



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

OSTROVNÍ PROVOZ ZAŘÍZENÍ PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU

ISLAND OPERATION OF THE WASTE TO ENERGY FACILITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Václav Doležal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

BRNO 2022



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Václav Doležal

ID: 211446

Ročník: 3.

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Ostrovní provoz zařízení pro energetické využití komunálního odpadu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Analýza stávajícího technického stavu energetického zařízení/zdroje společnosti SAKO, a.s. spalující komunální odpad (ZEVO)
2. Role ZEVO v distribučních sítích při obnově elektrického napájení
3. Technické prostředky energetického zdroje pro schopnost najetí do ostrovního provozu
4. Konfigurace energetického zdroje při přechodu na ostrovní provoz
5. Potenciál dalšího rozvoje technologie ZEVO v kontextu rozvoje distribučních sítí

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 31.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je zejména technické přiblížení, ať už současné nebo potenciálně budoucí, možnosti technologie ZEVO v ČR a přiblížení technických prostředků používaných v zařízení SAKO Brno pro úspěšné najetí do ostrovního provozu. Významnou částí je rešerše o roli řešeného ZEVO při obnově napájení v distribuční síti, se zohledněním jeho schopnosti utrhnout se do ostrovního provozu, díky čemuž může zaujímat významné postavení při tomto procesu a rozboru možného scénáře výpadku, při kterém se ZEVO společnosti SAKO Brno nepovedlo přejít do ostrovního provozu, na základě výstupů zkoušky o najetí ze tmy, jež proběhla v roce 2013.

Klíčová slova

ZEVO, Ostrovní provoz, Nájezd ze tmy, Black-out, Distribuční síť

Abstract

The purpose of this bachelor's thesis is mainly a technological explanation of, be it present-day or potentially future, possibilities of waste-to-energy facilities technology in Czech Republic and explanation of technological devices used in SAKO Brno institution for successful transition to island mode operation. A significant part is a research on the role of the discussed waste-to-energy facilities during power recovery in distribution network, while taking into consideration the ability to transition to the island mode operation, thanks to which it can hold an important position during the process and the analysis of a possible scenario of black-out, that the waste-to-energy facilities of SAKO Brno company couldn't cross over to island mode operation, based on the results of the black system event that took place in the year 2013.

Keywords

Waste-to-energy facilities, Island mode operation, Black system event, Black-out, Distribution network

Bibliografická citace

DOLEŽAL, Václav. *Ostrovní provoz zařízení pro energetické zpracování komunálního odpadu* [online]. Brno, 2022. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139171>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektroenergetiky, 51 s., 4 s. příloh
Vedoucí práce Michal Ptáček

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michalu Ptáčkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, konzultace a odborné vedení při jejím vypracování. Dále pak pánům Pavlu Salákovi, Vladimíru Pernicovi, Ing. Lud'ku Ondrouškovi a Ing. Ondřeji Retekovi ze společnosti SAKO Brno za poskytnuté materiály a informace k ostrovním provozům SAKO Brno, panu Aleši Procházkovi z EG.D za poskytnutí informací o časech a důvodech vzniků posledních ostrovních provozů SAKO Brno a panu Ing. Pavlu Veselkovi za poskytnutí informací o krizovém řízení v případě výpadku typu black-out. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za veškerou podporu během celého mého studia.

V Brně dne: 31. května 2022

podpis autora

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Václav Doležal*

VUT ID studenta: *211446*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2021/22*

Téma závěrečné práce: *Ostrovni provoz zařízení pro energetické zpracování komunálního odpadu*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne: 31. května 2022

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
1. ÚVOD.....	11
2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO TECHNICKÉHO STAVU.....	12
2.1 OSTROVNÍ PROVOZ.....	12
2.1.1 <i>Udržení ostrovního provozu.....</i>	<i>12</i>
2.1.2 <i>Dělení OP</i>	<i>12</i>
2.1.3 <i>Důvody vzniku OP.....</i>	<i>13</i>
2.1.4 <i>Off Grid systém</i>	<i>14</i>
2.2 PODPŮRNÉ SLUŽBY OP.....	14
2.2.1 <i>Testy.....</i>	<i>14</i>
2.2.2 <i>Požadavky.....</i>	<i>15</i>
2.3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY ZAŘÍZENÍ SAKO BRNO	15
2.4 SAKO BRNO A OP.....	16
2.4.1 <i>Faktory pro najetí do OP.....</i>	<i>16</i>
2.4.2 <i>Doba udržení se v OP</i>	<i>18</i>
2.4.3 <i>Extrémy pro najetí do OP</i>	<i>18</i>
2.4.4 <i>Neplánované OP</i>	<i>20</i>
2.4.5 <i>Plánované OP.....</i>	<i>20</i>
3. ROLE ZEVO V DISTRIBUČNÍ SÍTI PŘI OBNOVENÍ NAPÁJENÍ	21
3.1 VÝPADKY DODÁVKY ELEKTRICKÉ ENERGIE	21
3.1.1 <i>Rizika při výpadku dodávky elektrické energie.....</i>	<i>21</i>
3.1.2 <i>Prevence výpadku dodávky elektrického proudu</i>	<i>22</i>
3.2 KRITICKÁ INFRASTRUKTURA.....	22
3.3 KRIZOVÉ ŘÍZENÍ.....	23
3.3.1 <i>Ústřední krizový štáb</i>	<i>23</i>
3.3.2 <i>Krizový štáb Jihomoravského kraje</i>	<i>23</i>
3.3.3 <i>Dispečink EG.D</i>	<i>24</i>
3.3.4 <i>Stav nouze v elektroenergetice</i>	<i>24</i>
3.3.5 <i>Frekvenční plán</i>	<i>24</i>
3.4 ROLE ZEVO V PŘÍPADĚ UDRŽENÍ SE V OP.....	24
3.5 ROLE ZEVO V PŘÍPADĚ STARTU ZE TMY.....	25
3.5.1 <i>Příprava na najetí do ostrovního režimu ze tmy</i>	<i>26</i>
3.5.2 <i>Postup najetí do ostrovního režimu ze tmy.....</i>	<i>27</i>
3.6 ROLE SAKO BRNO V PŘÍPADĚ VÝPADKU CELOEVROPSKÉ ENERGETICKÉ SÍTĚ	28
3.7 OPĚTOVNÉ PŘIPOJENÍ K DS	29
4. TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ENERGETICKÉHO ZDROJE PRO SCHOPNOST NAJETÍ DO OP.....	30
4.1 DETEKCE OP.....	30
4.2 REGULÁTOR OP	31
4.3 VÝKONOVÉ VYPÍNAČE	32
4.4 TURBÍNA	33

5. POTENCIÁL DALŠÍHO ROZVOJE ZEVO V KONTEXTU ROZVOJE DISTRIBUČNÍ SÍTĚ 34

5.1	PLÁNOVANÝ ROZVOJ SAKO BRNO	34
5.1.1	<i>Předpokládaný vývoj výroby elektřiny na jižní Moravě</i>	34
5.1.2	<i>Projekt RESAKO</i>	36
5.1.3	<i>Iničiační zdroj</i>	36
5.1.4	<i>Certifikace ostrovního provozu</i>	36
5.2	PLÁNOVANÝ ROZVOJ ZEVO V PRAZE MALEŠICÍCH	37
5.2.1	<i>Scénáře vývoje energetické koncepce Prahy</i>	37
5.2.2	<i>Nová linka</i>	37
5.2.3	<i>Rekonstrukce stávajících spalovenských kotlů</i>	37
5.3	PLÁNOVANÝ ROZVOJ ZEVO TERMIZO V LIBERCI	38
5.3.1	<i>Budoucí rozvoj energetického hospodářství Libereckého kraje</i>	38
5.4	PLÁNOVANÝ ROZVOJ ZEVO V CHOTÍKOVĚ U PLZNĚ	38
5.4.1	<i>Řešení rozvoje místního energetického systému</i>	38
5.5	PLÁNOVANÁ ZEVO	39
6.	ZÁVĚR	40
	LITERATURA	42
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	46
	SEZNAM PŘÍLOH	48

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2-1 Kumulativní roční vývoj elektrické energie dodané do sítě v roce 2021 zařízením SAKO Brno s denními hodnotami dodané energie [11]	17
Obrázek 2-2 Dny s nejnižšími a nejvyššími hodnotami energie dodávané do sítě v průběhu roku 2021 [12]	19
Obrázek 3-1 Znázornění předpokládané trasy pro najetí do OP při startu ze tmy	26
Obrázek 4-1 Zjednodušené schéma rozvaděče R2. Upraveno podle [47].....	31

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2-1 Frekvenční limity pro OP. Modifikováno z [4]	15
Tabulka 2-2 Vlastní spotřeba SAKO Brno pro rok 2021 [51]	17
Tabulka 4-1 Vlastnosti instalovaných výkonových vypínačů [50]	32

1. ÚVOD

Jedním z cílů České republiky (ČR), v oblasti energetiky a ekologie, je omezení skládkování, a to do roku 2030, přestože původní plán počítal s ukončením již do roku 2024 [46]. Toto omezení spočívá v zákazu skládkování materiálů, které mohou být dále využity například recyklací nebo spálením ve spalovnách za účelem získání elektrické energie. K tomu se ČR uvázala v rámci směrnice EU z roku 1999 [1].

V ČR se problematice nakládání s odpady věnuje zákon č. 541/2020 Sb., kde je energetické využití odpadu v příloze č. 5 označeno kódem R1a. Energetického využití odpadu se v daném zákoně týká především §35 Energetické využití odpadu. [46]

Zařízení splňující jak legislativu o spalování odpadu, tak legislativu o energetickém využití odpadu, se zkráceně nazývají ZEVO neboli zařízení pro energetické zpracování odpadu. V současné době se v ČR nachází celkem čtyři ZEVO. Tato zařízení se nacházejí v Praze Malešicích, Chotíkově u Plzně, Liberci a v neposlední řadě v Brně Židenicích [2].

O posledním jmenovaném pojednává tato bakalářská práce, soustředující se zejména na ostrovní provoz (OP) energetického zdroje, jeho roli při obnově napájení sítě a potencionálního rozvoje technologie ZEVO.

Toto energetické zařízení/zdroj spravuje společnost SAKO Brno a.s. (dále jako SAKO Brno nebo SAKO), což je akciová společnost vlastněná městem Brno, poskytující služby v oblastech jako je svoz odpadu města a přilehlých obcí a jeho následné zpracování [3].

Zařízení SAKO Brno v současné době celoročně produkuje část tepelné a elektrické energie pro město Brno a přilehlé okolí. Současná propojenost s infrastrukturou a běžným životem drtivě většiny populace způsobuje do značné míry závislost na nepřetržité dodávce elektrické energie. V případě nastalého výpadku tak dochází k ohrožení nejen majetku, ale potenciálnímu ohrožení životů, zejména v případě, kdy by takovýto výpadek byl dlouhodobého charakteru.

Pro minimalizaci těchto následků je nutné, aby v případě takového výpadku došlo co nejrychleji k obnově dodávky elektrického proudu. K urychlení tohoto procesu lze využít takové výrobní elektrické energie, které se dokážou udržet v OP, ať už samy nebo s vyčleněnou částí sítě. Tyto výrobní mohou hrát klíčovou roli při uvádění ostatních výroben elektrické energie do provozu a následně obnově zbylé části distribuční sítě (DS).

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO TECHNICKÉHO STAVU

Současný stav a podoba zařízení společnosti SAKO Brno je dána rekonstrukcí, která zde proběhla v letech 2008–2010, z důvodu zastarávající technologie a častých výpadků s tím spojených. Tato rekonstrukce mimo jiné poskytla spalovně možnost kombinované výroby tepla a elektřiny [48]. Díky této technologii je SAKO Brno ZEVO, tedy zařízení pro energetické využití odpadu. Zároveň s tím získává schopnost utržení se do OP, což řešenému ZEVO dává významnou pozici při obnově napájení.

2.1 Ostrovní provoz

OP se definuje jako galvanicky oddělená část sítě, pracující nezávisle na okolní elektrizační soustavě (ES). Součástí OP je vždy minimálně jeden zdroj elektrické energie nebo vysokonapěťová stejnosměrná soustava dodávající energii do části sítě vyčleněné pro OP, schopna regulace frekvence a napětí. [4]

Za OP lze však pokládat i nezávislý provoz ES v rámci celého státu, vzniklého odpojením od okolních ES. V případě ČR by se tak jednalo o OP s nejvyšší napěťovou hladinou 400 kV, odpojenou od synchronní sítě kontinentální Evropy. [5]

2.1.1 Udržení ostrovního provozu

Udržení OP klade na zdroje elektrické energie vysoké nároky, především co se týče výkonové rezervy, zajištění dostatečného jalového výkonu a jeho případnou regulaci pro zajištění korektních napěťových poměrů a regulace frekvence, pro kterou jsou speciálně stanoveny odlišné limity než v případě paralelní výroby v rámci ES. Dále je nutné zajištění správného nastavení ochranných prvků a automatik na zařízeních, jež jsou součástí OP. [6]

V OP se podle PPDS přílohy 4 musí udržet zdroje/výrobní moduly (VM) typu C a D. Tedy se jedná o zdroje o výkonu 30 MW až 75 MW v případě VM typu C a vyššího výkonu než 75 MW v případě modulu typu D. Zařízení společnosti SAKO Brno tedy tuto povinnost nemá, jelikož disponuje VM typu B2 neboli VM o výkonu mezi 1 MW a 30 MW. [7]

2.1.2 Dělení OP

OP lze dělit z několika možných technických pohledů představených níže. Toto rozdělení vyplývá z informací obsažených v [6].

Na základě způsobu vzniku:

1. Neplánované OP vznikají jako důsledek poruchy
2. Plánované OP
 - a. S přerušením dodávky elektrické energie odběratelům v oblasti ostrova
 - b. Bez přerušení dodávek elektrické energie odběratelům v oblasti ostrova

Na velikosti ostrovní oblasti:

1. Provoz na vlastní spotřebu – vyrobená elektrická energie je využita jen pro pokrytí vlastní spotřeby výrobního zařízení.
2. Zásokový zdroj – zajišťuje spotřebu pouze jednoho uživatele na úrovni nízkého napětí.
3. Náhradní napájení – zajišťuje spotřebu v oblasti s malým počtem distribučních stanic na úrovni NN.
4. Spotřeba městské sítě s desítkami distribučních stanic na úrovni vysokého napětí a nižších.
5. Spotřeba velké oblasti, včetně rozsáhlých městských aglomerací, s decentralní výrobou elektrické energie na napěťových úrovních velmi vysokého napětí a nižších.

Na základě počtu VM v OP:

1. OP s jedním VM
2. OP s vícero VM
3. OP s velkým množstvím VM s decentralizovanou výrobou elektrické energie.

2.1.3 Důvody vzniku OP

Schopnost utrhnutí se do OP je žádoucí schopností VM z celé řady důvodů. OP umožňuje rychlejší nápravu po rozsáhlých výpadcích typu black-out, zamezují nutnosti odstavení VM a jeho následnému znovu uvádění do provozu, umožňuje udržení napájení pro kritickou infrastrukturu i zlepšení kvality dodávky elektrického proudu koncovým zákazníkům. [8]

2.1.3.1 Neplánovaný vznik OP

K neplánovaným výpadkům do OP dochází v situacích, kdy je zaznamenána událost, která předznamenává nadcházející výpadek DS. Neplánovaný vznik OP při rozsáhlých výpadcích DS je žádanou schopností VM, zejména z důvodu rychlejší obnovy DS a výroby energetických zdrojů neschopných odtrhnutí se od DS do OP a minimalizaci následků nastalých z důvodu vzniku výpadku. K takovému odtržení dochází automaticky po zaznamenání události na síti detektorem umístěným na vývodu elektrické energie z energetického zdroje.

2.1.3.2 Plánovaný vznik OP

Plánovaný přechod na OP nastává v situacích, kdy je potřeba vykonat na lokální DS, do které energetický zdroj vyvádí vyrobenou elektrickou energii, údržbové práce či opravy. K tomuto se přistupuje zejména z důvodu, že v případě neutržení se do OP, by se musela výroba po skončení prací na DS obnovit za pomoci energie ze sítě, což může být energeticky a ekologicky náročnější proces. Dalším případem, kdy dochází k plánovanému utržení do OP, je konání zkoušky, jež má ověřit právě tuto funkci energetického zdroje nebo VM.

Příloha 4 PPDS [7] pak pro plánovaný i neplánovaný vznik udává dvě definice stavů OP a to:

1. OP části DS, která je odpojena od zbytku ES
2. OP odběrového místa DS s výrobnou

Do OP části DS, která je odpojena od zbytku ES, jsou řazeny kritické infrastruktury, mikrosítě a náhradní napájení po poruchách a plánovaných prací. Opětovné připojení na síť řídí příslušný dispečink. Znovupřipojení do DS v případě OP odběrového místa DS s výrobnou je buď opět řízen příslušným dispečinkem, nebo probíhá podle 9.5 Přílohy 4 PPDS (automatické opětovné připojení výroben). Automatické opětovné připojení však není umožněno VM typu D. [7]

2.1.4 Off Grid systém

Příloha 4 PPDS dále rozpoznává stav nazvaný jako Off Grid systém neboli oddělený OP, což je elektrická instalace, jejíž součástí jsou VM, která je trvale oddělená od DS. V této instalaci pak nesmí za žádných okolností dojít k přenosu potenciálu nebo energie mezi Off Grid systémem a DS, a to ani při poruchových stavech. [7]

2.2 Podpůrné služby OP

Pokud je zařízení certifikováno podle PPDS přílohy 7 jako nefrekvenční podpůrná služba (PpS-N) schopnosti OP výrobní s částí DS, znamená to, že v případě nastalých poruch, a to jak lokálního, tak systémového charakteru, nebo plánovaných údržbách či odstávkách, je povinná přejít z paralelního provozu se zbytkem DS do samostatného OP s vyčleněnou částí DS. Tedy elektrická energie vytvořená výrobnou bude zajišťovat nejen vlastní spotřebu dané výrobní, ale také napájení všech energetických objektů od krizové infrastruktury po koncové odběratele ve vyčleněné části DS.

2.2.1 Testy

Pro certifikace je potřeba splnit celou řadu testů navržených tak, aby co nejlépe prověřily připravenost VM na OP. Tyto testy se snaží obsáhnout všechny fáze s tím spojené a jsou upravovány nejen podle jednotlivých zdrojů, ale také podle typů elektráren.

Pro získání certifikace na schopnost OP výrobní s částí DS je nutné splnit dva základní testy. Jedná se o test dynamického chování VM simulací otáček a test chování VM při vypínací zkoušce „ostrov“.

2.2.2 Požadavky

Podle informací vyplývajících z [4] jsou na VM typu B2, C a D jsou kladeny určité požadavky, jež musí splnit, pokud má mít certifikaci na schopnost OP výroby s částí DS. Těmito požadavky pak jsou:

- Udržení frekvence v předepsaných limitech (viz tabulka 2-1)
- Automatická regulace napětí
- Při skokové změně zatížení udržet změnu frekvence pod 200 *mHz*
- Schopnost udržení se v OP s několika dalšími, paralelně zapojenými VM
- VM musí být vybaveno zařízením umožňujícím pracovat ve frekvenčně závislém režimu
- Při přebytku výkonu musí být VM schopno regulovat výkon v rámci celého P-Q diagramu
- Přejít VM do OP musí proběhnout okamžitě a automaticky po detekci
- VM musí být schopno komunikace i v případě dlouhodobého výpadku vlastní spotřeby
- Do 18.12. 2022 musí mít VM zajištěno napájení alespoň na 8 hodin
- Od 18.12. 2022 bude tato doba prodloužena na 24 hodin

Tabulka 2-1 Frekvenční limity pro OP. Modifikováno z [4]

Frekvence	Doba provozu
47,5 Hz - 48,5 Hz	0,5 hodiny
48,5 Hz - 49 Hz	1,5 hodiny
49 Hz - 51 Hz	Neomezeně
51 Hz - 51,5 Hz	0,5 hodiny

2.3 Základní parametry zařízení SAKO Brno

V současné době je v zařízení SAKO Brno využívána, jako jediný zdroj elektrické energie, současná spalovenská linka. Její součástí jsou kotle K2 a K3 s vrativými rošty typu MARTIN zajišťující optimální provozní podmínky pro proces, při kterém je spalován odpad. Ten je zde spalován bez jakéhokoliv druhu přídavného paliva. Odpad v kotlích prochází na spalovacím roštu pěti fázemi a to zahřívání, vysoušení, zplyňování, hoření a dohoření. Škvára, vzniklá jako produkt spalování, padá do vynašeče, ze které je dále zpracovávána. Přehřátá vodní pára z kotlů je přivedena na kondenzační turbínu, která skrze převodovou skříň otáčí rotorem čtyřpólového generátoru. [52] Ten je schopen okamžitého výkonu až 22,7 kW. Výstupní svorkové napětí generátoru má velikost 6,3 kV, přičemž odchylka od této hodnoty se smí pohybovat na hranici +/- 5 % [53]. Toto napětí je na výstupu z generátoru však dále transformováno na napětí úroveň 22 kV, tedy úroveň, na které SAKO Brno vyvádí vyrobenou elektrickou energii do rozvodny Brno Černovice [47].

2.4 SAKO Brno a OP

Zařízení SAKO Brno je schopno OP od roku 2010, kdy tu skončila rozsáhlá rekonstrukce. Tato schopnost mimo jiné umožňuje tehdy nově instalovaná kondenzační turbína schopná rychle reagovat na požadavek rapidního snížení výkonu, v případě potřeby, najetí do OP. Ten je realizován na úrovni celé výroby, nikoliv pouze na úrovni VM, což znamená, že při odpojení se od DS zůstává celé zařízení i nadále napájeno. [9]

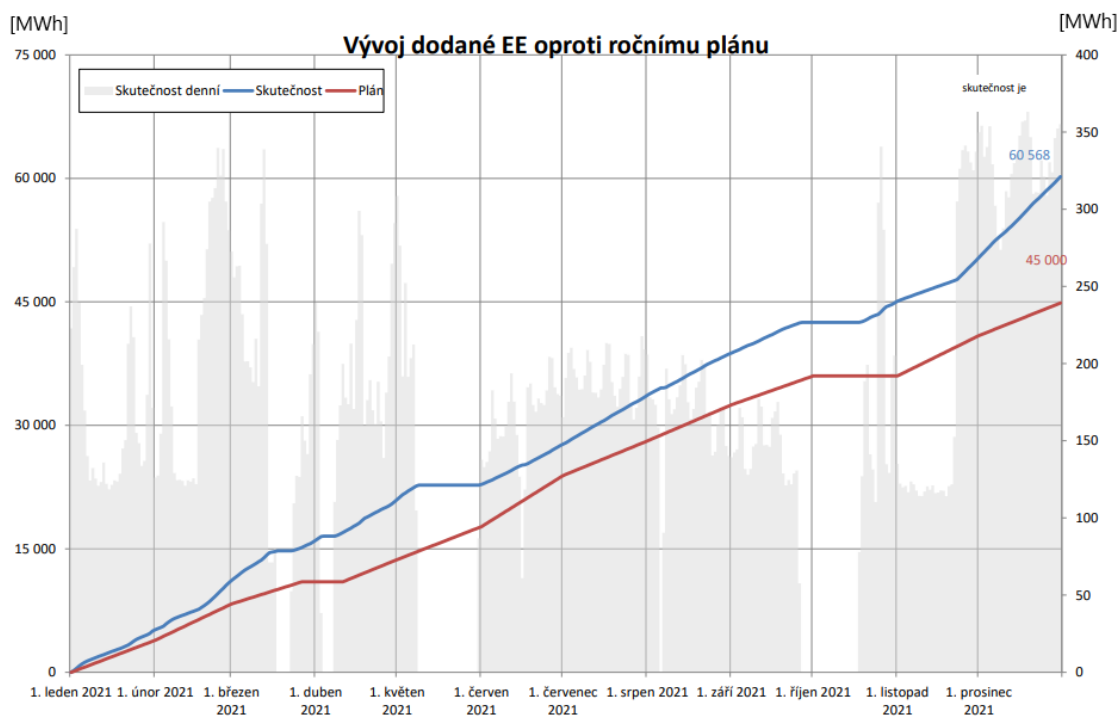
2.4.1 Faktory pro najetí do OP

Z nutnosti okamžité potřeby rapidního snížení výkonu je patrné, že v praxi existují faktory, které ovlivňují náročnost přizpůsobení VM na vznik ostrova. Těmito faktory jsou pak především velikost vlastní spotřeby zařízení a hodnota výkonu dodávaného v daný okamžik do DS. Nejjednodušším z hlediska výkonové regulace se tak stává situace, kdy ZEVO dodává do sítě co nejméně elektrického výkonu a zároveň jsou její vlastní nároky na spotřebu na co nejvyšší úrovni. Nejtěžší se pak pro výkonovou regulaci logicky stává situace opačná, tedy kdy je vysoká dodávka do DS a nízký vlastní odběr zařízení. [10]

2.4.1.1 Dodávaný výkon do DS

Výroba elektrické energie je jedním ze tří cílů ZEVO SAKO Brno, dalším cílem je pak dodávka tepla do sítě centrálního zásobování teplem (CZT) Tepláren Brno, a to jak prostřednictvím páry, tak horké vody, a hlavním cílem je spalování komunálního odpadu. Celkové množství vyrobené elektrické energie je závislé na současné výrobě tepla, kdy každé ráno obdrží SAKO Brno požadavky na dodání tepla do sítě CZT od Tepláren Brno. Podle těchto požadavků je následně určen poměr pro výrobu elektrické energie a dodávku tepla. Samotný elektrický výkon, který je potřeba dodat do DS, se pak liší v závislosti na denní době a ročním období. Lze například pozorovat že v průběhu zimy, kdy roste potřeba vytápění, je vyšší požadavek na dodávku nejen elektrické energie, ale také tepla skrze CZT. Dalším faktorem, který může mít za následek změnu odebíraného výkonu koncovými uživateli, je aktuální počasí. [10]

Na obrázku 2-1 lze sledovat vývoj jak denních dodávek elektrické energie v průběhu roku 2021, tak kumulativního množství elektrické energie během roku. Z toho lze vyzorovat i období, kdy bylo zařízení SAKO Brno v odstávce. Lze si na něm také povšimnout že skutečná hodnota dodané elektrické energie do sítě je vyšší, než měla podle plánu být. To je způsobeno tím, že odstávky, ve kterých je zařízení SAKO Brno každoročně na podzim a na jaře, byly kratší, než bylo předpokládáno. Dalším důvodem byla nižší poptávka po dodávce tepla, tudíž, aby byl udržen stálý výkon kotlů, se zařízení více orientovalo na výrobu elektrické energie. [54]



Obrázek 2-1 Kumulativní roční vývoj elektrické energie dodané do sítě v roce 2021 zařízením SAKO Brno s denními hodnotami dodané energie [11]

2.4.1.2 Vlastní spotřeba

Velikost výkonu potřebného pro vlastní spotřebu zařízení SAKO Brno se pohybuje v rozmezí od 2 MW do 3,2 MW. Samotná velikost vlastní spotřeby se během kratších časových úseků (hodin nebo dnů) příliš nemění a změnu její velikosti je tedy pro ilustrativní pohled vhodnější sledovat po měsících v průběhu celého roku (viz tabulka 2-2). [10]

Tabulka 2-2 Vlastní spotřeba SAKO Brno pro rok 2021 [51]

Měsíc	Vlastní spotřeba	
	[MWh]	[MW]
Leden	1 826	2,45
Únor	1 664	2,48
Březen	1 511	2,03
Duben	1 779	2,47
Květen	1 792	2,41
Červen	1 862	2,59
Červenec	2 156	2,90
Srpen	2 154	2,90
Září	1 833	2,55
Říjen	1 175	1,58
Listopad	1 678	2,33
Prosinec	1 833	2,46

Z této tabulky je patrné, že vlastní spotřeba je vyšší v letních měsících, a naopak klesá během zimy. Tento trend je způsoben tím, že během letních měsíců jsou nižší nároky na dodávku tepla prostřednictvím horké vody, to znamená, že její výroba není tak vysoká, což ovšem zapříčiňuje nutnost většího průtoku, a tudíž větší nároky na spotřebu elektrické energie oběhových čerpadel, které zajišťují cirkulaci vody v systému CZT [10]. Zároveň je nutno zdůraznit, že hodnoty okamžité vlastní spotřeby udané v MW jsou údaje získané z přepočtu údaje o kumulativních hodnotách spotřebované elektrické energie zařízeními vlastní spotřeby řešeného ZEVO (viz prostřední sloupec tabulky 2-2). Reálné hodnoty okamžité spotřeby zařízení budou o něco vyšší než takto získané hodnoty, zejména ve měsících, kdy bylo ZEVO v odstávce. Ovšem vzhledem k avizovaným malým změnám vlastní spotřeby se dá prohlásit, že se v průběhu daného měsíce okamžitý odběr vlastní spotřeby držel blízkosti hodnot udávaných v levém sloupci tabulky 2-2.

Velikost vlastní spotřeby nelze v praxi, pro zjednodušení přechodu na OP, uměle navyšovat a po úspěšném přechodu do OP zůstává neměnná, případně se její velikost mírně sníží. Toto snížení by však nemělo dosahovat takových hodnot, aby to nějakým způsobem ohrozilo chod zařízení v OP, z toho důvodu, že hodnota okamžité vlastní spotřeby nesmí být nižší jak 1,5 MW [9]. To je dáno konstrukčními vlastnostmi instalované kondenzační turbíny která, pokud by se dostala pod tuto hodnotu, by nebyla schopna udržet si stabilní otáčky a došlo by tak k jejímu výpadku [10]. Tato hodnota je však, jak je patrné z tabulky 2-2, stále nižší než nejnižší vlastní spotřeba řešeného ZEVO v roce 2021.

2.4.2 Doba udržení se v OP

Doba, ve které je SAKO Brno schopno se udržet v OP, je závislá od aktuálního množství odpadu, nacházejícího se v části zařízení zvané bunkr (viz příloha A), kde je skladován odpad určený ke spálení. Ten je za běžných okolností naplněn zhruba ze 60 %, tedy z maximální kapacity 5 000 tun (viz příloha A uprostřed) odpadu bývá v bunkru běžně uloženo 3 000 tun odpadu (viz příloha A napravo). [10]

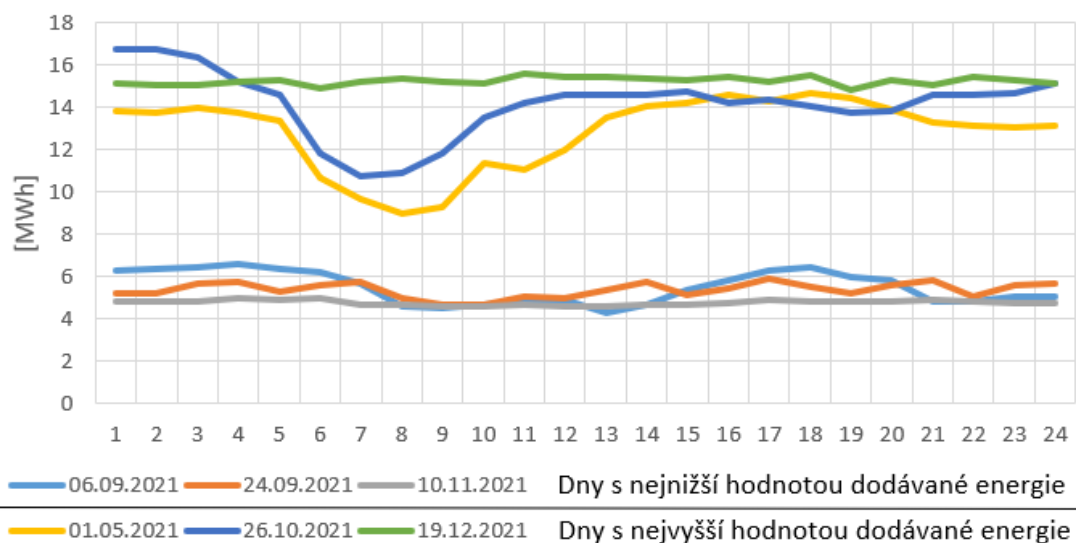
Za jediný den je zde spáleno 700 tun odpadu [10], tudíž za předpokladu, že by se zastavil dovoz nového odpadu a bunkr by byl naplněn ze 60 %, by bylo SAKO Brno schopno se udržet v OP zhruba 4 dny a 7 hodin. Tento čas by však mohl být až cca 7 dní a 3,5 hodiny v případě, že by k události vedoucí k OP došlo v čase, kdy by byl bunkr zcela naplněn. K tomu běžně dochází po odstávkách, probíhajících vždy na jaře a na podzim.

2.4.3 Extrémy pro najetí do OP

Jak zde již bylo zmíněno, existují podmínky usnadňující najetí do OP. Jsou jimi především velikost vlastní spotřeby a aktuální výkon dodávaný do DS. Lze tedy teoreticky určit čas, kdy je pro SAKO Brno nejjednodušší a nejobtížnější najetí do režimu OP.

Pro toto zjištění byly použity právě údaje o vlastní spotřebě v průběhu roku uvedené v tabulce 2-2 a údaje o výkonu dodávanému do DS v průběhu roku (viz obrázek 2-1). Z toho pak byly určeny dny s největším množstvím dodaného výkonu a dny s nejnižším množstvím dodaného výkonu, ty byly však vybrány tak, aby se nejednalo o dny, kdy došlo k úplné odstávce výroby elektrické energie, nebo kdy byl funkční pouze jeden z kotlů. Pro takto zvolené dny byly zjištěny hodnoty dodávaného výkonu po hodinách v průběhu dne (viz obrázek 2-3).

Energie dodávaná do sítě v průběhu dne



Obrázek 2-2 Dny s nejnižšími a nejvyššími hodnotami energie dodávané do sítě v průběhu roku 2021 [12]

Porovnáním tabulky 2-2 a obrázku 2-2 lze, díky určité proporcionalitě mezi dodávanou energií a okamžitým výkonem, dojít ke zjednodušenému závěru, že ideálním dnem pro najetí do OP, byl v roce 2021 10. listopad, kdy se během dne hodnota energie dodávané do sítě téměř nezměnila a držela se stabilně okolo 4,75 MWh. Pokud by se však mluvilo o čase, ve kterém by bylo nejjednodušší najetí do OP, pak by se nejlépe jevila 13. hodina dne 6. září, kdy i bez odstavení jednoho z kotlů byla hodnota dodávané energie pouhých 4,29 MWh.

Naopak dnem, kdy by bylo z hlediska regulace výkonu nejobtížnější pro zařízení SAKO Brno úspěšně najet do OP, by byl 19. prosinec, kdy se hodnota energie dodávané do sítě pohybovala kolem hodnoty 15 MWh. Ke zcela nejnáročnější výkonové regulaci by pak došlo dne 26. října ve 2 hodiny, kdy SAKO Brno dodávalo do sítě 16,79 MWh.

Celkově se dá pak ze zjištěných údajů prohlásit, že z hlediska výkonové regulace je pro řešení ZEVO ideálním obdobím pro utržení se do OP léto, kdy jsou nároky na množství výkonu do sítě nižší, neboť se v tomto období se zařízení Tepláren Brno soustředí více na výrobu elektrické energie než v zimním období, kdy značně stoupá poptávka po dodávkách tepla. S tím zároveň souvisí i vyšší nároky na udržení tlaku v systému na rozvod tepla pomocí horké vody, protože přes letní měsíce hraje ZEVO SAKO Brno daleko výraznější roli v zajištění této dodávky. Což vede k většímu vytěžování čerpadel starajících se o udržení tohoto tlaku a tím i k větší vlastní spotřebě celého zařízení. Opačný stav pak nastává v zimních měsících, kdy je vlastní spotřeba na relativně nízké úrovni, právě z důvodu větších dodávek tepla prostřednictvím horké vody ze zařízení Tepláren Brno, které se v tomto období opět více zaměřují na výrobu tepla a snižují se tak nároky na spotřebu čerpadel horké vody v ZEVO SAKO Brno, přičemž nároky na dodávku elektrického výkonu do sítě se patrně zvyšují.

Nutno však podotknout, že údaje z roku 2021 mohou být oproti jiným rokům mírně zkreslené, co se výkonu dodaného do sítě týče, a to z důvodu opatření přijmutých vládou

ČR pro omezení šíření nákazy COVID-19. Tudiž se mohly například zvednout energetické nároky domácností, kdežto velké podniky kvůli omezení výroby neměly nároky na energie v běžné výši. Ovšem poměrové rozdíly v množství energie dodané do sítě se zásadně neliší od jiných roků, kdy tyta opatření nemusela být přijímána.

2.4.4 Neplánované OP

Od roku 2010, kdy byla na zařízení SAKO Brno provedena rekonstrukce, která jí mimo jiné zajistila schopnost samostatně se utrhnout do OP při detekci okolností, které by mohly ohrozit řádný chod ZEVO, nebo předpovídat blížící se kolaps napájení sítě, bylo již řešené zařízení nuceno několikrát neplánovaně přejít do OP. Všechny tyto OP byly způsobeny právě vnějšími poruchami, na které je ZEVO nastaveno reagovat právě tímto způsobem. Nestalo se tedy, že by přešlo do OP jako důsledek nějakého vnitřního incidentu. [13]

K poslední události, při které došlo k utržení se do OP došlo 9. března v roce 2019, při vymezování zemní poruchy na síti VN. Záznam průběhu tohoto výpadku z pohledu rozvodny, do které vyvádí SAKO elektrickou energii, lze pozorovat v příloze B. Na něm je vidět, že k přerušení dodávky dochází téměř okamžitě v 11:13, a až do 11:31 se dodávaný výkon drží na nulové hodnotě, přičemž po následném připojení začíná dodávaný výkon postupně nabývat své předchozí hodnoty. Předchozí událost vedoucí k OP řešeného zařízení se stala v roce 2016, 26. března ve 4:14, kdy došlo k výpadku transformátoru 110/22 kV, do kterého vyvádí ZEVO SAKO výkon. [43]

2.4.5 Plánované OP

V roce 2013 proběhla zkouška, při které byla, po dobu prvních patnácti minut, testována schopnost ZEVO udržet se v OP a zbylý čas zkoušky schopnost najetí ze tmy pomocí VE Vír (podrobněji popsáno v kapitole 3.5) [14]. Tato zkouška proběhla úspěšně a ověřila tak schopnost řešeného zařízení se v OP udržet. A to i přes nejobtížnější možné okolnosti co se výkonové regulace týče. Rozuměno, že výkon generátoru byl v době najetí do OP na tehdy co nejvyšší možné úrovni, cca 17 MW, a vlastní spotřeba řešeného energetického zdroje se pohybovala na nejnižších možných hodnotách, tedy okolo 1,5 MW. [55]

3. ROLE ZEVO V DISTRIBUČNÍ SÍTI PŘI OBNOVENÍ NAPÁJENÍ

Ovšem díky schopnosti udržet se v případě nouze v OP zastává řešené ZEVO, za normálních okolností, úlohu prvního startovacího zdroje. Pokud by však došlo k situaci, za které by se ani zařízení SAKO Brno nedokázalo udržet v OP, je nutné pro obnovení výroby elektrické energie využít externí zdroj energie. K tomu mohou elektrárny využívat dieselaagregát, tím však zařízení SAKO Brno nedisponuje. Další možností obnovy výroby je energie z DS, ta se dá využít za předpokladu, že nenastal rozsáhlý výpadek typu black-out. Pokud však došlo zároveň k výpadku typu black-out, může být vymezen úsek DS ze zahraničí, v případě že není sousední stát také zasažen tímto výpadkem, nebo vymezeným úsekem DS z elektrárny, která se v OP dokázala udržet nebo elektrárny se schopností startu ze tmy, takzvaného black-startu. [9]

Níže pak jsou vypsány scénáře, jejichž existence se předpokládá v případě rozsáhlejších výpadků, jedná se o scénář obnovy napájení v případě, kdy se ZEVO SAKO Brno udrží v OP a v případě nutnosti startu ze tmy.

3.1 Výpadky dodávky elektrické energie

K těmto výpadkům může dojít z celé řady příčin. Ty mohou mít mnoho různých charakterů. Může se jednat o poruchu v elektrárně, kdy musí být odstaven energetický zdroj, poruchu rozvodové sítě nebo poruch způsobené vnějšími faktory. Těmi mohou být například nepříznivé počasí, kdy může vysokoenergetický atmosférický výboj udeřit do vedení, silná vánice, případně vítr, který mohl způsobit pád okolních stromů na vedení nebo zhroucení samotného vedení. Poruchy mohou být způsobené také divokou faunou, kdy se může stát to, že zvíře vnikne do objektu rozvodny, kde způsobí zkrat nebo překouše kabely. Dalším důvodem výpadků může být lidský faktor, v takovémto případě se může jednat o úmyslnou sabotáž či nehodu způsobenou neopatrností.

V závislosti na rozsahu výpadku dodávky elektrické energie, pak v případě, že je zasažena jen malá oblast, hovoříme prostě jako o výpadku, ovšem pokud je zasažena oblast rozsáhlá a výpadek trvá dlouho dobu, pak je nazýván black-outem. [15]

Riziko, že by došlo k výpadku typu black-out je, díky robustnosti DS a PS v ČR, velice nízké. Toto riziko se však zvyšuje na úrovni synchronní sítě kontinentální Evropy, kde dochází k největším rizikům na hranicích států, kdy může docházet k významným přetokům energie ze zahraničí. [16]

3.1.1 Rizika při výpadku dodávky elektrické energie

Výpadky dodávky elektrické energie jsou nebezpečné zejména pro zařízení, ve kterých může v případě přerušení dodávky elektrické energie dojít k ohrožení lidských životů nebo vysokých škodách na majetku, těmito zařízeními jsou například nemocnice. Ty mají v případě výpadku dodávky elektriny ze sítě záložní energetický zdroj, nejčastěji dieselaagregát. Tyto nezávislé zdroje však nemohou energii dodávat po neomezeně dlouhou dobu, a proto je vždy nutné zajistit co nejrychlejší obnovu napájení ze sítě.

3.1.2 Prevence výpadku dodávky elektrického proudu

Pro zamezení vzniku velkých výpadků typu black-out je zřízen Plán obrany proti šíření poruch v přenosové soustavě [49], který má zabránit kaskádovitému šíření poruch distribuční sítí. Ten zahrnuje celou řadu opatření, která mají zabránit vzniku stavů nouze a případně likvidaci těchto stavů. Mezi tato opatření patří:

- Řízení propustnosti sítě
- Opatření proti přetížení
- Opatření proti kaskádovitému šíření poruchy
- Opatření proti poklesu a vzrůstu frekvence
- Opatření proti poklesu a vzrůstu napětí
- Opatření proti kývání
- Opatření proti ztrátě synchronismu

3.2 Kritická infrastruktura

Vzhledem k tomu, že se ZEVO SAKO Brno může podílet na ochraně prvků kritické infrastruktury a zabránovat tak případným škodám, ohrožení životních potřeb obyvatelstva nebo ohrožení zdraví osob případně ekonomiky státu je zařazeno mezi tzv. subjekty kritické infrastruktury. [17]

Ve členění kritické infrastruktury je pak řešené ZEVO zařazeno do segmentu energetiky (I.) a výroben elektřiny (1). [18]

Prvky kritické infrastruktury, tedy i zařízení společnosti SAKO Brno, mají právo na přednostní zásobování v případě nastalého krizového stavu. Povinností subjektu kritické infrastruktury, tedy provozovatele prvku kritické infrastruktury, je náležitě se o tento prvek starat, na výzvu komunikovat s ministerstvem vnitra a příslušnými zástupci kraje, určení zaměstnance pro komunikaci se správnými úřady a zaměstnance odpovědného za součinnost při plnění krizového plánu. Provozovatel pak dále podléhá pravidelným kontrolám příslušného správního úřadu a je přímo zodpovědný za ochranu příslušného prvku kritické infrastruktury. Vysoce důležitou povinností provozovatele je i vypracování plánu krizové připravenosti. Tento plán musí obsahovat nejen souhrn veškerých rizik, které mohou ohrozit daný objekt, ale také opatření přijatá za účelem zamezení vzniku těchto hrozeb. Ministerstvo vnitra vydalo několik dokumentů týkajících se ochrany prvků kritické infrastruktury. Pro celý segment energetiky kritické infrastruktury, a tedy i pro SAKO Brno, je vydaný dokument s názvem Metodika zajištění ochrany kritické infrastruktury v oblasti výroby, přenosu a distribuce elektrické energie, který obsahuje metodický postup při tvorbě systému řízení ochrany, její analytickou, metodickou a implementační část, vymezení hrozeb a analýzu rizik. Dalšími dokumenty pro ochranu kritické infrastruktury jsou Systém hodnocení odolnosti prvků a sítí vybraných oblastí kritické infrastruktury, Komplexní strategie ČR k řešení problematiky kritické infrastruktury a Národní program ochrany kritické infrastruktury. [19]

3.3 Krizové řízení

Každý prvek kritické infrastruktury musí být podle [17] v případě nastalé krizové situace připraven na kooperaci s ostatními prvky prostřednictvím krizového řízení. To představuje souhrn veškerých řídicích činností orgánů zaměřených na analýzu a vyhodnocení bezpečnostních rizik, a dále přípravu na krizovou situaci a její případné řešení, včetně ochrany kritické infrastruktury. Orgány krizového řízení, pod které spadá zařízení SAKO Brno jsou vláda ČR, ministerstva ČR, v tomto případě ministerstvo průmyslu a obchodu, ministerstvo vnitra a Jihomoravský kraj. Povinnosti jednotlivých orgánů krizového řízení, vyplývající z [17], jsou popsány níže.

- Vláda ČR, působící jako nejvyšší řídicí orgán, ukládá povinnosti ostatním řídicím orgánům, kontroluje jejich činnost a zřizuje ústřední krizový štáb.
- Ministerstvo vnitra zde působí jako koordinátor výkonu státní správy, zajišťuje připravenost zaměstnanců orgánů krizového řízení a provádí kontroly připravenosti ostatních ministerstev zapojených v krizovém plánu a v jejich spolupráci provádí kontroly krizových plánů jednotlivých krajů.
- Ministerstvo průmyslu a obchodu v případě nastalého krizového stavu přijímá opatření pro udržení celistvosti energetických soustav pro obnovu veškerých důležitých funkcí kritické infrastruktury spadající pod energetiku a ukládá všem provozovatelům objektů sloužících k uspokojení energetických potřeb státu, pokud jsou objektem kritické infrastruktury, úkoly k ochraně a případné rychlé obnově kritické infrastruktury v energetice.
- Hejtmani krajů zajišťují připravenost svých krajů pro řešení nastalých krizových situací ve spolupráci s dalšími orgány kraje. Zřizují krizový štáb kraje a bezpečnostní radu kraje, tedy hlavní orgány krizového řízení kraje, v jejichž čele stojí a ve spolupráci s bezpečnostní radou sestavuje krizový plán kraje.

3.3.1 Ústřední krizový štáb

Jak zde již bylo zmíněno, ústřední krizový štáb je zakládán vládou ČR za účelem přípravy návrhů řešení krizových situací při vyhlášení nouzového stavu a stavu ohrožení státu, případně také tehdy, kdyby došlo k hrozbě vzniku krizové situace, nebo v situacích, jenž se bezprostředně týkají bezpečnostních zájmů ČR. Mezi nejdůležitější povinnosti ústředního krizového štábu patří zajištění koordinace činností podřízených krizových štábů krajů a obcí s rozšířenou působností. Štáb se skládá z 26 členů a v jeho čele je v případě vnějšího ohrožení státu ministr obrany a v ostatních situacích je předsedou úřadující ministr vnitra. [20]

3.3.2 Krizový štáb Jihomoravského kraje

Úkolem krizového štábu kraje je vytvoření scénáře, podle kterého je v případě nastalé krizové situace vhodné postupovat. Scénář pro případ nastalého black-outu byl vytvořen krizovým štáblem ve spolupráci s hasičským sborem, kdy bylo potřeba určit jaká zařízení, je potřeba upřednostňovat při takovéto události co se dodávek elektrické energie týče. Tento plán byl po vyhotovení předán dispečinku EG.D a.s. (dále jako EG.D), který se stará o jeho dodržení. [16]

3.3.3 Dispečink EG.D

Hlavní rolí dispečinku je řízení toků energií v sítích DS. V případě výpadku typu black-out je tedy odpovědný za zajištění napájení objektů vybraných Krizovým štábem. K tomu, aby toho byl schopen je zapotřebí udržovat stálý kontakt se všemi významnými zařízeními v DS vyrábějícími elektrickou energii a s personálem na rozvodnách v řízené oblasti. Vzhledem k napětíové hladině, na kterou vyvádí řešené ZEVO vyrobenou elektrickou energii, spadá pod dispečink pro DS 22 kV. [16]

3.3.4 Stav nouze v elektroenergetice

Přestože není stav nouze v elektroenergetice považován za krizový stav, je i přesto řešen krizovým štábem, neboť mu může předcházet. V případě, kdy rizika přerušení dodávky elektrického proudu je provozovatel PS nebo DS povinen provést opatření pro předejití případně nastalého stavu nouze. Pokud však tato opatření selžou a dodávky elektrické energie jsou narušeny nebo hrozí narušení celistvosti DS, vyhláší provozovatel PD nebo DS stav nouze v elektroenergetice, a to buď v rámci vymezeného území nebo celého státu. Následně musí neprodleně přejít k odstranění příčin a případných následků stavu nouze, omezují spotřebu elektrické energie podle regulačního, vypínacího, frekvenčního nebo havarijního plánu, průběžně sledují vývoj a likvidaci stavu nouze a řídí energetické zdroje, které mají k dispozici při obnově provozu elektrizační soustavy. [21]

3.3.5 Frekvenční plán

Jak již zde bylo zmíněno, frekvenční plán je jedním ze způsobů nápravy vyskytlého stavu nouze v elektroenergetice. Oproti ostatním plánům však neoperuje s omezením spotřeby elektrické energie, ale díky včasným zásahům, jež jsou z velké části automatizované, zasahuje do provozu elektrizační soustavy, tak aby byl udržen kmitočet ve stanovených hranicích $49,8 \text{ Hz} - 50,2 \text{ Hz}$.

V těchto rozmezech se kmitočet udržuje za pomoci primární regulace, která ovlivňuje turbíny jednotlivých elektrárenských bloků, a sekundární regulace, ovlivňující předávaný výkon elektrizační soustavy. V případě, že by primární a sekundární regulace byly neúspěšné, je v rámci frekvenčního plánu přijato opatření, kdy elektrárny přecházejí do OP na vlastní spotřebu, pokud jsou toho schopny, aby se tak vytvořily co nejvhodnější podmínky pro opětovné najetí do běžného provozu elektrizační soustavy. [22]

3.4 Role ZEVO v případě udržení se v OP

Pokud se povede v případě rozsáhlého výpadku typu black-out zařízení SAKO Brno včas detekovat nesrovnalosti v síti, které indikují blížící se výpadek odpojit se od DS a bezpečně přejít so režimu OP, bude tím zabráněno tomu, aby v ZEVO došlo k přerušení výroby elektrické energie. V takovém případě totiž není samo schopno obnovit tuto výrobu a muselo by spoléhat na vnější zdroj elektrické energie. Tato problematika je pak blíže popsána v podkapitole 3.5 níže. Řešené ZEVO je jako jediný zdroj v oblasti schopno se udržet v OP, čímž se v dané situaci stává vysoce důležitou součástí celého aktu obnovy dodávky elektrické energie přes DS. Pokud by totiž k takové situaci došlo, byla by využívána elektrická energie ze ZEVO pro obnovu výroby elektrické energie ve velkých elektrárnách v Brně a okolí. [9]

Těmi jsou například zařízení Tepláren Brno, Červený Mlýn, která je, díky schopnosti rychlé a plynulé výkonové regulace, ideální pro rozšiřování OP, přičemž je schopna dodat do sítě výkon až 40 MW, v závislosti na ročním období a Špitálka s výkonem 30 MW a provozovna. Po obnovení výroby elektrické energie v těchto zařízeních je dodaná energie pro rozjezd elektrárny Kyjov, která dokáže dodat elektrický výkon až 50 MW, následně do elektráren v Hodoníně a Prostějově. Výkon vyrobený v těchto elektrárnách však není dostatečný na pokrytí veškeré spotřeby všech koncových odběratelů na jižní Moravě, k tomu by bylo potřeba zajistit okamžitý výkon pohybující se na úrovni běžné spotřeby, tedy 600 MW až 900 MW, v závislosti především na ročním období. Dispečink tedy řídí výkon v síti, který má k dispozici, tak aby bylo zajištěno napájení objektů určených krizovým štábem. Jedná se o objekty kritické infrastruktury, tedy nemocnice, čerpací stanice, telekomunikační zařízení atd., případně objekty určené pro shromáždění obyvatelstva, tedy školy, velké haly, výstaviště, případně nákupní střediska. [16]

3.5 Role ZEVO v případě startu ze tmy

V případě situace, kdyby došlo k selhání opatření pro zabránění vzniku black-outu a současně k přerušení výroby elektrické energie v zařízení SAKO Brno, v důsledku neúspěšného najetí do OP, je nutné, aby proběhl takzvaný start ze tmy, tedy akt, kdy dochází k obnově výroby elektrického proudu, a to buď prostřednictvím dieselařegátu, díky kterému by bylo zařízení schopno samostatného startu ze tmy a následnému provozu na vlastní spotřebu v OP do doby než by bylo rozhodnuto o opětovném připojení se k DS nebo poskytnutí energie nutné pro rozjezd jiných zařízení v okolí, nebo je využíváno energie z jiné výroby elektrické energie, která se buď dokázala při výpadku udržet v OP.

V současné době však zařízení SAKO Brno není schopno samostatného nájezdu ze tmy. Pokud by tedy nastala situace, kdy by se zastavila výroba elektrické energie při současném výpadku typu black-out, musí SAKO Brno ke svému rozjezdu využít energii z jiné výroby elektrické energie. Tyto elektrárny by pak byly spojeny přes DS v ostrovu, přičemž by elektrárna schopná startu ze tmy vyráběla energii potřebnou pro pokrytí vlastní spotřeby a obnovení vlastní výroby elektrické energie v zařízení SAKO Brno. [9]

Pro případ, že by k takovému incidentu došlo, byla v roce 2013 provedena zkouška startu ze tmy prostřednictvím VE Vír. Nutno však dodat, že pokud by skutečně došlo k situaci, při které by mělo SAKO Brno skutečně obnovit svou výrobu prostřednictvím jiné elektrárny tak neexistuje striktní plán, podle kterého by musel akt obnovy napájení probíhat. V současné době existuje hned několik možných scénářů, podle kterých je možno provádět obnovu výroby elektrické energie v kraji. Krom již zmíněného postupu v předešlé kapitole, který počítá s udržením řešeného ZEVO v OP, lze obnovu výroby elektrické energie provádět i od elektrárny Hodonín, která také disponuje schopností udržet se v OP. Z té by získala potřebnou energii elektrárna v Kyjově a následně zařízení Tepláren Brno Špitálka a Červený Mlýn, následně SAKO Brno a elektrárna v Prostějově. V případě, že by se nepodařilo udržet se v OP žádnému zařízení na výrobu elektřiny, bylo by využito elektráren disponujících schopností najetí ze tmy. K tomu by byly nejpravděpodobněji využity vodní elektrárny Vír nebo Vranov. Pokud by došlo k situaci, za které by SAKO Brno nebylo schopno vypomoci s obnovou napájení v kraji, lze využít alternativních postupů. Není tedy možné, aby se stalo, že obnova napětí v síti by nebyla možná pokud by se na ní SAKO nepodílelo. [16]

3.5.1 Příprava na najetí do ostrovního režimu ze tmy

Jak již bylo zmíněno neexistuje žádný striktní plán pro obnovu výroby elektrické energie v SAKO Brno, ovšem v případě, kdy by došlo k situaci, ve které by bylo nutné obnovit výrobu eklektické energie obdobným způsobem jakého bylo užito v roce 2013, kdy byl odzkoušen právě start ze tmy. Pro dodávku elektrické energie do SAKO Brno byla při této zkoušce použita vodní elektrárna Vír. Ta by byla spojena se ZEVO SAKO Brno v OP přes DS o napěťových hladinách 22 kV a 110 kV. [9]

V současné době existuje vypracované schéma pro najetí ze tmy z VE Vír, podle kterého by v případě nastalé situace probíhalo propojení elektráren v OP. Toto schéma pochází z již zmíněné zkoušky nájezdu ze tmy v roce 2013 a je předpokládáno, že pokud by mělo být využito elektrické energie z VE Vír, byla by přiváděna do zařízení SAKO Brno právě přes tuto trasu. V případě nutnosti však existují i jiné alternativní trasy, přes které je možno energii předat. Případně je možné využít elektrické energie i z jiné elektrárny, která by se buď sama v OP udržela a poskytovala by tak elektrickou energii pro rozjezd ostatním elektrárnám nebo elektrárna schopna samostatného startu ze tmy, nejčastěji realizovaného za pomoci dieselaagregátu. [14]

Nejen v průběhu zkoušky, ale především během nastalé události, která by vedla k nutnosti nájezdu ze tmy, je nutné zajistit, aby na všech rozvodnách na určené trase, byla přítomna obsluha a s přístupem k funkčnímu telefonickému spojení a přenosovým trasám pro dispečerské řídicí systémy. Těchto rozvodny je na trase VE Vír – SAKO Brno celkově pět, přičemž na rozvodnách nejbliže oběma jsou umístěny transformátory 22 kV/110 kV (viz obrázek 3-1). Rozvodny jsou, v tomto případě, označeny jako RA (Rozvodna A) až RE (Rozvodna E). Vzhledem k neobvyklé situaci, které je trasa vystavena v případě výpadku, je nutná manipulace s ochranami na trase. Ty by mohly znemožnit napájení mezi VE Vír a SAKO Brno. Na celé trase vedení o napěťové úrovni 110 kV jsou vypnuta automatika opětovného zapnutí (OZ), jsou zablokována frekvenční relé a je sníženo nastavení maximálních nadproudových ochran. Na transformátorech 22 kV/110 kV pak musí být vypnuty automatické systémy regulace napětí. [14]



Obrázek 3-1 Znáznornění předpokládané trasy pro najetí do OP při startu ze tmy

3.5.2 Postup najetí do ostrovního režimu ze tmy

Postup, zde popsaný, při kterém zařízení společnosti SAKO Brno najíždí ze tmy do pomoci energie získané z VE Vír, vyplývá z údajů obsažených v [14].

V první fázi najetí do OP při obnově napájení probíhají přípravy VE Vír a první rozvodny (RA) na vymezené trase. Obě zařízení musí být přepojena na příslušné přípojnice pro jejich vzájemné propojení, ochrana OZ musí být vypnuta na obou zařízeních.

Z toho důvodu, že je většina trasy mezi VE Vír a SAKO Brno realizována přes vedení o napěťové hladině 110 kV a výstup VE Vír je na napěťové hladině 22 kV, musí být řádně připojen transformátor 22 kV/110 kV nacházející se na RA. Na tomto transformátoru musí být však vypnuta automatická ochrana regulace napětí a automatické ladění tlumivky, která musí být následně odpojena. A následuje příprava vlastní spotřeby VE Vír pro najetí ze tmy.

Příprava trasy pro najetí ze tmy z RA do RE probíhá na všech rozvodnách na této trase totožně. Od vybraných přípojnic jsou odpojeny všechny vývody a po celé trase 110 kV vybrané pro nájezd ze tmy je nutné vypnout automatické systémy OZ.

Příprava části trasy mezi RE a zařízením SAKO Brno probíhá obdobně jako v případě trasy mezi VE Vír a RA. Je nutné odpojit všechny vývody od přípojnic určených pro najetí ze tmy, vypnutí regulace napětí na transformátoru umístěném v rozvodně RE, vypnutí automatického ladění tlumivky a její následné odpojení.

Před samotným zapojením celé trasy je nutno provést kontrolu připravenosti VE Vír, především jeho generátoru a správnosti napojení přípojnic na první část trasy vedoucí od VE Vír k RA.

V rozvodně RA je nutná kontrola řádného připojení na správné přípojnice a kontrola transformátoru 22 kV/110 kV, jehož strana vyššího napětí má být připojena na následující část trasy k rozvodně RB, přičemž strana nižšího napětí má zůstat odpojena.

Na všech rozvodnách na trase mezi RA a RE probíhá kontrola připravenosti spočívající v kontrole řádného napojení přípojnic. Konkrétně přípojnice na vedení blíže k VE Vír musí být vždy sepnuty, kdežto přípojnice blíže SAKO Brno zůstávají vždy vypnuty.

Transformátor 110 kV/22 kV musí být rozepnut na obou stranách.

Po celé délce trasy určené pro obnovu napájení ze tmy musí být zkontrolováno, že jsou vypnuty OZ, podpěťové ochrany a frekvenční relé vývody 110 kV a 22 kV. Na obou transformátorech na trase musí být provedena kontrola vypnutí regulace napětí a tlumivek. Na VE Vír je nutné zkontrolovat, že jsou všechny ochrany, s výjimkou podpěťové ochrany, zapnuty.

Při najíždění do provozu jako první VE Vír najede na trasu do RA a na tamější přípojnici při stále vypnutém transformátoru na straně nižšího napětí (straně k VE Vír). Generátor ve VE Vír postupně najíždí na své jmenovité otáčky a na trase do RA se objevuje jmenovité napětí (22 kV). V tomto okamžiku je třeba provést kontrolu napětí na generátoru, které má být v rozpětí 6 kV až 6,3 kV, přičemž napětí na RA se musí pohybovat v rozmezí 22,5 kV až 23,1 kV.

Následuje podbuzení generátoru na minimální napětí při konstantních otáčkách a zapnutí transformátoru 22 kV/110 kV, čímž najede část trasy vedoucí na další rozvodnu.

Dále je opětovně prováděna kontrola napětí na VE Vír a RA, kdy se mají hodnoty napětí pohybovat stále v mezích 22,5 kV až 23,1 kV. Nově se však provádí kontrola i na RB, kde musí být napětí v rozmezí 110 kV až 118 kV.

Postup je prováděn obdobně i pro ostatní rozvodny na trase VE Vír – SAKO Brno.

Před samotným napojením a najetím SAKO Brno je nutno zablokovat veškeré frekvenční ochrany. Přifázování trasy k zařízení se provádí zapnutím hlavního spínače přes synchrotrakt. V tento moment se nachází řešené ZEVO a VE Vír v OP a dochází ke kontrolnímu měření U_f , U_s a I_f .

Následně dochází k postupnému najíždění vyčleněných odběrů vlastní spotřeby ZEVO. Mezi tyto odběry se vedle velkých spotřebičů řadí i nezbytný provoz kancelářských prostor atd.

Dochází ke znovu zapálení odpadu v kotlích K2 a K3. K tomu je potřeba dosáhnout teploty v kotli 850 °C, za běžných okolností je pro to používán plynový hořák, ovšem v krizovém případě, kdy by došlo k situaci, při které by bylo nemožné využít pro znovu zapálení odpadu plyn, existuje i možnost zažehnutí odpadu alternativními způsoby. Tyto způsoby se však nepoužívají, pokud to není potřeba neboť při jejich užití by došlo k nedodržení emisních limitů.

ZEVO posléze začíná s obnovou výroby elektrické a tepelné energie postupným dosažením jmenovitých parametrů páry z kotle a obnovení chodu turbíny a přebírá vlastní spotřebu. Tento proces je však časově nejnáročnější, délka jeho trvání je přibližně 1 hodina, přičemž celý proces obnovy výroby elektrické energie v zařízení SAKO Brno za pomoci jiného zdroje elektrické energie, při jejich spojení v OP, trvá přibližně 1 hodinu a 45 minut.

3.6 Role SAKO Brno v případě výpadku celoevropské energetické sítě

I přes celkovou stabilitu synchronní sítě kontinentální Evropy je teoreticky možné, že může dojít k výpadku takového rozsahu, při kterém by došlo k celoevropskému black-outu. Jak již bylo zmíněno největší rizika představují hraniční přechody mezi státy, na kterých může docházet k významným přetokům energie. Pro zajištění prevence a připravenosti pro případ takové události jsou příslušní zaměstnanci dispečinků DS a PS jedenkrát ročně účastni poučení konajícího se v Německu. V případě takovéto události je pak určeno pořadí států, v jakém má docházet k obnově napájení, přičemž jako první takto nabíhají státy s výrazným přebytkem kapacit na výrobu elektrické energie oproti jejich spotřebě. Z toho důvodu jako by jako první najížděly Německo a Francie. V ČR by došlo k úplné obnově napájení v řádu několika dní od nastalé události, avšak neměl by trvat více než 10 dní. Během této doby je pro ČEPS prioritou zajistit chlazení jaderných elektráren. Zároveň by docházelo na částech našeho území, které jsou toho schopny, k tvorbě OP obsahujících několik výroben elektrické energie, zajišťujících uspokojení energetických potřeb kritické infrastruktury. Těchto OP má pak SAKO Brno roli shodnou s rolemi v kapitolách 4.4 a 4.5. V současné době je společností Teplárny Brno vypracovávána studie s analýzou konkrétních postupů v případě takto rozsáhlého black-outu. [16]

3.7 Opětovné připojení k DS

Postup, jakým je řízeno opětovné připojení k DS neboli zpětné přifázování, při vzniku OP je řízen dispečerem EG.D centrálního dispečinku pro 110 kV ve spolupráci s dispečinkem pro 22 kV v Brně a provozním personálem zařízení SAKO Brno. [9]

Pokud je prováděno opětovné přifázování k DS pod napětím je k připojení potřeba použít synchronizační jednotku pro paralelní připojení k síti, které monitoruje napětí na obou stranách výkonového vypínače a pouze v případě, kdy jsou frekvence na obou stranách ve fázové shodě umožní sepnutí tohoto vypínače a opětovné připojení na DS.

K tomuto je v SAKO Brno používáno multifunkční paralelní zařízení Siemens SIPROTEC 4 s označením 7VE61. V tomto zařízení je signál galvanicky oddělen a transformován na napětíovou úroveň, s níž je schopno pracovat, přičemž je k dispozici až 6 napětíových vstupů. Signál z těchto vstupů dále putuje do zesilovače a A/D převodníku, ve kterém je analogový signál zpracován do digitální podoby, tak aby mohl být vyhodnocen mikropočítačovým systémem, který průběžně sleduje měřené veličiny, řídí signalizaci synchronizace a ochran pomocí LED, zaznamenává zprávy, poruchová data a poruchové hodnoty pro následnou analýzu. V tomto případě především zpracovává algoritmy pro funkci synchrocheck. [23]

Synchrocheck je funkce sledující napětí na obou stranách a rozhodující, zda je bezpečné připojit zařízení k síti. Pokud by bylo ZEVO připojeno v okamžiku, kdy na obou stranách výkonového vypínače není stejná velikost napětí, stejná fáze a frekvence došlo by ke vzniku vyrovnávacího proudu, který by mohl poškodit odpojovač, jistič či jiná zařízení. [24]

Další možností pro opětovné připojení k DS je ruční připojení, tedy takové připojení, u kterého okamžik napojení na síť určuje obsluha. Toho se však v praxi nevyužívá, neboť by bylo velmi obtížné zvolit správný okamžik, kdy je vhodné připojit výrobní elektrárny k DS mohlo by tak dojít ke vzniku velkého vyrovnávacího proudu. [13]

4. TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ENERGETICKÉHO ZDROJE PRO SCHOPNOST NAJETÍ DO OP

Technické prostředky užívané pro najetí na OP jsou zastoupeny jak v elektrické, tak strojní části ZEVO. Technické prostředky elektrického charakteru v tomto případě plní funkci detekce události, jenž indikuje blížící se okamžik selhání elektrické sítě, nebo při kterém by mohlo dojít k ohrožení provozu energetického zdroje a funkci odpojení od okolní DS. Technické prostředky strojního charakteru se starají o regulaci výkonu zdroje, tedy o snížení výkonu na hodnotu vlastní spotřeby zařízení.

4.1 Detekce OP

Pro včasné odpojení oblasti nebo zařízení OP je nutná spolehlivá detekce poruchových stavů v síti. Způsob detekce těchto stavů částečně upravuje článek 15.5.b) III. Nařízení komise (EU) 2016/631. Ten říká, že způsob detekce OP musí být dohodnut mezi příslušným provozovatelem soustavy a vlastníkem výroby elektřiny a nesmí být založen jen na stavových signálech spínacích zařízení provozovatele soustavy. [5]

V praxi lze využít několika způsobů detekce. Ty vyplývají z informací obsažených v [6]. Jsou jimi:

- Pasivní metody využívají vzniku výkonové dysbalance na pomezí ostrova a zbytkem DS. Nejčastěji používanými pasivními metodami detekce OP jsou tzv. RoCoF, které měří rychlost změny frekvence a Vector Shift, které měří posun úhlu vektoru napětí.
- Aktivní metody detekce OP sledují odezvu na injektovaný signál vyslaný do sítě. To má však za následek, že pokud je k síti připojené velké množství VM s aktivní metodou detekce může docházet ke zhoršování spolehlivosti měření.
- Komunikační metody jsou založeny na komunikaci mezi jednotlivými prvky sítě, přičemž adekvátně reagují na nesrovnalosti naměřené v uzlech.

Příloha 4 PPDS dále upřesňuje způsob detekce využívaný na území ČR. Tento způsob má být založen na sledování změn frekvence a napětí. [7]

Detekce je první částí v řetězci reakcí elektronických částí energetických zařízení při neplánovaných přechodech na OP. V případě, kdyby došlo k dosažení odchylky frekvence o 200 *mHz* v krátkém časovém úseku od ustálené hodnoty bez záměrného zpoždění, je vyslán signál s informací o vytvoření OP do regulátoru OP. Jedná se tedy o pasivní metodu detekce OP, jenž využívá i zařízení SAKO Brno v rámci svých lokálních ochran. Na obrázku v příloze C se detektor OP nachází v první skříní zprava v její horní části. Tento detektor sleduje frekvenci jak na straně energetického zdroje, tak na straně vnější DS.

4.3 Výkonové vypínače

Tento druh spínačů je dimenzován na to, aby byl schopen spínat nejen všechny druhy zátěže, ale také všechny typy poruch. Jsou vybaveny zhášecí komorou pro uhašení oblouku vzniklého při aktu vypínání mezi kontakty vypínače. Základní dělení, podle kterého jsou výkonové spínače rozpoznávány, je podle typu použité zhášecí látky, případně energie ve zhášecí komoře. V případě výkonových spínačů používaných v zařízení SAKO Brno mluvíme o vypínačích plynových, kdy je obsahem zhášecí komory plyn fluorid sírový (SF_6), který je používán běžně ve výkonových spínačích pro své izolační vlastnosti. [13]

První věcí, kterou musí regulátor OP zajistit, po obdržení informace z detektoru o zaznamenání události vedoucí k utržení se do OP, je odpojení energetického zdroje od vnější DS. V SAKO Brno k tomuto účelu slouží výkonové spínače, s označením V1380 a V1381, které za běžných okolností spojují SAKO Brno s vnější DS. Stejně jako detektor OP se výkonové vypínače nachází v nově instalovaných rozvaděčových skříních od výrobce Siemens typu NXPLUS C (viz příloha C). Vypínačové panely, jak jsou označovány výrobcem, jsou dvě prostřední skříně rozvaděče, přičemž v jejich horní části se nachází nízkonapěťové rozvody a kontrolér SIPROTEC, v prostřední části samotné výkonové vypínače, kapacitní systém detekce napětí a kontrolní panel a spodní část slouží jako kabelový přívod. [13]

Tyto výkonové vypínače jsou jedno z možných verzí víceúčelových, plynem izolovaných rozvaděčových skříní NXPLUS C od společnosti Siemens. Výkonové spínače jsou, jak již bylo řečeno izolovány plynem SF_6 pod tlakem 150 kPa. Jsou schopny spínat nárazový zkratový proud až do hodnoty 63 kA a jsou dimenzovány na trvalý přenos proudu 1 250 A. Základní vlastnosti výkonových vypínačů, používaných pro propojení řešeného ZEVO s vnější DS, jsou uvedeny v tabulce 4-1. [44]

Tabulka 4-1 Vlastnosti instalovaných výkonových vypínačů [50]

Typ	NXPLUS C	
Jmenovité napětí	U_r	25 kV
Jmenovitý proud	I_r	1250 A
Jmenovitý zkratový proud	I_k	25 kA
Jmenovitý vypínací proud	$I_{\text{vyp.n}}$	20 kA
Nárazový zkratový proud	i_p''	63 kA

4.4 Turbína

Nedílnou součástí při přechodu na OP je instalace vhodného typu turbíny, která je schopna dostatečně rychle snížit svůj výkon na téměř minimální hodnotu bez toho, aby došlo k jejímu výpadku. Pro tyto účely je v zařízení SAKO Brno užívána kondenzační turbína výrobce Siemens s typovým označením SST-300 pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny. [25]

Právě druh použité turbíny je zásadní pro schopnost energetického zdroje najetí do OP. Neboť právě jen kondenzační turbíny jsou schopny dostatečně rychle snížit svůj výkon na požadovanou hodnotu a udržet si při tom stálou hodnotu frekvence. Toho například protitlaká turbína není schopna. [9]

Turbína, používaná v SAKO Brno, je schopna dodat generátoru dostatek výkonu pro generování až 22,7 MW. Přestože je SAKO Brno schopno dodat do sítě i takovýto výkon, nepřekračuje hodnota dodávaného výkonu 18 MW, neboť vyšší hodnota výkonu by byla pro řešené ZEVO trvale neudržitelná. Minimální trvalý výkon, při kterém je turbína schopna se udržet v chodu je 1,5 MW, což znamená, že pro udržení se v OP musí být vlastní spotřeba alespoň na úrovni této hodnoty. K tomu, že by turbína nebyla dostatečně zatěžována, však prozatím nedošlo, neboť se vlastní spotřeba řešeného zařízení trvale drží nad hodnotou 1,5 MW. [10]

Pro regulaci instalované turbíny se pak využívá regulační systém TURLOOP S7, který je schopen regulovat tlak vstupní páry do turbíny, tlak páry v regulovaném odběru, výkon generátoru a v OP umožňuje také regulaci frekvence. Přes tento systém také funguje zabezpečovací zařízení pro odstavení, výstrahy atd. [25]

Aby se dosáhlo dostatečně rychlého snížení výkonu na generátoru, je regulátor OP nucen snížit hmotnostní průtok páry turbínou. Toho se dosahuje řízeným upuštěním přebytečné páry skrze pojišťovací ventil. Přebytečná pára, takto uniklá přes pojišťovací ventil, je vypuštěna do volného prostoru a nemá tak žádné budoucí využití. [13]

5. POTENCIÁL DALŠÍHO ROZVOJE ZEVO V KONTEXTU ROZVOJE DISTRIBUČNÍ SÍTĚ

Plánovaný budoucí rozvoj spaloven s technologií ZEVO může přinést pro DS řadu výhod. Ty obnášejí zejména zvýšení stability sítě, výkonový přesah a v případě výpadků DS, potenciál při její obnově, zejména pokud by byla tato zařízení schopna samostatného najetí do OP. V souvislosti s tím vyplývá zřejmé doporučení pro provozovatele DS, aby byly vytvořeny vhodné motivace pro provozovatele energetických zdrojů, certifikovat výroby podle PPDS přílohy 7 pro schopnost OP výroby s částí DS. V současné době prakticky neexistují důvody pro tuto certifikaci. Jako vhodná motivace se jeví zajištění finančních náhrad za dobu, kterou strávila daná zařízení, v OP.

Významnou výhodou ZEVO je to, že nejsou závislé na neustálé dodávce uhlí nebo, v dnešní době nejisté, dodávce zemního plynu. Palivo pro tato zařízení, tj. komunální odpad, je snadno dostupné a je vysoce nepravděpodobné, že by došlo k jeho vyčerpání.

5.1 Plánovaný rozvoj SAKO Brno

Z celkového počtu 528 licencovaných výroben elektrické energie v Brně je ZEVO SAKO považováno za nejvýznamnější zdroj hned po Teplárnách Brno s provozovny Špitálka a Červený Mlýn a zastává 15 % výroby elektřiny z lokálních zdrojů na území města Brna. [26] Z toho důvodu je jeho další rozvoj úzce spjat s rozvojem místní DS.

5.1.1 Předpokládaný vývoj výroby elektřiny na jižní Moravě

Aktuální energetická koncepce města Brna [26] uvádí, že pro zajištění potřeb města Brna je požadováno stavět a podporovat ty energetické zdroje, které jsou ekonomicky a environmentálně šetrné. Jednat by se mělo převážně o zdroje, jenž disponují kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla (KVET), které by byly postavené na energetickém využití odpadů produkovaných ve městě a okolí a rozšiřování výroby elektrické energie z OZE.

Z energetické oblasti je počítáno především s podporou projektů zaměřujících se zejména na energetické úspory, využívání obnovitelných zdrojů a snižování energetické náročnosti jak u veřejných, tak u soukromých budov.

Díky své významnosti jsou Teplárny Brno a SAKO Brno součástí plánů pro budoucí rozvoj výroby elektrické energie a díky schopnosti KVET koresponduje tento vývoj i s možnými scénáři rozvoje soustavy zásobování tepelnou energií (SZTE). V současné době existují tři předpokládané scénáře vývoje výroby elektřiny, přičemž s rozvojem ZEVO společnosti SAKO Brno, tj. výstavbou nové spalovenské linky K1, je počítáno v každém z nich.

Prvním je scénář ZP (zemní plyn), který počítá s modernizací zdrojů SZTE v Teplárnách Brno, sídlištích a průmyslových nebo areálových soustavách na bázi zemního plynu. Z bezpečnostních důvodů je však nejisté se spoléhat na stabilní dodávku zemního plynu z Ruska. Na této dodávce je však provoz zařízení Tepláren Brno závislý. Vhodným řešením do budoucna se tak jeví odebírat zemní plyn od jiného dodavatele, případně nalézt adekvátní alternativu paliva. Tato situace bude mít však pravděpodobně za následek zdražení cen energií. V tomto scénáři se předpokládá, že dojde k nárůstu výroby elektrické energie o zhruba 15,6 %.

Další je scénář OZE (obnovitelné zdroje energie). V tom je kladen důraz na rozvoj KVET v stávajících zdrojích se zaměřením na uplatňování OZE. Při tomto scénáři je předpokládán navýšení výroby elektřiny o cca 35,6 %.

Posledním scénářem je EDU (elektrárna Dukovany), jehož součástí je zhotovení horkovodního napáječe u JE Dukovany. To by mělo vést k utlumení výroby tepla a elektřiny na velkých zdrojích, které by zastávaly pouze špičkové výroby tepla, a to bez výroby elektrické energie. Při tomto scénáři je předpokládán pokles výroby elektrické energie o 7,4 %.

5.1.2 Projekt RESAKO

Za pravděpodobně nejvýznamnější plánovaný budoucí rozvoj řešeného zařízení se dá považovat plánovaný projekt RESAKO, na realizaci třetí spalovenské linky K1. Tento projekt vzniká převážně za účelem rozvíjení druhotných a obnovitelných zdrojů energie. Dalšími motivacemi pro dostavbu nové linky jsou pak, lepší připravenost na zákaz skládkování, platný od roku 2030, postupné zastarávání stávajících linek na zpracování odpadu, významná redukce fosilních emisí CO₂, navýšení účinnosti a, úzce související pro rozvoj DS, zvýšení množství vyrobené energie a zvýšení spolehlivosti dodávky energií. [27]

Součástí tohoto projektu je instalace nového kotle na biomasu s výkonem až 40 MW. Díky tomu se navýší množství zpracovaného nerecyklovatelného odpadu ročně z 230 000 tun až na 352 000 tun. Tedy dojde k navýšení zpracovaného odpadu o až 60 %. Významnou součástí nové spalovenské linky bude také nová protitlaká turbína určená pro výrobu elektřiny. To by mělo zaručit zvýšení množství dodané elektrické energie až o 230 %. To tedy znamená že celková elektrická energie dodaná do sítě po dokončení projektu by měla dosahovat hodnoty až 158 000 MWh ročně. [27]

Nově instalovaná turbína však nebude, kvůli svému typu (protitlaká), schopna udržet se v případě najetí do OP v provozu [9]. Předpokládaným termínem dokončení tohoto projektu je konec roku 2023, přičemž financování by mělo být pokryto společností SAKO Brno. [28]

5.1.3 Iniciační zdroj

V současné době je iniciační zdroj v zařízení SAKO pouze na teoretické úrovni a do budoucna musí dojít k patřičným krokům, které by vedli nejen k patřičnému způsobu zafinancování projektu, ale také k zjištění optimálního technického řešení. Krom zařízení společnosti SAKO je kandidátem pro instalaci iniciačního zdroje i provozovna Tepláren Brno, Červený Mlýn. Ta je ovšem pro jeho instalaci uvažována až jako druhá možnost. SAKO Brno již v současné době disponuje záložním zdrojem o výkonu 400 kW, ten by musel být doplněn dalším zdrojem o výkonu 600 kW, aby byla splněna podmínka potřebného výkonu pro pokrytí nejnutnější vlastní spotřeby při najíždění ze tmy. Jako iniciační zdroj by mohlo být v tomto případě použito buď dieselaagregátu nebo baterie. [26]

5.1.4 Certifikace ostrovního provozu

Přestože v současné době je zařízení SAKO Brno schopno udržet se v OP, nedisponuje oficiální certifikací podle PPDS přílohy 7 pro schopnost OP výroby s částí DS. Je tomu tak z důvodu celkové nevýhodnosti certifikace pro zařízení SAKO Brno, které by tato certifikace nepřinesla prakticky žádné výhody. Pokud by SAKO Brno touto certifikací disponovalo byla by vyčleněná část DS příliš náročná na spotřebu elektrické energie, to by mělo za následek ztrátu tlaku páry pohánějící turbínu, což by způsobilo jeho výpadek a následné přerušování výroby elektrické energie. Tím by došlo k nedodržení povinnosti o zajištění napájení vyčleněné oblasti alespoň po dobu osmi hodin od nastalé události, která vedla ke vzniku ostrova. [9]

Teoretickým přínosem při certifikaci podpůrné služby OP pro SAKO Brno, by byla finanční náhrada za dobu, po kterou v OP přetrvávala. V současné době však neexistuje možnost, i přes opakované pokusy ze strany EG.D, získání této náhrady zabezpečit. I to

může být jeden z důvodů proč v současné době na území ČR není žádná výrobná elektrické energie disponující touto certifikací. [16]

5.2 Plánovaný rozvoj ZEVO v Praze Malešicích

Spalovna s technologií ZEVO v Praze Malešicích slouží stejně jako SAKO pro KVET s množstvím vyrobené elektrické energie za rok 60 000 *MWh* a spotřebou komunálního odpadu 300 000 *t/rok*. [29]

V kontrastu uvažovaného budoucího rozvoje by pak mohlo toto ZEVO dodávat více elektrické energie do DS. Toho by bylo schopno právě díky uvažovaným rozšířením ve formě nové, páté linky. Další možností je rekonstrukce zahrnující nahrazení současných kotlů za nové modernější, čímž by mohla být zvýšena spolehlivost dodávek elektrické energie. [30]

5.2.1 Scénáře vývoje energetické koncepce Prahy

Územní energetický plán Prahy [30] předjímá a blíže popisuje celkově tři možné, níže vypsané scénáře pro budoucího vývoje do roku 2030. Tyto tři scénáře se nazývají Konzervativ, Proaktiv a Proaktiv plus a jsou blíže představeny níže.

V plánu Konzervativ se předpokládá s částečným vzrůstem úspor za energie a spotřeba energií zůstane v stávajících domácnostech neměnná. Tento scénář počítá s investicemi na zlepšení energetických náročností budov a klade nároky na zvýšení zpracovatelské kapacity ZEVO Malešice na 350 000 tun odpadu za rok, výrobu 1020 *TJ* tepla za rok a 75 000 *MWh* elektrické energie za rok.

Scénáře Proaktiv a Proaktiv Plus pak počítají se značnými investicemi do úspor za energie, přičemž by se mělo jednat o úspory oproti scénáři Konzervativ o 18 % a 26 %. Na ZEVO Malešice bude v těchto scénářích kladen nárok na zvýšení zpracovatelské kapacity na 450 000 tun odpadu ročně a zvýšení roční produkce tepla na 1 300 *TJ* a elektrické energie na 95 000 *MWh*.

5.2.2 Nová linka

Pro zajištění vyšších nároků na energie je uvažováno o stavbě nové, v pořadí páté, linky. Její součástí by měl být nový fluidní kotel pro zpracování odpadu s vysokou vlhkostí nebo odpady obsahující vysoký podíl vysokovýhřevných frakcí, dále systém čištění spalin a vlastní turbosoustrojí. Tato nová linka by měla mít zpracovatelskou kapacitu až 150 000 tun odpadu ročně. [31]

5.2.3 Rekonstrukce stávajících spalovenských kotlů

Vzhledem dlouhodobé vytíženosti kotlů využívaných ke spalování odpadu v ZEVO Malešice není překvapivé, že dochází k častým poruchám ovlivňujícím výkon, který je schopno dodat do DS. Aby se do budoucna tyto poruchy eliminovaly, dochází v současné době k postupnému nahrazování starých kotlů za nové. Ty navíc dokážou pracovat s vyšší energetickou účinností, a to v řádech jednotek procent a zpracovat vyšší množství odpadu než kotle staré. [30]

5.3 Plánovaný rozvoj ZEVO Termizo v Liberci

V současné době slouží zařízení společnosti Termizo převážně jako zdroj tepelné energie pro město Liberec, a to na takové úrovni, že se jedná o základní zdroj tepla, přičemž Teplárny Liberec pouze doplňují výkon dle celkových potřeb v daném okamžiku. Na našem území se jedná o nejmenší spalovnu, s technologií ZEVO. Za rok je schopna energeticky využít 96 000 tun odpadu. Z tohoto odpadu je schopna vyprodukovat zhruba 700 TJ tepla, což je dostatek tepla pro cca 17 000 domácností. Zároveň s tím je i dostatečně velkým zdrojem elektrické energie, aby byla schopna pokrýt vlastní spotřebu a nad to dodat do sítě za rok okolo 13 000 MWh elektrické energie, tedy dostatek pro zhruba 3000 domácností. Do budoucna však není plánován žádný další rozvoj tohoto zařízení, přestože územní energetická koncepce uznává jeho nevyužitý potenciál při náhradě uhlí. Další možnostmi pro rozvoj v rámci DS, jsou OP, ty však podle zdroje nejsou plánovány, avšak bylo podáno doporučení na zpracování analýzy OP na území Libereckého kraje. [32]

5.3.1 Budoucí rozvoj energetického hospodářství Libereckého kraje

Existují dvě varianty budoucího rozvoje s označeními V1 a V2. Obě varianty jsou prakticky totožné a počítají s výrazným rozvojem průmyslu, služeb a bydlení. Varianta V2 však počítá s 80 % rozvojem zástavby oproti variantě V1. Obě varianty pak volí pro uspokojení energetických potřeb totožné postupy spočívající ve využití energetického potenciálu úspor a potenciálu rozvoje OZE. [32]

5.4 Plánovaný rozvoj ZEVO v Chotíkově u Plzně

Spalovna s technologií ZEVO v Chotíkově u Plzně je nejmladší spalovnou s touto technologií na našem území. Stejně jako ostatní ZEVO na území ČR slouží pro KVET s roční dodávkou tepla pohybující se okolo 400 000 MJ a instalovaným generátorem o výkonu 10,5 MW, s roční výrobou 54 198 MWh elektrické energie, z čehož je cca 18 157 MWh spotřebováno na vlastní spotřebu a zbylá energie je dodána do vnější DS. V současné době pak ústřední energetická koncepce neuvádí žádný potenciální budoucí rozvoj tohoto zařízení. [33]

5.4.1 Řešení rozvoje místního energetického systému

Územní energetická koncepce pracuje s výhledovou spotřebou energií v jednotlivých variantách v horizontech pěti a dvaceti pěti let, přičemž tyto prognózy budoucího vývoje zahrnují předpokládaný rozvoj města Plzně s ohledem na potenciál úspor v oblastech zateplení budov, regulační a měřicí techniky a podobně. Vypracovány byly čtyři možné varianty rozvoje s označeními V1 až V4. Každá z nich počítá s jiným vývojem spotřeby energií se vzestupným řazením, znamená, že varianta V1 (Stagnační) uvažuje jen malý objem nové výstavby a nízkého uplatnění energeticky úsporných opatření a varianta V4 (Rozvojová maximální) předpokládá velký objem nových staveb a to jak na stávajících územích, tak na rozvojových územích, zároveň počítá s uplatněním energeticky úsporných opatření ve vysoké míře a v horizontu dvaceti pěti let úplné nahrazení lokálních topenišť na kapalná a tuhá paliva. [33]

5.5 Plánovaná ZEVO

Nová zařízení s technologií ZEVO budou v budoucnosti znamenat pro DS převážně dodatečný výkonový přesah. Plánovaná ZEVO mají, spíše než na rozvoj DS, dopad na celkové spálené množství fosilních paliv, kdy dokážou z části nahradit například hnědé uhlí, a dopomoci k dosažení cíle odklonu o skládkování. V současné době je na území ČR plánována výstavba několika ZEVO, a to především na území velkých městských aglomerací, nebo v jejich bezprostřední blízkosti.

ZEVO jehož umístění je plánováno v elektrárně Opatovice by využívalo odpad z okolních oblastí, především pak z Hradce Králové a Pardubic. Celková kapacita tohoto ZEVO by měla dosahovat 150 000 tun odpadu ročně její spuštění je plánované na rok 2028. [34]

Dalším ZEVO, které by se mělo v dohledné době dočkat své realizace je projekt ZEVO Vráto, které by vyrostlo na brownfieldu, vzniklému po demolici stávající uhelné výtopny Vráto. Ta by měla ukončit svůj provoz v roce 2024. [35] Toto zařízení by mělo být schopno dodat do sítě až 50 842 *MWh* elektrické energie, při celkové kapacitě 160 000 tun odpadu za rok. [36]

Umístění technologie ZEVO se předpokládá i v lokalitě elektrárny Mělník. Toto zařízení by mělo disponovat kapacitou 320 000 tun odpadu za rok a osazena má být generátorem se jmenovitým výkonem okolo 18 *MW* a vyrobená energie nespotřebovaná vlastní spotřebou bude vyvedena na vedení o napěťové hladině 110 *kV*. [37]

Potenciální další spalovnou s technologií ZEVO je projekt společnosti EVO Komořany. Ten by měl mít po svém dokončení kapacitu okolo 150 000 tun odpadu ročně [38] s celkovou výrobou elektrické energie 62 583 *MWh*, z čehož bude 46 019 *MWh* elektrické energie dodáno do DS. [39] Původně měla být dostavena a spuštěna do provozu v roce 2024, ovšem problémy ohledně zajištění dostatečného množství odpadu mohou způsobit odklad dokončení projektu. [40]

O výstavbě ZEVO bylo uvažováno také v Olomouckém kraji. Zde ovšem nebyla nalezena vhodná lokalita pro umístění takového zařízení z důvodu nízké akceptovatelnosti místními obyvateli [41] a kraji Vysočina, ve kterém byla studií potvrzena možná roční kapacita ZEVO na 150 000 tun odpadu, ovšem navržená lokalita nevyhovovala z důvodu obtížně realizovatelného propojení se sítí CZT [42].

6. ZÁVĚR

Při analýze stávajícího technického stavu byla udána definice OP, včetně dělení podle velikosti, způsobu vzniku a počtu VM, dále pak zasazení OP v oficiálních dokumentech PPDS, kde se jím věnují přílohy 4 a 7, včetně možnosti certifikace OP jako nefrekvenční podpůrné služby. Podstatnou částí této kapitoly bylo přiblížení stávajících parametrů řešeného zařízení společnosti SAKO Brno, včetně jeho schopnosti utržení se do OP, který se soustředil zejména na množství dodané elektrické energie do DS a velikosti vlastní spotřeby spalovny, tedy parametrů zásadní z hlediska výkonové regulace při najíždění do OP.

V druhé části bylo zkoumáno, jakou roli plní řešené zařízení při obnově napájení DS po výpadku. Kdy byla udána definice výpadku elektrické energie a byly představeny orgány starající se o tuto obnovu. Samotná role ZEVO SAKO Brno je zde zkoumána pro dva možné scénáře, a to pro scénář ve kterém se zařízení SAKO Brno úspěšně dostane do OP a scénář, kdy nedojde k úspěšnému utržení a je nutné obnovit chod celého zařízení. V prvním scénáři plní řešené ZEVO významnou roli při obnově napájení a slouží jako iniciační zdroj pro výrobu elektrické energie v okolí. Pro druhý scénář byl rozebrán postup najetí pomocí jiného zařízení, což je dle zkoušky provedené v roce 2013 možno za 1 hodinu a 45 minut. V případě tohoto scénáře neplní zařízení SAKO žádnou významnější roli a v případě nutnosti ho lze při obnově napájení DS úplně zanedbat.

Základní prostředky energetického zdroje potřebné pro najetí do OP byly řešeny ve třetí části. Kdy je pro detekci události využíváno sledování změny frekvence sítě (RoCoF), pokud je zaznamenán náhlý pokles frekvence o 200 mHz je vyslán signál do regulátoru OP, který rozhodne o utržení se OP a řídí veškeré procesy s tím související. Jsou zde rozebrány výkonové vypínače používané v ZEVO SAKO Brno, které dokážou díky použitému izolačnímu plynu spínat nárazový zkratový proud až do 63 kA. Jako poslední zde byl rozebrán protitlaký typ turbíny, jež splňuje požadavky na rapidní snížení výkonu při stálých otáčkách při přechodu na OP.

Poslední část se věnovala rešerši budoucího rozvoje spaloven s technologií ZEVO v ČR v kontextu rozvoje DS. Nejpodrobněji zde byl rozebírán budoucí vývoj stávajících spaloven s touto technologií, kdy je uvažováno především o navýšení výroby elektrické energie. Největší potenciál má pro rozvoj DS do budoucna řešené zařízení SAKO Brno, kdy je uvažováno nad instalací iniciačního zdroje pro možnost najetí ze tmy. V této části je i udáno doporučení na vytvoření motivace pro certifikaci nefrekvenční podpůrné služby OP s částí DS.

Podmínkou k podrobnějšímu zpracování problematiky konfigurace přechodu na OP bylo získat data o konkrétní konfiguraci spalovny SAKO Brno při některém z dřívějších OP, do kterého se neplánovaně dostalo. V nedávné době však nedošlo k žádnému podobnému incidentu a veškerá data o OP byla již zaarchivována. Pro jejich extrakci z archivu spalovny bylo nutné zjistit datum kdy k těmto OP došlo. Pro získání časových údajů o OP byl kontaktován příslušný odborný pracovník z EG.D, který poskytl požadovaná data dvou posledních OP, do kterých se SAKO Brno dostalo, a to včetně důvodů jejich vzniku. Tyto informace byly předány do SAKO Brno pro extrakci potřebných dat. To se však setkalo s neúspěchem, neboť v nedávné době došlo v SAKO Brno k aktualizaci serverových jednotek a potřebná data se tak nepodařilo extrahovat.

Vzhledem k současné světové situaci, způsobené ruskou invazí na Ukrajinu, je z pohledu ČR žádoucí hledat náhrady za zemní plyn a ropu v současnosti dodávané

z Ruské Federace. Zejména oblast energetiky je, kvůli závislosti na stabilních dodávkách zemního plynu, citelně ohrožena, neboť provoz některých energetických zdrojů je závislý na stále dodávce tohoto plynu. Jejich částečnou náhradu mohou, díky schopnosti kogenerace, zajistit právě ZEVO. Do budoucna by však bylo vhodné hledat alternativní způsoby dodávky zemního plynu. Jako vhodnými náhradními dodavateli zemního plynu by pak mohly být státy severní Evropy, případně by se dalo spekulovat o dovážce zkapalněného zemního plynu z USA nebo jiných zemí.

LITERATURA

- [1] *Směrnice Rady 1999/31/ES ze dne 26. dubna 1999 o skládkách odpadů*. Brusel: Rada Evropské Unie, 1999, ročník 1999, číslo 31.
- [2] Co je ZEVO. *Skupina ČEZ* [online]. Praha: ČEZ, c2020 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo.html>
- [3] Úplný výpis z obchodního rejstříku. *Veřejný rejstřík a sbírka listin* [online]. Praha: Ministerstvo spravedlnosti, c2012-2015 [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=701241&typ=UPLNY>
- [4] *Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha 7* [online]. Praha: Provozovatelé distribučních soustav, 2020, [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds-2020_priloha-7.pdf
- [5] *Narřízení komise (EU): 2016/631* [online]. Brusel: Evropská komise, 2016, [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0631>
- [6] BURDEK, Zdeněk. Blackout a ostrovní provozy. *TBZ-info* [online]. Praha: Topinfo, c2019 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/19683-blackout-a-ostrovnii-provozy>
- [7] *Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha 4* [online]. Praha: Provozovatelé distribučních soustav, 2020, [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.egd.cz/sites/default/files/2021-01/p%20C5%99%20ADloha%204%2020Pravidla%20pro%20paraleln%20AD%20provoz%20v%20BDroben%20a%20akumula%20C4%8Dn%20C3%ADch%20za%20C5%99%20ADzen%20C3%AD%20-%202001%202021.pdf>
- [8] KOPIČKA, Marek. *Dynamické modely výrobních modulů*. Brno, 2021. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Jiří Drápela.
- [9] SALÁK, Pavel, Ing. Luděk ONDROUŠEK a Ing. Ondřej RETEKO. SAKO BRNO. *Informace získané při osobním setkání*. 24. února 2022.
- [10] PERNICA, Vladimír. SAKO BRNO. *Informace získané při osobním setkání*. 5. dubna 2022.
- [11] SAKO BRNO. *Interní dokumentace, Porovnání ročního plánu se skutečností 2021 EE*.
- [12] SAKO BRNO. *Interní dokumentace SAKO Brno, Denní porovnání*.
- [13] SALÁK, Pavel. SAKO BRNO. *Informace získané při osobním setkání*. 5. dubna 2022.
- [14] SAKO BRNO. *Interní dokumentace SAKO Brno, Program zkoušky 24. 10. 2013, VE V + R SAKO*. Brno, 2013.
- [15] Výpadek dodávky elektřiny. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-11-09]. Dostupné z:

- https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDpadek_dod%C3%A1vky_elekt%C5%99iny
- [16] Ing. VESELKA, Pavel. EG.D. *Informace získané při osobním setkání.*
- [17] Nařízení vlády č. 240/2000 Sb. - Zákon krizového řízení a o změně některých zákonů (*Krizový zákon*)
- [18] Nařízení vlády č. 432/2010 Sb. - Nařízení vlády o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury
- [19] Ochrana kritické infrastruktury. *Ministerstvo vnitra České republiky* [online]. Praha: Ministerstvo vnitra České republiky, c2021 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/cthh/clanek/ochrana-kriticke-infrastruktury-ochrana-kriticke-infrastruktury.aspx>
- [20] *Statut Ústředního krizového štábu.* Praha: Vláda ČR, 2022, ročník 2022, číslo 78.
- [21] HOLEC, Tomáš. *Ochrana obyvatel a krizové řízení: praktický průvodce a rádce úředníka* [online]. Praha: Ministerstvo vnitra České republiky, 2021 [cit. 2022-03-15]. ISBN 978-80-7616-100-9.
- [22] Regulační plán - stavy nouze. *Skupina ČEZ* [online]. Praha: ČEZ, c2022 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/regulacni-plan>
- [23] Manual SIEMENS SIPROTEC 4: Multifunction Paralleling Devices 7VE61 and 7VE63. *Siemens* [online]. Mnichov: Siemens, 2017 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109743491/siprotec-4-7ve61-63-multifunction-paralleling-devices?dti=0&pnid=25343&lc=en-CZ>
- [24] Synchrocheck Function. *Electrical Engineering Professional: Electrical engineering lessons worth reading* [online]. 2019 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://electricalengineeringprofessional.wordpress.com/2019/06/20/synchrocheck-function/#:~:text=The%20synchrocheck%20or%20synchronism-check%20protection%20function%20%28ANSI%2025%29,to%20have%20all%20three%20phases%20on%20both%20ends.?msclkid=f6aab9fbc57c11ecbf667bf500ac2ba1>
- [25] SAKO BRNO. *Interní dokumentace SAKO Brno, Technická data.*
- [26] Územní energetická koncepce statutárního města Brna: Systém zásobování elektrickou energií. *Příprav Brno* [online]. Brno: Brno, 2018 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://priprav.brno.cz/media/2021/04/5.3-Syst%C3%A9m-z%C3%A1sobov%C3%A1n%C3%AD-elektrickou-energi%C3%AD.pdf>
- [27] *RESAKO* [online]. Brno: SAKO Brno, c2021 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.resako.cz/>
- [28] Akční plán k územní energetické koncepci statutárního města Brna. *Příprav Brno* [online]. Brno: Brno, 2019 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://priprav.brno.cz/media/2020/07/AK%C4%8CN%C3%8D-PL%C3%81N-K-%C3%9AEK-SMB.pdf>
- [29] Spalovna - ZEVO. *Pražské služby* [online]. Praha: Pražské Služby, c2019 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/spalovna-zevo>

- [30] Územní energetická koncepce hlavního města Prahy: Akční plán pro implementaci na období 2018 - 2022. *Portál životního prostředí hlavního města Prahy* [online]. Praha: Praha, 2018 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://portalzp.praha.eu/file/2919191/AP_UEK_HMP_na_roky_2018_2022.pdf
- [31] Územní energetická koncepce hlavního města Prahy: Hlavní zpráva. *Portál životního prostředí hlavního města Prahy* [online]. Praha: Praha, 2013 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://envis.praha.eu/UEK_2013/data/pdf/AUEKhlmPhy-2013-Hlavni_zprava.pdf
- [32] Územní energetická koncepce Libereckého kraje: Aktualizace 2015. *Liberecký kraj* [online]. Liberec: Enviros, 2015 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://investice-sprava.kraj-lbc.cz/getFile/id:968644/lastUpdateDate:2016-06-21%2009%3A02%3A48>
- [33] Územní energetická koncepce města Plzně: Aktualizace 2015. *Energetika Plzeň* [online]. Plzeň: Magistrát města Plzně, 2015 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: https://energetika.plzen.eu/Files/energetika/koncepcni_dokumenty/uzemni_koncepce/UEKMP2015sprilohami_verzekeschvaleni.pdf
- [34] ZEVO v elektrárně Opatovice. *ZEVO Opatovice* [online]. Opatovice: Elektrárny Opatovice, b.r. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.zevo-opatovice.cz/zevo-v-elektrarne-opatovice/>
- [35] Projekt ZEVO Vráto získal souhlas ministerstva životního prostředí. *ZEVO Vráto* [online]. České Budějovice: ZEVO Vráto, c2021 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.zevovrato.cz/projekt-zevo-vrato-ziskal-souhlas-ministerstva-zivotniho-prostredi/>
- [36] ZEVO Vráto: Popis projektu. *ZEVO Vráto* [online]. České Budějovice: ZEVO Vráto, c2021 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.zevovrato.cz/zevo-vrato/>
- [37] Zařízení pro energetické využití odpadu v lokalitě Mělník - ZEVO Mělník. *Informační systém EIA* [online]. Mníšek pod Brdy: Středisko odpadů Mníšek, 2017 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX01aUDQ3NI9kb2t1bWVudGFjZURPQ18xMzg0MTQ1Njg5Mjg3MTg0NjYxLnBkZg/MZP476_dokumentace.pdf
- [38] Cíle a efekty projektu. *EVO Komořany* [online]. Most: EVO - Komořany, c2020 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.evokomorany.cz/cile-a-efekty-projektu>
- [39] Výstupy spalovny. *EVO Komořany* [online]. Most: EVO - Komořany, c2020 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.evokomorany.cz/vystupy-spalovny>
- [40] Soud rozhodl s konečnou platností: stavební povolení na spalovnu platí. *EVO Komořany* [online]. Most: EVO - Komořany, c2020 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.evokomorany.cz/tiskove-zpravy/soud-rozhodl-s-konecnou-platnosti-stavebni-povoleni-na-spalovnu-plati>
- [41] Územní energetická koncepce hlavního města Olomouckého kraje: Aktualizace (2015-2040). *Olomoucký kraj* [online]. Olomouc: SEVEn Energy, 2016 [cit.

- 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.olkraj.cz/uzemni-energeticka-koncepce-cl-538.html>
- [42] Územní energetická koncepce kraje Vysočina: Aktualizace (2017-2042). *Kraj Vysočina* [online]. Praha: SEVEN Energy, 2018 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: https://www.kr-vysocina.cz/assets/File.ashx?id_org=450008&id_dokumenty=4089004
- [43] PROCHÁZKA, Aleš. Citace dopisu [elektronická pošta]. Message to: xdolez86@vutbr.cz. 4. května 2022 15:31 [cit 2022-15-05]
- [44] Type NXPLUS C Fixed-Mounted Circuit-Breaker Switchgear up to 24 kV. *Manualslib* [online]. Munich: Siemens, 2018 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/1931749/Siemens-Nxplus-C.html#manual>
- [45] SAKO BRNO. *Interní dokumentace SAKO Brno: Zaznam ostrovního provozu SAKO z pohledu BNC_190309.*
- [46] Zákon č. 541/2020 Sb. - Zákon o odpadech
- [47] SAKO BRNO. *Interní dokumentace, PSP a zásobování el. energií*
- [48] PAZDERA, Ladislav a Pavel FRONĚK. Projekt rekonstrukce spalovny komunálních odpadů SAKO Brno. *Kranimex* [online]. Praha: Kraminex, b.r. [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://www.kranimex.cz/projekt-rekonstrukce-spalovny-komunalnich-odpadu-SAKO-Brno>
- [49] *Kodex přenosové soustavy: Část V. Bezpečnost provozu a kvalita na úrovni PS* [online]. In: . Praha: ČEPS, 2020, [cit. 2021-11-09]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>
- [50] SALÁK, Pavel. SAKO BRNO. *Interní dokumentace, Místní provozní a bezpečnostní předpisy rozvodna VN a NN.* Brno, 2012.
- [51] SAKO BRNO. *Interní dokumentace, Nákup, výroba, dodávka a spotřeba elektrické energie - rok 2021.*
- [52] Energetické využití odpadu. *SAKO Brno* [online]. Brno: SAKO Brno, c2018 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/pro-brnaky/cz/801/energeticke-vyuziti-odpadu/>
- [53] SAKO BRNO. *Interní dokumentace, Provozní předpisy: Třífázový synchronní generátor s bubnovým rotorem.*
- [54] PERNICA, Vladimír. SAKO BRNO. *Informace získané při telefonním rozhovoru.* 25. května 2022.
- [55] SALÁK, Pavel. SAKO BRNO. *Informace získané při osobním setkání.* 27. dubna 2022.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

CZT	Centrální zásobování teplem
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
ČR	Česká republika
DS	Distribuční síť
EDU	Elektrárna Dukovany
ES	Elektrizační soustava
EU	Evropská unie
FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
HW	Hardware
JE	Jaderná elektrárna
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
LED	Light emitting diode (světlo emitující dioda)
NN	Nízké napětí
OP	Ostrovní provoz
OZ	Opětovné zapnutí
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav
PS	Přenosová síť
RoCoF	Rate of change of frequency (rychlost změny frekvence)
SW	Software
SZTE	Soustava zásobování tepelnou energií
VE	Vodní elektrárna
VM	Výrobní modul
VN	Vysoké napětí
VUT	Vysoké učení technické v Brně
ZEVO	Zařízení pro energetické zpracování odpadu
ZP	Zemní plyn

Symbols:

I_f	efektivní proud	(A)
I_k	jmenovitý zkratový proud	(A)
i_p''	nárazový zkratový proud	(A)
I_r	jmenovitý proud	(A)
$I_{\text{vyp.n}}$	jmenovitý vypínací proud	(A)
P	činný výkon	(W)
Q	jalový výkon	(Var)
U	napětí	(V)
U_f	fázové napětí	(V)
U_r	jmenovité napětí	(V)
U_s	sdrúžené napětí	(V)

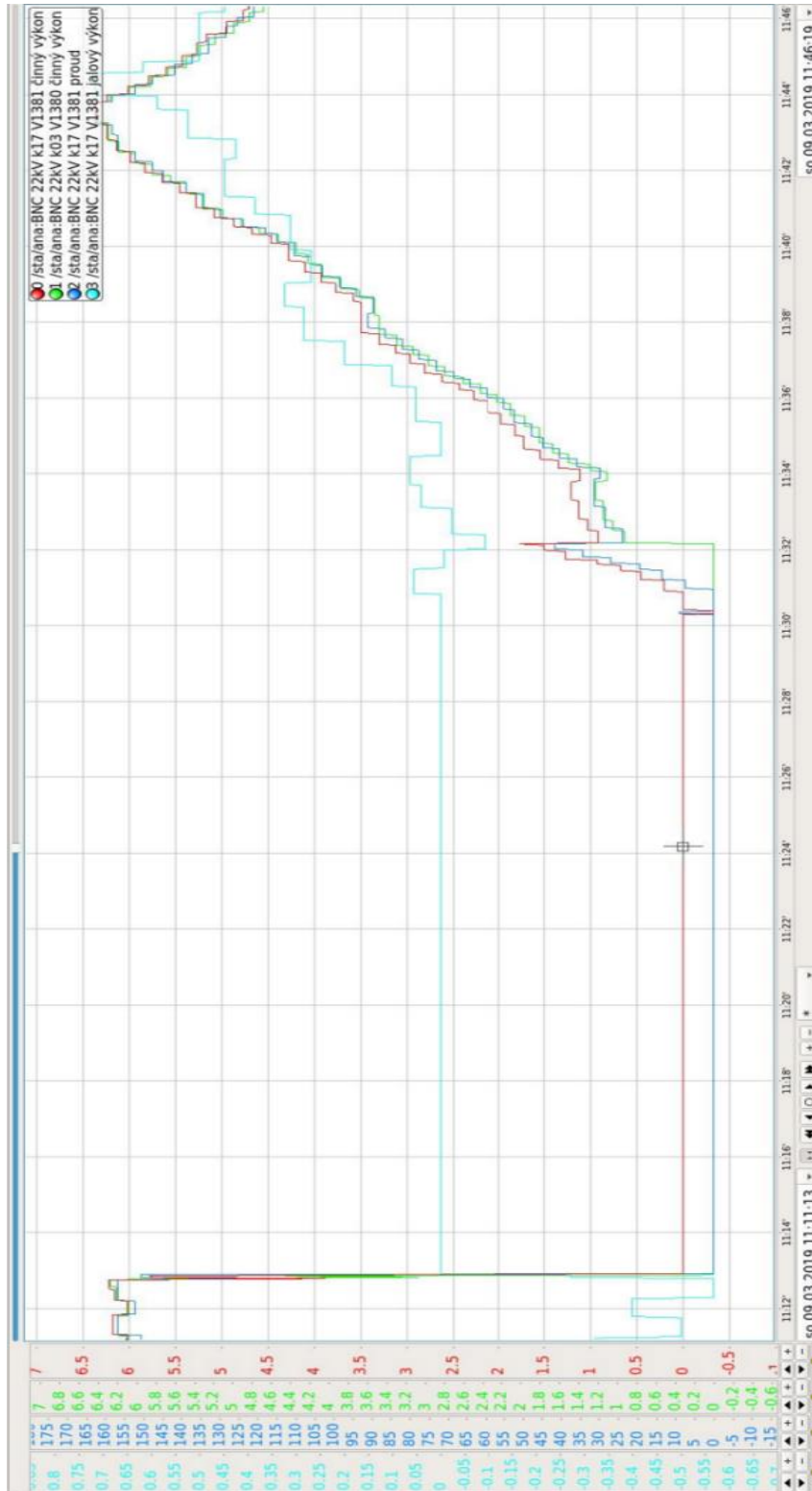
SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - BUNKR PRO SKLADOVÁNÍ ODPADU ZEVO SAKO BRNO [10]	49
PŘÍLOHA B - ZÁZNAM OP Z POHLEDU ROZVODNY, DO KTERÉ JE VYVÁDĚN VÝKON ZE SAKO BRNO [45].....	50
PŘÍLOHA C - ROZVADĚČ SIEMENS V ZAŘÍZENÍ SAKO BRNO.....	51

Příloha A - Bunkr pro skladování odpadu ZEVO SAKO Brno [10]



Příloha B - Záznam OP z pohledu rozvodny, do které je vyváděn výkon ze SAKO Brno [45]



Příloha C - Rozvaděč Siemens v zařízení SAKO Brno

