

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra materiálů a technologií

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Analýza využití bateriového úložiště v různých provozních nasazeních

Autor práce:

**Pavel Kroupa**

Vedoucí práce:

**Ing. Václav Mužík Ph.D.**

---

2022

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2021/2022

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Pavel KROUPA</b>
Osobní číslo:	<b>E19B0051P</b>
Studijní program:	<b>B2612 Elektrotechnika a informatika</b>
Studijní obor:	<b>Komerční elektrotechnika</b>
Téma práce:	<b>Analýza využití bateriového úložiště v různých provozních nasazeních</b>
Zadávací katedra:	<b>Katedra materiálů a technologií</b>

### Zásady pro vypracování

1. Popište současný stav bateriové akumulace v ČR.
2. Analyzujte legislativní a obchodní rámec provozu úložiště.
3. Proveďte simulaci provozu bateriového úložiště na poskytnutých typových oblastech.
4. Zhodnoťte provoz bateriového úložiště z technického, ekonomického a ekologického hlediska.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40**  
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

#### Seznam doporučené literatury:

1. A. Nazar and N. Anwer, „Accommodative Energy Market for Battery Energy Storage and Grid Balancing,” *2020 International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies (ICEFEET)*, Patna, India, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICEFEET49149.2020.9186970.
2. A. Jana, P. K. Gayen, P. K. Dhara and R. Garai, „Simultaneous active and reactive power control of single-phase grid connected battery storage system,” *2017 Devices for Integrated Circuit (DevIC)*, Kalyani, India, 2017, pp. 289-293, doi: 10.1109/DEVIC.2017.8073954.
3. H. Lee, K. Kim, J. Kim and J. H. Park, „A Frequency control using multiple BESS in islanded Micro-grid,” *2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Helsinki, Finland, 2019, pp. 1531-1535, doi: 10.1109/INDIN41052.2019.8972321.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Mužík, Ph.D.**  
Research and Innovation Centre for Electrical  
Engineering

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2022**

  
**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan



  
**Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.**  
vedoucí katedry

# Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá využitím velkého bateriového úložiště v provozním nasazení. Práce nejprve v teoretické části mapuje současné technologie bateriové akumulace a následně se zaměřuje na legislativní a obchodní rámec provozu úložiště. Popisuje principy fungování trhu a možnosti kde obchodovat s elektřinou. Následně se zaměřuje na simulaci bateriového úložiště za účelem zvýšení počtu kontraktů. Nakonec celou simulaci zhodnotí z technického, ekonomického a ekologického hlediska.

## Klíčová slova

baterie, akumulace, burza, obchod s elektřinou, spotový trh, market-coupling, liberalizace trhu s elektřinou

# Abstract

The bachelor thesis deals with the use of large battery storage in operational deployment. The thesis first reviews the current battery storage technologies in the theoretical part then focuses on the legislative and business framework of the storage operation. It describes the principles of market operation and the possibilities where to trade electricity. It then focuses on the simulation of battery storage in order to increase the number of contracts. Finally, it evaluates the whole simulation from a technical, economic and environmental point of view.

## Keywords

battery, accumulation, electricity market, spot market, market-coupling, liberalisation of the electricity market

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Mužíkovi, Ph.D. za jeho přístup a metodické připomínky a Ing. Martinovi Palkovskému, Ing. Kamilu Chvátalovi a Ing. Vladimíru Kindlovi za jejich odborné a cenné obchodní profesionální rady, které vedly k vypracování této práce.

# Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Úvod	1
<b>1 Současný stav bateriové akumulace v ČR</b>	<b>2</b>
1.1 Druhy akumulace v síti	2
1.1.1 Olověný akumulátor	2
1.1.2 Lithiový akumulátor	2
1.1.3 Sodíkové	3
1.1.4 Na bázi niklu	3
1.1.5 Flow baterie	3
1.1.6 Další možnosti	4
1.2 Způsoby využití bateriových úložišť	4
1.2.1 Load shifting	4
1.2.2 Peak shaving	4
1.2.3 Podpůrná služba	4
1.2.4 Smoothing	4
1.2.5 Rezidenční a komerční užití	5
1.2.6 Battery-trading	5
1.3 Popis úspěšných realizací	5
1.3.1 FVE + baterie, Železářny Rumburk	5
1.3.2 FVE + baterie, Fénix Jeseník	5
1.3.3 KGJ + FVE + baterie, Malfini	6
<b>2 Legislativní a obchodní rámec provozu úložiště</b>	<b>7</b>
2.1 Legislativní rámec využití - Zákony a předpisy	7
2.1.1 Energetický zákon	7
2.1.2 Kodex PS	8
2.1.3 Vyhláška o trhu s elektřinou	8
2.1.4 Pravidla provozování distribuční soustavy soustavy	8
2.2 Organizace	8
2.2.1 Energetický regulační úřad	8
2.2.2 ENTSO-E	9

---

2.2.3	ČEPS . . . . .	9
2.2.4	Operátor na trhu s elektřinou . . . . .	10
2.2.5	ACER . . . . .	10
2.3	Obchodní rámec . . . . .	11
2.3.1	Účastníci trhu s elektřinou . . . . .	11
2.3.2	Bilaterální obchodování . . . . .	12
2.3.3	Organizovaný trh . . . . .	13
2.3.4	Market coupling a liberalizace . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Návrh simulace a popis dat</b>	<b>17</b>
3.1	Popis vstupních dat . . . . .	17
3.1.1	Spotřeba areálu . . . . .	17
3.1.2	FVE . . . . .	18
3.1.3	KGJ . . . . .	19
3.1.4	Ceny . . . . .	19
3.1.5	Popis případů dodávky . . . . .	20
3.2	Popis algoritmu . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Zhodnocení simulace</b>	<b>25</b>
4.1	Technické zhodnocení . . . . .	25
4.1.1	CASE 1 . . . . .	25
4.1.2	CASE 2 . . . . .	27
4.1.3	CASE 3 . . . . .	29
4.1.4	CASE 4 . . . . .	30
4.1.5	Shrnutí technického zhodnocení . . . . .	31
4.2	Ekonomické zhodnocení . . . . .	31
4.2.1	Ceny . . . . .	31
4.2.2	Výnosy pro jednotlivé případy dodávky . . . . .	32
4.2.3	Ekonomický závěr . . . . .	35
4.3	Ekologické zhodnocení . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>39</b>
	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>41</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>41</b>



# Seznam použitých symbolů a zkratek

<b>Značka</b>	<b>Popis</b>
KGJ	Kogenerační jednotka
FVE	Fotovoltaická elektrárna
NEMO	Nominated electricity market operator
TSO	Transmission system operator
ERU	Energetický regulační úřad
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
OZE	Obnovitelné zdroje energie

# Seznam obrázků

1	Spotřeba areálu. . . . .	17
2	Výroba FVE. . . . .	18
3	Výroba KGJ. . . . .	19
4	Bilance. . . . .	21
5	Kdy byl výkon celé dny přes limit - CASE 1. . . . .	22
6	Počet překročení jednotlivé dny - CASE 1 . . . . .	22
7	Bilance po aplikaci baterie . . . . .	23
8	Kapacita baterie . . . . .	24
9	Počet překročení jednotlivé dny - CASE 1 . . . . .	26
10	Počet překročení jednotlivé víkendy - CASE 1 . . . . .	27
11	Počet překročení v jednotlivých obdobích PEAKŮ . . . . .	29
12	Počet překročení v jednotlivých obdobích OFF-PEAKŮ. . . . .	30
13	Závislost výnosů na kapacitě baterie - CASE 1 . . . . .	35

# Seznam tabulek

1	Počty čtvrthodin za jednotlivá období. . . . .	17
2	Počet celých dnů přes limit u jednotlivých kapacit baterií . . . . .	27
3	Počet celých víkendů přes limit u jednotlivých kapacit baterií . . . . .	28
4	Počet celých PEAKů přes limit u jednotlivých kapacit baterií . . . . .	29
5	Počet celých OFF-PEAKů přes limit u jednotlivých kapacit baterií . . . . .	31
6	Výnosy při aplikaci jednotlivých kapacit baterií v mil. Kč pro CASE 1 . . . . .	34
7	Výnosy při aplikaci jednotlivých kapacit baterií v mil. Kč pro CASE 2 . . . . .	34
8	Výnosy při aplikaci jednotlivých kapacit baterií v mil. Kč pro CASE 3 . . . . .	34
9	Výnosy při aplikaci jednotlivých kapacit baterií v mil. Kč pro CASE 4 . . . . .	35
10	Produkce Co <sub>2</sub> . . . . .	38
11	Parametry krátkodobých trhů . . . . .	42

# Úvod

V současné době, kdy geopolitické situace i ekologický stav přírody vede k decentralizaci energetiky a zapojení obnovitelných zdrojů do přenosové soustavy se stále častěji zvažuje využití velkých bateriových úložišť za účelem akumulace energie v době přebytků a následného využití v době nedostatků. Baterie přináší mnoho způsobů využití, mezi které se řadí peak-shaving či load-shifting. Veškeré tyto aplikace slouží pouze k optimalizaci vlastní spotřeby. Tato práce zkoumá použití bateriového úložiště ke zlepšení a zvýšení možností nabízet kontrakty na dlouhodobém trhu a vytváření zisků z možného prodeje.

První a druhá kapitola práce shrnuje současný stav bateriové akumulace v ČR a popisuje různé možnosti využití, dále popisuje technologie akumulace, které je možné použít pro nasazení na úrovni distribuční soustavy. Druhá kapitola shrnuje obchodní a legislativní rámce provozu, popisuje organizace zapojené do legislativního působení a shrnuje účastníky obchodu s elektřinou a jejich role.

Následuje třetí kapitola, která se zaměřuje na popis samotných dat a principu celé simulace. Je zde nastíněno, jaké výrobní výkony bude areál obsahovat, spotřebu, se kterou se v práci pracuje, identifikaci jednotlivých zkoumaných případů dodávky a přiblížení základní idey následného výpočtu výnosů.

Poslední kapitola hodnotí simulaci z technického hlediska a popisuje k jak velkému nárůstu kontraktu díky bateriím mohlo dojít. Dále popisuje způsoby výpočtu jednotlivých výnosů, způsoby stanovení ceny a každý ze čtyř případů hodnotí z ekonomického hlediska. Porovnává výnosy z prodeje obchodníkovi s elektřinou a výnosy z uskutečněných kontraktů na burze dlouhodobého trhu.

# 1 Současný stav bateriové akumulace v ČR

## 1.1 Druhy akumulace v síti

Pro provoz baterie na úrovni distribuční či přenosové soustavy, pro kterou jsou specifické daleko větší kapacity a podmínky provozu se nejvíce hodí následující typy baterií. Veškeré tyto typy jsou sekundární články, tedy s možností vícecyklového provozu.

### 1.1.1 Olověný akumulátor

Jedna z nejstarších technologií akumulátorů je olověný akumulátor, anglicky lead-acid. V porovnání s dnešními akumulátory má poměrně malou hustotu energie a vysokou hmotnost [1]. Je vhodná k použití při vysokých nárazových výkonech. Její nejčastější použití můžeme vidět v automobilovém průmyslu. Výhodou je pak relativně dobrá možnost recyklace olova a cena 300-600 EUR/kWh [2]. Nevýhodou je nebezpečí výtoku elektrolytu. Počet cyklů olověného akumulátoru je cca 500-1000 cyklů [2].

### 1.1.2 Lithiový akumulátor

V dnešní době nevíce používané jsou baterie na bázi lithia. To má velmi dobré vlastnosti a proto jejich použití je dnes nejčastější. Základní dělení je pak na:

#### 1.1.2.1 Lithium-iontové

Lithium-iontové baterie se vyznačují velmi vysokou účinností, dlouhou životností - více než 1000 cyklů, velkou hustotou energie - 200 Wh/kg a téměř žádným nebo velmi malým efektem samovybíjení [2]. Nevýhody jsou nebezpečí požáru, závislost na okolních teplotách či neekologičnost a problematika těžby samotného lithia [3]. Cena těchto baterií se v roce 2022 pohybuje v rozmezí 110 - 130 EUR/kWh, kdy do konce roku 2024 by mohla při současném tempu klesnout pod 100 EUR/kWh [1]. Lithium-iontové baterie se nadále dělí podle použití materiálu anody (uhlík, grafit, LTO) a katody (LCO, LMO, NMC, LFP neboli LiFePO<sub>4</sub>, NCA) [2].

### 1.1.2.2 Lithium-polymerové

Dalším stupněm vývoje lithiových baterií přinesla lithium-polymerová technologie, která si kladla za cíl nahradit tekutý elektrolyt pevným polymerem. Oproti lithium iontovým bateriím mají vyšší energetickou hustotu - až 265 Wh/kg a delší životnost - až 2000 cyklů. Velkou nevýhodou je pak možnost změny objemu baterie a nebezpečí nafouknutí až výbuchu.

### 1.1.3 Sodíkové

Sodíkovo-sírová baterie je díky své svým vlastnostem velmi dobrou alternativou k použití pro aplikace v distribuční či přenosové soustavě [2]. Mají vysokou energetickou hustotu - 150-240 Wh/kg a velmi dlouhý počet nabíjecích cyklů - až 2500 [2]. Díky velmi vysokým nabíjecím a vybíjecím výkonům jsou vhodné pro použití v kombinaci s FVE či jinými OZE. Hlavní nevýhodou a důvodem, proč nedošlo k masivnímu nasazení této technologie, jsou vysoké tepelné ztráty při reakci Na a S a tím pádem vysoké riziko požáru. Cena této baterie se pohybuje kolem 350 EUR/kWh [2].

### 1.1.4 Na bázi niklu

Nickel-cadmiová baterie byla jedna z prvních baterií s vysokou životností až 2500 cyklů. Je charakterizována paměťovým efektem z důvodu požití Kadmia. To bylo navíc pro svojí toxicitu zakázáno importovat do EU a tak se dnes s těmito bateriemi příliš nesetkáme [2]. Dnes již velkou nevýhodou by byla pořizovací cena asi 1000 EUR/kWh. Tyto baterie byly postupně nahrazeny NiMH bateriemi. Ta má hustotu energie 40-110 Wh/kg, není toxická a je schopna odolávat vysokým teplotám a neopatrnému zacházení[2].

### 1.1.5 Flow baterie

Průtoková baterie je baterie, která funguje na principu proudění elektrolytu uskladněného ve dvou membránou oddělených nádobách, kdy přes membránu pak dochází k výměně iontů, která zajišťuje tok elektrického proudu [4]. Průtoková baterie je technicky podobná palivovému článku a mezi její výhody patří na údržbu jednoduché zásobníky a membrána a téměř neomezená životnost. V současnosti se můžeme setkat se třemi typy flow baterií, a to: zinko-bromové, vanadové-redoxní a polysulfidové baterie [4]. Hlavní nevýhoda této baterie pak spočívá v poměrně nízké energetické hustotě a tím pádem velkým požadavkům na prostor. Tato baterie je díky svým vlastnostem vhodná pro využití pro aplikace vyrovnávání výkyvů energie způsobené nestálostí OZE a velmi dobře by tak zvládala začlenění do přenosové či distribuční soustavy na úrovni systémových služeb. Její ekonomické náklady se pohybují kolem 450 EUR/kWh [2]. Polysulfidové baterie jsou pro svou hustotu energie vhodné pro aplikace regulace napětí a frekvence pro jejich rychlou odezvu, avšak tato baterie má relativně nízkou účinnost [4].

### 1.1.6 Další možnosti

Mezi další možnosti uložení energie se pak řadí jakékoli úložiště na principu využívání potenciální energie, vodíková baterie, setrvačnick, baterie s tekutým kovem či stlačený/zkapalněný plyn [2].

## 1.2 Způsoby využití bateriových úložišť

Bateriové akumulátory se dají aplikovat na několik různých typů provozu, a to:

### 1.2.1 Load shifting

Jedná se o proces, kdy se posouvá špičkový výkon v denním diagramu. Baterie se nabíjí v časech, kdy jsou ceny elektřiny nejnižší a naopak v případě nejvyšších cen se vybíjí. Výsledek je snížení peněžních nákladů na energie, které tvoří rozdíl cen elektřiny [5].

### 1.2.2 Peak shaving

Peak shaving, podobně jako load shifting upravuje graf denního odběru. Výkon se v době největších výkonových denních špiček vyhladí pomocí baterie a při nízkém výkonu se pak baterie nabíjí. Špičky - peaky - se tak nahradí postupnou změnou. Hlavní výhodou této aplikace je snížení čtvrt hodinového maxima a náhlých nárůstů odběru energie [6].

### 1.2.3 Podpůrná služba

Mezi další způsob využití se řadí použití baterie jako podpůrnou službu. Baterie pomáhá při frekvenčních výkyvech nebo při výkonových nárazech při rozjezdu velkých motorů. V případě frekvenční podpory pak může ušetřit areálu peníze za odstávku [5].

### 1.2.4 Smoothing

Smoothing je aplikace, kdy baterie vyrovnává výkony a konstantně vyhlazuje křivku zátěže. Tento způsob aplikace je vhodný především při nestabilní zátěži či pro stabilizaci výkonu OZE [6].

### 1.2.5 Rezidenční a komerční užití

Při instalaci baterie v lokalitách, kde může docházet k nárazovým špičkám odběru baterie pak může pomáhat tyto špičky vyrovnávat. Baterie pak díky svému střídači dokáže nabídnout větší napětí, než je dovedeno do místa zátěže. Typickým příkladem je použití na nabíjecích stanicích pro elektromobily v garážích či na parkovištích rezidenčních budov.

### 1.2.6 Battery-trading

Tento nový způsob využití baterie popisovaný v této práci využívá baterii ke zlepšení a optimalizaci možností a přebytků a následně se tyto přebytky snaží za vhodných podmínek prodat na trhu s elektřinou.

## 1.3 Popis úspěšných realizací

### 1.3.1 FVE + baterie, Železářny Rumburk

Jednou z úspěšných realizací instalace bateriového úložiště v kombinaci s FVE v komerčním použití lze vidět v ocelárnách a železárnách Rumburk. Rozsáhlý komplex strojíren využívá instalace 210kWp fotovoltaické elektrárny doplněnou o 408kWh baterii. Soustava se pak stará o pokrytí nárazových výkonů způsobené např. spuštěním obráběcích strojů a zajišťuje celkovou optimalizaci spotřeby. FVE je rozdělena na jižní, východní a západní část, aby se zajistilo co největší pokrytí výroby během dne. V létě při příznivém počasí je areál schopný ostrovního provozu. Přebytky energie má firma v plánu zužitkovat díky zřízení dobíjecí stanice pro elektromobily. Baterie se provozuje v rozmezí SoS max a min 100-20 % a každá má svůj BMS. Komplex byl zřízen za podpory EU a doba návratnosti se odhaduje na 6-7 let [7].

### 1.3.2 FVE + baterie, Fénix Jeseník

Další úspěšnou aplikací úložiště je nasazení 640 kWh baterie ve firmě Fénix Jeseník, která se soustřeďuje na výrobu přístrojů produkující sálavé teplo z infrapanelů. Hlavním důvodem nasazení bylo prevence mikrovýpadků, díky kterým citlivé stroje zastavili provoz až na jednu hodinu. Každá takováto odstávka firmu stála asi 70-80 tis. Kč a při dosavadním počtu přibližně 30 výpadků za rok to znamenalo ztrátu kolem 2 mil. Kč ročně. Dalším důvodem byl požadavek na snižování rezervované kapacity a snížení špičkového výkonu. Takové snížení pak snížilo spotřebu asi o 280 tis. Kč ročně. Mikrovýpadky zvládne baterie regulovat v rámci milisekund a proto jakékoliv náhlé změny napětí v síti mohou být eliminovány. Areál je doplněn o 130 kWp FVE, která se stará o nabíjení baterie. Projekt byl postaven bez dotací a jeho celkové náklady činily asi 13 mil. Kč. Doba návratnosti v tomto provozu na vychází 6-7 let [8].



### 1.3.3 KGJ + FVE + baterie, Malfini

Třetí příklad úspěšné realizace je provedení kombinace KGJ, FVE a bateriového úložiště v areálu firmy Malfini a.s., která zajišťuje logistické centrum a výrobu svého pracovního textilu. Instalace má soběstačnost 80-100 % při průměrném počasí, kdy v létě může přejít do ostrovního režimu. Vlastní výrobu zajišťují 2 KGJ jendotky a 296kWp FVE. Hlavním požadavkem firmy bylo zajištění celkové vlastní spotřeby. Největší spotřebu areálu představují vysokozdvížné vozíky a logistické přístroje, které firma s tímto instalovaným výkonem a 360kWh baterií zvládne sama pokrýt a eliminace mikrovýpadků v síti. Projekt byl financován za dotační podpory EU, celková cena byla necelých 16,9 mil. Kč a dotační podpora činila 8,8 mil. Kč. Doba návratnosti byla vypočítána na 7-8 let, ale v průběhu provozu se s rostoucími cenami zkrátila na 5-6 let. Velkou výhodou je skutečnost, že pro ostatní firmy je lákavá spolupráce s někým, kdo na provoz používá energii z obnovitelných zdrojů [9].

## 2 Legislativní a obchodní rámec provozu úložiště

### 2.1 Legislativní rámec využití - Zákony a předpisy

Pro provoz bateriového systému je zapotřebí zmapovat současnou legislativní situaci. V této subkapitole jsou vypsány nejdůležitější z nich.

#### 2.1.1 Energetický zákon

Zákon č. 458/2000 sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů je zákon definující fungování celého energetického prostředí v ČR [10]. Původní verze z roku 2001 v průběhu let dostala několik novelizací vycházejících zejména ze strany Evropské unie - přesněji Evropské komise [10]. Jedním z příkladů novelizace je zavedení podmínky nároku na odstoupení od smlouvy uzavřené mimo prostory obvyklé k podnikání "energošmejdy" a bezpečnější podmínky pro koncové spotřebitele [10] [11]. Energetický zákon definuje působení operátora trhu - v ČR společnost OTE, TSO - v ČR ČEPS nebo působnost Energetického regulačního úřadu [10] [11]. Řeší podmínky pro trh s elektřinou i plynem a definuje fungování celého trhu s elektrickou energií [11].

##### 2.1.1.1 Nový energetický zákon

Vzhledem k rostoucímu nátlaku před volbami do poslanecké sněmovny v roce 2021 nebyl schválen zákon, který by umožňoval legislativní záruku při spolupráci malých domácích nebo velkých průmyslových baterií s přenosovou soustavou a podporoval tak akumulaci z malých soukromých elektráren s následným vyrovnáváním odběrových špiček při zatížení [12]. Nejblíže ke schválení tohoto provedení byla novela zákona, o které se hlasovalo 14. července 2021 [12]. Avšak právě část novely o bateriové akumulaci z důvodu obav o zneužití, aby pod vlivem dobrých myšlenek nenastal bateriový boom, který by se mohl vymknout kontrole ve smyslu podpory schválena nebyla, ačkoliv tento návrh byl podpořen Energetickým regulačním úřadem i správcem přenosové soustavy ČEPS [12]. V současnosti se již nový energetický zákon připravuje a implementuje se mnoho nových pojmů, které s postupnou liberalizací trhu a decentralizací výroby přicházejí. Jako příklad novinek, které má nový zákon přinést, lze uvést vznik energetických společenství, kdy právě společenství bude moci zajišťovat pro své členy prodej i nákup či použití bateriových úložišť [12] [13]. Podle uniklých informací je již velká část připravena a nyní dochází k úpravě připomínek, ale vzhledem k dynamičnosti vývoje situace - krach společnosti Bohemia Energy či válka na Ukrajině nelze předpovědět, kdy dojde k finálnímu ustanovení [12].

## 2.1.2 Kodex PS

KODEX Přenosové soustavy je soubor informací, která definují role účastníků trhu a informuje o technických, konstrukčních a provozních požadavcích pro používání přenosové soustavy. Každoročně vydává společnost ČEPS jeho aktualizovanou verzi, ve které řeší např. zapojení nových technologií, dodavatelů a služeb výkonové rovnováhy.

*„Energetika se postupně mění v bezemisní a decentralizovanou a ČEPS se na tuto změnu intenzivně připravuje, mimo jiné v oblasti řízení soustavy. Nová úprava Kodexu PS přispěje k rozšíření portfolia dodavatelů služeb výkonové rovnováhy, což by mělo mít do budoucna pozitivní dopad i na spotřebitele elektřiny“*

říká Pavel Šolc, člen představenstva ČEPS, a. s., pověřený řízením úseku Energetický obchod a dispečink. Na Kodex PS navazují na úrovni distribuční soustavy Pravidla Provozování Distribuční Soustavy.

## 2.1.3 Vyhláška o trhu s elektřinou

Z obecné terminologie právních předpisů je vyhláška podzákoným právním předpisem. To znamená, že přímo vychází z energetického zákona. Na rozdíl od něj vyhláška daleko více upřesňuje jednotlivé podmínky. V případě, že se např. změní ekonomická situace na trhu a je potřeba upravit podmínky obchodování, je změna vyhlášky značně jednodušší proces a nemusí tedy docházet ke schvalování úpravy celého zákona před celou poslaneckou sněmovnou [14].

## 2.1.4 Pravidla provozování distribuční soustavy soustavy

Pravidla Provozování Distribuční Soustavy navazují na Kodex PS, avšak řeší napojení konečných zákazníků k síti a stanovuje jejich minimální technické požadavky. Shrnují veškeré požadavky, normy a předpisy do jednoho dokumentu a zjednodušují přístup uživatele k těmto informacím [15].

## 2.2 Organizace

### 2.2.1 Energetický regulační úřad

Energetický regulační úřad je státní orgán který byl zřízen Energetickým zákonem v roce 2001. Je řízen pětičlenou radou, v jejímž čele v současnosti stojí předseda Stanislav Trávníček [16]. Dle uvedených informací na webových stránkách společnosti ERU úřad zastává následující pravomoci: regulace ceny, konkrétně regulované složky ceny energií, do které spadají poplatky za přenos a distribuci elektřiny či poplatek na podporu OZE, rozdělení podpory pro obnovitelné zdroje, podpora hospodářské soutěže v energetice, či ochrana spotřebitele, tedy každého zákazníka

v případě jakéhokoliv problému se svým dodavatelem energie [16]. Pro naši práci důležitou pravomocí je pak udělování licence pro obchodníky, výrobce a další aktéry na energetickém trhu.

### 2.2.2 ENTSO-E

European Network of Transmission System Operators - ENTSO-E je evropská sdružení 42 provozovatelů přenosových soustav z 35 zemí Evropy, tedy přesahuje hranice Evropské unie. ENTSO-E bylo založeno v roce 2009 na základě třetího energetického balíčku EU pro vnitřní trh s energií [17]. Má za úkol podporovat užší spolupráci mezi evropskými provozovateli přenosových soustav a lépe tak zvládat změny zapříčiněné nárůstem OZE. Má výsadní postavení při tvorbě nových nařízení a spolu s organizací ACER se podílí na transformaci evropské energetiky. Další důležitou rolí je monitorování, sdružování a správa veškerých dat přenosové soustavy v Evropě, které jsou v reálném čase dostupné na jejich stránkách [17].

### 2.2.3 ČEPS

Transmission system operator, v češtině provozovatel přenosové soustavy. V České republice tuto funkci vykonává na základě udělení licence od ERU z roku 2000 rovněž, jako OTE, státem plně vlastněná akciová společnost ČEPS [13]. Mezi její hlavní úkol patří provozování přenosové sítě na hladinách 400 kV, 220 kV a některých 110 kV. Další velmi důležitou součástí jeho působení je zajišťování podpůrných a systémových služeb a rovnováhu mezi výrobou a spotřebou elektrické energie v síti. V rámci market couplingu také stále častěji řeší problém přidělování přeshraničních kapacit [13]. Mezi další povinnosti patří sběr a vyhodnocování velkého množství dat a následné zveřejňování dalším účastníkům trhu v rámci tzv. Market transparency REMIT. Jednotlivá data jsou pak dostupná na adrese [transparency.entsoe.cz](https://transparency.entsoe.cz), kde lze díky jednoduché dostupnosti právě na základě těchto dat vyhodnocovat další parametry při provozu bateriového úložiště, jakožto zdroje pro vstup na trh a následného obchodování [13].

Podílí se ale i na organizaci obchodu s elektřinou, kdy organizuje trh s podpůrnými službami a následně vyrovnávání odchylek. V rámci evropského market couplingu a inovací z důvodu celoevropského směřování k dekarbonizaci energetiky, čímž se zásadně mění role a struktura trhu, kdy zákazník i prodejce požadují stále větší flexibilitu, se společnost ČEPS podílí na několika projektech a definovala si cíle v oblasti inovací do roku 2030 [18]:

**Dispečerské řízení** Změny v přenosové síti jsou nežádoucím jevem a společnost ČEPS nyní využívá mnoho nástrojů, které na ně dokáží reagovat. Stále lépe tak dokáží řídit následky výpadků a přizpůsobit síť chování uživatelů. V oblasti řízení se počítá s automatizací na základě vyhodnocování dat v reálném čase a automatizace procesů spouštění regulace. Pracuje se na vyhodnocování dat na základě strojového učení a umělé inteligence. Plány také počítají se zvýšením kybernetické bezpečnosti těchto systémů a pokračováním v oblasti digitalizace [19].

**Provoz, údržba a obnova zařízení přenosové soustavy** Pracuje se na evoluci a zlepšení již nyní kvalitních dosavadních nástrojů, které dostanou nové funkce a směřují, stejně tak jako systémy dispečerského řízení, k větší automatizaci. Dále se také pracuje na zvýšení životnosti zařízení používaných právě pro provoz PS.

**Rozvoj přenosové soustavy** Do roku 2030 je naplánován rozvoj technických zařízení, nahrazování starých vedení novějšími a vylepšování technického stavu zařízení. Dále se počítá s častějším využíváním pokročilých materiálů, aplikací vyspělých systémů a lepší datová komunikace mezi jednotlivými částmi PS[19].

**Trhy a flexibilita** Z důvodu velkých změn ve složení energetického mixu v souvislosti se zelenou politikou EU a končící životností uhelných elektráren se ČEPS připravuje na velké změny v regulaci PS. Pracuje se tak na hledání nových flexibilních zdrojů. Zde vzniká potenciálně možné nasazení velkých bateriových úložišť, ať už jakožto státem vlastněných úložišť přímo společností ČEPS, nebo soukromých úložišť nabízející společnosti ČEPS systémové služby, ale i dalších decentralizovaných zdrojů. Také i zde probíhá snaha o aplikaci systémů založených na machine-learningu a umělé inteligence a vyhnutí se tak potenciálních chyb způsobených člověkem [19] [13].

ČEPS v rámci zřízení ENTSO-E diskutuje o dalších plánech a inovacích v EU. Zmínit lze například projekty PICASSO a MARI, které si kladou za cíl právě sjednocení trhu s regulační energií v rámci celé EU. V neposlední řadě má ČEPS na starosti udělování přeshraničních kapacit burzám, které pak mohou uzavírat přeshraniční obchody [13].

#### 2.2.4 Operátor na trhu s elektřinou

Činnost Operátora na trhu s elektřinou má mnoho úloh. Stará se jak o technickou část PS, tak i o obchod v ČR. Jeho činnost je popsána v kapitole Operátor trhu.

#### 2.2.5 ACER

The European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER) byla agentura zřízena v březnu 2011 na základě třetího energetického balíčku jako nezávislý orgán, který má podporovat integraci a dokončení evropského vnitřního trhu s elektřinou a zemním plynem [20]. Hlavní posláním společnosti ACER je podpora spolupráce mezi Evropskou unií a vládami členských států tím, že sdružují technické a odborné znalosti. Podporou spolupráce mezi vnitrostátními regulačními orgány ACER zajišťuje, aby integrace vnitrostátních trhů s energií a provádění právních předpisů v členských státech probíhaly v souladu s cíli energetické politiky EU a novými regulacemi [20].

## 2.3 Obchodní rámec

Elektřina je komodita a tudíž i u ní dochází k obchodu mezi dvěma stranami. Je specifická tím, že elektřina nelze skladovat tak, jako např. plyn nebo ropa a s tím je spojeno mnoho opatření s specifických podmínek fungování trhu s elektřinou. Dříve se elektřina obchodovala na základě oboustranných dohod. Ty během liberalizace trhu začaly postupně nahrazovat kontrakty zprostředkované třetí osobou - brokerem. Během let však jeho činnost začali nahrazovat celé organizace. Dnes se obchod dělí na dva typy: obchod se silovou elektřinou a obchod s dodávkami typu FUTURES. S dodávkami typu FUTURES se obchoduje na burzách - v ČR PXE a obchod se silovou elektřinou zajišťuje společnost OTE. V této kapitole je vysvětlen princip obchodování s oběma typy kontraktů a vysvětlen úkol důležitých organizací mající vliv na obchod s elektrickou energií. Dále je zde popsán proces liberalizace trhu a sjednocování trhu na mezinárodní a celoevropské úrovni.

### 2.3.1 Účastníci trhu s elektřinou

#### 2.3.1.1 Operátor trhu

NEMO - Nominated electricity market operator. Jde o velmi důležitou instituci působící na trhu s elektřinou, která se stará o chod trhu. V ČR tuto pozici zajišťuje akciová společnost vlastněná státem - OTE. Základní činností OTE je registrace veškerých účastníků trhu, vyhodnocování a zúčtování odchylek mezi skutečnou a sjednanou dodávkou elektřiny, vyhodnocení a stanovení cen dle obdržených dat od zákazníků a prodejců elektřiny na denním a vnitrodenním trhu a pomáhá také TSO při organizaci vyrovnávacího trhu. V ČR má funkci NEMO pouze OTE, ale například v Německu ji mají tři různí provozovatelé - EXA, Northpool a EPEX. Je zde tedy větší konkurence a s tím spojená lepší výsledná cena [21] [13]. V rámci Evropy se společnost OTE podílí na propojování a sjednocování denních trhů. Jde o tzv. market coupling. Pro denní trh jde o tyto projekty marketcouplingu [22]:

1. All NEMO Committee, Single Day-Ahead Coupling (SDAC),
2. 4M Market Coupling (4M MC),
3. Core Flow-Based Market Coupling (Core FB MC),
4. DE-AT-PL-4M Market Coupling (Interim Coupling),
5. 15 min Market Time Unit,

a v rámci vnitrodenního trhu pak o tyto projekty [21]:

1. All NEMO Committee,
2. Single Intraday Coupling (SIDC),
3. LIP CZ-SK-HU-PL (LIP 17),
4. implementace vnitrodenních aukcí (IDA).

Obecně lze říci, že každý projekt se soustředí pouze na určitý region zemí a jde o předfázi kompletního spojení trhů v rámci celé Evropy.

### **2.3.1.2 EEX**

European Energy Exchange (EEX) AG je burza elektrické energie a dalších komodit se sídlem v Lipsku v Německu, působící ve středoevropské části Evropy. Vyvíjí, provozuje a propojuje bezpečné, likvidní a transparentní trhy s energií a souvisejícími produkty, včetně derivátových kontraktů na elektřinu, emisních povolenek, zemědělských a nákladních produktů. EEX byla založena v roce 2002 spojením do té doby dvou největších německých burz [23]. Od roku 2011 spadá pod německou společnost Deutsche Börse Group. V roce 2016 EEX koupila většinový podíl české burzy PXE a pražská burza se tak stala její součástí na poli obchodování s OTC kontrakty. Pod společností EEX Group ale spadá také společnost EPEX Spot, na které probíhá obchodování se silovou elektřinou. Členství u EEX tedy umožňuje zákazníkům přístup k celkově 20 evropským trhům z jednoho místa [24] [23].

### **2.3.1.3 PXE**

Power exchange central Europe je burza obstarávající obchod s elektřinou pro střední a jihovýchodní Evropu. Byla založena v roce 2007 v Praze a postupně do své nabídky začala přidávat možnost obchodování v dalších zemích a možnost obchodování se zemním plynem. V roce 2016 došlo ke sjednocení se společností EEX Group a o rok později pak ke sjednocení platformy obchodování [25].

## **2.3.2 Bilaterální obchodování**

Bilaterální obchodování je obchodování na základě oboustranné dohody, kdy se dvě strany mezi sebou dohodnou na uzavření obchodu. Četnost tohoto způsobu obchodování se dnes výrazně snižuje vzhledem k organizovanosti a liberalizaci energetického sektoru [23].

**EFET smlouvy** Bilaterální obchodování má svoji zavedenou standardizaci uzavírání smluv. Vzhledem k velkému počtu transakcí za krátký časový interval, kdy ke každé transakci by byla přiřazena jedna smlouva, byl vytvořen vzor, který řeší podrobnosti dodávky a odpovědnost při porušení smlouvy a samotné transakce jsou nahrazeny dodatky k celé smlouvě. Později byly dodatky nahrazeny pouze telefonickým potvrzením dohodnutého obchodu - tzv. konfirmacemi. Tento standardizovaný typ smlouvy se nazývá EFET smlouva [23].

### 2.3.3 Organizovaný trh

Trh můžeme rozdělit podle doby, na kterou se energie obchoduje na dlouhodobý a krátkodobý. Nedílnou součástí je ale také trh Regulační. Pro potřeby výpočtů v této práci je zde zmapováno a popsáno kdy, jak a za jakou cenu elektřinu vykupuje obchodník s elektřinou.

#### 2.3.3.1 Dlouhodobý trh

Nabídky na tomto trhu mají většinou charakter řádu několika měsíců a let. Neobchoduje se ale s klasickou dodávkou, nýbrž s tzv. futures instrumenty. Dále se na tomto trhu můžeme setkat s kontrakty typu forwards, OPCE či CfD (Contracts for Difference) [26].

#### 2.3.3.2 Krátkodobý trh

Na rozdíl od dlouhodobého trhu se zde obchoduje převážně na jednotky dní až minut před dodávkou. Přístup k tomuto trhu má každý, kdo má podepsanou s OTE smlouvu o zúčtování odchylek. Veškeré provedené kontrakty jsou anonymní. V zahraničí již funguje mezinárodní spotový trh organizovaný společností EPEX spadající pod společnost EEX, nazývaný EPEX SPOT [27] [24]. Na tomto organizovaném trhu EPEX SPOT působí pouze některé země. Krátkodobý trh tvoří z důvodu nepredikovatelnosti OZ stále častější místo, na kterém se elektřina obchoduje. Dnes rozdělujeme trh na denní a intradenní. V ČR je jediným organizátorem tohoto trhu společnost OTE [21] [13].

**Blokový trh** Tento trh dříve zaujímal značnou část obchodu. Dodávka se obchodovala po tzv. blocích. Trh organizovala společnost OTE, která zajišťovala i finanční vypořádání. Tento trh byl uzavřen k 31. 12. 2021. Bloky se ale nadále dají obchodovat na trhu denním či dlouhodobém, kdy každý produkt je charakterizován právě typem dodávky - PEAK, OFF-PEAK a BASE [21].

**Denní trh** Denní trh, nebo častěji označovaný jako **Spotový trh** je místo, kde dochází k obchodování nabídek na celé dny - BASE nebo jejich části - PEAK, OFF-Peak. Trh funguje jako day-ahead obchod tedy obchod vždy na jeden den dopředu vzhledem k dodávce, odtud také pochází jeho anglický název. Zákazníci si podle svých požadavků předem zadají, jaká bude jejich spotřeba v průběhu dne a prodávající za jakou cenu v daných hodinách bude moci dodávku



nabídnout. Den před dodávkou, vždy ve 12:00 předchozího dne pak OTE zveřejní výsledky, tedy ceny, za které se každou hodinu následujícího bude obchodovat elektřina. V tento moment je již cena elektřiny pevně stanovená a zákazník tak může vyhodnotit, jestli na nákupu futures prodělal nebo vydělal. V případě, že zjistí, že dodávku, kterou má nasmlouvanou nebude moci spotřebovat nebo naopak spotřebuje více, může tento rozdíl obchodovat na intradenním trhu - viz kapitola 2.3.3.2. Více k parametrům denního trhu v tabulce 11 [23].

**Intradenní trh** Intradenní trh organizuje v ČR, rovněž jako trh denní, společnost OTE. Trh slouží k možnosti nákupu či prodeji fyzické dodávky až do 15 minut před dodávkou. Prodejce či nakupující se tak může vyhnout placení poplatků za způsobenou odchylku v případě, že ví, že tuto odchylku v síti způsobí. Typickým příkladem může být náhlé odstavení výrobní linky v továrně či naopak nenadálá zvýšená produkce energie. Trh se otevírá vždy v 15:00 v D-1, tedy den před dodávkou. Více k parametrům intradenního trhu v tabulce 11 [23].

**Regulační trh** Na tomto trhu působí pouze provozovatel přenosové soustavy, v ČR společnost ČEPS. Ten zde nakupuje tzv. regulační energii, která se aktivuje při odchylce v síti a použití některých systémových služeb. Trh začíná vždy 15 min před dodávkou a končí v momentě dodávky. Je to poslední možnost, kdy pouze společnost ČEPS může ovlivnit energetické poměry v síti a vyhnout se tak použití podpůrných služeb. V současnosti je tento trh otevřen pouze v rámci ČR, ale v budoucnu je v plánu sjednocení v rámci EU pod systémem PICASSO a MARI [13].

**Trh s podpůrnými službami** Podpůrná služba je služba, kterou využívá Transmission system operator v momentě, kdy zaregistruje odchylky v síti [13]. TSO nakupuje tzv. OPCE pro možnost kdykoliv v budoucnu aktivovat jimi koupený zdroj. Nabízí se služby jak kladné, tak záporné, tedy možnost kdykoliv snížit nebo zvýšit poměry v přenosové síti. Sekundární organizovaný trh pro podpůrné služby však zatím není zavedený a probíhá pouze na systému oboustranných dohod [13].

**Rozdíly v krátkodobém trhu a dlouhodobém trhu při nákupu denních kontraktů** Hlavní rozdíl mezi nákupem na burze PXE a na trhu organizovaným společností OTE je v typu kontraktu. Při nákupu na OTE se nakupuje přímo fyzická dodávka, na PXE jsou to pak kontrakty typu futures.

**Prodej přebytečné energie obchodníkovi s elektřinou** V souvislosti s praktickou částí této práce bylo potřebné zjistit, jaké možnosti prodeje elektřiny existují. Mezi možnost prodat energii na krátkodobém, intradenním trhu nebo dlouhodobém trhu se tak řadí i možnost vytvoření smlouvy s obchodníkem s elektřinou pro velká odběrová místa. Mezi ně se v ČR řadí např. dceřinná společnost skupiny ČEZ - ČEZ ESCO, která řeší odběry a výkup přetoků větších průmyslových objektů. Mezi jejich hlavní zákazníky se tak řadí velké továrny, teplárny nebo závody chemického průmyslu [28]. ČEZ ESCO také umožňuje odkup elektřiny, pokud má zákazník v daný okamžik přebytek. Dříve platilo, že se cena výkupu fixovala na určitou hodnotu. Dnes již převládá způsob účtování cen dle výsledků denního trhu s elektřinou. Pro stanovení cen výkupu společnost ČEZ ESCO používá postup, kdy z ceny každé jedné MWh, kterou nabídneme k výkupu společnost odečte přibližně 500 Kč - viz rovnice 1.

$$\text{cena denního trhu} * \text{kurz ČNB CZK/EUR} - 500 \text{ Kč} [28] \quad (1)$$

Srážka, kterou obchodník z každé ceny odečte odpovídá ceně za to, že obchodník nyní nese odpovědnost za odchylku, která může vzniknout. Tato srážka pak přímo koreluje s typem, charakterem a stálostí zdroje. Právě v případě fotovoltaické elektrárny se současná srážka pohybuje kolem 500 Kč za MWh. V případě KGJ je srážka pak přibližně 300 - 400 Kč za MWh. Je ale také možné, že srážka bude nabývat záporných hodnot, tedy že obchodník bude k ceně z denního trhu naopak přičítat kladnou přírážku. To se děje v případě, kdy charakter dodávky je velmi stálý a není závislý na nepredikovatelných událostech a k dodávce bude docházet v časech s největší spotřebou. Tento případ se týká např. tepláren, kdy přírážka může dosahovat na hodnoty + 1700 Kč na MWh. Od 1.4.2022 navíc došlo k nárůstu cen odchylek, tudíž velikost srážky pravděpodobně v budoucích měsících ještě naroste [28].

### 2.3.4 Market coupling a liberalizace

Původní trh s elektřinou byl vyvíjen lokálně, tedy v každém státu odděleně [13]. Následně se začaly objevovat první snahy o přeshraniční propojení [13]. Jako příklad prvních propojení lze uvést propojení Švýcarska a Francie z důvodu velkého množství vodních elektráren ve Švýcarsku a následného využití této levné energie právě ve Francii, nebo propojení a prodej elektřiny vyrobené z uhlí mezi Českou republikou, Německem a Rakouskem [13]. V současné době si Evropa klade za cíl vytvořit jednotný trh v rámci kterého budou stejné podmínky pro všechny státy [13]. Pro zvýšení tržní spolupráce mezi státy proto Evropská komise přijala několik balíčků, které zavádí harmonizovaná pravidla pro obchodování.

### 2.3.4.1 Balíčky

První balíček 96/92/EC byl přijat v roce 1996 a zaváděl pojmy jako tržní prostředí, obchod, zákazník a výrobce [29]. Je označován jako první liberalizační balíček. V tento moment také zaniklo monopolní postavení státu a vzniká tak více subjektů. V této době však neplatil pro ČR, jelikož Česká republika do EU vstoupila až později [29].

Druhý balíček 2003/54 definoval pojem přeshraniční obchod a do té doby existující tržní prostředí pouze v rámci jednotlivých států sjednocuje na mezinárodní úroveň. Jednotlivé státy ale mezinárodní spolupráci příliš nevyužívaly a proto EU vydala v období let 2005-2006 úpravu č.1228/2003, která nařizovala větší spolupráci a tím pádem i vznik více tržního prostředí [30].

Druhý balíček z roku 2009 ještě více nařizoval mezinárodní spolupráci a definoval dnešní podobu trhu s elektřinou. Na jeho principech byly vypracovány cílové modely tržního systému a na základě toho byly následně zavedeny tzv. síťové kodexy, které velmi detailně popisovaly integraci trhů. Šlo o tyto zákony:

- 2009/72/EC,
- EC/714/2009,
- EC/713/2009,

a následující kodexy:

2015/1222 - pokyny pro přidělování kapacity a řízení přetížení CACM GL [31],

2016/1719 - pokyny pro přidělování kapacity na dlouhodobém trhu FCA GL [32],

2017/2195 - pokyn pro obchodní zajišťování výkonové rovnováhy v elektroenergetice EB GL [33].

Na základě těchto kodexů bylo následně vydáno mnoho metodik ještě více upřesňující pravidla obchodování. V průběhu platnosti třetího balíčku byly vydány také dvě další nařízení pro trh s elektřinou a s plynem, na základě kterých dochází k regulaci těchto trhů [13]. Mezi základní povinnosti obchodníků se tak řadí povinnost reportovat a hlásit veškeré provedené kontrakty. Další velmi důležitou součástí bylo zavedení regulátoru ACER, který má roli právě ve schvalování nových metodik.

V roce 2019 došlo ke schválení tzv. čtvrtého balíčku o vnitřním trhu, který plně nahrazuje třetí balíček [34]. Ve všem vychází právě z balíčku třetího, avšak již počítá se zavedením obnovitelných zdrojů a nařizuje ještě větší integraci trhů. Zavádí povinnosti minimálních kapacit, kapacitní platby nebo zavedení regionálních koordinačních center a ikdyž stále počítá se státy, jakožto samostatnou zónou, integrace je oproti předchozím balíčku daleko vyšší [34].

## 3 Návrh simulace a popis dat

Úkolem této práce bylo vytvoření virtuální baterie a aplikace algoritmu na námi zvolený typ zátěže a kombinaci výroby. Hlavní požadavek na vytvoření algoritmu bylo zvýšení počtu dnů, které by měly po celý den možnost konstantní dodávky do sítě o námi zvolené hodnotě. Veškerá data byla dodána vedoucím práce a následná simulace byla prováděna v programu MATLAB.

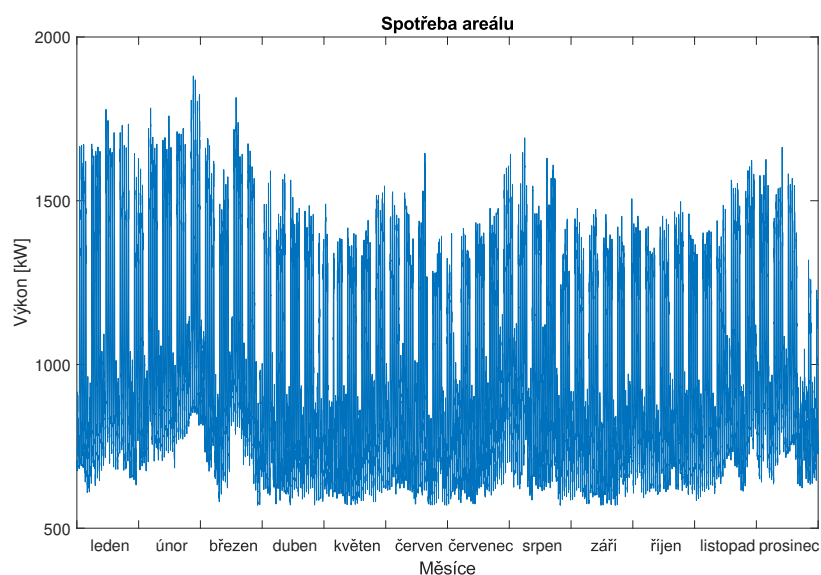
**Tabulka 1** Počty čtvrt hodin za jednotlivá období.

1 den	96 čtvrt hodin
1 měsíc	2920 čtvrt hodin
1 rok	35040 čtvrt hodin

### 3.1 Popis vstupních dat

Data k simulaci představují elektrickou energii měřenou každých 15 minut. Jde o blíže nespécifikovaný rozsáhlý komplex na území České republiky. Tento komplex bude sloužit právě k simulaci použití velkého bateriového úložiště. Komplex je vybaven kogenerační jednotkou, která dodává teplo a zároveň vyrábí elektrickou energii pro vlastní spotřebu. Komplex obsahuje také fotovoltaickou elektrárnu.

#### 3.1.1 Spotřeba areálu

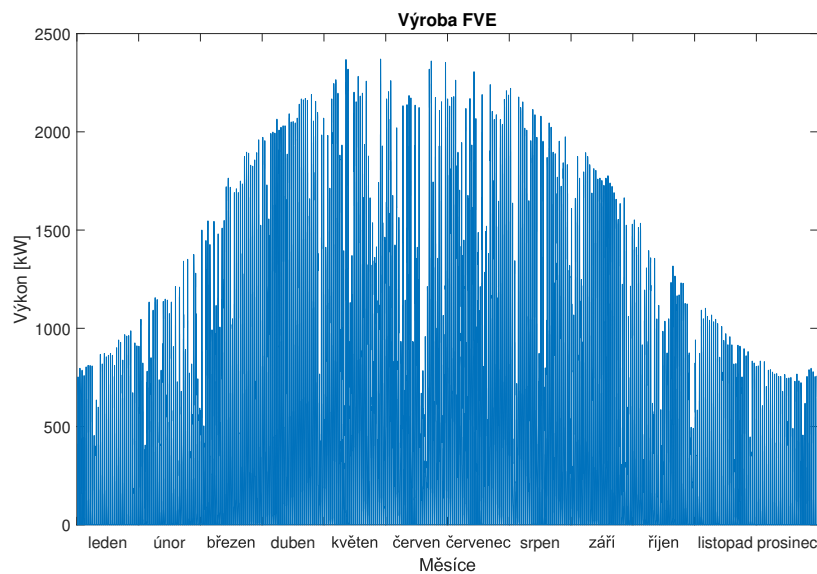


**Obr. 1** Spotřeba areálu.

Data spotřeby areálu na obrázku 1 ukazují průměrný výkon za posledních 15 minut. Můžeme si všimnout vždy poklesu spotřeby za pravidelnou dobu, kdy klesla spotřeba v období víkendů nebo státních svátků. Dále lze z dat vyčíst, že průměrná spotřeba se v chladnějších měsících drží kolem 1600 kW, v letních je to pak méně, přibližně 1400 kW.

Tato data nebylo pro potřeby simulace nutné dále jakkoliv upravovat nebo přizpůsobovat, vektor obsahoval potřebných 35040 prvků - viz tabulka 1.

### 3.1.2 FVE

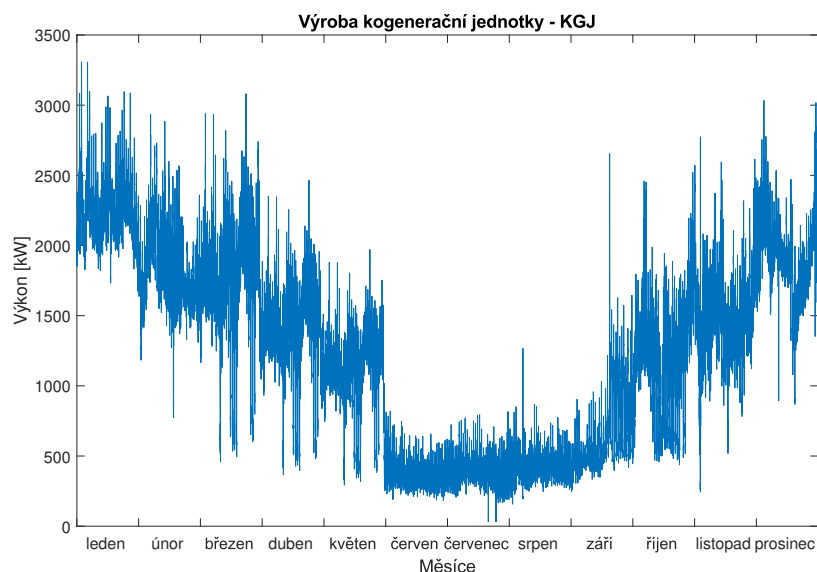


Obr. 2 Výroba FVE.

Data výroby FVE ukazují čtvrt hodinový výkon dodávky. Uvažovaná výroba z FVE je v lokalitě Kněžice a její špičkový výkon byl instalován na 1095 kWp. Data věrně kopírují trend výroby z FVE udávaný ve veřejně dostupných dokumentacích. Můžeme si všimnout výpadků v dodávce, kdy pokles pravděpodobně značil zataženou oblohu. Tomu odpovídá i výskyt těchto výpadků, kdy nejvíce se jich objevuje právě v měsících s největším výskytem srážek. Minimum výroby FVE v zimních měsících se pohybuje kolem hodnoty 750 kW, maximum pak v při nestálé dodávce v letních měsících kolem 2300 kW.

Data pro výrobu FVE bylo potřeba upravit na výchozích 35040 hodnot, neboť původní data byla měřena pouze každou hodinu. Toho jsme docílili naklonováním hodnoty vždy na čtyři hodnoty o stejných výkonech pomocí cyklu for. Následně jsme dle zadání veškerá data vynásobili koeficientem 4, takže špičkový instalovaný výkon vzrostl na 4380 kWh/kWp.

### 3.1.3 KGJ



Obr. 3 Výroba KGJ.

Data na obrázku 3 ukazují aktuální výrobu. Stejně jako data ke spotřebě areálu, jsou i tato data měřena po jednotlivých čtvrt hodinách. Z dat je patrné, že výroba tepla z kogenerační jednotky odpovídala požadavkům dle teploty měsíce a tudíž i výroba elektrické energie korelovala s tímto trendem a v období letních měsíců byla výrazně nižší, než v období zimních. Maximální hodnoty překračovaly hodnotu 3000 kW, zatímco minima se držely kolem hodnoty 500 kW.

Tato data byla dodána ve vektorech vždy za jednotlivý měsíc. Pro potřeby práce jsme data sjednotili do jediného vektoru o 35040 prvcích - viz tabulka 1.

### 3.1.4 Ceny

Pro vyhodnocení ekonomické efektivity a návratnosti jsou zapotřebí data reálných cen. Z nich se bude dále vypočítávat cena, za kterou je možné prodávat elektřinu v konkrétních hodinách na burze a také cena, kterou nám může nabídnout společnost ČEZ ESCO při výkupu naší elektrické energie. Tato data pochází přímo od společnosti OTE, který má na starosti právě stanovení cen silové elektřiny v ČR. Pro práci jsme použili data za rok 2021, a to průměrné ceny za celý jeden den pro výpočet prodejů na burze s baterií a ceny za každou hodinu pro výpočet prodejů společnosti ČEZ ESCO bez použití baterie. Data jsou dostupná v každoroční zprávě vydávané společností OTE na kartě INDEXY DT - SPOT MARKET BASE LOAD INDEX ČR (EUR/MWh) [22].

### 3.1.5 Popis případů dodávky

V této části si vysvětlíme, jaké případy dodávky existují a jaké jsme v rámci naší práce zkoumali aplikovat. Z hlediska dlouhodobosti dodávky existuje mnoho typů produktů nabízených na burze. Vzhledem k použití bateriového systému se v této práci soustředíme pouze na ty kratšího charakteru.

#### 3.1.5.1 CASE 1 - Celé dny

CASE 1 nám charakterizuje konstantní dodávku o stejné hodnotě po celých 24 hodin pro jakýkoliv den v týdnu. Kontrakty mají mnoho označení, např. na burze PXE se značí ve tvaru **F PXE CZ BL D1-1-21** [25]

#### 3.1.5.2 CASE 2 - Víkendy

CASE 2 charakterizuje dodávku po celý víkend, tj. 48 hodin v kuse. Tyto produkty mají typicky označení **F PXE CZ BL W1-21**. [25]

#### 3.1.5.3 CASE 3 - Peak

Produkty v této práci nesoucí označení CASE 3 jsou produkty typu PEAK, to znamená dodávka od 8:00 do 20:00 v jednotlivé dny. Produkt má na burze poté označení ve tvaru **F PXE CZ PL D1-1-21**. [25]

#### 3.1.5.4 CASE 4 - Off-Peak

Toto označení nesou produkty OFF-PEAK. Jde o doplněk ke CASU 3 - PEAK, tedy dodávku právě v čase 0:00 - 8:00 a poté 20:00-24:00. Tyto produkty se na burze s FUTURES neobchodují [25].

#### 3.1.5.5 Další produkty na burze

Na burze se dále dají obchodovat i produkty s dodávkou delší, a to např.: měsíc, čtvrtletí nebo rok v období PEAK nebo BASE [25]. Ty v této práci vzhledem k charakteru používání baterie zkoumány nejsou.

## 3.2 Popis algoritmu

V první části probíhá načtení dat ze souborů pomocí příkazu **load** a **readtable** a následná konverze některých vektorů pomocí **table2array**. Následuje úprava vektorů na pole o stejném počtu hodnot pomocí různých cyklů **for**. Poté následuje rovnice pro odečtení spotřeby a výroby a vytvoření vektoru **balance**, se kterým budeme pracovat:

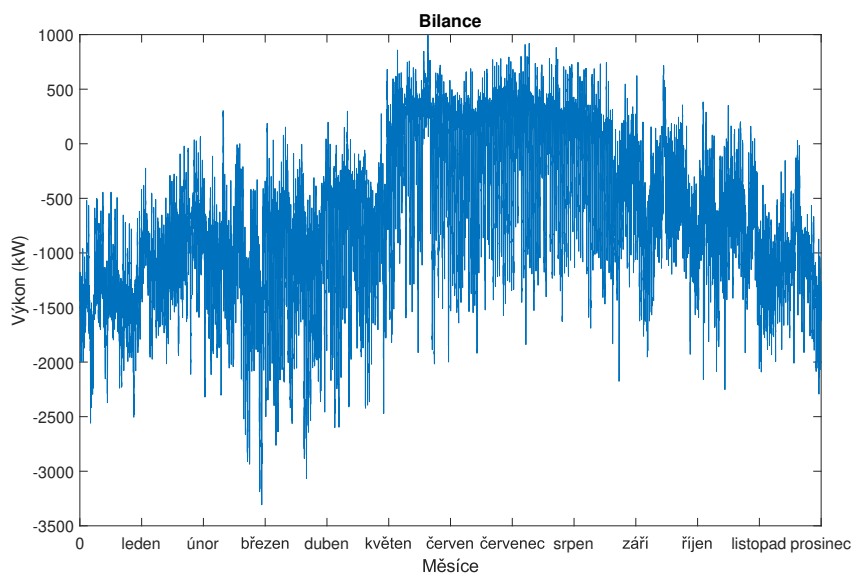
$$B = S - V_{FVE} - V_{EKGJ} \quad (2)$$

kde:  $B$  = Celková bilance

$S$  = Spotřeba areálu

$V_{FVE}$  = Výroba fotovoltaických elektráren

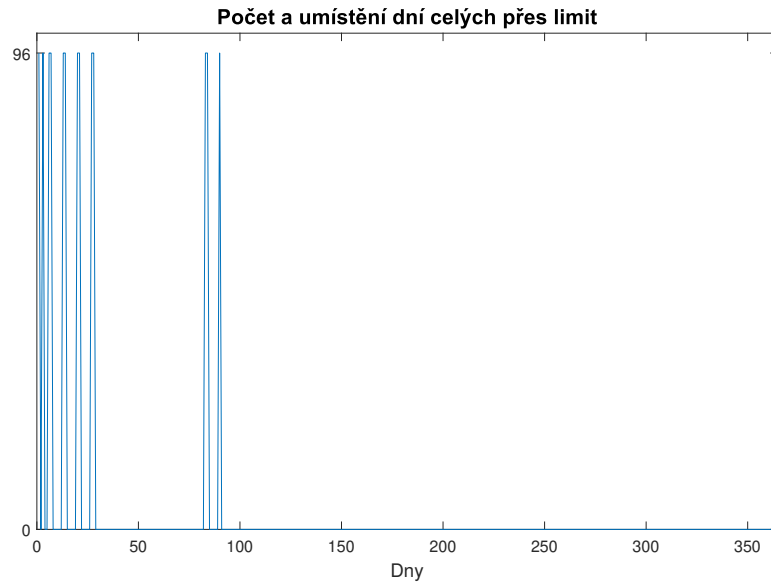
$V_{EKG}$  = Výroba elektrických kogeneračních jednotek



Obr. 4 Bilance.

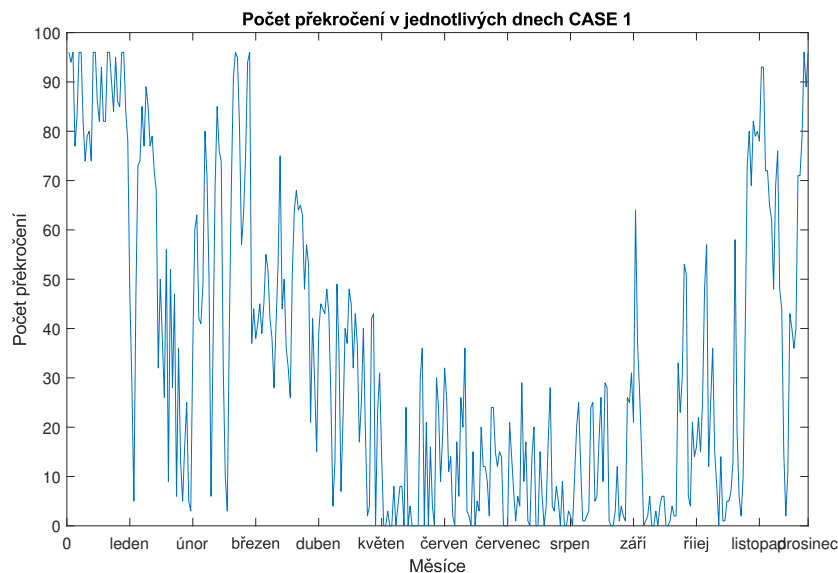
Po těchto úpravách jsme se mohli pustit do samotného modelování baterie. Pro porovnání stavů před a po aplikaci baterie nejprve spočítáme počty dnů, kdy celých 24 hodin byl výkon přes hodnotu **limit**. Toho docílíme pomocí cyklu **for**, který projede celý vektor **balance** a v případě, že po dobu celého dne, resp. 96 čtvrt hodin, byl výkon přes **limit**, zapíše do nového vektoru **kdy jo bez baterie**, který den to bylo. Pro demonstraci pro případ CASE 1 je vektor vykreslen na obrázku 5.





**Obr. 5** Kdy byl výkon celé dny přes limit - CASE 1.

Následně zjistíme, kolikrát v jednotlivé dny jsme překročili hodnotu **limit**, z čehož lze vydedukovat, jaké dny mají potenciál po aplikaci baterie splnit požadavek - viz graf 9. Algoritmus v tomto případě funguje podobně jako v předchozím případě, tedy že projde celý vektor a spočítá, kolikrát jsme jednotlivé dny limit překročili. Toto číslo následně uloží na pozici dne, který počítal. V případě, že nějaký den překročí výkon tzv. **kritickou hodnotu**, simulace počet ukončí a na pozici dne uloží hodnotu 0 - to se děje hlavně v období letních dnů.

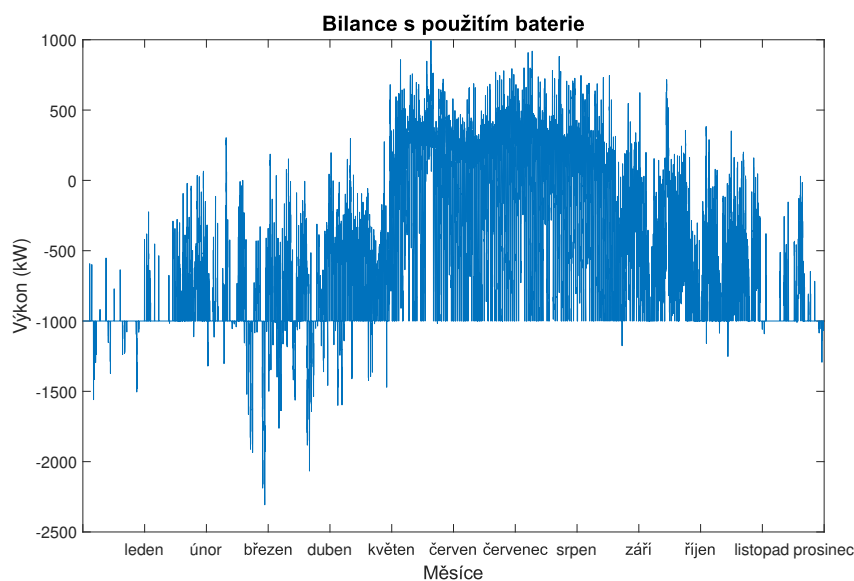


**Obr. 6** Počet překročení jednotlivé dny - CASE 1

Pro modelování samostatného cyklu pro baterii použijeme několik cyklů **for** a podmíněk **if**. Algoritmus tedy projíždí jednotlivé prvky spotřeby a v případě, že je přetok větší, než hodnota **limit**, uloží tento přebytek na pozici baterie. Zároveň celou dobu ověřuje, abychom při nabíjení

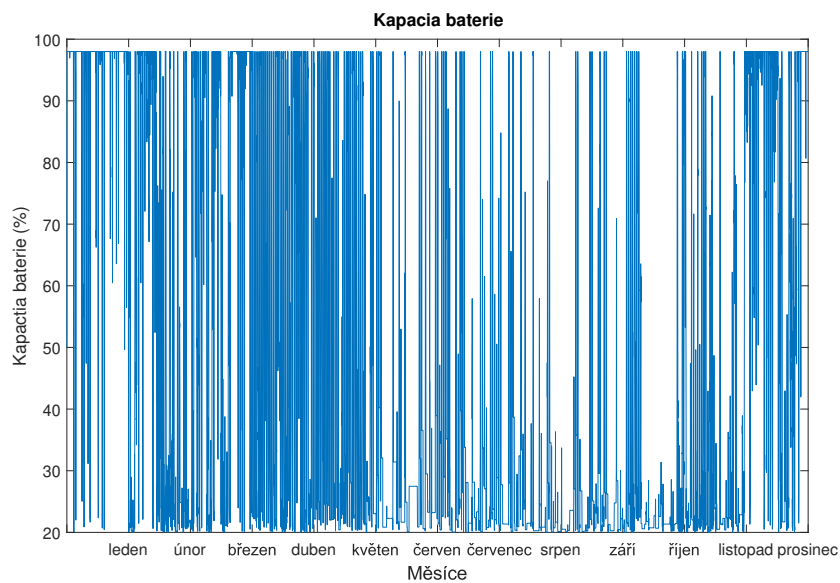
nepřekročili **maximální dobíjecí výkon** a také **kapacitu baterie**. Při nabíjení také počítá s účinností nabíjecího cyklu. V případě, že je pak **balance** menší než hodnota **limit**, zkontroluje, jestli máme dostatečně nabitou baterii pro vyrovnání této odchylky a zda při tom nepřekročíme vybíjecí výkon. Pokud jsou obě tyto podmínky splněné, vyrovná vektor **balance** na hodnotu **limit** a upraví o tento úbytek vektor kapacity **baterie**. Pokud tyto podmínky splněny nejsou, **balance** zůstává beze změny a cyklus pokračuje na další hodnotu. Po dobu vybíjení simulace počítá s účinností vybíjecího cyklu a kontrolou maximálního vybíjecího výkonu. Kapacita baterie je v průběhu celého cyklu udržována v provozu od 20 do 95 % kapacity. V případě simulace pro CASE 2 bylo nutné zajistit nabíjení pro jakýkoliv den, ale vybíjení pouze v době víkendů. V případě CASU 1 upravená **balance s baterií** vypadá následovně - obr.

7



Obr. 7 Balance po aplikaci baterie

Po nasazení baterie znovu použijeme cyklus na výpočet dnů, které byly celý den přes námi požadovanou hodnotu, tentokrát ale zkoumáme vektor **balance s baterií**. Nakonec ještě simulace zobrazí hodnoty z vektoru **kapacita baterie** pro zobrazení průběhu nabíjení a vybíjení kapacity baterie. Pro CASE 1 obr. č. 8. Kapacita baterie se drží dle nastavených požadavků v pásmu 20 - 80 procent.



**Obr. 8** Kapacita baterie

Pro potřeby interní simulace je dále vygenerován **subplot**, který zobrazuje všechny tyto vektory najednou. Uživatel si na začátku každé simulace může pomocí uživatelského vstupu **prompt** vybrat, který CASE chce nasimulovat.

## 4 Zhodnocení simulace

V této kapitole se zaměříme na vyhodnocení technického, ekonomického a také ekologického provedení. Provedeme analýzu, o kolik dní jsme byli schopni díky implementaci baterie zvýšit počet celodenních kontraktů a zhodnotíme ekonomickou návratnost pořízení baterie. K vyhodnocení simulace je třeba přistupovat s předpokladem, že veškerá data hodnotíme pouze zpětně, tedy na historických datech. Reálné použití baterie obnáší mnoho rizik a je potřeba splnit mnoho podmínek a vyřešit problémy s provozem spojenými, které nejsou obsahem této práce.

**Požadavky na simulaci a základní předpoklad** Hlavním úkolem simulace bylo zjistit, jak by se vyplatilo nasazení bateriového úložiště k zátěži s vlastním zdrojem a následné vyrovnání pomocí baterie výsledné bilance na hodnotu výkonu, který bychom mohli dále prodávat na burze - dlouhodobém trhu - oproti přímému prodeji přebytků obchodníkovi s elektřinou. V současné verzi energetického zákona není pojem akumulace zmíněn a na prodej by se proto muselo nahlížet jako na výrobu energie. Dalším předpokladem je tedy pak novela či vydání nového energetický zákon, viz kapitola 2.1.1.

### 4.1 Technické zhodnocení

Nejprve si definujeme výchozí bilanci zátěže, ze které budeme následně vycházet a zavedeme si hodnoty baterie, pro kterou budeme simulaci hodnotit. Poté provedeme technické zhodnocení každého případu dodávky, tedy BASE, PEAK a OFF-PEAK pro jednodenní dodávku a dodávku BASE pro celý víkend.

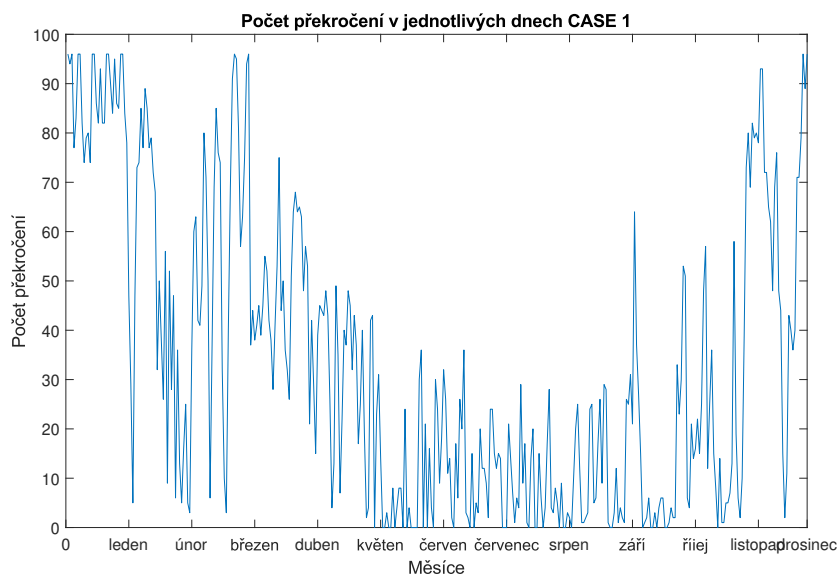
**Technické údaje baterie** Pro simulaci jsme si zvolili baterii o hodnotě 1020 kWh, 680 kWh a 340 kWh. Při vybírání těchto kapacit jsme vycházeli z bakalářské práce Bc. Jakuba Vokurky pod vedením Ing. Václava Mužíka Ph.D. Námí zvolený model jsme aplikovali právě na použití těchto tří kapacit. Účinnost nabíjecího a vybíjecího cyklu pak stanovíme na 95 %, tedy že při každém nabití a vybití baterie přijdeme o 5 % energie. Na začátku každé simulace uvažujeme kapacitu baterie nabitou na 50 %. Limit pro transakce, který bylo potřeba vždy splnit byl pak nastaven na hodnotu 1000 kWh.

#### 4.1.1 CASE 1

Při analýze produktu č.1 jsme nejprve spočítali, kolik dní jsme schopni dodávky produktu bez použití baterie. Tato hodnota vyšla 16. Při podrobné analýze grafu lze zjistit, že tyto dny se

vyskytovaly převážně v prvním měsíci, kdy se kogenerační jednotka pohybovala ve stálém výkonu nad 2 kW.

Při pohledu na graf, který znázorňuje kolikrát jsme jednotlivé dny překročili hodnotu **limit** lze určit, že některé dny v těchto měsících dosahovaly vysokého počtu překročení, avšak ke splnění podmínky zde nedošlo. To bylo zapříčiněno několika výkyvy, kdy **balance** mohla být značnou část dne nad limitem, avšak následoval alespoň jeden výkyv pod požadovanou hodnotu. A právě tyto dny byly cílem našeho vyrovnání pomocí baterie. Z grafu vidíme, že tyto dny se nacházely jak v období zimy, tak na konci podzimu a začátku jara. Naopak v období léta k těmto překročením docházelo nejméně.



**Obr. 9** Počet překročení jednotlivé dny - CASE 1

Na tato data jsme následně aplikovali simulaci se všemi třemi hodnotami kapacity baterie. Vektor **balance** se při každé kapacitě baterie vyrovnal a hodnota se často ustálila na požadované hodnotě **limit** a docházelo tak k vyrovnávání výkyvů. Podle předpokladu tak nejvíce vyrovnaný graf odpovídá také největší kapacitě baterie, avšak rozdíl oproti bateriím s nižší kapacitou není velký.

Následně jsme znovu spočítali, kolik dnů jsme překročili hodnotu **limit** a které dny to bylo. Dle očekávání tak došlo k nárůstu právě v okolí již splněných dnů, avšak s použitím velikosti baterie se značně měnil počet těchto dní, které jsme právě díky baterii mohli nabízet a tedy které byly celých 24 hodin přes hodnotu **limit**. Zatímco u baterie o kapacitě 1020 kWh počet dnů vyšel na 65, u baterie 680 kWh byl počet dní 53 a s použitím baterie 340 kWh počet klesl na 37. Použití největší baterie tedy zvedlo počet možných kontraktů více než čtyřnásobně. Přehled k těmto hodnotám zobrazuje tabulka 2.

**Tabulka 2** Počet celých dnů přes limit u jednotlivých kapacit baterií

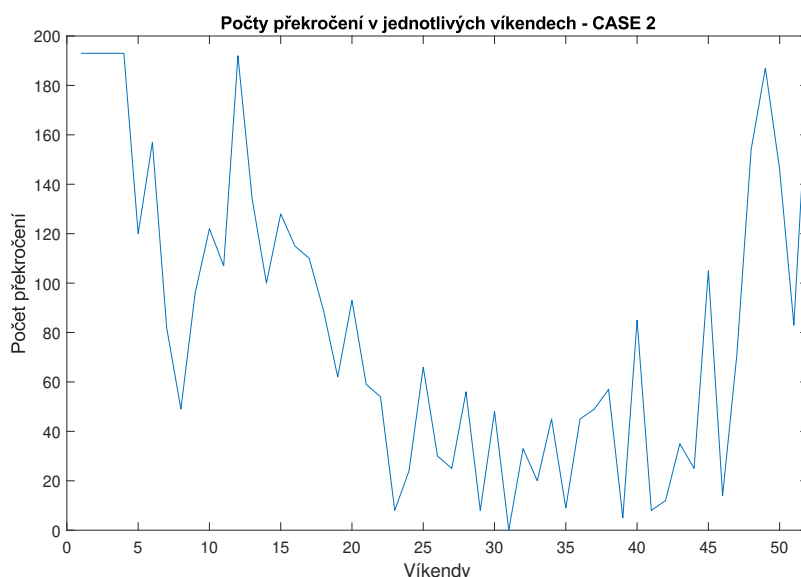
	Počet celých dnů přes limit - CASE 2	Násobek zvýšení
Bez baterie	16	x
340 kWh	37	2,3
680 kWh	53	3,3
1020 kWh	65	4,1

Pokud se následně podíváme jak s měnila kapacita baterie, lze si povšimnout, že u všech třech případech kapacity docházelo k prudkým změnám v kapacitě baterie za krátkou dobu. V důsledku toho pak degradace životnosti baterie bude značně ovlivněna.

#### 4.1.2 CASE 2

Použitím algoritmu na výpočet víkendů celých přes limit jsme zjistili, že celkem 4 celé víkendy tuto podmínku splnily. Tyto výskyty souhlasí s těmi z CASU 1, tedy že většina se jich nachází během prvního měsíce. To souvisí, také jako v předchozím případě, s ustálenou výrobou kogenerační jednotky.

Při analýze, které víkendy mají potenciál k dorovnání a tím možností nabízet tento víkend k prodeji na burze lze dojít k závěru, že tyto víkendy se nacházejí v pásmu kolem již zmíněných víkendů a jako u prvního případu odpovídá počet překročení v průběhu měsíce výrobě kogenerační jednotky. Víkendy, které bychom rádi pomocí baterie vyhladili se pak nachází v zimě a na začátku jara . viz obr 10

**Obr. 10** Počet překročení jednotlivé víkendy - CASE 1

Po aplikaci baterie a jejího algoritmu si lze povšimnout změn ve vektoru **balance s baterií**. Změny ale již nejsou tak časté, jako v případě prvního CASU, neboť požadavky na vyhlazení

bilance na hodnotu **limit** jsou pouze na dva dny v týdnu - sobotu a neděli.

Následně jsme vypočetli jak moc jsme dokázali díky baterii zvýšit počet víkendů. Při použití baterie o kapacitě 340 kWh se zvedl počet na 9, při použití 640 kWh na 10 a při použití baterie o kapacitě 1020 kWh zůstal počet dní stejný, jako u střední baterie, tedy 10. Z toho vyplývá jednoznačný závěr, že mezi největší a střední kapacitou baterií není v konečném důsledku při zkoumání kontraktů na celý víkend žádný rozdíl. Shrnutí počtů pak obsahuje tabulka č. 3.

**Tabulka 3** Počet celých víkendů přes limit u jednotlivých kapacit baterií

	Počet celých víkendů přes limit - CASE 2	Násobek zvýšení
Bez baterie	4	x
340 kWh	9	2,25
680 kWh	10	2,5
1020 kWh	10	2,5

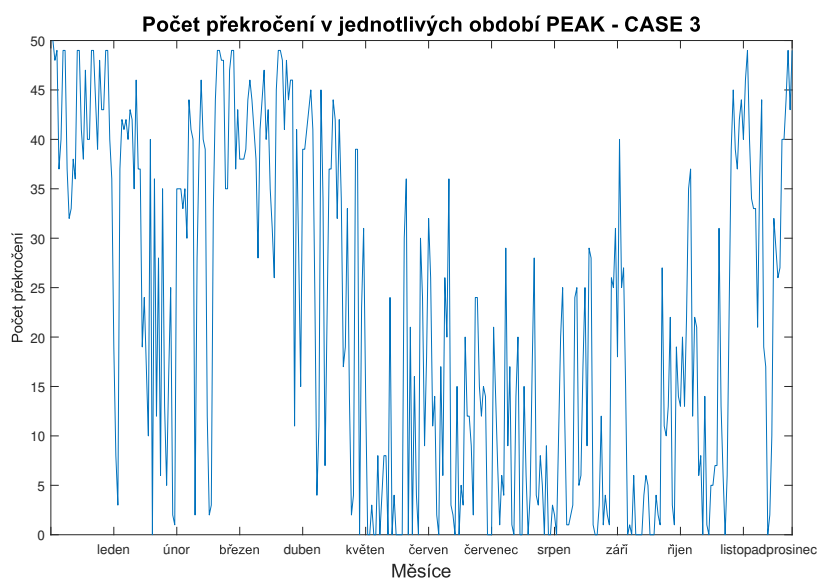
Baterie i v tomto případě velmi často mění prudce svojí kapacitu, čímž dochází ke snižování životnosti. Tyto změny ale nejsou v porovnání s předchozím případem tak časté.

### 4.1.3 CASE 3

Při spočítání počtu případů, kdy v jednotlivých dnech bylo možné prodávat energii na burze a tedy kdy byla hodnota v časech od 8:00 do 20:00 přes hodnotu **limit** dostaneme hodnotu 26. V souladu s předchozími dvěma případy i tyto dny se objevují v prvním měsíci, ale následně se některé nachází v období jara a také konce roku.

**Bilance s baterií** i zde změnila svůj profil, a zarovнала výkon na hodnotu **limit**.

Pokud se podíváme na to, kolikrát se v jednotlivé dny v období od 8:00 do 20:00 nacházela bilance nad limitem, můžeme vidět velké kolísání a tudíž i velký potenciál pro použití baterie. Tyto potenciální dny k vyhlazení se nachází v celém období roku kromě již zmiňovaného období léta. Graf číslo 11 pak znázorňuje právě tyto překročení v období celého roku.



**Obr. 11** Počet překročení v jednotlivých období PEAKů

Provedli jsme tedy simulaci použití našich třech baterií a zjistili jsme, že při použití baterie o kapacitě 320 kWh se počet PEAK období zvedl na 68, při použití 640 kWh baterie na 97 a pro baterii 1020 kWh dokonce na 109. Použití největší baterie vedlo tedy k více než čtyřnásobnému zvětšení počtu možných kontraktů. Tyto překročení shrnuje tabulka číslo 4.

**Tabulka 4** Počet celých PEAKů přes limit u jednotlivých kapacit baterií

	Počet celých PEAKů přes limit - CASE 3	Násobek zvýšení
Bez baterie	26	x
340 kWh	68	2,6
680 kWh	97	3,7
1020 kWh	109	4,1

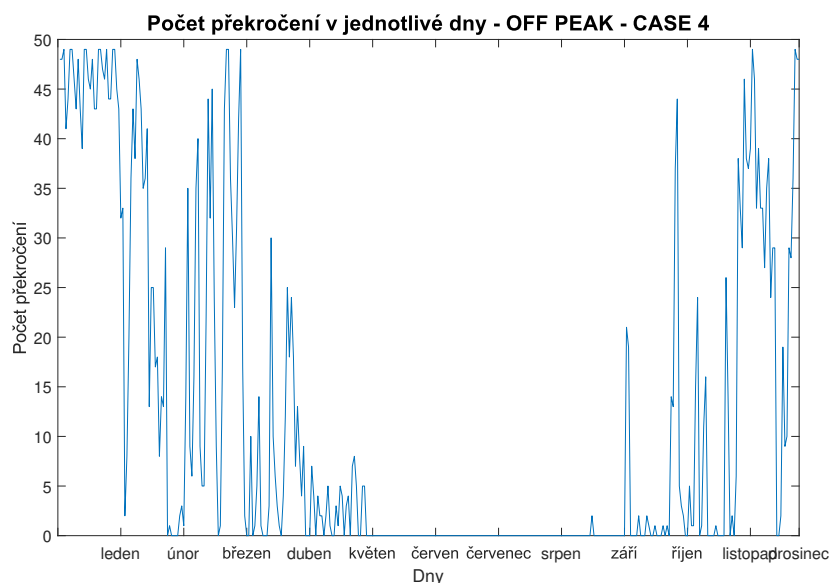
Baterie se i v tomto případě velmi často nabíjí a vybíjí, což má značný dopad na životnost baterie.



#### 4.1.4 CASE 4

Pro CASE 4, tedy OFF-PEAKy, dodávku od 0:00 do 8:00 a od 20:00 do 23:59 daného dne, jsme spočítali počet dní před aplikací baterie, kdy jsme byli celou dobu přes limit. Toto číslo nám vyšlo 20. I zde, stejně jako ve všech třech předchozích případech se dny převážně vyskytují v období ledna a ke konci roku v prosinci.

Při analýze dní, které by měly potenciál v možnosti nabídnout produkt OFF-PEAK na burze na obrázku 12 si můžeme všimnout zajímavého úkazu v letních měsících. Zatímco všechny předchozí CASEY během letních dnů alespoň několikrát limit překročili, poslední CASE 4 v období letních měsíců obsahuje dny, kdy k takovým překročením nedošlo. To je pravděpodobně způsobeno výrobou FVE, která v noci, tedy období OFF-PEAK energii nevyrobí a výroba z KGJ je v letních měsících značně snížena.



**Obr. 12** Počet překročení v jednotlivých obdobích OFF-PEAKů.

I v tomto případě pak **bilance s baterií** změnila svůj profil a výkyvy z FVE vyhladila na hodnotu **limit**. Zde ale nedošlo k tak markantním změnám, jako v případě aplikace baterie na CASE 1.

Na tento CASE jsme aplikovali náš algoritmus, změřili na kolik se zvýšil počet dní a vyšly nám následující hodnoty: pro baterii 320 kWh se počet dní zvýšil na 63, pro baterii 640 kWh na 68 a pro největší baterii o kapacitě 1020 kWh na 80. Zde můžeme vidět, že nejmenší kapacita zvýšila počet dní na trojnásobnou hodnotu, což lze považovat za efektivní výsledek. Přesný přehled počtu dní pak shrnuje tabulka 5.

**Tabulka 5** Počet celých OFF-PEAKů přes limit u jednotlivých kapacit baterií

	Počet celých OFF-PEAKů přes limit - CASE 4	Násobek zvýšení
Bez baterie	20	x
340 kWh	63	3,15
680 kWh	68	3,4
1020 kWh	80	4

Kapacita baterie se i v tomto případě často náhle mění, což má vliv na životnost.

#### 4.1.5 Shrnutí technického zhodnocení

Provedli jsme aplikaci baterie na čtyři typy produktů nabízených na burze. Z výstupních dat vyplývá, že i baterie o nejmenší kapacitě dokáže několikrát znásobit počet dnů, které bychom následně mohli obchodovat na burze. Případ, kdy jsme nejvíce znásobili počet dní připadá největší baterii. V případě prvního, třetího a čtvrtého CASU došlo v tomto případě k přibližně čtyřnásobnému zvýšení. Naopak nejmenší efektivita pak připadá při této kapacitě baterie CASU 2, kde došlo pouze k 2,25 násobnému zlepšení.

Z dat lze také vyčíst, že baterie 340 kWh má největší efektivitu zlepšení (3,15x) pro aplikaci na CASE 4, tedy OFF PEAKy, baterie 640 kWh má největší účinnost zlepšení (3,7x) u CASE 3, tedy PEAKy a baterie 1020 kWh pak největší účinnost zlepšení má shodně pro CASE 1 - BASE a CASE 3 - PEAK (4,1x).

Obecně lze vyvodit závěr, že baterie k vyrovnávání výkonu se nejvíce hodí pro případy, kdy výroba kolem hodnoty **limit** kolísá. V tomto případě baterie zvládne vyrovnávat výkon, kdy se při přebytku nabije a při nedostatku vybijí. Obecně pak platí, že čím kratší období je potřeba vyrovnávat, tím efektivněji baterie funguje - viz účinnost v období CASE 2 víkendů.

Zadání této práce bylo zajistit zvýšení počtu kontraktů na období osmi hodin pro CASE 3 a CASE 4, 24 hodin pro CASE 1 a 48 hodin pro CASE 2. Obsahem této práce nebylo zkoumat prodej na vnitrodenním trhu.

## 4.2 Ekonomické zhodnocení

### 4.2.1 Ceny

**Ceny na Burze** Pro ekonomické zhodnocení bylo potřeba zjistit, jak se liší ceny produktů vyhodnocené na denním trhu oproti cenám, které jsou na stejné období nabízené na burze jeden až dva dny předem. Ke zjištění tohoto rozdílu - **spreadu** jsme porovnali průměrné ceny zveřejněné společností OTE s těmi, které byly dostupné v době psaní této práce na webových stránkách společnosti PXE. Zkoumání proběhlo pro data v období od 6.4.2022 do 9.5.2022, zjištění spreadu pro ostatní dny nebylo možné z důvodu nedostupnosti dat dlouhodobého trhu.

Při analýze těchto cen jsme došli k závěru, že průměrný rozdíl cen je +5,4 %, tedy že v případě, kdy budeme produkt nabízet na dlouhodobém trhu bude cena průměrně o 5,4 procent vyšší než v případě, že elektřinu prodáme v den dodávky. Rozdíl v některých případech dosahoval až na +41 %, v opačném případě na rozdíl -22 % oproti cenám denního trhu. Pro náš ekonomický výpočet budeme pracovat právě s průměrem +5,4 %.

Důležité pro výpočet výnosů je také zmínit, že v roce 2022 se ceny elektřiny kvůli geopolitické situaci a krachu několika obchodníků s elektřinou zásadně změnily. Dle rychlé analýzy veřejně dostupných dat uzavřených cen denního trhu dostupných ve zprávě společnosti OTE lze zjistit, že ceny uzavřené na denním od 1.1 do 9.5. byly v roce 2022 průměrně 3,44 krát vyšší než v roce 2021. V naší analýze jsme pracovali s daty z roku 2021 a následně jsme demonstrovali, jak by se lišily výnosy z prodeje na burze v roce 2022.

#### 4.2.2 Výnosy pro jednotlivé případy dodávky

Pro výpočet rozdílů ve výnosech budeme porovnávat, jaký je rozdíl mezi prodejem celého přebytku společnosti ČEZ ESCO a prodejem na burze PXE. Důležitým předpokladem pro možnost prodeje na burze je pak vlastnictví licence pro obchodování s elektřinou.

Pro výpočet bez použití baterie, kdy přebytečný výkon prodáváme společnosti ČEZ ESCO použijeme následující vzorec:

$$\sum_{k=1}^{8760} V = P * (C - s) \quad (3)$$

kde:  $V$  = Výnosy za rok,

$P$  = Přebytečný výkon danou hodinu,

$C$  = Cena na denním trhu danou hodinu za 1 MWh v EUR,

$s$  = Srážka, kterou si účtuje ČEZ ESCO za každou MWh,

$\sum_{k=1}^{8760}$  = Suma za celý rok,

a pro výpočet výnosu s baterií použijeme následující vzorec:

$$V_C = V_B + V_O \quad (4)$$

kde:  $V_C$  = Celkové výnosy,

$V_B$  = Výnosy z prodeje na burze,

$V_O$  = Výnosy z prodeje obchodníkovi.

Výnosy z prodeje na burze pak počítáme podle vzorce:

$$\sum_{k=1}^{365} V_B = K * C * 1,054 * h \quad (5)$$

kde:  $V_B$  = Výnosy z prodeje na burze,

$K$  = Výkon o hodnotě **limit**,

$C$  = Průměrná cena na denním trhu za 1 MWh v EUR za daný den,

1,054 = 5,4% rozdíl v cenách při prodeji na dlouhodobém trhu,

$h$  = Doba dodávky v hodinách konkrétního CASU

$\sum_{k=1}^{365}$  = Suma za celý rok,

a výnosy z prodeje obchodníkovi jako:

$$\sum_{k=1}^{8760} V_O = Z * (C - s) \quad (6)$$

kde:  $V_O$  = Výnosy z prodeje obchodníkovi

$Z$  = Zbytkový výkon danou hodinu po odečtení prodaného výkonu na burze,

$C$  = Cena na denním trhu danou hodinu za 1 MWh v EUR,

$s$  = Srážka, kterou si účtuje ČEZ ESCO za každou MWh,

$\sum_{k=1}^{8760}$  = Suma za celý rok.

Pro označení v této práci si prodeje energie obchodníkovi po odečtení prodaného výkonu na burze označíme jako  $P_{\Delta}$  a případ, kdy prodáváme kontrakty na burze a zbytky energie obchodníkovi jako **kombinovaný prodej**.

#### 4.2.2.1 Výnosy - CASE 1

Provedli jsme výpočty podle rovnic uvedených v kapitole 4.2.2 pro každou ze tří kapacit baterie a výsledky jsou uvedeny v následující tabulce. Výsledky CASU 1 pak jasně ukazují, že v případě použití největší baterie tvoří výnosy za rok 2021 11,81 mil. Kč, tedy že v případě námi zkoumané kombinace prodeje chybí asi 190 000 Kč, abychom alespoň dorovnali výnosy pouze z prodeje obchodníkovi. Při použití 320kWh pak výnosy dosahují 11,11 mil. Kč, tedy chybí necelých 900 tis. Kč. Výnosnost v případě kombinovaného prodeje pak v porovnání s ostatními případy vychází nejlépe.

**Tabulka 6** Výnosy při aplikaci jednotlivých kapacit baterií v mil. Kč pro CASE 1

Typ baterie	Výnosy burza	Výnosy zbytky	Výnosy burza + zbytky	Výnosy pouze obchodník
320 kWh	2,3	8,81	11,11	12
640 kWh	3,05	8,42	11,47	12
1020 kWh	4,11	7,69	11,81	12

**4.2.2.2 Výnosy - CASE 2**

Pro CASE 2 nám, jak můžeme vidět v části technické zhodnocení, největší 1020kWh baterie nestačila ke zvýšení počtu dnů přes limit oproti druhé největší a proto i výnosy z prodeje na burze jsou v těchto dvou případech identické - činí 2,64 mil. Kč. Celkové výnosy z kombinovaného prodeje pak činí pouhých 8,96 milionů korun a pro 320kWh baterii 8,83 mil. Kč. Do 12 mil. Kč pak chybí více než 3 mil. Kč. Výnosnost pro tento typ kontraktu v porovnání s těmi ostatními tak vyšla zdaleka nejhůře.

**Tabulka 7** Výnosy při aplikaci jednotlivých kapacit baterií v mil. Kč pro CASE 2

Typ baterie	Výnosy burza	Výnosy zbytky	Výnosy burza + zbytky	Výnosy pouze obchodník
320 kWh	2,55	6,27	8,83	12
640 kWh	2,64	6,23	8,96	12
1020 kWh	2,64	6,23	8,96	12

**4.2.2.3 Výnosy - CASE 3**

Pro tento typ kontraktu s dobou dodávky od 8:00 do 20:00 výnosnost z kombinovaného prodeje vychází jako třetí nejhorší. Zisky z kombinovaného prodeje se v případě námi zkoumaných baterií pohybují v rozmezí od 10,17 do 10,57 mil. Kč, což je oproti přímému prodeji stále méně.

**Tabulka 8** Výnosy při aplikaci jednotlivých kapacit baterií v mil. Kč pro CASE 3

Typ baterie	Výnosy burza	Výnosy zbytky	Výnosy burza + zbytky	Výnosy pouze obchodník
320 kWh	1,75	8,43	10,18	12
640 kWh	2,49	7,85	10,34	12
1020 kWh	2,95	7,61	10,57	12

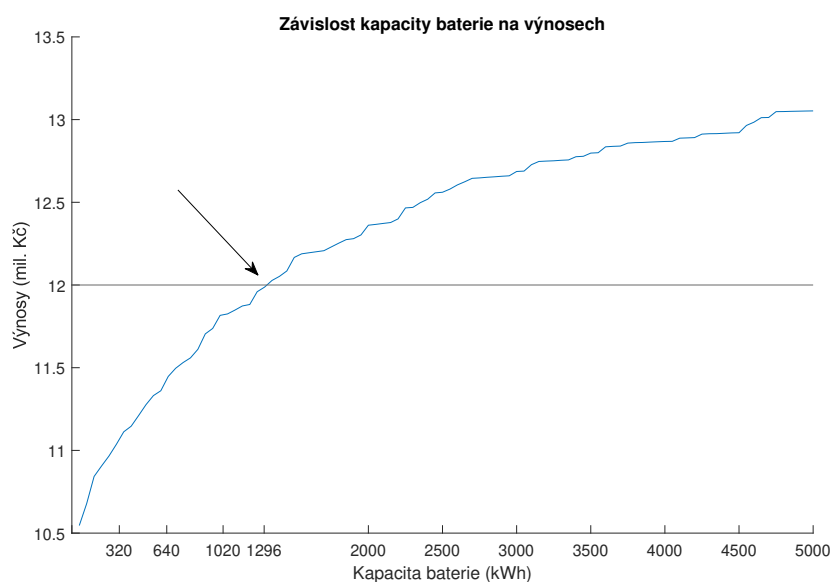
**4.2.2.4 Výnosy - CASE 4**

Poslední případ kontraktu pak vychází jako druhý nejlepší, avšak výnosy z kombinovaného prodeje jsou stále menší, než výnosy z přímého prodeje obchodníkovi. Výnosy z kombinovaného prodeje se pak pohybují u našich třech baterií mezi 10,57 a 11,29 mil. Kč.

**Tabulka 9** Výnosy při aplikaci jednotlivých kapacit baterií v mil. Kč pro CASE 4

Typ baterie	Výnosy burza	Výnosy zbytky	Výnosy burza + zbytky	Výnosy pouze obchodník
320 kWh	1,73	9,34	11,07	12
640 kWh	1,93	9,35	11,29	12
1020 kWh	2,39	9,23	11,63	12

**Závislost výnosů na kapacitě** Na obrázku 13 pak můžeme vidět zlomový bod, kdy se výnosy z kombinovaného prodeje budou rovnat výnosům z prodeje obchodníkovi. Šipka znázorňuje bod, kdy se tak stane. Graf je uveden pro CASE 1, ale stejnou charakteristiku grafu mají také všechny ostatní. Z grafu pak můžeme vyčíst, že kapacita baterie pro CASE 1, kdy k tomu dojde, je 1296 kWh.

**Obr. 13** Závislost výnosů na kapacitě baterie - CASE 1

#### 4.2.3 Ekonomický závěr

Provedli jsme analýzu všech čtyř typů dodávky a následně jsme spočítali, jaké výnosy bychom jakožto subjekt s licenci udělenou ERU mohli inkasovat při prodeji na burze a následně jsme tuto cenu porovnali s cenou prodeje přebytečné energie pouze obchodníkovi. Z výpočtů vidíme, že se většinou cena výnosů z burzy zvyšuje s velikostí baterie a s tím nepřímou úměrou klesají výnosy z prodeje zbytkové energie. Cena z prodeje obchodníkovi pak zůstává vždy stejná, v případě naší přebytečné bilance činí tyto výnosy 12 000 992 Kč za rok 2021.

V simulaci jsme zkoumali pouze dlouhodobé kontrakty Day, Weekend, Peak a Off-peak v tomto pořadí. Tyto kontrakty jsou dodávány v časech 24, 48 a 12 hodin, což z hlediska poměru mezi kapacitou baterie a výkonem dodávaného na burzu značí velký rozdíl.

Vidíme, že CASE 2 kontrakt s dodávkou po dobu 48 hodin má oproti ostatním nejnižší výnosy,

což pravděpodobně přímo souvisí s délkou dodávky - čím delší doba dodávky, tím složitěji bude baterie vyrovnávat dny na limitní výkon a tím nižší budou výnosy z prodeje na burze.

Vidíme, že výnosy žádného případu naší simulace se třemi zadanými kapacitami baterie nebyly vyšší, než výnosy z přímého prodeje energie obchodníkovi. Pokud bychom toho chtěli docílit, museli bychom baterie v různých případech zvýšit na výše zmiňované kapacity. Vzhledem k charakteristikám grafů závislosti výnosů na kapacitě baterie lze předpokládat, že ačkoliv při vysokých kapacitách baterií výsledné výnosy z kombinovaného prodeje budou vyšší, než výnosy z přímého prodeje, s každou zvýšenou kapacitou budou růst stále pomaleji a pravděpodobně se budou limitně blížit k určité hodnotě. To souvisí s omezeností vlastní výroby z FVE a KGJ a tím pádem omezeností vyrovnávat tyto dny na hodnotu **limit**.

Velmi důležitým aspektem při výpočtu výnosů jsou ceny výkupu a srážka, kterou si účtuje obchodník za elektřinu. Od té se odvíjí veškeré výpočty. Vzhledem k aktuální situaci popsané v kapitole 2.3.3.2 a informacím od pana Ing. Kindla z firmy ČEZ ESCO lze očekávat, že se výše srážky vzhledem k rostoucí poptávce po možnosti odkupu a energetické situaci v ČR ještě zvýší. To by znamenalo změnu v našem modelu výpočtu, avšak aby se změny výrazněji projevíly, musela by i srážka výrazněji stoupnout a tak výrazná změna se v blízkém budoucnu neočekává.

Nejdůležitějším aspektem je pak zodpovědnost za odchylku, za kterou v případě přímého prodeje obchodníkovi nemusíme ručit a zodpovědnost pak spadá právě na obchodníka. Ten má výhodu ve velkém portfoliu zákazníků, kdy např. v případě výpadku některého zdroje dokáže daleko lépe a efektivněji tuto situaci řešit. V případě prodeje na burze by pak odpovědnost za odchylku spadala na nás a sankce za porušení by v našem případě mohly mít na nás, také jakožto obchodníka s elektřinou, obrovský dopad. Použití baterie na prodloužení počtu dnů a následný prodej těchto dnů na burze se proto za všech výše zmíněných podmínek jednoznačně nevyplatí.

**Další možná aplikace** Pro další práci doporučuji zaměřit se na použití baterie na smoothing, grid balancing a použití pouze k vlastní spotřebě, tedy k snižování a optimalizaci vlastní energetické spotřeby. Touto problematikou se zabývá bakalářská práce Marka Váchy, také pod vedením Ing. Václava Mužíka Ph.D. Pro možnost prodeje v této práci nebyla z časových důvodů zpracována možnost obchodování s přebytky na vnitrodenním trhu. Pro další práci a výzkum tedy doporučuji zaměřit se právě na tuto problematiku a v případě dalšího zkoumání tak ještě větší propojení a více konzultací s obchodníkem, např. společností ČEZ ESCO, ten hraje zásadní roli při stanovení cen. V případě legislativních a obchodních podmínek by platila stejná pravidla a podmínky a odpadlo by riziko ručení za odchylku a riziko nutné predikce počasí.

Možnost, která nebyla v této práci zkoumána je kombinace baterie pro optimalizaci vlastní spotřeby a prodeje přebytků obchodníkovi či na burze. V tom vidím já, autor této práce, velký potenciál pro další simulaci a zkoumání.

V průběhu psaní této práce bylo možné zaznamenat velmi dynamický vývoj trhu s elektřinou a mnoho chystaných změn v legislativním rámci a proto rychlost ztrácení relevantnosti některých informací uváděných v této práci může zapříčinit zásadní změny ve výpočtu výnosů.

### 4.3 Ekologické zhodnocení

V této sekci ekologického porovnání si zhodnotíme produkci CO<sub>2</sub> pro odběru energie pouze ze sítě s tím, jakou produkci CO<sub>2</sub> by měla výroba v kombinaci FVE a KGJ.

Pro výpočet produkce z distribuční sítě budeme uvažovat složení průměrného mixu s energetickým faktorem  $f=0,43$  t/MWh [35].

$$m_{CO_2} = P_{celk} * f \quad (7)$$

kde:  $m_{CO_2}$  = Celková produkce CO<sub>2</sub>

$P_{celk}$  = celková potřebovaná energie za rok,

$f$  = energetický emisní faktor

Výsledek pak při celkové spotřebě 8247 MWh vychází na 3678 t CO<sub>2</sub> za rok 2021.

Pro porovnání s produkcí při kombinované výrobě je pak důležité si definovat množství paliva dodaného do KGJ určeného pouze k výrobě tepla, to se vypočte jako:

$$M = \frac{3600}{V * n} \quad (8)$$

kde:  $M$  = množství paliva (m<sup>3</sup>)

$V$  = výhřevnost,

$n$  = účinnost

Pro výpočet produkce CO<sub>2</sub> z KGJ se pak uvažuje velikost roční výroby energie do systému 6688 MWh. Produkce CO<sub>2</sub> z KGJ se tak dají spočítat jako:

$$m_{CO_2kgj} = M * 0,7 * k * P_{celk} \quad (9)$$

kde:  $m_{CO_2kgj}$  = Celková produkce CO<sub>2</sub>

$M$  = množství paliva (m<sup>3</sup>),

$0,7$  = koeficient při převodu m<sup>3</sup> na kg

$k$  = koeficient poměru hmotností produkce CO<sub>2</sub> oproti CH<sub>4</sub>

$P_{celk}$  = celková spotřebovaná energie za rok,



Při výpočtu produkce z KGJ můžeme uvažovat, že účinnost spotřeby KGJ na výrobu elektrické energie je velmi podobná účinnosti výroby tepla. Vzhledem k tomu budeme uvažovat rozdělení produkce CO<sub>2</sub> na polovinu z důvodu rozdělení energetického využití ve stejném poměru.

V závislosti na zvolené výhřevnosti plynu tak dojdeme k závěru, že celková produkce CO<sub>2</sub> na naši spotřebu energie vychází na 6475-9725 tun CO<sub>2</sub> za rok 2021. Při přepočtu pak vychází produkce na 0,448 - 0,673 t/MWh.

V porovnání s energetickým faktorem energetického mixu v ČR tak jasně vidíme, že v našem případě produkce CO<sub>2</sub> při kombinované výrobě je o něco vyšší než právě v případě odebírání energie ze sítě. To bude záležet na poměru výroby mezi FVE a KGJ.

Výsledky jasně značí, že v případě odebíraného výkonu pouze z přenosové soustavy se současným energetickým mixem v ČR jsou hodnoty produkce CO<sub>2</sub>/MWh podobné a vyšší v závislosti na zvolené výhřevnosti. To zapříčiňuje nulová emise CO<sub>2</sub> z FVE, která tak průměrnou konečnou hodnotu produkce CO<sub>2</sub> z kombinované výroby značně sníží.

Do ekologického výpočtu není uvažována produkce CO<sub>2</sub> při výrobě baterie ani FVE.

**Tabulka 10** Produkce Co<sub>2</sub>

	Množství energie (MWh)	Množství CO <sub>2</sub> (t)	emisní faktor (t/MWh)
Spotřeba pouze ze sítě	8247	3678	0,43
Výroba KGJ	6688	6475-9725	0,97 - 1,45
Výroba FVE	1599	0	0
Spotřeba KGJ + FVE	8247	6475-9725	0,448 - 0,67

## 5 Závěr

V první části práce jsem se zaměřil na zmapování vhodných technických provedení bateriové akumulace na úroveň distribuční sítě a porovnal jsem jednotlivá technická provedení. Existuje více druhů baterií, které by se hodily pro nasazení v distribuční síti, nejlépe z nich však v současnosti vychází baterie lithiové. Ty díky svým vlastnostem dokáží nejefektivněji uchovávat energii a vzhledem k jejich energetické hustotě ukládání jsou nejvíce skladné. Velkou výhodou je jejich cena, která se za současného tempa snížila pod hranici 100 EUR/kWh. Jejich velké negativum je těžba lithia. Toho se snaží využít pro svůj prospěch moderní technologie flow-baterií. Ty mají sice větší požadavky na prostor díky nutnosti dvou elektrolytických nádob, avšak nepotřebují lithium a jsou tak daleko ekologičtější.

Již dnes existuje mnoho areálů, které vsadily na použití velkého bateriového úložiště pro některý ze způsobů použití. Mezi nejčastější patří peak-shaving a load-shifting, avšak možností, která by mohla ušetřit spoustu výdajů způsobených nečekanými výkyvy v síti a výpadkem strojů, je baterie fungující podpora při nerovnoměrnosti napětí v síti. Z popsanych příkladů vidíme, že investice se může vyplatit i bez dotací EU.

V případě provozu úložiště je potřeba zmapovat přehled všech legislativních podmínek a předpisů. Pro provoz bateriového úložiště je velmi důležitý Energetický regulační úřad, který má pravomoc udělovat licenci obchodníkům s elektřinou. Dalším důležitým účastníkem na trhu je pak OTE, která stanovuje ceny elektřiny za danou hodinu.

Pro provoz bateriového úložiště jsem simuloval použití třech kapacit baterií na čtyřech různých případech dodávky. I když baterie dokáže efektivně vyhlazovat bilanci na požadovanou hodnotu a počet případů, které bylo možné nabízet na burze s elektřinou vzrostl až více než 4x, při výpočtu ekonomického zhodnocení je vidět, že provoz bateriového úložiště se nevyplatí. To je způsobeno tím, že elektřinu je vhodnější prodat za aktuální ceny na trhu i se srážkou obchodníka. Velmi důležitým aspektem je také odpovědnost za odchylku, která v případě prodeje energie obchodníkovi přestává být naší zodpovědností. Její nedodržení by mohlo mít obrovský ekonomický dopad pro náš model.

Pro další zkoumání doporučuji zaměřit se na možnosti popsané v ekonomickém závěru této práce. Velkou pomocí by pak mohla být spolupráce s obchodníkem, pro kterého je, jak jsem zjistil při odborné konzultaci, tato problematika velmi aktuální a spolupráci je nakloněn.

V samotném závěru práce je jednoduše spočítáno, že při nasazení zvolené kombinace KGJ a FVE oproti připojení do sítě nijak nesnížíme produkci CO<sub>2</sub> a tato kombinace tedy nepřinesla žádnou ekologickou úsporu.

# Seznam použité literatury

- [1] *Lead–acid battery - Wikipedia*, 2022. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lead-acid\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lead-acid_battery) (cit. 23. 05. 2022).
- [2] X. Fan, B. Liu, J. Liu et al., „Battery Technologies for Grid-Level Large-Scale Electrical Energy Storage,“ *Transactions of Tianjin University*, roč. 26, s. 92–103, 1234. DOI: 10.1007/s12209-019-00231-w. URL: <https://doi.org/10.1007/s12209-019-00231-w>.
- [3] K. Vishnumurthy a K. Girish, „A comprehensive review of battery technology for E-mobility,“ *Journal of the Indian Chemical Society*, roč. 98, č. 10, s. 100–173, 2021, ISSN: 00194522. DOI: 10.1016/j.jics.2021.100173. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019452221001734><https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0019452221001734>.
- [4] W. Wang, Q. Luo, B. Li, X. Wei, L. Li a Z. Yang, „Recent Progress in Redox Flow Battery Research and Development,“ *Advanced Functional Materials*, roč. 23, s. 970–986, 8 ún. 2013, ISSN: 1616-3028. DOI: 10.1002/ADFM.201200694. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adfm.201200694><https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adfm.201200694><https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.201200694>.
- [5] J. Vokurka et al., „Využití aktuálních technologií akumulace elektrické energie provozovatelem distribučních sítí,“ 2021.
- [6] H. C. Hesse, M. Schimpe, D. Kucevic a A. Jossen, „Lithium-ion battery storage for the grid—A review of stationary battery storage system design tailored for applications in modern power grids,“ *Energies*, roč. 10, č. 12, s. 2107, 2017.
- [7] *Jan Staněk*, 2021. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=91BzSL1ISCE>.
- [8] *Jan Staněk*, 2021. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=bs0\\_QNyxv8k](https://www.youtube.com/watch?v=bs0_QNyxv8k).
- [9] *Jan Staněk*, 2021. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=6cdikQJKNL0>.
- [10] *Energetický zákon*, Praha, 2022. URL: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Energetický\\_zákon#cite\\_note-1](https://cs.wikipedia.org/wiki/Energetický_zákon#cite_note-1).
- [11] *Energeticka-legislativa-cr*, Praha. URL: <https://oenergetice.cz/energeticka-legislativa-cr/energeticky-zakon>.
- [12] *Ocekavany-novy-energeticky-zakon*, 2022. URL: <https://ekonomickydenik.cz/ocekavany-novy-energeticky-zakon-ma-byt-v-prosinci-obor-se-jim-bude-ridit-od-ledna-2024/>.
- [13] M. Palkovský, „Integrace trhů s elektřinou, soukromá prezentace,“ Praha, 2022.
- [14] *408/2015 Sb. Vyhláška o Pravidlech trhu s elektřinou*, 2022. URL: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-408> (cit. 26. 05. 2022).

- [15] *Pravidla provozování distribuční soustavy cez*, url = <https://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa>  
urldate = 2022-05-17, year = 2022.
- [16] *O ERU | eru.cz*.
- [17] L. Hirth, J. Mühlenpfordt a M. Bulkeley, „The ENTSO-E Transparency Platform—A review of Europe’s most ambitious electricity data platform,“ *Applied energy*, roč. 225, s. 1054–1067, 2018.
- [18] *ČEPS - pro veřejnost*, 2022. URL: <https://www.ceps.cz/cs/pro-verejnost>.
- [19] *ČEPS - inovace a projekty*, 2022. URL: <https://www.ceps.cz/cs/inovace>.
- [20] *ACER*. URL: <https://www.acer.europa.eu/the-agency/about-acer>.
- [21] *Základní údaje — Čeština*, 2022. URL: <https://www.ote-cr.cz/cs/o-spolecnosti/zakladni-udaje>.
- [22] *Short-Term Markets*, 2022. URL: <https://www.ote-cr.cz/en/short-term-markets/electricity/day-ahead-market?date=2022-05-15>.
- [23] K. Autorů, *Úvod do liberalizované energetiky, Trh s elektřinou*, 2016. vyd. Praha: Asociace energetických manažerů, 2016, ISBN: ISBN 978-80-260-9212-4.
- [24] *European Power Exchange - Wikipedia*, 2022. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/European\\_Power\\_Exchange](https://en.wikipedia.org/wiki/European_Power_Exchange) (cit. 17. 05. 2022).
- [25] *PXE burza - obchodní data*, Praha. URL: <https://pxe.cz/cs/derivatovy-trh/elektrina>.
- [26] *Hedge (finance) - Wikipedia*, 2022. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hedge\\_\(finance\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Hedge_(finance)) (cit. 17. 05. 2022).
- [27] *Home | EPEX SPOT*, 2022. URL: <https://www.epexspot.com/en> (cit. 17. 05. 2022).
- [28] J. Kindl, „parametry obchodu s ČEZ ESCO, soukromá prezentace,“ Plzeň, 2022.
- [29] *EU LEX 92*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31996L0092>.
- [30] *EU LEX 54*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=celex:32003L0054>.
- [31] *EU LEX CACM GL*. URL: [https://www.eru.cz/documents/10540/463068/2015\\_1222/e093d624-3cfb-46e9-a3a4-da31982c22ac](https://www.eru.cz/documents/10540/463068/2015_1222/e093d624-3cfb-46e9-a3a4-da31982c22ac).
- [32] *EU LEX FCA GL*. URL: [https://www.eru.cz/documents/10540/463068/2016\\_1719/1b699dff-8665-4d9a-80a8-ed4f6687232a](https://www.eru.cz/documents/10540/463068/2016_1719/1b699dff-8665-4d9a-80a8-ed4f6687232a).
- [33] *EU LEX EB GL*. URL: [https://www.eru.cz/documents/10540/463068/2017\\_2195/58e6ee8d-b44e-40ed-b74b-3f3bf4ba7192](https://www.eru.cz/documents/10540/463068/2017_2195/58e6ee8d-b44e-40ed-b74b-3f3bf4ba7192).
- [34] *ERU ramcove pokyny a sitove kodexy*. URL: <https://www.eru.cz/ramcove-pokyny-a-sitove-kodexy>.
- [35] *hodnota emisního faktoru| MPO*.

## Příloha

**Tabulka 11** Parametry krátkodobých trhů

	<b>Denní trh</b>	<b>Vnitrodenní trh</b>
forma trhu	denní aukce	kontinuální párování
obchodní perioda	1 hod.	1 hod.
minimální množství	0,1 MWh	0,1 MWh
maximální množství	99 999 MWh	999 MWh
množstevní krok	0,1 MWh	0,1 MWh
měna obchodování	EUR	EUR
minimální cena	-500 EUR/MWh	-9 999 EUR/MWh
maximální cena	4 000 EUR/MWh	9 999 EUR/MWh
cenový krok	0,01 EUR/MWh	0,01 EUR/MWh
nulová cena	ANO	ANO
čas otevření trhu	neomezené	15:00 D-1
čas uzavření trhu	12:00 D-1	H-5 minut