



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## VYUŽITÍ VELKOKAPACITNÍCH BATERIÍ V PROVOZU ČERVENÝ MLÝN K ROZŠÍŘENÍ PODPŮRNÝCH SLUŽEB VŮČI ČEPS

UTILIZATION OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEMS IN THE ČERVENÝ MLÝN  
PLANT TO EXTEND ANCILLARY SERVICES TO ČEPS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Tomáš Zajac**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Lukáš Radil, Ph.D.**

**BRNO 2018**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Bc. Tomáš Zajac

**ID:** 164439

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2017/18

## NÁZEV TÉMATU:

### Využití velkokapacitních baterií v provozu Červený Mlýn k rozšíření podpůrných služeb vůči ČEPS

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznámení se s požadavky na akumulaci z pohledu ČEPS
2. Vytipování vhodných akumulačních prostředků pro provoz Červený Mlýn
3. Naržení vhodné strategie využívání akumulace
4. Vytvoření ekonomického modelu provozu akumulátoru
5. Zhodnocení dosažených výsledků

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 5.2.2018

**Termín odevzdání:** 21.5.2018

**Vedoucí práce:** Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

**Bibliografická citácia práce:**

ZAJAC, T. *Využití velkokapacitních baterií v provozu Červený Mlýn k rozšíření podpůrných služeb vůči ČEPS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 55 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lukáš Radil, Ph.D..

„Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému Využití velkokapacitních baterií v provozu Červený mlýn k rozšíření podpůrných služeb vůči ČEPS som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, nezasiahol som nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení §11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Touto cestou by som sa chcel taktiež poďakovať vedúcemu práce Ing. Lukášovi Radilovi, Ph.D. a odbornému konzultantovi Ing. Luďkovi Ondrouškovi za poskytnutie cenných rád, užitočných informácií a ďalších postrehov, ktoré mi pomohli pri vypracovávaní diplomovej práce.“

V Brně dňa:

.....

## **ABSTRAKT**

Predmetom diplomovej práce je analýza využitia veľkokapacitnej akumulácie elektrickej energie, ktorá bude v spolupráci s prevádzkou Červený mlýn zabezpečovať podporné služby pre ČEPS, a.s.. V prvej časti práce je uvedená kategorizácia podporných služieb. V rámci nej sú definované technicko-legislatívne požiadavky na subjekty poskytujúce jednotlivé služby, uvedený prehľad poskytovateľov podporných služieb v Českej republike a priblížený spôsob ich obstarávania. Práca pokračuje prehľadom akumulčných technológií, ktoré sú využívané vo veľkokapacitných aplikáciách vo svete a v Českej republike. Následne sú predstavené tri akumulčné technológie – Li-Ion, NaS a VRB, ktoré sú uvažované ako vhodné technologické riešenia pre danú aplikáciu. Posledná časť práce sa zaoberá stanovením parametrov akumulčného systému, výberom miesta pripojenia v rámci prevádzky Červený mlýn a popisom prevádzkových režimov pri poskytovaní jednotlivých podporných služieb. Pre potreby zhodnotenia investície z ekonomicko-prevádzkového hľadiska je vytvorený a opísaný model citlivostnej analýzy, ktorého výstupy sú v závere práce prezentované a diskutované.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** podporné služby, primárna regulácia frekvencie, sekundárna regulácia výkonu, minútové zálohy, veľkokapacitná akumulácia, akumulácia elektrickej energie, BSAE, tepláreň

## **ABSTRACT**

The aim of master's thesis is analysis of utilization of large-capacity battery energy storage systems, used in cooperation with facility Červený mlýn to supply ancillary services to ČEPS, a.s.. In the first part, categorisation of ancillary services is presented. Within the categorisation technical and legislative requirements on subjects providing individual services are defined, the overview of ancillary services providers is listed and the mechanisms of ancillary services procurement are elucidated. The thesis continues with an overview of accumulation technologies used in high-capacity application around the world and in Czech republic. Subsequently three technologies are presented – Li-Ion, NaS and VRB, which are considered as suitable technological solutions for given application. The last part of thesis deals with specification of parameters of the accumulation system, with selection of installation site within the facility and with description of operating modes while providing ancillary services. In order to evaluate the investment from an economic point of view, a model of sensitivity analysis is created and described and its outputs are presented and discussed at the end of the thesis.

**KEY WORDS:** ancillary services, primary frequency regulation, secondary power regulation, minute reserves, large-capacity accumulation, accumulation of electricity, BESS, heat and power plant

## OBSAH

<b>ZOZNAM OBRÁZKOV</b> .....	<b>8</b>
<b>ZOZNAM TABULIEK</b> .....	<b>9</b>
<b>ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>2 PODPORNÉ SLUŽBY</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 KATEGORIZÁCIA PODPORNÝCH SLUŽIEB</b> .....	<b>13</b>
2.1.1 PRIMÁRNA REGULÁCIA <i>F</i> BLOKU .....	13
2.1.2 SEKUNDÁRNA REGULÁCIA <i>P</i> BLOKU .....	14
2.1.3 MINÚTOVÉ ZÁLOHY $MZ_T$ .....	14
2.1.4 ZNÍŽENIE VÝKONU .....	15
2.1.5 SEKUNDÁRNA REGULÁCIA <i>U/Q</i> .....	15
2.1.6 OBNOVA PREVÁDZKY <i>ES</i> .....	15
<b>2.2 POSKYTOVATELIA PPS</b> .....	<b>15</b>
2.2.1 FIKTÍVNE BLOKY.....	17
2.2.2 TEPLÁREŇ ČERVENÝ MLÝN V SYSTÉME POSKYTOVANIA PPS.....	17
<b>2.3 SPÔSOBY ZAIŠŤOVANIA PODPORNÝCH SLUŽIEB</b> .....	<b>18</b>
2.3.1 DLHODOBÉ KONTRAKTY NA NÁKUP PPS .....	19
2.3.2 DENNÝ TRH S PPS .....	21
<b>2.4 NAVRHOVANÉ ZMENY V SYSTÉME POSKYTOVANIA PPS</b> .....	<b>21</b>
<b>3 VEĽKOKAPACITNÁ AKUMULÁCIA ELEKTRICKEJ ENERGIE</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 VEĽKOKAPACITNÁ AKUMULÁCIA V ZAHRANIČÍ</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2 VEĽKOKAPACITNÁ AKUMULÁCIA V ČESKEJ REPUBLIKE</b> .....	<b>23</b>
<b>3.3 VÝBER AKUMULAČNEJ TECHNOLOGIE</b> .....	<b>25</b>
3.3.1 LI-ION .....	25
3.3.2 NAS.....	26
3.3.3 VRB.....	27
<b>4 METÓDA ANALÝZY VYUŽITIA BSAE V PREVÁDZKE ČERVENÝ MLÝN</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1 STANOVENIE MIESTA PRIPOJENIA BSAE</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2 CITLIVOSTNÁ ANALÝZA</b> .....	<b>30</b>
4.2.1 VSTUPY .....	30
4.2.2 VÝSTUPY.....	32
<b>5 PREVÁDZKOVÉ REŽIMY POSKYTOVANIA PPS A EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE PROJEKTU</b> .....	<b>33</b>
<b>5.1 POSKYTOVANIE SEKUNDÁRNEJ REGULÁCIE</b> .....	<b>33</b>
5.1.1 NÁKLADY.....	34
5.1.2 PRÍJMY .....	34
5.1.3 ZHODNOTENIE INVESTÍCIE.....	35
<b>5.2 POSKYTOVANIE PRIMÁRNEJ A SEKUNDÁRNEJ REGULÁCIE</b> .....	<b>37</b>
5.2.1 NÁKLADY.....	37
5.2.2 PRÍJMY .....	38
5.2.3 ZHODNOTENIE INVESTÍCIE.....	38

---

<b>5.3 POSKYTOVANIE MINÚTOVÝCH ZÁLOH .....</b>	<b>40</b>
5.3.1 NÁKLADY.....	41
5.3.2 PRÍJMY .....	41
5.3.3 ZHODNOTENIE INVESTÍCIE.....	42
<b>6 ZÁVER.....</b>	<b>44</b>
<b>POUŽITÁ LITERATÚRA .....</b>	<b>46</b>
<b>PRÍLOHA A – ROZDELENIE REGULAČNÝCH ZÁLOH [2] .....</b>	<b>48</b>
<b>PRÍLOHA B – CENY REGULAČNÝCH ZÁLOH PPS [8] .....</b>	<b>49</b>
<b>PRÍLOHA C – JEDNOPÓLOVÁ SCHÉMA MYDLOVARY [15].....</b>	<b>51</b>
<b>PRÍLOHA D –SCHÉMA PRIPOJENIA BSAE DO VS [25] .....</b>	<b>52</b>
<b>PRÍLOHA E – UMIESTNENIE AKUMULÁCIE [25] .....</b>	<b>53</b>
<b>PRÍLOHA F – PROSTREDIE MATEMATICKÉHO MODELU .....</b>	<b>55</b>

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

<i>Obrázok 2.1 Príklad aktivácie RZPR na bloku do 300 MW pri <math>\Delta f = 200</math> mHz.....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázok 2.2 Poskytovatelia PpS [3] .....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázok 2.3 Zastúpenie Teplární Brno v poskytovaní jednotlivých PpS [3] .....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázok 2.4 Vývoj cien Primárnej regulácie f bloku [8].....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázok 2.5 Vývoj cien Sekundárnej regulácie P bloku [8] .....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázok 2.6 Vývoj cien Minútovej zálohy <math>t=5</math> [8] .....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázok 2.7 Vývoj cien Minútovej zálohy <math>t=15</math> kladnej [8] .....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázok 2.8 Vývoj cien Minútovej zálohy <math>t=15</math> zápornej [8] .....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázok 3.1 Blokové usporiadanie BSAE Mydlovary [16] .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázok 4.1 Zjednodušená schéma vlastnej spotreby prevádzky [25] .....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázok 4.2 Ovládacie prostredie pre parametrizáciu vstupov modelu.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázok 5.1 Počiatočné ceny RZSR, RESR(+) a RESR(-) [8][26].....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázok 5.2 Peňažné toky - technológia Li-Ion, poskytovanie SR .....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázok 5.3 Peňažné toky - technológia NaS, poskytovanie SR.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázok 5.4 Peňažné toky - technológia VRB, poskytovanie SR.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázok 5.5 Počiatočné ceny RZPR [8] .....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázok 5.6 Peňažné toky - technológia Li-Ion, poskytovanie PR a SR.....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázok 5.7 Peňažné toky - technológia NaS, poskytovanie PR a SR.....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázok 5.8 Peňažné toky - technológia VRB, poskytovanie PR a SR .....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázok 5.9 Počiatočné ceny RZMZ<sub>5</sub>, REMZ<sub>5(+)</sub> a REMZ<sub>5(-)</sub> [8][26].....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázok 5.10 Peňažné toky - technológia Li-Ion, poskytovanie MZ<sub>5</sub>.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázok 5.11 Peňažné toky - technológia NaS, poskytovanie MZ<sub>5</sub> .....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázok 5.12 Peňažné toky - technológia VRB, poskytovanie MZ<sub>5</sub>.....</i>	<i>43</i>



**ZOZNAM TABULIEK**

<i>Tabuľka 2.1 Požiadavky na MZ<sub>t</sub> [2]</i> .....	15
<i>Tabuľka 2.2 Certifikované parametre TČM v systéme poskytovania PpS [6]</i> .....	18
<i>Tabuľka 3.1 Prehľad vybraných akumuláčnych systémov [12]</i> .....	23
<i>Tabuľka 3.2 Technické špecifikácie [18]</i> .....	24
<i>Tabuľka 3.3 Prehľad technických a ekonomických parametrov Li-Ion [20][21][22]</i> .....	26
<i>Tabuľka 3.4 Prehľad technických a ekonomických parametrov NaS [20][21][22]</i> .....	26
<i>Tabuľka 3.5 Prehľad technických a ekonomických parametrov VRB [20][21][22]</i> .....	27
<i>Tabuľka 4.1 Parametre prvkov vlastnej spotreby prevádzky Červený mlýn [25]</i> .....	29
<i>Tabuľka 4.2 Nastavenie globálnych parametrov modelu</i> .....	32
<i>Tabuľka 5.1 Stanovenie RESR [3][26]</i> .....	33
<i>Tabuľka 5.2 Náklady na systém zabezpečujúci SR</i> .....	34
<i>Tabuľka 5.3 Zhodnotenie projektu v režime poskytovania SR</i> .....	35
<i>Tabuľka 5.4 Náklady na systém poskytujúci PR a SR</i> .....	38
<i>Tabuľka 5.5 Zhodnotenie projektu v režime poskytovania PR a SR</i> .....	38
<i>Tabuľka 5.6 Stanovenie REMZ<sub>5</sub> [26]</i> .....	40
<i>Tabuľka 5.7 Náklady na systém zabezpečujúci MZ<sub>5</sub></i> .....	41
<i>Tabuľka 5.8 Zhodnotenie projektu v režime poskytovania MZ<sub>5</sub></i> .....	42

**ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK**

aFRP	-	Automaticky ovládaný proces obnovenia frekvencie a výkonovej rovnováhy
aFRR	-	Zálohy pre reguláciu výkonovej rovnováhy s automatickou aktiváciou
BSAE	-	Batériový systém akumulácie elektrickej energie
BMS	-	Riadiaci systém batérie (Battery management system)
BRTEP	-	Teplárny Brno, a.s.
BS	-	Štart zo tmy (Blackstart)
CF	-	Jednoduché peňažné toky (Cash Flow)
CCF	-	Kumulované peňažné toky (Cumulative Cash Flow)
ČEPS	-	Česká energetická prenosová soustava, a.s.
DT	-	Denný trh
EMS	-	Systém vzdialeného ovládania batérie (Energy management system)
ES ČR	-	Elektrizačná sústava Českej republiky
FB	-	Fiktívny blok
FCP	-	Proces automatickej regulácie frekvencie
FCR	-	Zálohy pre automatickú reguláciu frekvencie
FRR	-	Zálohy pre reguláciu výkonovej rovnováhy
IRR	-	Vnútorne výnosové percento (Internal Rate of Return)
KYTEP	-	Teplárna Kyjov, a.s.
mFRPt	-	Ručne ovládaný proces obnovenia frekvencie a výkonovej rovnováhy v čase $t$ minút
mFRRt	-	Zálohy pre reguláciu výkonovej rovnováhy s manuálnou aktiváciou v čase $t$ minút
MZ <sub>t</sub>	-	Minútové zálohy v čase $t$
NPV	-	Čistá súčasná hodnota (Net Present Value)
OP	-	Ostrovná prevádzka
OTE	-	Operátor trhu s energiami, a.s.
OZE	-	Obnoviteľné zdroje elektrickej energie
PLENE	-	Plzeňská energetika, a.s.
PLTEP	-	Plzeňská teplárenská, a.s.
PpS	-	Podporné služby
PR	-	Primárna regulácia $f$ bloku
RE	-	Regulačná energia
RR	-	Regulačný rozsah
RZ	-	Regulačná záloha
SR	-	Sekundárna regulácia $P$ bloku
SRUQ	-	Sekundárna regulácia napätia a jalového výkonu
SU	-	Sokolovská uhelná, a.s.
SV	-	Zníženie výkonu
SyS	-	Systémové služby

Značka	Veličina	Jednotka
$\Delta P$	Zmena činného výkonu bloku	W
$\delta$	Statika primárnej regulácie bloku	-
$P_n$	Menovitý výkon bloku	W
$f_n$	Menovitá systémová frekvencia	Hz
$\Delta f$	Zmena frekvencie	Hz
$S_{nT}$	Menovitý zdanlivý výkon transformátora	VA
$S_{nM}$	Menovitý zdanlivý výkon meniča	VA
$P_{\check{c}}$	Výkon akumulátora	W
$E_{\check{c}}$	Energia akumulátora	Wh
$n_c$	Počet cyklov akumulátora (životnosť)	-
$\eta_{rt}$	Cyklická (roundtrip) účinnosť	%
$S_V$	Zdanlivý výkon - výroba	VA
$S_S$	Zdanlivý výkon - spotreba	VA
$S_{St}$	Zdanlivý výkon - straty	VA
$S_A$	Zdanlivý výkon - akumulácia	VA
$S_n$	Menovitý zdanlivý výkon energetického zariadenia prevádzky	VA
$p$	Prevod transformátora	-
$U_n$	Menovité napätie	V
$P_i$	Inštalovaný výkon energetického zariadenia prevádzky	W
$\beta$	Súčiniteľ súdobosti	-
$P_{p,BBB}$	Výpočtové zaťaženie prípojnice BBB	W
$P_{i,celk}$	Celkový inštalovaný výkon pripojený na prípojnicu BBB	W
$P_{rez,BBB}$	Výkonová rezerva prípojnice BBB	W

# 1 ÚVOD

Vplyvom zvyšovania dopytu po elektrickej energii a rastúcimi požiadavkami na výrobu elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov dochádza k postupnej zmene zdrojovej základne elektrizačných sústav. Čoraz častejšie sú do prenosových aj distribučných sústav pripojované intermitentné zdroje elektrickej energie. Tieto decentralizované zdroje so sebou prinášajú radu problémov. Ich výroba je v čase len s ťažkosťami predikovateľná a ich vlastné technológie, menovite spôsob vyvedenia výkonu neposkytujú nadradenej sústave žiadne točivé zálohy, keďže sa jedná o takzvané netočivé zdroje elektrickej energie. To má vplyv na výkonovú bilanciu a stabilitu sústav, na kvalitu a na spoľahlivosť dodávky elektrickej energie. Zo strany prevádzkovateľov elektrizačných sústav je daná situácia riešená navyšovaním objemu nakupovaných podporných služieb, ktoré pomáhajú udržiavať kvalitatívne parametre a stabilitu dodávky.

Jedným z možných riešení, ako dané objemy regulačných záloh elektrickej energie zabezpečiť, je využitie akumulácie elektrickej energie v spolupráci s konvenčnými aj obnoviteľnými zdrojmi. Historicky, akumulačné systémy slúžili hlavne na skladovanie elektrickej energie vyrobenej v čase off-peak, ktorá bola následne využívaná v dobe zvýšeného dopytu. Postupným vývojom technológií skladovania elektrickej energie však dochádza k rozširovaniu možností ich aplikácie. Nespornou výhodou daných systémov je čiastočné oddelenie výroby a spotreby energie v čase, čím prispievajú k udržiavaniu výkonovej rovnováhy. V závislosti na type a spôsobe akumulácie je taktiež možné využiť ich rýchle reakčné časy na operatívne riešenie neobvyklých prevádzkových stavov v elektrizačných sústavách a tým prispievať k ich celkovej stabilite. Špecifickosť akumulácie elektrickej energie taktiež otvára priestor pre diskusiu o nových možnostiach poskytovania podpory prevádzkovateľom elektrizačných sústav. Vplyvom integrácie akumulačných systémov do elektrizačných sústav taktiež dochádza postupne na vnútroštátnej aj medzinárodnej úrovni k úprave legislatívy, ktorá bude slúžiť ako základ pre ďalší rozvoj akumulácie elektrickej energie v celom rade sieťových aplikácií.

## 2 PODPORNÉ SLUŽBY

Prevádzkovateľ elektrizačnej sústavy Českej republiky (ES ČR) – spoločnosť ČEPS, a.s. poskytuje za účelom zaistenia bezpečnej a spoľahlivej prevádzky ES ČR nasledujúce systémové služby (SyS):

- udržiavanie kvality elektrickej energie,
- udržiavanie výkonovej rovnováhy v reálnom čase,
- obnovenie prevádzky,
- a dispečerské riadenie [1].

Na dosiahnutie efektívneho poskytovania SyS má spoločnosť ČEPS, a.s. podľa odstavca 3d) §24 zákona 458/2000 Zb. (Energetický zákon) právo nakupovať prostriedky vo forme podporných služieb (PpS). Tie sú definované ako činnosti fyzických a právnických osôb, ktoré pomáhajú zaisťovať kvalitnú a spoľahlivú dodávku elektrickej energie. Medzi obecné požiadavky na podporné služby patrí:

- merateľnosť – na základe stanovených kvantitatívnych parametrov a daným spôsobom vyhodnocovania,
- dostupnosť – garantovaná v rámci daného časového cyklu s možnosťou inšpekcií,
- certifikovateľnosť – na základe stanoveného spôsobu preukazovania schopnosti poskytovania služby pomocou periodických testov [2].

### 2.1 Kategorizácia podporných služieb

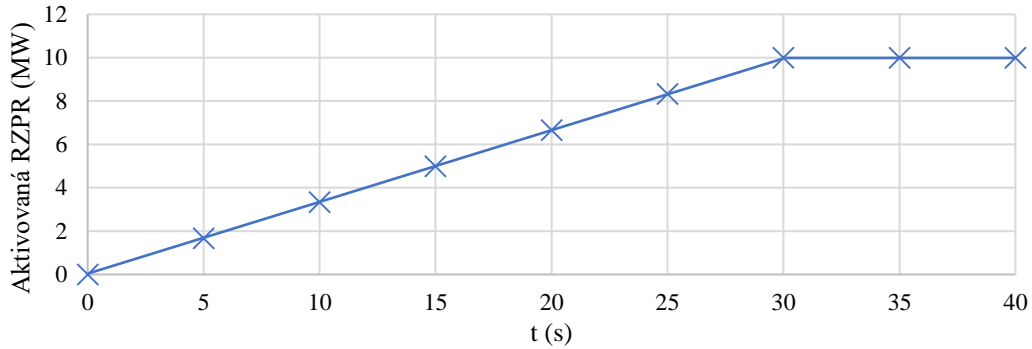
Nasledujúce podkapitoly sa zaoberajú základnou kategorizáciou a princípom jednotlivých PpS. Taktiež obsahujú súhrn definícií minimálnych a maximálnych regulačných rozsahov (RR) a regulačných záloh (RZ) vyplývajúcich z Kodexu prenosovej sústavy, ktoré musí prevádzkovateľ na zariadení zabezpečiť v prípade, že plánuje konkrétne PpS poskytovať.

#### 2.1.1 Primárna regulácia $f$ bloku

Tento druh regulácie je realizovaný ako lokálna automatická funkcia, ktorá zabezpečuje presne definovanú zmenu výkonu elektrárenského bloku v závislosti na odchýlke frekvencie od nominálnej systémovej frekvencie. Zmena výkonu, ktorá je požadovaná obvody primárnej regulácie (PR) udáva regulačná rovnica, ktorá popisuje požadovanú zmenu výkonu bloku  $\Delta P$  vzhľadom na zmenu frekvencie  $\Delta f$ , menovitý výkon bloku  $P_n$ , statiku primárnej regulácie  $\delta$  a menovitou sieťovou frekvenciu  $f_n$ :

$$\Delta P = -\frac{100}{\delta} \cdot \frac{P_n}{f_n} \cdot \Delta f \quad (\text{MW; \%}, \text{MW, Hz, Hz}) \quad (2.1)$$

Poskytovateľ PpS PR musí zabezpečiť uvoľnenie požadovanej regulačnej zálohy (RZPR) do tridsiatich sekúnd od okamihu vzniku odchýlky frekvencie. Reakcia obvodov primárnej regulácie na odchýlku frekvencie je autonómna a proporcionálna, so vzorkovacou frekvenciou 1s [2].



Obrázok 2.1 Príklad aktivácie RZPR na bloku do 300 MW pri  $\Delta f = 200$  mHz

Maximálna veľkosť RZPR na bloku s certifikáciou na PR a celkovým výkonom do 300 MW je uvoľňovaná pri zmene kmitočtu o 200 mHz od systémovej frekvencie. Na blokoch s certifikáciou a výkonom nad 300 MW dochádza k uvoľneniu celej RZPR už pri zmene kmitočtu o 100 mHz. Z dôvodu obmedzenia vplyvu výpadku blokov zaradených do PR sú stanovené medze RZPR zabezpečované jedným elektrárenským (popríp. fiktívnym) blokom na minimálne 3 MW a maximálne 10 MW. Výsledný regulačný rozsah PR (RRPR) je rovný dvojnásobku RZPR [2].

### 2.1.2 Sekundárna regulácia P bloku

Sekundárna regulácia výkonu bloku (SR) je proces zmeny hodnoty výkonu regulovaného elektrárenského bloku na základe požiadavky sekundárneho regulátora frekvencie a s prihliadnutím na saldo predávaných výkonov. Využitie regulačnej zálohy sekundárnej regulácie (RZSR) je dané algoritmom sekundárneho regulátora dispečingu spoločnosti ČEPS. Poskytovateľ PpS SR je povinný uvoľniť zazmluvnený objem  $RZSR_{(+)}$  a  $RZSR_{(-)}$  predpísanou rýchlosťou najneskôr do desiatich minút od požiadavky na aktiváciu SR. Minimálna rýchlosť zmeny výkonu bloku v rámci SR je definovaná na 2MW/min. Z tejto požiadavky vyplýva minimálna certifikovaná veľkosť regulačného rozsahu sekundárnej regulácie (RRSR) 20 MW a minimálna poskytovaná  $RZSR_{(+)}$  alebo  $RZSR_{(-)}$  o veľkosti 10 MW. Ich maximálne hodnoty sú obmedzené na hodnotu 70 MW. Poskytované regulačné zálohy sú nakupované ako symetrická služba, tzn. musí platiť:

$$RZSR_{(+)} = |RZSR_{(-)}| = \frac{1}{2} \cdot RRSR \text{ (MW; MW; MW)} \quad (2.2)$$

V rámci viacerých blokov jedného poskytovateľa SR je však možné  $RZSR_{(+)}$  a  $RZSR_{(-)}$  alokovať asymetricky, pričom musí byť splnená vyššie uvedená požiadavka na celkovú symetriu poskytovaných sumárnych regulačných záloh [2].

### 2.1.3 Minútové zálohy $MZ_t$

Jedná sa o PpS poskytované zariadeniami zapojenými do ES ČR, ktoré sú do  $t$  minút schopné poskytnúť zazmluvnený objem regulačnej zálohy  $RZMZ_{t(+)}$  a  $RZMZ_{t(-)}$ . V súčasnosti sa podľa času, do ktorého musí byť regulačná záloha plne k dispozícii, poskytujú dva druhy  $MZ_t$ . Základné požiadavky na oba sú uvedené v tabuľke 2.1. Kladná záloha sa spravidla realizuje zvýšením výkonu bloku, zmenou čerpania v prípade PVE alebo odpojením zaťaženia od ES. Záporná záloha je zas realizovaná pripojením zaťaženia, poprípade znížením výkonu [2].

Tabuľka 2.1 Požiadavky na  $MZ_t$  [2]

t (min)	$RZMZ_t$ minimálna (MW)	$RZMZ_t$ maximálna (MW)	Garantovaná doba aktivácie (hod)
5	30	individuálne	4
15	10	70	neobmedzená

### 2.1.4 Zníženie výkonu

Podporná služba zníženie výkonu ( $SV_{30}$ ) je poskytovaná blokmi, ktoré sú do tridsiatich minút schopné znížiť výrobu o veľkosť regulačnej zálohy ( $RZSV_{30}$ ) alebo sú schopné plného odstavenia/nenábehu. Minimálna veľkosť  $RZSV_{30}$  je 30 MW, s garantovanou dobou využitia minimálne 24 hodín. Služba je využívaná najmä pri významných záporných odchýlkach výrazne presahujúcich možnosti  $RZSR$  a  $RZMZ_{t(-)}$  [2].

### 2.1.5 Sekundárna regulácia U/Q

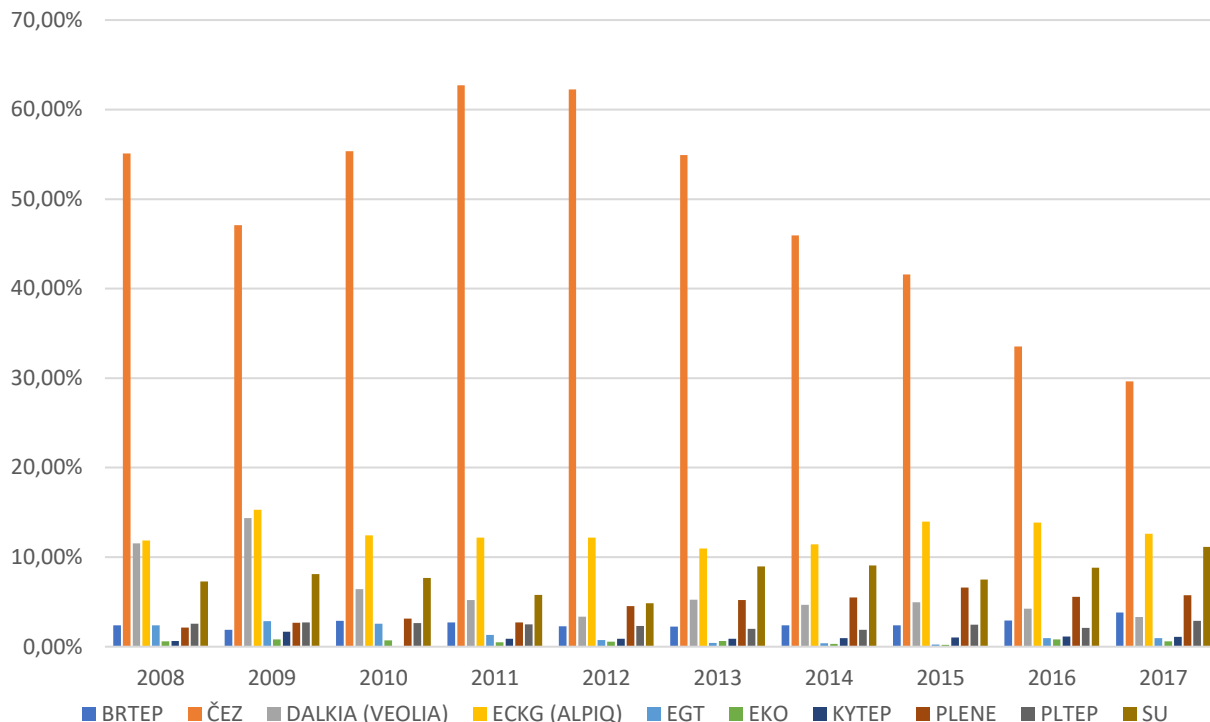
V prípade Sekundárnej regulácie napätia a jalového výkonu je aplikovaná automatická regulácia využívajúca celý certifikovaný regulačný rozsah jalového výkonu, ktorý je poskytovaný daným blokom za účelom stabilizácie veľkosti napätia v pilotných uzloch ES. Cyklus regulácie je aperiodický, poprípade s maximálne jedným prekmitom a ukončený do dvoch minút, pričom musí byť schopný spolupracovať s prostriedkami terciárnej regulácie napätia a jalových výkonov [2].

### 2.1.6 Obnova prevádzky ES

Jedná sa o špeciálny druh PpS, ktoré sú nutné v prípade vzniku havarijných stavov v ES. Schopnosť ostrovnej prevádzky (OP) je nutná pri predchádzaní a riešení stavu núdze v časti ES, ktorá bola vymedzená do ostrovnej prevádzky. V tomto prípade dochádza k značným zmenám systémových veličín, OP blokov sa tým pádom vyznačuje sa vysokými požiadavkami na reguláciu výkonov a frekvencie. Kontrola dostupnosti OP je realizovaná certifikačnými testami podľa metodiky popísanej v Kodexe PS. Schopnosť štartu z tmy (BS) je nevyhnutným predpokladom pre obnovenie dodávky elektrickej energie po úplnom alebo čiastočnom rozpade siete. Proces obnovy je legislatívne zakotvený vo vyhláske č. 80/2010 Sb. a je súčasťou Plánu obnovy ES ČR. Výpomoc zo synchronne pracujúcich sústav je havarijná, poprípade operatívna dodávka regulačnej energie zo zahraničia. Cezhraničná dodávka elektrickej energie spadajúca do tejto kategórie je uskutočňovaná výhradne pokynom dispečera, pričom sa jedná o špeciálny druh plánovanej zahraničnej výmeny [2].

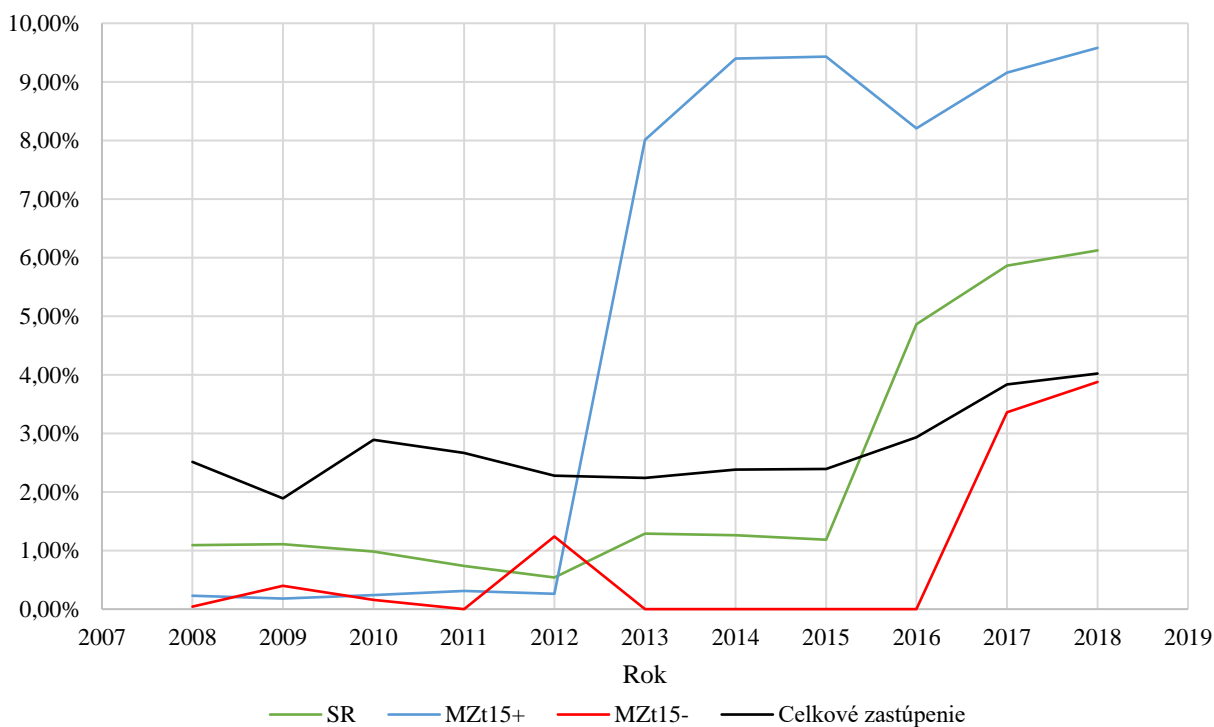
## 2.2 Poskytovatelia PpS

Subjekty pripojené do ES majú právo po splnení technických a obchodných podmienok stanovených spoločnosťou ČEPS, a.s. a po obdržaní certifikácie ponúkať PpS. Ceny sú tvorené na základe tržného princípu. Obchodovaniu s PpS sa venuje kapitola 2.4. Výber poskytovateľov PpS prebieha na základe otvoreného a nediskriminačného prístupu ku všetkým užívateľom PS. V Českej republike je dlhodobo poskytovateľom najväčšieho objemu PpS spoločnosť ČEZ, a.s.. Ako je možné pozorovať na nasledujúcom grafe, percentuálne zastúpenie vybraných majoritných poskytovateľov sa medziročne mení a v posledných rokoch dochádza ku zmene z prakticky majoritného postavenia spoločnosti ČEZ, a.s. na vyrovnanejšie rozloženie zastúpenia [3].



Obrázok 2.2 Poskytovatelia PpS [3]

Teplárne Brno, a.s. sú v súčasnosti zapojené do systému poskytovania PpS s jednou prevádzkou – Teplárna Červený mlýn. Obrázok 2.3. poskytuje prehľad zastúpenia na celkovom objeme (v MWh) Sekundárnej regulácie P bloku, 15-minútových záloh kladných a záporných a celkovému zastúpeniu medzi poskytovateľmi v období rokov 2008-2018. Bližšiemu popisu poskytovania PpS zo strany Teplární Brno, a.s. sa venuje podkapitola 2.2.2.



Obrázok 2.3 Zastúpenie Teplární Brno v poskytovaní jednotlivých PpS [3]



### 2.2.1 Fiktívne bloky

Z hľadiska zjednodušenia diaľkového riadenia elektrární pri poskytovaní PpS Dispečingom ČEPS býva vhodné vytvoriť tzv. fiktívny blok. Jedná sa o súbor energetických výrobných zariadení elektrárne, ktoré sú pre potreby poskytovania PpS združené do jedného celku. Fiktívny blok je možné vytvoriť iba zo zariadení jednej elektrárne, ktoré sú vyvedené do spoločnej rozvodne (min. 22 kV), u ktorých existuje vzájomná technologická väzba. Tá je definovaná ako:

- spoločný parovod,
- spoločný reaktor,
- zariadenie PPE tvoriace jeden technologický celok,
- spoločná nádrž u VE a PVE,
- kombinácia turbogenerátorov a elektrokotla so spoločným vyvedením tepla,
- spoločná infraštruktúra sústav motogenerátorov.

V najnovšej navrhovanej úprave Kodexu PS je definícia technologickej väzby doplnená nasledovne – môže sa jednať taktiež o spoločné vyvedenie výkonu kombinácie turbogenerátorov a batériového systému akumulácie energie (BSAE), ktorý pre svoju prevádzku využíva energiu vyrobenú na turbogenerátoroch, s ktorými tvorí fiktívny blok. Možnosť poskytovania PpS na takto vytvorených fiktívnych blokoch je obmedzená výhradne na služby minútových záloh (MZ<sub>1</sub>) [4].

Poskytovanie PpS sa vždy hodnotí za fiktívny blok ako celok, pričom všetky čiastkové zariadenia FB musia byť certifikované na poskytovanie daných PpS a nesmú poskytovať regulačné služby pre iný subjekt. Možnosti tvorby a členenia FB sú podmienené súhlasom prevádzkovateľa PS. Podkladom pre vytvorenie FB je certifikačnou autoritou spracovaná štúdia "Studie možných konfigurácií a variant fiktívneho bloku". Certifikácia musí rešpektovať spôsob tvorby FB a jeho možné prevádzkové varianty. Prípustné varianty poskytovania PpS sú:

- FB pre riadenie Dispečingom ČEPS poskytujúci samostatné alebo kombináciu PpS,
- FB pre riadenie iným subjektom s možnosťou poskytovania PR na TG vo FB pre ČEPS.

Žiadosť o zmenu spôsobu poskytovania PpS pre daný blok z elektrárenského na fiktívny alebo opačne je nutné podať na ČEPS písomne v rámci MPP najmenej 3 mesiace pred požadovaným uskutočnením zmeny. Zmena podlieha súhlasu ČEPS a je podmienená platným certifikátom na príslušný spôsob poskytovania a realizácii testov funkčnosti terminálov elektrárne [4].

### 2.2.2 Tepláreň Červený mlýn v systéme poskytovania PpS

V prevádzke Červený mlýn (TČM) je inštalovaný paroplynový cyklus s celkovým elektrickým výkonom 96 MWe a maximálnym tepelným výkonom 140 MWt. Výroba elektrickej energie je zabezpečovaná spaľovacou turbínou s prevádzkovým označením TG1 a menovitým výkonom 72 MWe a parnou protitlakovou turbínou s označením TG2 s menovitým výkonom 24 MWe. Výrobne s paroplynovým cyklom sú dlhodobým významným nástrojom vytvárania regulačných záloh v ES. Jedná sa o jedinú prevádzku spoločnosti Teplárny Brno, a.s, ktorá je certifikovaná na poskytovanie PpS. Do systému poskytovania sa zaradila v roku 2003 poskytovaním dispečerských 90 minútových záloh pre ČEPS, a.s.. V roku 2004 bola realizovaná výstavba by-passového komína na umožnenie samostatnej prevádzky TG1. Investícia v celkovom objeme približne 45 mil. Kč umožnila poskytovanie regulačných záloh pre ČEPS, a.s. celoročne, čo sa pozitívne prejavilo na generovaní takmer 150 mil. Kč zisku po prvom roku [5].

V súčasnosti je možné poskytovanie PpS zo strany TČM rozdeliť podľa dvoch základných prevádzkových stavov – v období plnej prevádzky (približne 4400 hodín ročne) sú poskytované tzv. regulačné zálohy na rotujúcom stroji, teda menovite Sekundárna regulácia P bloku. Regulačná záloha SR má hodnotu 17 MW. V prípade uvoľňovania regulačného výkonu stanovenou rýchlosťou 2 MW/min je teda TČM schopná poskytovať SR v plnom rozsahu do 8,5 minút. V období znížených dodávok tepla (zvyšných 4360 hodín ročne) je využívaná dynamika paroplynového cyklu prevádzky na poskytovanie tzv. regulačných záloh na stojacom stroji. Spaľovacia turbína TG1 je schopná poskytovať kladné  $MZ_{15}$  s celkovým regulačným rozsahom 52 MW. Na poskytovanie záporných  $MZ_{15}$  je vyhradený regulačný rozsah o veľkosti 33 MW. Špecifické hodnoty spojené s poskytovaním PpS sú uvedené v nasledujúcej tabuľke [6].

Tabuľka 2.2 Certifikované parametre TČM v systéme poskytovania PpS [6]

Elektrárenský blok		TČM PPC TG1	TČM PPC TG(1+2)	
$P_n$	(MW)	72	96	
$P_{min}$	(MW)	37	47	
Sekundárna regulácia	$P_{max}$	0	83	
	$P_{min}$	0	50	
	$c_{SR}$	(MW/min)	0	2
	RZSR	(MW)	0	17
	$t_{RRSR}$	(min)	0	8,5
Minútová záloha $t=15$	$P_{MZ,max}$	(MW)	52	83
	$P_{MZ,min}$	(MW)	0	50
	$RZMZ_{15}$	(MW)	52	33

### 2.3 Spôsoby zaist'ovania podporných služieb

V praxi sa obstarávanie PpS zabezpečuje na základe uzatvorených zmlúv s poskytovateľmi PpS spôsobom popísaným v Energetickom zákone a na základe doplňujúcich predpisov, menovite na základe:

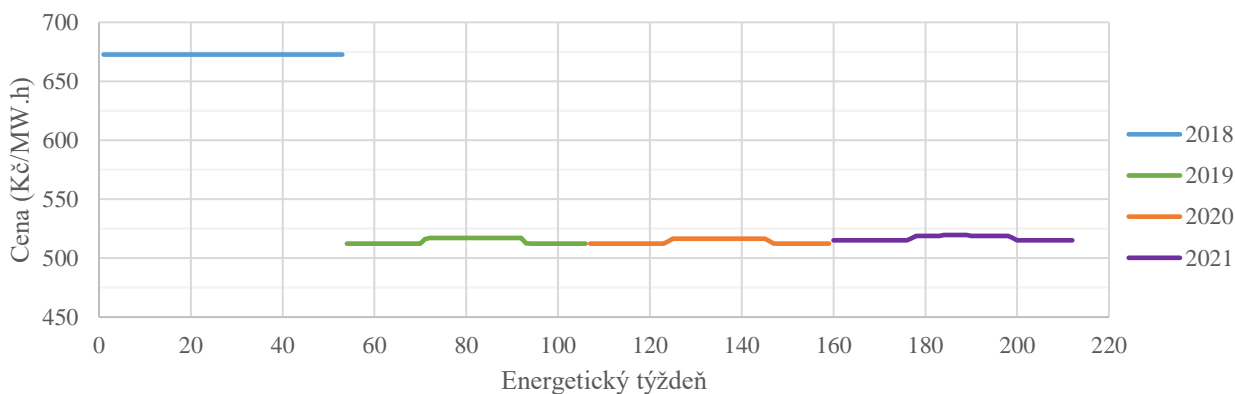
- vyhlášok Ministerstva priemyslu a obchodu,
- vyhlášok Energetického regulačného úradu,
- cenových rozhodnutí Energetického regulačného úradu,
- Kódexu prenosovej sústavy,
- Dohody o podmienkach nákupu a poskytovania podporných služieb.

Komplexný prehľad rozdelenia jednotlivých druhov zaist'ovaných regulačných záloh je uvedený v Prílohe A. Špecifickú kategóriu tvoria podporné služby Sekundárna regulácia U/Q, Ostrovná prevádzka a Blackstart. Tieto služby sú výhradne nakupované na základe priamych zmlúv s poskytovateľmi, keďže sa jedná o špecifické a technicky náročné PpS, ktoré na viac poskytuje len minimum subjektov pripojených do PS. Do samostatnej kategórie spadajú aj havarijné a operatívne dodávky elektrickej energie zo zahraničia, ktoré sa riadia zmluvami a dohodami medzi jednotlivými synchronne prepojenými sústavami [3].

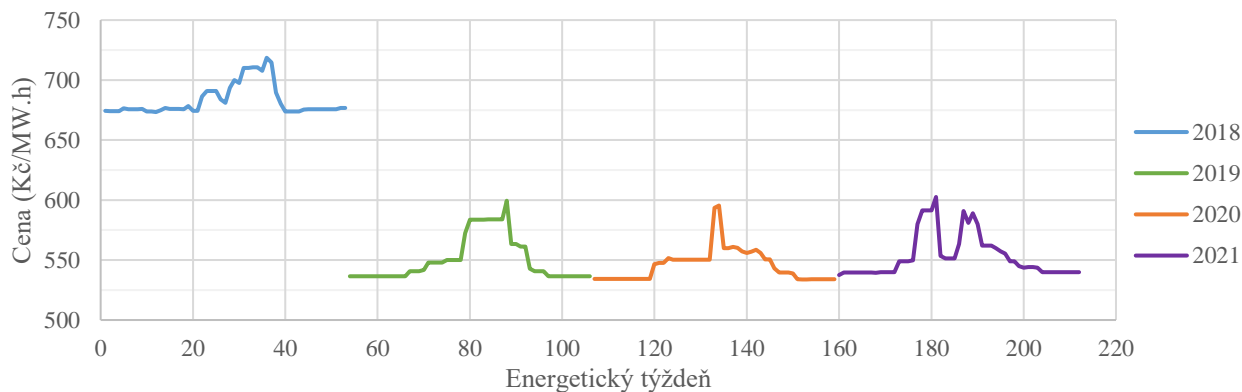
### 2.3.1 Dlhodobé kontrakty na nákup PpS

Pomocou dlhodobých kontraktov je nakupovaných takmer 90 % celkového objemu nasledujúcich PpS - Primárna regulácia frekvencie bloku, Sekundárna regulácia výkonu bloku, Minútové zálohy ( $t=5$ ,  $t=15$ ) a Zníženie výkonu. Požiadavka na konkrétny objem jednotlivých PpS v danom energetickom roku vyplýva z interných dokumentov spoločnosti ČEPS, a.s., menovite z Ročnej prípravy prevádzky PS. Na ich základe sú vyhlasované výberové riadenia na konkrétne objemy regulačných záloh a na konkrétne PpS. V prípade nenaplnenia požadovaného objemu PpS v tendroch je možné pristúpiť k priamemu jednaniu s poskytovateľmi a po vzájomnej dohode uzatvoriť priame zmluvy [7].

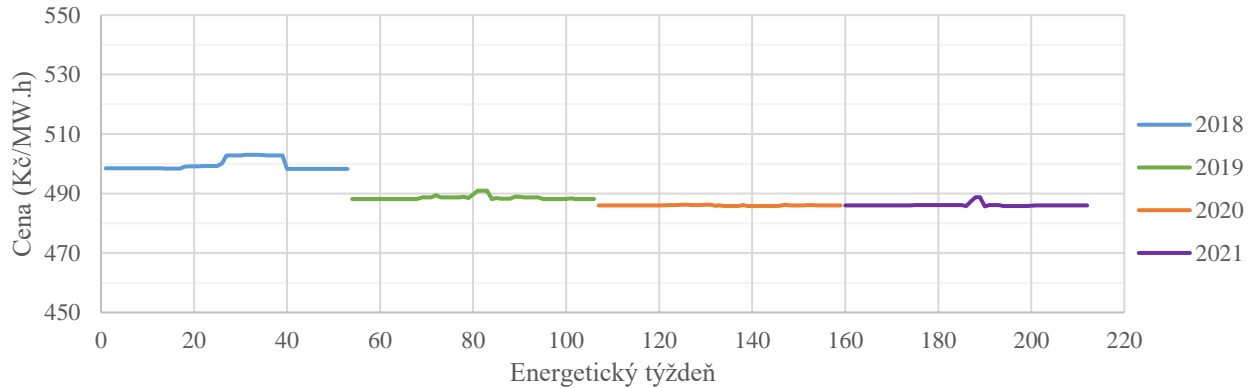
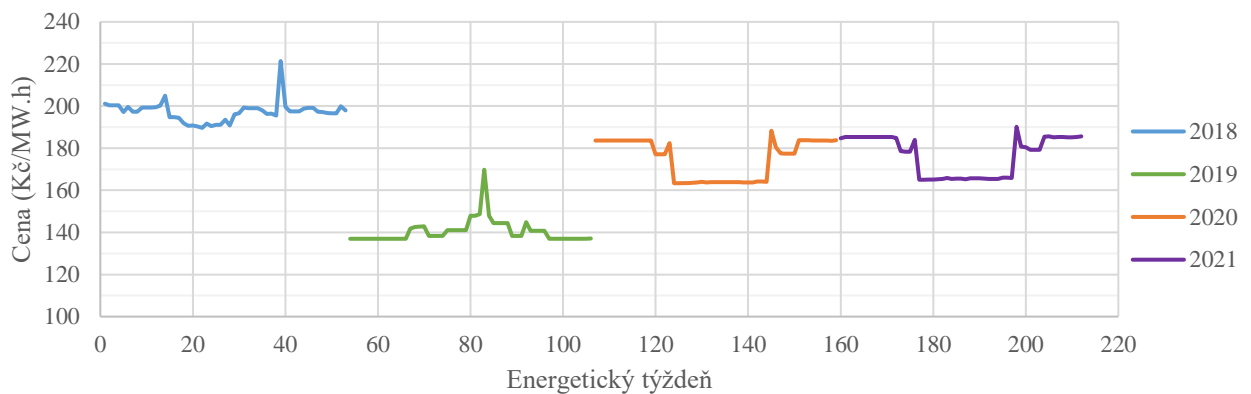
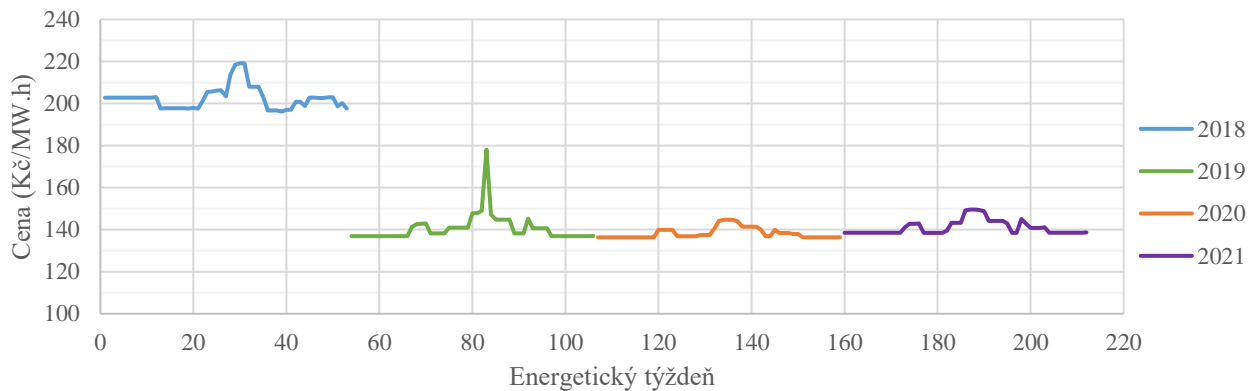
Oceňovanie jednotlivých druhov PpS prebieha individuálne a na základe tržného princípu. Oceňovanie zohľadňuje kedy v energetickom roku dochádza k aktivácii PpS, čo spôsobuje rozdiel v cenách za MW·h počas pracovných a nepracovných dní, a taktiež cez deň a v noci. Pre potreby diplomovej práce je prijaté zjednodušenie v podobe využitia priemerných týždenných cien. Na nasledujúcich grafoch je zobrazený vývoj cien Primárnej regulácie  $f$  bloku, Sekundárnej regulácie  $P$  bloku a Minútových záloh v rokoch 2018 až 2021 v súlade s cenovými rozhodnutiami ČEPS, a.s.. Prehľad konkrétnych týždenných cien je uvedený v tabuľke v Prílohe B. Tie budú v nasledujúcich častiach práce slúžiť na ocenenie regulačných záloh PpS poskytovaných akumuláčnym systémom.



Obrázok 2.4 Vývoj cien Primárnej regulácie  $f$  bloku [8]



Obrázok 2.5 Vývoj cien Sekundárnej regulácie  $P$  bloku [8]

Obrázok 2.6 Vývoj cien Minútovej zálohy  $t=5$  [8]Obrázok 2.7 Vývoj cien Minútovej zálohy  $t=15$  kladnej [8]Obrázok 2.8 Vývoj cien Minútovej zálohy  $t=15$  zápornej [8]

Na základe predchádzajúcich grafov je možné konštatovať pokles cien RZ u všetkých PpS. Zmena sa v rokoch 2013 až 2018 týkala najmä 15-minútových služieb. Ceny kladnej aj zápornej 15-minútovej RZ v tomto období zaznamenali pokles takmer o 50%. Aktuálne výberové riadenie vyhlásené v marci 2018 prinieslo ďalšie zmeny priemerných cien na nasledujúce obdobie 2019 až 2021, a to menovite pokles ocenenia RZPR v porovnaní s rokom 2018 o takmer 25 % a RZSR v porovnaní s rokom 2018 o 20 % [9].

### 2.3.2 Denný trh s PpS

Na dennom trhu (DT) je nakupovaných zvyšných 10 % služieb. Pre každú obchodnú hodinu je tvorená marginálna cena za MW·h, ktorá vyjadruje cenu najdrahšej prijatej ponuky na poskytnutie PpS. Touto cenou sú následne zaplatené všetky akceptované objemy od poskytovateľov. Trh sa opäť riadi Dohodou o podmienkach nákupu a poskytovania podporných služieb a taktiež Pravidlami systému Damas energy a MMS, pomocou ktorých sa obchod na dennom trhu realizuje. Nutnou podmienkou k účasti na DT je splnenie technických požiadaviek kladených na zariadenie (certifikácia). ČEPS, a.s. realizuje technické vyhodnotenie PpS v dennom režime na základe kvalitatívnych a kvantitatívnych parametrov z údajov dispečerského riadiaceho systému. Následne sú porovnávané hodnoty z prípravy prevádzky so skutočnými prevádzkovými stavmi a odozvami blokov na požiadavky z regulátora, poprípade na pokyny dispečerskej služby. V dennom obchodnom vyhodnotení sa stanovuje obchodne uznaný výkon, jeho jednotková cena a celková platba za jednotlivé PpS. V rámci procesu denného vyhodnotenia sú zohľadnené aj prípadné technické náhrady (interné prevody technicky uznaného výkonu medzi jednotlivými poskytovateľmi PpS). Výsledky vyhodnotenia sú dostupné na portáli MMS a poskytované jednotlivým subjektom k prípadným reklamáciám. Súčasne ČEPS pravidelne vyhodnocuje objem regulačnej energie z aktivácií PpS a poskytuje dáta operátorovi trhu s energiami - OTE, a.s. na zúčtovanie odchýlok [7].

### 2.4 Navrhované zmeny v systéme poskytovania PpS

V návrhu nových pravidiel pre PpS (Kodex PS – Časť II.) dochádza k úprave definície fiktívnych blokov nasledovne – pokiaľ zariadenia jedného poskytovateľa spĺňajú podmienky na vytvorenie FB (Kapitola 2.2.1) a vypracovaná „Studie možných konfigurácií a variant fiktívneho bloku“ je schválená, takéto zariadenia vytvárajú FB. Na Certifikáte PpS musí byť následne vždy uvedený zoznam typov energetických zariadení, ktoré tvoria príslušnú konfiguráciu FB:

- FB (PEot + PSE + BSAE) - fiktívny blok tvorený kombináciou zariadení parnej elektrárne s odbermi tepla a batériového systému akumulácie elektrickej energie,
- FB (PEot + EK) - fiktívny blok tvorený kombináciou zariadení parnej elektrárne s odbermi tepla a elektrokotla,
- FB (VE) - fiktívny blok tvorený kombináciou zariadení vodných elektrární [10].

Zmena stále limituje využitie BSAE na poskytovanie PpS len v spolupráci s ďalšími energetickými zariadeniami v rámci FB. Na rozdiel od aktuálnej definície FB, novela konkrétne nešpecifikuje druhy PpS, ktoré je možné FB s BSAE poskytovať. V rámci návrhu taktiež dochádza aj k zjednoteniu názvov PpS v súlade s európskymi sieťovými kódexmi, a to menovite tých PpS, ktoré sú súhrnne označované ako služby výkonovej rovnováhy. Primárna regulácia sa mení na Proces automatickej regulácie  $f$  (FCP), Sekundárna regulácia sa mení na Automaticky ovládaný proces obnovenia  $f$  (aFRP) a Minútové zálohy sa mení na Ručne ovládaný proces obnovenia  $f$  a výkonovej rovnováhy (mFRPt). Technické požiadavky na minimálne/maximálne regulačné zálohy (výkon) energetických zariadení, poprípade fiktívnych blokov poskytujúcich dané PpS ostávajú nezmenené. Zmeny v kategorizácii sa netýkajú služieb Zníženie výkonu, Sekundárna regulácia U/Q, Schopnosť ostrovej prevádzky a Schopnosť štartu z tmy. Navrhované zmeny sú v súčasnosti v štádiu verejnej konzultácie, ktorá je nevyhnutným krokom pred predložením návrhu Energetickému regulačnému úradu. V prípade schválenia je predpokladané nadobudnutie účinnosti zmien v priebehu januára 2019 [10].

### 3 VEĽKOKAPACITNÁ AKUMULÁCIA ELEKTRICKEJ ENERGIE

Jedným zo základných problémov zaistenia plynulej dodávky elektrickej energie je jej relatívna neskladovateľnosť. Musí preto existovať rovnováha medzi výrobou a spotrebou v čase, ktorá je popísaná výkonovou rovnicou:

$$S_V(t) = S_S(t) + S_{St}(t) + S_A(t) \quad (VA; VA, VA, VA) \quad (3.1)$$

Jedným zo spôsobov zmeny bilancie je výkon  $S_A(t)$ , ktorý reprezentuje možnosti dočasného skladovania energie. Existuje pomerne široké množstvo technologických riešení – pomocou stlačeného vzduchu, palivové články, vodíkové technológie, prečerpávacie vodné elektrárne, zotrvačníky, apod. V porovnaní s týmito technológiami majú batériové systémy akumulácie energie (BSAE) nesporné výhody vrátane veľkosti daného systému, celkovej účinnosti skladovania, času nábehu a pomerne nízkych údržbových nákladov. Preto sa budú nasledujúce podkapitoly venovať výlučne akumulácii elektrickej energie na elektrochemickom princípe, ktorá je zaradená do systému poskytovania podporných služieb, je technologicky schopná tieto služby poskytovať alebo je vyvíjaná za týmto účelom [11][12].

#### 3.1 Veľkokapacitná akumulácia v zahraničí

Poskytovanie PpS využitím BSAE je pomerne nový trend v ES po celom svete. Väčšina inštalácií je v štádiu pilotných projektov, poprípade v testovacej prevádzke. Prevádzkovatelia nemeckých PS (Tennet, Amprion, Transnet BW a 50Hertz) pristúpili k otvoreniu trhu s regulačnými energiami pre výrobné využívajúce obnoviteľné zdroje. Aby však tie boli na otvorenom trhu konkurencieschopné a plnili záväzky vyplývajúce z poskytovania PpS, musia maximalizovať kvalitu, dostupnosť a spoľahlivosť regulačných záloh. To má podľa prevádzkovateľov PS zabezpečiť práve spolupráca obnoviteľných zdrojov a akumulácie elektrickej energie [12].

Podpora obnoviteľných zdrojov a ich integrácia do ES je primárnym dôvodom inštalácie BSAE aj v USA. Od roku 2009 bolo dokončených viac ako 100 projektov, s celkovým inštalovaným výkonom na úrovni 300 MW, z ktorých 200 MW bolo realizovaných v priebehu roku 2015. Do roku 2020 je predpokladaný nárast akumulačného výkonu na približne 1,3 GW. Ten bude slúžiť na vyrovnávanie výkonových špičiek, integráciu obnoviteľných zdrojov a na poskytovanie PpS. V komerčnej prevádzke sú v súčasnosti napríklad systémy Laurel Mountain (32 MW, 8 MWh), Tehachapi (32 MW, 8 MWh) a Mira Loma (20 MW, 80 MWh) [21].

V Číne sa otázkou akumulácie zaoberá Národný projekt skladovania elektrickej energie z veterných a fotovoltaických elektrární, ktorý zahŕňa celkovo 17 MW inštalovaného výkonu v BSAE, ktorý tvorí kombinácia Li-Ion technológií a vanádivých prietokových akumulátorov (VRB). Celková kapacita, ktorú projekt poskytuje je 70 MWh. Projekt opäť predpokladá integráciu obnoviteľných zdrojov do systému poskytovania PpS, hlavne na zabezpečenie regulácie frekvencie a zlepšenie stability ES. V Tabuľke 3.1 je uvedený prehľad vybraných akumulačných systémov, spolu s popisom technológie akumulácie, miestom inštalácie a potenciálnym, resp. aktuálnym využitím [12].

Tabuľka 3.1 Prehľad vybraných akumuláčnych systémov [12]

Typ BSAE	Miesto inštalácie	$P_i$ (MW)	$E_i$ (MWh)	Využitie
Li-Ion (LTO)	Sheffield, UK	2	1	PpS, peak-shaving
Li-Ion (LFP)	Darlington, UK	2,5	5	PpS, load-balancing
Ni-Li	Leighton, UK	6	10	PpS, peak-shaving
NiCd	Golden Valley, USA	40	4,7	výkonová záloha
NaS	Rokkasho, JAP	34	220	PpS, podpora OZE
VRB	GuoDian, CHI	5	10	podpora OZE
Li-Ion (NMC)	Mira Loam, AUS	100	129	PpS, podpora OZE

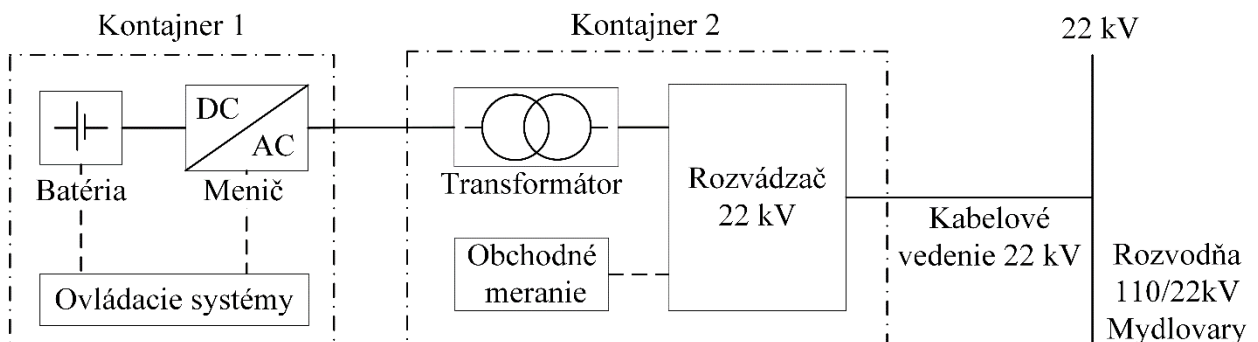
### 3.2 Veľkokapacitná akumulácia v Českej republike

Výstavba BSAE za účelom poskytovania PpS je v Českej republike pomerne novým konceptom. V súčasnosti na území ČR neexistuje BSAE, ktorý je certifikovaný na poskytovanie PpS, čo vyplýva najmä z legislatívnych obmedzení. Preto sa nasledujúca časť práce venuje projektom veľkokapacitných akumuláčnych systémov bez ohľadu na ich využitie v ES, pričom je možné bližšie popísať dve relevantné BSAE:

- Prakšice (spoločnosť Solar Global),
- Mydlovary (spoločnosť E.On).

BSAE v Prakšiciach je realizovaný v jednokontajnerovom prevedení s Li-Ion batériami a technológiami od spoločnosti Alfen s celkovým výkonom 1 MW a celkovou kapacitou 1 MWh. Systém bude využívaný najmä na akumuláciu elektrickej energie vyrábanej vo FVE Prakšice s celkovým inštalovaným výkonom 0,683 MW. Taktiež bude poskytovať podporu pri výkonovej nerovnováhe v ES ČR – je teda možné konštatovať, že systém je pripravený v určitom rozsahu poskytovať PpS. Celkové investičné náklady sa pohybujú na úrovni 20 miliónov Kč [13][14].

Akumulačná jednotka v Mydlovaroch je realizovaná v dvojkontajnerovom prevedení a je umiestnená v areáli rozvodne 110/22 kV Mydlovary. Usporiadanie systému je v blokovom prevedení znázornené na Obrázku 3.1. Celková jednopólová schéma systému je uvedená v Prílohe C. Hlavným dodávateľom technológií je spoločnosť Siemens, s.r.o. [15][16].



Obrázok 3.1 Blokové usporiadanie BSAE Mydlovary [16]

Pri pripojení a bežnej prevádzke systému sa uvažuje s nominálnymi parametrami, no na ich zaistenie počas celej plánovanej doby životnosti (ktorá je 10 rokov) je systém technicky predimenzovaný. Prehľad menovitých hodnôt a ich porovnanie s maximálnymi inštalovanými uvádza nasledujúca tabuľka [17].

Tabuľka 3.2 Technické špecifikácie [18]

Parametre	Nominálne hodnoty	Reálne hodnoty
$S_{nT}$ (kVA)	990	1250
$S_{nM}$ (kVA)	990	2x800
$P_{\zeta}$ (kW)	990	1600
$E_{\zeta}$ (kWh)	1000	1750
$n_c$ (-)	6000	6000
$\eta_{rt}$ (%)	85	85

Prvý kontajner tvorí sada lithium-iontových akumuláčnych článkov elektrickej energie, ktoré musia byť schopné zabezpečiť pri 100% vybití požadovanú hodinovú dodávku elektrickej energie počas celej deklarovanej doby životnosti zariadenia. Tie sú pripojené na výkonový invertor, ktorý je schopný pracovať s účinníkom v rozsahu 0,1 až 1 ako v induktívnom, tak aj v kapacitnom režime. Jeho dlhodobá preťažiteľnosť musí zodpovedať požiadavkám na minimálnu hodinovú dodávku (respektíve odber) elektrickej energie 1 MWh. Manažment BSAE zabezpečujú dva systémy:

- Riadiaci systém batérie (Battery Management System - „BMS“) – má na starosti zabezpečenie riadenia vlastnej spotreby systému a zaistenie spoľahlivej prevádzky bez nutnosti lokálnej obsluhy, a to aj v prípade výnimočných a potenciálne nebezpečných prevádzkových stavoch. Zahŕňa taktiež požiaru signalizáciu, ventiláciu a klimatizáciu jednotky [17].
- Systém vzdialeného ovládania batérie (Energy Management System - „EMS“) - predstavuje formu IT platformy slúžiacej na zaistenie vzdialeného monitoringu systému v reálnom čase, na vzdialený prístup ku riadeniu systému prevádzkovateľom a tretími stranami a na zber a ukladanie dát. Do systému EMS je za určitých podmienok možné (a vhodné) integrovať systém BMS [17].

V druhom kontajneri je umiestnený transformátor z napäťovej hladiny nízkeho napätia na napäťovú úroveň 22 kV a rozvádzač VN zložený z prívodného poľa, poľa merania a vývodného poľa vrátane odpovedajúcich ochrán a zariadení. Systém je pripojený káblovým vedením 22 kV priamo do vývodového poľa v rozvodni 110/22 kV. Batériový systém je do distribučnej sústavy pripojený na základe štandardnej Zmluvy o pripojení zariadenia na výrobu a odber elektrickej energie k DS z napäťovej hladiny vysokého napätia, ktorá je uzatvorená v súlade s Energetickým zákonom. V rámci zmluvy o pripojení došlo k navýšeniu rezervovaného príkonu a výkonu v prípojnom mieste BSAE na 990 kW (resp. 1 MW). Jedná sa o pilotný projekt veľkokapacitnej akumulácie spoločnosti E.On v Českej republike, preto je konkrétne využitie systému stále diskutované. Vo fáze testovacej prevádzky je snaha overiť spoluprácu systému s distribučnou sústavou a zefektívniť diaľkové ovládanie BSAE [19].



V ostrej prevádzke následne sa následne okrem zapojenia systému do poskytovania PpS v určitom rozsahu uvažuje aj s možným prepojením systému s Teplárnou Mydlovary. Tú tvoria dva bloky - Mydlovary I, kogeneračná plynová jednotka s inštalovaným výkonom 1,16 MW<sub>e</sub> a Mydlovary II, vybavený kotlom na biomasu s inštalovaným výkonom 2,66 MW<sub>e</sub> [17].

Celkové investičné náklady sú 22 223 076,00 Kč bez DPH a spoločnosť Siemens, s.r.o. využila pri realizácii zákazky nasledujúcich subdodávateľov:

- ELTRAF, a.s. - zabezpečenie výroby a dodávky kontajnerov, montáže zariadení SIEMENS a batériových systémov, dodávky a montáže pomocných systémov podľa špecifikácií dodávateľa v celkovom objeme 2 790 134 Kč,
- BYD Company Limited - zabezpečenie výroby a dodávky batérií, BMS a batériových rámov, spolu s komunikačnou kabeľážou v celkovom objeme 11 623 453 Kč [15].

### 3.3 Výber akumulačnej technológie

Na základe analýzy akumulačných systémov v predchádzajúcich podkapitolách boli zvolené tri technológie akumulácie elektrickej energie, ktoré najviac vyhovujú požiadavkám Teplární Brno, a.s. v kontexte plánovanej aplikácie. Ich špecifikám, výhodám a nevýhodám z technického aj ekonomického hľadiska sa venujú nasledujúce podkapitoly.

#### 3.3.1 Li-Ion

Akumulačné systémy na báze lítia nachádzajú uplatnenie v širokom spektre aplikácií, od spotrebnej elektroniky cez elektromobilitu až po BSAE. Investície do vývoja v prvých dvoch oblastiach mali v posledných rokoch priamy vplyv na rozvoj veľkokapacitných systémov pre sieťové aplikácie. Z hľadiska chemickej podstaty lítiových akumulačných článkov sú v súčasnosti využívané štyri konfigurácie – lítium nikel-mangán kobalt oxid (NMC), lítium mangán oxid (LMO), lítium železo fosfát (LFP) a lítium titán (LTO). Najväčšie zastúpenie medzi BSAE majú NMC články, a to najmä vďaka ich väčšej mernej energii a výkonu v porovnaní s ostatnými konfiguráciami, čo vedie k relatívne menším rozmerom celého systému. Nasledujúca tabuľka poskytuje prehľad základných technických parametrov spolu s mernými nákladmi na inštaláciu, prevádzku a obnovu systému. Merné náklady sú odvodené z jednotlivých čiastkových cien za projekt BSAE v Mydlovaroch, ktoré sú uvedené v predchádzajúcej podkapitole [15][20][24].

Hlavnou nevýhodou tejto technológie je teplotná závislosť a vysoká senzitivita na prevádzkové teploty. Systém býva obvykle vybavený aktívnym chladením, ktoré zabezpečuje optimálnu prevádzkovú teplotu (typicky 25 °C), ochranným obvodom, ktorý zamedzuje preťaženiu článkov a riadiacimi systémami (BMS a EMS). To však vedie k vyšším investičným a prevádzkovým nákladom. V prípade prevádzkovania BSAE pri teplotách odlišných od optimálnej, poprípade mimo rozsahu SoC 10 až 90 % dochádza k predčasnemu starnutiu systému a k významnému poklesu menovitej kapacity [22][23][24].

Tabuľka 3.3 Prehľad technických a ekonomických parametrov Li-Ion [20][21][22]

Technológia		Li-Ion
Merná energia	(Wh/kg)	90 - 190
Merný výkon	(W/kg)	500 - 2 000
Počet cyklov	(-)	6 000
Cyklická účinnosť	(%)	85 - 90
Samovybíjanie (pokles SoC)	(%/mesiac)	3 - 5
Merné náklady na výkon	(Kč/MW)	4 880 931
Merné náklady na energiu	(Kč/MWh)	6 641 973
Merné náklady na pomocné systémy	(Kč)	2 790 134
Ročné náklady na údržbu (z inv. nákladov)	(%)	1,5
Merné náklady na obnovu systému	(Kč/MWh)	6 641 973

### 3.3.2 NaS

Akumulátory na báze sodík-síra sú jedným z technologických riešení využívaných vo veľkokapacitných aplikáciách, od poskytovania podporných služieb cez integráciu obnoviteľných zdrojov do distribučných sústav po komerčné skladovanie elektrickej energie. Systém je tvorený sodíkovými (Na) anódami a sírovými (S) katódami, medzi ktorými je umiestnený Beta-Oxid hlinitý slúžiaci súčasne ako elektrolyt a separátor. Chemická podstata tejto technológie vyžaduje vysoké prevádzkové teploty na úrovni 300 až 350 °C – jedná sa o takzvanú vysokoteplotnú akumuláciu elektrickej energie. V závislosti na aplikácii a prevádzkovom režime vykazujú NaS akumulátory cyklickú účinnosť na úrovni 75 až 90% a stabilné vybíjanie pri menovitom výkone v rozsahu sekúnd až 7 hodín. Ceny týchto systémov na trhu sú v porovnaní s ostatnými najkonzistentnejšie, keďže sa jedná o systém dodávaný výrobcom s monopolným postavením na trhu (NGK Insulators, Ltd.). Nasledujúca tabuľka poskytuje prehľad základných technických parametrov spolu s mernými nákladmi na inštaláciu, prevádzku a obnovu systému. Merný náklad na pomocné systémy je zahrnutý v merných nákladoch na výkon, resp. energiu [21][22][23].

Tabuľka 3.4 Prehľad technických a ekonomických parametrov NaS [20][21][22]

Technológia		NaS
Merná energia	(Wh/kg)	150 - 240
Merný výkon	(W/kg)	150 - 230
Počet cyklov	(-)	4 500
Cyklická účinnosť	(%)	75 - 90
Samovybíjanie (pokles SoC)	(%/deň)	-
Merné náklady na výkon	(€/MW)	366 000
Merné náklady na energiu	(€/MWh)	298 000
Merné ročné náklady na údržbu	(€/MW.r)	3 600
	(€/MWh.r)	1,8
Merné náklady na obnovu systému	(€/MWh)	180 000

Výhodou je takmer nulové samovybíjanie, nízke prevádzkové náklady a použitie netoxických materiálov vedúcich k dobrej recyklovateľnosti systému. Nevýhodami sú potreba samostatného systému na zabezpečenie dosiahnutia prevádzkovej teploty (zvýšená energetická náročnosť pri štarte akumulácie zo studeného stavu) a možné prevádzkové riziká spojené s prítomnosťou roztaveného sodíka, ktorý je pri kontakte s vodou výbušný. K tým však môže dochádzať len pri abnormálnych prevádzkových stavoch, napr. pri porušení obalu akumulátora [23][24].

### 3.3.3 VRB

Ďalšou z technológií, ktorá vykazuje dobré vlastnosti v celom rozsahu veľkokapacitných systémových aplikácií, je vanádiová redukčne-oxidačná akumulácia. Tá spadá do kategórie prietokových akumulácií, ktoré na rozdiel od predchádzajúcich technológií akumulujú elektrickú energiu do elektrolytu. Z toho vyplýva jedna z hlavných výhod systému – čiastočná nezávislosť inštalovaného výkonu od celkovej kapacity systému a väčšia flexibilita pri návrhu. Kapacita závisí na objeme externých zásobníkov s elektrolytom a výkon závisí na veľkosti aktívnej plochy článkov. Z chemického hľadiska dochádza pri prevádzke akumulácie len k výmene elektrónov, pričom po dokončení cyklu vybitie-nabitie dochádza k návratu elektrolytov do pôvodného stavu bez rizika kontaminácie, keďže oba obsahujú ióny rovnakého prvku. To taktiež vedie k stabilnej prevádzke a možnosti prechodu medzi nabíjaním a vybíjaním v rámci 30 až 50 ms. Cyklická účinnosť sa pohybuje na úrovni 85% a doba vybíjania maximálnym výkonom na úrovni sekúnd až 24 hodín. Nasledujúca tabuľka poskytuje prehľad základných technických parametrov spolu s mernými nákladmi na inštaláciu, prevádzku a obnovu systému. Merný náklad na pomocné systémy je zahrnutý v merných nákladoch na výkon, resp. energiu [21][22][23].

Tabuľka 3.5 Prehľad technických a ekonomických parametrov VRB [20][21][22]

Technológia	VRB	
Merná energia	(Wh/kg)	10 - 75
Merný výkon	(W/kg)	-
Počet cyklov	(-)	10 000+
Cyklická účinnosť	(%)	85
Samovybíjanie (pokles SoC)	(%/deň)	-
Merné náklady na výkon	(€/MW)	490 000
Merné náklady na energiu	(€/MWh)	467 000
Merné ročné náklady na údržbu	(€/MW.r)	8 500
	(€/MWh.r)	0.9
Merné náklady na obnovu systému	(€/MWh)	130 000

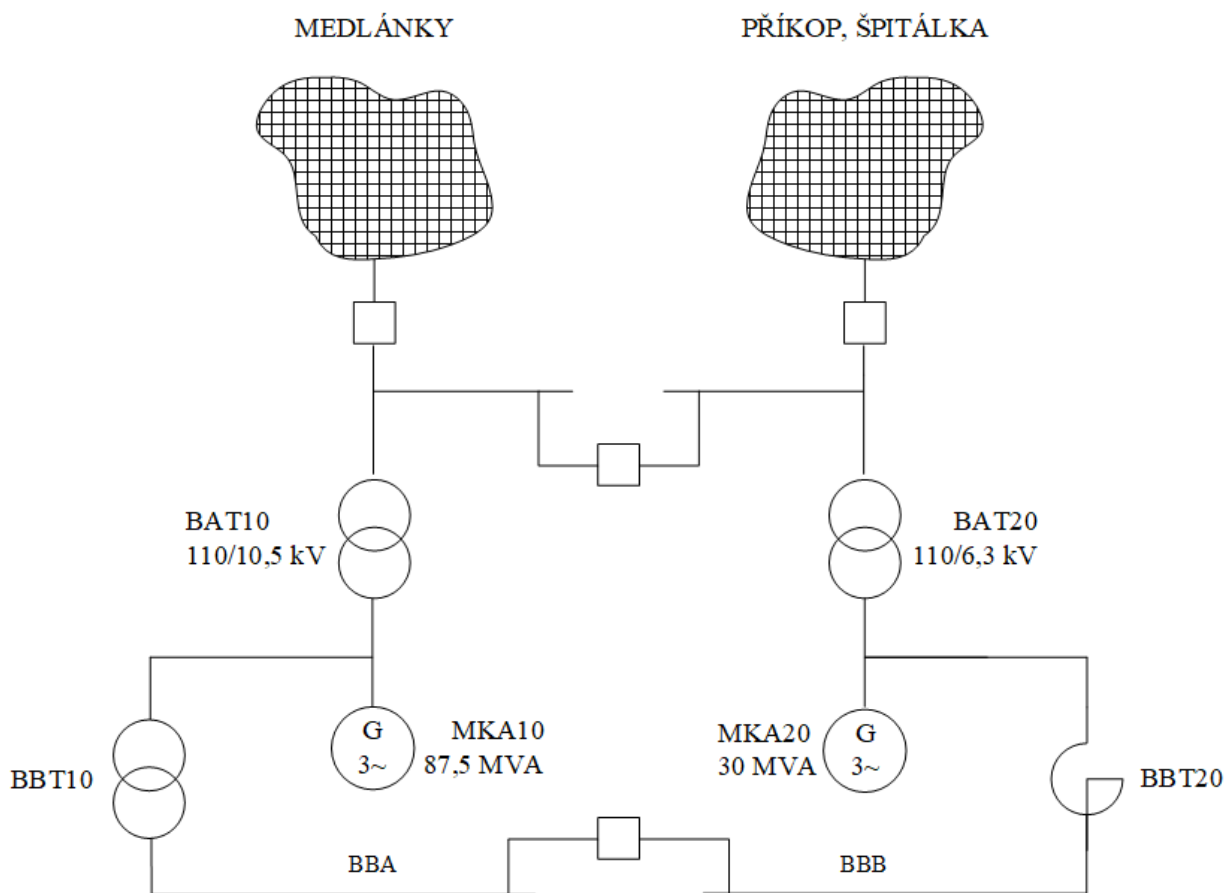
Medzi ďalšie výhody systému patrí možnosť dlhodobej prevádzky v celom rozsahu úrovne nabitia (SoC 0 až 100%) bez poškodenia modulov a degradácie maximálnej kapacity systému, samovybíjanie na úrovni menšej ako 1% ročne a celková bezpečnosť prevádzky, keďže elektrolyt ani ostatné materiály použité v akumulácii nie sú horľavé, výbušné a sú ľahko recyklovateľné. Hlavnými nevýhodami sú vysoké počiatkové investičné náklady, relatívne veľké rozmery vo veľkokapacitných aplikáciách (až 90% objemu tvoria nádrže s elektrolytom), relatívne nízka merná energia a rozsah prevádzkových teplôt 10 až 35 °C. Pri kontinuálnej prevádzke je taktiež nutné uvažovať s obnovou mechanických častí systému, menovite čerpadiel zabezpečujúcich cirkuláciu [23][24].

## 4 METÓDA ANALÝZY VYUŽITIA BSAE V PREVÁDZKE ČERVENÝ MLÝN

Z technického hľadiska sa analýza zaoberá stanovením maximálneho pripojiteľného výkonu v súlade s požiadavkami zadávateľa a s ohľadom na možnosti prevádzky. Následne je diskutované fyzické umiestnenie systému. Z ekonomicko-prevádzkového hľadiska bol pre Teplárne Brno, a.s. vytvorený model citlivostnej analýzy. Popisom jednotlivých metód sa zaoberajú nasledujúce podkapitoly.

### 4.1 Stanovenie miesta pripojenia BSAE

Na základe požiadavku Teplární Brno, a.s. je uvažované pripojenie akumuláčného systému do rozvodne vlastnej spotreby na napäťovú úroveň 6,3 kV. Vlastná spotreba prevádzky je tvorená dvoma prípojnicami - BBA, napájaná transformátorom BBT10 10,5/6,3 kV pripojeným na blok generátora MKA10 a BBB, napájaná cez reaktor BBT20, ktorý je pripojený na blok generátora MKA20. Prípojnicový systém je doplnený pozdĺžnym spínačom prípojnic. Zjednodušený schematický pohľad na usporiadanie VS poskytuje Obrázok 4.1. Základné parametre jednotlivých častí systému VS sú uvedené v nasledujúcej tabuľke [25].



Obrázok 4.1 Zjednodušená schéma vlastnej spotreby prevádzky [25]

Tabuľka 4.1 Parametre prvkov vlastnej spotreby prevádzky Červený mlýn [25]

Zariadenie	Označenie	Parametre		
Transformátor	BBT10	$S_n$	(MVA)	6,3
		$p$	(kV/kV)	10,5/6,3
Reaktor	BBT20	$S_n$	(MVA)	10,4
		$U_n$	(kV)	6,3
Prípojnice	BBA	$U_n$	(kV)	6,3
		$P_i$	(kW)	6 600
		$\beta$	(-)	0,64
		Počet rezervných polí	(-)	0
Prípojnice	BBB	$U_n$	(kV)	6,3
		$P_i$	(kW)	3 600
		$\beta$	(-)	0,70
		Počet rezervných polí	(-)	5

Z parametrov VS vyplýva, že pri uvažovaní pripojenia na prípojnice VS bez dodatočných úprav rozvodne VS je možné akumuláciu pripojiť do niektorého z rezervných polí prípojnice BBB. Súhrnný inštalovaný výkon zariadení pripojených na BBB je  $P_{i,celk} = 2\,942$  kW zložený z:

- čerpadlá a napájačky – približne 1 840 kW,
- ostatné systémy – približne 847 kW,
- budovy prevádzky – približne 255 kW [25].

Túto hodnotu je možné použiť na stanovenie výkonovej rezervy prípojnice pre pripojenie akumulácie pomocou nasledujúceho vzťahu:

$$P_{p,BBB} = P_{i,celk} * \beta_{BBB} = 2\,942 \text{ kW} * 0,70 = 2\,060 \text{ kW} \quad (4.1)$$

$$P_{rez,BBB} = P_{i,BBB} - P_{p,BBB} = 3\,600 \text{ kW} - 2\,060 \text{ kW} = 1\,540 \text{ kW} \quad (4.2)$$

S ohľadom na počet rezervných polí a možný budúci rozvoj je uvažovaná výkonová rezerva znížená na  $P_{max,BBB} = 1\,000$  kW. Takto pripojený BSAE bude uvažovaný s menovitými parametrami na úrovni 1 MW a 1 MWh. Pripojenie do rezervného poľa BBB-13 je uvedené v Príloha D – Schéma pripojenia BSAE do VS. Z dôvodu neposkytnutia informácií o skratových výkonoch jednotlivých BSAE zo strany výrobcov nebola analyzovaná zmena skratových pomerov v rámci prevádzky Červený mlýn. Vyššie uvedená metóda stanovenia maximálneho výkonu akumulácie a miesta pripojenia je variantom bez dodatočných investičných nákladov spojených s rozšírením rozvodne VS. V prípade záujmu o pripojenie systému s väčším menovitým výkonom je tak možné spraviť viacerými spôsobmi – rozšírením prípojnice BBA o nové rezervné pole, navýšením inštalovaného výkonu prípojnice BBB, poprípade pripojenie priamo za jeden z prvkov BBT10/BBT20. V tomto prípade je maximálny výkon obmedzený zdanlivými výkonmi oboch prvkov a taktiež prevádzkovým režimom prípojnic v prípade záskoku/záložného napájania jednej z nich za pomoci priečného spínača prípojnic. S týmito možnosťami pripojenia sú však spojené buď dodatočné investičné náklady alebo špecifické prevádzkové limitácie. Pokiaľ by pri inštalácii systému vznikli dodatočné počiatkové náklady, je tieto možné zahrnúť do citlivostnej analýzy, ktorej sa venuje nasledujúca podkapitola.

Pre výber lokality systému na pozemku prevádzky boli navrhnuté dva varianty, ktoré sú znázornené v Príloha E – Umiestnenie akumulácie . Umiestnenie A bolo zvolené pre blízkosť ku rozvodni VS, Umiestnenie B je zas evidované ako rezervná plocha pre výstavbu. V prípade technológie Li-Ion sa jedná o umiestnenie dvoch kontajnerov s rozmermi typicky 12 m krát 2,35 m ktoré obsahujú výkonovú elektroniku, transformátor 6,3/0,69 kV, vlastnú technológiu akumulácie a ostatné podporné systémy. Systém NaS s uvažovanými parametrami je typicky zložený z troch kontajnerov s rozmermi 6 m krát 2,35 m, ktoré obsahujú výkonovú elektroniku, transformátor 6,3/0,41 kV, vlastnú technológiu akumulácie a ostatné podporné systémy. V prípade výstavby akumulácie s VRB technológiou je limitujúcim faktorom požadovaná kapacita systému, keďže tá priamo závisí na objeme nádrží s elektrolytom. Obe zvolené lokality vyhovujú na inštaláciu každej z troch uvažovaných technológií [21].

## 4.2 Citlivostná analýza

Za účelom posúdenia možností využitia akumulačných systémov na zabezpečenie PpS bola v prostredí programu Wolfram Mathematica vytvorený model citlivostnej analýzy. Princípom jeho funkcie, s popisom variabilných vstupov ktoré majú priamy vplyv na výsledok ekonomickej analýzy a prehľadom výstupov, ktoré poskytuje sa zaoberajú nasledujúce podkapitoly. Prehľad celého prostredia analýzy zobrazuje Príloha F – Prostredie matematického modelu

### 4.2.1 Vstupy

Nastavenie vstupov prebieha v ovládacom poli modelu, ktoré je zobrazené na obrázku 4.2. Premenné v časti Akumulácia slúžia na stanovenie typu, výkonu a kapacity systému. Na základe merných cien technológii z kapitoly 3.3 taktiež dochádza k výpočtu celkových investičných nákladov, nákladov na údržbu a obnovu systému. Navyše poskytuje možnosť doplniť kalkuláciu o ostatné počiatkové investičné náklady spojené napríklad s dodatočnými nákladmi na stavebné úpravy s pripojením BSAE väčších výkonov. Časť Projekt umožňuje nastavenie doby životnosti v rokoch, po ktorú je projekt ekonomicky hodnotený. Taktiež poskytuje nastavenie ďalších ekonomických parametrov, menovite reálnej diskontnej sadzby projektu a medziročnej inflácie. Keďže sú niektoré náklady v rámci modelu v iných menách ako Kč, je možné zadávať aj aktuálne kurzy €/Kč a \$/Kč. Posledným parametrom v tejto časti je výber druhu poskytovaných PpS navrhovanou akumuláciou. K dispozícii sú tri varianty – Primárna regulácia, Primárna regulácia spolu so Sekundárnou reguláciou a Minútová záloha  $t = 5$  min.

Posledná časť ovládania vstupných hodnôt - Regulačné zálohy a Regulačné energie slúži na zadávanie priemerných cien regulačných záloh vyplývajúcich z dlhodobých kontraktov s PpS za obdobie predpokladaného poskytovania jednotlivých PpS v roku a cien za regulačné energie vznikajúce pri aktivácii PpS. Predpokladaný vývoj cien v oboch kategóriách zabezpečujú posuvníky Medziročný vývoj, pomocou ktorých je možné odhadnúť zmeny na nasledujúce roky po dobu predpokladanej životnosti projektu. Nastavenie premenných, ktoré sú zhodné pre všetky uvažované technológie a hodnotené prevádzkové stavy sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Predpokladaný medziročný pokles vychádza z vývoja vážených priemerov regulačných záloh. Pri službách, u ktorých je povolená účasť BSAE na poskytovaní je predpokladaný v súčasnosti rýchlejší pokles cien ako u ostatných služieb.

**Akumulácia**

Typ akumulácie Li-Ion VRB NaS

Výkon akumulačného systému (MW)

Ostatné počiatočné investičné náklady (Kč)

Kapacita akumulačného systému (MWh)

**Projekt**

Životnosť projektu (rok)

Inflácia (%)

Kurz (Kč/€)

Diskont (%)

Druh poskytovaných PpS SR PR a SR MZt5

Kurz (Kč/\$)

**Regulačné zálohy (RZ) a Regulačné energie (RE)**

Ocenenie RZPR v prvom roku (Kč/MW.h)

Ocenenie RZPR v druhom roku (Kč/MW.h)

Ocenenie RZPR v treťom roku (Kč/MW.h)

Následný medzioročný vývoj ceny RZPR (%)

Ocenenie RZMZ5(+) v prvom roku (Kč/MW.h)

Ocenenie RZMZ5(+) v druhom roku (Kč/MW.h)

Ocenenie RZMZ5(+) v treťom roku (Kč/MW.h)

Následný medzioročný vývoj ceny RZMZ5(+) (%)

Ocenenie RZSR v prvom roku (Kč/MW.h)

Ocenenie RZSR v druhom roku (Kč/MW.h)

Ocenenie RZSR v treťom roku (Kč/MW.h)

Následný medzioročný vývoj ceny RZSR (%)

Ocenenie RE(+) (Kč/MWh)

Ocenenie RE(-) (Kč/MWh)

Medzioročný vývoj ceny RE(+) (%)

Medzioročný vývoj ceny RE(-) (%)

Obrázok 4.2 Ovládacie prostredie pre parametrizáciu vstupov modelu

Tabuľka 4.2 Nastavenie globálnych parametrov modelu

Inflácia	2 %
Reálna diskontná sadzba	10 %
Životnosť projektu	15 rokov
Medziročný pokles cien RZPR	-5 %
Medziročný pokles cien RZSR	-5 %
Medziročný pokles cien RZMZ <sub>5</sub>	-15 %
Medziročná zmena cien RE	0%

Výpočet objemu regulačných energií, ktoré vznikajú pri aktiváciách regulačných záloh, vychádza z Ročnej správy o trhu OTE. Jeho princíp je bližšie popísaný v jednotlivých scenároch. Z legislatívnej definície fiktívnych blokov vyplýva, že BSAE na svoju prevádzku musí využívať energiu vyrobenú zariadeniami s ktorými je vo FB. Preto sú všetky kladné ročné RE uvažované ako náklad a ocenené mechanizmom, ktorý rešpektuje dlhodobé priemerné ceny plynu a vlastnú technológiu prevádzky vrátane účinnosti cyklu. S objemom RE súvisí aj stanovenie životnosti akumulácie, konkrétne je na základe predpokladanej životnosti technológie akumulácie vypočítaný predpokladaný rok obnovy BSAE v rozsahu uvedenom v kapitole 3.3.

Medzi ďalšie konštantné vstupy, ktoré nie sú k dispozícii v ovládacom paneli programu a sú pevnou súčasťou jadra analýzy patrí aj hodinová dostupnosť regulačných záloh (vychádza z typových scenárov poskytovania) a uvažovaná doba nedostupnosti systému spojená s predpokladanou údržbou a revíziou akumulácie (stanovená na 240 h ročne). Model si pre potreby ekonomickej analýzy interne zo zadaných hodnôt reálnej diskontnej sadzby a inflácie stanovuje nominálnu diskontnú sadzbu. Finálne je pre prípady v ktorých môže dôjsť k obnove systému tesne pred koncom projektovej životnosti stanovená zostatková cena projektu. BSAE je odpisovaný podľa odpisovej skupiny 3 lineárne s uvažovaním zníženej odpisovej sadzby v prvom roku.

#### 4.2.2 Výstupy

Projekt je z ekonomického hľadiska hodnotený na základe požiadavky Teplární Brno, a.s. nasledujúcimi metódami:

- metóda jednoduchých a kumulovaných peňažných tokov (CF a CCF),
- metóda nominálnej čistej súčasnej hodnoty (NPV),
- metóda vnútorného výnosového percenta (IRR).

Metóda IRR zhodnocuje projekt správne, pokiaľ dochádza za dobu životnosti len k jednej zmene smeru peňažných tokov. Pri analýze typového scenára, v ktorom dochádza k obnove systému a k následným dodatočným investičným nákladom a následnej zmene smeru peňažných tokov nielen na začiatku, ale aj počas doby životnosti projektu, metódou IRR býva jej výstup sčasti skreslený. Pole výstupov modelu je rozdelené na dve časti – v prvej grafickej časti model poskytuje prehľad peňažných tokov a kumulovaných peňažných tokov v rokoch. Druhá časť je tvorená prehľadom hodnotených ekonomických parametrov projektu, medzi ktoré patria celkové investičné náklady a celkové náklady na obnovu, rok obnovy systému, priemerné ročné prevádzkové náklady, priemerné ročné príjmy za RZ a RE, čistá súčasná hodnota projektu a vnútorné výnosové percento.



## 5 PREVÁDZKOVÉ REŽIMY POSKYTOVANIA PPS

### A EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE PROJEKTU

Za pomoci matematického modelu citlivostnej analýzy, ktorý bol predstavený v predchádzajúcej kapitole boli vytvorené typové scenáre prevádzky akumuláčného systému pri poskytovaní viacerých druhov PpS, poprípade ich kombinácie. Pri každom z uvažovaných scenárov je popísaný navrhovaný režim, v akom bude akumulácia prevádzkovaná, objem regulačných záloh poskytovaných akumuláciou, dostupnosť jednotlivých regulačných záloh v roku ako aj ekonomické zhodnotenie projektu porovnávajúce tri vybrané akumuláčné technológie – Li-Ion, VRB a NaS. Poskytovanie PpS podľa nasledujúcich scenárov predpokladá prijatie odpovedajúcich legislatívnych úprav, menovite umožnenie fiktívnym blokom s akumuláciou elektrickej energie podieľať sa na poskytovaní všetkých druhov PpS. V súčasnosti Kodex PS obmedzuje využitie FB s BSAE výlučne na zabezpečenie služieb MZ<sub>5</sub> a MZ<sub>15</sub> [4].

#### 5.1 Poskytovanie Sekundárnej regulácie

V súčasnosti je PpS Sekundárna regulácia P bloku prevádzkou Červený mlýn poskytovaná v období plnej prevádzky (cca 4400 hod. ročne). Všetky relevantné parametre vrátane regulačných záloh a regulačného rozsahu popisuje podkapitola 2.2.2. Akumulačný systém vo fiktívnom bloku s prevádzkou môže, po prijatí odpovedajúcich navrhovaných legislatívnych úprav, slúžiť v tomto prevádzkovom režime na rozšírenie regulačného rozsahu SR prevádzky, s ktorou bude tvoriť fiktívny blok. Na základe stanoveného pripojiteľného výkonu akumulácie do rozvodne vlastnej spotreby je v tomto režime uvažovaný systém parametrami 1MW/1MWh. Táto konfigurácia nepredpokladá dodatočné investičné náklady spojené s pripojením akumulácie do VS. Regulačné zálohy a regulačný rozsah systému sú:

$$RZSR_{BSAE(+)} = |RZSR_{BSAE(-)}| = 1 \text{ MW} \quad (5.1)$$

$$RRSR_{BSAE} = 2 \cdot RRZSR_{BSAE(+)} = 2 \text{ MW} \quad (5.2)$$

V prípade záujmu o väčšie navýšenie RR je možné poskytnutý model doplniť o navýšené investičné náklady, ktoré sú spojené s pripojením BSAE s väčším výkonom. Z dôvodu nedostatku informácií o nákladoch spojených s rozšírením VS za účelom pripojenia vyšších výkonov analýza ich pripojenia nebola v prevádzkovom režime poskytovania SR realizovaná. Predpokladaný podiel na celkovom objeme  $RZSR$  pri uvažovaní rozšírení  $RRSR$  akumuláciou je odvodený z podielu na  $RZSR$  prevádzkou Červený mlýn v roku 2017, ktorý bol približne 6%. Konkrétny objem RE vzniknutých aktiváciami RZ prevádzky Červený mlýn v danom roku nie je k dispozícii, preto pri jeho stanovení práca vychádza z Ročnej správy o trhu OTE za rok 2017. Tá poskytuje prehľad regulačných energií kladných a záporných súčtovo pre všetky PpS, pri ktorých je zúčtovaná odchýlka. Práca uvažuje s 33 % podielom  $RESR$  na celkovej RE [3][26].

Tabuľka 5.1 Stanovenie  $RESR$  [3][26]

Regulačná energia		Kladná	Záporná
Ročný objem RE	(MWh)	222 243,8	322 898
Náklady na RE	(tis. Kč)	543 248	5 134
Podiel $RESR$ na RE	(%)	33	33
Podiel PČM na SR	(%)	6	6

Na základe podielu prevádzky na SR, podielu  $RESR$  na RE a súčasného  $RRSR$  bola stanovená ročná doba v hodinách, počas ktorej bola dodávaná regulačná energia. Pomocou tejto doby a výkonu akumuláčného systému sú vypočítané predpokladané objemy  $RESR_{(+)}$  a  $RESR_{(-)}$  dodávané a odoberané akumuláciou. Tie sú následne použité na doplnenie prevádzkových nákladov a na stanovenie príjmov za RE.

### 5.1.1 Náklady

S inštaláciou akumulácie v tomto režime sú spojené investičné a prevádzkové náklady uvedené v nasledujúcej tabuľke. Prevádzkové náklady pokrývajú náklady na údržbu akumulácie a taktiež náklady na dobýjanie BSAE prevádzkou pri vzniku objemu regulačnej energie aktiváciou PpS.

Tabuľka 5.2 Náklady na systém zabezpečujúci SR

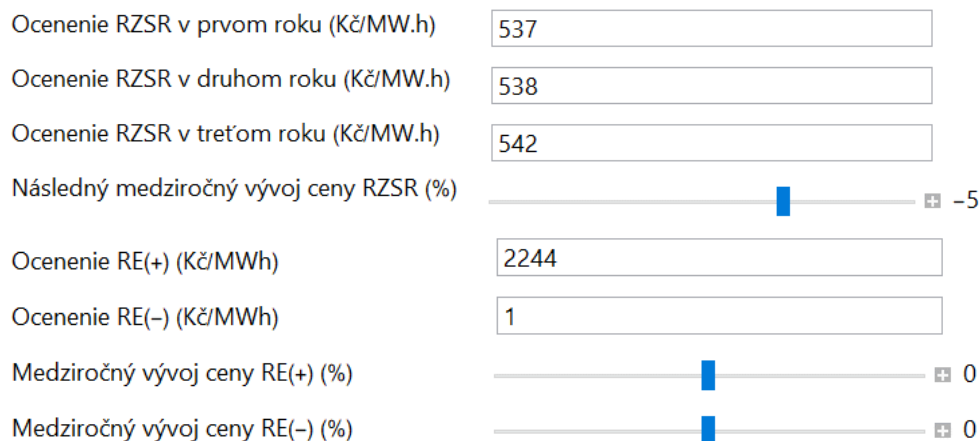
Technológia (1MW/1MWh)		Li-Ion	NaS	VRB
Investičné náklady - BSAE	(tis. Kč)	14 313	16 945	24 423
Investičné náklady - ostatné	(tis. Kč)	0	0	0
Náklady na obnovu systému	(tis. Kč)	6 642	4 594	0
Predpokladaná obnova systému	(rok)	10	10	-
Priemerné ročné náklady	(tis. Kč/rok)	417	276	420

Z pohľadu rozloženia nákladov je možné konštatovať, že najnižšie investičné náklady vykazuje inštalácia technológie Li-Ion. Pri porovnaní prevádzkových nákladov je najvýhodnejšia technológia NaS. Výhodou VRB sú v priebehu uvažovanej doby životnosti 15-tich rokov nulové dodatočné náklady na rozsiahlejšiu obnovu systému.

### 5.1.2 Príjmy

Výnosy za poskytovanie Primárnej regulácie navrhovaným systémom je možné rozdeliť do dvoch kategórií:

- Platba za rezervované Regulačné zálohy SR,
- Platba za dodanú Regulačnú energiu SR.



Obrázok 5.1 Počiatočné ceny RZSR,  $RESR_{(+)}$  a  $RESR_{(-)}$  [8][26]

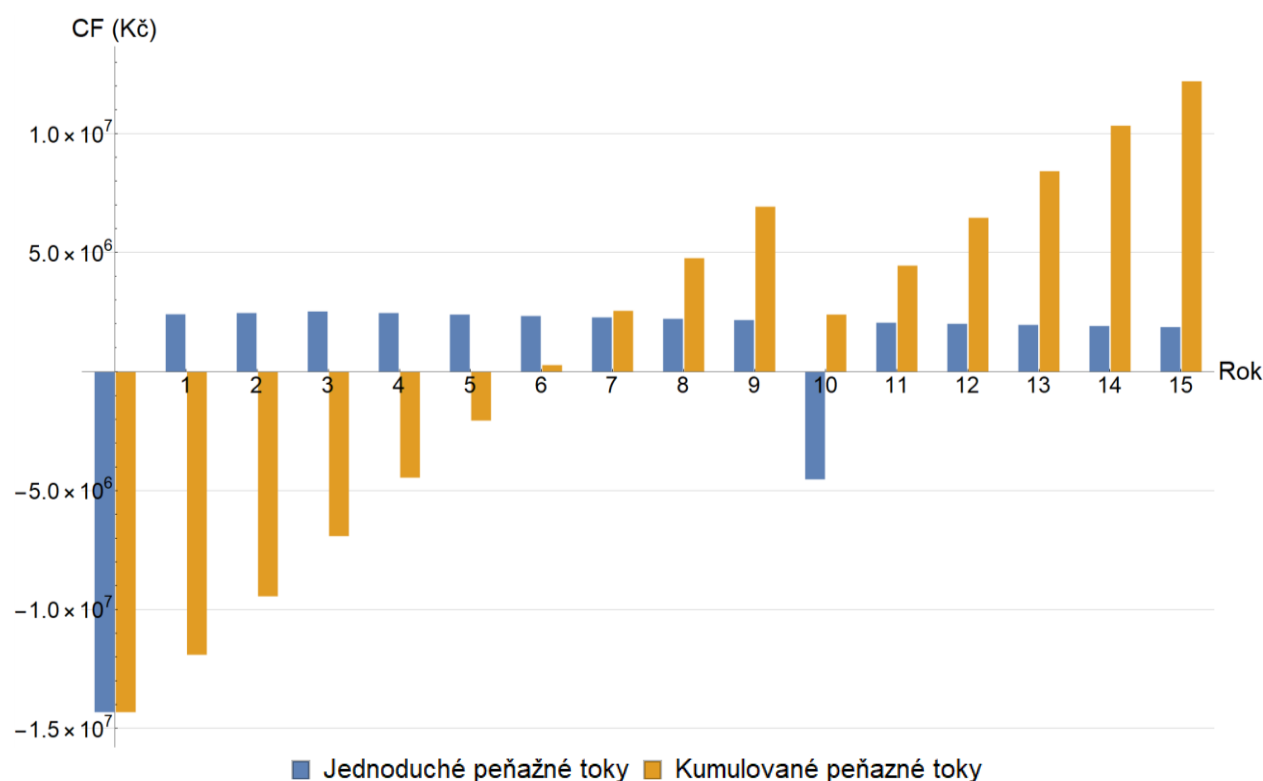
Ceny za RZSR vychádzajú z cenových rozhodnutí ČEPS, a.s. a sú uvedené na obrázku 5.1. Ročná cena je priemerom jednotlivých týždenných cien v tých energetických týždňoch, kedy je predpokladané poskytovanie regulačných záloh (cca od októbra do polovice apríla - 4400 hod.). Medziročný vývoj cien je nastavený na -5 % s prihliadnutím na historický vývoj a plánované úpravy Kodexu PS. Cena za RESR vychádza z Ročnej správy o trhu OTE a tabuľky 5.2. Jej predpokladaná medziročná zmena je na úrovni 0 %.

### 5.1.3 Zhodnotenie investície

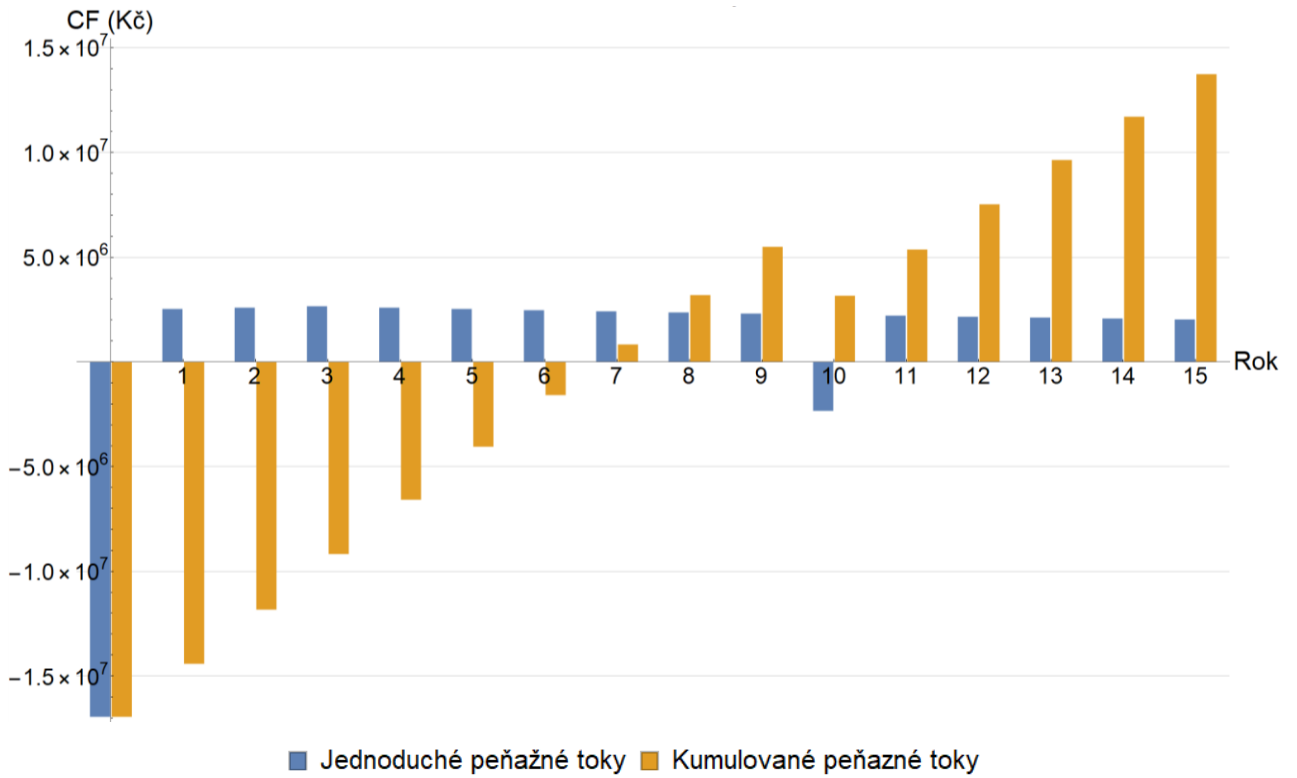
Výsledné zhodnotenie projektu pre daný prevádzkový režim je uvedené v nasledujúcej tabuľke, ktorá okrem priemerných ročných ziskov poskytuje aj prehľad NPV a IRR projektu pre tri posudzované technológie akumulácie elektrickej energie. Z nej vyplýva, že všetky tri varianty sú z pohľadu čistej súčasnej hodnoty nevýhodné. Tú je možné zvýšiť navýšením parametrov akumulácie. Hoci s týmto krokom budú spojené dodatočné investičné náklady, hlavná zložka príjmu (zisky za poskytovanie RZ) sa taktiež zvýši. Pri uvažovaní systému s výkonom nad 3 MW je zbytočné uvažovať samostatné poskytovanie SR, ale hodnotiť prevádzku BSAE v rámci režimu poskytovania kombinácie služieb, tak ako to popisuje kapitola 5.2. Obrázok 5.2 až 5.4 následne zobrazuje priebeh CF a CCF za obdobie uvažovanej životnosti projektu.

Tabuľka 5.3 Zhodnotenie projektu v režime poskytovania SR

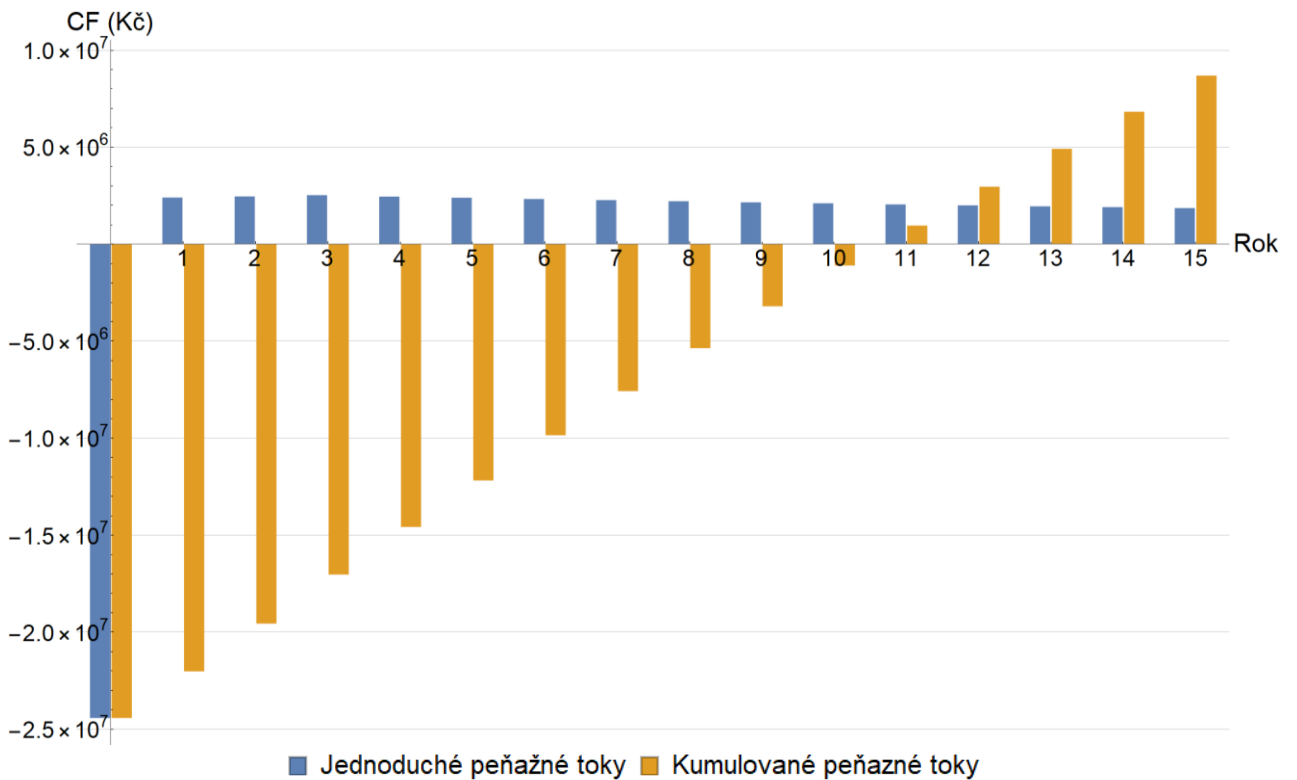
Technológia (1MW/1MWh)		Li-Ion	NaS	VRB
Priemerný ročný zisk za RZ (tis. Kč/rok)		1 951	1 951	1 951
Priemerný ročný zisk za RE (tis. Kč/rok)		677	677	677
NPV (tis. Kč)		- 786	- 1 739	- 7 939
IRR (%)		8,62	7,55	2,27
Zostatková cena projektu (tis. Kč)		2 790	1 929	0



Obrázok 5.2 Peňažné toky - technológia Li-Ion, poskytovanie SR



Obrázok 5.3 Peňažné toky - technológia NaS, poskytovanie SR



Obrázok 5.4 Peňažné toky - technológia VRB, poskytovanie SR

## 5.2 Poskytovanie Primárnej a Sekundárnej regulácie

V prevádzkovom režime poskytovania Primárnej regulácie spolu so Sekundárnou reguláciou je uvažovaný rovnaký režim poskytovania Sekundárnej regulácie ako pri poskytovaní samostatnej SR, tzn. akumulácia bude slúžiť na rozšírenie RZSR, resp. RRSR. V období, kedy prevádzka Červený mlyn neposkytuje SR (cca 4360 hod. ročne), akumulácia s odpovedajúcimi parametrami môže byť po technickej stránke schopná poskytovať samostatne Primárnu reguláciu. Poskytovanie tejto PpS je opäť limitované najmä odpovedajúcimi legislatívnymi úpravami v rámci Kodexu PS.

Z Kodexu PS vyplýva požiadavka na minimálny výkon energetických zariadení poskytujúcich PR rovný 3 MW. Systém uvažovaný pri samostatnom poskytovaní SR s parametrami 1MW/1MWh tejto požiadavke nevyhovuje. Preto je nutné uvažovať s pripojením systému s vyššími menovitými parametrami. To v prípade pripojenia popísaného v predchádzajúcich kapitolách znamená napríklad rozšírenie prípojnice VS BBB, menovite navýšenie jej inštalovaného výkonu z 3600 kW na parametre odpovedajúce prípojnici VS BBA, ktorá má inštalovaný výkon 6600 kW. Týmto rozšírením môže byť docielené navýšenie pripojiteľného výkonu na 4,54 MW a s rešpektovaním rezervných polí je tak možné uvažovať s akumuláciou s parametrami 4MW/4MWh. Takýto systém by v danom prevádzkovom režime dokázal poskytnúť nasledujúce regulačné zálohy, resp. regulačný rozsah Primárnej regulácie:

$$RZPR_{BSAE(+)} = |RZSR_{BSAE(-)}| = 4 \text{ MW} \quad (5.3)$$

$$RRPR_{BSAE} = 2 \cdot RZPR_{BSAE(+)} = 8 \text{ MW} \quad (5.4)$$

a taktiež zabezpečil rozšírenie záloh a rozsahu Sekundárnej regulácie nasledovne:

$$RZSR_{BSAE(+)} = |RZSR_{BSAE(-)}| = 4 \text{ MW} \quad (5.5)$$

$$RRSR_{BSAE} = 2 \cdot RZSR_{BSAE(+)} = 8 \text{ MW} \quad (5.6)$$

Nasledujúce zhodnotenie investície pracuje s hrubým odhadom navýšenia investičných nákladov spojených s posilnením prípojnice BBB, každopádne model citlivostnej analýzy je možné parametrizovať pomocou dodatočných investičných nákladov po ich konkrétnom vyčíslení. Pre potreby stanovenia prevádzkových nákladov z pohľadu dobývania akumulačného systému je objem regulačnej energie PR stanovený pomerne ku objemu RESR, ktorý je popísaný v predchádzajúcej kapitole nasledovne – uvažovaný pomer vychádza z pomeru medzi objemami výkonu PR (78 MW) a SR (cca 330 MW) v uvažovanom období, ktoré vyplývajú z Ročnej prípravy prevádzky ČEPS [6].

### 5.2.1 Náklady

S inštaláciou akumulácie v tomto režime sú spojené investičné a prevádzkové náklady uvedené v nasledujúcej tabuľke. Na základe predchádzajúcej kapitoly je v tomto režime poskytovania PpS dôjde vplyvom pripojenia systému s danými parametrami k navýšeniu počiatkových investičných nákladov o približne 2,5 mil. Kč. Prevádzkové náklady pokrývajú náklady na údržbu akumulácie a taktiež náklady na dobývanie BSAE prevádzkou pri vzniku objemu regulačnej energie aktiváciou PpS.

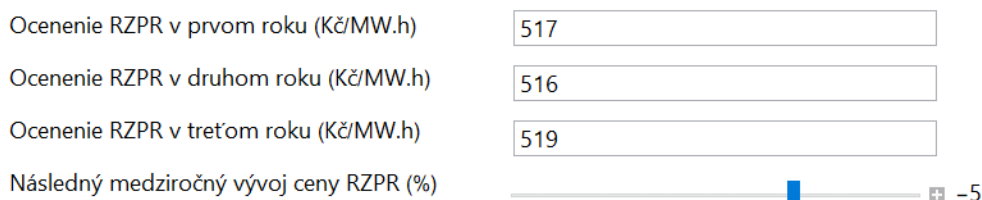
Tabuľka 5.4 Náklady na systém poskytujúci PR a SR

Technológia (4 MW / 4 MWh)		Li-Ion	NaS	VRB
Investičné náklady - BSAE	(tis. Kč)	48 882	67 781	97 691
Investičné náklady - ostatné	(tis. Kč)	2 500	2 500	2 500
Náklady na obnovu systému	(tis. Kč)	26 568	18 374	13 270
Predpokladaná obnova systému	(rok)	10	10	14
Priemerné ročné náklady	(tis. Kč/rok)	1 695	1 274	1 850

Z pohľadu rozloženia nákladov je možné konštatovať, že najnižšie investičné náklady vykazuje inštalácia technológie Li-Ion. Pri porovnaní prevádzkových nákladov je najvýhodnejšia technológia NaS. VRB naopak vykazuje najdlhšiu životnosť bez rozsiahlejšej obnovy systému a následne najnižšie náklady na danú obnovu.

### 5.2.2 Prijmy

K výnosom za poskytovanie SR (cca od polovice októbra do apríla – 4400 hod.), ktorým sa venuje kapitola opisujúca režim poskytovania SR, sú pripočítané platby za poskytnutie Regulačných záloh pre potreby Primárnej regulácie. Ocenenie RZPR v prvých troch rokoch je uvedené na obrázku 5.5. Medziročný vývoj cien je nastavený na -5 % s prihliadnutím na historický vývoj a plánované úpravy Kodexu PS. Regulačná energia vznikajúca aktiváciami PR nie je spoplatnená a preto z týchto nevznikajú žiadne príjmy. Tie za poskytovanie PR sú v celom objeme tvorené platbami za rezervovanie RZPR. Ročná cena je stanovená priemerom cien v energetických týždňoch, v ktorých je poskytovanie PR uvažované (cca od apríla do polovice októbra - 4360 hod.).



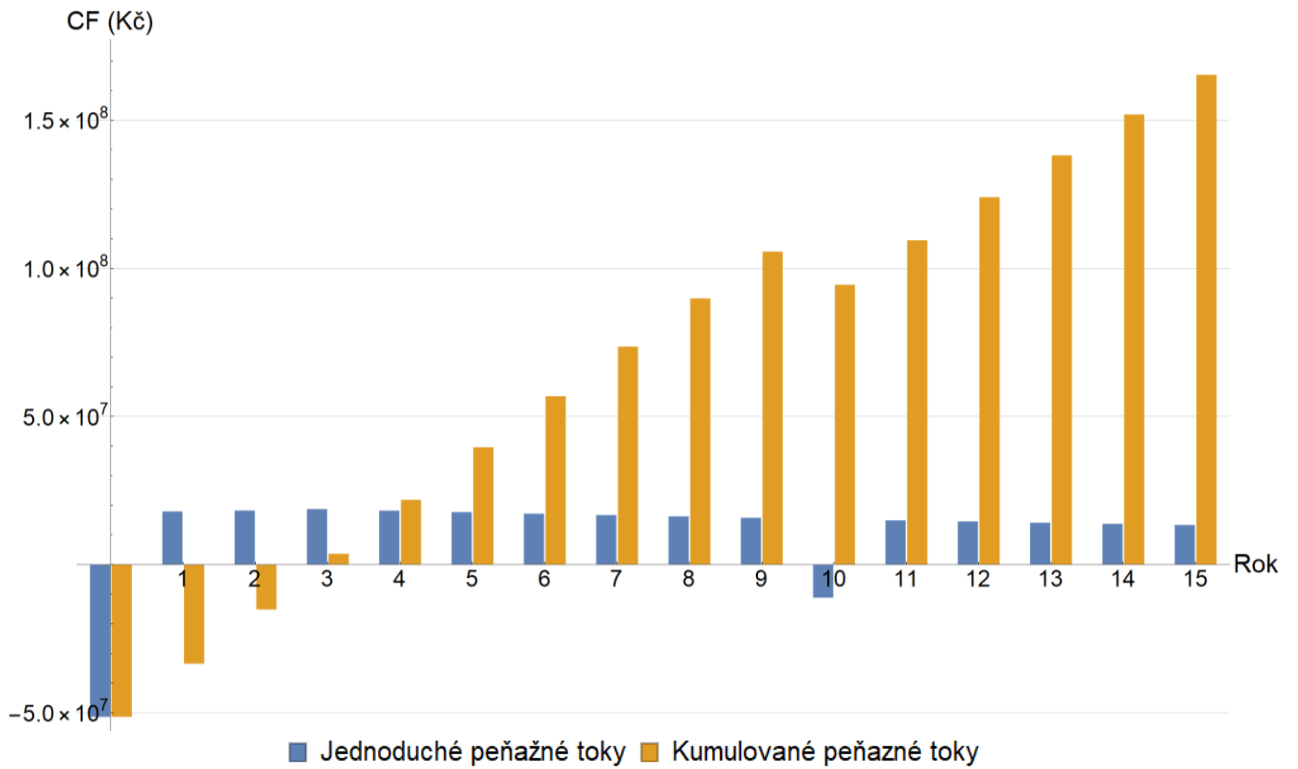
Obrázok 5.5 Počiatočné ceny RZPR [8]

### 5.2.3 Zhodnotenie investície

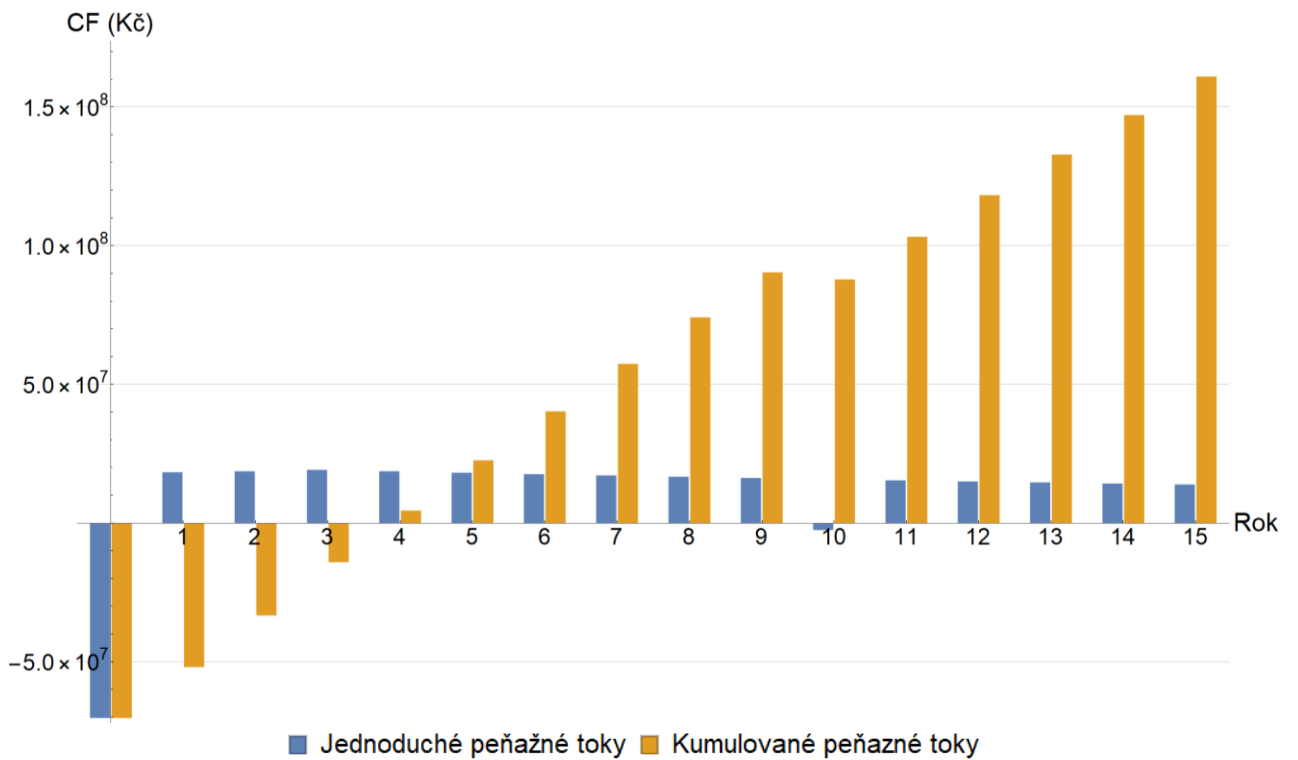
Výsledné zhodnotenie projektu pre daný prevádzkový režim je uvedené v nasledujúcej tabuľke, ktorá okrem priemerných ročných ziskov poskytuje aj čistú súčasnú hodnotu a vnútorné výnosové percento projektu pre tri posudzované technológie akumulácie elektrickej energie. Obrázok 5.6 až 5.8 následne zobrazuje priebeh jednoduchých a kumulovaných peňažných tokov za obdobie uvažovanej životnosti projektu.

Tabuľka 5.5 Zhodnotenie projektu v režime poskytovania PR a SR

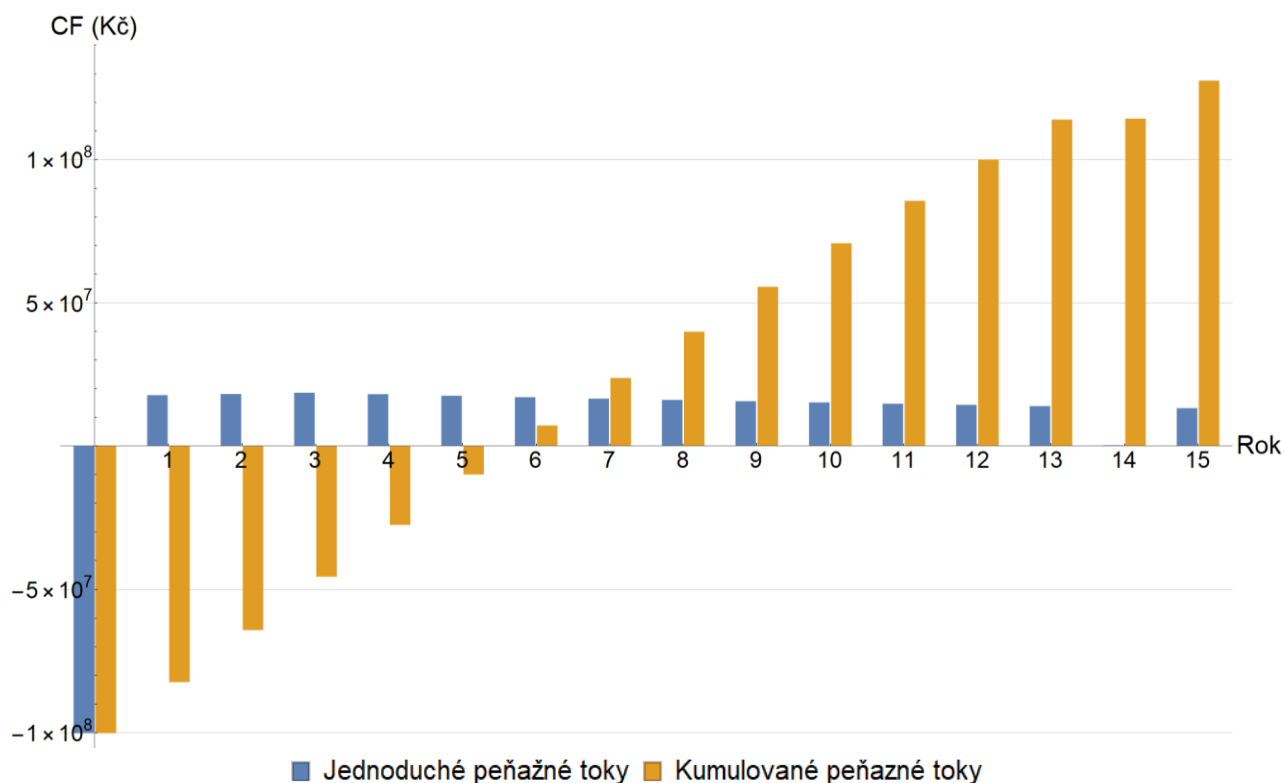
Technológia (4 MW / 4 MWh)		Li-Ion	NaS	VRB
Priemerný ročný zisk za RZ	(tis. Kč/rok)	15 209	15 209	15 209
Priemerný ročný zisk za RE	(tis. Kč/rok)	2 707	2 707	2 707
NPV	(tis. Kč)	49 350	37 245	10 086
IRR	(%)	30,62	21,36	12,26
Zostatková cena projektu	(tis. Kč)	11 159	7 717	11 147



Obrázok 5.6 Peňažné toky - technológia Li-Ion, poskytovanie PR a SR



Obrázok 5.7 Peňažné toky - technológia NaS, poskytovanie PR a SR



Obrázok 5.8 Peňažné toky - technológia VRB, poskytovanie PR a SR

### 5.3 Poskytovanie Minútových záloh

Minútová záloha v čase 15 minút je v súčasnosti prevádzkou poskytovaná v rozsahu uvedenom v kapitole 2.2.2. Na základe vývoja cien  $MZ_{15}$  a zabezpečenia tejto služby ostatnými zariadeniami prevádzky nebude  $MZ_{15}$  na BSAE uvažovaná a analyzovaná. Prevádzkové vlastnosti akumulácie sú výhodné najmä z pohľadu poskytovania  $MZ_5$ . S prihliadnutím na minimalizáciu investičných nákladov predpokladá popisovaný prevádzkový režim minimálny možný výkon (30 MW) umožňujúci vytvorenie  $RZMZ_5$  vyplývajúci z Kodexu PS. Poskytovanie  $MZ_5$  bude zabezpečené v spolupráci s turbogenerátormi nasledovne - akumulácia bude zabezpečovať  $MZ_5$  do doby nábehu generátorov prevádzky v čase maximálne 20 min od aktivácie. To definuje kapacitu akumulácie – pri zhodnotení je uvažovaná veľkosť 10 MWh. Tento režim predpokladá zabezpečenie  $MZ_5$  v období mimo poskytovania SR (približne 4360 hodín ročne). Akumulácia s parametrami 30 MW / 10 MWh však nemôže poskytovať Primárnu reguláciu. Predpokladaný podiel na celkovom objeme  $RZMZ_5$  je stanovený na približne 3 %. Konkrétny objem regulačných energií v danom roku opäť nie je k dispozícii, preto pri jeho stanovení práca vychádza z Ročnej správy o trhu OTE za rok 2017. Tá poskytuje prehľad regulačných energií kladných a záporných súčtoivo pre všetky PpS, pri ktorých je zúčtovaná odchýlka. Práca uvažuje s 33 % podielom  $REMZ_5$  na celkovej RE. Prehľad poskytuje nasledujúca tabuľka 5.6.

Tabuľka 5.6 Stanovenie  $REMZ_5$  [26]

Regulačná energia		Kladná	Záporná
Ročný objem RE	(MWh)	222 243,8	322 898
Náklady na RE	(tis. Kč)	543 248	5 134
Podiel $RESR$ na RE	(%)	33	33
Podiel PČM na $MZ_5$	(%)	3	3



Na základe uvažovaného podielu  $REMZ_5$  na RE bola stanovená ročná doba v hodinách, počas ktorej je uvažovaná dodávka RE. Pomocou tejto doby a výkonu akumuláčného systému sú vypočítané predpokladané objemy  $RE MZ_{5(+)}$  dodávané a odoberané akumuláciou. Tie sú následne použité na doplnenie prevádzkových nákladov a na stanovenie príjmov za RE.

### 5.3.1 Náklady

S inštaláciou akumulácie v tomto režime sú spojené investičné a prevádzkové náklady uvedené v nasledujúcej tabuľke. Merné náklady na všetky tri uvažované technológie vychádzajú z aplikácií v rozsahu jednotiek až desiatky MW, respektíve MWh. Parametre pre potreby zabezpečenia spoľahlivého poskytovania  $MZ_5$  sú mimo tieto medze, preto je možné predpokladať určité skreslenie investičných a prevádzkových nákladov. Každopádne je možné konštatovať, že pripojenie daného výkonu do VS so sebou prinesie navýšenie investičných nákladov, ktoré je odhadnuté na 10 mil. Kč. Prevádzkové náklady pokrývajú náklady na údržbu akumulácie a taktiež náklady na dobýjanie BSAE prevádzkou pri vzniku objemu regulačnej energie aktiváciou PpS.

Tabuľka 5.7 Náklady na systém zabezpečujúci  $MZ_5$

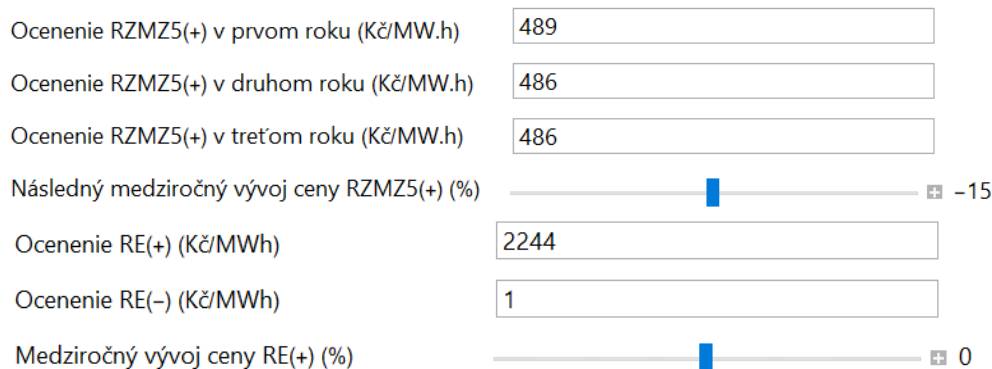
Technológia (30 MW / 10 MWh)		Li-Ion	NaS	VRB
Investičné náklady – BSAE	(tis. Kč)	215 638	366 259	494 322
Investičné náklady – ostatné	(tis. Kč)	10 000	10 000	10 000
Náklady na obnovu systému	(tis. Kč)	0	0	0
Predpokladaná obnova systému	(rok)	-	-	-
Priemerné ročné náklady	(tis. Kč/rok)	5 172	4 621	8 946

Z pohľadu rozloženia nákladov je možné konštatovať, že najnižšie investičné náklady vykazuje inštalácia technológie Li-Ion. Pri porovnaní prevádzkových nákladov je najvýhodnejšia technológia NaS. Keďže obnovu v tomto režime poskytovania nepotrebuje ani jeden systém, dlhá životnosť VRB, ktorá bola výhodou v predchádzajúcich porovnaníach nákladov, je irelevantná.

### 5.3.2 Príjmy

Výnosy vyplývajúce z poskytovania Minútovej zálohy  $t = 5$  navrhovaným systémom je možné rozdeliť do dvoch kategórií:

- Platba za rezervované Regulačné zálohy SR,
- Platba za dodanú Regulačnú energiu SR.



Obrázok 5.9 Počiatočné ceny  $RZMZ_5$ ,  $REMZ_{5(+)}$  a  $REMZ_{5(-)}$  [8][26]

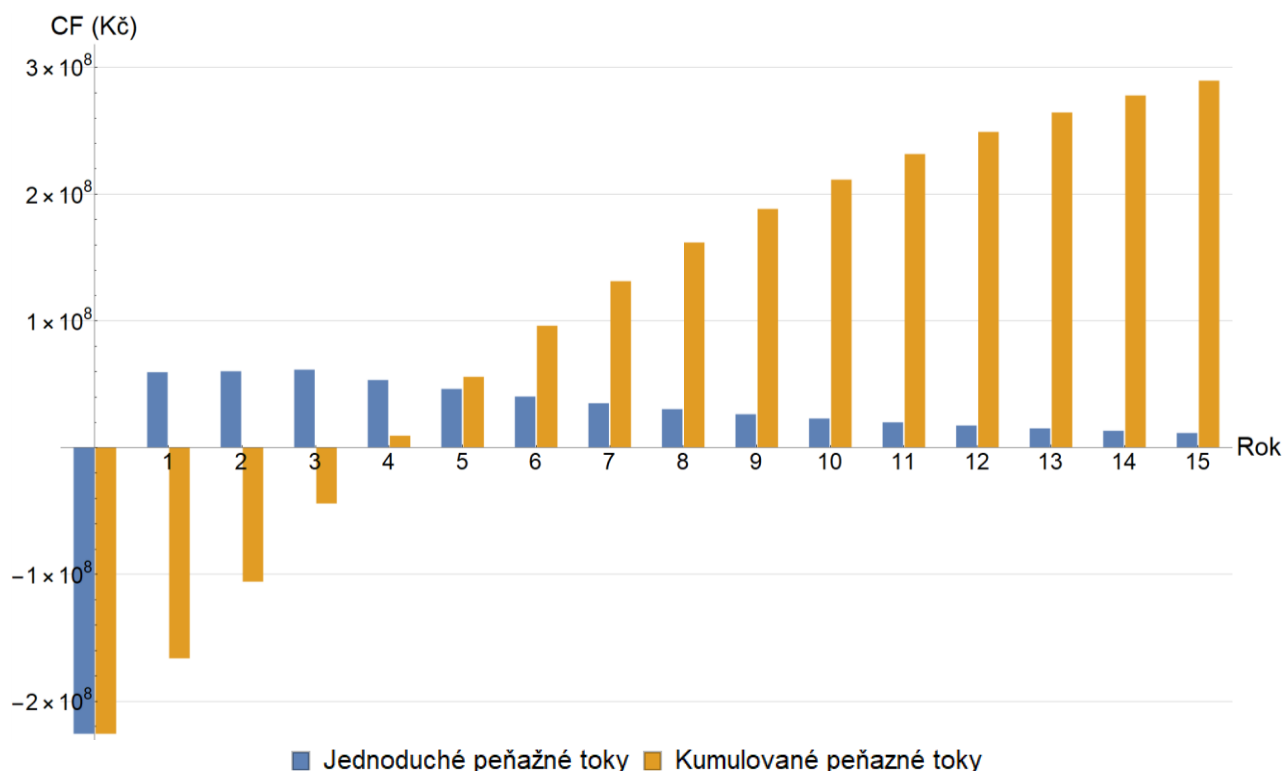
Ceny za  $RZMZ_5$  vychádzajú z cenových rozhodnutí ČEPS, a.s. a sú uvedené na obrázku 5.9. Ročná cena je priemerom jednotlivých týždenných cien v tých energetických týždňoch, kedy je predpokladané poskytovanie regulačných záloh (cca od apríla do polovice októbra - 4360 hod.). Medziročný vývoj cien je nastavený na -15 % s prihliadnutím na historický vývoj a plánované úpravy Kodexu PS. Cena za  $REMZ_{5(+)}$  vychádza z Ročnej správy o trhu OTE a tabuľky 5.2. Jej predpokladaná medziročná zmena je na úrovni 0 %.

### 5.3.3 Zhodnotenie investície

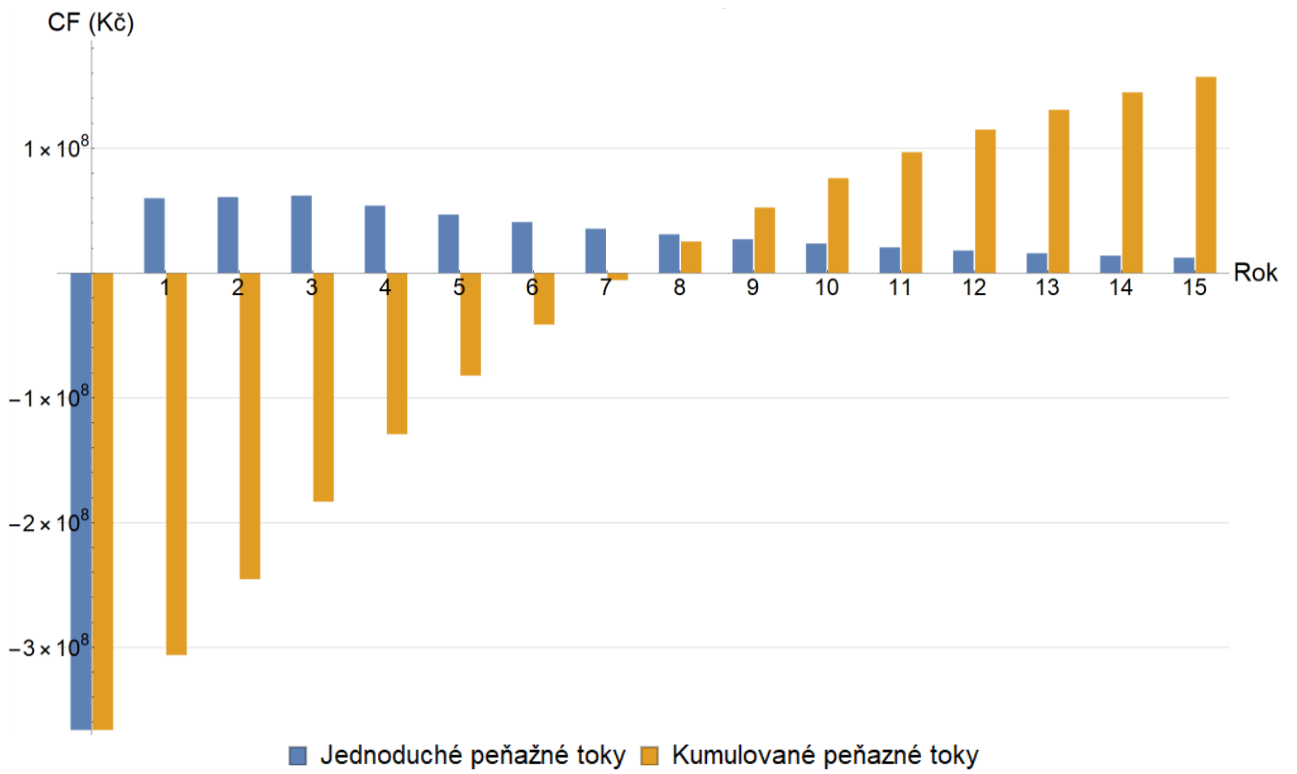
Výsledné zhodnotenie projektu pre daný prevádzkový režim je uvedené v nasledujúcej tabuľke, ktorá okrem priemerných ročných ziskov poskytuje aj čistú súčasnú hodnotu a vnútorné výnosové percento projektu pre tri posudzované technológie akumulácie elektrickej energie. Obrázok 5.10 až 5.12 následne zobrazuje priebeh jednoduchých a kumulovaných peňažných tokov za obdobie uvažovanej životnosti projektu.

Tabuľka 5.8 Zhodnotenie projektu v režime poskytovania  $MZ_5$

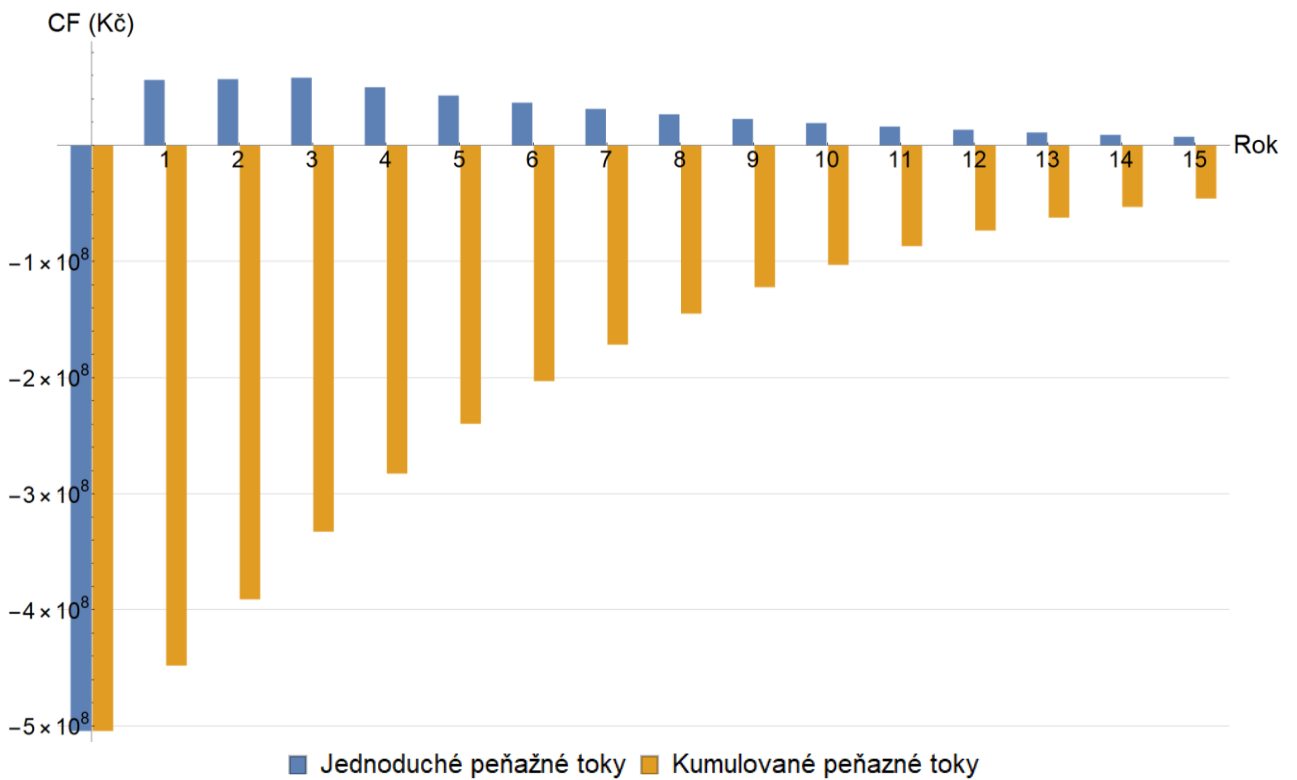
Technológia (30 MW / 10 MWh)	Li-Ion	NaS	VRB
Priemerný ročný zisk za RZ (tis. Kč/rok)	33 770	33 770	33 770
Priemerný ročný zisk za RE (tis. Kč/rok)	5 750	5 750	5 750
NPV (tis. Kč)	55 275	-66 879	-214 861
IRR (%)	16,72	4,74	-3,60
Zostatková cena projektu (tis. Kč)	0	0	0



Obrázok 5.10 Peňažné toky - technológia Li-Ion, poskytovanie  $MZ_5$



Obrázok 5.11 Peňažné toky - technológia NaS, poskytovanie MZ<sub>5</sub>



Obrázok 5.12 Peňažné toky - technológia VRB, poskytovanie MZ<sub>5</sub>

## 6 ZÁVER

Diplomová práca sa zaoberá analýzou využitia akumulčných systémov v prevádzke Červený mlyn za účelom zabezpečenia podporných služieb. Vo svojej prvej časti oboznamuje so základnými pojmami a klasifikáciou PpS, pričom popisuje technické požiadavky na subjekty prenosovej sústavy, ktoré musia byť splnené v prípade záujmu o ich poskytovanie. Následne sú diskutované základné formy zabezpečovania podporných služieb zo strany spoločnosti ČEPS, konkrétne je definovaný rozdiel medzi dlhodobými kontraktmi a denným trhom s PpS. Táto časť práce navyše poskytuje prehľad priemerných cien jednotlivých podporných služieb v rámci výberových riadení na roky 2018 až 2021, ktoré sú jedným z hlavných vstupov pri zhodnocovaní navrhovaného projektu BSAE.

Kapitola sa taktiež venuje analýze poskytovateľov podporných služieb, so zameraním na aktivitu Teplární Brno v systéme poskytovania podporných služieb. Popisuje historický vývoj a diverzifikáciu zloženia subjektov poskytujúcich dané služby spoločnosti ČEPS. V podkapitole sú následne do detailu popísané činnosti prevádzky Červený Mlyn v kontexte poskytovania podporných služieb. V závere kapitoly je priblížený návrh popisujúci plánované zmeny v systéme PpS, menovite v definícii FB a kategorizácii PpS.

Druhá časť práce je venovaná systémom na skladovanie elektrickej energie vo svete a v Českej republike, ktoré svojou činnosťou prispievajú k udržiavaniu výkonovej rovnováhy v elektrizačnej sústave, zvyšovaniu kvality elektrickej energie a tým pádom sú schopné poskytovať určitý druh podpornej služby prevádzkovateľovi prenosovej sústavy. Systémy, ktoré sú v prevádzke v Českej republike, sú popísané detailnejšie, najmä s ohľadom na technické parametre a investičné náklady. Táto kapitola je zakončená prehľadom troch zvolených technológií – Li-Ion, NaS a VRB, ktoré boli zvolené ako vhodné riešenia pre uvažovanú aplikáciu. Prehľad sa skladá z analýzy technických a ekonomických parametrov jednotlivých systémov.

V záverečnej časti je realizovaná analýza možného pripojenia akumulčného systému do rozvodne vlastnej spotreby prevádzky a navrhnuté fyzické umiestnenie akumulácie. Taktiež je predstavený model citlivostnej analýzy vytvorený pre potreby práce v prostredí programu Wolfram Mathematica 11. Následne sú navrhnuté tri prevádzkové režimy poskytovania podporných služieb a funkčnosť modelu je prezentovaná na troch konfiguráciách parametrov BSAE. Všetky tri variácie sú posudzované s uvažovaním 15-ročnej životnosti projektu, inflácii na úrovni 2 % a reálnou diskontnou sadzbou vo výške 10 %.

V režime poskytovania Sekundárnej regulácie  $P$  bloku je možné BSAE využiť len na rozšírenie súčasného  $RRSR$  prevádzky. Pri uvažovaní systému s výkonom 1MW a kapacitou 1MWh je dosiahnuté navýšenie  $RZSR_{(+)}$  aj  $RZSR_{(-)}$  o 1 MW a  $RRSR$  o 2 MW. Z pohľadu investičných nákladov je najvýhodnejšia inštalácia technológie Li-Ion - 14 mil. Kč, najmenej výhodná technológia VRB – 24 mil. Kč. Čistá súčasná hodnota projektu je v tomto prípade záporná pre všetky tri porovnávané technológie. Pri posúdení podľa vnútorného výnosového percenta je najpriateľnejším variantom použitie technológie Li-Ion s IRR rovným 8,62 %. Najmenej výhodné je použitie VRB akumulácie, najmä kvôli najvyšším počiatocným nákladom a IRR na úrovni 2,27 %. Keďže hlavnú časť príjmov za prevádzkovanie systému tvoria stále ročné platby za hodinovú dostupnosť regulačných záloh, je možné príjmy a následne aj posudzované ekonomické ukazatele projektu zvýšiť navýšením parametrov systému.

V druhom prevádzkovom režime je navrhnuté navýšenie parametrov BSAE na úroveň 4 MW a 4 MWh. Benefitom inštalácie systému s týmito parametrami, hoci pri uvažovanom pripojení prináša dodatočné investičné náklady, je nielen výraznejšie navýšenie  $RRSR$ , ale aj splnenie požiadavky na minimálny výkon zariadení poskytujúcich Primárnu reguláciu. Preto je tento variant posudzovaný v režime poskytovania Primárnej regulácie  $f$  bloku spolu so Sekundárnou reguláciou  $P$  bloku. Tým dochádza k navýšeniu  $RZSR_{(+)}$  aj  $RZSR_{(-)}$  o 4 MW a  $RRSR$  o 8 MW v dobe, kedy prevádzka poskytuje SR a súčasne k vytvoreniu  $RZPR_{(+)}$  aj  $RZPR_{(-)}$  o veľkosti 4 MW a  $RRPR$  v celkovej hodnote 8 MW v období mimo poskytovania SR. Z pohľadu investičných nákladov je opäť najvýhodnejšia inštalácia technológie Li-Ion - 51 mil. Kč, najmenej výhodná technológia VRB – 100 mil. Kč. Čistá súčasná hodnota projektu je pre všetky tri technológie kladná. Pri posúdení podľa vnútorného výnosového percenta je najpriateľnejším variantom použitie technológie Li-Ion s IRR rovným 30,62 %. Najmenej výhodné je použitie VRB akumulácie, najmä kvôli najvyšším počiatočným nákladom a IRR na úrovni 12,26 %. Technológia NaS je prijateľným variantom pre oba režimy a hoci jej inštalácia vyžaduje investičné náklady ako inštalácia systému Li-Ion, ponúka nižšie náklady prevádzkové.

V režime poskytovania Minútových záloh je v súlade so zadaním posudzovaný režim zabezpečenia  $RZMZ_{5(+)}$ . Špecifické požiadavky na výkon zariadení poskytujúcich túto službu stanovujú parametre uvažovaného systému na 30 MW a 10 MWh. S inštaláciou BSAE na zabezpečenie tohto prevádzkového režimu sú spojené najvyššie počiatočné investičné náklady na úrovni 225 až 504 mil. Kč. Najlepšie ekonomické parametre vykazuje technológia Li-Ion, menovite kladné NPV a IRR 16,72 %. Technológie NaS a VRB sú z ekonomického hľadiska nerentabilné so záporným NPV a IRR 4,74 % pre technológiu NaS a – 3,60 % pre technológiu VRB.

V prípade záujmu o realizáciu projektu je v kontexte súčasných legislatívnych restriktív vyhlídkovo možná iba testovacia prevádzka akumuláčného systému, s možnosťou príprav na certifikačné merania v prípade schválenia navrhovaných úprav v priebehu 2019, ktoré umožnia BSAE v spolupráci s prevádzkou účasť na poskytovaní všetkých druhov PpS. Model analýzy taktiež nehodnotí poskytovanie špecifických PpS typu Ostrovná prevádzka (OP) a Štart z tmy (BS), keďže tie sú zo strany ČEPS, a.s. nakupované na základe priamych zmlúv s jednotlivými poskytovateľmi. Nie je teda možné obecné stanoviť ekonomickú návratnosť projektu v týchto režimoch. Na zabezpečenie prevádzky z hľadiska poskytovania BS je zo skúšok rozbehu turbíny a taktiež zo zariadení pripojených do VS, ktoré je nutné napájať pri rozbehu (uvedené v kapitole 4.1) vyplýva požiadavka na zabezpečenie výkonu približne 2 MW. Z technického hľadiska teda BSAE s dostatočným výkonom a kapacitou (na úrovni 2MW/2MWh a viac) môže byť schopná túto PpS poskytnúť. Je však nevyhnutné, aby využitie akumulácie v takomto režime prevádzky bolo posúdené doplnkovou štúdiou a certifikované.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] *Kodex PS I. - Základní podmínky pro užívání přenosové soustavy* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>
- [2] *Kodex PS II. - Podpůrné služby (PpS)* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://ceps.cz/cs/kodex-ps>
- [3] *Poskytovatelé PpS* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://ceps.cz/cs/poskytovatele-pps>
- [4] *Návrh změn Pravidel provozování přenosové soustavy předaný společností ČEPS, a. s. na základě § 97 a energetického zákona Energetickému regulačnímu úřadu ke schválení* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/-/navrh-zmen-pravidel-provozovani-prenosove-soustavy-predany-spolecnosti-ceps-a-s-na-zaklade-%C2%A7-97a-energetickeho-zakona-energetickemu-regulacnimu-1>
- [5] SMOLINSKÝ, Petr. *Teplárenská soustava v Brně – paroplynová teplárna Červený mlýn*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 40 s. Vedoucí práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.
- [6] *Roční příprava provozu, léta 2009-2018* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://ceps.cz/cs/priprava-provozu>
- [7] KUBÍN, Miroslav. *Přenosy elektrické energie ČR v kontextu evropského vývoje*. Praha: ČEPS, 2004.
- [8] *Vážené průměry cen PpS* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://ceps.cz/cs/statistiky-pps>
- [9] *ČEPS v novém návrhu pravidel otevírá bateriím celý trh s podpůrnými službami* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/prenos-elektriny/ceps-novem-navrhu-pravidel-otevira-bateriim-cely-trh-podpurnymi-sluzbami/>
- [10] *EBGL – návrh podmínek pro poskytovatele služeb výkonové rovnováhy* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/verejne-konzultace/novinka/ebgl-navrh-podminek-pro-poskytovatele-sluzeb-vykonove-rovnovahy>
- [11] *Regulace činného výkonu a frekvence v ES. Prednáška MRES*. Brno, 2018. VUT Brno. <https://www.powerwiki.cz/attach/APES/Pf-reg.pdf>
- [12] GUNDOGDU, B., S. NEJAD, D. T. GLADWIN a D. A. STONE. A battery energy management strategy for UK enhanced frequency response. In: *2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)* [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 26-31 [cit. 2018-01-16]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8001218/>
- [13] *Bateriový systém pro nadbytečnou energii*. Solarglobal [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://www.solarglobal.cz/sgstorage/>
- [14] *Baterii pro úložiště do Prakšic dodají Solar Globalu Nizozemci*. Monitora [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <https://media.monitora.cz/article/preview/2001/27453444-325eece1e4ef331e7afe/>
- [15] *Svazek 3 příloha č. 1 - DSP* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <https://stavebnionline.cz/Profily/profil.asp?Typ=2&ID=731&IDZak=7238>
- [16] *Svazek 3 příloha č. 3 - Technická specifikace* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <https://stavebnionline.cz/Profily/profil.asp?Typ=2&ID=731&IDZak=7238>

- [17] JURÍK, Michal. *Osobná e-mailová komunikácia* [online]. [cit. 2018-01-15].
- [18] *Svazek 3 příloha č. 6 - Parametry baterie* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <https://stavebnionline.cz/Profily/profil.asp?Typ=2&ID=731&IDZak=7238>
- [19] *Svazek 3 příloha č. 5 - Smlouva o připojení* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <https://stavebnionline.cz/Profily/profil.asp?Typ=2&ID=731&IDZak=7238>
- [20] ZAKERI, Behnam a Sanna SYRI. Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, (42), 569-596. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.011>.
- [21] AQUINO, Todd, Mathew ROLING, Chris BAKER a Lukas ROWLAND. *Battery Energy Storage Technology Assessment* [online]. 29.11.2017 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.prpa.org/wp-content/uploads/2017/10/HDR-Battery-Energy-Storage-Assessment.pdf>
- [22] RADIL, Lukáš a Jan MACHÁČEK. *Nekonvenční přeměny energie*. Brno, 2016. VUT Brno.
- [23] ROHIT, Amit Kumar, Ksh. Priyalakshmi DEVI a Saroj RANGNEKAR. An overview of energy storage and its importance in Indian renewable energy sector:: Part I – Technologies and Comparison. *Journal of Energy Storage*. 2017, (13), 10-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2017.06.005>.
- [24] AKINYELE, Daniel, Juri BELIKOV a Yoash LEVRON. Battery Storage Technologies for Electrical Applications: Impact in Stand-Alone Photovoltaic Systems. *Energies* [online]. 2017, roč. 10, č. 11, s. 1760. ISSN 1996-1073. Dostupné z: [doi:10.3390/en10111760](https://doi.org/10.3390/en10111760)
- [25] ONDROUŠEK, Luděk. *Osobná e-mailová komunikácia a konzultácie* [cit. 2018-05-15].
- [26] *Roční zpráva o trhu s energiemi OTE za rok 2017* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://www.ote-cr.cz/statistika/rocni-zprava/page\\_report\\_62\\_162](http://www.ote-cr.cz/statistika/rocni-zprava/page_report_62_162)

## PRÍLOHA A – ROZDELENIE REGULAČNÝCH ZÁLOH [2]

<i>T</i> (min)	Rozdelenie podľa času	Rozdelenie podľa typu	Nakupovaná služba	Certifikácia
0,5	RZS Regulačná záloha sekundová		RZPR Regulačná záloha primárnej regulácie	Áno
5	RZ <sub>5</sub> Regulačná záloha dosiahnuteľná do 5 minút	RZ <sub>5+</sub> Regulačná záloha kladná dosiahnuteľná do 5 minút	RZMZ <sub>5</sub> Regulačná záloha minútová dosiahnuteľná do 5 minút	Áno
15	RZ <sub>15</sub> Regulačná záloha dosiahnuteľná do 15 minút	RZSR Regulačná záloha sekundárnej regulácie	RZSR Regulačná záloha sekundárnej regulácie (PE, JE, PPE)	Áno
		RZ <sub>15+</sub> Regulačná záloha Kladná dosiahnuteľná do 15 minút	RZMZ <sub>15+</sub> Regulačná záloha minútová kladná dosiahnuteľná do 15 minút	Áno
		RZ <sub>15-</sub> Regulačná záloha záporná dosiahnuteľná do 15 minút	RZMZ <sub>15-</sub> Regulačná záloha minútová záporná dosiahnuteľná do 15 minút	Áno
30	RZ <sub>30</sub> Regulačná záloha dosiahnuteľná do 30 minút	RZ <sub>30-</sub> Regulačná záloha záporná dosiahnuteľná do 30 minút	RZSV <sub>30</sub> Regulačná záloha zníženia výkonu dosiahnuteľná do 30 minút	Nie
>30	RZ <sub>&gt;30</sub> Regulačná záloha dosiahnuteľná v čase dlhšom ako 30 minút		EregZ <sub>&gt;30+</sub> Regulačná energia zo zahraničia kladná	Nie
			EregZ <sub>&gt;30-</sub> Regulačná energia zo zahraničia záporná	Nie



## PRÍLOHA B – CENY REGULAČNÝCH ZÁLOH PPS [8]

Rok	Týždeň	Cena (Kč/MW.h)					Rok	Týždeň	Cena (Kč/MW.h)				
		PR	SR	MZ <sub>5</sub>	MZ <sub>15+</sub>	MZ <sub>15-</sub>			PR	SR	MZ <sub>5</sub>	MZ <sub>15+</sub>	MZ <sub>15-</sub>
2018	1 (01.01.–07.01.)	673	674	498	201	203	2019	1 (01.01.–06.01.)	512	536	488	137	137
2018	2 (08.01.–14.01.)	673	674	498	200	203	2019	2 (07.01.–13.01.)	512	536	488	137	137
2018	3 (15.01.–21.01.)	673	674	498	200	203	2019	3 (14.01.–20.01.)	512	536	488	137	137
2018	4 (22.01.–28.01.)	673	674	498	200	203	2019	4 (21.01.–27.01.)	512	536	488	137	137
2018	5 (29.01.–04.02.)	673	676	498	197	203	2019	5 (28.01.–03.02.)	512	536	488	137	137
2018	6 (05.02.–11.02.)	673	676	498	200	203	2019	6 (04.02.–10.02.)	512	536	488	137	137
2018	7 (12.02.–18.02.)	673	676	498	197	203	2019	7 (11.02.–17.02.)	512	536	488	137	137
2018	8 (19.02.–25.02.)	673	676	498	197	203	2019	8 (18.02.–24.02.)	512	536	488	137	137
2018	9 (26.02.–04.03.)	673	676	498	199	203	2019	9 (25.02.–03.03.)	512	536	488	137	137
2018	10 (05.03.–11.03.)	673	674	498	199	203	2019	10 (04.03.–10.03.)	512	536	488	137	137
2018	11 (12.03.–18.03.)	673	674	498	199	203	2019	11 (11.03.–17.03.)	512	536	488	137	137
2018	12 (19.03.–25.03.)	673	673	498	200	203	2019	12 (18.03.–24.03.)	512	536	488	137	137
2018	13 (26.03.–01.04.)	673	675	498	200	198	2019	13 (25.03.–31.03.)	512	536	488	137	137
2018	14 (02.04.–08.04.)	673	677	498	205	198	2019	14 (01.04.–07.04.)	512	541	488	142	141
2018	15 (09.04.–15.04.)	673	676	498	195	198	2019	15 (08.04.–14.04.)	512	541	488	143	143
2018	16 (16.04.–22.04.)	673	676	498	195	198	2019	16 (15.04.–21.04.)	512	541	489	143	143
2018	17 (23.04.–29.04.)	673	676	498	194	198	2019	17 (22.04.–28.04.)	512	542	489	143	143
2018	18 (30.04.–06.05.)	673	676	499	192	198	2019	18 (29.04.–05.05.)	516	548	489	138	138
2018	19 (07.05.–13.05.)	673	678	499	191	198	2019	19 (06.05.–12.05.)	517	548	489	138	138
2018	20 (14.05.–20.05.)	673	674	499	191	198	2019	20 (13.05.–19.05.)	517	548	489	138	138
2018	21 (21.05.–27.05.)	673	674	499	190	198	2019	21 (20.05.–26.05.)	517	548	489	138	138
2018	22 (28.05.–03.06.)	673	686	499	190	201	2019	22 (27.05.–02.06.)	517	550	489	141	141
2018	23 (04.06.–10.06.)	673	691	499	192	206	2019	23 (03.06.–09.06.)	517	550	489	141	141
2018	24 (11.06.–17.06.)	673	691	499	190	206	2019	24 (10.06.–16.06.)	517	550	489	141	141
2018	25 (18.06.–24.06.)	673	691	499	191	206	2019	25 (17.06.–23.06.)	517	550	489	141	141
2018	26 (25.06.–01.07.)	673	684	500	191	206	2019	26 (24.06.–30.06.)	517	572	488	141	141
2018	27 (02.07.–08.07.)	673	681	503	194	203	2019	27 (01.07.–07.07.)	517	584	490	148	148
2018	28 (09.07.–15.07.)	673	694	503	191	214	2019	28 (08.07.–14.07.)	517	584	491	148	148
2018	29 (16.07.–22.07.)	673	700	503	196	218	2019	29 (15.07.–21.07.)	517	584	491	149	149
2018	30 (23.07.–29.07.)	673	698	503	197	219	2019	30 (22.07.–28.07.)	517	584	491	170	178
2018	31 (30.07.–05.08.)	673	710	503	199	219	2019	31 (29.07.–04.08.)	517	584	488	148	147
2018	32 (06.08.–12.08.)	673	710	503	199	208	2019	32 (05.08.–11.08.)	517	584	488	144	145
2018	33 (13.08.–19.08.)	673	711	503	199	208	2019	33 (12.08.–18.08.)	517	584	488	144	145
2018	34 (20.08.–26.08.)	673	711	503	199	208	2019	34 (19.08.–25.08.)	517	584	488	144	145
2018	35 (27.08.–02.09.)	673	708	503	198	203	2019	35 (26.08.–01.09.)	517	599	488	144	145
2018	36 (03.09.–09.09.)	673	719	503	196	197	2019	36 (02.09.–08.09.)	517	563	489	138	138
2018	37 (10.09.–16.09.)	673	715	503	196	197	2019	37 (09.09.–15.09.)	517	563	489	138	138
2018	38 (17.09.–23.09.)	673	690	503	195	197	2019	38 (16.09.–22.09.)	517	561	489	138	138
2018	39 (24.09.–30.09.)	673	680	503	221	196	2019	39 (23.09.–29.09.)	517	561	489	145	145
2018	40 (01.10.–07.10.)	673	674	498	200	197	2019	40 (30.09.–06.10.)	513	543	489	141	141
2018	41 (08.10.–14.10.)	673	674	498	197	197	2019	41 (07.10.–13.10.)	512	541	489	141	141
2018	42 (15.10.–21.10.)	673	674	498	197	201	2019	42 (14.10.–20.10.)	512	541	488	141	141
2018	43 (22.10.–28.10.)	673	674	498	197	201	2019	43 (21.10.–27.10.)	512	541	488	141	141
2018	44 (29.10.–04.11.)	673	675	498	199	199	2019	44 (28.10.–03.11.)	512	536	488	137	137
2018	45 (05.11.–11.11.)	673	676	498	199	203	2019	45 (04.11.–10.11.)	512	536	488	137	137
2018	46 (12.11.–18.11.)	673	676	498	199	203	2019	46 (11.11.–17.11.)	512	536	488	137	137
2018	47 (19.11.–25.11.)	673	676	498	197	203	2019	47 (18.11.–24.11.)	512	536	488	137	137
2018	48 (26.11.–02.12.)	673	676	498	197	203	2019	48 (25.11.–01.12.)	512	536	488	137	137
2018	49 (03.12.–09.12.)	673	676	498	197	203	2019	49 (02.12.–08.12.)	512	536	488	137	137
2018	50 (10.12.–16.12.)	673	676	498	197	203	2019	50 (09.12.–15.12.)	512	536	488	137	137
2018	51 (17.12.–23.12.)	673	676	498	197	199	2019	51 (16.12.–22.12.)	512	536	488	137	137
2018	52 (24.12.–30.12.)	673	677	498	200	200	2019	52 (23.12.–29.12.)	512	536	488	137	137
2018	1 (31.12.–31.12.)	673	677	498	198	198	2019	1 (30.12.–31.12.)	512	536	488	137	137

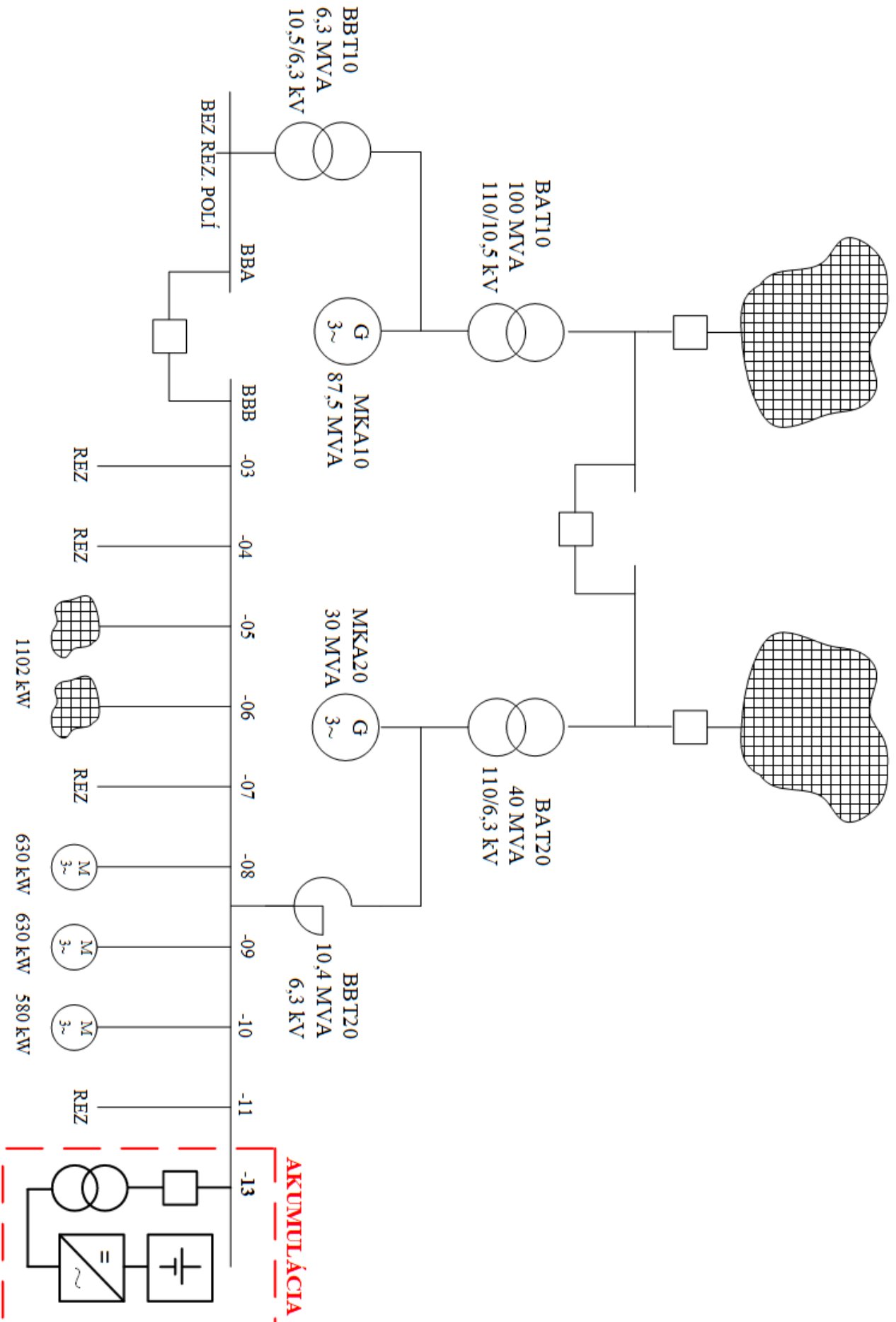
Rok	Týždeň	Cena (Kč/MW.h)					Rok	Týždeň	Cena (Kč/MW.h)				
		PR	SR	MZ <sub>5</sub>	MZ <sub>15+</sub>	MZ <sub>15-</sub>			PR	SR	MZ <sub>5</sub>	MZ <sub>15+</sub>	MZ <sub>15-</sub>
2020	1 (01.01.–05.01.)	512	534	486	184	136	2021	53 (01.01.–03.01.)	515	538	486	185	139
2020	2 (06.01.–12.01.)	512	534	486	184	136	2021	1 (04.01.–10.01.)	515	540	486	185	139
2020	3 (13.01.–19.01.)	512	534	486	184	136	2021	2 (11.01.–17.01.)	515	540	486	185	139
2020	4 (20.01.–26.01.)	512	534	486	184	136	2021	3 (18.01.–24.01.)	515	540	486	185	139
2020	5 (27.01.–02.02.)	512	534	486	184	136	2021	4 (25.01.–31.01.)	515	540	486	185	139
2020	6 (03.02.–09.02.)	512	534	486	184	136	2021	5 (01.02.–07.02.)	515	540	486	185	139
2020	7 (10.02.–16.02.)	512	534	486	184	136	2021	6 (08.02.–14.02.)	515	540	486	185	139
2020	8 (17.02.–23.02.)	512	534	486	184	136	2021	7 (15.02.–21.02.)	515	540	486	185	139
2020	9 (24.02.–01.03.)	512	534	486	184	136	2021	8 (22.02.–28.02.)	515	539	486	185	139
2020	10 (02.03.–08.03.)	512	534	486	184	136	2021	9 (01.03.–07.03.)	515	540	486	185	139
2020	11 (09.03.–15.03.)	512	534	486	184	136	2021	10 (08.03.–14.03.)	515	540	486	185	139
2020	12 (16.03.–22.03.)	512	534	486	184	136	2021	11 (15.03.–21.03.)	515	540	486	185	139
2020	13 (23.03.–29.03.)	512	534	486	184	136	2021	12 (22.03.–28.03.)	515	540	486	185	139
2020	14 (30.03.–05.04.)	512	546	486	177	140	2021	13 (29.03.–04.04.)	515	549	486	179	141
2020	15 (06.04.–12.04.)	512	547	486	177	140	2021	14 (05.04.–11.04.)	515	549	486	178	143
2020	16 (13.04.–19.04.)	512	547	486	177	140	2021	15 (12.04.–18.04.)	515	549	486	178	143
2020	17 (20.04.–26.04.)	512	552	486	182	140	2021	16 (19.04.–25.04.)	515	550	486	184	143
2020	18 (27.04.–03.05.)	514	550	486	163	137	2021	17 (26.04.–02.05.)	517	580	486	165	138
2020	19 (04.05.–10.05.)	517	550	486	163	137	2021	18 (03.05.–09.05.)	519	591	486	165	138
2020	20 (11.05.–17.05.)	517	550	486	163	137	2021	19 (10.05.–16.05.)	519	591	486	165	138
2020	21 (18.05.–24.05.)	517	550	486	163	137	2021	20 (17.05.–23.05.)	519	591	486	165	138
2020	22 (25.05.–31.05.)	517	550	486	164	137	2021	21 (24.05.–30.05.)	519	603	486	165	138
2020	23 (01.06.–07.06.)	517	550	486	164	137	2021	22 (31.05.–06.06.)	519	554	486	165	139
2020	24 (08.06.–14.06.)	517	550	486	164	137	2021	23 (07.06.–13.06.)	519	551	486	166	143
2020	25 (15.06.–21.06.)	517	550	486	164	137	2021	24 (14.06.–20.06.)	520	551	486	165	143
2020	26 (22.06.–28.06.)	517	550	486	164	140	2021	25 (21.06.–27.06.)	520	551	486	166	143
2020	27 (29.06.–05.07.)	517	594	486	164	144	2021	26 (28.06.–04.07.)	520	563	486	166	149
2020	28 (06.07.–12.07.)	517	595	486	164	145	2021	27 (05.07.–11.07.)	520	591	487	165	150
2020	29 (13.07.–19.07.)	517	560	486	164	145	2021	28 (12.07.–18.07.)	520	581	489	166	150
2020	30 (20.07.–26.07.)	517	560	486	164	145	2021	29 (19.07.–25.07.)	520	589	489	166	149
2020	31 (27.07.–02.08.)	517	561	486	164	144	2021	30 (26.07.–01.08.)	519	580	486	166	149
2020	32 (03.08.–09.08.)	517	560	486	164	141	2021	31 (02.08.–08.08.)	519	562	486	165	144
2020	33 (10.08.–16.08.)	517	557	486	164	141	2021	32 (09.08.–15.08.)	519	562	486	165	144
2020	34 (17.08.–23.08.)	517	556	486	164	141	2021	33 (16.08.–22.08.)	519	562	486	165	144
2020	35 (24.08.–30.08.)	517	557	486	164	141	2021	34 (23.08.–29.08.)	519	560	486	165	144
2020	36 (31.08.–06.09.)	517	558	486	164	140	2021	35 (30.08.–05.09.)	519	557	486	166	143
2020	37 (07.09.–13.09.)	517	556	486	164	137	2021	36 (06.09.–12.09.)	519	555	486	166	138
2020	38 (14.09.–20.09.)	517	551	486	164	137	2021	37 (13.09.–19.09.)	519	549	486	166	138
2020	39 (21.09.–27.09.)	517	551	486	188	140	2021	38 (20.09.–26.09.)	519	549	486	190	145
2020	40 (28.09.–04.10.)	514	543	486	180	138	2021	39 (27.09.–03.10.)	517	545	486	181	143
2020	41 (05.10.–11.10.)	512	539	486	178	138	2021	40 (04.10.–10.10.)	515	544	486	180	141
2020	42 (12.10.–18.10.)	512	539	486	177	138	2021	41 (11.10.–17.10.)	515	544	486	179	141
2020	43 (19.10.–25.10.)	512	539	486	177	138	2021	42 (18.10.–24.10.)	515	544	486	179	141
2020	44 (26.10.–01.11.)	512	539	486	177	138	2021	43 (25.10.–31.10.)	515	544	486	179	141
2020	45 (02.11.–08.11.)	512	534	486	184	136	2021	44 (01.11.–07.11.)	515	540	486	186	139
2020	46 (09.11.–15.11.)	512	534	486	184	136	2021	45 (08.11.–14.11.)	515	540	486	186	139
2020	47 (16.11.–22.11.)	512	534	486	184	136	2021	46 (15.11.–21.11.)	515	540	486	185	139
2020	48 (23.11.–29.11.)	512	534	486	184	136	2021	47 (22.11.–28.11.)	515	540	486	185	139
2020	49 (30.11.–06.12.)	512	534	486	184	136	2021	48 (29.11.–05.12.)	515	540	486	185	139
2020	50 (07.12.–13.12.)	512	534	486	184	136	2021	49 (06.12.–12.12.)	515	540	486	185	139
2020	51 (14.12.–20.12.)	512	534	486	184	136	2021	50 (13.12.–19.12.)	515	540	486	185	139
2020	52 (21.12.–27.12.)	512	534	486	184	136	2021	51 (20.12.–26.12.)	515	540	486	185	139
2020	53 (28.12.–31.12.)	512	534	486	184	136	2021	52 (27.12.–31.12.)	515	540	486	186	139



# PRÍLOHA D – SCHÉMA PRIPOJENIA BSAE DO VS [25]

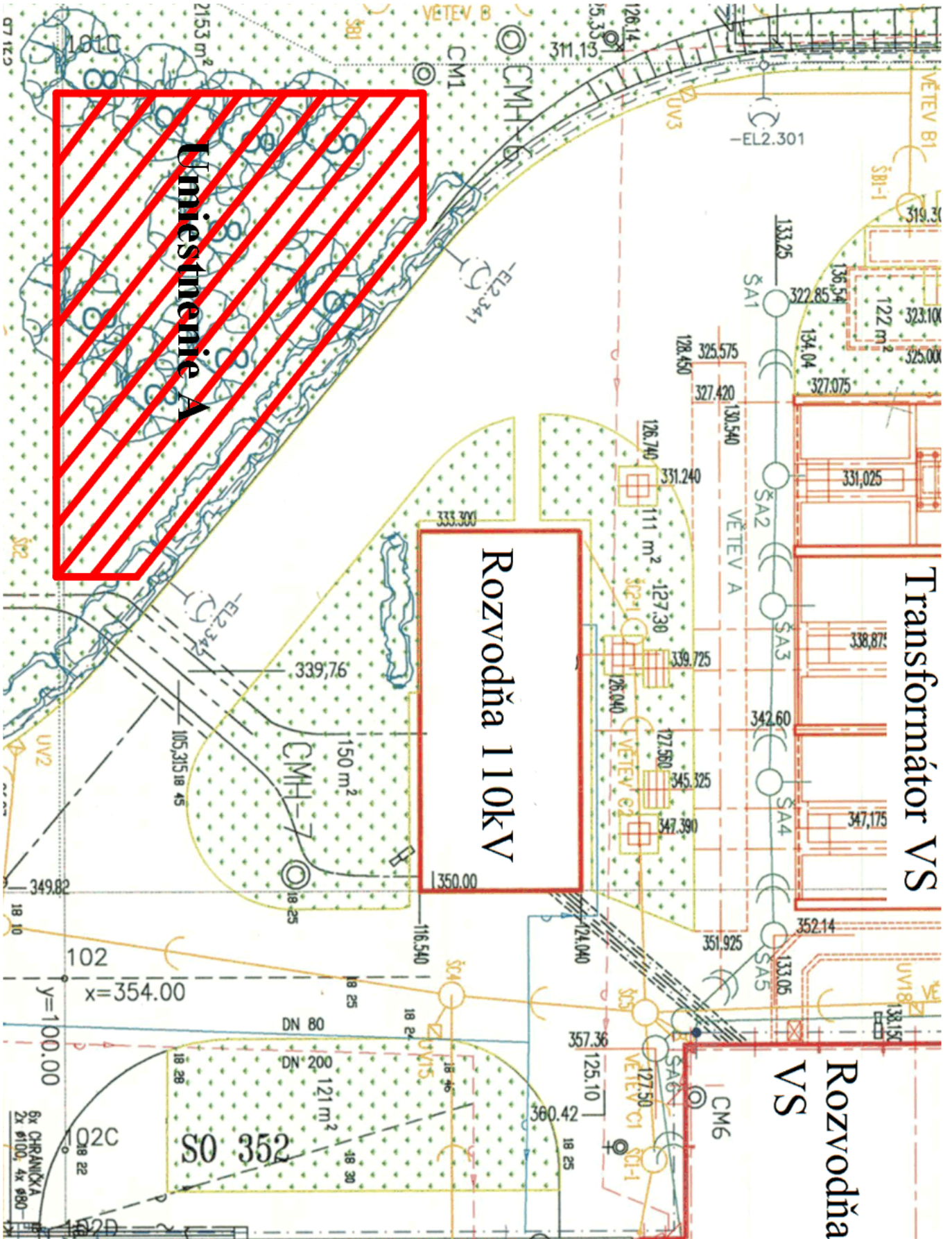
MEDLÁNKY

PRÍKOP, ŠPTÁLKA

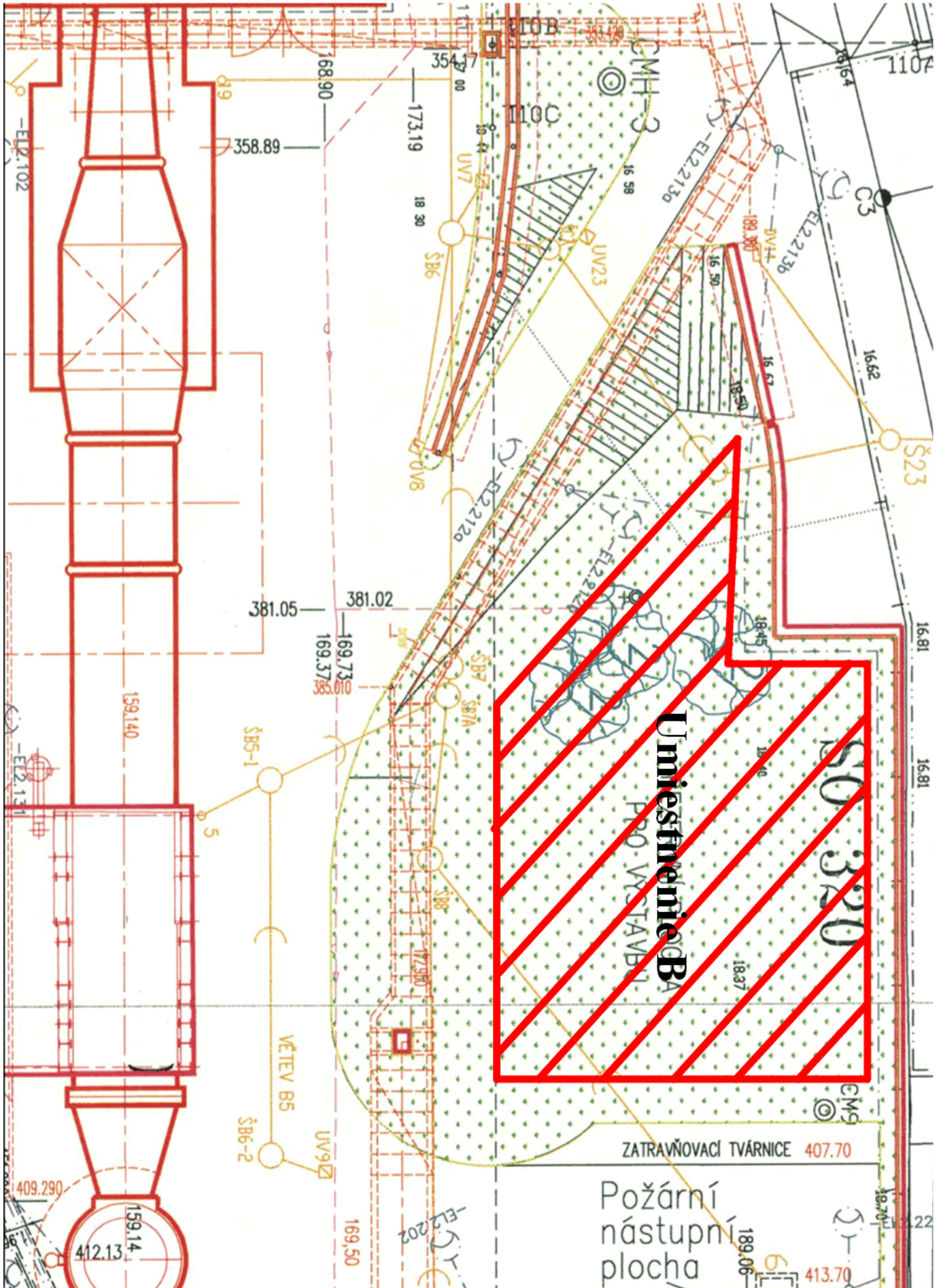




**PRÍLOHA E – UMIESTNENIE AKUMULÁCIE [25]**







# PRÍLOHA F – PROSTREDIE MATEMATICKÉHO MODELU

**Akumulácia**

Typ akumulácie  Li-Ion  VRB  NaS

Ostatné počiatkové investičné náklady (Kč)

Výkon akumuláčného systému (MW)  1

Kapacita akumuláčného systému (MWh)  1

**Projekt**

Životnosť projektu (rok)  15

Diskont (%)  10

Inflácia (%)  2

Druh poskytovaných PpS  SR  PR  SR  MZt5

Kurz (Kč/€)  25.52

Kurz (Kč/\$)  21.41

**Regulačné zálohy (RZ) a Regulačné energie (RE)**

Ocenenie RZPR v prvom roku (Kč/MW.h)  517

Ocenenie RZSR v prvom roku (Kč/MW.h)  537

Ocenenie RZPR v druhom roku (Kč/MW.h)  516

Ocenenie RZSR v druhom roku (Kč/MW.h)  538

Ocenenie RZPR v treťom roku (Kč/MW.h)  519

Ocenenie RZSR v treťom roku (Kč/MW.h)  542

Následný medziročný vývoj ceny RZPR (%)  -5

Následný medziročný vývoj ceny RZSR (%)  -5

Ocenenie RZMZ5(+) v prvom roku (Kč/MW.h)  489

Ocenenie RE(+) (Kč/MWh)  2244

Ocenenie RZMZ5(+) v druhom roku (Kč/MW.h)  486

Ocenenie RE(-) (Kč/MWh)  1

Ocenenie RZMZ5(+) v treťom roku (Kč/MW.h)  486

Medziročný vývoj ceny RE(+) (%)  0

Následný medziročný vývoj ceny RZMZ5(+) (%)  -15

Medziročný vývoj ceny RE(-) (%)  0

