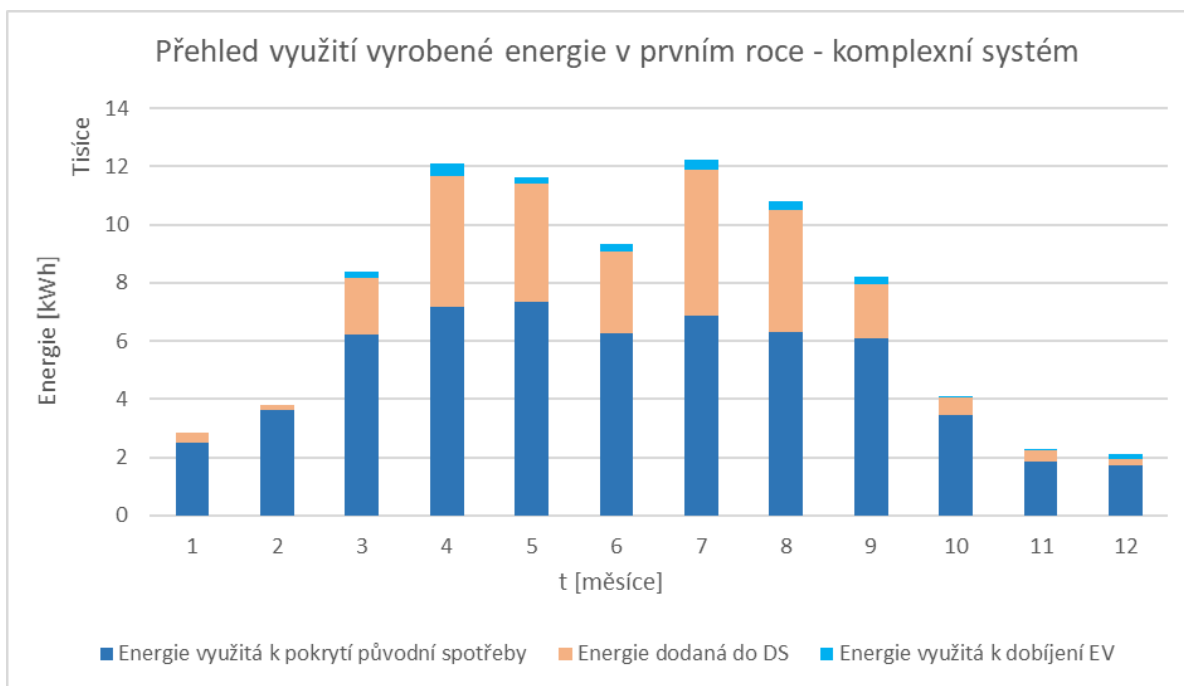
## 9.2.2. Komplexní systém

Stejně jako u jednoduchého systému, i v případě využití komplexní varianty je vyrobená energie primárně využívána k pokrytí výchozí spotřeby objektu, přičemž BESS je využíváno dle principů popsaných v rámci 5.2. Přebytková energie může být dále využita také k dobíjení EV. Využití komplexního systému v rámci dne je zřejmé z grafu 9.4, kdy jsem pro srovnání vybral stejný letní den jako v případě jednoduché varianty. Na první pohled je vidět rozdíl ve vyšší úrovni nabití BESS, pod kterou BESS není vybíjeno. To je dáno tím, že systém musí být potenciálně připraven na den s nejvyšší spotřebou v daném měsíci a v BESS musí být dostatek energie pro pokrytí výkonových špiček. Z toho důvodu by bez uvažování možnosti dobíjení EV bylo i navzdory větší instalované kapacitě BESS dodáno do DS 135 kWh, tedy více než v případě jednoduchého systému. V grafu lze vidět, že k překročení hladiny vybíjení by bez využití systému v daném dni sice došlo, nicméně vlivem výroby FVE došlo ke snížení celkového příkonu objektu a zásah BESS tak nakonec nebyl potřebný. Tento jev se uplatňuje v naprosté většině dnů a BESS tak většinou slouží spíše jako záložní prvek pro případy, kdy by se výkon FVE neočekávaně snížil.



Graf 9.4 - Využití vyrobené energie v rámci dne – komplexní systém

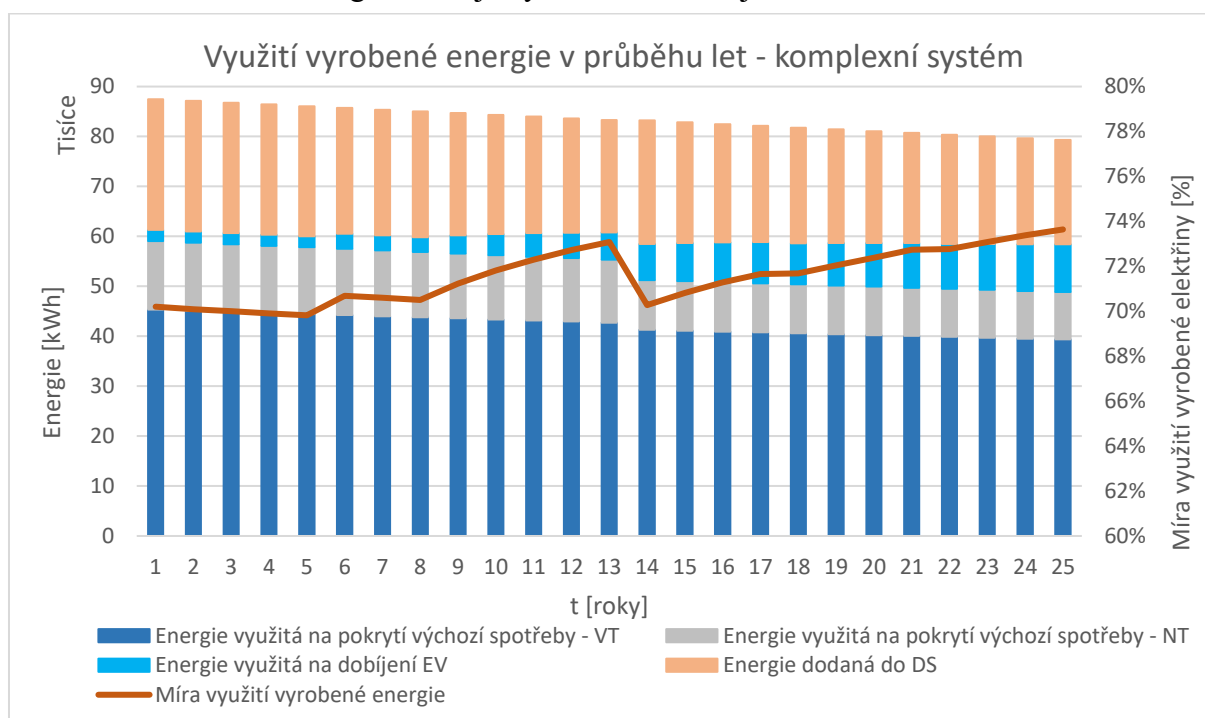
Množství elektřiny využitá v prvním roce provozu komplexního systému znázorňuje Graf 9.5. Z celkového množství vyrobené elektřiny, které je pro daný rok přibližně 87,8 MWh, se k pokrytí výchozí spotřeby objektu využije asi 59,4 MWh. Díky využití BESS se pak spotřebuje přibližně o 6,8 MWh energie více oproti variantě bez BESS. Míra využití by v takovém případě byla pouze necelých 67,3 %. Je tak zřejmé, že přestože u instalovaného výkonu FVE došlo v porovnání s jednoduchým systémem k nižšímu poměrnému navýšení, než tomu bylo u kapacity BESS, míra využití vyrobené elektřiny se snížila. To je dáno tím, že při využití komplexního systému je část BESS často vyhrazena pro účely PS a nelze ji tedy využívat v základním režimu, který obecně využití vyrobené elektřiny maximalizuje. Je však nutné poznamenat, že již v prvním roce provozu je předpokládáno využití přibližně 2,2 MWh vyrobené elektřiny na dobíjení dvou firemních EV, díky čemuž dosáhla celková míra využití hodnoty 70,2 %. Klíčová podmínka pro obdržení dotace tak bude díky zahrnutí této možnosti splněna.



Graf 9.5 - Přehled využití vyrobené energie v prvním roce – komplexní systém

- **Využití vyrobené elektřiny v následujících letech**

Situace pro další roky provozu je zřejmá z grafu 9.6. Podobně jako v případě jednoduché varianty dochází k lineárnímu poklesu výkonu FVE. S tím je spojený také pokles množství elektřiny využité pro pokrývání výchozí spotřeby. Mezi třináctým a čtrnáctým rokem opět dochází ke skokovému poklesu míry využití, což je analogicky s případem jednoduchého systému dáno vyřazením BESS. Z grafu je však patrné, že na rozdíl od jednoduché varianty je v případě komplexního systému pokles míry využití vyrobené elektřiny kompenzován rostoucím množstvím energie, která je využívána na dobíjení EV.



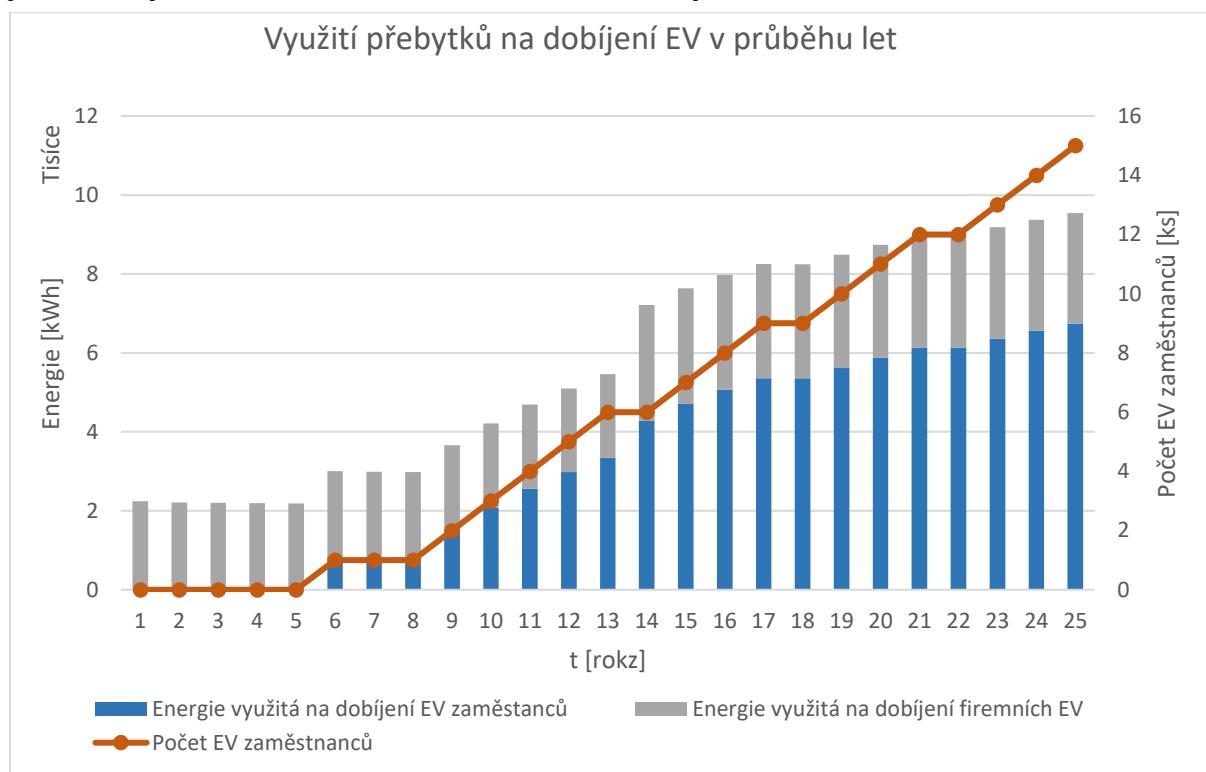
Graf 9.6 - Využití vyrobené energie v průběhu let – komplexní systém

Při porovnání s grafem 9.3 lze identifikovat faktory, které měly klíčový dopad na výběr optimální dimenze. V první řadě je patrné, že v obou případech vyšla jako nejvýhodnější možnost nepořizovat náhradní BESS. Na základě toho jsem došel k závěru, že bateriové úložiště se v tomto konkrétním případě bez dotace nevyplatí.

Z průběhů jsem dále usoudil, že matematický model pro oba typy vybral mezní variantu s maximálním instalovaným výkonem FVE, při kterém je ještě těsně splněna podmínka pro obdržení dotace, dle které výroba nesmí za dobu 3 let od zahájení provozu dodat do DS více než třicet procent vyrobené elektřiny. Obdržení této dotace samozřejmě významně zvyšuje výhodnost celého projektu a není tedy divu, že model vybíral výhradně dimenze, které tuto podmínku splňovaly. Jelikož celková míra využití elektřiny v objektu je však značně snižována vlivem víkendových dní, bylo by při dalším zvyšování instalovaného výkonu FVE potřeba značně navyšovat také dimenzi BESS, což model posoudil jako ekonomicky nevýhodné.

- **Využití vyrobené elektřiny na dobíjení EV**

Jedním z klíčových prvků komplexního systému je možnost využití přebytků na dobíjení EV. Následující graf znázorňuje předpokládané množství elektřiny využité jak na dobíjení firemních elektromobilů, tak i na dobíjení vozů zaměstnanců.



Graf 9.7 - Využití přebytků na dobíjení EV v průběhu let – komplexní systém

Z tohoto grafu lze názorně vidět, že v průběhu let s rostoucím počtem elektromobilů v areálu roste také celkové množství energie využité k jejich dobíjení. Je však patrné, že tento růst se postupem let zpomaluje, což je zapříčiněno omezenou dimenzí FVE a s ní spojeným omezeným množstvím přebytků vyrobené elektřiny. I v takovém případě se však v posledních letech provozu blíží celkové množství elektřiny využité na dobíjení 10 MWh. S rostoucí dimenzí FVE by samozřejmě tato hodnota narůstala. Pokud by například byla instalována FVE o výkonu 100 kWp, blížilo by se celkové množství energie využité k dobíjení EV 14 MWh.

V tomto využití spatřuji potenciál nejen z pohledu konkrétních investorů a uživatelů EV, ale také z pohledu systémového. V rámci 3.2.2 bylo uvedeno, že rozvoj elektromobility v rámci ČR zapříčiní také významný nárůst spotřeby elektrické energie. Při uvážení skutečnosti, že většina uživatelů by své EV nabíjela pravděpodobně po pracovní době v domácím prostředí, jsem došel k závěru, že by docházelo k výrazným špičkám zatížení soustavy v odpoledních a večerních hodinách. Tuto situaci přesně znázorňuje Graf 3.8.

Pokud by alespoň část EV byla nabíjena v pracovní době, a navíc ještě přímo z přebytků vyrobených v daném místě, mohl by se tento problém do značné míry omezit. Zaměstnanci, kteří mají omezenou možnost dobíjení v domácích podmínkách, by navíc k tomuto způsobu získali další alternativu. Na základě těchto skutečností jsem došel k závěru, že dobíjení EV ve firmách, speciálně pak z přebytků elektřiny vyrobené přímo v daném objektu, je ze systémového hlediska výhodné. Z toho důvodu by v budoucnu mohlo dojít k finanční podpoře této činnosti, například formou dotace na nákup dobíjecích stanic.

- **Snížení hodnot rezervované kapacity**

Jelikož komplexní systém je schopný také snižovat maximální příkon objektu, bylo potřeba zhodnotit také změnu rezervované kapacity. Hodnoty sjednané pro jednotlivé měsíce prvního roku provozu jsou uvedeny v následující tabulce.

Měsíc	Rezervovaná kapacita [kW]	
	Jednoduchý systém	Komplexní systém
Leden	75	70
Únor		70
Březen		60
Duben		60
Květen	60	55
Červen		50
Červenec		50
Srpen		50
Září	75	55
Říjen		65
Listopad		70
Prosinec		65

Tabulka 9.2 - Hodnoty sjednané rezervované kapacity v prvním roce provozu

Pro případ jednoduchého systému jsou samozřejmě uvedeny výchozí hodnoty, které by samozřejmě nebyly změněny. Z porovnání hodnot je patrné, že s využitím komplexní varianty by skutečně došlo ke snížení RK, přičemž nejvýraznějšího snížení o 15 kW se dosáhlo především v březnu a dubnu.

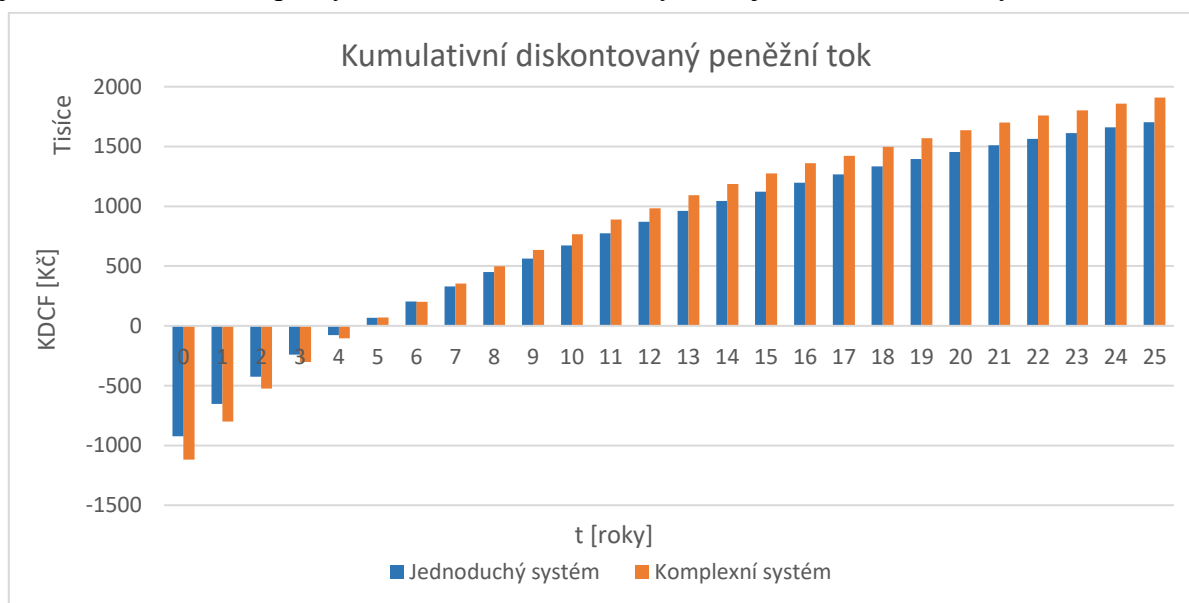
### 9.3. Ekonomické zhodnocení

V předchozím textu byly jasně popsány optimální navržené dimenze jak pro jednoduchý, tak i pro komplexní systém. Dále byly oba systémy porovnány z hlediska jejich skutečného využití v reálném provozu. V rámci této podkapitoly budou obě varianty porovnány také z pohledu ekonomické výhodnosti. Základní srovnání je uvedeno v následující tabulce, která porovnává výši investičních výdajů, NPV a IRR obou variant. Výpočet NPV a IRR jsem provedl dle vztahů 90 a 91, přičemž veškeré vztahy a také vstupy potřebné pro výpočet byly jasně definovány v rámci kapitol 6 a 8. Celý výpočet je pak dostupný v příloze 1.

Ukazatel	Jednoduchý systém	Komplexní systém
Požizovací cena systému bez dotace [Kč]	3 074 976	3 896 090
Požizovací cena systému s dotací [Kč]	922 493	1 118 827
NPV [Kč]	1 705 558	1 908 758
IRR (po zdanění) [%]	26,7	25,9

Tabulka 9.3 - Shrnutí ekonomického zhodnocení variant

Z výsledků je zřejmé, že pro hodnoty vstupních proměnných uvažovaných v takzvaném základním scénáři jsou obě varianty z ekonomického pohledu výhodné, a zcela jistě má smysl o investici uvažovat. Je také patrné, že při uvažování NPV jako klíčového kritéria porovnání, je mnou navržený komplexní systém výhodnější. Samozřejmě se jedná o dvě různé dimenze a mohlo by se tak potenciálně zdát, že daný rozdíl může být dán právě tím. V tomto směru je však nutné si uvědomit, že pro obě varianty se jedná o optimální dimenzi, tedy pokud by například jednoduchý systém měl stejnou dimenzi jako komplexní varianta dle tabulky 9.1, bylo by jeho NPV 1 687 885 Kč. Podobně je tomu i pro ostatní možné dimenze. Z toho lze učinit závěr, že mnou navržený komplexní systém je pro hodnoty referenčního scénáře z ekonomického hlediska skutečně výhodnější než systém jednoduchý. Návrh jeho nastavení tedy považuji za úspěšný a investorovi bych doporučil právě tuto variantu. Celou situaci znázorňuje také následující graf kumulativního diskontovaného peněžního toku, z kterého je patrné, že i přes vyšší vstupní investici spojenou s pořízením komplexního systému dojde již v sedmém roce k převýšení kumulativní hodnoty DCF jednoduché varianty.



Graf 9.8 - Kumulativní diskontovaný peněžní tok porovnávaných variant

Z ekonomického srovnání je také zřejmé, že vzhledem k vyšší vstupní investici je výnosové procento IRR v případě komplexního systému nepatrně nižší oproti jednoduché variantě. Pro obě varianty jsou však hodnoty velmi vysoké. Z toho důvodu jsem se rozhodl ověřit, zda projekty nedosahují vyšší hodnoty výnosového procenta než 15 % i bez dotace, přičemž v takovém případě by dle stanovených podmínek vycházejících z programu OP PIK nebyla finanční podpora poskytnuta. Na základě výpočtů jsem však došel k závěru, že tato podmínka porušena nebyla, jelikož bez dotace by IRR pro jednoduchou variantu bylo přibližně 7,2 % a pro komplexní 6,4 %.

## 9.4. Citlivostní analýza

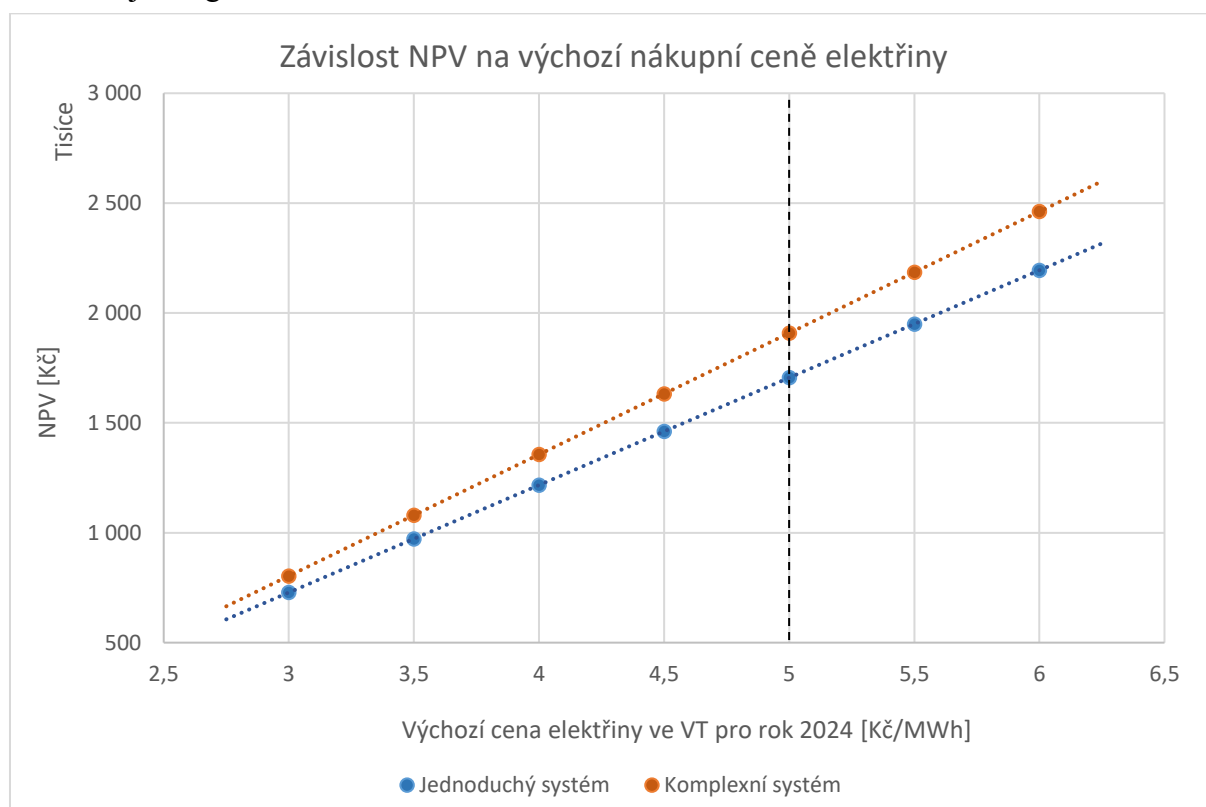
V předchozí podkapitole byly uvedeny výsledné hodnoty NPV pro takzvaný základní scénář. Tyto hodnoty jsou však závislé na celé řadě vstupních proměnných. V rámci této kapitoly se budu zabývat vlivem změny nejdůležitějších proměnných na výsledek. V následující tabulce jsou pro shrnutí uvedeny vstupní hodnoty pro základní scénář, pro které budou v následujících podkapitolách zpracovány citlivostní analýzy. V grafech budou příslušné hodnoty pro základní scénář vyznačeny přerušovanou čarou.

Údaj	Hodnota
Výchozí jednotková cena elektřiny ve VT [Kč/kWh]	5
Průměrný roční růst cen elektřiny po roce 2028 [%]	2,7
Průměrný roční růst cen RK [%]	3
Míra dotace [%]	70
Diskontní sazba [%]	8

Tabulka 9.4 – Vstupní proměnné pro základní scénář

### 9.4.1. Výchozí cena elektrické energie

V podkapitole 8.2.2 byl jasně popsán princip stanovení výchozích nákupních cen elektrické energie. Při určování jejich výše do roku 2026 jsem vycházel z cen futures kontraktů. Výsledná cena nabízená spotřebitelům se však v praxi může lišit a z toho důvodu je potřeba analyzovat vliv této změny na NPV. V rámci výpočtů jsem zachoval relativní meziroční změny mezi jednotlivými roky tak, jak byly popsány v 8.2.2 a také relativní rozdíl mezi cenou v jednotlivých tarifech, kdy ceny v NT předpokládám oproti VT o 20 % nižší. Při tomto nastavení je závislost NPV na výchozí nákupní ceně elektřiny ve VT zobrazena v následujícím grafu.



Graf 9.9 - Závislost NPV na výchozí nákupní ceně elektřiny ve VT

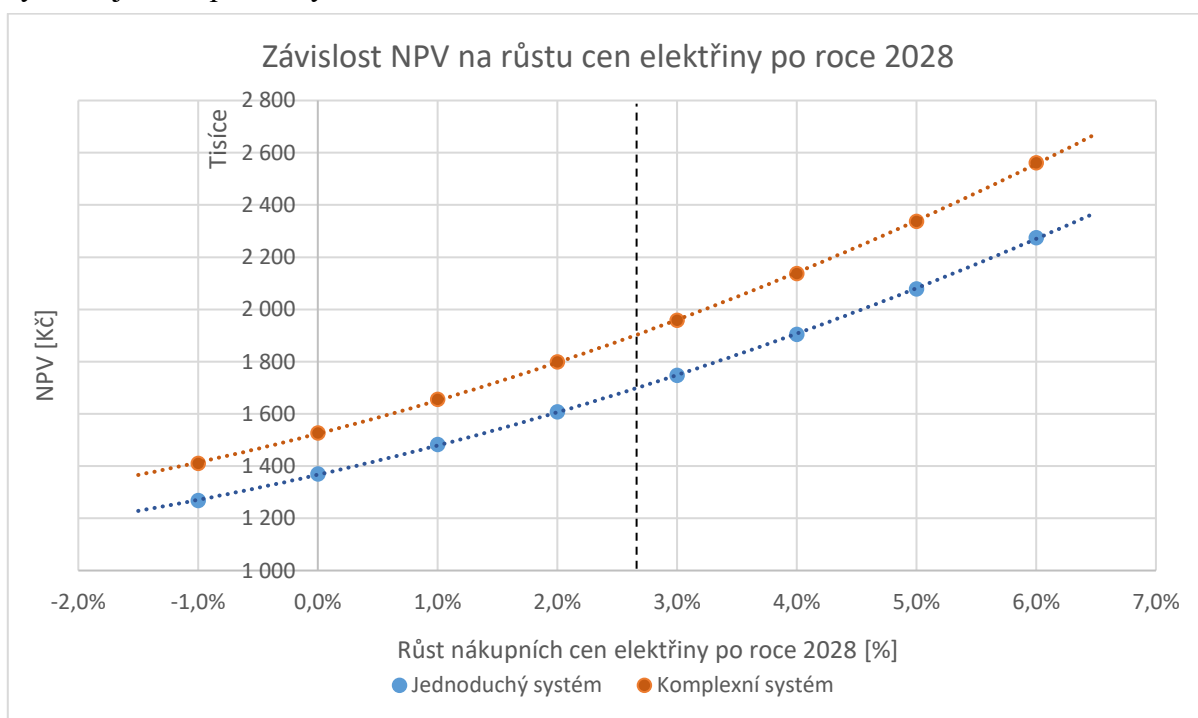


Z vyobrazených průběhů je zřejmé, že pro všechny uvažované hodnoty je projekt z pohledu investora stále velmi výhodný. Aby bylo NPV projektu nulové, musela by výchozí cena být přibližně 1,5 Kč/kWh v případě jednoduchého, případně 1,35 Kč/kWh v případě komplexního systému. Vzhledem k současnému vývoji však nepředpokládám, že by bylo možné pro rok 2024 získat cenu znatelně nižší oproti hodnotě uvažované v základním scénáři. Naopak, pokud se situace v sektoru energetiky způsobená válečným konfliktem ještě zhorší, mohlo by dokonce dojít k jejímu dalšímu zvýšení. Z vyobrazených průběhů lze také vidět, že pro všechny uvažované hodnoty je výhodnější mnou navržená komplexní alternativa, přičemž s rostoucí nákupní cenou elektřiny rozdíl mezi variantami narůstá, což je zapříčiněno větší dimenzí oproti jednoduchému systému.

### 9.4.2. Průměrný roční růst cen elektřiny po roce 2028

Kromě nákupních cen elektřiny v prvních letech provozu, pro jejichž stanovení je alespoň částečně možné vycházet z cen futures kontraktů, bylo dále potřeba určit také vývoj cen v letech zbývajících. V rámci základního scénáře jsem zavedl předpoklad, že ceny v současné době zřejmě již dosáhly svého maxima a do roku 2028 se budou spíše snižovat. Následně očekávám jejich ustálení a v dalších letech průměrný meziroční růst o inflaci, tedy o 2,7 %. Je však možné, že tento růst bude ve skutečnosti odlišný.

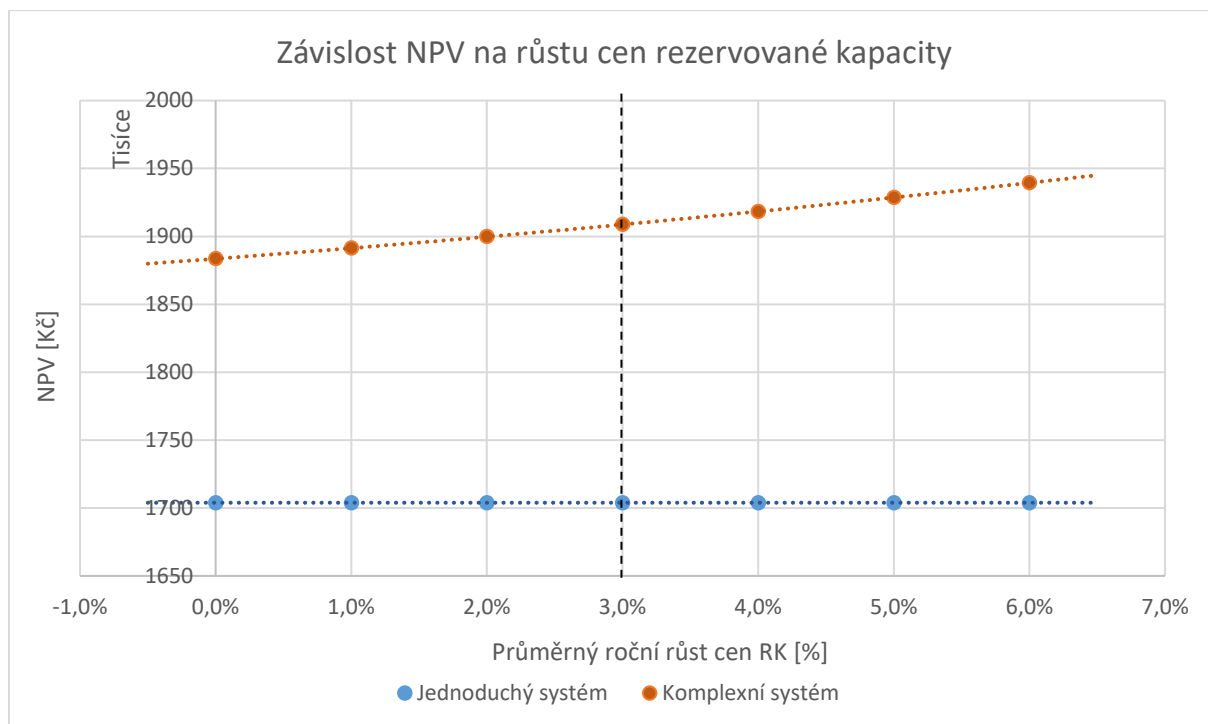
Závislost NPV na růstu cen elektřiny po roce 2028 je zobrazena v následujícím grafu. Je patrné, že i pokud by změna nominálních cen elektřiny byla nulová, projekt by byl v obou variantách stále velmi výhodný. To platí dokonce i pro případy, kdy by ceny od roku 2028 soustavně klesaly. V souvislosti se závěry předchozí podkapitoly tedy lze usuzovat, že projekt by díky současným vysokým cenám byl výhodný pro téměř jakýkoli reálný scénář budoucího vývoje cen. Na základě závěrů kapitoly 3 však usuzuji, že k poklesu cen elektrické energie v budoucnu nebude důvod. Z grafu lze také vidět, pro všechny uvažované hodnoty je opět výhodnější komplexní systém.



Graf 9.10 - Závislost NPV na růstu cen elektřiny po roce 2028

### 9.4.3. Průměrný roční růst cen rezervované kapacity

V následujícím grafu je zobrazena závislost NPV na růstu cen rezervované kapacity. Platí, že čím je růst vyšší, tím výhodnější je mnou navržený komplexní systém, s jehož využitím je možné hodnoty RK snížit. Změny výsledného NPV však nejsou až tak významné, jelikož ke snižování RK bude docházet pouze v prvních třinácti letech provozu a snížení zřejmě v tomto konkrétním případě není až tak významné.



Graf 9.11 - Závislost NPV na růstu cen rezervované kapacity

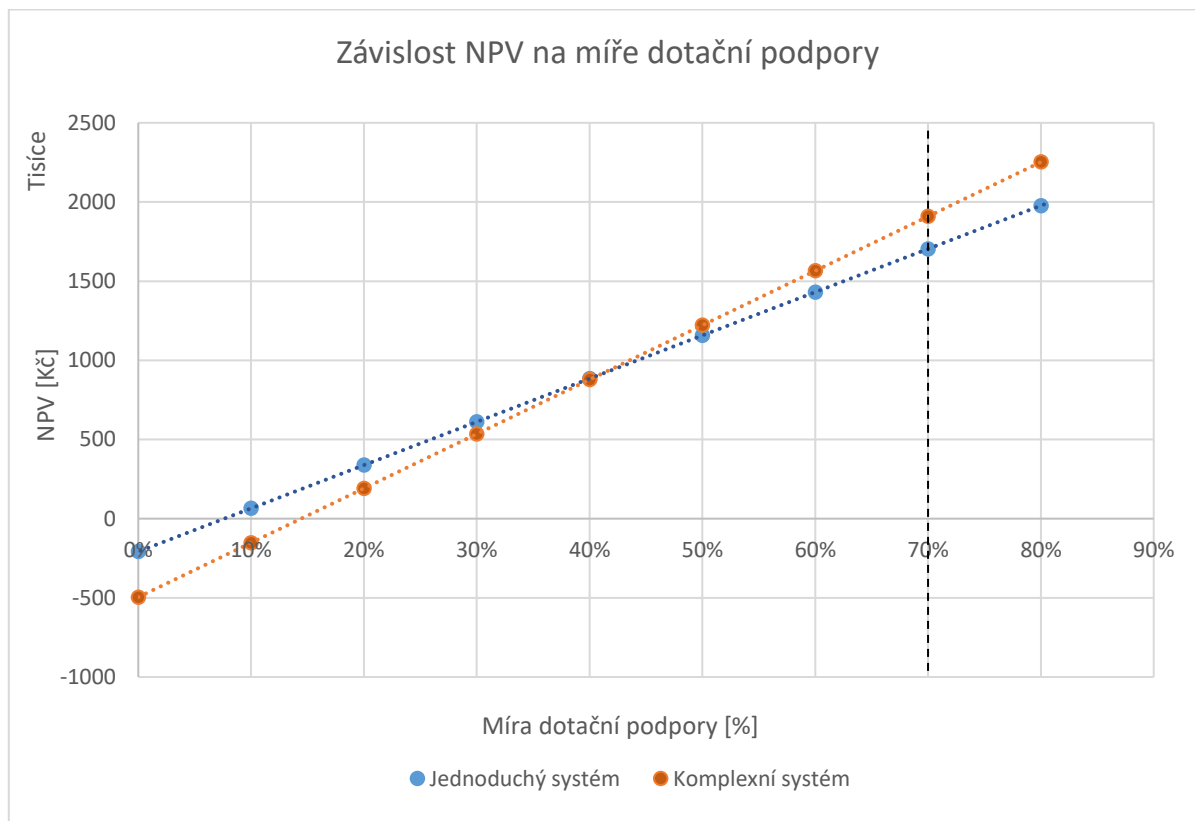
V rámci základního scénáře jsem uvažoval průměrný meziroční růst cen RK ve výši 3 %. V souvislosti se závěry kapitoly 3 jsem usoudil, že v budoucnu bude stále komplikovanější a nákladnější zajistit připravenost regulovatelných zdrojů o adekvátním celkovém výkonu, a to i s ohledem na předpokládaný rozvoj elektromobility. Je také nutné poznamenat, že v současné době jsou především na hladině NN regulované platby za využití sítí spojeny převážně s variabilní částí ceny elektřiny. S rostoucím počtem soukromých výroben by tak v budoucnu mohlo docházet k poklesu tržeb provozovatelů DS. Struktura regulovaných plateb by se v souvislosti s tímto jevem mohla měnit a mohlo by docházet k růstu fixní části ceny. Na základě těchto skutečností je možné usuzovat, že růst cen RK by mohl být dokonce vyšší, než 3 % uvažované v základním scénáři.

### 9.4.4. Výše dotace

- **Výše dotační podpory v programu OP TAK**

Jedním z klíčových předpokladů základního scénáře je stanovení celkové výše dotace v programu OP TAK na hodnotu 70 % ze vstupní investice. Jelikož však výzva na podporu fotovoltaických zdrojů s bateriovým úložištěm v tomto programu ještě nebyla vypsána, nejsou v současné době známy její přesné podmínky. Pro účely práce jsem tedy uvažoval podmínky platné v programu OP PIK, na který OP TAK přímo navazuje. Na základě toho jsem stanovil právě také vyšší finanční podpory na 70 %.

Vzhledem k současnému nárůstu cen elektrické energie je však možné, že skutečná výše dotace bude v reakci na toto dění snížena. Vliv případné změny na výsledné NPV je zřejmý z následujícího grafu.



Z tohoto grafu lze vidět, že komplexní varianta je tím výhodnější, čím vyšší je dotace, přičemž při hodnotách nižších než 40 % by byl výhodnější jednoduchý systém. V tomto ohledu je však nutné zdůraznit, že tento trend platí pouze pro dvě konkrétní navržené dimenze popsané v rámci 9.1. Pokud by totiž v rámci nově vypsané dotační výzvy skutečně došlo ke snížení míry dotace, bylo by možné v rámci modelu pouze upravit příslušnou hodnotu a nalézt nové optimální dimenze. Pro každý takový případ je pak komplexní systém výhodnější, než ten jednoduchý.

V případě, kdy by byl projekt realizován například zcela bez dotační podpory, by optimální dimenze FVE pro jednoduchý systém byla 77,9 kWp, přičemž nejlépe v takovém případě vychází varianta bez BESS. NPV takového projektu by bylo přibližně 495 000 Kč. V případě komplexního systému by optimální dimenze FVE byla 99,6 kWp, kdy stejně jako v případě jednoduché varianty se jedná o systém bez BESS. Výsledné NPV by pro tento případ bylo asi 583 000 Kč. Z těchto informací je patrné, že i bez čerpání dotace by se zcela jistě dala doporučit investice do této dimenze komplexního systému. Výhodnost instalace BESS je naopak pro obě varianty velmi závislá právě na výši dotace, kdy s její klesající výší klesá také optimální instalovaná kapacita bateriového úložiště. Dále je zřejmé, že při zahrnutí možnosti budoucího dobíjení EV skutečně dochází ke zvýšení optimální dimenze instalované FVE a také ke zvýšení ekonomické výhodnosti celého projektu. To do značné míry potvrzuje mou prvotní tezi uvedenou v rámci 5.2.1

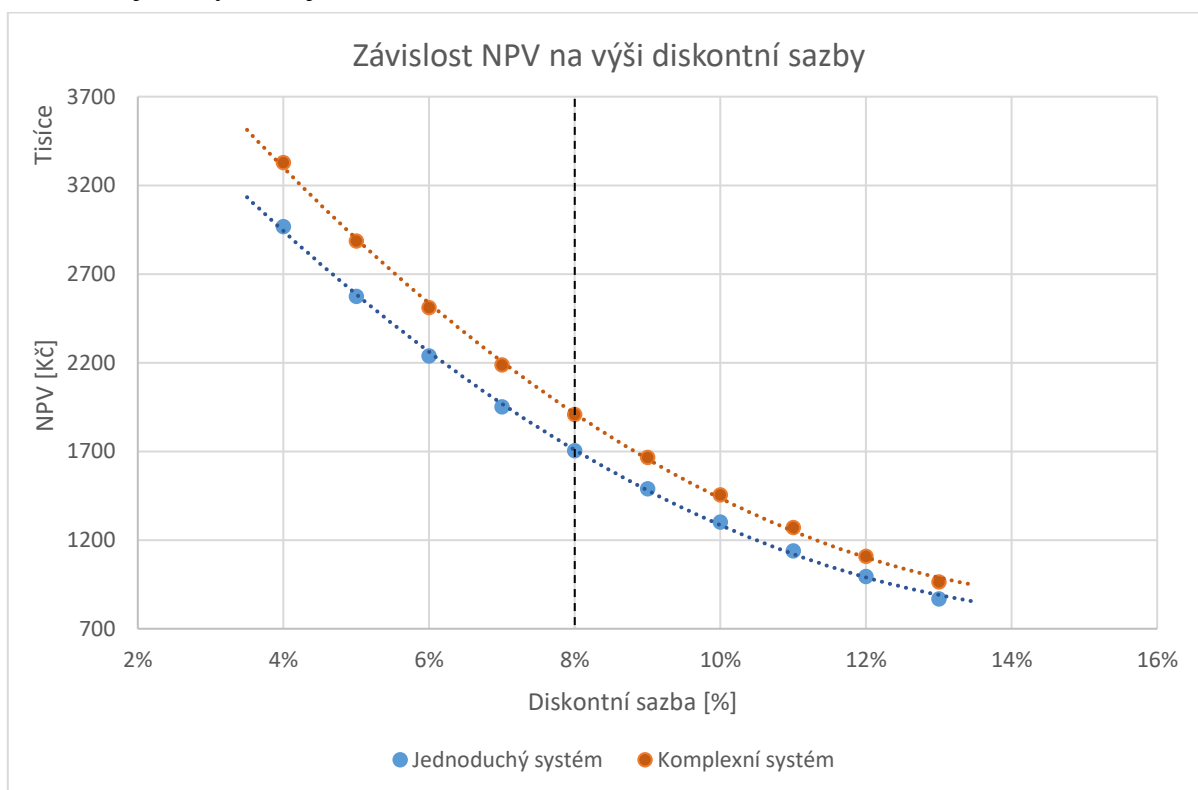
- **Výše dotační podpory na pořízení dobíjecích stanic**

V rámci kapitoly 9.2.2 byly uvedeny důvody, díky kterým je dobíjení EV ve firmách, speciálně pak z přebytků elektřiny vyrobené přímo v daném objektu, výhodné ze systémového hlediska. Na základě těchto skutečností jsem došel k závěru, že tato činnost by mohla být finančně podporována, a to například formou dotace na nákup dobíjecích stanic.

Pokud by například bylo pořízení všech stanic dle základního scénáře zcela dotováno, zvýšilo by se výsledné NPV projektu přibližně o 87 000 Kč. Je tedy zřejmé, že takováto forma podpory by majitele firem, kteří uvažují o investici do PV systému, mohla motivovat k nabízení možnosti dobíjení EV zaměstnanců.

#### 9.4.5. Diskontní sazba

Faktorem, který má na výsledné NPV zásadní vliv, je také diskontní sazba. V rámci základního scénáře jsem uvažoval hodnotu 8 % jakožto výnos kapitálových aktiv stanovený z modelu CAPM. V rámci 8.2.4 bylo popsáno, že některé společnosti využívají pro hodnocení projektů WACC, případně jiné hodnoty dle jejich nastavené investiční politiky. Vliv změny diskontní sazby na výsledné NPV je patrný v následujícím grafu. I pro poměrně vysoké hodnoty diskontní sazby okolo 13 % je projekt v obou variantách stále velmi výhodný, přičemž komplexní systém je opět pro všechny uvažované hodnoty výhodnější variantou. Vzhledem k vyšší vstupní investici se však s rostoucím diskontem rozdíl mezi komplexní a jednoduchou variantou snižuje. Dle mého názoru je však i přes současnou situaci v sektoru energetiky spíše nepravděpodobné, že by společnost Teco a.s. očekávala od projektu ještě vyšší výnos. Komplexní variantu tak pro všechny reálné hodnoty diskontní sazby hodnotím jako výhodnější.



## 9.2. Závěrečné zhodnocení projektu

Za účelem praktické aplikace matematického modelu jsem se v rámci práce zabýval návrhem optimálního fotovoltaického systému pro hlavní budovu společnosti Teco a.s., která v současné době o instalaci fotovoltaického systému uvažuje. Práce tak nalezne praktické využití jako podklad pro výběr vhodné varianty. Pro vybraný objekt jsem provedl detailní analýzu využití energií a posoudil jsem také veškerá omezení, přičemž jsem došel k závěru, že budova je pro výstavbu systému vhodná.

Na základě stanovených relevantních vstupů matematického modelu byla dále pro oba navržené systémy nalezena optimální dimenze. Pro jednoduchý systém byla vybrána varianta s FVE o instalovaném výkonu 77,08 kWp v kombinaci s BESS o instalované kapacitě 31,95 kWh a výkonu 24 kW. V případě komplexního systému by optimální varianta byla složena z FVE o instalovaném výkonu 84,87 kWp a z BESS o instalované kapacitě 53,25 kWh a výkonu 48 kW. V obou případech je předpokládáno vyřazení bateriového úložiště po třinácti letech, přičemž jako optimální vyšla možnost nepožít žádné náhradní úložiště.

Výsledné hodnoty NPV pro základní scénář jsou 1 705 558 Kč pro jednoduchou a 1 908 758 Kč pro komplexní variantu. Na základě těchto hodnot lze v obou případech projekt z ekonomického hlediska považovat za velmi výhodný. Je také zřejmé, že mnou navržený komplexní systém je v porovnání s jednoduchou variantou výhodnější. Z toho důvodu bych tento systém investorovi doporučil jako lepší alternativu. Tyto skutečnosti lze potvrdit i s ohledem na závěry citlivostní analýzy, kdy pro všechny realistické uvažované scénáře byly hodnoty NPV kladné a pohybovaly se vzhledem k výši vstupní investice v relativně vysokých hodnotách. To je dáno především výrazným současným nárůstem cen elektrické energie a také poměrně vysokou uvažovanou mírou dotační podpory.

Právě výše podpory v programu OP TAK však není v současné době přesně známá. Pro základní scénář jsem ji stanovil dle předcházejícího programu OP PIK na 70 %. Pokud by v rámci nově vypsané dotační výzvy došlo ke snížení míry dotace, doporučuji v rámci modelu upravit příslušnou hodnotu a nalézt novou optimální dimenzi systému. Pro každý takový případ je pak komplexní systém výhodnější než ten jednoduchý.

Pokud by byl projekt realizován například zcela bez dotační podpory, optimální dimenze FVE pro jednoduchý systém by byla 77,9 kWp, přičemž nejlépe v takovém případě vychází varianta bez BESS. NPV projektu by pak bylo přibližně 495 tisíc Kč. V případě komplexního systému by optimální dimenze FVE byla 99,6 kWp, kdy se stejně jako v případě jednoduché varianty jedná o systém bez BESS. Výsledné NPV by pro tento případ bylo asi 583 tisíc Kč. I v případě realizace projektu zcela bez dotace bych tedy doporučil investici do uvedené dimenze komplexního systému.

Na závěr je vhodné doplnit, že v rámci výpočtů je předpokládáno postupné pořizování dobíjecích stanic v reakci na zvyšující se počet elektromobilů v areálu společnosti. Pokud by však v průběhu životnosti projektu bylo možné získat na pořízení stanic dotaci, doporučil bych investorovi tuto možnost využít a pořídit všechny stanice zároveň.

## 10. Závěr

Hlavním předmětem této práce bylo provést návrh a optimalizaci provozu fotovoltaického systému s bateriovým úložištěm pro průmyslový objekt. Za tímto účelem byl v úvodní části nejprve zmapován současný stav a také očekávaný budoucí vývoj v sektoru elektroenergetiky a dopravy v Evropské unii s ohledem na aktuální klimatické cíle. Dle závěrů této části by v budoucnu mělo docházet k růstu instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren a také k významnému nárůstu počtu elektromobilů, přičemž kýžený enviromentální přínos elektromobility i její praktická uskutečnitelnost jsou do značné míry závislé právě na zajištění dostatečného množství elektrické energie z ekologicky šetrných zdrojů. Cílem práce tedy bylo zjistit, zda je investice do optimálně navrženého fotovoltaického systému z pohledu investora výhodná, a také posoudit, jakým způsobem předpokládaný rozvoj elektromobility ovlivní samotný návrh elektrárny.

V souvislosti s tím byla nejprve provedena charakteristika dostupných technických řešení fotovoltaických systémů. Hlavní důraz byl kladen především na analýzu možností jejich využití v průmyslových objektech, v rámci které byly popsány využitelné funkce fotovoltaických sestav. Právě výběrem těchto funkcí a nastavením jejich priorit se vzniklé systémy do značné míry liší, což může mít zásadní vliv také na ekonomickou výhodnost celého projektu.

Předmětem následující části práce tedy bylo vybrat optimální nastavení energetické sestavy, které by maximalizovalo výhodnost investice. Navrhnul jsem tedy vlastní komplexní systém, který je díky vytvořeným predikčním mechanismům schopný určit, kolik energie bude v daném období potřeba pro snížení maximálního příkonu objektu na požadovanou úroveň. Na základě toho je možné pro tento účel vyhradit pouze odpovídající část kapacity bateriového úložiště, přičemž zbývající část může být využita v základním režimu, tedy k uchování přebytků z FVE a následnému neregulovanému využití. Tento systém je tak schopný zajistit snížení hodnot rezervované kapacity objektu při současném zachování možnosti ukládání přebytečné vyrobené elektřiny. Komplexní systém navíc nabízí také možnost využití přebytků na dobíjení elektromobilů.

Aby bylo možné mnou navržený systém porovnat s jednodušší instalací a demonstrovat jeho vyšší výhodnost, zavedl jsem pro účely práce také jednoduchý systém, který kombinuje FVE s BESS fungujícím pouze v základním režimu. Takový systém na rozdíl od toho komplexního nedisponuje možností řízeného snižování maximálního příkonu objektu, ani možností využití přebytků vyrobené energie na dobíjení elektromobilů.

Na základě navržených principů fungování obou systémů jsem v další části práce vytvořil matematický model, který je schopný simulovat jejich reálný provoz, čehož lze využít k optimalizaci dimenze pomocí technicko-ekonomického porovnání možných variant. Tento model jsem následně prakticky aplikoval při návrhu vhodné sestavy pro vybranou budovu společnosti Teco a.s. Na základě srovnání možných alternativ bych společnosti doporučil investici do komplexního systému složeného z FVE o instalovaném výkonu 84,87 kWp a z BESS o instalované kapacitě 53,25 kWh a výkonu 48 kW. Detailní zhodnocení celého projektu je provedeno v závěrečné části práce.

Na základě výsledků pro tento konkrétní případ jsem dále identifikoval několik klíčových skutečností, které lze do značné míry generalizovat. V první řadě jsem došel k závěru, že vzhledem k současným vysokým cenám elektrické energie se investice do vhodné zvolené dimenze fotovoltaické elektrárny pro průmyslový objekt v naprosté většině případů vyplatí, a to i bez dotační podpory. V důsledku toho lze v budoucnu očekávat významný nárůst počtu fotovoltaických zdrojů, což je jasně patrné i ze současné navýšené poptávky.

S rostoucím počtem intermitentních zdrojů se zcela jistě zvýší také nároky na regulaci elektrizační soustavy. Na lokální úrovni je možné tento problém alespoň částečně eliminovat doplněním elektrárny o bateriové úložiště. V rámci práce jsem však vyzoroval, že výhodnost instalace BESS je vzhledem k vysoké pořizovací ceně do značné míry závislá na dotační podpoře a s její klesající výší se snižuje také optimální instalovaná kapacita úložiště. Tato skutečnost přitom platila i pro mnou navržený princip fungování BESS v rámci komplexního systému, který se z ekonomického pohledu ukázal v porovnání se základním režimem jako efektivnější. Z těchto informací usuzuji, že významnější rozšíření stacionárních bateriových úložišť využívaných pro tyto účely bude v budoucnu do značné míry závislé právě na finanční podpoře ze strany státu, nebo na případném poklesu cen této technologie.

Za klíčové pak považuji také závěry potvrzující značnou synergii fotovoltaických zdrojů a elektromobility. Na základě mých výpočtů jsem zjistil, že při zahrnutí možnosti budoucího dobíjení elektromobilů z přebytků vyrobené elektřiny skutečně dochází ke zvýšení optimální dimenze instalované FVE a také ke zvýšení ekonomické výhodnosti celého projektu. Moje původní teze tak byla do značné míry potvrzena a je zřejmé, že při návrhu energetických systémů by již v současné době měl být očekávaný budoucí rozvoj elektromobility uvažován.

Dále jsem došel k závěru, že dobíjení EV ve firmách, speciálně pak z přebytků elektřiny vyrobené přímo v daném objektu, je výhodné nejen z pohledu konkrétních investorů a uživatelů EV, ale také z pohledu systémového. Dá se totiž očekávat, že rozvoj elektromobility v rámci ČR zapříčiní významný nárůst spotřeby elektrické energie. Při uvážení skutečnosti, že většina uživatelů by své EV nabíjela pravděpodobně po pracovní době v domácím prostředí, lze navíc předpokládat, že by docházelo k výrazným špičkovým zatížením soustavy v odpoledních a večerních hodinách. Pokud by alespoň část vozů byla nabíjena v pracovní době, a navíc ještě přímo z přebytků vyrobených v daném místě, mohl by se tento problém alespoň částečně omezit. Na základě těchto skutečností vidím v dobíjení EV ve firmách značný potenciál a domnívám se, že v budoucnu by vzhledem k popsáním skutečnostem mohlo dojít k finanční podpoře této činnosti, například formou dotace na nákup dobíjecích stanic.

## Seznam použité literatury

- [1] MPO. *Východiska ke koncepci surovinové a energetické bezpečnosti České republiky* [online]. [cit. 2021-11-07]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument91585.html>
- [2] IPCC. *Global Warming of 1.5 °C: Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [online]. [cit. 2021-11-07]. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- [3] EUROPEAN COMMISSION. *2020 climate & energy package* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2020-climate-energy-package\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2020-climate-energy-package_en)
- [4] TAYLOR, Kira. *Europe on track to smash its 2020 climate goal, EEA says* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.euractiv.com/section/energy/news/europe-on-track-to-smash-its-2020-climate-goal-eea-says/>
- [5] VOBOŘIL, David. *EU dosáhla svých klimatických cílů pro rok 2020, ukazují předběžná data* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/rychle-zpravy/eu-dosahla-svych-klimatickych-cilu-rok-2020-ukazuji-predbezna-data>
- [6] CURRY, Andrew. *Germany faces its future as a pioneer in sustainability and renewable energy* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-00916-1>
- [7] INTERNATIONAL CARBON ACTION PARTNERSHIP. *EU Emissions Trading System (EU ETS)* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: [https://icapcarbonaction.com/en/?option=com\\_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=43#:~:text=The%20system%20covers%20~40%25%20of,has%20gone%20through%20several%20reforms.](https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=43#:~:text=The%20system%20covers%20~40%25%20of,has%20gone%20through%20several%20reforms.)
- [8] STROUHAL, Jan. *Emisní povolenky pro začátečníky. Jak fungují a proč jejich cena roste?* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://forbes.cz/emisni-povolenky-pro-zacatecniky-jak-funguji-a-proc-jejich-cena-roste/>
- [9] EUROPEAN COMMISSION. *2030 climate & energy framework* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en)
- [10] KLUGMAN, Cornelia. *The EU, a world leader in fighting climate change* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS\\_BRI\(2018\)621818](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2018)621818)
- [11] ČTK. *Před pěti lety vstoupila v platnost pařížská dohoda o klimatu* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/pred-peti-lety-vstoupila-v-platnost-parizska-dohoda-o-klimatu>
- [12] SWITCH TO GREEN. *The EU Green Deal – a roadmap to sustainable economies* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.switchtogreen.eu/contact-us/>
- [13] RADA EU. *Evropský právní rámec pro klima: Rada a Parlament dosáhly předběžné dohody: Tisková zpráva* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z:



- <https://www.consilium.europa.eu/cs/press/press-releases/2021/05/05/european-climate-law-council-and-parliament-reach-provisional-agreement/>
- [14] TAYLOR, Kira a Sean GOULDING CARROLL. *Balíček Fit for 55: Co můžeme očekávat?* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/energetika/linksdossier/balicek-fit-for-55-co-muzeme-ocekavat/>
- [15] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *Trends and projections in Europe 2021* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2021>
- [16] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *Greenhouse gas emissions by aggregated sector* [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/ghg-emissions-by-aggregated-sector-5#tab-dashboard-02>
- [17] EUROSTAT. *Greenhouse gas emissions by source sector (source: EEA)* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_air\\_gge&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_air_gge&lang=en)
- [18] DENCHAK, Melissa. *Fossil Fuels: The Dirty Facts* [online]. [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://www.nrdc.org/stories/fossil-fuels-dirty-facts>
- [19] OTE. *Národní energetický mix* [online]. [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>
- [20] EMBER, a AGORA ENERGIEWENDE. *The European Power Sector in 2020* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://ember-climate.org/project/eu-power-sector-2020/>
- [21] KNEEBONE, James. *Fit for 55: EU rolls out largest ever legislative package in pursuit of climate goals* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://fsr.eui.eu/fit-for-55-eu-rolls-out-largest-ever-legislative-package-in-pursuit-of-climate-goals/>
- [22] PROTIVÍNSKÝ, Tomáš. *Jak fungují evropské emisní povolenky?* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/emisni-povolenky-ets>
- [23] EMBER. *Daily Carbon Prices* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>
- [24] FERNÁNDEZ ALVAREZ, Carlos a Gergely MOLNAR. *What is behind soaring energy prices and what happens next?* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.iea.org/commentaries/what-is-behind-soaring-energy-prices-and-what-happens-next>
- [25] BERG, Michal. *Jásot nad zařazením jádra a plynu mezi udržitelné zdroje může rychle zhořknout* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.voxpot.cz/v-zapase-oudrzitelnost-jadra-a-plynu-se-zivotni-prostredi-stava-rukojmim/>
- [26] FORMÁNKOVÁ, Barbora. *NOVÁ TAXONOMIE EU POMŮŽE DEFINOVAT ZELENÉ AKTIVITY* [online]. [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://www.esg-investice.cz/nova-taxonomie-eu-pomuze-definovat-zelene-aktivity/>
- [27] EUROPEAN COMMISSION. *EU Taxonomy Compass* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/tool/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/tool/index_en.htm)
- [28] KUBÁTOVÁ, Zuzana. *Studená sprcha z Bruselu: Podmínky pro „zelený“ plyn i jádro jsou příliš tvrdé* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/ekonomika-byznys-trendy-analyzy-studena-sprcha-z-bruselu-podminky-pro-zeleny-plyn-i-jadro-jsou-prilis-tvrde-184679>

- [29] PRI. *POLICY REPORTS EU taxonomy - PRI welcomes adoption of first climate delegated act* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: POLICY REPORTS EU taxonomy - PRI welcomes adoption of first climate delegated act
- [30] VOBOŘIL, David. *Měrné emise CO<sub>2</sub> z výroby elektřiny v Německu vloni poklesly o desetinu* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/rychle-zpravy/merne-emise-co2-vyroby-elektřiny-nemecku-vloni-poklesly-desetinu>
- [31] ERÚ. *Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2020* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy#2020>
- [32] ČEPS, A.S. *Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ)* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: [https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/elektroenergetika/2021/2/Hodnoceni-zdrojove-primerenosti-ES-CR-\\_2020\\_.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/elektroenergetika/2021/2/Hodnoceni-zdrojove-primerenosti-ES-CR-_2020_.pdf)
- [33] MPO. *Návrh vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu České republiky* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/navrh-vnitrostatniho-planu-v-oblasti-energetiky-a-klimatu-ceske-republiky--243377/>
- [34] EUROPEAN PARLIAMENT. *CO<sub>2</sub> emissions from cars: facts and figures (infographics)* [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics>
- [35] DELOITTE ČESKÁ REPUBLIKA. *Automobilový průmysl: Znovuobjevení automobilu* [online]. 2019 [cit. 24.4.2022].
- [36] EUROENERGY. *Dílčí studie pro pracovní tým A25 - Predikce vývoje elektromobility v ČR* [online]. [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/konference-seminare/elektromobilita--240934/>
- [37] MPO. *Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility* [online]. [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/aktualizace-narodniho-akcniho-planu-ciste-mobility--254445/>
- [38] ČTK. *V Česku je 1525 dobíjecích bodů, na jeden připadá devět elektrických vozidel* [online]. [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektromobilita/v-cesku-je-1525-dobijecich-bodu-na-jeden-pripada-devet-elektricky-ch-vozidel>
- [39] MORKUS, Josef a Jan MACEK. *Některé důsledky hromadného rozšíření elektromobilů pro ČR* [online]. [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: [https://realisticka.cz/wp-content/uploads/2021/02/stavebnictvi\\_2019\\_11-30-39.pdf](https://realisticka.cz/wp-content/uploads/2021/02/stavebnictvi_2019_11-30-39.pdf)
- [40] WALTER, Daniel. *Kompletní přechod ČR na elektromobilitu by přinesl nárůst spotřeby elektřiny o zhruba 20 TWh* [online]. [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/cista-mobilita/kompletni-prechod-cr-elektromobilitu-by-si-vyzadal>
- [41] ERÚ. *Čtvrtletní zpráva o provozu ES ČR za I. čtvrtletí 2021* [online]. [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy#2021>
- [42] FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, Nature. *How eco-friendly are electric cars?* [online]. [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/elektroautos\\_en\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/elektroautos_en_bf.pdf)

- [43] CUSENZA, Maria, Silvia BOBBA, Fulvio ARDENTE, Maurizio CELLURA a Franco DI PERSIO. Energy and environmental assessment of a traction lithium-ion battery pack for plug-in hybrid electric vehicles. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2019, **215**, 634-649 [cit. 2021-11-18]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2019.01.056
- [44] INSTITUT FOR ENERGY RESEARCH, . *China Dominates the Global Lithium Battery Market* [online]. [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://www.instituteforenergyresearch.org/renewable/china-dominates-the-global-lithium-battery-market/>
- [45] VAUGHAN, Adam. The looming electric car battery waste mountain. *New Scientist* [online]. 2019, **244**(3256) [cit. 2021-11-18]. ISSN 02624079. Dostupné z: doi:10.1016/S0262-4079(19)32142-6
- [46] BERGMANN, Petr. *Co je to elektromobil, jak funguje a jaké jsou typy nabíjení?* [online]. [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/co-je-to-elektromobil-jak-funguje-a-jake-jsou-typy-nabijeni>
- [47] VAN GAAL, Wester. *Outside shocks supercharge the EU Green Deal — for now* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://euobserver.com/war-peace-green-economy/154579>
- [48] ČEŠÍK, Vojtěch. *Návrh a ekonomické zhodnocení malé FVE* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/87775>
- [49] SVARC, Jason. *Solar Battery System Types - AC Vs DC Coupled* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/ac-coupling-vs-dc-coupling-solar-battery-storage>
- [50] ADRADA GUERRA, Teodoro a spol. *Comparative Energy Performance Analysis of Six Primary Photovoltaic Technologies in Madrid (Spain)* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/317293353\\_Comparative\\_Energy\\_Performance\\_Analysis\\_of\\_Six\\_Primary\\_Photovoltaic\\_Technologies\\_in\\_Madrid\\_Spain](https://www.researchgate.net/publication/317293353_Comparative_Energy_Performance_Analysis_of_Six_Primary_Photovoltaic_Technologies_in_Madrid_Spain)
- [51] BOXWELL, Michael. *Solar electricity handbook: A simple practical guide to solar energy - how to design and install photovoltaic solar electric systems*. 2017 Edition. 2017. ISBN 978-1907670657.
- [52] YANG, Fan a spol. *Impacts on Operation and Benefit After New Energy Generation Access to Power Grid* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: [file:///C:/Users/Vojt%C4%9Bch%20%C4%8Ce%C5%A1%C3%ADk/Downloads/Impacts\\_on\\_Operation\\_and\\_Benefit\\_After\\_New\\_Energy\\_.pdf](file:///C:/Users/Vojt%C4%9Bch%20%C4%8Ce%C5%A1%C3%ADk/Downloads/Impacts_on_Operation_and_Benefit_After_New_Energy_.pdf)
- [53] ENERGYSAGE. *Should you install a solar battery for home use?* [online]. [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/benefits-of-solar-batteries/>
- [54] RCT POWER. *ELECTRICITY STORAGE UNITS WITH GRID-SERVING OPERATION MODE* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.rct-power.com/en/1446/power-storage-units-grid-serving-operation.html>
- [55] ERÚ. *Energetický regulační věstník* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/erv82020.pdf>

- [56] CUNHA, Álvaro a spol. *Assessment of the use of vanadium redox flow batteries for energy storage and fast charging of electric vehicles in gas stations* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216301803?via%3Dihub>
- [57] TÝM AUTORŮ Z ČVUT. *ČVUT řídí chod domu podle tržní ceny energie* [online]. [cit. 2022-05-09].
- [58] DOMAT CONTROL SYSTEM. *ŘÍZENÍ ČTVRTHODINOVÉHO MAXIMA* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.domat-int.com/cs/rizeni-ctvrthodinoveho-maxima>
- [59] CHEIKH-MOHAMAD, Saleh, Youssef KRIM, Manuela SECHILARIU a Fabrice LOCMENT. *PV-Powered Electric Vehicle Charging Stations: Preliminary Requirements and Feasibility Conditions* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1770/pdf>
- [60] FIKÁČKOVÁ, Barbora a Anna FRANCOVÁ. *Co potřebujete pro zřízení a provoz dobíjecí stanice pro elektromobily* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/co-potrebujete-pro-zrizeni-provoz-dobijeci-stanice-pro-elektromobily/>
- [61] ŽAITLÍK, David. *Optimální řízení akumulátorového úložiště v budově* [online]. [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/64643>
- [62] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM, . *PV Performance Tool* [online]. [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR)
- [63] INVESTOPEDIA. *NPV, IRR, WACC, CAPM* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/>
- [64] NAVLÁČIL STAVEBNÍ FIRMA, S.R.O. *Další ocenění pro TECO Kolín* [online]. [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://navlacil.cz/kontakty/>
- [65] SANDHU, Jagpreet. *Best solar panel angle: How do you find it — and does it matter?* [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.solarreviews.com/blog/best-solar-panel-angle>
- [66] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Územní teploty* [online]. [cit. 2021-12-25]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>
- [67] SOLARITY. *Internetový obchod s komponenty* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://shop.solarity.cz/cs>
- [68] SOLAREEDGE TECHNOLOGIES. *System Benefits* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.solaredge.com/aus/solutions/residential/system-benefits#:~:text=SolarEdge%20enables%20more%20energy%20generation,cause%20decrease%20lifetime%20energy%20production.>
- [69] BECHNÍK, Bronislav. *Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů* [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [70] K2 SYSTEMS GMBH. *K2 Base Designer* [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://base.k2-systems.com/>

- STUDER INNOTECH. *Xtender series* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: [71] <https://www.studer-innotec.com/en/products/xtender-series/>
- [72] NOVOTNÝ, Robin. *Německý ADAC měřil reálnou spotřebu elektromobilů. Jak to dopadlo?* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/nemecky-adac-meril-realnou-spotrebu-elektromobilu-6386>
- [73] ČTK. *Češi najedou autem nejčastěji 10.000 až 20.000 kilometrů ročně* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: [https://www.denik.cz/z\\_domova/cesi-najedou-autem-nejcasteji-10-000-az-20-000-kilometru-rocne-20131114.html](https://www.denik.cz/z_domova/cesi-najedou-autem-nejcasteji-10-000-az-20-000-kilometru-rocne-20131114.html)
- [74] ČNB. *Prognóza ČNB – jaro 2022* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/prognoza/>
- [75] ČNB. *Měnová politika* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/#:~:text=P%C5%99i%20dosahov%C3%A1n%C3%AD%20cenov%C3%A9%20stability%20pou%C5%BE%C3%ADv%C3%A1,ovliv%C5%88uje%20v%C3%BDvoj%20ekonomiky%20a%20inflace.>
- [76] ČSÚ. *Inflace, spotřebitelské ceny* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/inflace\\_spotrebitelske\\_ceny](https://www.czso.cz/csu/czso/inflace_spotrebitelske_ceny)
- [77] PXE. *EEX-PXE Czech Power Futures* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://pxe.cz/cs/derivatovy-trh/elektrina>
- [78] PRAŽSKÁ PLYNÁRENSKÁ, A.S. *Výkup přebytků z výroby elektřiny* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://ppas.cz/vykupy-elektřiny#s>
- [79] MPO. *Fotovoltaické systémy s/bez akumulace – I. výzva* [online]. [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/mpo-vyhlasuje-i-vyzvu-fotovoltaicke-systemy-s-bez-akumulace-z-komponenty-2-3-prechod-na-cistsi-zdroje-energie-z-narodniho-planu-obnovy--266243/>
- [80] MPO. *Výzva III. programu podpory Úspory energie Fotovoltaické systémy s/bez akumulace pro vlastní spotřebu* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: [https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2019/2019/12/UE\\_FVE\\_III-vyzva\\_Vyzva.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2019/2019/12/UE_FVE_III-vyzva_Vyzva.pdf)
- [81] CENTRUM POJIŠTĚNÍ DOMU. *Kolik stojí pojištění domácnosti a nemovitosti* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: [https://pojistenilativ.cz/kolik\\_stoji\\_pojisteni\\_domacnosti\\_a\\_nemovitosti-3\\_priklady](https://pojistenilativ.cz/kolik_stoji_pojisteni_domacnosti_a_nemovitosti-3_priklady)
- [82] BÁRTOVÁ, Lucie a Veronika DŽALAVJAN. *Daňové otázky elektromobility* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://asbgroup.eu/cz/novinky/danove-otazky-elektromobility/>
- [83] DAMODARAN, Aswath. *Levered and Unlevered Betas by Industry* [online]. [cit. 2021-12-11]. Dostupné z: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>
- [84] DAMODARAN, Aswath. *Risk Premiums for Other Markets* [online]. [cit. 2021-12-11]. Dostupné z: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>

## Seznam použitých zkratek

AC	střídavý
ASEK	Aktualizace státní energetické koncepce
BESS	bateriové úložiště (Battery Energy Storage System)
BMS	battery management systém
CF	peněžní tok
ČR	Česká republika
DC	stejnoseměrný
DCF	diskontovaný peněžní tok
DOD	maximální hloubka vybití
DPH	daň z přidané hodnoty
DS	distribuční síť
ES	elektrizační soustava
EU	Evropská unie
EU ETS	Evropský systém emisního obchodování
EV	vůz s elektrickým pohonem
FV	fotovoltaický
FVE	fotovoltaická elektrárna
IRR	vnitřní výnosové procento
IŘJ	integrovaná řídicí jednotka
KDCF	kumulovaný diskontovaný peněžní tok
LOLE	ukazatel spolehlivosti
LULUCUF	Odvětví využívání půdy, změn ve využívání půdy a lesnictví
MTP	měřicí transformátor proudu
NEKP	Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu
NN	nízké napětí
NPV	čistá současná hodnota
NT	nízký tarif
OZE	obnovitelné zdroje energie
PID	proporcionální, integrační a derivační
PLC	programovatelný logický automat
PS	peak-shaving
PV	fotovoltaický
R-FVE	rozdávěč
RK	rezervovaná kapacita
ŘJ	řídicí jednotka
TUV	teplá užitková voda
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
VT	vysoký tarif

## Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
$C_{A,T}$	Kapacita BESS, která není vyhrazena pro účely PS	kWh
$C_N$	Kapacita/energie v daném období potřebná pro účely PS	kWh
$CST_{EE,EV}$	Jednotková cena elektrické energie prodávané na dobíjení EV bez DPH	Kč/kWh
$CST_{EE,G}$	Jednotková prodejní cena elektrické energie dodávané do DS bez DPH	Kč/kWh
$CST_{EE}$	Jednotková nákupní cena elektrické energie bez DPH	Kč/kWh
$CST_{RC,M}$	Jednotková cena měsíční rezervované kapacity bez DPH	Kč/kWh
$CST_{RC,Y}$	Jednotková cena roční rezervované kapacity bez DPH	Kč/kWh
$C_{T,MAX}$	Maximální možná instalovaná kapacita BESS	kWh
$C_T$	Celková kapacita BESS	kWh
$C_U$	Využívaná část kapacity BESS	kWh
$DEP_T$	Odpisy hmotného majetku	Kč
$E_{C,A,PS}$	Kumulativní množství nabitě energie pro účely PS	kWh
$E_{C,BESS}$	Roční spotřeba objektu s využitím FVE a BESS	kWh
$E_{C,FVE}$	Roční spotřeba objektu po instalaci FVE	kWh
$E_{C,R,PS}$	Kumulativní množství energie skutečně potřebné pro účely PS	kWh
$E_C$	Výchozí roční spotřeba objektu	kWh
$E_{CH}$	Energie nabitá pro účely PS	kWh
$E_{EV,EM,N}$	Energie potřebná pro dobíjení EV zaměstnanců v daném týdnu	kWh
$E_{EV,N}$	Energie potřebná pro dobíjení firemních EV v optimalizačním období	kWh
$E_{EV,R,EM,U,Y}$	Roční suma přebytečné vyrobené energie využitě na dobíjení EV zaměstnanců	kWh
$E_{EV,R,EM,U}$	Týdenní suma přebytečné vyrobené energie využitě na dobíjení EV zaměstnanců	kWh
$E_{EV,R,EM}$	Přebytečná vyrobená energie využitelná na dobíjení firemních EV v daném týdnu	kWh
$E_{EV,R,U,Y}$	Roční suma přebytečné vyrobené energie využitě na dobíjení firemních EV	kWh
$E_{EV,R,U}$	Přebytečná vyrobená energie využitá na dobíjení firemních EV v daném optimalizačního období	kWh
$E_P$	Roční výroba elektrické energie z FVE	kWh
$E_{R,BESS}$	Nevyužitá vyrobená energie z FVE s využitím BESS	kWh
$E_R$	Nevyužitá vyrobená energie z FVE v daném roce	kWh
$E_{U,BESS}$	Využitá vyrobená energie z FVE v daném roce s využitím BESS	kWh
$E_U$	Využitá vyrobená energie z FVE v daném roce	kWh
$EXP_{O,BESS,M}$	Měrné provozní výdaje spojené s provozem BESS	Kč
$EXP_{O,FVE,M}$	Měrné provozní výdaje spojené s provozem FVE	Kč
$EXP_{O,P}$	Výdaje spojené s pojištěním systému	Kč
$EXP_O$	Celkové provozní výdaje	Kč
$EXP_{TAX}$	Roční výdaje na daň z příjmů	Kč
$E_{ZR}$	Energie, kterou lze v daném čase využít v základním režimu BESS	kWh
$E_{sub1}$	Pomocná proměnná – Energie 1	kWh
$E_{sub2}$	Pomocná proměnná – Energie 2	kWh

$E_{sub3}$	Pomocná proměnná – Energie 3	kWh
$E_{sub4}$	Pomocná proměnná – Energie 4	kWh
$E_{sub5}$	Pomocná proměnná – Energie 5	kWh
$E_{sub6}$	Pomocná proměnná – Energie 6	kWh
$E_{sub7}$	Pomocná proměnná – Energie 7	kWh
$E_{sub8}$	Pomocná proměnná – Energie 8	kWh
$H_K$	Hladina klidu	kW
$H_{NAB}$	Hladina nabíjení	kW
$H_{VYB,R}$	Hladina rychlého vybíjení	kW
$H_{VYB}$	Hladina vybíjení	kW
$IN_{BESS,M}$	Měrné investiční výdaje na pořízení BESS	Kč/kWh
$INC_{EE,EV}$	Příjem za prodej elektřiny na dobíjení EV zaměstnanců	Kč
$INC_{EE,G}$	Příjem za prodej elektřiny dodané do distribuční sítě	Kč
$INC_T$	Celkové příjmy	Kč
$IN_{FVE,M}$	Měrné investiční výdaje na pořízení FVE	Kč/kWp
$IN_{TOTAL,0}$	Celkové investiční výdaje na pořízení systému	Kč
$N_{EV,EM}$	Počet EV zaměstnanců v daném roce	ks
$P_{AVG}$	Střední příkon objektu	kW
$P_{BESS,MAX}$	Maximální možný výkon BESS	kW
$P_{BESS}$	Výkon BESS	kW
$P_{C,FINAL}$	Konečný příkon objektu s využitím FVE a BESS	kW
$P_{C,FVE,Ch,PS}$	Příkon objektu po započítání výroby FVE, nabíjení BESS pro účely PS a po oříznutí výkonových maxim	kW
$P_{C,FVE,Ch}$	Příkon objektu po započítání výroby FVE a nabíjení BESS pro účely PS	kW
$P_{C,FVE}$	Příkon objektu po započítání výroby FVE	kW
$P_{C,M,FVE}$	Modelový příkon objektu po započítání výroby FVE	kW
$P_{C,M,V}$	Výchozí modelový příkon objektu	kW
$P_{C,M}$	Finální modelový příkon objektu	kW
$P_C$	Výchozí příkon objektu	kW
$P_{Ch,MAX}$	Maximální možný nabíjecí výkon BESS v daném časovém úseku	kW
$P_{Ch}$	Nabíjecí výkon BESS pro účely PS v daném časovém úseku	kW
$P_{EV,A}$	Maximální výkon využitelný k nabíjení EV bez překročení RK	kW
$P_{EV,R}$	Přebytečný výkon FVE využitelný k nabíjení EV	kW
$P_{EV,R}$	Přebytečný výkon FVE využitelný k nabíjení EV	kW
$P_{MAX,R}$	Hranice možného snížení maximálního příkonu objektu v daném měsíci	kW
$P_{MAX,T,W}$	Hranice teoretického maximálního snížení maximálního příkonu objektu v daném optimalizačním období	kW
$P_{MAX,T}$	Hranice možného snížení maximálního příkonu objektu v daném optimalizačním období	kW
$P_{P,M}$	Modelový diagram výroby FVE	kW
$P_{P,1}$	Výkon FVE v prvním roce provozu	kW
$P_P$	Výkon FVE	kW
$P_{PID}$	Pásmo výkonu pro regulaci pomocí PID regulátoru	kW
$P_{R,FINAL}$	Konečný nevyužitý výkon FVE s využitím BESS	kW



$P_R$	Nevyužitý výkon FVE	kW
$P_{RC,M,BESS}$	Měsíční rezervovaná kapacita s využitím BESS	kW
$P_{RC,Y,BESS}$	Roční rezervovaná kapacita s využitím BESS	kW
$P_{RC,Y,0}$	Roční rezervovaná kapacita před instalací BESS	kW
$P_{RC,0}$	Rezervovaná kapacita před instalací BESS	kW
$P_{RC}$	Sjednaná hodnota rezervované kapacity v objektu	kW
$P_{WB}$	Maximální výkon wallboxu pro nabíjení EV	kW
$P_{inst,MAX}$	Maximální možný instalovaný výkon FVE	kW
$P_{inst}$	Instalovaný výkon FVE	kW
$P_{kWp}$	Výkon FVE o výkonu 1 kWp pro konkrétní volené parametry	kW
$P_{sub1}$	Pomocná proměnná – Výkon 1	kW
$P_{sub2}$	Pomocná proměnná – Výkon 2	kW
$P_{sub3}$	Pomocná proměnná – Výkon 3	kW
$P_{sub4}$	Pomocná proměnná – Výkon 4	kW
$P_{sub5}$	Pomocná proměnná – Výkon 5	kW
$P_{sub6}$	Pomocná proměnná – Výkon 6	kW
$P_{sub7}$	Pomocná proměnná – Výkon 7	kW
$R_f$	Bezrizikový výnos	%
$R_m$	Očekávaný tržní výnos	%
$SAV_{EE}$	Roční úspora za nákup elektrické energie	Kč
$SAV_{RC,M}$	Úspory za měsíční rezervovanou kapacitu v prvním roce provozu	Kč
$SAV_{RC,T}$	Celkové úspory za rezervovanou kapacitu v prvním roce provozu BESS	Kč
$SAV_{RC,Y}$	Úspory za roční rezervovanou kapacitu v prvním roce provozu	Kč
$SAV_T$	Celkové úspory	Kč
$SOC_A$	Úroveň nabití volné části BESS nevyhrazené pro účely PS	kWh
$SOC_{MAX}$	Maximální stanovená úroveň nabití BESS	kWh
$SOC_{MIN}$	Minimální stanovená úroveň nabití BESS	kWh
$SOC_N$	Úroveň nabití části BESS v daném období vyhrazené pro účely PS	kWh
$SOC_{S,PS}$	Dodatečná rezerva nabití energie pro účely PS	kWh
$SOC_T$	Celková úroveň nabití BESS	kWh
$SOC_U$	Úroveň nabití využívané kapacity BESS	kWh
$SOH_{T,L,BESS}$	Zbytková kapacita BESS na konci životnosti	%
$T_{LF,FVE}$	Předpokládaná životnost FVE	roky
$d_n$	Průměrný roční pokles výkonu panelů v dalších letech	%
$d_1$	Předpokládaná degradace panelů v prvním roce	%
$k_{PI}$	Koeficient změny cenové hladiny	-
$k_{SUBSIDY}$	Koeficient výše dotace vztažený k celkovým výdajům bez dotace	%
$k_{i,RC}$	Průměrný roční růst cen rezervované kapacity	%
$k_{i,inflation}$	Koeficient vyjadřující průměrnou roční inflaci	%
$n_{Wb}$	Počet dobíjecích bodů	ks
$S_{TAX}$	Sazba daně z příjmů	%
$t_{EV,max}$	Časový úsek optimalizačního období, do kterého lze dobít EV zaměstnanců	-

$t_{EV.min}$	Časový úsek optimalizačního období, od kterého lze dobíjet EV zaměstnanců	-
$t_d$	Čas jednoho dne v hodinách	hod
$\beta_L$	Beta firmy podnikající v sektoru energetiky s průměrným zadlužením	%
$\eta_{BESS}$	Účinnost nabíjecího cyklu bateriového úložiště	%
$CF$	Peněžní tok	Kč
$IN$	Dodatečné investiční výdaje v dalších letech provozu	Kč
$IRR$	Vnitřní výnosové procento	%
$NPV$	Čistá současná hodnota projektu	Kč
$SOC$	Úroveň nabití BESS	kWh
$r$	Diskontní sazba	%

## Seznam grafů

GRAF 2.1 - HISTORICKÝ TREND A BUDOUCÍ PREDIKCE EMISÍ V EU, PŘEVZATO Z [15] A VOLNĚ PŘELOŽENO .....	14
OBRAZEK 3.1 - ROZDĚLENÍ EMISÍ V ČESKÉ REPUBLICE DLE SEKTORŮ ZA ROK 2018, VLASTNÍ TVORBA DLE DAT Z [17] .....	15
GRAF 3.2 - VÝVOJ PODÍLŮ FOSILNÍCH A OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ V RÁMCI EVROPSKÉ UNIE, PŘEVZATO Z [20] A VOLNĚ PŘELOŽENO .	16
GRAF 3.3 - VÝVOJ CENY EMISNÍ POVOLENKY EU ETS, VLASTNÍ TVORBA DLE DAT Z [23] .....	17
GRAF 3.4 - NETTO INSTALOVANÝ VÝKON PRO JEDNOTLIVÉ ROKY A KATEGORIE ZDROJŮ DLE KONCEPČNÍHO SCÉNÁŘE .....	19
GRAF 3.5 - ZNÁZORNĚNÍ VÝVOJE PREDIKCE FVE A VTE DO ROKU 2040 DLE NEKP A ČEPS [32] .....	20
GRAF 3.6 - HISTORICKÝ VÝVOJ A EMISNÍ LIMITY PRO NOVÉ OSOBNÍ AUTOMOBILY [35].....	21
GRAF 3.7 - PROJEKCE POČTU OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ S ELEKTRICKÝM POHONEM V LETECH 2018–2040 DLE SCÉNÁŘŮ [36].....	22
GRAF 3.8 - DENNÍ DIAGRAM NABÍJENÍ EV V ROCE 2030 PRO VYSOKÝ SCÉNÁŘ DLE [36].....	23
GRAF 4.1 - VYUŽITÍ VYROBENÉ ENERGIE Z FVE V RÁMCI DNE BEZ BESS – VLASTNÍ TVORBA DLE [52].....	29
GRAF 4.2 - VYUŽITÍ VYROBENÉ ENERGIE Z FVE V RÁMCI DNE S BESS – VLASTNÍ TVORBA DLE [54] .....	30
GRAF 4.3 - VYUŽITÍ BESS PRO ÚČELY PEAK-SHAVINGU – VLASTNÍ TVORBA DLE [56] .....	31
GRAF 4.4 - VYUŽITÍ BESS PRO ÚČELY LOAD-LEVELINGU – VLASTNÍ TVORBA DLE [56] .....	32
GRAF 5.1 - PÁSMO ALGORITMU PRO REGULACI ČTVRTHODINOVÝCH MAXIM – VLASTNÍ TVORBA DLE [61] .....	40
GRAF 7.1 - ROČNÍ DIAGRAM SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	69
GRAF 7.2 - DENNÍ DIAGRAMY SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE — PRACOVNÍ DNY.....	70
GRAF 7.3 - DENNÍ DIAGRAMY SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE — VÍKENDY .....	70
GRAF 7.4 - PRŮMĚRNÁ SPOTŘEBA V PRACOVNÍCH DNECH – VLASTNÍ TVORBA .....	71
GRAF 8.1 - PŘEDPOKLÁDANÝ POČET EV A DOBÍJECÍCH BODŮ V PRŮBĚHU LET .....	79
GRAF 8.2 - MĚRNÉ INVESTIČNÍ VÝDAJE NA POŘÍZENÍ FVE A BESS – VLASTNÍ TVORBA.....	82
GRAF 9.1 - VYUŽITÍ VYROBENÉ ENERGIE V RÁMCI DNE – JEDNODUCHÝ SYSTÉM (VÝSTUP VÝPOČETNÍHO MODELU).....	89
GRAF 9.2 - PŘEHLED VYUŽITÍ VYROBENÉ ENERGIE V PRVNÍM ROCE PROVOZU – JEDNODUCHÝ SYSTÉM .....	90
GRAF 9.3 - VYUŽITÍ VYROBENÉ ENERGIE V PRŮBĚHU LET – JEDNODUCHÝ SYSTÉM .....	90
GRAF 9.4 - VYUŽITÍ VYROBENÉ ENERGIE V RÁMCI DNE – KOMPLEXNÍ SYSTÉM .....	91
GRAF 9.5 - PŘEHLED VYUŽITÍ VYROBENÉ ENERGIE V PRVNÍM ROCE – KOMPLEXNÍ SYSTÉM .....	92
GRAF 9.6 - VYUŽITÍ VYROBENÉ ENERGIE V PRŮBĚHU LET – KOMPLEXNÍ SYSTÉM .....	92
GRAF 9.7 - VYUŽITÍ PŘEBYTKŮ NA DOBÍJENÍ EV V PRŮBĚHU LET – KOMPLEXNÍ SYSTÉM.....	93
GRAF 9.8 - KUMULATIVNÍ DISKONTOVANÝ PENĚŽNÍ TOK POROVNÁVANÝCH VARIANT .....	95
GRAF 9.9 - ZÁVISLOST NPV NA VÝCHOZÍ NÁKUPNÍ CENĚ ELEKTRINY VE VT .....	96
GRAF 9.10 - ZÁVISLOST NPV NA RŮSTU CEN ELEKTRINY PO ROCE 2028 .....	97
GRAF 9.11 - ZÁVISLOST NPV NA RŮSTU CEN REZERVOVANÉ KAPACITY .....	98

## Seznam obrázků

OBRÁZEK 4.1 - ZJEDNODUŠENÉ JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA FV SYSTÉMU S BESS – VLASTNÍ TVORBA DLE [49].....	26
OBRÁZEK 4.2 - VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROCESU INTELIGENTNÍHO DOBÍJENÍ EV – VLASTNÍ TVORBA DLE [59].....	33
OBRÁZEK 5.1 - 5.1.2. VÝVOJOVÝ DIAGRAM ZNÁZORŇUJÍCÍ PRINCIP FUNKCE JEDNODUCHÉHO SYSTÉMU .....	35
OBRÁZEK 5.2 - VÝVOJOVÝ DIAGRAM ZNÁZORŇUJÍCÍ PRINCIP FUNGOVÁNÍ KOMPLEXNÍHO SYSTÉMU.....	44
OBRÁZEK 7.1 - HLAVNÍ BUDOVA SPOLEČNOSTI TECO A.S. [64] .....	65

## Seznam tabulek

TABULKA 7.1 - VÝVOJ ROČNÍCH SPOTŘEB ELEKTRICKÉ ENERGIE OD ZAČÁTKU PROVOZU .....	66
TABULKA 7.2 – PLATBY ZA VARIABILNÍ ČÁST CENY ELEKTŘINY .....	67
TABULKA 7.3 - PLATBY ZA REZEROVANOU KAPACITU .....	67
TABULKA 7.4 - TECHNICKÉ PARAMETRY TEPELNÉHO ČERPADLA.....	68
TABULKA 8.1 – PARAMETRY FOTOVOLTAICKÉHO PANELU JINKO SOLAR TIGER N-TYPE 66TR 410 WATT, LZE DOHLEDAT V [67] .....	74
TABULKA 8.2 – PARAMETRY MĚNIČŮ SOLAREDGE, LZE DOHLEDAT V [67] .....	74
TABULKA 8.3 - POŽADOVANÉ ZATÍŽENÍ V ZÁVISLOSTI NA SKLONU PANELŮ.....	75
TABULKA 8.4 – VSTUPY MODELU SPOJENÉ S VÝBĚREM TECHNOLOGIE BESS .....	76
TABULKA 8.5 - VSTUPY MODELU SPOJENÉ S NASTAVENÍM BESS.....	77
TABULKA 8.6 - PŘEDPOKLÁDANÉ NÁKUPNÍ CENY ELEKTŘINY V LETECH 2024 AŽ 2029 .....	80
TABULKA 9.1 – OPTIMÁLNÍ NAVRŽENÁ DIMENZE PV SYSTÉMŮ.....	88
TABULKA 9.2 - HODNOTY SJEDNANÉ REZEROVANÉ KAPACITY V PRVNÍM ROCE PROVOZU .....	94
TABULKA 9.3 - SHRNUTÍ EKONOMICKÉHO ZHODNOCENÍ VARIANT .....	95
TABULKA 9.4 – VSTUPNÍ PROMĚNNÉ PRO ZÁKLADNÍ SCÉNÁŘ .....	96