

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta Elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Využití bateriových systémů pro poskytování Podpůrných služeb

Use of battery storage systems for providing System services

diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Michal Šváb (ENACO, s.r.o.)

Bc. Daniel Havlík

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Havlík** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **406235**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití bateriových systémů pro poskytování Podpůrných služeb

Název diplomové práce anglicky:

Use of battery storage systems for providing System services

Pokyny pro vypracování:

- bateriové systémy pro akumulaci energie
- principy Podpůrných služeb (PpS) v ČR
- technickoekonomická analýza nasazení akumulčních bateriových systémů pro PpS
- návrh bateriového systému pro poskytování Podpůrných služeb
- ekonomické zhodnocení navrženého systému

Seznam doporučené literatury:

Kodex provozování Přenosové soustavy, ERÚ, rev.14/2015
Technology Roadmap: Energy Storage, International Energy Agency, 2014
Energy Storage - Cracking the Code, EVEROZE, 2016
Energy Storage - The Basics, Scotisch Renewables, 2015

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Michal Šváb, katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **17.02.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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 _____

_____ podpis

Poděkování

Děkuji především poradenskému týmu ENACO s.r.o., jmenovitě vedoucímu práce Ing. Michalu Švábovi, Ing. Aleši Popelkovi a Ing. Václavu Járkovi za pomoc při výběru tématu a za odbornou podporu při jeho zpracování, jakožto i za poskytnutí cenného firemního „know-how“. Dále bych chtěl poděkovat svým blízkým za jejich trpělivost a podporu v období zpracování této diplomové práce.

Abstrakt

S běžnými bateriemi se dnes setkáváme během našich každodenních životů. O existenci velkých bateriových systémů pro průmyslové použití už pak ví málokdo, natož ještě o jejich praktickém a ekonomicky racionálním využití. Cílem této práce je demonstrovat právě praktické využití, v dnešní době stále častěji diskutovaných, bateriových systémů pro akumulaci elektrické energie na území České republiky. V tomto směru je Česká republika vůči zbytku světa poněkud pozadu, přitom projekty, kde by velké bateriové systémy našly uplatnění existují a jak se v této práci dočtete, i bez jakýchkoliv dotací jsou ekonomicky návratné a velmi atraktivní.

Abstract

We encounter conventional batteries during our daily lives. But only a few of us knows about existence of large battery systems for industrial purposes, let alone about their practical and economically rational use. The goal of this thesis is to demonstrate the practical usage of, nowadays increasingly discussed, battery systems pro electrical energy accumulation in the Czech Republic. Czech Republic is quite falling behind despite of the are projects where large battery systems could be used and as you will find out in this thesis, they are economically recoverable a very attractive even without any subsids.

Klíčová slova

Baterie, bateriový systém, akumulace elektrické energie, Podpůrné služby, poskytování Podpůrných služeb.

Key words

Batteries, battery system, accumulation of electricity, System services, System services providing.

Seznam zkratek a symbolů

LDS – lokální distribuční soustava
SyS – Systémové služby
PpS – Podpůrné služby
ERÚ – Energetický regulační úřad
PS – přenosová soustava
ES ČR – energetická soustava České republiky
OH – obchodní hodina
OTE – Operátor trhu s elektřinou
OPM – odběrné předávací místo
SZ – subjekt zúčtování
SyO – Systémová odchylka
ÚT – účastník trhu
RE – regulační energie
VT – Vyrovnávací trh s elektřinou
ES – elektrizační soustava
DT PpS – denní trh s PpS
VŘ – výběrové řízení
PR – primární regulace frekvence bloku
SR – sekundární regulace výkonu bloku
MZ5 – minutová záloha 5-minutová
MZ15+ – minutová záloha 15-minutová kladná
MZ15- – minutová záloha 15-minutová záporná
SV30 – snížení výkonu
SRUQ – sekundární regulace U/Q
OP – schopnost ostrovního provozu
BS – start ze tmy
RZPR – regulační záloha Primární regulace
RZSR – regulační záloha Sekundární regulace
RZMZt – regulační záloha Minutové zálohy
RZSV30 – regulační záloha Snížení výkonu

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: LEGISLATIVNÍ RÁMEC KODEXU PS [3]	17
OBRÁZEK 2: PRŮBĚH OBCHODOVÁNÍ NA VYROVNÁVACÍM TRHU - PRO JEDNU OBCHODNÍ HODINU. [9]	20
OBRÁZEK 3: VZÁJEMNÉ VZTAHY SUBJEKTŮ PŘI CERTIFIKACI PPS. [4]	21
OBRÁZEK 4: VÝVOJ CEN ZA POSKYTOVÁNÍ REGULAČNÍ ZÁLOHY.	24
OBRÁZEK 5: GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ BILANCE Kladné RE PRO JEDNOTLIVÉ TÝDNY ROKU 2016.	26
OBRÁZEK 6: GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ BILANCE Záporné RE PRO JEDNOTLIVÉ TÝDNY ROKU 2016.	26
OBRÁZEK 7: VYUŽITÍ BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ VE SVĚTĚ. [1]	31
OBRÁZEK 8: ČASOVÝ PŘEHLED INSTALACÍ V EVROPĚ. [1]	31
OBRÁZEK 9: INSTALACE 15 MW LITHIUM-IONTOVÉHO BATERIOVÉHO SYSTÉMU NA ELEKTRÁRNĚ VE MĚSTĚ LÜNEN.	32
OBRÁZEK 10: INSTALACE PROTOTYPU 1,5 MW OLOVĚNÉHO BATERIOVÉHO SYSTÉMU V ALT DABERU V NĚMECKU.	33
OBRÁZEK 11: INSTALACE 250 kW ZINEK-BROMIDOVÉHO BATERIOVÉHO SYSTÉMU V SAN DIEGU V USA.	34
OBRÁZEK 12: INSTALACE 260 kW VANADIUM-REDOXOVÉHO BATERIOVÉHO SYSTÉMU V BIELEFELDU V NĚMECKU.	35
OBRÁZEK 13: ZÁKLADNÍ SCHÉMA TEPELNÉHO OBĚHU TEPLÁRNY.	39
OBRÁZEK 14: POSKYTOVÁNÍ MZ5.	41
OBRÁZEK 15: ZÁVISLOST POKLESU KAPACITY BATERIE NA POČTU CYKLŮ PRO TECHNOLOGII HR.	43
OBRÁZEK 16: ZÁVISLOST POKLESU KAPACITY BATERIE NA POČTU CYKLŮ PRO TECHNOLOGII LD.	43
OBRÁZEK 17: GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ZÁVISLOSTI NPV NA CENĚ REGULOVANÉ ZÁLOHY.	49
OBRÁZEK 18: GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ZÁVISLOSTI NPV NA KURZU CZK/EUR.	49

Seznam tabulek

TABULKA 1: PŘEHLED ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ VYBRANÝCH TECHNOLOGIÍ.	13
TABULKA 2: CENY ZA POSKYTOVÁNÍ REGULAČNÍ ZÁLOHY.	24
TABULKA 3: PARAMETRY LITHIOVÉHO BATERIOVÉHO SYSTÉMU – LÜNEN.	32
TABULKA 4: PARAMETRY BATERIOVÉHO SYSTÉMU – ALT DABER.	33
TABULKA 5: PARAMETRY BATERIOVÉHO SYSTÉMU – ALT DABER.	34
TABULKA 6: PARAMETRY VANADIUM-REDOXOVÉHO BATERIOVÉHO SYSTÉMU V BIELEFELDU V NĚMECKU.	35
TABULKA 7: ZÁKLADNÍ PARAMETRY KOTLŮ K5 A K6.	37
TABULKA 8: PARAMETRY TURBOSOUSTRŮJ TG3.	38
TABULKA 9: PARAMETRY MOTOR-GENERÁTOROVÝCH JEDNOTEK PM1 AŽ PM4 (100 % ZATÍŽENÍ).	38
TABULKA 10: PARAMETRY PAROGENERÁTORŮ HRSG1 AŽ HRSG4 (JMENOVITÝ PROVOZ).	38
TABULKA 11: PARAMETRY BATERIOVÉHO SYSTÉMU.	44
TABULKA 12: INVESTIČNÍ NÁKLADY PROJEKTU.	45
TABULKA 13: VSTUPNÍ PARAMETRY TECHNICKÉ ČÁSTI MODELU.	47
TABULKA 14: VÝSTUPNÍ PARAMETRY TECHNICKÉ ČÁSTI MODELU.	47
TABULKA 15: CENOVÉ POLOŽKY PRO OHODNOCENÍ PROVOZNÍCH NÁKLADŮ A VÝNOSŮ.	47
TABULKA 16: PŘEHLED PROVOZNÍCH NÁKLADŮ PROJEKTU.	48
TABULKA 17: PŘEHLED VÝNOSŮ PROJEKTU.	48
TABULKA 18: VÝSLEDNÉ EKONOMICKÉ UKAZATELE PRO HODNOCENÍ PROJEKTU.	48

Obsah

1	ÚVOD.....	10
1.1	CÍLE PROJEKTU.....	10
1.2	VÝZNAM PRÁCE	10
2	BATERIOVÉ SYSTÉMY	11
2.1	TECHNOLOGIE BATERÍ.....	11
2.1.1	<i>Olověné baterie</i>	11
2.1.2	<i>Lithiové baterie</i>	11
2.1.3	<i>Vanadium – redoxové baterie</i>	11
2.1.4	<i>Zinek – bromidové baterie</i>	12
2.2	BATERIOVÝ SYSTÉM OBECNĚ	14
2.2.1	<i>Základní parametry bateriových systémů</i>	14
2.2.2	<i>Další parametry bateriových systémů</i>	14
2.3	VYUŽITÍ BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ	15
2.3.1	<i>Obecný přehled potenciálu nasazování bateriových systémů</i>	15
2.3.2	<i>Praktické příklady využití</i>	15
3	PODPŮRNÉ A SYSTÉMOVÉ SLUŽBY V ČR	17
3.1	KODEX PS.....	17
3.2	SYSTÉMOVÉ SLUŽBY (SYS).....	18
3.3	ODCHYLKY A JEJICH VYROVNÁVÁNÍ, REGULAČNÍ ENERGIE	18
3.3.1	<i>Definice odchyly</i>	18
3.3.2	<i>Systémová odchyly (SyO)</i>	19
3.3.3	<i>Regulační energie (RE)</i>	19
3.4	PODPŮRNÉ SLUŽBY (PPS)	21
3.4.1	<i>Primární regulace frekvence bloku (PR)</i>	22
3.4.2	<i>Sekundární regulace výkonu bloku (SR)</i>	22
3.4.3	<i>Minutová záloha (MZt) (t = 5 popř. 15 minut)</i>	22
3.4.4	<i>Snížení výkonu (SV30)</i>	23
3.4.5	<i>Sekundární regulace U/Q (SRUQ)</i>	23
3.4.6	<i>Schopnost ostrovního provozu (OP)</i>	23
3.4.7	<i>Schopnost startu ze tmy (BS)</i>	23
3.5	CENY ZA POSKYTOVÁNÍ PODPŮRNÝCH SLUŽEB.....	23
3.5.1	<i>Platba za regulovanou zálohu</i>	24
3.5.2	<i>Platba za regulační energii</i>	25
3.6	ANALÝZA REGULAČNÍ ENERGIE	25
4	NASAZENÍ BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ V PODPŮRNÝCH SLUŽBÁCH	27
4.1	BATERIOVÉ SYSTÉMY PRO PPS	27
4.1.1	<i>Primární regulace</i>	27
4.1.2	<i>Sekundární regulace</i>	28
4.1.3	<i>Minutová záloha MZ5, MZ15+ a MZ15-</i>	28
4.1.4	<i>Snížení výkonu</i>	29
4.1.5	<i>Sekundární regulace U/Q</i>	29
4.1.6	<i>Schopnost ostrovního provozu</i>	29
4.1.7	<i>Start ze tmy</i>	30
4.2	NASAZENÍ BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ VE SVĚTĚ	30
4.2.1	<i>Aplikace lithiového bateriového systému</i>	32
4.2.2	<i>Aplikace olověných baterií</i>	33
4.2.3	<i>Aplikace zinek-bromidových baterií</i>	34
4.2.4	<i>Aplikace vanadium-redoxové baterie</i>	35
4.3	PŘEDPOKLADY PRO NASAZENÍ BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ V ČR	36

5	NÁVRH BATERIOVÉHO SYSTÉMU	37
5.1	POPIS TEPLÁRNY	37
5.1.1	<i>Technický popis</i>	37
5.1.1.1	Kotle a turbosoustrojí.....	37
5.1.1.2	Plynové motory a parogenerátory	38
5.1.2	<i>Vyvedení tepelného výkonu</i>	39
5.1.3	<i>Vyvedení elektrického výkonu</i>	39
5.2	PRINCIP PROVOZOVÁNÍ SYSTÉMU.....	40
5.2.1	<i>Cíle projektu</i>	40
5.2.2	<i>Význam akumulace elektřiny</i>	40
5.3	PARAMETRY NAVRHOVANÉHO SYSTÉMU	40
5.3.1	<i>Výkon bateriového systému</i>	41
5.3.2	<i>Kapacita bateriového systému</i>	41
5.3.3	<i>Výběr vhodné technologie akumulace</i>	42
5.3.4	<i>Životnost bateriového systému</i>	42
5.3.4.1	Křivky poklesu životnosti.....	42
5.4	VYTVORENÍ POPTÁVKY A VÝBĚR DODAVATELE	44
5.5	TECHNICKÉ PARAMETRY VYBRANÉHO BATERIOVÉHO SYSTÉMU	44
6	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	45
6.1	OBECNÝ POPIS HODNOCENÍ.....	45
6.2	IDENTIFIKACE VSTUPŮ	45
6.2.1	<i>Investiční náklady</i>	45
6.2.2	<i>Provozní náklady</i>	45
6.2.2.1	Servis	45
6.2.2.2	Náklady na dobíjení baterií	46
6.2.2.3	Rezervní fond	46
6.2.2.4	Ostatní náklady	46
6.2.3	<i>Výnosy</i>	46
6.3	TECHNICKO-EKONOMICKÝ MODEL.....	46
6.3.1	<i>Technická část</i>	47
6.3.2	<i>Ekonomická část</i>	47
6.4	ZHODNOCENÍ PROJEKTU	48
6.5	CITLIVOSTNÍ ANALÝZA	49
6.5.1	<i>Cena regulační zálohy</i>	49
6.5.2	<i>Změna kurzu</i>	49
6.6	ANALÝZA RIZIK.....	50
6.6.1	<i>Technická rizika</i>	50
6.6.2	<i>Systémová rizika</i>	50
6.6.3	<i>Finanční rizika</i>	50
7	ZÁVĚR.....	51
7.1	SHRnutí PROJEKTU.....	51
7.2	SHRnutí DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	51
7.3	REálný VÝZNAM ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	51

1 ÚVOD

Jak již napovídá název práce, budu se věnovat využití bateriových systémů pro poskytování Podpůrných služeb (PpS) v ČR. Více o podpůrných službách v kapitole 3.4.

Pojem bateriový systém není prozatím zakotven v energetické legislativě, proto je nutné podotknout, že při tvorbě této práce vycházím z aktuálně platné legislativy.

1.1 Cíle projektu

V praktické části své práce se budu věnovat návrhu bateriového systému pro skutečnou praxi. Návrh bateriového systému, který bude primárním výstupem této práce, bude současně hlavním vstupem pro řešení reálného projektu řešeného společností ENACO, s.r.o., která je zadavatelem této diplomové práce.

Konkrétně se jedná o projekt návrhu bateriového systému pro poskytování Podpůrných služeb a pro podporu současné parní turbíny v teplárenském provozu, který zásobuje teplem nedaleké město a v rámci vlastní lokální distribuční soustavy (dále jen LDS) dodává svým odběratelům teplo a elektrickou energii. Teplárna je připojena do regionální distribuční soustavy společnosti E.ON Distribuce, a.s. Bližší, netechnický, popis teplárny není pro tuto práci důležitý a s ohledem na zajištění anonymity zadavatele projektu se mu nebudu věnovat. Související technický popis situace bude uveden v příslušné kapitole 5.1.

Hlavním cílem projektu je tedy navrhnout takový bateriový systém, který umožní v součinnosti se současnou parní turbínou poskytování vybrané Podpůrné služby. Důležitými parametry bude nejen výběr vhodné technologie baterií, ale také volba optimální Podpůrné služby.

1.2 Význam práce

Samotná práce má ale význam v mnohem širším měřítku než pouze pro jeden konkrétní projekt. V České republice v energetické legislativě není zaveden pojem bateriový systém. Možnostmi využití těchto systémů pro poskytování Podpůrných služeb se doposud subjekty působící na poli energetiky zabývaly pouze ve značně omezené míře. Při současném trendu nasazování nepredikovatelných obnovitelných zdrojů energie mají bateriové systémy vzrůstající smysl, a to i v jiných oblastech než pouze Podpůrné služby.

2 BATERIOVÉ SYSTÉMY

V této kapitole se budu věnovat teorii týkající se bateriových systémů. Věnovat se budu jednotlivým technologiím baterií, bateriovým systémům obecně a také praktickým využitím těchto systémů.

2.1 Technologie baterií

Baterií na trhu existuje nepřeberné množství. Pro účely této práce má však smysl zabývat se pouze těmi technologiemi, které mají možné uplatnění v přenosových a distribučních soustavách. Podrobnější popis tedy bude věnován pouze těmto vybraným technologiím. Zároveň také není žádoucí věnovat se detailnímu technickému popisu, nýbrž spíše shrnutí vývoje, možností a využitelnosti technologií. Detailnější přehled technických parametrů vybraných typů bateriových systémů bude uveden na konci této kapitoly.

2.1.1 Olověné baterie

Olověné baterie jsou nejstarší technicky dobře zvládnutou bateriovou technologií. Již od počátku uvedení této technologie do provozu jsou olověné akumulátory využívány v trakci, záložních systémech elektráren, UPS jednotkách apod.

V oblasti energetiky ale zatím tato technologie není hojně využívána. Na vině jsou především malé nabíjecí proudy, které jsou akumulátory schopny zvládat a nízká životnost, resp. nízký počet nabíjecích/vybíjecích cyklů (viz kapitola 2.2.2).

V současné době můžeme pozorovat velký rozvoj olověných akumulátorů. Tento vývoj je pravděpodobně zapříčiněn velkou poptávkou po akumulátorech pro akumulaci elektřiny z obnovitelných zdrojů, a to především menších výkonů, neboť pro takového aplikace jsou jiné bateriové technologie výrazně nákladnější.

2.1.2 Lithiové baterie

Baterie na bázi lithia se rozvíjí zejména v posledních 20 letech. Masově jsou nasazovány v přenosných zařízeních, jako jsou například mobilní telefony, ale i notebooky nebo třeba v poslední době oblíbené „powerbanky“. Způsob využití lithia je různý, a proto narážíme i na různé technologie lithiových baterií, dnes nejčastěji Lithium-ion, Lithium polymer či třeba LiFePO_4 .

Různé technologie využití lithia mají své výhody a nevýhody, obecně však můžeme říci, že baterie na bázi lithia disponují 3 – 5 krát více cykly (tedy větší životností) než baterie olověné. Rovněž nabíjecí a vybíjecí proudy dosahují mnohem vyšších hodnot, což činí z lithiových baterií ideální technologii pro využití v energetice.

Využití výše uvedených výhod je patrné i z prozatímních skutečných instalací v reálné praxi. Ve světě jsou instalovány systémy o výkonech přibližně 1 – 100 MW [1].

2.1.3 Vanadium – redoxové baterie

Vanadium – redoxové baterie jsou na rozdíl od klasických olověných baterií typickým představitelem poměrně nové technologie. Jejich rozvoj můžeme pozorovat v posledních několika letech. Oproti klasickým technologiím mají zcela odlišnou technologickou strukturu. Baterie se sestávají ze dvou nádrží, přičemž v obou jsou umístěny různé elektrolyty. Čerpáním těchto elektrolytů do elektrochemického článku dochází k elektrochemickým procesům, zjednodušeně k nabíjení či vybíjení. Kapacita těchto baterií je dána velikostí nádrží pro elektrolyt a výkon je dán velikostí a typem elektrochemického článku.

Nespornou výhodou těchto baterií je fakt, že při elektrochemických procesech nedochází k degradaci elektrolytu a životnost baterií využívajících této technologie tak dosahuje 10 – 15 násobně většího počtu cyklů než lithiové baterie. Je nutné dodat, že přesto, že elektrolyt neztrácí na hodnotě a lze jej po ukončení provozu baterie většinou prodat (většinou přímo výrobci), tvoří elektrolyt pouze 1/3 ceny celého akumulátoru. Nevýhodou vanadium – redoxové technologie je také nižší celková účinnost systému.

V současné době je tato technologie využívána především pro akumulaci energie z obnovitelných zdrojů. [1]

2.1.4 Zinek – bromidové baterie

Tato technologie je v podstatě obdobou vanadium – redoxové technologie. Rozdíl je zde pouze v materiálu elektrolytu, který u této technologie využívá bromid zinečnatý. Technologie se opět podobně jako technologie vanadium – redoxová vyznačuje vysokými investičními nároky.

V současné době není tato technologie masově nasazována a její využití je prozatím v řádech kW systémů. [1]

Parametry	Olověná baterie	Lithiová baterie	Vanadium-redoxová baterie	Zinek-bromidová baterie
<i>Vybíjecí výkon</i>	řádově 1 MW	řádově 1 MW	řádově 0,1 MW	řádově 0,1 MW
<i>Nabíjecí výkon</i>	až 10 x menší než nabíjecí	řádově 1 MW	řádově 0,1 MW	řádově 0,1 MW
<i>Kapacita baterií</i>	řádově 1 MWh	řádově 1 MWh	řádově 1 MWh	řádově 1 MWh
<i>Počet cyklů</i>	< 3000 (závisí na hloubce vybití)	7 000 - 10 000	10 000 - 100 000	2 000 - 3 000
<i>Účinnost</i>	70 - 85 %	92 - 98 %	70 - 82 %	72 - 85 %
<i>Životnost</i>	5 - 15 let	10 - 20 let	10 - 20 let	10 - 15 let
<i>Hloubka vybití</i>	< 100%	100%	100%	100%
<i>Cena</i>	nízká	mírně vyšší	vysoká	vysoká
<i>Využití</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trakce ▪ UPS ▪ Automobily ▪ Podpora OZE 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Přenosná zařízení ▪ Elektromobily ▪ Regulace frekvence ▪ Podpora OZE 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Záložní zdroje ▪ Podpora OZE 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Podpora OZE
<i>Výrobci</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Johnson Controls ▪ HOPPECKE ▪ Vatra ▪ Exide GNB ▪ další ... 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ LG Chem ▪ Toshiba ▪ Kokam ▪ Samsung ▪ další ... 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Imergy Power Systems ▪ GILDEMEISTER 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redflow Energy Storage Solutions

Tabulka 1: Přehled základních parametrů vybraných technologií.

2.2 Bateriový systém obecně

Bateriový systém se samozřejmě nesestává pouze ze samotných baterií. Celý systém je mnohem komplexnější a obsahuje zejména výkonovou a řídicí elektroniku. V současné době jsou bateriové systémy dodávány jako komplexní jednotky již vybavené touto elektronikou. Bateriové systémy jsou povětšinou modulární, dodavatelé většinou systémy skládají z jednotlivých komponent a prodávají je jako celek. Někteří velcí výrobci vyrábějí všechny komponenty vlastními silami, ale princip dodávky systému jako celku je i zde zachován. V elektrotechnické praxi se většinou nevyužívají jednotlivé komponenty, a to především proto, že na systém jako celek bývá dodavatelem poskytována záruka, případně koupě zahrnuje i servis technologického celku.

2.2.1 Základní parametry bateriových systémů

Základními parametry bateriových systémů jsou výkon a kapacita. Výkonem je v tomto případě myšlen výstupní výkon, a to výstupní výkon celého systému, tedy na výstupu střídače či střídačů. Kapacitou je pak myšlena přímo kapacita technologického celku baterií.

Protože některé technologie nedovolují vybití baterií na nulovou hodnotu, je nutné si při volbě bateriového systému ověřit, zda je kapacita uváděna se zahrnutím minimální, popřípadě maximální hladiny nabití, či nikoliv.

Od těchto dvou parametrů se v praxi odvíjí cena systémů, ale také například cena servisu. Jedná se tedy o dvě proměnné, které mají zásadní vliv na koncové využití systémů z hlediska technického i ekonomického. Při správném postupu návrhu bateriového systému je tedy nutné vhodně dimenzovat především tyto dva základní parametry.

2.2.2 Další parametry bateriových systémů

Mezi další parametry bateriových systémů patří životnost. Ta je uváděna v počtu nabíjecích/vybíjecích cyklů, které jsou baterie schopny poskytnout bez zásadního dopadu do deklarovaných vlastností baterie (výkon, kapacita). Cyklem je většinou myšleno jedno plné nabití a vybití. Konkrétní definice cyklu se ale může lišit dle výrobce či dodavatele systému. Zároveň nesmíme opomenout také životnost střídačů, které jsou z hlediska životnosti spolu se samotnými bateriemi, v důsledku opotřebení výkonových součástí, kritickými komponenty systému.

Pokud není bateriový systém využíván v plném rozsahu své kapacity, resp. je využívána pouze část kapacity baterie, zvyšuje se životnost baterií v důsledku nižšího počtu cyklů. Z tohoto důvodu je vhodné zohlednit při návrhu bateriového systému také předpokládanou úroveň cyklování, za určitých podmínek se může vyplatit nasazení systému s větší kapacitou, než jaká bude v praxi využívána.

Přesto, že se nejedná o prokázaný fakt, setkáváme se v praxi u baterií s takzvaným „paměťovým efektem“. Ten je možné popsat jako pokles využitelné kapacity baterie v důsledku dlouhodobého nevyužívání plné kapacity. Paměťový efekt lze eliminovat tzv. formátováním baterie, tedy jejím hlubokým vybitím a následným plným nabitím.

K životnosti baterie ve formě dostupných cyklů se váže další parametr a tím je účinnost. Opět se setkáváme s rozdílným pojetím definice účinnosti nabíjení a vybíjení a záleží na technické specifikaci konkrétního systému. Povětšinou je v technických podkladech výrobců udávána účinnost cyklu, tedy plného nabití a hlubokého vybití baterií, která ve většině případů zahrnuje i ostatní komponenty systému, tedy ztráty v systému či například účinnost střídače.

Dalším parametrem bateriového systému, který má ještě pro účely této práce smysl uvádět je úroveň nabití. V praxi se snažíme bateriový systém provozovat s co možná nejvyšší stálou úrovní nabití, čímž se zvyšuje životnost baterií.

Konkrétní křivky a charakteristiky parametrů bateriového systému budou uvedeny v příslušné kapitole (5.3.4.1), neboť jak již bylo řečeno, jsou závislé na konkrétní technologii baterií a výrobci systému.

2.3 Využití bateriových systémů

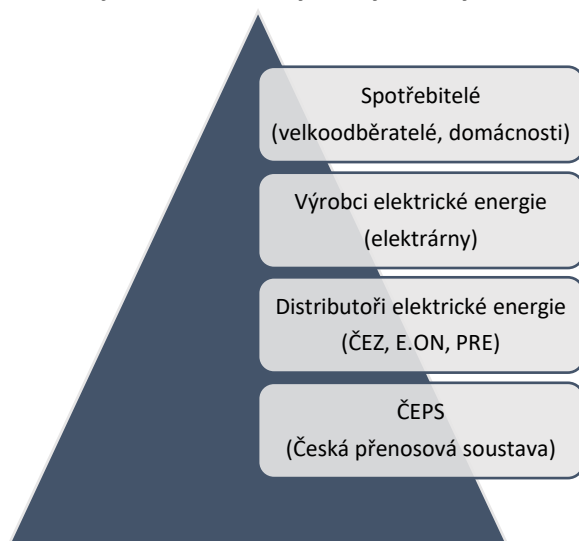
Bateriové systémy mají mnoho různých variant využití. Záleží především na tom, kde je bateriový systém v elektrizační soustavě situován. Zda se nachází přímo v přenosové soustavě, nebo naopak na samém konci ES, u konečného zákazníka. Baterie mají v každém místě soustavy svá specifická využití. Běžné oblasti potenciálu nasazování bateriových systémů jsou přehledně obsaženy v následujícím obecném přehledu.

2.3.1 Obecný přehled potenciálu nasazování bateriových systémů

Pokud se ptáme na obecné využití bateriových systémů, měli bychom si pokládat dvě základní otázky. Komu je systém určen a jaký je předpokládaný účel využití systému. Obecně lze bateriový systém využívat i pro více činností či služeb najednou, což se ale odvíjí od vlastností konkrétního systému.

Následuje schématický přehled obecného využití bateriových systémů.

Komu jsou bateriové systémy určeny?



Jaké mají využití?

Řízení frekvence v reálném čase

- Poskytování primární regulace - reakční doba méně než 1 s
- Řízení frekvence uvnitř firmy - spolehlivost a kvalita dodávky

Energetická rezerva

- Záloha sítě - například 50 MW do 2 minut
- Pokrytí špičkové spotřeby - snížení rezervovaného příkonu
- Minimalizace využití vysokého tarifu - snížení nákladů

Obnovitelné zdroje

- Pokrytí spotřeby v době nevýroby
- Uložení přebytečné energie v době přebytku

Obchod s elektrickou energií

- Nákup energie mimo špičku a prodej ve špičce

Podpora primárních zdrojů

- Zvýšení mobility točivých zdrojů elektrické energie
- Start ze tmy

2.3.2 Praktické příklady využití

V praxi by pak mohl bateriový systém mít například některé z následujících konkrétních využití. Přičemž mé práce se týká poslední bod – podpora konvenčních zdrojů elektřiny.

Konkrétní příklady využití:

- **Bateriový systém na úrovni distribuční sítě sloužící pro primární regulaci frekvence.**
 - ✓ Řízení frekvence v reálném čase.
 - ✓ V případě využití vlastníkem přenosové soustavy podstatné snížení nákladů na nákup síťových služeb.
 - ✗ Nutnost dobíjení baterií – omezení častého využívání.
- **Bateriový systém jako energetická rezerva na úrovni velkoobtěratele.**
 - ✓ Záloha pro případ výpadku ES.
 - ✓ Možnost startu ze tmy (v kombinaci s konvenčním zdrojem).
 - ✓ Pokrytí špičkové spotřeby – snížení rezervovaného příkonu, resp. rezervované kapacity.
 - ✗ Cena velkých bateriových systémů.
- **Bateriový systém ve spojení s FV panely pro domácnosti.**
 - ✓ Uložení přebytečné energie z FV panelů a její pozdější využití v době nevýroby = možno dimenzovat na maximální efektivitu využití energie z FV systému.
 - ✓ Minimalizace spotřeby ve vysokém tarifu = snížení nákladů.
 - ✗ Prozatím poměrně nízká návratnost investic do baterií.
- **Vysokokapacitní bateriový systém pro využití na trhu s elektřinou.**
 - ✓ Možnost dobíjení = nákupu energie mimo špičku a vybíjení = prodej energie ve špičce.
 - ✗ Vysoká investice.
- **Bateriový systém jako podpora konvenčních zdrojů elektřiny.**
 - ✓ Zvýšení mobility (rychlost najetí bloku, regulace) dodávaného výkonu.
 - ✓ Možnost startu ze tmy – najetí pomocí baterií.

3 PODPŮRNÉ A SYSTÉMOVÉ SLUŽBY V ČR

Tato práce je cílena na analýzu využití bateriových systémů pro poskytování Podpůrných služeb (PpS), které jsou v ČR využívány pro zajišťování odpovídající úrovně Systémových služeb (SyS). Zajišťování Systémových služeb je v ČR úkolem státem vlastněné společnosti ČEPS, a.s. Podrobnější rozbor činností ČEPS, a.s. nesouvisející se zajišťováním Podpůrných a Systémových služeb by byl z pohledu této práce bezpředmětný.

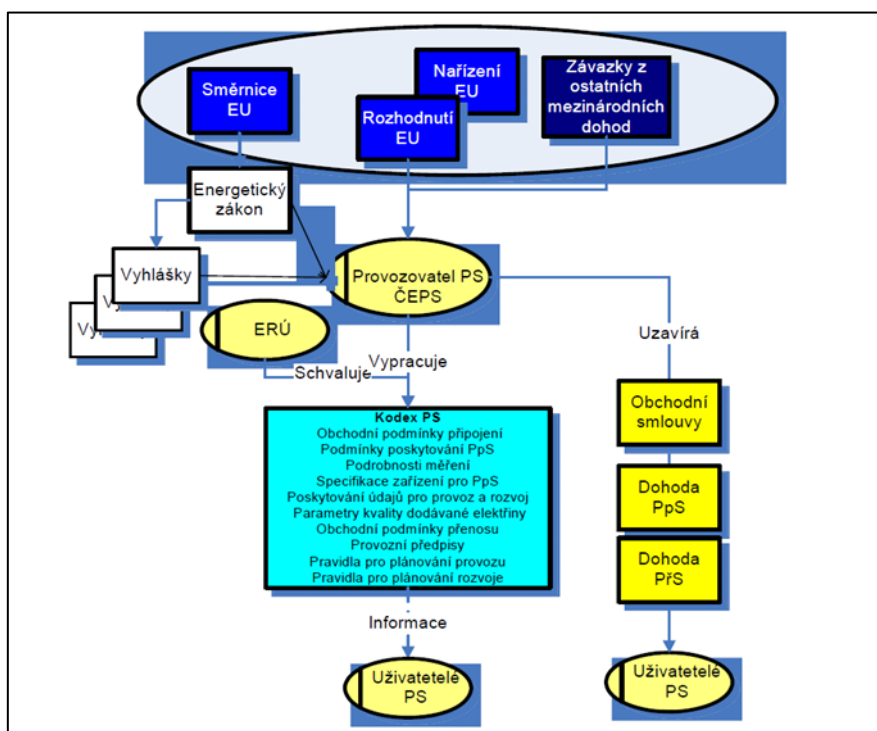
3.1 Kodex PS

ČEPS se při zajišťování Systémových služeb řídí především Kodexem PS, který je dostupný na internetových stránkách společnosti [2].

Kodex PS je členěn na 8 částí, přičemž pro účely této práce jsou důležité především první tři části. [3][4][5]:

- I. **Základní podmínky pro užívání přenosové soustavy**
- II. **Podpůrné služby (PpS)**
- III. **Poskytování Systémových a přenosových služeb**
- IV. Plánování rozvoje PS
- V. Bezpečnosti provozu a kvalita na úrovni PS
- VI. Dispečerské řízení
- VII. Zařízení PS
- VIII. Standardy PS

Kodex je navrhován přímo společností ČEPS, a.s. a to na základě nařízení a rozhodnutí EU a na základě Energetického zákona. Následně je Kodex schvalován Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). Lepší přehled o legislativním rámci Kodexu PS poskytne následující obrázek převzatý přímo z Kodexu [3].



Obrázek 1: Legislativní rámec Kodexu PS [3]

3.2 Systémové služby (SyS)

Dle Kodexu PS je definice Systémových služeb následující:

„ČEPS, a.s. odpovídá za zajištění systémových služeb pro elektrizační soustavu na úrovni přenosové soustavy podle Energetického zákona. Systémové služby, které poskytuje, slouží k zajištění bezpečného a spolehlivého provozu přenosové soustavy (PS), kvality přenosu elektrické energie a k zajištění požadavků pro provoz energetické soustavy ČR (ES ČR) vyplývajících z mezinárodní spolupráce v rámci ENTSO-E“ [3]

Za Systémové služby jsou dle Kodexu PS považovány následující činnosti:

- 1) Udržování kvality elektřiny
 - Udržování souhrnné výkonové zálohy pro primární regulaci frekvence
 - Sekundární regulace frekvence a výkonu
 - Terciální regulace napětí
 - Zajištění kvalit napěťové sinusovky
 - Zajištění stability přenosu
- 2) Udržování výkonové rovnováhy v reálném čase
 - Sekundární regulace frekvence a výkonu
 - Terciální regulace výkonu
 - Využití dispečerské zálohy
- 3) Obnovení provozu
 - Plán obnovy
 - Ostrovní provoz
 - Start ze tmy
- 4) Dispečerské řízení
 - Řízení propustnosti sítě
 - Zajišťování bezpečnosti provozu

Provozovatel přenosové soustavy, tedy ČEPS, nesmí v souladu s principy liberalizace energetického trhu dle energetického zákona [6] vlastnit jinou licenci než licenci na provozování přenosové soustavy. To znemožňuje ČEPSu budovat výrobní zařízení, kterými by mohl Systémové služby zajišťovat. K zajišťování Systémových služeb tak dochází aktivací podpůrných služeb (PpS) (kapitola 3.4).

3.3 Odchytky a jejich vyrovnávání, regulační energie

Pro dostatečný popis principu Podpůrných služeb, je nutné nejprve popsat princip fungování odchylek a jejich vyrovnávání. Vyhodnocováním, zúčtováním a vypořádáváním odchylek se zabývá operátor trhu s elektřinou OTE, a.s., což je akciová společnost založená státem, přičemž stát je zároveň jediným akcionářem. [7]

3.3.1 Definice odchylky

Samotná odchylka, vždy pro každou obchodní hodinu (OH), je pak dle Produktových listů OTE [8] definována jako součet rozdílu mezi skutečně dodaným a sjednaným množstvím elektrické energie a to jak pro dodávku, tak pro odběr pro každé předávací místo (OPM).

OTE jednotlivé odchylky se subjekty zúčtování vypořádává, a to za každou obchodní hodinu. Mechanismus vypořádávání odchylek je však mimo rámec zadání této diplomové práce, a proto se jím nebudu dále zabývat.

3.3.2 Systémová odchylka (SyO)

Součet všech kladných a záporných odchylek všech subjektů zúčtování (SZ) v dané obchodní hodině se nazývá Systémová odchylka. V tomto smyslu můžeme na Systémovou odchylku zjednodušeně nahlížet jako na celkovou odchylku ES ČR – pokud je SyO ES ČR kladná, znamená to, že v ES ČR je přebytek výkonu (převládá výroba/dodávka nad spotřebou), resp. pokud je SyO ES ČR záporná, znamená to nedostatek výkonu v ES ČR (převládá spotřeba nad výrobou/dodávkou). Subjekt zúčtování je účastník trhu (ÚT), který je současně odpovědný za svoji odchylku. Ne každý ÚT musí být SZ, odpovědnost za odchylku je přenositelná.

3.3.3 Regulační energie (RE)

Pro účely této práce je důležitým pojmem zejména Systémová odchylka. Ta je vyrovnávána nákupem regulační energie (RE), přičemž proces vyrovnávání SyO je již plně v kompetenci provozovatele přenosové soustavy (ČEPS, a.s.). [8]

ČEPS má tři možnosti obstarávání regulační energie pro pokrytí SyO, přičemž jsou dále uvedeny v pořadí podle priority jejich využívání:

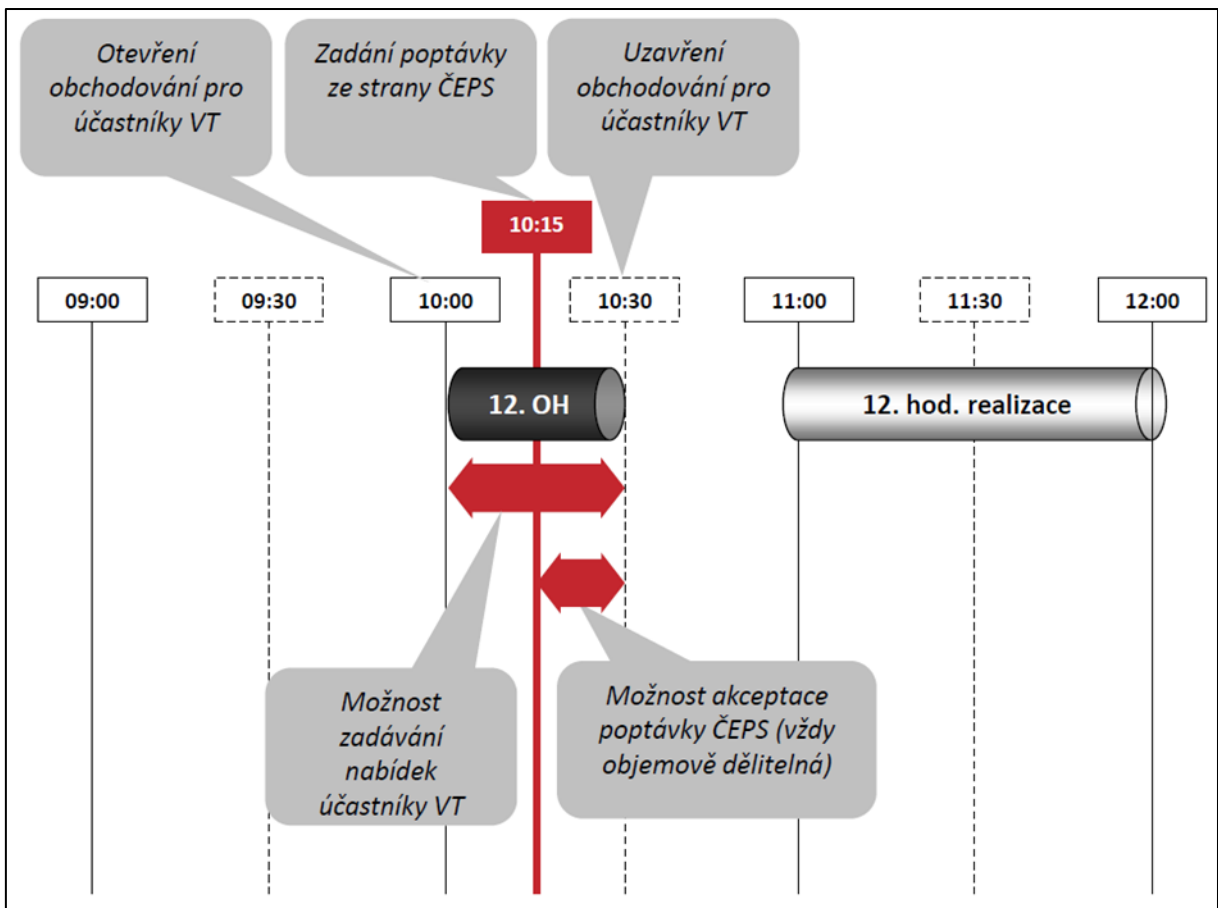
1. Nákup RE na Vyrovnávacím trhu (VT)
2. Aktivace podpůrných služeb (PpS)
3. Obstarávání RE ze zahraničí

ad 1) Nákup RE na Vyrovnávacím trhu [9]:

Vyrovnávací trh je provozován OTE ve spolupráci s ČEPS, přičemž ČEPS je zde jediným nakupujícím. Obchodována je pouze regulační energie. Obchodování je realizováno formou vývěsky na portále OTE, kam účastníci trhu vkládají nabídky, popřípadě realizují poptávky, které vyvěsil ČEPS.

Obchoduje se s regulační energií v jednotkách MWh s cenou v Kč/MWh. Obchodním intervalem je jedna obchodní hodina, přičemž trh se otevírá vždy 60 minut před danou OH a uzavírá se 30 minut před danou OH. Princip obchodování na VT lépe znázorňuje následující obrázek, který zobrazuje schéma obchodování pro jednu obchodní hodinu.

Reakce na poptávku je dělitelná – myšleno tak, že poskytovatel RE může obchodovat všechnu, nebo jen část energie vypsané v poptávce. Minimální obchodované množství energie je 1 MWh.



Obrázek 2: Průběh obchodování na Vyrovňovacím trhu - pro jednu obchodní hodinu. [9]

ad 2) Aktivace podpůrných služeb

Podpůrným službám bude věnována samostatná kapitola (3.4 Podpůrné služby (PpS)), protože se jedná o stěžejní část práce.

ad 3) Obstarávání RE ze zahraničí

Existují tři různé způsoby obstarávání RE za zahraničí, uvádím je v pořadí četnosti jejich využívání od nejvyužívanější po nejméně využívanou:

1. Přeshraniční dodávka (EregZ)

Pokud nastane stav, kdy je nutné obstarat RE ze zahraničí, je upřednostňována EregZ. Dodávka probíhá na základě smlouvy, kterou musí ČEPS se zahraničními subjekty uzavřít. Proces domluvy a schvalování dodávky ze strany zahraničního subjektu musí být dokončen nejpozději 30 minut před plánovanou dodávkou EregZ.

2. Havarijní výpomoc

Jedná se o vzájemnou dohodu mezi provozovateli přenosových soustav a v podstatě se jedná o jakési „sdílení“ rezerv některých PpS.

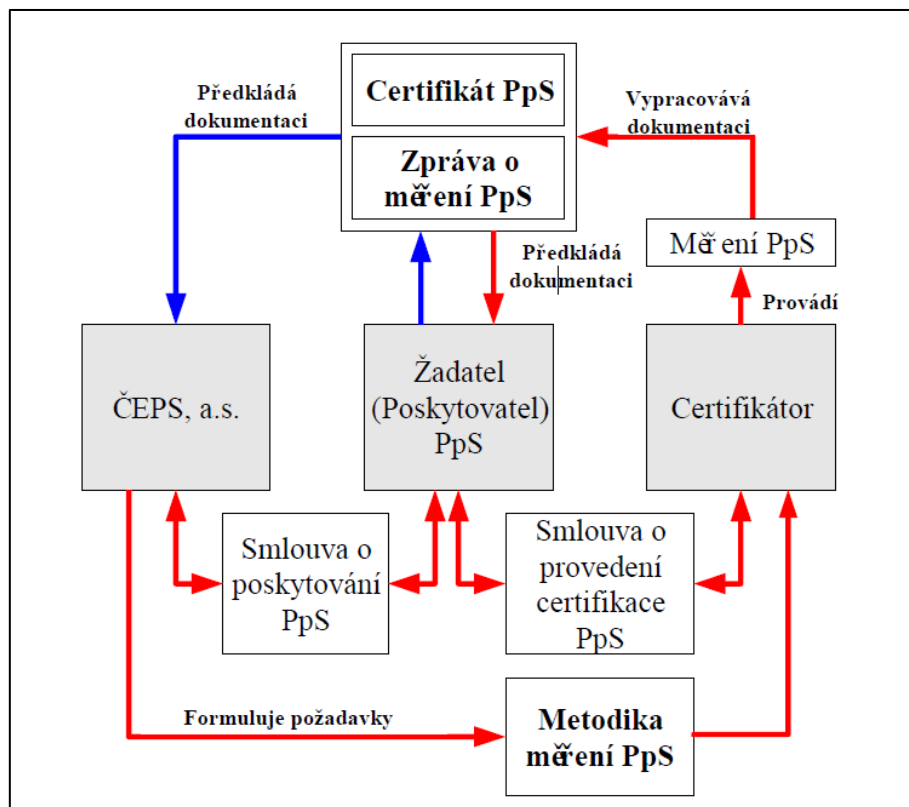
3. Vzájemné vyrovnání odchylek (Imbalance netting) [10]

Vzájemné vyrovnání odchylek je jakési „obchodní vzájemné vykrácení“ odchylek mezi provozovateli přenosových soustav. Tato možnost obstarávání RE ze zahraničí patří do skupiny činnosti ČEPS označované jako Grid Control Cooperation (GCC) – Imbalance netting.

3.4 Podpůrné služby (PpS)

Podpůrné služby jsou prostředkem provozovatele přenosové soustavy (ČEPS) pro zajištění Systémových služeb. Aktivací podpůrných služeb (s výjimkou Primární regulace frekvence bloku) dochází k dodávce regulační energie, čímž je vyrovnávána Systémová odchylka.

Podpůrné služby jsou nabízeny subjekty připojenými do elektrizační soustavy (ES), které mohou PpS nabízet po splnění technických a obchodních podmínek stanovených provozovatelem přenosové soustavy na základě certifikace.



Obrázek 3: Vzájemné vztahy subjektů při certifikaci PpS. [4]

Nákup PpS lze realizovat na volném trhu prostřednictvím denního trhu s PpS (DT PpS), prostřednictvím výběrového řízení (VŘ) či na základě přímé smlouvy s poskytovatelem PpS. Podle způsobu nákupu se pak PpS dělí do dvou kategorií.

Kategorie PpS nakupované na DT PpS či pomocí VŘ:

- primární regulace frekvence bloku (PR)
- sekundární regulace výkonu bloku (SR)
- minutová záloha 5-minutová (MZ5)
- minutová záloha 15-minutová kladná (MZ15+)
- minutová záloha 15-minutová záporná (MZ15-)
- snížení výkonu (SV30)

Kategorie PpS nakupované na základě přímé smlouvy s poskytovatelem:

- sekundární regulace U/Q (SRUQ)
- schopnost ostrovního provozu (OP)
- start ze tmy (BS)

3.4.1 Primární regulace frekvence bloku (PR)

Služba Primární regulace frekvence bloku je dle Kodexu ČEPS definována jako automatická funkce spočívající v přesné změně výkonu v závislosti na odchylce frekvence od jmenovité hodnoty, přičemž požadovaná změna výkonu se řídí následující rovnicí:

$$\Delta P = -\frac{100 P_n}{\delta f_n} \Delta f \quad (1)$$

, kde	ΔP	... požadovaná změna výkonu bloku (MW)
	δ	... statika primární regulace (%)
	P_n	... jmenovitý výkon bloku (MW)
	f_n	... jmenovitá frekvence (Hz)
	Δf	... odchylka frekvence od jmenovité (Hz)

Povinností poskytovatele této Podpůrné služby je zajistit uvolnění požadované regulační zálohy do 30 sekund od příchodu požadavku, resp. od vzniku odchylky.

Maximální možná regulační záloha (RZPR) poskytovaná v rámci jednoho výrobního bloku je 10 MW. Je tomu tak především z bezpečnostních důvodů, kdy snahou provozovatele přenosové soustavy je především snížení rizika výpadku bloku poskytujícího PR. Minimální možná regulační záloha je pak 3 MW, kde regulační zálohou je myšlen regulační rozsah, tedy - 3MW až + 3MW. [4]

3.4.2 Sekundární regulace výkonu bloku (SR)

PpS Sekundární regulace výkonu bloku je definována jako změna výkonu bloku dle požadavků regulátoru frekvence a dle salda výkonu.

Povinností poskytovatele této PpS je provést změnu výkonu nejpozději do 10 minut od příchodu požadavku.

Maximální možná regulační záloha (RZSR) poskytnutí v rámci jednoho bloku je 70 MW. Minimální je pak 10 MW na jeden výrobní blok. Minimální regulační rozsah pak činí - 10 MW až + 10 MW. Je rozlišována regulační záloha kladná (RZSR+) a záporná (RZSR-)

V souvislosti s touto službou je zavedena také minimální požadovaná rychlost změny výkonu výrobního bloku, ta je stanovena jako 2 MW/min. [4]

3.4.3 Minutová záloha (MZt) (t = 5 popř. 15 minut)

Minutová záloha je definována jako regulační záloha (RZMZt) poskytovaná výrobním blokem do t minut od požadavku provozovatele přenosové soustavy. Tato záloha je poskytována změnou výkonu na výstupních svorkách zařízení. Opět rozlišujeme regulační zálohu kladnou a zápornou.

Regulační záloha kladná (RZMZt+) může dle Kodexu ČEPS být realizována například následujícími způsoby:

- zvýšení výkonu bloku
- odpojení čerpání
- odpojení zatížení od ES

Regulační záloha záporná (RZMZt-) může dle Kodexu ČEPS být realizována například následujícími způsoby:

- snížením výkonu bloku
- připojením zatížení do ES

Pro MZ5 není stanovena maximální RZMZt, minimální velikost regulační zálohy je 30 MW, přičemž minimální doba, po kterou musí být sjednaný výkon poskytován, jsou 4 hodiny.

MZ15 má stanovený maximální regulační výkon jako 70 MW, minimální pak činní 10 MW. Doba aktivace služby není omezena. [4]

3.4.4 Snížení výkonu (SV30)

Služba Snížení výkonu je poskytována výrobními bloky, které jsou do 30 minut schopny částečného snížení výkonu, nebo úplného odstavení.

Maximální velikost regulační zálohy (RZSV30) není stanovena, minimální velikost RZSV3 je 30 MW. Využití této služby musí být poskytovatelem v případě aktivace garantováno po dobu 24 hodin. [4]

3.4.5 Sekundární regulace U/Q (SRUQ)

Jedná se automatickou funkci, která využívá celý certifikovaný regulační rozsah jalového výkonu pro udržení zadané velikosti napětí.

Regulační proces by dle Kodexu ČEPS měl být aperiodicky nebo maximálně s jedním překmitem. Ukončený by měl být do 2 minut. [4]

3.4.6 Schopnost ostrovního provozu (OP)

Z Kodexu ČEPS: „Jedná se o schopnost provozu elektrárenského bloku do vydělené části vnější sítě tzv. ostrova. Ostrovní provoz se vyznačuje velkými nároky na regulační schopnosti bloku.“ [4]

Pomocí této služby by se mělo předcházet stavům nouze, kdy je blok převeden do ostrovního provozu, pokud frekvence klesne pod 49,8 Hz, nebo vzroste nad 50,2 Hz. Blok pak musí být schopen pracovat v ostrovním režimu minimálně po dobu 2 hodin.

Připravenost k plnění této Pps je inspekčně kontrolována provozovatelem přenosové soustavy. Dochází také k pravidelným certifikačním testům. [4]

3.4.7 Schopnost startu ze tmy (BS)

Schopnost startu ze tmy znamená schopnost bloku najet bez vnějšího zdroje napětí. Blok pak musí dosáhnout jmenovitého napětí, musí být připojen k síti a napájet jí v režimu ostrovního provozu.

Podobně jako v případě OP jsou prováděny pravidelné certifikační testy a připravenost bloku plnit tuto službu je inspekčně kontrolována. [4]

3.5 Ceny za poskytování podpůrných služeb

Za poskytování Pps je poskytovateli vyplacena cena skládající se ze dvou složek. První část platby je platba za regulovanou zálohu, která se odvíjí od technických parametrů poskytnuté zálohy bez ohledu na to, zda byla aktivována či nikoliv. V případě aktivace Pps je poskytovateli vyplacena druhá část platby, a to platba za regulační energii, která vzniká aktivací příslušné Pps (s výjimkou primární regulace frekvence bloku).

3.5.1 Platba za regulovanou zálohu

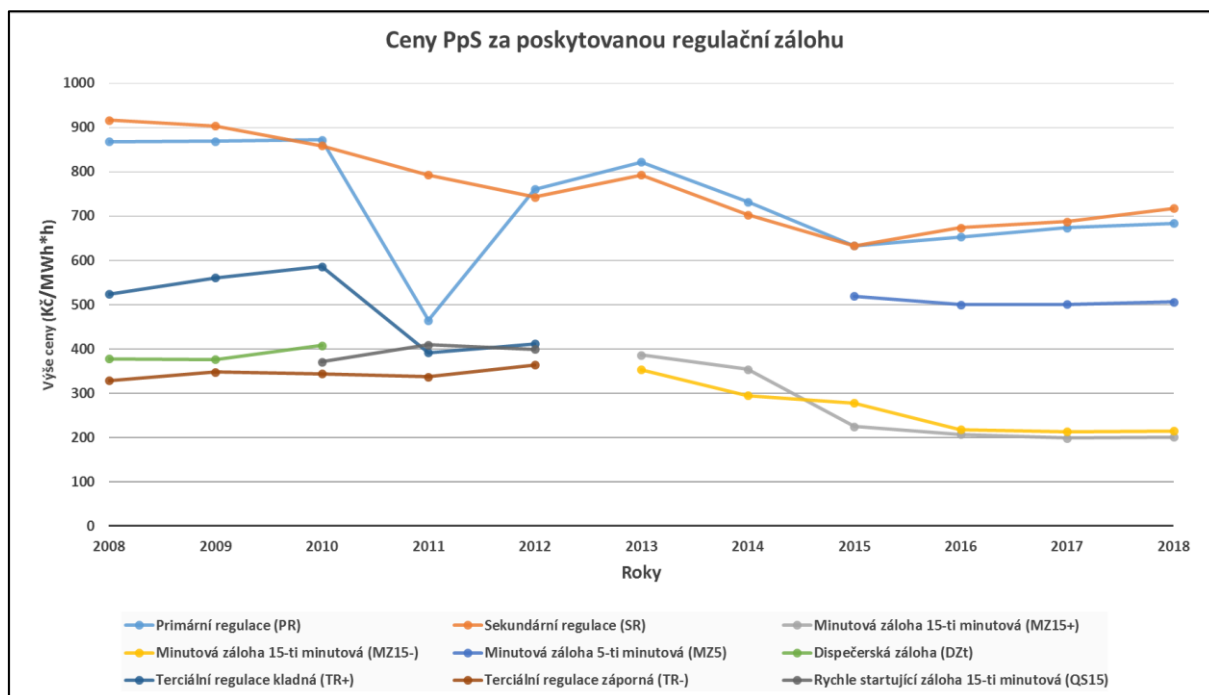
Cena je sjednávána v Kč za každou MW*h poskytované regulační zálohy. Úhrada je prováděna za každou hodinu, kdy je regulační záloha skutečně poskytována. Týká se služeb PR, SR, MZ5, MZ15+ a MZ15-. Ostatní služby jsou poskytovány na základě smlouvy uzavřené mezi poskytovatelem a společností ČEPS, přičemž cena je sjednávána individuálně v této smlouvě.

Struktura této platby se v průběhu let (od roku 2008) několikrát změnila. Je nutné dodat, že výše ceny na poskytování regulační zálohy se mírně mění i v průběhu roku v jednotlivých týdnech (jsou rozlišovány pracovní a nepracovní dny a noci), pro účely této práce je využito zjednodušení v podobě ročních průměrů.

Na základě informací o vážených průměrech cen jednotlivých služeb [11] byl vytvořen následující tabulkový a grafický přehled cen regulační zálohy a změny jejich struktury, které jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 2) a na následujícím obrázku (Obrázek 4).

Ceny regulační zálohy	Vážené průměry cen PpS v Kč/MW										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Primární regulace (PR)	868	869	872	465	761	822	732	633	653	674	684
Sekundární regulace (SR)	917	904	859	793	743	793	703	633	674	688	718
Minutová záloha 15-ti minutová (MZ15+)						386	354	225	207	199	201
Minutová záloha 15-ti minutová (MZ15-)	-	-	-	-	-	353	295	278	218	213	215
Minutová záloha 5-ti minutová (MZ5)	-	-	-	-	-	-	-	519	500	501	506
Dispečerská záloha (DZt)	378	376	408	-	-	-	-	-	-	-	-
Terciální regulace kladná (TR+)	524	561	586	392	412	-	-	-	-	-	-
Terciální regulace záporná (TR-)	329	348	344	337	364	-	-	-	-	-	-
Rychle startující záloha 15-ti minutová (QS15)	-	-	371	409	399	-	-	-	-	-	-

Tabulka 2: Ceny za poskytování regulační zálohy.



Obrázek 4: Vývoj cen za poskytování regulační zálohy.

3.5.2 Platba za regulační energii

Při aktivaci PpS dochází vlivem řízení bloku k dodávce regulační energie, resp. k vyžádanému snížení dodávky či řízenému zvýšení odběru (aktivovaná regulační energie může být kladná i záporná). Výjimkou je Primární regulace frekvence bloku, při níž k dodávce regulační energie nedochází (dle legislativy, ve skutečnosti není výkonová bilance nulová). Za dodanou regulační energii je poskytovateli vyplácena platba na regulační energii v Kč/MWh. Ceny regulační energie jsou stanoveny zvlášť pro RE kladnou a RE zápornou.

Platba za regulační energii se nevztahuje na Ostrovní provoz (OP), Start ze tmy (BS) a již zmíněnou Primární regulaci (PR).

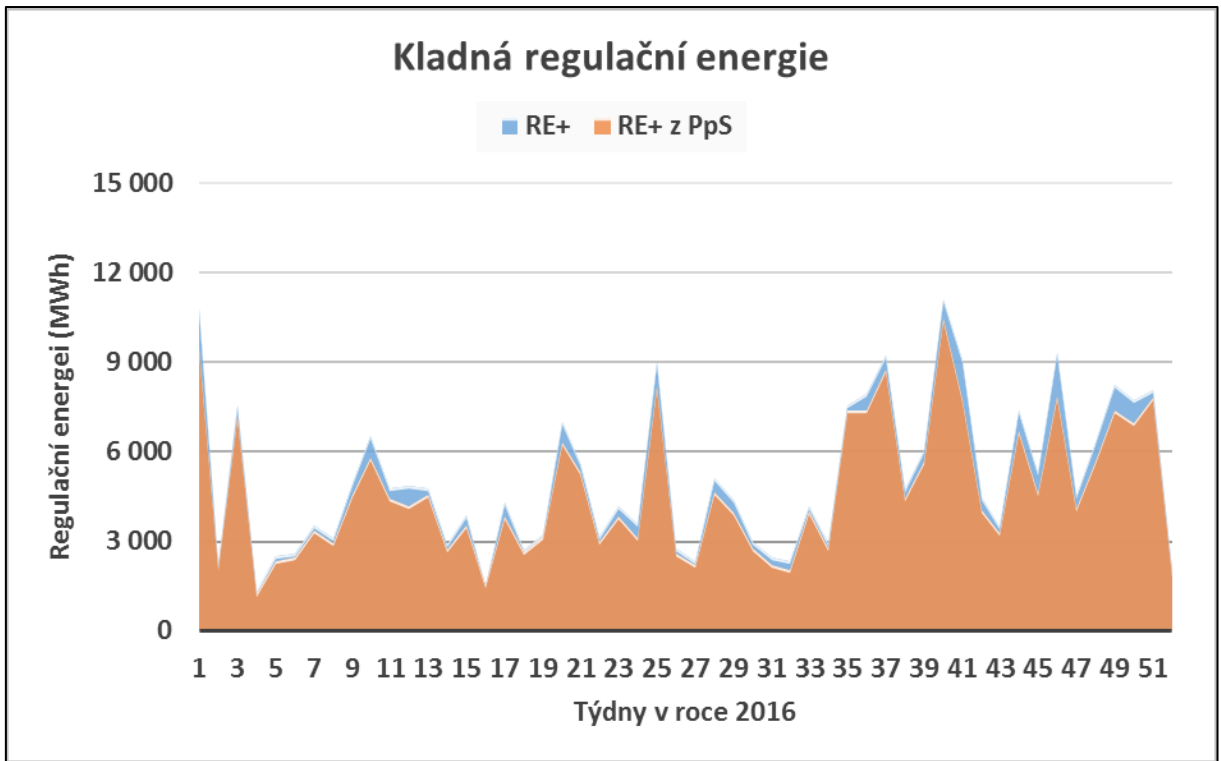
Ceny za regulační energii dodanou v rámci Podpůrných služeb minutových záloh (MZ5, MZ15+ a MZ15-) a Snížení výkonu (SV30) jsou dohodnuty vždy individuálně na základě smlouvy s poskytovatelem.

Cena za RE dodanou v rámci Sekundární regulace (SR) je stanovena Cenovým rozhodnutím ERÚ. V současné době je tato cena ve výši 2 350 Kč/MWh za kladnou RE a 1 Kč/MWh za zápornou RE (přibližně následně koresponduje s cenami odchylek). [12]

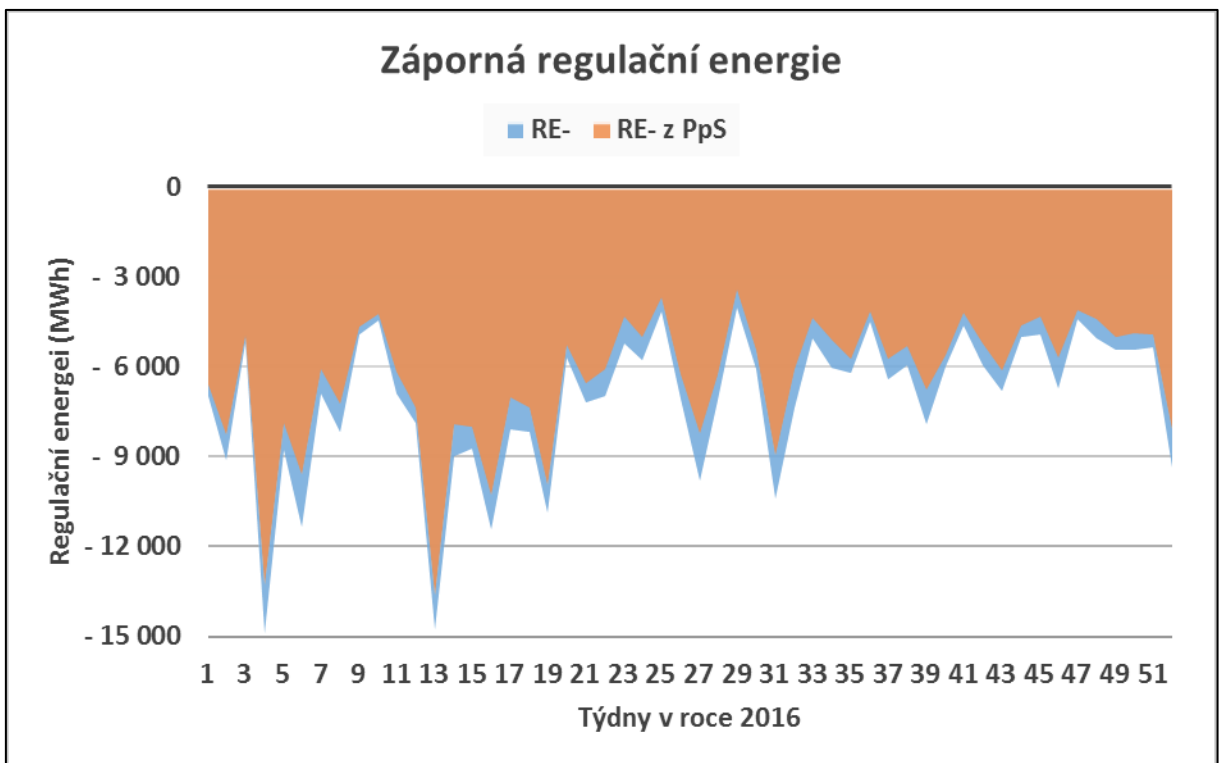
3.6 Analýza regulační energie

Analýzou regulační energie je pro účely této práce míněna analýza roční bilance RE. Tato analýza byla zpracována za účelem demonstrace významnosti Podpůrných služeb.

Přestože je pro pokrývání Systémové odchylky prioritně využíván nákup RE na Vyrovnávacím trhu (kapitola 3.3.3), objem takto obstarané RE má minimální význam. Většina RE je obstarávána právě pomocí aktivace PpS. Tento fakt je velmi dobře patrný na roční bilanci PpS zveřejňované OTE v sekci Roční zpráva. [13] Roční zpráva za rok 2016 udává 262 633 MWh obstarané kladné RE z čehož 241 396 MWh, tedy 91,91 % pocházelo právě z PpS. V případě záporné RE je situace velmi podobná, z celkových 370 422 MWh obstarané záporné RE pocházelo 330 421 MWh, tedy 89,2 % z PpS. Význam PpS pro obstarávání RE je dobře viditelný také na následujících grafických zobrazeních bilance RE pro jednotlivé týdny v roce 2016.



Obrázek 5: Grafické znázornění bilance kladné RE pro jednotlivé týdny roku 2016.



Obrázek 6: Grafické znázornění bilance záporné RE pro jednotlivé týdny roku 2016.

4 NASAZENÍ BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ V PODPŮRNÝCH SLUŽBÁCH

Vzhledem k cílům této práce se omezují pouze na bateriové systémy pracující v režimu on-grid, tedy bateriové systémy připojené k ES. Využití bateriových systémů pro off-grid aplikace má samozřejmě také svůj smysl a význam, nicméně podstatou této práce je především ekonomické zhodnocení využívání bateriového systému pro poskytování PpS, které může být realizováno pouze na úrovni systému připojeného k ES.

Nasazování bateriových systémů v ČR není v současné době nijak právně upraveno. V Energetickém zákoně č. 458/2000 Sb. ani v Kodexu PS pak nejsou pojmy „bateriový systém“ ani „akumulace elektřiny“ vůbec specifikovány. Při zpracování této práce jsou tedy přijímány určité předpoklady, které budou uvedeny v kapitole 4.3.

4.1 Bateriové systémy pro PpS

Při nasazování bateriového systému pro poskytování PpS je nutné zvolit technologii bateriového systému a konkrétní Podpůrnou službu, popřípadě více služeb, které budeme se systémem poskytovat. Bateriové systémy mohou být realizovány pomocí různých technologií (viz kapitola 2.1), přičemž jejich vhodnost pro poskytování konkrétní PpS musí být posuzována individuálně, proto budu vždy uvádět přehled výhod a nevýhod nasazení bateriových systémů pro danou Podpůrnou službu.

Proto se v této kapitole budu znovu věnovat popisu jednotlivých kategorií PpS, tentokrát však z hlediska jejich nároků na bateriový systém. Principy jednotlivých PpS byly popsány v kapitole 3.4 a nebudou znovu zmiňovány. Zároveň se v následujících podkapitolách budu často odkazovat na přehled základních parametrů vybraných technologií (Tabulka 1).

4.1.1 Primární regulace

Průběh primární regulace je velmi proměnlivý, regulace dle situace v síti velmi rychle přepíná mezi požadavky na kladnou a zápornou dodávku energie do soustavy. Tím tedy Primární regulace nezatěžuje bateriový systém hlubokými cykly, což má pozitivní vliv na životnost baterií. Celková energetická bilance baterie v určitém čase však nebude nulová, což je jev, se kterým je nutné při návrhu bateriového systému počítat. Tato výkonová bilance se může lišit v různých místech soustavy, proto je nutné znát křivku primární regulace přímo v místě instalace systému.

Minimální výkon pro poskytování Primární regulace je 3 MW, maximální pak 10 MW. Toto výkonové rozpětí je již v současné době pro bateriové systémy snadno dosažitelné.

S odkazem na přehled základních parametrů vybraných technologií (Tabulka 1) lze odvodit, že **pro poskytování Podpůrné služby Primární regulace je jednoznačně nejvhodnější využití lithiových baterií**. To dokazuje také fakt, že právě bateriové systémy na bázi lithiových baterií jsou ve světě masově nasazovány pro regulaci frekvence (viz kapitola 4.2).

Výhody a nevýhody nasazení bateriového systému pro Primární regulaci:

- ✓ Mělké cykly – vyšší životnost baterií.
- ✓ Dosažitelné výkonové rozpětí.
- ✓ Zkušenosti s instalacemi lithiových bateriových systémů pro regulaci frekvence.

- ✗ Nutná znalost křivky Primární regulace v místě instalace systému.

4.1.2 Sekundární regulace

Sekundární regulace klade velké nároky na výkonové toky, jejichž změny jsou sice pomalé, avšak dodávka výkonu je požadována po relativně dlouhou dobu, čímž dochází k dodávkám velkého množství energie.

Zároveň také může docházet k častým hlubokým cyklům, což má negativní vliv na životnost baterií. Negativní vliv hlubokých cyklů by mohl být eliminován nasazením vanadium-redoxové technologie, která je ze všech technologií schopna největšího počtu hlubokých cyklů. Limitujícím faktorem je však její vysoká cena a fakt, že dosahuje menších účinností oproti ostatním technologiím, což by při velkých energetických tocích způsobovalo značné ztráty. (Tabulka 1)

V současné době tedy nasazení bateriových systémů pro poskytování Podpůrné služby Sekundární regulace není vhodné.

Výhody a nevýhody nasazení bateriového systému pro Sekundární regulaci:

- ✓ žádné výhody
- ✗ Časté hluboké cykly – snižování životnosti baterie.
- ✗ Dodávky velkého množství energie – nutnost instalace velkokapacitních systémů

4.1.3 Minutová záloha MZ5, MZ15+ a MZ15-

Podpůrná služba Minutová záloha bývá zpravidla aktivována pouze několikrát do roka, přičemž počet aktivací se dle praktických zkušeností pohybuje v řádu desítek aktivací za rok. Vzhledem k nízkému počtu aktivací této služby nedochází k velkému zatěžování baterií, což má výrazný pozitivní vliv na jejich životnost.

Požadovaný minimální výkon pro poskytování této služby jsou 30 MW pro MZ5 a 10 MW pro MZ15+ a MZ15-. Z hlediska dnes dostupných bateriových systémů se již jedná o příliš velké výkony, které jsou sice realizovatelné, ale investičně příliš náročné.

Služby MZ15+ a MZ15- nemají omezenou dobu na kterou mohou být aktivovány. V případě MZ5 je doba aktivace omezena na maximálně 4 hodiny. V případě instalace samostatného bateriového systému by tedy bylo nutné realizovat systém s vysokou kapacitou baterií. Zde se opět jedná o technicky realizovatelný požadavek, který by však byl investičně příliš náročný, což by mohlo vést k ekonomické neudržetelnosti projektu.

Ideální pro poskytování Podpůrné služby Minutové zálohy je kombinace bateriového systému a klasického zdroje elektrické energie. Klasické zdroje většinou nejsou schopné rychlých regulačních změn výkonu, což je ale z pohledu požadavků této služby zásadní faktor. Bateriový systém může sloužit jako krátkodobé zastoupení klasického zdroje v prvních okamžicích po aktivaci služby ze strany ČEPS, do okamžiku, kdy by konvenční zdroj dosáhl požadovaného výkonu. Klasický zdroj by po najetí na požadované parametry dodávku zcela převzal a bateriový systém by byl odstaven. Ve výsledku by tedy bylo možné s klasickým zdrojem elektrické energie poskytovat větší výkonovou zálohu, což je zároveň hlavním ekonomickým přínosem kombinace baterií a konvenčního zdroje.

Z hlediska parametrů jednotlivých technologií bateriových systémů by bylo vhodné využít předností olovených baterií, jejich realizace pro velké výkony však není běžná, **proto je pro poskytování Podpůrné služby Minutové zálohy vhodné využít lithiové bateriové systémy.**

Výhody a nevýhody nasazení bateriového systému pro Sekundární regulaci:

- ✓ Velmi výhodné při kombinaci bateriového systému s konvenčním zdrojem.
- ✓ Nízký počet aktivací – výrazné zvýšení životnosti baterií.

- ✗ Samostatně (bez kombinace s konvenčním zdrojem) technicky realizovatelné, ale ekonomicky neudržitelné.

4.1.4 Snížení výkonu

Podpůrná služba Snížení výkonu vyžaduje vzhledem ke svému principu snížení výkonu bloku. To by znamenalo, že bateriový systém poskytující tuto služby by musel kontinuálně dodávat energii do soustavy stejně jako klasické zdroje elektrické energie. Takovýto provoz bateriového systému by byl nejen nevýhodný, ale také nesmyslný s ohledem na životnost a potřebu nabíjecího zdroje.

Nasazení bateriových systémů pro poskytování Podpůrné služby Snížení výkonu není vhodné.

Přehled výhod a nevýhod by v tomto případě neměl žádný smysl, a proto není uveden.

4.1.5 Sekundární regulace U/Q

Principem Sekundární regulace U/Q je využití celého regulačního rozsahu jalového výkonu pro udržení zadané velikosti napětí. Poskytování SRQU je realizovatelné pomocí bateriových systémů, přičemž hlavní nároky poté nejsou kladeny na baterie jako takové ale především na střídače použité v bateriovém systému. V současné době jsou již střídače schopné pracovat i s minimálním (téměř nulovým) účinníkem, a tak dodávat jalový výkon do sítě v širokém rozsahu říditelnosti dle účinníku (téměř 0 – 1).

Pro poskytování Podpůrné služby Sekundární regulace U/Q jsou vhodné všechny typy bateriových systémů. Limitujícím faktorem je ale nízká cena regulační energie pro SRQU, která se pohybuje v jednotkách Kč/MVArh. V ideálním případě by tak bateriový systém musel poskytovat více PpS najednou, přičemž SRQU by byla jednou z nich.

Výhody a nevýhody nasazení bateriového systému pro Sekundární regulaci U/Q:

- ✓ Vhodné pro všechny typy bateriových systémů.

- ✗ Náročné na střídač.
- ✗ Nízká cena regulační energie – vhodné poskytování více PpS najednou.

4.1.6 Schopnost ostrovního provozu

Využití bateriových systémů v off-grid aplikacích je jeden z nejčastějších způsobů realizace bateriového systému. Při poskytování PpS Schopnost ostrovního provozu však nespočívá v off-grid realizaci zdroje, nýbrž v jeho schopnosti do ostrovního provozu přejít v případě rozpadu ES.

Na zdroj pracující v ostrovním provozu jsou kladeny velmi náročné podmínky týkající se regulačních parametrů zdroje. Zde se uplatní bateriové systémy, které mohou pomáhat stabilizovat odloučenou síť. Mohou sloužit například k regulaci frekvence, vyrovnávání výkonových výkyvů a podporovat stabilitu sítě při opětovném propojování odloučené sítě s ES. **Samostatně však nemá nasazení bateriových systémů pro PpS Schopnost ostrovního provozu smysl.**

Protože bateriový systém by byl využit pouze v případě rozpadu soustavy, dává smysl využití bateriového systému primárně pro poskytování jiné PpS s tím, že Schopnost ostrovního provozu by byla využita jen v případě potřeby.

Výhody a nevýhody nasazení bateriového systému pro Schopnost ostrovního provozu:

- ✓ Stabilizace odložené sítě – podpora klasického zdroje.
- ✓ Možnost kombinace s jinými PpS.

- ✗ Nasazení samostatného bateriového systému nemá smysl.

4.1.7 Start ze tmy

Velké množství elektrárenských bloků není schopné startu ze tmy a pro své připojení do sítě a zahájení provozu vyžadují přítomnost podpůrného zdroje energie. V této oblasti je velký potenciál pro nasazení bateriových systémů. **V případě této PpS má tedy smysl instalovat bateriové systémy jako podporu konvenčních zdrojů** s tím, že podobně jako v případě Schopnosti ostrovního provozu by byl bateriový systém primárně využit pro poskytování jiné PpS.

Výhody a nevýhody nasazení bateriového systému pro Start ze tmy:

- ✓ Podpora konvenčního zdroje při startu ze tmy.
- ✓ Možnost kombinace s jinými PpS.

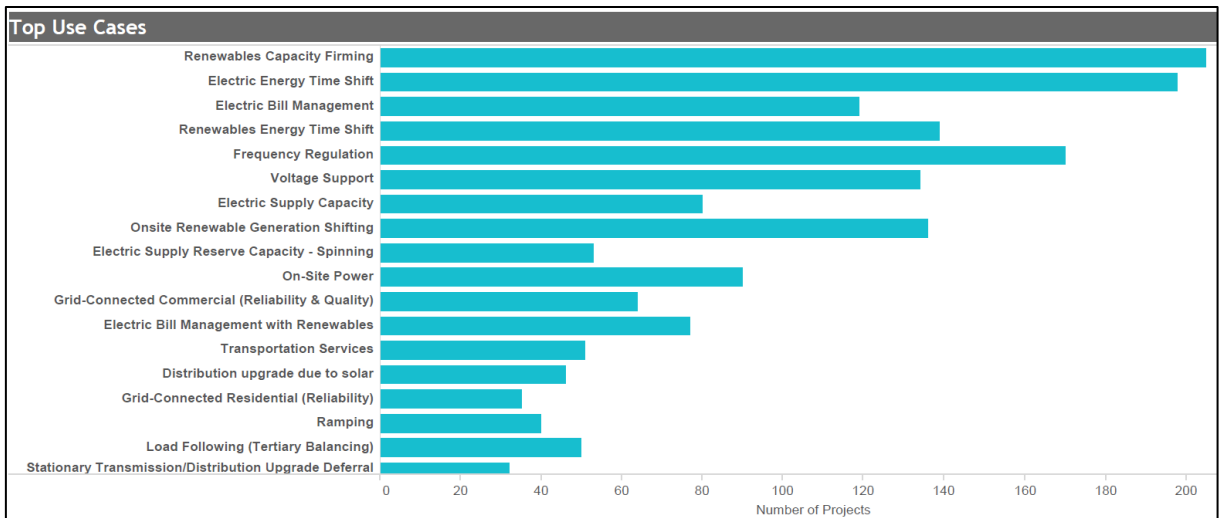
- ✗ Nasazení samostatného bateriového systému není v současné době využitelné.

4.2 Nasazení bateriových systémů ve světě

Ve světě jsou bateriové systémy nasazovány stále častěji. Čím dál více se také využívají pro regulaci frekvence, stabilizaci sítí a obecně pro podporu elektrizačních soustav, což v ČR známe pod pojmem Podpůrné služby.

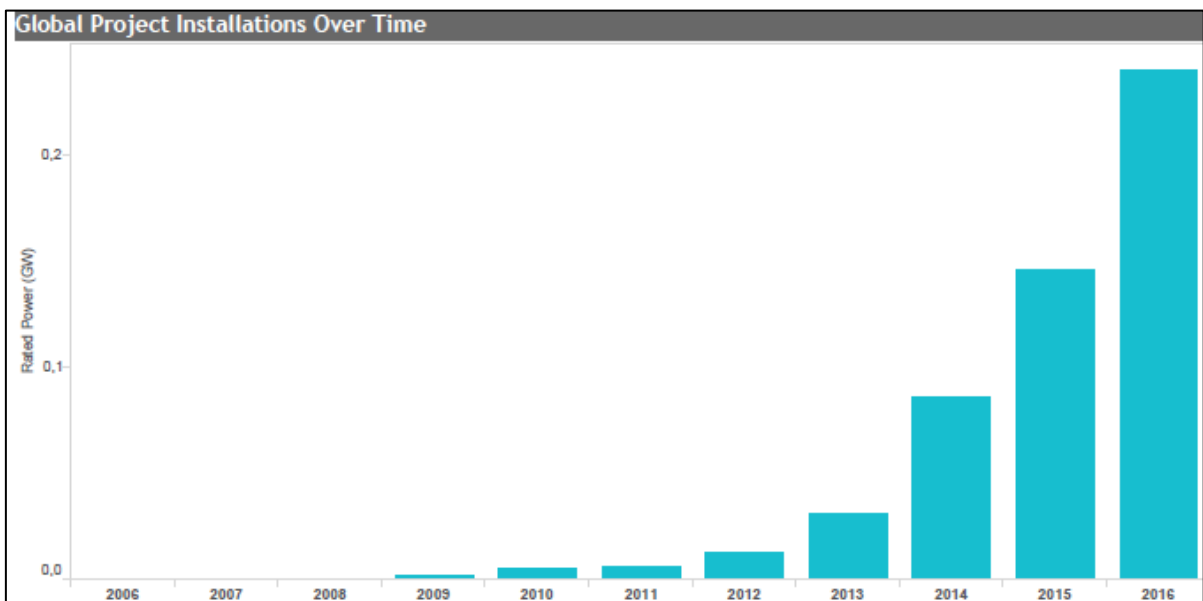
Americké ministerstvo energetiky (Office of Electricity Delivery & Energy Reliability) provozuje online globální databázi akumulace energie (DOE GLOBAL ENERGY STORAGE DATABASE) [1]. Jedná se o databázi ca 1 600 projektů týkajících se akumulace energie. Je nutné dodat, že v databázi se nachází i projekty ve výstavbě, nebo projekty plánované. Použitím filtrů, které jsou v databázi k dispozici, lze filtrovat například projekty, které jsou již v provozu a které jsou založené na elektro-chemické akumulaci energie, tedy bateriové systémy. Databáze nezahrnuje off-grid systémy. V databázi lze najít i projekty instalované například před pouhými 24 hodinami, což vypovídá o aktuálnosti databáze.

Podle Globální databáze akumulace energie (DOE GLOBAL ENERGY STORAGE DATABASE) [1] je v současné době (k 29. 1. 2017) na **celém světě v provozu 698** systémů využívajících elektrochemickou akumulaci elektrické energie **o celkovém instalovaném výkonu 1 660 MW**. Z toho nejvíce projektů (294 projektů – 591 MW) je instalováno v USA. Nejvíce jsou pak instalace využívány **pro podporu obnovitelných zdrojů** a pro **management energetické bilance** obecně, pro **regulaci frekvence** a pro **stabilizaci napětí**.



Obrázek 7: Využití bateriových systémů ve světě. [1]

V Evropě je pak instalováno 159 projektů o celkovém instalovaném výkonu 240 MW. Přičemž 38 projektů o celkovém instalovaném výkonu 122,2 MW je instalováno v Německu. Následuje časový přehled instalací v Evropě.



Obrázek 8: Časový přehled instalací v Evropě. [1]

4.2.1 Aplikace lithiového bateriového systému

Šest velkých LG Chem lithium-iontových bateriových systémů bylo uvedeno do provozu 15. srpna 2016 v elektrárně o výkonu 507 MW ve městě Lünen v Německu, kterou vlastní společnost STEAG. Tato instalace bateriového systému je jedna ze šesti instalací na elektrárnách v Německu, jejich celkový výkon by měl v budoucnu dosáhnout 90 MW. Dodavatelem baterií je společnost LG Chem a výkonovou elektroniku dodala společnost Nidec ASI. Instalovaný bateriový systém slouží především pro regulaci frekvence.

Technologie	Lithium – iontové baterie
Výkon	15 MW
V provozu od	15. 8. 2016
Využití	Regulace frekvence
Umístění	Lünen, Německo elektrárna společnosti STEAG (507 MW)
Plánovaná životnost	-
Dodavatel baterie	LG Chem
Dodavatel výkonové a řídicí techniky	Nidec ASI

Tabulka 3: Parametry lithiového bateriového systému – Lünen.



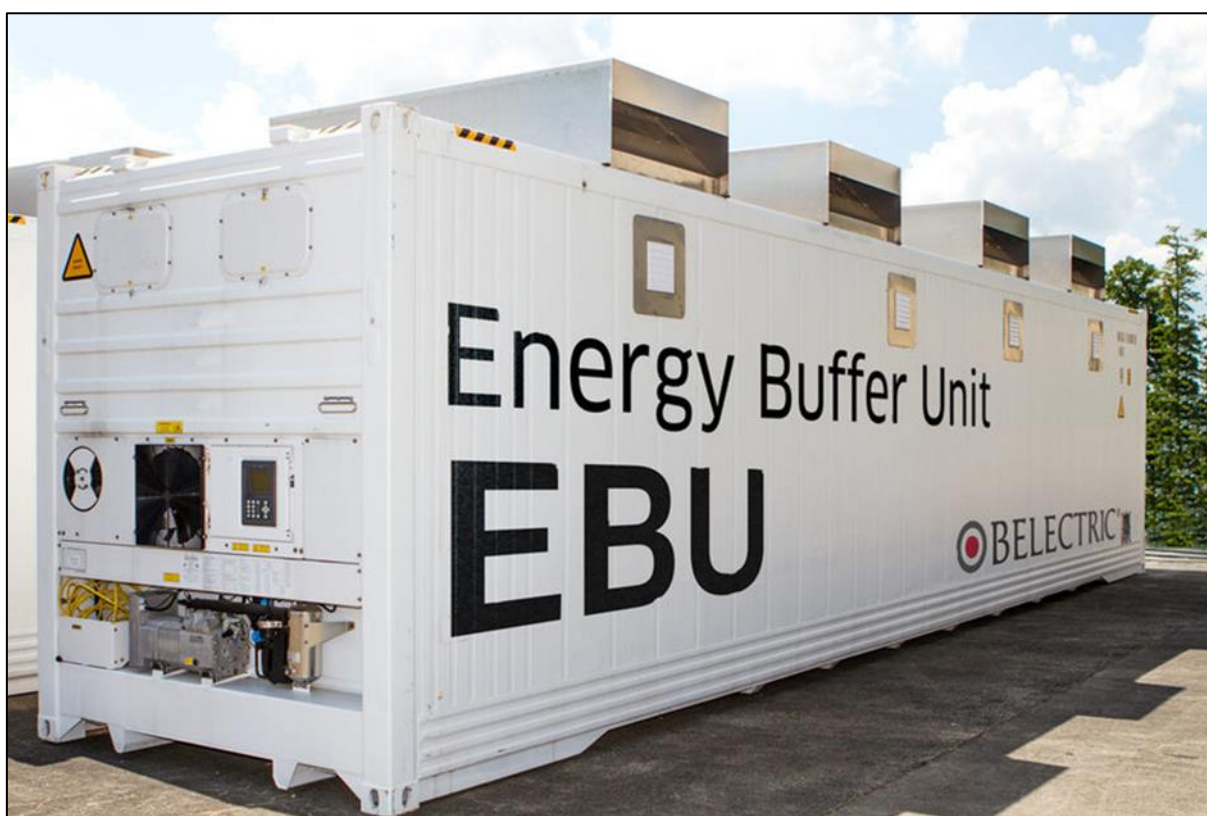
Obrázek 9: Instalace 15 MW lithium-iontového bateriového systému na elektrárně ve městě Lünen.

4.2.2 Aplikace olověných baterií

Inovativní EBU jednotka (Energy Buffer Unit) využívající technologii olověných baterií je použita jako energetická rezerva pro regulaci frekvence. V Alt Daberu v Německu stojí prototyp tohoto projektu postavený společností BELECTRIC GmbH, čímž bylo vytvořeno nákladově efektivní řešení komerčního využití velkých bateriových systémů v obchodní sféře integrací systému EBU a inteligentního řídicího systému společnosti BELECTRIC. Se jmenovitým výkonem 1500 kW, který je kompletně poskytnutelný v rozsahu milisekund, může být elektrická síť stabilizována rychle a vysoce účinným způsobem.

Technologie	Olověné baterie
Výkon	1,5 MW
V provozu od	18. 12. 2014
Využití	Regulace frekvence
Umístění	Alt Daber, Německo
Plánovaná životnost	15 let
Dodavatel baterie	Exide GNB
Dodavatel výkonové a řídicí techniky	GE a BELECTRIC GmbH

Tabulka 4: Parametry bateriového systému – Alt Daber.



Obrázek 10: Instalace prototypu 1,5 MW olověného bateriového systému v Alt Daberu v Německu.

4.2.3 Aplikace zinek-bromidových baterií

Spolupráce Primus Power a Raytheon's Integrated Defense System na dodávce zinek-bromidového bateriového systému schopného ostrovního provozu a startu ze tmy pro Marine Corps Air Station (MCAS) v Miramaru v Californii. Bateriový systém Primus EnergyPod je integrován do již existujícího 230 kW fotovoltaického systému. Kombinace těchto systémů demonstruje několik schopností, jako jsou pokrytí špičkové spotřeby a zálohování kritických vojenských systémů.

Technologie	Zinek-bromidová baterie
Výkon	250 kW
V provozu od	12. 12. 2015
Využití	Start ze tmy a podpora obnovitelných zdrojů
Umístění	San Diego, California, USA
Plánovaná životnost	20 let
Dodavatel baterie	Primus Power
Dodavatel výkonové a řídicí techniky	-

Tabulka 5: Parametry bateriového systému – Alt Daber



Obrázek 11: Instalace 250 kW zinek-bromidového bateriového systému v San Diegu v USA.

4.2.4 Aplikace vanadium-redoxové baterie

„Microgrid“ od Gildemeister Energy Solutions tvořená kombinací 1 MW volně stojící fotovoltaické elektrárny a CellCube bateriového úložiště (1x FB200-400 a 2x FB30-130) pro pokrývání špičkové spotřeby, zálohu IT systémů a „zelené“ eMobility aplikace. Inteligentní „chytrý měřič“ vypočítává optimální strategii nakládání s uloženou energií.

Technologie	Vanadium-redoxová baterie
Výkon	260 kW
V provozu od	15. 9. 2011
Využití	Podpora obnovitelných zdrojů, zajištění kvality a spolehlivosti dodávky a sledování zatížení
Umístění	Bielefeld, Německo
Plánovaná životnost	25 let
Dodavatel baterie	Gildemeister Energy Solutions
Dodavatel výkonové a řídicí techniky	-

Tabulka 6: Parametry vanadium-redoxového bateriového systému v Bielefeldu v Německu.



Obrázek 12: Instalace 260 kW vanadium-redoxového bateriového systému v Bielefeldu v Německu.

4.3 Předpoklady pro nasazení bateriových systémů v ČR

Nasazení bateriových systémů pro poskytování PpS je v současné době realizovatelné a dává smysl i s ohledem na princip jednotlivých PpS. A to ať už by byl bateriový systém realizován samostatně, nebo jako podpora konvenčního zdroje.

Narážíme však na problém zmiňovaný v úvodní části kapitoly 4, a sice, že pojmy „bateriový systém“ ani „akumulace elektřiny“ nejsou zakotveny v legislativě ČR. Chování bateriových systémů je od chování konvenčních zdrojů velmi odlišné, a proto není zcela jasné, jak by mělo být, vzhledem k současné legislativě, s těmito systémy zacházeno. Faktem ale zůstává, že se bateriové systémy čím dál více využívají pro poskytování Systémových služeb obecně, a to především v zahraničí, kde to tamní legislativa pravděpodobně umožňuje.

Při nasazení bateriového systému pro poskytování PpS v ČR je nutné přijmout následující předpoklady, které zároveň mohou sloužit jako seznam kroků nutných k začlenění bateriových systémů do legislativy ČR:

- **Začlenění pojmů souvisejících s akumulací elektřiny do Energetického zákona.**
- **Stanovení kategorie, do které by akumulací systém spadal. Nutné definovat, zda se jedná o spotřebič, výrobu či případně akumulací systém (nově definovaný pojem). Z toho by pro provozovatele akumulací systému vyplývala práva a povinnosti.**
- **Začlenění systémů akumulace elektřiny pro poskytování PpS do Kodexu PS.**
- **Stanovení ceny, popřípadě sankcí týkajících se akumulací systému poskytujícího PpS. Neboť může dojít k vybití/nabití systému do takové míry, že další poskytování služby není dočasně možné.**
- **Vymezení vztahu bateriového systému připojeného do ES, který v rámci poskytování PpS odebírá ze sítě elektrickou energii. Nutné stanovit, zda se v tomto případě jedná o regulační energii (kromě vlastních ztrát nepodléhá poplatkům) nebo se jedná o odběratele potažmo dodavatele (podléhá regulovaným platbám).**
- **Při poskytování PpS PR, SR a MZ15- pomocí bateriových systémů by docházelo k odběru elektrické energie z ES. Pro tyto případy je nutné stanovit, zda by bateriový systém podléhal platbě za rezervovanou kapacitu na celou velikost záporné regulační křivky, nebo pouze na pokrytí vlastní spotřeby.**

5 NÁVRH BATERIOVÉHO SYSTÉMU

V této kapitole se budu věnovat popisu konkrétního projektu nasazení bateriového systému pro poskytování vybrané PpS. Bateriový systém bude nasazován do teplárenského provozu jako podpora konvenčního zdroje, parní odběrové kondenzační turbíny, pomocí které bude poskytována vybraná PpS.

Jedná se o reálný projekt realizovaný na území ČR, proto v rámci ochrany identity vlastníka a provozovatele teplárny (dále jen Společnost), nebudou uvedeny žádné detailní informace o Společnosti, jakožto ani geografická poloha teplárny (dále jen Teplárna). Nicméně všechny požadavky investora na systém a parametry systému budou vycházet z reálných dat.

5.1 Popis Teplárny

Popis současného provozu je vytvořen na základě informací a dat získaných od Společnosti.

5.1.1 Technický popis

5.1.1.1 Kotle a turbosoustrojí

V teplárně jsou v současné době nasazeny dva nové uhelné kotle K5 a K6 s prvky fluidní techniky, každý o parním výkonu 40 t/h. Spaliny z těchto kotlů jsou odsiřovány v zařízení využívajícím postup mokré vápencové vypírky. Kotle K5 a K6 spolu s turbosoustrojím TG3 tvoří kogenerační jednotku pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla.

Stávající kotel K4 (výkon 18,5 t/h, resp. 13,3 MW_t, produkce páry 2,1 MPa(a) / 300 °C) bude technicky i administrativně odstaven a bude sloužit jako záložní zdroj pouze pro zajištění dodávek tepelné energie.

Parametr	Hodnota
Jmenovitý parní / tepelný výkon	40 t/hod / 32,9 MW _t
Maximální výkon kotle	44 MW _t
Minimální výkon kotle s dodržáním parametrů	16 t/hod
Minimální výkon kotle bez dodržení parametrů	12 t/hod
Účinnost při jmenovitém výkonu	
- uhlí Bílina	91,80%
- uhlí Sokolov	90,20%
Jmenovitý tlak páry	4,5±0,2 MPa (a)
Jmenovitá teplota páry	486 ±5 °C
Teplota napájecí vody	105 °C
Teplota spalin na výstupu z kotle	130°C
Emisní limity	SO ₂ - 400 mg/Nm ³
	NO _x - 300 mg/Nm ³
	TZL - 20 mg/Nm ³
	CO - 250 mg/Nm ³

Tabulka 7: Základní parametry kotlů K5 a K6.

Parametr	Hodnota
Jmenovitý elektrický výkon na svorkách generátoru	20 MW _e
Jmenovité otáčky	3000 ot/min
Maximální hlnost	100 t/hod
Tlak / teplota vstupní páry	4,2 MPa (a) / 483°C
Jmenovitý tlak v regulovaném odběru I	1,13 MPa(a)
Jmenovitý tlak v regulovaném odběru II	0,28 MPa(a)

Tabulka 8: Parametry turbosoustrojí TG3.

5.1.1.2 Plynové motory a parogenerátory

Kromě kotlů a turbosoustrojí, které tvoří kogenerační jednotku a mohou být považovány za standardní řešení, jsou na Teplárně instalovány ještě 4 další zdroje elektrické energie a tepla.

Jedná se o 4 plynové motorgenerátory PM1 až PM4 (4 x 9 MWe) a 4 spalínové kotle, které využívají teplo ze spalín motorgenerátorů k produkci páry (4 x 4 t/h). Za spalínové kotle jsou zařazeny ještě 4 spalínové parogenerátory HRSG1 až HRSG4, které využívají zbytkové teplo spalín z plynových motorů a spolu se samotnými motory tak tvoří kogenerační jednotky.

Plynové motory PM1 až PM4 jsou vybaveny čtyřtákními 20-ti válcovými motory typu B35:40V20AG2 výrobce Rolls Royce a elektrickým generátorem firmy ABB. Technologie čištění spalín plynových motorů je založena na selektivní katalytické redukci (SCR), což je systém běžně používaný v automobilovém průmyslu.

Celkové teplo získané z kogenerační jednotky PM + HRSG činí 7 647 kWt. Produkce páry z HRSG slouží pouze pro zajištění dodávek tepelné energie.

Parametr	Hodnota
Počet otáček	750 ot/min
Elektrický výkon	9 174 kW
Elektrická účinnost	0,458
Startovací doba do dosažení jmenovitého výkonu	5 min
Průtok spalín	52 100 kg/h
Teplota spalín	370 °C
Příkon v plynu (v palivu)	20 053 kWt
Celkový přenos tepla z PM do topné vody	3 522 kWt
Emisní limity	NO _x - 75 mg/Nm ³ CO - 100 mg/Nm ³

Tabulka 9: Parametry motor-generátorových jednotek PM1 až PM4 (100 % zatížení).

Parametr	Hodnota
Parní/tepelný výkon	4,0 t/hod / 2,85 MWt
Tlak páry	1,1MPa
Teplota páry	275 °C
Teplota spalín na vstupu	370 °C
Teplota spalín na výstupu z HRSG	cca 189 °C
Množství spalín	14,47 kg/s
Teplota napájecí vody	105 °C
Tlak napájecí vody před napájecí hlavou	1,84 MPa
Přenos tepla ze spalínového ohříváku (OTV) HRSG do topné vody	1 274 kWt

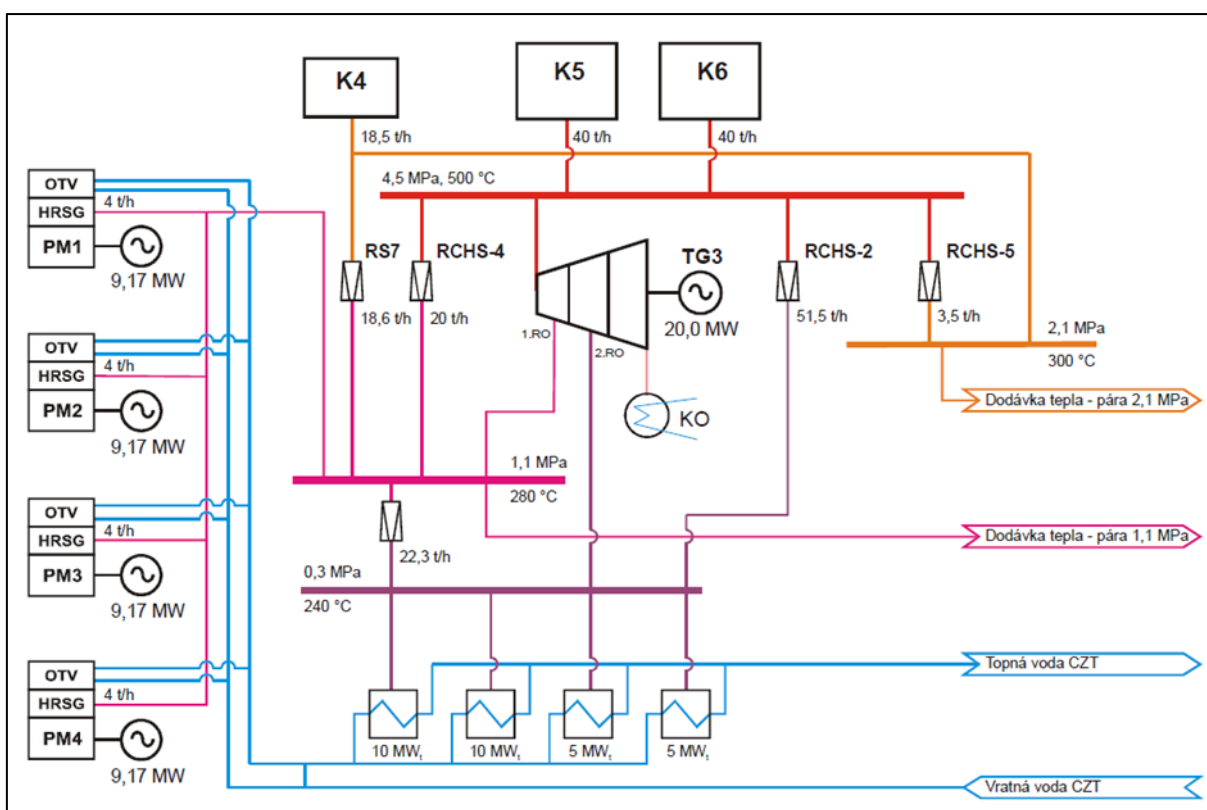
Tabulka 10: Parametry parogenerátorů HRSG1 až HRSG4 (jmenovitý provoz).

5.1.2 Vывedení tepelného výkonu

Bezpečná a spolehlivá dodávka páry různých tlakových a teplotních parametrů je zajišťována v rámci teplárny systémem redukčních a redukčně-chladících stanic, které umožňují vzájemnou zastupitelnost parních zdrojů nebo zálohují regulované odběry z TG3.

Odběratelům je dodávána pára o parametrech 2,1 MPa/300 °C a 1,1 MPa/280 °C. Pára na úrovni 0,3 MPa/240 °C slouží, mimo využití v rámci vlastní spotřeby teplárny, pro výrobu horké vody prostřednictvím horkovodní výměňkové stanice (HVS) o maximálním výkonu 30 MWt. Rozvody tepla pro vytápění jsou realizovány v horké vodě v rámci konverze parních rozvodů na horkovodní (během nedávné rekonstrukce).

Následuje základní schéma tepelného oběhu Teplárny, které není pro účely této práce podstatné, avšak umožní lépe pochopit současný stav Teplárny.



Obrázek 13: Základní schéma tepelného oběhu Teplárny.

5.1.3 Vывedení elektrického výkonu

Teplárna je připojena do lokální distribuční soustavy LDS Teplárna přímo ve vlastnictví Společnosti. V LDS Teplárna se nachází 2 odběrná místa na hladině VN a 6 odběrných míst na hladině NN.

Kogenerační jednotky tvořené plynovými motory PM1 až PM4 a spalinovými parogenerátory HRSG1 až HRSG4 (dále jen KGJ), vystupují spolu s turbínou TG3 jako jeden fiktivní blok připojený do LDS Teplárna. Tento fiktivní blok v současné době poskytuje Podpůrnou službu MZ5. Výkon poskytovaný Teplárnou v rámci MZ5 je 41 MW, přičemž většina tohoto výkonu (4 x 9 MWe – 40 MWe) je poskytována KGJ. Zbýlých 5 MWe je poskytováno turbínou TG3.

KGJ nejsou v trvalém provozu a jsou spínány pouze při požadavku na MZ5. Výkon poskytovaný turbínou TG3 je řízen podle poptávky tepla, vzhledem k nízkým cenám silové elektřiny.

Na základě analýzy odsouhlasených dodávek elektřiny do sítě regionálního distributora, kterou nemohu z důvodu vysoké citlivosti dat zveřejnit, je využít 1 MWe výkonu turbíny pro stálou výrobu elektřiny. TG3 disponuje, vzhledem k možnostem kotlů K5 a K6 a k provozně-technickým podmínkám provozu, celkovým pohotovým výkonem 16,6 MWe. Po odečtení stálého využití výkonu (1 MWe) a výkonu rezervovaného pro poskytování MZ5 (5 MWe) zbývá k dispozici 10,6 MWe, které nejsou v současné době využité.

Vzhledem k nízkým cenám silové elektřiny není výhodné využít disponibilní výkon TG3 pro běžnou dodávku do sítě. Nicméně je možné jej využít pro navýšení celkového poskytovaného výkonu v rámci MZ5.

5.2 Princip provozování systému

5.2.1 Cíle projektu

Základním cílem tohoto projektu je zvýšení výkonu pro poskytování MZ5. Přičemž Společnost plánuje využít z disponibilního výkonu TG3 (10,6 MWe) dalších 4 MWe na celkových 8 MWe (zbylých 6,6 MWe bude tvořit rezervu) pro navýšení celkového poskytovaného výkonu pro MZ5 ze současných 41 MW na 45 MW.

Teplárna je již v současné době poskytovatelem PpS MZ5 a má tedy příslušnou certifikaci (kapitola 3.4). Kromě této certifikace je Teplárna certifikována také na poskytování PpS SR a MZ15, které však v současné době poskytovány nejsou.

5.2.2 Význam akumulace elektřiny

Až dosud se jedná o standardní řešení poskytování PpS. Nicméně stávající systém naráží na problém, který lze vyřešit právě s využitím bateriového systému pro akumulaci elektrické energie.

Regulační schopnost změny výkonu turbíny činí 3 MWe/min, nicméně dle projektových parametrů kotlů je maximální rychlost změny výkonu jednoho kotle 1,8 t/hod/min, tedy 3,6 t/hod/min pro oba kotle. Takováto změna výkonu kotlů (dle provozem ověřených informací provozovatele Teplárny) je schopna zajistit změnu výkonu turbíny pouze o velikosti 1 MWe/min.

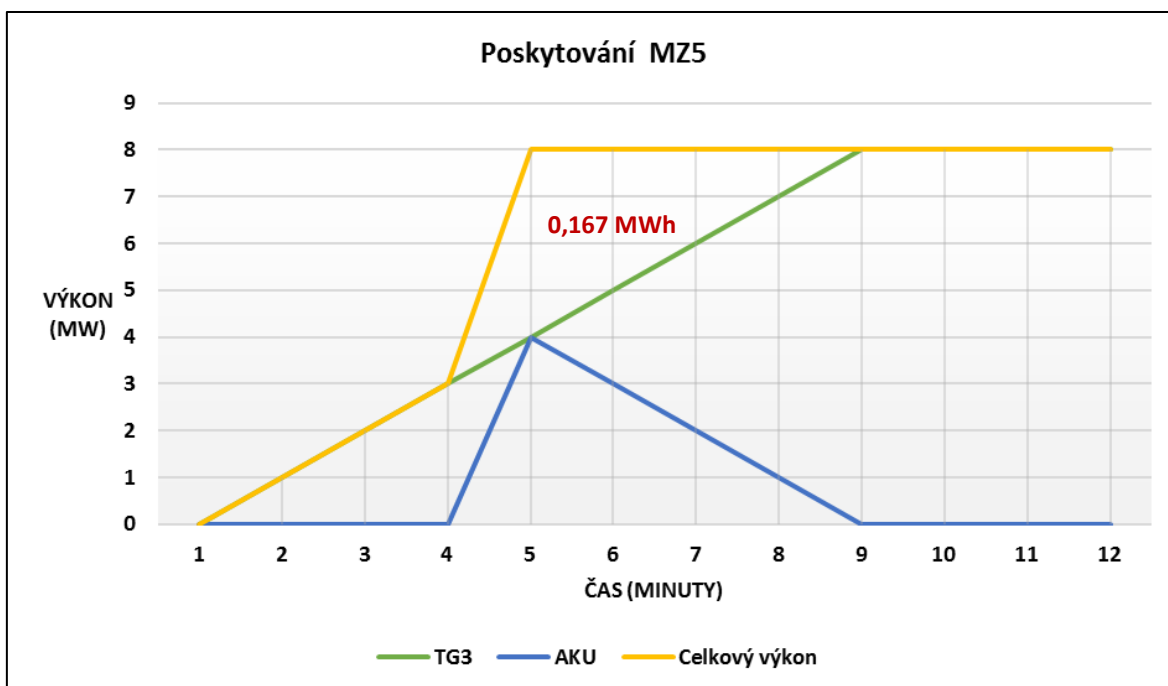
Dle požadavků na poskytování PpS MZ5 (kapitola 3.4.3) je nutné výkon rezervovaný pro MZ5 dodávat do 5 minut od požadavku na aktivaci. Z výše uvedených regulačních parametrů TG3 lze jednoduše vypočítat, že do 5 minut od přijetí požadavku na aktivaci MZ5 je TG3 schopno dodat výkon o velikosti 5 MWe. Zbylý požadovaný výkon 3 MWe může být dodán až 3 minuty po uplynutí 5-ti minutové lhůty, což by pro Společnost znamenalo vysoké sankce ze strany provozovatele přenosové soustavy, společnosti ČEPS a.s.

Význam bateriového systému by v tomto konkrétním případě spočíval v převzetí části výkonu, tak aby byl splněn časový limit pro dodávku požadovaného výkonu. TG3 by si poté tento výkon dodávaný bateriovým systémem postupně přebíralo, dle jeho regulačních možností.

5.3 Parametry navrhovaného systému

Bateriový systém bude navrhován v souladu s požadavky na jeho nasazení. V praxi není vždy možné dodržet libovolný poměr mezi výkonem a kapacitou bateriového systému. Z tohoto důvodu je nutné zvolit parametr, který je pro dané nasazení stěžejní a ostatní parametry zvolit jako kompromis.

Následuje grafické znázornění principu poskytování MZ5 pomocí bateriového systému v součinnosti s TG3:



Obrázek 14: Poskytování MZ5.

5.3.1 Výkon bateriového systému

Bateriový systém pro akumulaci elektrické energie pro podporu TG3 musí splňovat především požadavky na dostatečný výkon. Ten je vzhledem ke smyslu poskytování PpS MZ5 stěžejní.

Pro poskytování Společnosti požadovaného rezervovaného výkonu pro MZ5 je nutný výkon bateriového systému ve výši 4 MW. Odvození této hodnoty je zcela zjevné, a proto není nutné uvádět podrobnější výpočet, nicméně odvození je demonstrováno graficky na obrázku v předchozí kapitole (Obrázek 14: Poskytování MZ5).

5.3.2 Kapacita bateriového systému

Kapacita, kterou budou baterie disponovat bude zvolena s ohledem především na technické možnosti nabízených systémů. Jak jsem již zmínil, stěžejním parametrem je výkon systému, a proto bude kapacita volena jako kompromisní hodnota.

Výpočet potřebné kapacity bateriového systému je analogický výpočtu obsahu trojúhelníku z obrázku v předchozí kapitole (Obrázek 14: Poskytování MZ5). Výsledná kapacita bateriového systému potřebná pro podporu TG3 při poskytování MZ5 činí 0,167 MWh.

Je nutné upozornit na skutečnost, že strmost náběhové křivky bateriového systému je pouze ilustrativní. Bateriové systémy obecně mají velice široké regulační schopnosti a náběhové křivky tak mohou být upravovány dle aktuální situace a potřeby.

Dle požadavků Společnosti na větší kapacitu baterií, z důvodu budoucího možného využití systému pro poskytování PpS PR a s ohledem na technické možnosti výrobců bateriových systémů **byla zvolena kapacita baterií 2,5 MWh.**

5.3.3 Výběr vhodné technologie akumulace

S odvoláním na tabulku (Tabulka 1: Přehled základních parametrů vybraných technologií), kde jsou uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých technologií připadají v úvahu 4 možné technologie akumulace. Přičemž tento výběr můžeme zúžit vyloučením zinek-bromidových baterií, které jsou v současné době používány spíše experimentálně.

V praxi jsou pro projekty podobné řešenému projektu využívány především baterie pracující na principu olověných a lithiových baterií. To vylučuje baterie vanadium-redoxové, které jsou výhodné díky své vysoké životnosti, což však v tomto případě není výrazně důležitý parametr. Naopak jsou nevýhodné s ohledem na jejich vysokou cenu, resp. velmi malé nabíjecí a vybíjecí výkony.

Při výběru vhodné technologie se tak dostáváme k výběru mezi akumulátory olověnými a lithiovými. Lithiové baterie překonávají baterie olověné ve velikosti nabíjecích výkonů, v životnosti, v počtu cyklů a v účinnosti. Olověné baterie pak mají pouze výhodu nižší ceny. S ohledem na tyto skutečnosti a na fakt, že lithiové baterie jsou dnes masově nasazovány a dodavatelské firmy mají s jejich instalacemi značné zkušenosti je pro další analýzu **zvolen lithiový bateriový systém.**

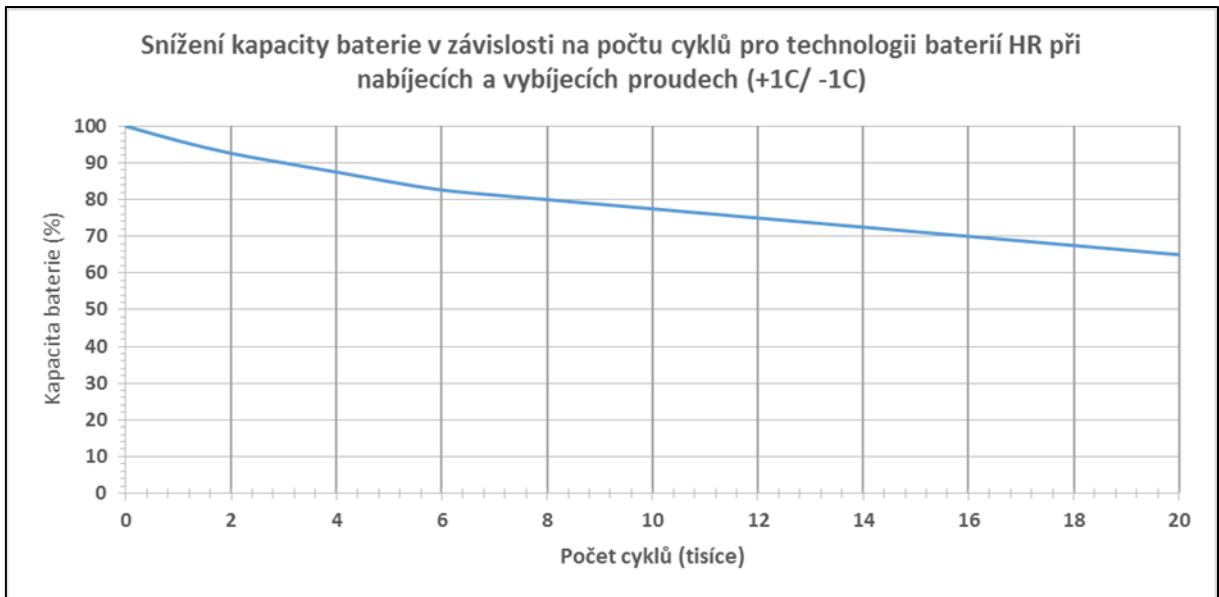
5.3.4 Životnost bateriového systému

Životnost bateriového systému je udávána v počtu cyklů (kapitola 2.2.2). Důležitost tohoto parametru se může diametrálně lišit pro různé případy nasazení bateriových systémů. V některých případech je pro ekonomiku projektu nezbytné dosáhnout určité minimální životnosti baterií.

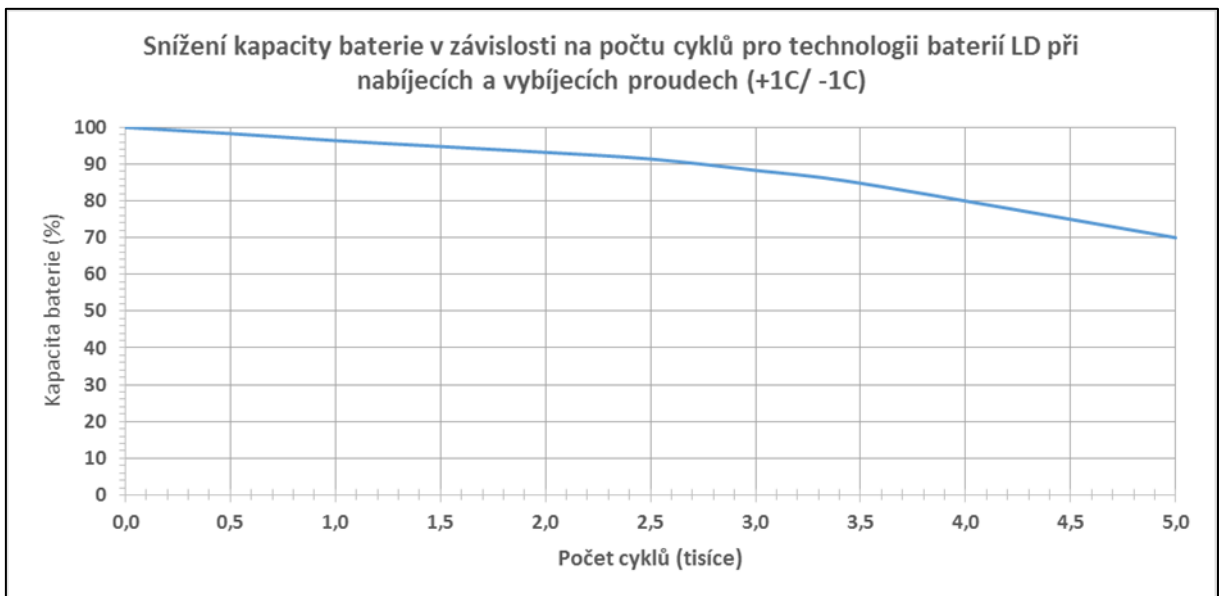
V případě tohoto projektu se nejedná o příliš významný parametr, neboť skutečné využití baterií se očekává zcela minimální. Bateriový systém bude v podstatě nabitý čekat na požadavek na aktivaci PpS MZ5. Ze zkušeností, které již Teplárna s poskytováním MZ5 má můžeme konstatovat, že k aktivaci dochází pouze v jednotkách/desítkách případů do roka. Například v roce 2015 došlo na Teplárně celkem k 26 aktivacím služby MZ5. Při kapacitě baterií 2,5 MWh navíc nikdy nedojde k jejich úplnému vybití, takže baterie za jednu aktivaci neprodělají ani jeden hluboký cyklus. Současné elektrochemické články však běžně umožňují bateriím operovat s životností cca od 3 000 do 10 000 cyklů.

5.3.4.1 Křivky poklesu životnosti

Protože pro realizaci projektu byly zvoleny Lithiové baterie, uvádím zde křivky závislosti poklesu kapacity baterie pro technologie baterií s velkým vybíjecím a nabíjecím výkonem (HR – High Rate) a pro technologii baterií s vysokou kapacitou (LD – Long Duration). Jedná se o vizuálně upravené křivky konkrétního dodavatele, z důvodu anonymizace projektu nebude uváděn jejich zdroj, nicméně srovnání vychází z volně dostupných materiálů konkrétního dodavatele.



Obrázek 15: Závislost poklesu kapacity baterie na počtu cyklů pro technologii HR.



Obrázek 16: Závislost poklesu kapacity baterie na počtu cyklů pro technologii LD.

Pokles kapacity baterií vlivem počtu nabíjecích a vybíjecích cyklů je definován při vybíjecím a nabíjecím proudu rovnajícím se kapacitě akumulátoru uvedeném v Ah, definováno jako +1C/ 1C. Při zanedbání mírného poklesu nebo případně nárůstu napětí při cyklování baterií můžeme říci, že jsou cykly definovány při vybíjecím a nabíjecím výkonu rovnajícím se kapacitě akumulátoru uvedeném ve Wh.

Z výše uvedených grafů je patrné, že při vybíjecím a nabíjecím výkonu +1C/-1C dosahuje technologie HR menšího poklesu kapacity vlivem počtu cyklů než technologie LD.

5.4 Vytvoření poptávky a výběr dodavatele

Poptávka bateriového systému byla vytvořena ve spolupráci se Společností. Jedná se však o velmi citlivá data, proto bude uvedena pouze struktura poptávky:

- Stručný popis současného provozního stavu Teplárny.
- Požadavky na bateriový systém.
- Detailní popis požadavků a seznámení se systémem Podpůrných služeb v ČR.
- Požadavky na obsah nabídky.
- Dodatek k dohodě o mlčenlivosti.

V současné době stále probíhá analýza nabídek a výběr vhodného dodavatele. Nicméně pro účely této práce jsem vybral dodavatele, jehož nabídka aktuálně nejvíce odpovídala očekávání investora a u které předpokládám její budoucí přijetí. Vzhledem k nutnosti utajení identity dodavatele budu dále používat pouze název Dodavatel, všechny technické parametry však budou odpovídat skutečným technickým parametrům systému nabízeného Dodavatelem.

5.5 Technické parametry vybraného bateriového systému

Na základě nabídky zvoleného Dodavatele uvádím popis technických parametrů bateriového systému. Součástí bateriového systému nejsou pouze samotné baterie, ale také výkonová a řídicí elektronika a transformátor pro vyvedení výkonu. Celý systém pak bude montován a uveden do provozu na klíč. Nabídka zahrnuje také zaškolení personálu pro obsluhu bateriového systému.

Parametry baterií	Hodnota
<i>Instalovaný výkon (činný)</i>	4 189 kW
<i>Instalovaný výkon (zdánlivý)</i>	4 847 kVA
<i>Účinnost celého cyklu (nabití - vybití)</i>	0,84
<i>Minimální napětí</i>	714,0 V
<i>Maximální napětí</i>	999,6 V
<i>Instalovaná kapacita</i>	3 808 kWh
<i>Použitelná kapacita</i>	3 313 kWh
<i>Dosažitelná kapacita po 10-ti letech</i>	2 600 kWh
<i>Poměr výkon/kapacita</i>	1,1
Parametry střídačů	Hodnota
<i>Počet</i>	4 ks
<i>Jmenovitý výkon (zdánlivý)</i>	6 329 kVA
<i>Maximální napětí na DC straně</i>	1 000 V
<i>Účinnost</i>	0,98
<i>Frekvence</i>	50/60 Hz
<i>Chlazení</i>	voda
Parametry transformátoru	Hodnota
<i>Typ</i>	olejový
<i>Vinutí</i>	měděné
<i>Výkon</i>	5 000 kVA
<i>Frekvence</i>	50 Hz
<i>Napětí - primární vinutí</i>	6,3 kV
<i>Napětí - sekundární vinutí</i>	2x 450 V
<i>Ztráty nakrátko</i>	7%
<i>Hmotnost</i>	11 000 kg

Tabulka 11: Parametry bateriového systému.

6 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

6.1 Obecný popis hodnocení

Životnost celého systému, včetně střídačů se předpokládá 20 let, přičemž jedinou výjimku tvoří samotné baterie, jejichž životnost je Dodavatelem garantována na 10 let. Doba života projektu bude stanovena na **20 let se zahrnutím nákladů na obnovu baterií** tzv. tvorba rezervního fondu na obnovu baterií.

Diskontní sazba pro ekonomické hodnocení je stanovena v souladu s diskontní sazbou používanou Společností pro hodnocení obdobných projektů, a to ve výši **4 %**.

Pro ekonomické zhodnocení bude na přání Společnosti použit cashflow model z pohledu projektu, tedy **bez zahrnutí odpisů a DPH**.

Provozní náklady projektu budou konzervativně **indexovány 1 %** ročně, dle požadavků Společnosti.

6.2 Identifikace vstupů

Vstupy pro ekonomického hodnocení projektu instalace bateriového systému pro akumulaci elektrické energie pro podporu TG3 při poskytování PpS MZ5 lze rozdělit dle běžných zvyklostí na tři základní skupiny, a to investiční náklady (CAPEX), provozní náklady (OPEX) a výnosy.

6.2.1 Investiční náklady

Jelikož je celý systém dodáván Dodavatelem na klíč, je v nabídce Dodavatele uvedena také cena celého bateriového systému. Investiční náklady jsou Dodavatelem uvedeny v EUR, přepočten na CZK byl proveden kurzem **27 CZK/EUR**. Na zohlednění vlivu změny kurzu je zpracována citlivostní analýza (kapitola 6.5.2).

Položka investičních nákladů	Cena (EUR)	Cena (CZK)
Baterie	1 404 888	37 931 976
Kontejnery, transformátory, střídače	994 592	26 853 984
Řídící systémy + nadřazený SCADA systém	245 545	6 629 715
Transport	17 242	465 534
Uvedení do provozu	86 947	2 347 569
CELKEM	2 749 214	74 228 778

Tabulka 12: Investiční náklady projektu.

6.2.2 Provozní náklady

6.2.2.1 Servis

Do provozních nákladů je nutné zahrnout především servis baterií. Cena za servis baterií se dělí na fixní, která je odvozená z výkonu systému a na variabilní, která je odvozena z celkové přenesené energie bateriemi. Výpočet přesné ceny se řídí následujícími cenovými vzorci, kde výsledná částka je v EUR a je nutné ji přepočítat na CZK:

$$SERVIS - FIX \left(\frac{EUR}{rok} \right) = P * k_1 = P * 8,889 \quad (2)$$

, kde P ... výkon bateriového systému (kW)
 k_1 ... konstanta ceny servisu zadaná dodavatelem (-)

$$SERVIS - VARIABILNÍ (EUR) = E * k_2 = E * 0,267 \quad (3)$$

, kde E ... energie přenesená bateriemi (nabíjení + vybíjení) (MWh)
 k_2 ... konstanta ceny servisu zadaná dodavatelem (-)

6.2.2.2 Náklady na dobíjení baterií

Další důležitou položkou jsou náklady na elektřinu pro dobíjení baterií. V tomto případě tedy hraje roli cena nakupované elektrické energie. V případě Teplárny, která si dokáže elektrickou energii vyrobit sama (rezervní výkon TG3 je dostatečný) budou cenu elektřiny tvořit pouze vlastní náklady na její výrobu. Teplárna tyto náklady stanovila na **850 Kč/MWh**.

6.2.2.3 Rezervní fond

Tvorba rezervního fondu je zcela běžná záležitost zahrnovaná do ekonomických hodnocení projektů, kde jsou hlavními komponentami baterie či střídače. V případě střídačů je jejich životnost z pohledu doby hodnocení projektu dostatečná, v případě baterií je však životnost poloviční.

Proto bude uvažovaná tvorba rezervního fondu na obnovu baterií ve výši jejich pořizovací ceny, a to po dobu jejich životnosti, tedy prvních 10 let provozu. Náklady na tvorbu rezervního fondu tedy činí **3 793 198 Kč/rok po dobu prvních 10 let**.

6.2.2.4 Ostatní náklady

Mezi ostatní náklady je nutné zahrnout zejména očekávané nejvýznamnější položky, tedy pojištění, náklady administrativy a náklady na zajištění pravidelných elektrotechnických revizí. Ceny byly stanoveny ve spolupráci s Teplárnou na základě informací z dosavadního provozu:

- Pojištění – 200 000 Kč/rok
- Elektrotechnické revize – 50 000 Kč/rok
- Administrativa – 0 Kč/rok (v rámci stávající činnosti společnosti projekt nečiní žádné nároky na zvýšení těchto nákladů)

6.2.3 Výnosy

Výnosy projektu jsou tvořeny výnosy z poskytování PpS MZ5. S odkazem na kapitolu 3.5 je uvažována cena za regulovanou zálohu pro rok 2018 ve výši **506 Kč/MW*h** a cena za regulační energii ve výši **6 000 Kč/MWh**, což odpovídá současně dohodnuté ceně mezi Teplárnou na ČEPS.

6.3 Technicko-ekonomický model

Pro ekonomické zhodnocení projektu je nutné vypočítat hodnoty ekonomických ukazatelů. Ty jsou kalkulovány prostřednictvím standardního cashflow modelu z pohledu projektu. Výnosy a náklady použité v modelu jsou zadány buď přímo ve vstupních datech (kapitola 6.2), nebo jsou na základě těchto vstupů vypočítány.

6.3.1 Technická část

Vstupy technické části modelu jsou popsány v následující tabulce:

Vstupní parametry	Hodnota	Jednotka
Výkon	4	MW
Kapacita	2,5	MWh
Účinnost celého cyklu baterie	84	%
Disponibilita bateriového systému	98	%
Průměrná odstávka parní turbíny	14	dní/rok
Počet aktivací za rok	20	-
Dodaná energie při aktivaci	0,2	MWh

Tabulka 13: Vstupní parametry technické části modelu.

Z výše uvedených vstupních parametrů většina byla popsána v předchozích částech práce, nicméně původ některých parametrů bude objasněn na následujících řádcích:

- Disponibilita bateriového systému byla použita z technické specifikace Dodavatele bateriového systému a jedná se o průměrnou dostupnost jím dodávaných systémů.
- Průměrná odstávka parní turbíny byla stanovena na základě skutečných provozních dat Teplárny.
- Počet aktivací činil v roce 2015 26 aktivací, protože menší počet aktivací znamená nižší příjmy za dodávku regulační energie, zvolil jsme konzervativní hodnotu 20 aktivací ročně (výpočet na straně společnosti).
- Výpočet dodané energie při aktivaci byl proveden postupem popsaným v kapitole 5.3, nicméně hodnota byla zaokrouhlena z vypočtených 0,167 MWh na konzervativnější 0,2 MWh s ohledem na možnost regulovat náběhovou křivku dodávky bateriového systému.

Na základě těchto technických vstupních dat byly vypočteny parametry potřebné pro ekonomickou část modelu:

Výstupní parametry	Hodnota	Jednotka
Doba poskytované služby MZ5	8249	h/rok
Celková dodaná regulační energie	4,0	MWh
Celková energie pro nabíjení baterií	4,8	MWh
Celková přenesená energie bateriemi	8,8	MWh
Ekvivalentní počet cyklů	1,8	cykly/rok

Tabulka 14: Výstupní parametry technické části modelu.

6.3.2 Ekonomická část

Ekonomická část modelu je tvořena investičními náklady převzatými z kapitoly 6.2.1, provozními náklady (kapitola 6.2.2) a výnosy (kapitola 6.2.3) vypočtenými pomocí výstupů technické části modelu.

Cenové položky	Cena
Cena elektřiny pro dobíjení baterií (Kč/MWh)	850
Cena regulované zálohy (Kč/MW*h)	506
Cena regulační energie (Kč/MWh)	6 000

Tabulka 15: Cenové položky pro ohodnocení provozních nákladů a výnosů.

Položka provozních nákladů	Cena (CZK)
<i>Servis a údržba systému - FIXNÍ</i>	960 012
<i>Servis a údržba systému - VARIABILNÍ</i>	63
<i>Rezervní fond na výměnu baterií</i>	3 793 198
<i>Náklady na elektřinu pro dobíjení baterií</i>	4 048
<i>Pojištění</i>	200 000
<i>Revize</i>	50 000
<i>Administrativní náklady</i>	0
CELKEM	5 007 320

Tabulka 16: Přehled provozních nákladů projektu.

Položka výnosů	Cena (CZK)
<i>Platba za regulovanou zálohu</i>	16 695 571
<i>Platba za regulační energii</i>	24 000
CELKEM	16 719 571

Tabulka 17: Přehled výnosů projektu.

Výstupy ekonomické části jsou uvedeny v následující kapitole.

6.4 Zhodnocení projektu

Pro hodnocení projektu byly zvoleny následující ukazatele ekonomické efektivity, jejichž výpočet proběhl pomocí cashflow modelu z pohledu projektu, nastaveného v souladu s kapitolou 6.1:

Ekonomický ukazatel	Hodnota	Jednotka
<i>Čistá současná hodnota (NPV)</i>	99 818 555	Kč
<i>Vnitřní výnosové procento (IRR)</i>	15,46	%
<i>Prostá doba návratnosti [let]</i>	6,34	roky
<i>Reálná (diskontovaná) doba návratnosti [let]</i>	7,58	roky

Tabulka 18: Výsledné ekonomické ukazatele pro hodnocení projektu.

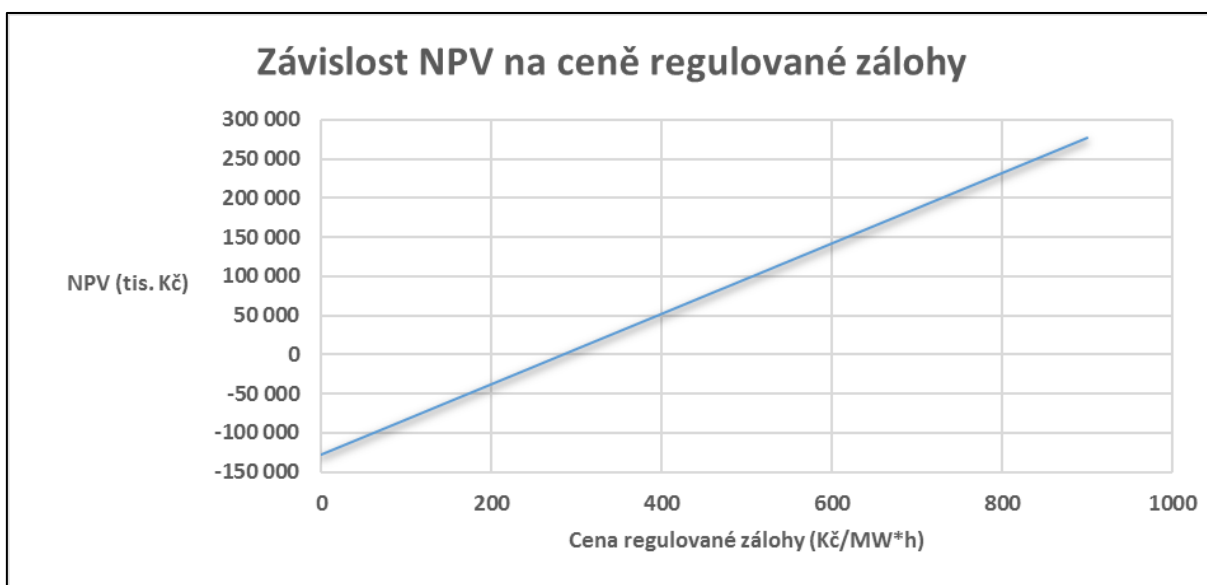
Na základě těchto ekonomických ukazatelů hodnotím projekt jako **NÁVRATNÝ**. Prostá doba návratnosti ve výši do 7 let odpovídá prosté době návratnosti běžně dosahované ekonomicky atraktivními projekty v energetice.

6.5 Citlivostní analýza

V rámci ekonomického hodnocení projektu bateriového systému jsem zpracoval citlivostní analýzu na nejdůležitější parametry projektu.

6.5.1 Cena regulační zálohy

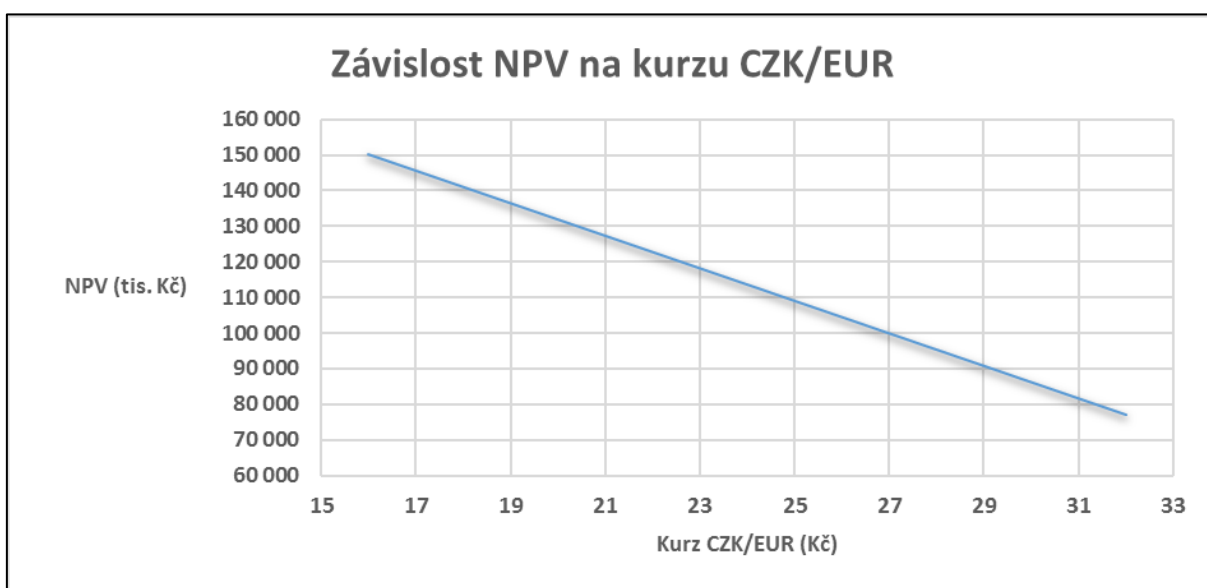
Cena regulační zálohy tvoří hlavní výnos projektu výsledné ekonomické ukazatele jsou na ní velmi silně závislé. Při poklesu ceny regulační zálohy o cca 44 % na 283,4 Kč/MW*h je čistá současná hodnota projektu (NPV) rovna nule.



Obrázek 17: Grafické znázornění závislosti NPV na ceně regulované zálohy.

6.5.2 Změna kurzu

Protože investiční náklady a náklady na servis jsou udávány v EUR je vhodné zpracovat také citlivostní analýzu na kolísání kurzu CZK/EUR. Čistá současná hodnota projektu je rovna nule až při kurzu 48,8 CZK/EUR.



Obrázek 18: Grafické znázornění závislosti NPV na kurzu CZK/EUR.

6.6 Analýza rizik

Z hlediska hlavních sledovaných a posuzovaných rizik lze tyto rozdělit na technické systémové a finanční vlivy. Jednotlivá rizika jsou komentována níže:

6.6.1 Technická rizika

Zajištění životnosti akumulace minimálně 10 let. Je zapotřebí dodržet veškeré klimatické a provozní podmínky akumulace, které jsou předepsány výrobcem v dodavatelské smlouvě, tak aby byla zajištěna dostatečná životnost akumulace. V případě realizace rozsáhlejšího systému akumulace elektřiny je vhodné posoudit ekonomickou udržitelnost dodatečného chlazení baterií.

6.6.2 Systémová rizika

Vzhledem k rozvoji akumulačních systémů elektřiny je možné, že může na straně dodávky technologie akumulace dojít k výraznému zpoždění. Je tedy vhodné si veškeré termíny dodávek ověřit s Dodavatelem akumulace a zahrnout je v dodavatelských smlouvách.

V ekonomickém hodnocení není uvažováno s recyklací baterií. V současné době není predikovatelné, jak bude na bateriové systémy pohlíženo z hlediska požadavků na recyklaci po uplynutí doby života baterií. Je vhodné si s Dodavatelem bateriového systému upřesnit mechanismus recyklace baterií nebo případně recyklaci s Dodavatelem smluvně zajistit. Avšak nepředpokládá se, že by míra tohoto rizika byla významná vzhledem ke skutečnosti, že baterie obsahuje vzácné kovy, na které se již v současné době výrazně zvyšuje poptávka.

6.6.3 Finanční rizika

Za finanční riziko lze považovat především změnu ceny za poskytovanou zálohu MZ5. Jedná se o málo pravděpodobné riziko, neboť provozovatel přenosové soustavy ČEPS v současné době využívání této služby nijak neomezuje, naopak je velmi nakloněn certifikacím nových poskytovatelů (interní informace zadavatele diplomové práce). Nicméně na změnu ceny za poskytovanou zálohu byla provedena citlivostní analýza (kapitola 6.5.1).

Protože Dodavatel, který bude bateriový systém realizovat, není českou společností, jsou investiční náklady i náklady na servis udávány v EUR. V návaznosti na nedávné oznámení ukončení intervencí České národní banky (ČNB), kdy je očekáváno posílení CZK, bylo vhodné zpracovat citlivostní analýzu na změnu kurzu (kapitola 6.5.2). Je nutné dodat, že vzhledem k ukončení intervencí ČNB se očekává posílení CZK, což by mělo na ekonomiku projektu pozitivní vliv.

7 ZÁVĚR

7.1 Shrnutí projektu

Na základě výsledků technickoekonomického hodnocení projektu nasazení bateriového systému pro podporu konvenčního zdroje energie při poskytování Podpůrné služby MZ5 lze konstatovat, že projekt je návratný s diskontovanou dobou návratnosti 7,58 let při NPV ve výši 99 818 555 Kč. V projektu nebyla identifikována žádná významná rizika, která by ekonomickou efektivitu projektu mohla zásadně ovlivnit. Instalaci bateriového systému lze tedy doporučit k realizaci.

7.2 Shrnutí diplomové práce

Zadáním této diplomové práce bylo provést popis bateriových systémů pro akumulaci elektrické energie a popis principů fungování Podpůrných služeb v ČR. Oba tyto body zadání byly splněny v teoretické části práce. V praktické části práce pak byl dle zadání proveden návrh bateriového systému, technickoekonomická analýza jeho nasazení a ekonomické zhodnocení navrženého systému. Tím byly všechny body zadání diplomové práce splněny.

Navržený bateriový systém bude na Teplárně skutečně realizován, nicméně celý projekt se nyní nachází ve fázi výběru dodavatele bateriového systému. Do budoucna je uvažováno s využitím bateriového systému také pro poskytování Podpůrné služby Primární regulace, což bude nejprve testováno na reálném provozu uvnitř vlastní lokální distribuční soustavy LDS Teplárna. Vzhledem k faktu, že přidání Primární regulace mezi poskytované Podpůrné služby by nevyžadovalo žádné další investice, jedná se o ekonomicky velmi atraktivní rozšíření projektu.

7.3 Reálný význam řešené problematiky

Význam bateriových systémů v energetice se s instalací stále nových obnovitelných zdrojů energie, jejichž výroba je obtížně predikovatelná, zvyšuje. Bateriové systémy by v současné době našli využití i při jejich samostatném nasazení, nicméně díky jejich vysokým investičním nákladům jsou takovéto projekty zatím ekonomicky neudržitelné. Využití bateriových systémů jako podpory konvenčních zdrojů energie je ale ekonomicky velmi atraktivní i dnes, a to navíc bez nutnosti dotačních podpor. Masivnímu nasazování velkých bateriových systémů v ČR brání především legislativa, která není na tyto systémy vůbec přizpůsobena. Cílem této práce nad rámec jejího zadání je také informovat odbornou veřejnost o možnostech využití bateriových systémů s kladením důrazu na racionalitu jejich nasazení.

Seznam použité literatury

- [1] Sandia national laboratories, „DOE global energy storage database“, *Database*, 2016. [Online]. Dostupné z: <http://www.energystorageexchange.org/>.
- [2] „ČEPS, a.s. - Kodex PS“. [Online]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/CZE/Data/Legislativa/Kodex/Stranky/default.aspx>.
- [3] a. s. ČEPS, „KODEX PŘENOSOVÉ SOUSTAVY Část 1. Základní podmínky pro užívání přenosové soustavy“, s. 52, 2011.
- [4] ČEPS a.s., „KODEX PŘENOSOVÉ SOUSTAVY Část 2. Podpůrné služby (PpS)“, s. 214, 2016.
- [5] ČEPS a.s., „KODEX PŘENOSOVÉ SOUSTAVY Část 3. Poskytování systémových a přenosových služeb“, s. 11, 2016.
- [6] *ZÁKON 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*. 2015, s. 101.
- [7] „Základní údaje — OTE, a.s.“ [Online]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/o-spolecnosti/zakladni-udaje>.
- [8] OTE a.s., „Produktové listy OTE“, s. 14, 2016.
- [9] I. R. Kabele, „Trh s podpůrnými službami (PpS)“, 2011, s. 95.
- [10] K. Vinkler, „Obchodní dispečink a vyrovnávací trh“, 2015, s. 12.
- [11] „ČEPS, a.s. - Jak se obstarávají PpS“. [Online]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/CZE/Data/Jak-seobstaravaji-PpS/Stranky/default.aspx>. [Viděno: 27-pro-2016].
- [12] „Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2016“. 2016.
- [13] „Roční zpráva — OTE, a.s.“ [Online]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/rocnizprava>. [Viděno: 16-kvě-2017].