

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Hodnocení možnosti ostrovního provozu Plzeňské Teplárenské a.s.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš MASTNÝ**
Osobní číslo: **E15B0018K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Hodnocení možnosti ostrovního provozu Plzeňské Teplárenské a.s.**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Představte problematiku ostrovního provozu v ČR.
2. Uveďte rozdíly mezi standardním a ostrovním provozem.
3. Popište současný stav možnosti ostrovního provozu v Plzeňské Teplárenské a.s.
4. Navrhněte inovaci současného stavu řešené problematiky.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

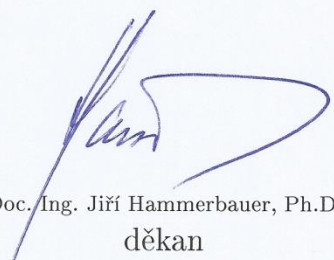
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Václav Mužík

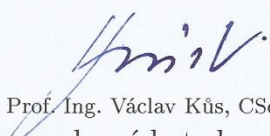
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2018**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na shrnutí problému Ostrovního provozu teplárenského energetického zdroje se zvláštním zaměřením na Plzeňskou teplárenskou a.s. Cílem je podání ucelené informace o schopnostech Plzeňské teplárenské a.s. k přechodu a udržení dvou Plzeňských ostrovů po dobu trvání krizového stavu.

Klíčová slova

Ostrovní provoz, blackout, Plzeňské ostrovy, podpůrné služby, krizový stav, start ze tmy

Abstract

This bachelor thesis is focused on the summary of the problem of the Island mode of heating power plant with special focus on Plzeňská teplárenská a.s. The aim is to provide comprehensive information on the capabilities of Plzeňská teplárenská a.s. to the transition and maintenance of two Pilsen islands for the duration of the crisis.

Key words

Island operation, blackout, Pilsen islands, ancillary services, emergency operation, blackstart

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 1.6.2018

Lukáš Mastný

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Mužíkovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce a také celému pracovnímu kolektivu Plzeňské Teplárenské, zvláště pak pracovníkům na „Zelené“ směně za poskytnutí cenných informací z praxe.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
ÚVOD	13
1 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA	14
1.1 ROZDĚLENÍ ES	14
1.2 PROVOZOVATEL PŘENOSOVÉ SOUSTAVY ČEPS A.S.	15
1.3 PODPŮRNÉ SLUŽBY	15
2 OSTROVNÍ PROVOZ	18
2.1 DRUHY OSTROVNÍHO PROVOZU	19
2.2 FREKVENČNÍ RELÉ	19
2.3 PLÁN PLZEŇSKÝCH OSTROVŮ	21
2.4 STATIKY OTÁČKOVÉ REGULACE	24
2.5 ROZDÍLY MEZI STANDARDNÍM A OSTROVNÍM PROVOZEM	26
2.6 PŘECHOD DO OSTROVNÍHO PROVOZU	26
2.7 OMEZENÍ TECHNOLOGICKÉHO CELKU	28
2.7.1 Omezení kotlů	28
2.7.2 Omezení turbosoustrojí	29
2.8 STAV PALIVA PŘI OSTROVNÍM PROVOZU	29
3 BLACKOUT	33
3.1 MOŽNÉ SCÉNÁŘE	35
4 MOŽNOSTI ZLEPŠENÍ	36
4.1 VYTVOŘENÍ PLÁNU STARTU V KOOPERACI S PLZEŇSKOU ENERGETIKOU A.S.	36
4.2 ZAVEDENÍ STARTU ZE TMY	36
4.3 ZAVEDENÍ PODPORY VTRV PŘI SKOKOVÉM SNÍŽENÍ SPOTŘEBY NEBO VÝPADKU NA VLASTNÍ SPOTŘEBU ..	37
5 ZÁVĚR	38
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	39

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Schéma přenosové soustavy ČR 400 a 220 kV [2]	14
Obr. 1.3.1 Část skutečného plánu výroby Plzeňské teplárenské a.s. pro neděli 29. 4. 2018	16
Obr. 1.3.2 Poměrné zastoupení zdrojů v poskytování Podpůrných služeb v r. 2017 [14]	16
Obr. 1.3.3 Poměrné zastoupení zdrojů v poskytování PR v r. 2017 [14]	17
Obr. 2.1 Grafické znázornění vytvoření ostrovů [15]	18
Obr. 2.2.1 Přední a zadní pohled na Frekvenční relé Frea 16 v rozvodně Plzeňské teplárenské a.s.	20
Obr. 2.2.2 Principiální schéma frekvenčního relé Frea 16 [5]	21
Obr. 2.3.1 Schéma Plzeňských ostrovů s vyznačenými akčními vypínači [11]	23
Obr. 2.3.2 Situační schéma linek 110kV na území města Plzně [12]	23
Obr. 2.4 Průběh otáčkové regulace	25
Obr. 2.6.1 Zobrazení závislosti činného a jalového výkonu na napětí a kmitočtu [7]	28
Obr. 2.8.1 Spotřeba uhlí za měsíc únor (minulý měsíc)	31
Obr. 2.8.2 Schéma dopravníků (pro pochopení údajů z Obr. 2.8.1)	31
Obr. 4 Satelitní pohled na výpadek v USA a Kanadě v roce 2003[10]	35

Přílohy:

Příloha 2.1 Najížděcí diagram turbíny TG1

Příloha 2.8.1 Odhad průměrného výkonu TG1 grafickou metodou za měsíc únor

Příloha 2.8.2 Odhad průměrného výkonu TG2 grafickou metodou za měsíc únor

Seznam tabulek

Tab. 2.3.1 Nastavené hladiny frekvenčních relé [2] [3].....	22
Tab. 2.3.2 Vymezení frekvence v Hz pro pásma provozu [1]	24
Tab. 2.8.1 Dovoz uhlí za měsíc únor	30

Seznam symbolů a zkratk

ES.....	Elektrárenská soustava
PS.....	Přenosová soustava
PR.....	Primární regulace frekvence
SR.....	Sekundární regulace výkonu
SRUQ.....	Sekundární regulace U/Q
U.....	Napětí [V]
P.....	Činný výkon[W]
Q.....	Jalový výkon[VAr]
S.....	Zdánlivý výkon[VA]
MZt.....	Minutová záloha
t.....	čas
SV30.....	Snížení výkonu
OP.....	Ostrovní provoz
BS.....	Start ze tmy
n.....	Otáčky[ot/min]
f.....	frekvence[Hz]
p.....	počet pólových párů
TG 1,2,2.....	Turbosoustrojí 1,1,3
V12xx.....	Linky elektrického vedení
PLTEP a.s.....	Plzeňská teplárenská a.s.
PE a.s.....	Plzeňská energetika a.s.
VTRV.....	Vysokotlaké regulační ventil
RZV.....	Rychlozávěrné ventily
ΔP	Změna výkonu generátoru[MW]
Δf	Změna frekvence[%]
P_{max}	Maximální výkon generátoru[MW]

f_n	Normální síťová frekvence[Hz]
f_1	Snížená/zvýšená frekvence způsobená nerovnováhou výkonu a spotřeby[Hz]
J	Moment setrvačnosti rotorů turbogenerátoru[kgm ²]
ω	Úhlová rychlost rotorů turbogenerátoru[rad/s]
M_T	Moment turbíny[Nm]
M_E	Moment generátoru[Nm]
T_m	Mechanická časová konstanta[s]
P_T	Výkon turbíny[W]
P_E	Výkon elektrický[W]
K	Množství páry potřebné k výrobě jedné MWh[t/h]
i	Entalpie[kJ/kg]
ΔP_{max}	Maximální skoková změna výkonu
m_u	Množství uhlí
m_s	Množství uhlí na skládce
Q_n	Průměrná výhřevnost hnědého uhlí

Úvod

Práce je zaměřena na shrnutí (rešerže) problému ostrovního provozu jako poslední podpůrné služby poskytované provozovateli přenosové soustavy sloužící k odvrácení krizového stavu a zachování dodávky se zvláštním zaměřením na realizaci této služby na části městě Plzně Plzeňskou Teplárenskou a.s.

Ostrovní provoz je a do zvládnutí akumulčních technologií, či technologií SMART v energetice bude důležitou schopností Našich elektráren s velkým dopadem jak ekonomickým tak bezpečnostním při jeho užitečnosti při odvrácení krizových stavů, kterých při současném trendu v energetice, tedy zvyšujícím se počtu vůbec nebo špatně regulovaných zdrojů obnovitelné energie, zvyšujícím se počtu připojených malých problematicky řízených zdrojů energie do distribuční sítě, stále se zvyšující spotřebou a nedostatečnou modernizací přenosových i distribučních sítí může jen přibývat.

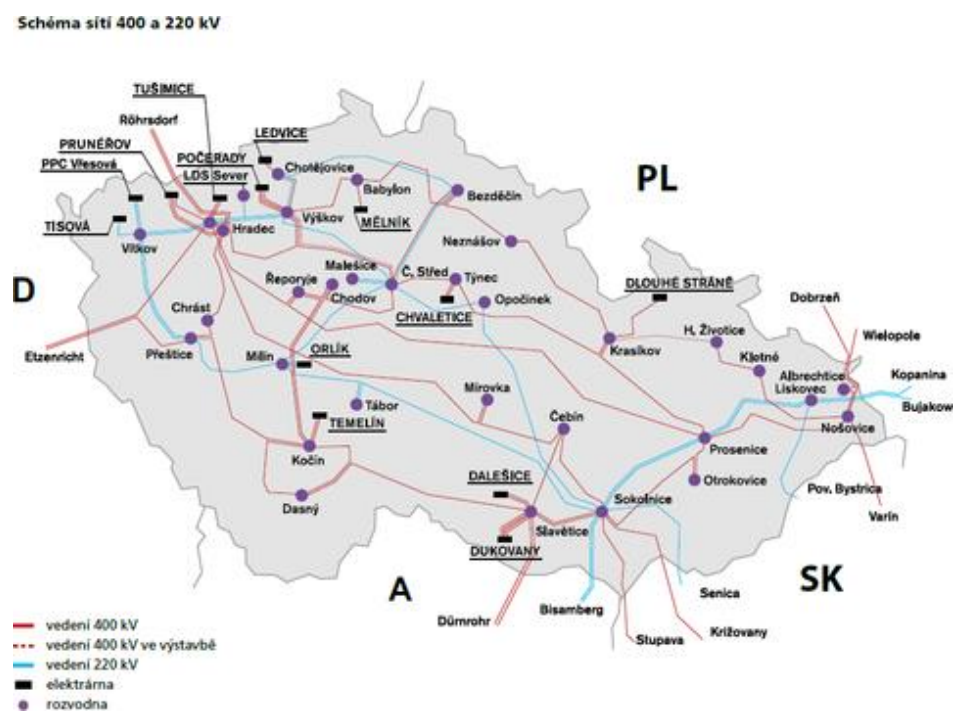
1 Elektrizační soustava

Elektrizační soustava začíná generátorem a končí přípojkou, obecně je to soubor zařízení určených k výrobě, přenosu a distribuci elektrické energie. Dále ji tvoří i systémy ochranné, měřicí, řídicí a informační. Jejím úkolem je zajistit dodávku elektrické energie odběratelům, a to při splnění požadované kvality, spolehlivosti, hospodárnosti a ekologických nároků.

Za nejdůležitější prvek považujeme elektrické vedení, které zprostředkovává přenos elektrické energie mezi výrobou a spotřebou, čímž vytváří základ celé soustavy. Má dva důležité úkoly. Za prvé propojení velkých tepelných, vodních a jaderných elektráren a přenos velkého výkonu po linkách 400kV a 220kV do míst napájecích uzlů. A za druhé dodávku po transformaci na linkách 110kV a 22kV do míst spotřeby. [13]

1.1 Rozdělení ES

- Elektrárenská soustava (ES) se skládá z prvků podílejících se na výrobě a vyvedení elektrické energie z elektrárenských bloků (generátory a blokové transformátory)
- Přenosová soustava (PS) slouží k přenosu elektrické energie po celém území ČR a zároveň spojuje ES ČR s ES okolních států pomocí vedení 400kV a 220kV. PS spravuje Čeps a.s. Jeho hlavním úkolem je řízení výkonové bilance. [13]



Obr. 1.1 Schéma přenosové soustavy ČR 400 a 220 kV [2]

- Distribuční soustava, která se skládá ze soustav jednotlivých provozovatelů, a to ČEZ distribuce a.s., E.ON distribuce a.s. a PREdistribuce a.s. Jejím úkolem je zajištění dodávky elektřiny k jednotlivým odběratelům, k čemuž využívá vedení 110kV a 22kV. [13]

1.2 Provozovatel přenosové soustavy Čeps a.s.

Čeps a.s. je jediným a výhradním provozovatelem přenosové soustavy v České Republice na základě licence dle zákona č. 458/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Jejím jediným akcionářem je Ministerstvo průmyslu a obchodu a proto je to státní podnik. Jeho cílem je zajištění spolehlivého a bezpečného provozu a rozvoje elektrizační přenosové soustavy a to v rámci domácího i mezinárodního prostředí.

Jeho hlavní prací je přenos elektřiny z míst výroby do míst spotřeby při respektování kvalitativních parametrů (tzv. Systémové služby), a to hlavně velikosti napětí a frekvence. Přičemž kvalita elektrické energie je určena normou ČSN EN 50160 a to tak, že frekvence musí být 99,5% roku v intervalu 49,5-50,5Hz a nikdy nesmí být mimo interval 47-52Hz a 95 % efektivních hodnot napětí nn sítě měřených v desetiminutových intervalech musí být v rozmezí +/-10%. Frekvence sítě je přímo úměrná nerovnováze výroby a spotřeby a napětí řízení jalového výkonu. Toto probíhá skrze dispečink.

Čeps má dispečinky dva jeden hlavní v Praze a jeden záložní ke zvýšení bezpečnosti v Ostravě. Dispečink ke své práci využívá možnosti dálkové rekonfigurace rozveden přenosové soustavy, podpůrné služby a spojení s dispečinky okolních států, distribuční soustavy a samotných elektrárenských bloků. [1][6]

1.3 Podpůrné služby

Podpůrné služby jsou nástroje umožňující bezproblémové poskytování služeb Systémových, jsou to Primární regulace frekvence (PR), Sekundární regulace výkonu (SR), Sekundární regulace U/Q (SRUQ), Minutová záloha 5,15+/- (MZt+/-), Snížení výkonu (SV30), Ostrovní provoz (OP) a Start ze tmy (BS). Tyto mohou poskytovat všichni výrobci dle možností jednotlivých technologií.

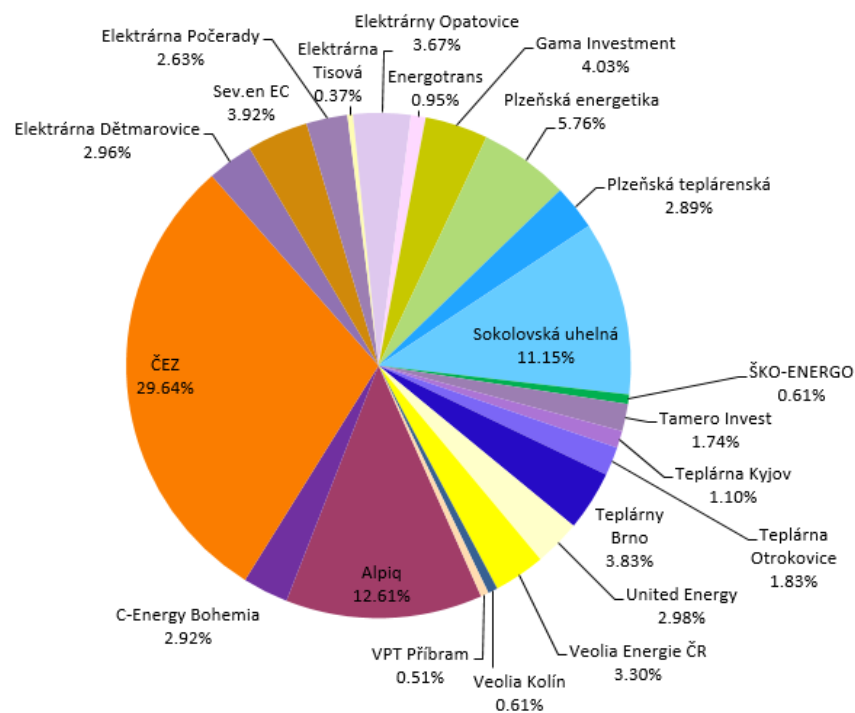
Podpůrné služby Čeps a.s. nakupuje pomocí výběrového řízení, přímé smlouvy nebo operativně na denním trhu s elektřinou.

Plzeňská teplárenská poskytuje Primární regulaci obvykle v rozsahu 6MW, Sekundární

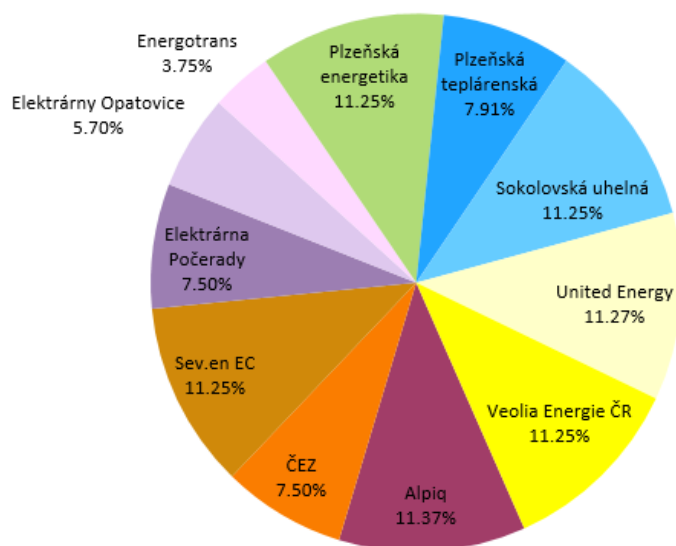
regulaci v proměnném rozsahu a Minutovou zálohu 15+/- také v proměnném rozsahu a Ostrovní provoz pouze na TG1 a TG2. [1]

Certifikát		FB TG(2)+TG1 (4MW / 67 MW)															
neděle		00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
neděle 29.4.2018	jedn./hod.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
měsíční pásmo	(MW)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
NÁKUP ELE	(MW)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLEX FB CELKEM	(MW)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1
PR	(MW)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
SR	(MW)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
MZ 15+	(MW)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
MZ15-	(MW)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VLASTNÍ SPOTŘEBA	(MW)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Pdg netto "SKUTEČNOST"	(MW)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	21	21	21	21	21	21
Damas Pdg "SKUTEČNOST"	(MW)	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	27	27	27	27	27	27
SKUTEČNOST	Pmax (MW)	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	60	60	60	60	60	60
	Pmin (MW)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	6	6	6	6

Obr. 1.3.1 Část skutečného plánu výroby Plzeňské teplárenské a.s. pro neděli 29. 4. 2018



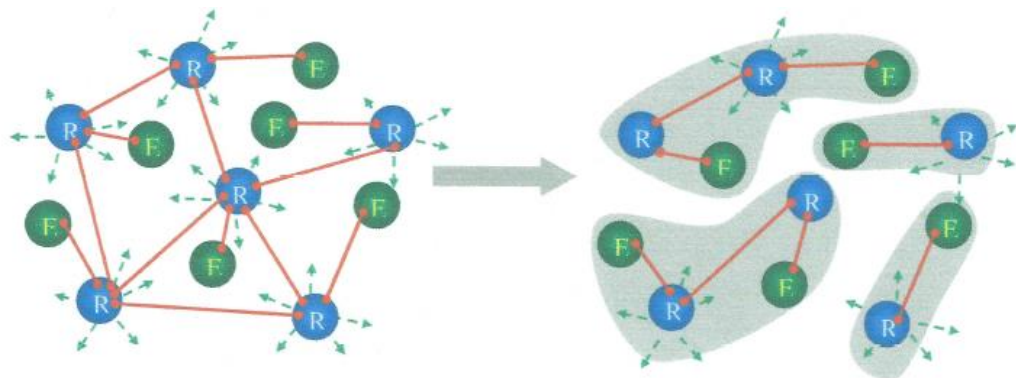
Obr. 1.3.2 Poměrné zastoupení zdrojů v poskytování Podpůrných služeb v r. 2017 [14]



Obr. 1.3.3 Poměrné zastoupení zdrojů v poskytování PR v r. 2017 [14]

2 Ostrovní provoz

Ostrovní provoz je provoz pouze jednoho nebo několika zdrojů do vydělené části elektrické soustavy. Jako podpůrná služba je to pro Čeps a.s. poslední nástroj k zabránění totálního rozpadu sítě nebo dokonce blackoutu (kapitola 3). Největším přínosem OP je tedy schopnost zastavení tzv. kaskádovitěho rozpadu sítě, vzniklého nedodržením pravidla N-1 (kapitola 4), bez omezení dodávky elektrické energie. Kaskádovitý rozpad vznikne při výpadku např. vedení, kdy podle Kirchhoffových zákonů přejde výkon přenášený tímto vedením na jiné paralelně zapojené, které také přetíží. Tímto způsobem vzniká stále větší deficit přenosových cest. Další velkou výhodou schopnosti OP je hlavně pro teplárenské provozy možnost výpadku na vlastní spotřebu a s tím spojená schopnost provozu čistě teplárenského (bez dodávky elektrické energie), tedy nedochází k výpadku dodávky tepla a zároveň dochází k významnému snížení nákladů a potřebného času k obnovení standardního provozu. OP tedy velkou měrou zvyšuje bezpečnost a ekonomičnost dodávky elektrické energie. Schopnost OP je legislativně podložena vyhláškou č.80/2010 sb., o stavu nouze v elektrotechnice a havarijním plánu. [1] [15]



Obr. 2.1 Grafické znázornění vytvoření ostrovů [15]

OP má však značně zvýšené nároky na regulační schopnosti zdroje. Změny zatížení ostrova jsou proměnné a tím vyvolané změny napětí a frekvence musí být blok schopen řešit svou autonomní regulací (oproti paralelnímu provozu kdy jsou změny napětí a frekvence řešeny prostřednictvím podpůrných služeb). Nejkritičtější je ale samotný přechod z běžného provozu. Dochází při něm k náhlým a velkým změnám frekvence (regulace činného výkonu) a napětí (regulace jalového výkonu), které musí být vyregulovány. Je nutné okamžitě zajisti především:

- Změnu režimu regulace bloku na proporcionální regulaci otáček
- Odpojení dálkové regulace výkonu (všechny podpůrné služby)

- Přepnutí potřebných regulací bloku do režimu vhodného pro OP

Negativem je také umístění výroby a spotřeby elektrické energie, které bohužel neumožňuje touto metodou zabezpečit dodávku elektrické energie na celém území ČR. Nicméně plusy převyšují mínusy v podobě zvýšených, hlavně finančních požadavků na technologické vybavení, nároků a podle mě by měl alespoň chod na vlastní spotřebu umět každý moderní zdroj. [1] [15]

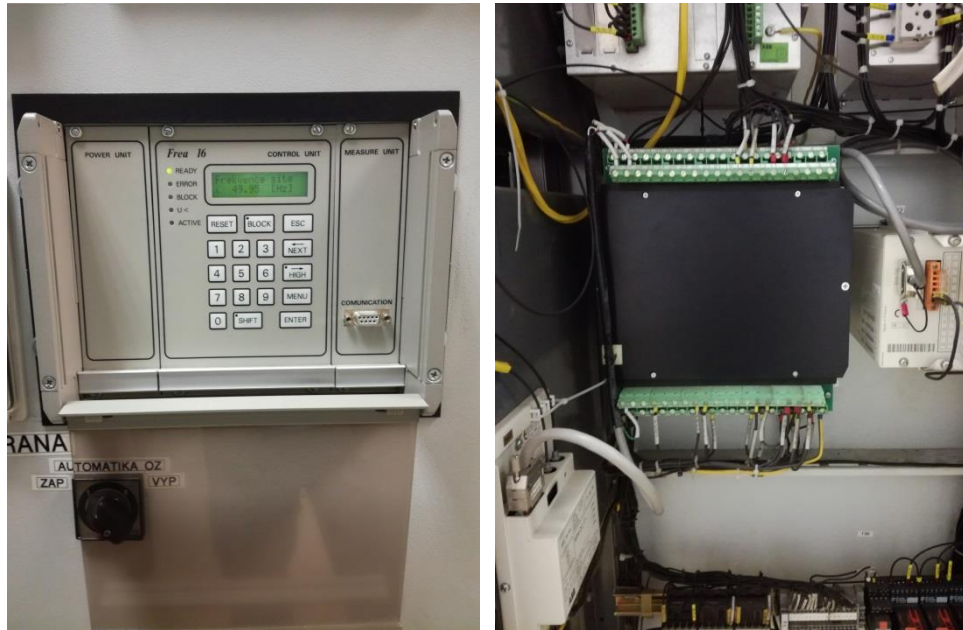
2.1 Druhy ostrovního provozu

Ostrovní provoz můžeme rozdělit na provoz do vydělené části ES nebo provoz na vlastní spotřebu. V praxi je výpadek na vlastní spotřebu vždy řazen jako další ochrana za provozem do vyděleného ostrova, tedy k samotnému zásahu výstupního vypínače dojde po dosažení nižší frekvence než frekvence určené k vytvoření vydělené části ES. [1]

Schopnost provozu na vlastní spotřebu je velice důležitá, protože v případě jeho neuskutečnění dojde k výpadku nejen dodávky elektřiny, ale i elektřiny potřebné pro chod samotné elektrárny (uvažujme výpadek vlivem rozpadu sítě = nedodávka ze strany sítě). Veškerá elektrárenská zařízení jsou konstruována, aby dokázala v takové situaci bezpečně odstavit, ale problémem je velká časová náročnost najetí (viz příloha 2.1 Najížděcí diagram turbíny TG1).

2.2 Frekvenční relé

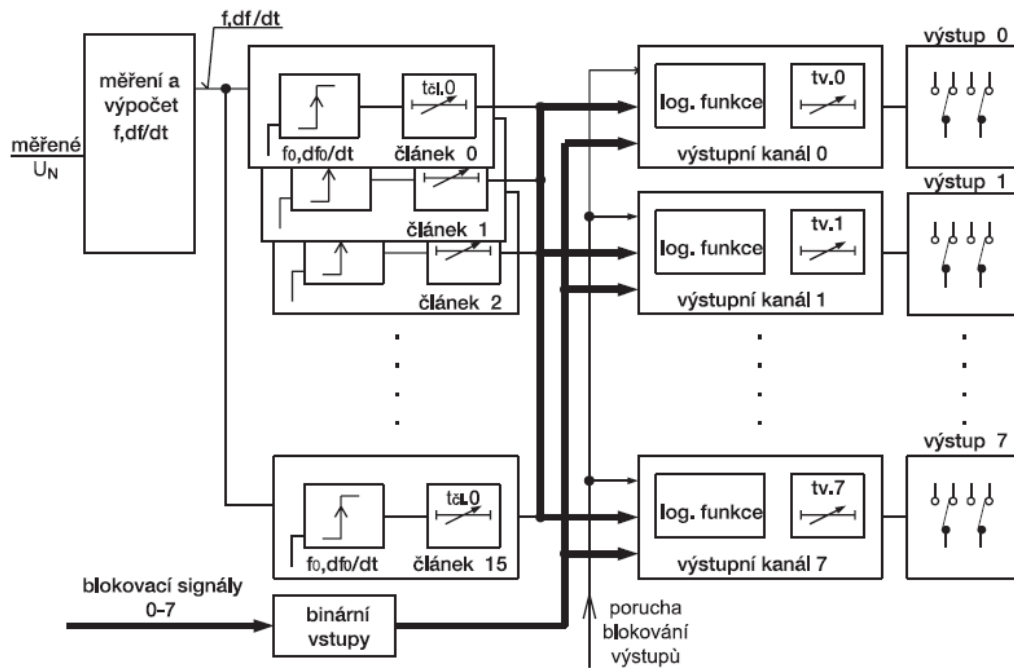
Jako vyhodnocovače změn frekvence jsou na území města Plzně použita mikropočítačová frekvenční relé Frea16. Jsou to místně plně programovatelná relé s šestnácti nezávislými výstupy ovládanými články měřícími frekvenci a její derivaci a články pro případné zpoždění. Relé jsou umístěna v městských rozvodnách 110kV a v rozvodně 110kV Plzeňské teplárenské a.s. [5]



Obr. 2.2.1 Přední a zadní pohled na Frekvenci relé Frea 16 v rozvodně Plzeňské teplárenské a.s.

Základní parametry:	- Rozsah:	45-55 Hz
	- Krok nastavení	10 mHz
	- Přesnost měření frekvence	0,005 Hz
	- Derivační složka	0,01-32 Hz/s
	- Krok nastavení	0,01 Hz/s
	- Přesnost měření df/dt	0,05 Hz/s

U všech použitých relé je nastavený základní měřicí interval na 5 period (to je 0,1s). Základní měřicí čas je čas potřebný ke změření nového vzorku a tedy i nejkratší čas k případné aktivaci výstupu. A interval pro nulování příznaku působení 1 perioda (to je 0,02s). [5]



Obr. 2.2.2 Principiální schéma frekvenčního relé Frea 16 [5]

2.3 Plán plzeňských ostrovů

Jelikož se dále v textu často vyjadřuji o změnách frekvence nebo otáčkách, podle toho zda zrovna mluvím o technologické části nebo o připojené zátěži, je nutné poznamenat, že obě veličiny jsou spolu svázány a jejich přepočítání je možné podle následující rovnice.

$$n = (60 \cdot f) / p \text{ [ot/min, Hz, -]} \quad (2.3)$$

Kde n jsou otáčky turbosoustrojí, f je frekvence zátěže a p je počet pólových párů, u turbogenerátorů roven 1.

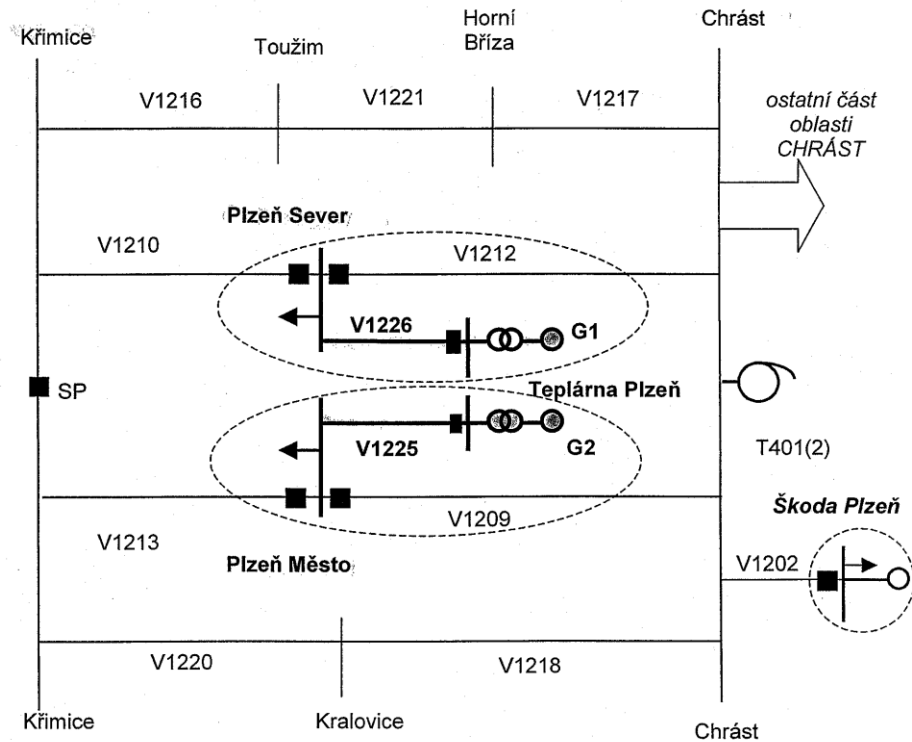
V následujícím odstavci budou použity pro vyjádření odchylky frekvence výrazy např. **49,6Hz/6,5s**, kde 49,6Hz je nastavená hladina frekvence, při které dojde k nastavenému zásahu a 6,5s je zpoždění zásahu frekvenčního relé. Pro vyjádření derivace, tedy rychlosti změny frekvence budou použity výrazy např. **8Hz/s/0,1s**, kde 8Hz/s je nastavená hladina derivace, tedy rychlosti změny frekvence, při které dojde k nastavenému zásahu a 0,1s je zpoždění zásahu frekvenčního relé (v tomto případě však 0,1s není zpoždění ale základní měřicí čas relé (viz předchozí kapitola)). Při např. **20Hz/s/0,1s** je třeba si uvědomit, že k zásahu dojde již při poklesu o 2Hz, tedy při 48Hz.

Vydělení plzeňských ostrovů sestává ze 4 frekvenčně na sebe navazujících zásahů frekvenčních relé skrze příslušné vypínače:

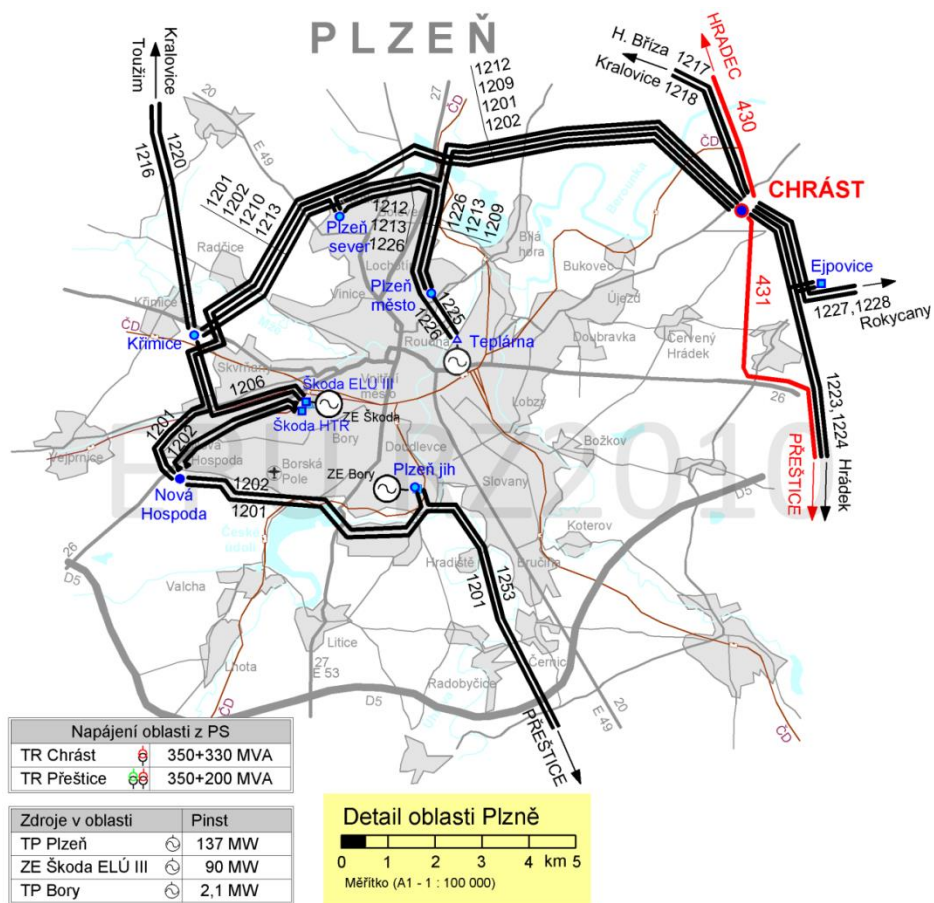
- Při 49,6Hz/0,1s dojde k samotnému vydělení ostrovů. Ostrov Plzeň město vznikne vypnutím vypínačů na linkách V1213 a V1209 a je napájený turbosoustrojím TG2 skrze vývodovou linku V1225. Za standardního provozu do této linky jedou paralelně turbosoustrojí TG2 a TG3, jelikož ale TG3 ostrovní provoz neumí je tato frekvenční hladina i povel pro její odstavení. Ostrov Plzeň sever vznikne vypnutím vypínačů na linkách V1210 a V1212 a je napájen turbosoustrojím TG1 skrze vývodovou linku V1226. Při obou operacích se samozřejmě předpokládá výchozí stav konfigurace rozvodny Plzeňské teplárenské TG1 do V1226 a TG2+TG3 do V1225, který je za běžného bezporuchového stavu.
- Při 49,6Hz/6,5s dojde k odlehčení konzumů ostrovů vypnutím předvolených vypínačů v rozvodnách 22kV vyvolených podle jejich stupně důležitosti dodávek a co možná nejmenšího omezení odběratelů. Při odlehčení počítáme s hodnotou 11,1MW pro ostrov Plzeň město a 4,5MW pro ostrov Plzeň sever. Hodnoty jsou ze zimního měření roku 2009.
- Při 49,6Hz/10s nebo 49,6Hz/0,1 při současné rychlosti poklesu 8Hz/s/0,1s dojde k výpadku obou turbosoustrojí na vlastní spotřebu vypnutím vypínačů na vývodových linkách V1226 pro TG1 a V1225 pro TG2 v rozvodně PLTEP a.s. Tuto situaci již považujeme za selhání, Plzeňské ostrovy jsou bez napájení, ale Turbosoustrojí jsou připravena na v podstatě okamžité fázování.
- Při 48Hz/2s nebo 49,6Hz/0,1s při současné rychlosti poklesu 20Hz/s/0,1s nebo 54,8Hz/0,1s nebo 50,5Hz/0,1s při současné rychlosti vzrůstu 16Hz/s/0,1s dojde k odstavení obou turbosoustrojí generátorovými vypínači. [2] [3]

Nastavená hladina:	Zásah:
49,6Hz/0,1s	oddělení ostrovů
49,6Hz/6,5s	odlehčení konzumů ostrovů
49,6Hz/10s nebo 49,6Hz/0,1s při 8Hz/s/0,1s	oddělení TG na vlastní spotřebu
48Hz/2s nebo 49,6Hz/0,1s při 20Hz/s/0,1s	odstavení TG
54,8Hz/0,1s nebo 50,5Hz/0,1s při 16Hz/s/0,1s	odstavení TG

Tab. 2.3.1 Nastavené hladiny frekvenčních relé [2] [3]



Obr. 2.3.1 Schéma Plzeňských ostrovů s vyznačenými akčními vypínači [11]



Obr. 2.3.2 Situační schéma linek 110kV na území města Plzně [12]

Při porovnání nastavených hladin s tabulkou vyjadřující obecná pásma provozu můžeme spatřit, že pro podfrekvence se turbosoustrojím nedostane mimo pásmo normálního provozu, ale pro nadfrekvence se nastavené hladiny pohybují i nad hranicí pásma nepřijatelného provozu. Tato hladina totiž slouží pouze jako rezerva pro případ selhání nadotáčkových ochran turbosoustrojím.

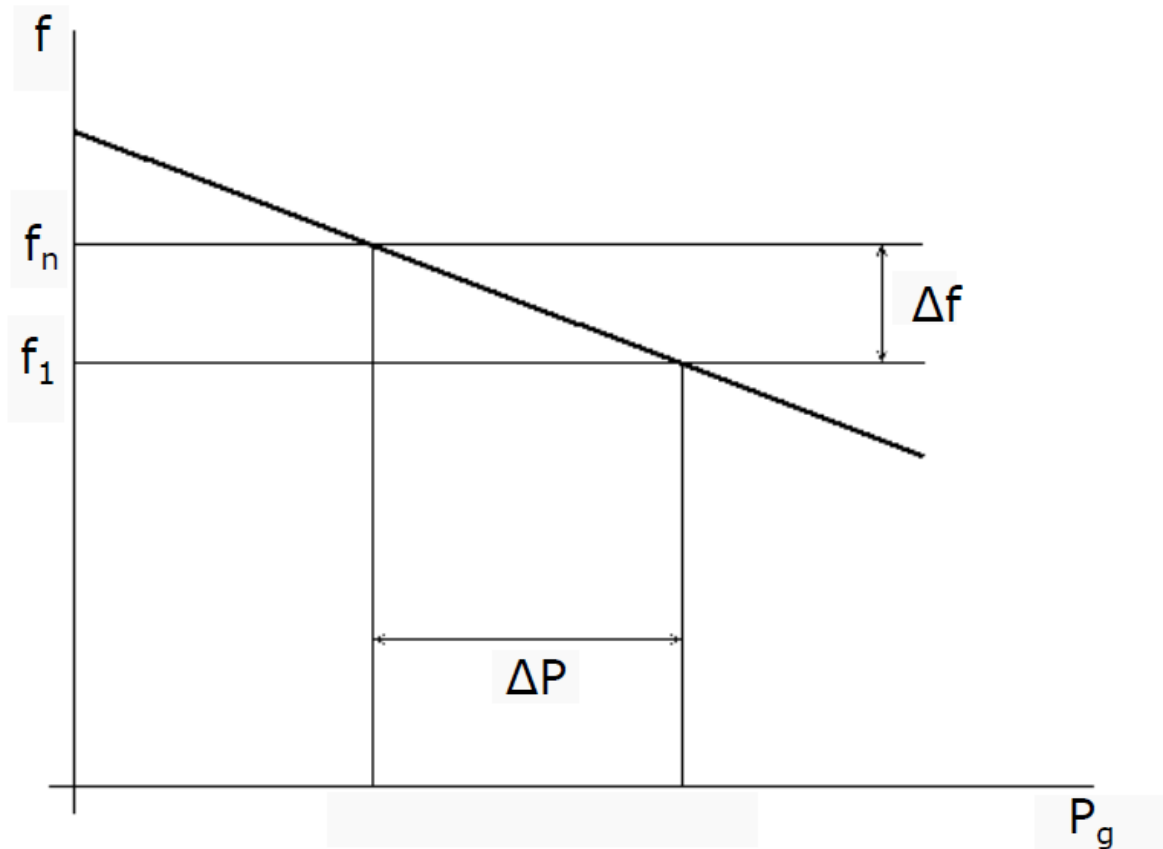
Typ elektrárny	Uhelné	JE		VE	PVE		Paro- plynové	OZE a nové zdroje
Provoz		EDU	ETE		turbína	čerpání		
Normální bez omezení	48.5-50.5	48.5-50.5		48.5-50.5	48.5-50.5	49.5-50.5	48.5-51.5	49-51
Časové omezení	46-48.5 50.5-53	47.5-48.5 50.5-52.5	47.9-48.5 50.5-51.5	46-48.5 50.5-53	46-48.5 50.5-53	49-49.5 50.5-52(53)	48-48.5 51.5-52	47.5-49 51.-51.5
Nepřijatelný	f > 53 f < 46	f > 52.5 f < 47.5	f > 51.5 f < 47.9	f > 53 f < 46	f > 53 f < 46	f > 52(53) f < 49	f > 52 f < 48	f > 51.5 f < 47.5
Automatické odpojení od ES	f > 53 f < 47.5	f > 52.5 f < 47.9	f > 51.5 f < 47.9	f > 50.2(51.5) f < 47.5	f > 50.2(51.5) f < 47.5	f > 52(53) f < 49.8-49.2	f > 52 f < 48	f > 51.5 f < 47.5

Tab. 2.3.2 Vymezení frekvence v Hz pro pásma provozu [1]

2.4 Statiky otáčkové regulace

Ze statistik regulátoru otáček vychází statická frekvenční charakteristika zdroje. Statiky regulace se udávají v % a vyjadřují, při jak velké odchylce od požadovaného stavu regulované veličiny dochází k 100% požadavku regulátoru na akční člen, v našem případě 100% moment na hřídeli, tedy 100% otevření regulačních ventilů (VTRV). Statiky si můžeme představit jako převrácenou hodnotu zesílení regulátoru, tedy čím menší jsou statiky, tím větší je zásah regulátoru.

Při paralelním běhu několika generátorů do společného uzlu nastavení statistik vypovídá o rozdělení regulační odchylky mezi jednotlivé generátory a tedy o změně výkonu jako odpověď na změnu zatížení každého generátoru zvlášť. [2] [3]



Obr. 2.4 Průběh otáčkové regulace

Při uvažování nastavených statik 10% (turbosoustrojí TG1) způsobí odchylka 1% od f_n (50Hz) tedy odchylka 0,5Hz změnu 10% maximálního výkonu turbíny, tedy 7MW. Výkon se bude měnit v závislosti na změně frekvence podle rovnice 2.4.1.

$$\Delta P = \Delta f \cdot \frac{P_{max}}{10} \text{ [MW, \%, MW]} \quad (2.4.1)$$

Kde ΔP je změna výkonu generátoru, Δf je změna frekvence vyjádřena jako procentuální změna od f_n a P_{max} je maximální činný výkon turbosoustrojí.

Rovnice 2.4.2 zobrazuje výpočet Δf .

$$\Delta f = \frac{(f_n - f_1)}{f_n} \cdot 100 \text{ [\%, Hz]} \quad (2.4.2)$$

Kde f_n je normální (požadovaná) frekvence sítě a f_1 je snížená/zvýšená frekvence sítě způsobená nerovnováhou výkonu a příkonu. [2] [3] [7]

2.5 Rozdíly mezi standardním a ostrovním provozem

Při **standardním provozu** je výkon turbosoustrojí regulován podle výkonu na svorkách. Tato regulace reguluje s nastavitelným trendem trvale nastaveným na 4 MW/min. Při této regulaci také turbosoustrojí může poskytovat některé nebo všechny nabízené podpůrné služby, které mimo PR, která je regulovaná skokově maximální rychlostí regulačních ventilů turbíny podle zadané statiky (4,66% při poskytovaných 6MW) jsou regulované se stejným trendem jako regulace prodaného výkonu, tedy 4MW/min. Výkon turbosoustrojí je tedy řízen podle aktuálního ekonomického stavu (aktuální dodávka tepla a aktuálně prodaná dodávka elektrické energie) a stavu sítě (požadavky na podpůrné služby).

Při **přechodu do ostrovního provozu** dojde k odpojení veškerých podpůrných služeb a změně regulace z regulace výkonové na regulaci otáčkovou. Turbosoustrojí je tedy regulováno na 3000 otáček/min se zadanými statikami 10% na TG1 a 8% na TG2. V tomto režimu regulace je jediným omezením při velké fluktuaci spotřeby rychlost samotných regulačních ventilů turbíny.

2.6 Přechod do ostrovního provozu

Nejkritičtější částí celého ostrovního provozu je samotný přechod z provozu běžného. Tento, způsobený podkročením nebo překročením stanoveného kmitočtu a následným vypnutím vypínačů vytvářejících ostrov, se obvykle (mimo případy, kdy se v momentě vypnutí vypínačů shoduje výkon turbíny se spotřebou ostrova) neobejde bez značné změny zatížení, která vyvolá bezprostřední přechodový děj. Největší část tohoto děje proběhne velice rychle a to již během prvních desetin sekund. Na tak rychlou změnu nedokáže funkčně zareagovat samotná regulace turbosoustrojí, která je schopna funkční reakce až v řádu jednotek sekund, natož operátor.

V prvním momentu, ještě před reakcí regulace v turbosoustrojí proběhne přechodový děj, kdy se vyrovnává nový elektrický moment generátoru s původním momentem turbíny podpořeným setrvačnou energií rotující masy oceli, tedy všech rotorů se spojkami a lopatky na straně turbíny a rotorovým vinutím na straně generátoru.

Tento děj proběhne podle následující rovnice.

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_T - M_E \text{ [kgm}^2\text{,rad/s,Nm]} \quad (2.6.1)$$

Kde J je moment setrvačnosti rotující masy, $\frac{d\omega}{dt}$ je změna úhlové rychlosti rotoru, M_T je moment turbíny a M_E je elektrický moment způsobený proudovým zatížením nově vzniklé spotřeby.

Po matematické úpravě do následujícího tvaru je jasně patrná výhodnost velkého setrvačného momentu turbosoustrojí.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_T - M_E}{J} [\text{rad/s, Nm, kgm}^2] \quad (2.6.2)$$

V tomto ohledu nám přináší výhodu trend poslední doby, kdy se nově přešlo z výroby vrtaných turbínových rotorů na výrobu rotorů plných z důvodu levnější výroby. Takovou konstrukcí je již opatřeno turbosoustrojí TG2.

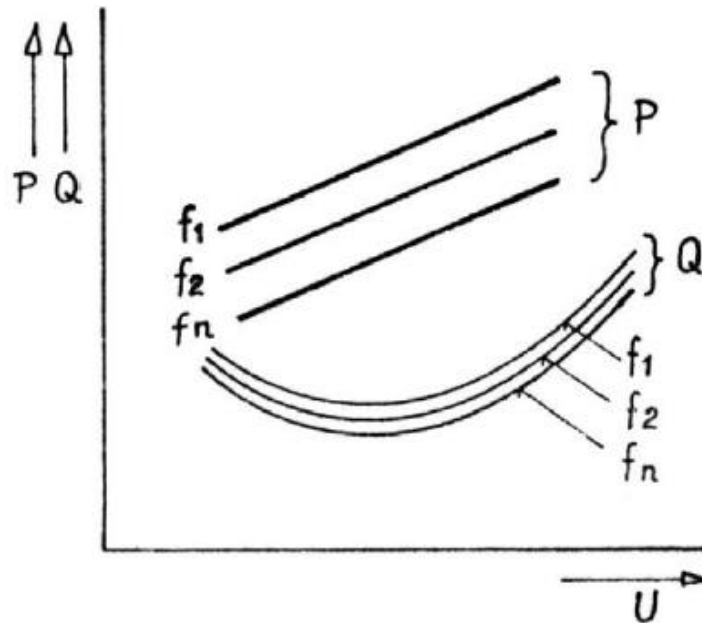
Tento vzorec lze upravit na častěji používaný tvar.

$$\frac{T_m \cdot S}{f_n} \cdot \frac{df}{dt} = P_T - P_E [\text{s, MVA, Hz, MW}] \quad (2.6.3)$$

Kde T_m je mechanická časová konstanta turbosoustrojí, S je zdánlivý výkon turbosoustrojí, f_n je síťová frekvence, $\frac{df}{dt}$ je změna síťové frekvence, P_T je činný výkon turbosoustrojí a P_E je činný výkon spotřeby. [8] [9]

Kromě velkého setrvačného momentu nám samotná síť dává ještě další výhodu, tzv. samoregulační efekt zátěže. Ten dle následujícího obrázku spočívá v různé činné spotřebě zvláště induktivní zátěže, jakou jsou například motory. Tato spotřeba se s poklesem frekvence snižuje a tím, jelikož induktivní část spotřeby je oproti kapacitní významná, snižuje celkovou spotřebu zátěže. [7]

Samoregulační jev ES spolu s velkým setrvačným momentem turbosoustrojí tedy pomáhají k zpomalení poklesu (respektive zvýšení) frekvence (respektive otáček) vlivem přetížení (respektive odlehčení) turbosoustrojí, čímž získává více času k zásahu regulace turbíny a tím oddaluje případné automatické snížení spotřeby odpojením její části, nebo dokonce výpadek na vlastní spotřebu.



Obr. 2.6.1 Zobrazení závislosti činného a jalového výkonu na napětí a kmitočtu [7]

2.7 Omezení technologického celku

Při přechodu do ostrovního provozu má turbosoustrojí krom výše zmíněných omezení dle nastavení frekvenčního relé další omezení z pohledu technologického celku. Tato se dělí na omezení turbíny a omezení kotlů. Technologický celek se skládá ze tří kotlů K4, K5, K6 spojených do společného uzlu napájejících dvě turbíny TG1 o výkonu 78MVA, z toho 70MW a TG2 o výkonu 80MVA, z toho 67MW.

2.7.1 Omezení kotlů

Největším omezením z pohledu skokové změny výkonu jsou kotle. Podle odborníků z Plzeňské teplárenské a.s. je každý jeden kotel schopen skokové změny výkonu o 20 tun páry. Při větší změně výkonu už hrozí prudké snížení tlaku páry vlivem doslova vysátí turbínou a následné odpaření vody z vypařovacího bubnu a výpadek kotle na překročení kritické hladiny. A opačně při snížení výkonu vlivem zvýšeného tlaku může dojít k zvýšení jmenované hladiny. Jako nejnebezpečnější článek se z tohoto pohledu jeví nejnovější kotel K6, který má jmenovaný buben nejmenší. Dalším nebezpečím jsou podavače paliva, které trpí velkou setrvačností způsobenou dlouhými dopravními pásy, proto při snížení výkonu může kotel vypadnout na překročení mezní teploty spalovací komory a naopak při zvýšení výkonu může dojít k zadušení kotle. Z tohoto pohledu se jako nebezpečné články jeví starší kotle K4 a 5. Při změně režimu provozu nicméně nesmí dojít k výpadku žádného z kotlů, jelikož to by

problém jen prohloubilo a došlo by k výpadku i zbylé technologie dominovým efektem.

Z praxe pracovníků Plzeňské teplárenské a.s. je průměrná spotřeba páry 4 tuny na jednu MW výkonu, tato se příliš neliší od teoretického výpočtu.

$$K = \frac{3600 \cdot P}{(i_{vst} - i_{vys}) \cdot \eta_s \cdot \eta_g} = \frac{3600 \cdot 1}{(3500 - 2450) \cdot 0,95 \cdot 0,97} = 3,721 \text{ [t/h,s,MW,kJ/kg,]} \quad (2.7.1.1)$$

Kde P je výkon, i_{vst} je entalpie páry vstupující do turbíny, i_{vys} je entalpie páry vystupující z turbíny, η_s je účinnost spojky a η_g je účinnost generátoru. Při uvažování aritmetického průměru praktické a teoretické hodnoty, tedy 3,8605 t/MW je **maximální skoková změna výkonu 15,5 MW**. [16]

$$\Delta P_{max} = (20 \cdot 3) \div 3,8605 = 15,5 \text{ [MW,t,t/MW]} \quad (2.7.1.2)$$

2.7.2 Omezení turbosoustrojí

Další omezení vnáší turbína TG1, která je na rozdíl od turbíny TG2, která je turbínou kondenzační, turbínou protitlakou (teplárenskou), to znamená, že zbytková pára vystupující z turbíny nekondenzuje v kondenzátoru, ale v protitlakém ohříváku. Tento protitlak má nastavenou výstrahu na 160kPa a odstavení turbíny na 190kPa a je silně závislý na zatížení turbíny. Při větších výkonech se snižuje paralelním zapojením suchého kondenzátoru, kde pára kondenzuje zchlazením pomocí soustavy větráků, ale tyto trpí dlouhou prodlevou při najetí. A právě při prudkém zatížení a nedostatečně rychlému najetí větráků může dojít k zásahu tzv. Omezovací regulace, která, aby snížila tlak v ohříváku, přivře regulační ventily a tím sníží výkon. Když tato zasáhne právě při přecházení do stabilního OP, kdy je velký požadavek na zvýšení výkonu, dojde téměř s jistotou k výpadku na vlastní spotřebu. [2]

2.8 Stav paliva při ostrovním provozu

Při OP musíme předpokládat vysoký svorkový výkon a tedy i velkou a nepředpokládanou spotřebu uhlí. Dále musíme počítat i s možností komplikací v železniční dopravě a s tím spojenou dodávkou uhlí zatíženou zpožděním, či dokonce nedodávkou. Z těchto důvodů je důležité mít dostatečnou zásobu uhlí. Tento požadavek však není nikde jednoznačně definován, nebo dokonce nařizován.

Plzeňská teplárenská a.s. má pro tyto i jiné scénáře v zásobě na skládce vždy asi 25 až 30

tisíc tun uhlí. Nejvíce uhlí je naskladněno v letním období z důvodu nízkých nákupních cen, část se začátkem zimy spálí a v zimním období se udržuje kolem 25 tisíc tun. Mimo uhlí se v kotlích spaluje i malé množství dřevní štěpky, peletek, uhelného kalu a tapu (pryžový materiál). Uhlí je dováženo po železnici kontinuálně během uvažovaného období spotřeby viz Tab. 2.8.1 zobrazující skutečný dovoz uhlí za měsíc únor, při porovnání s Obr. 2.8.1 můžeme vidět, že bylo přivezeno 49490 tun uhlí a spáleno 49616 tun uhlí. Jedná se tedy o dobrý modelový příklad, kdy se podařilo dodržet měsíční plán výroby a během období nebylo třeba spalovat uhlí ze skládky ani uskladňovat přebytky.

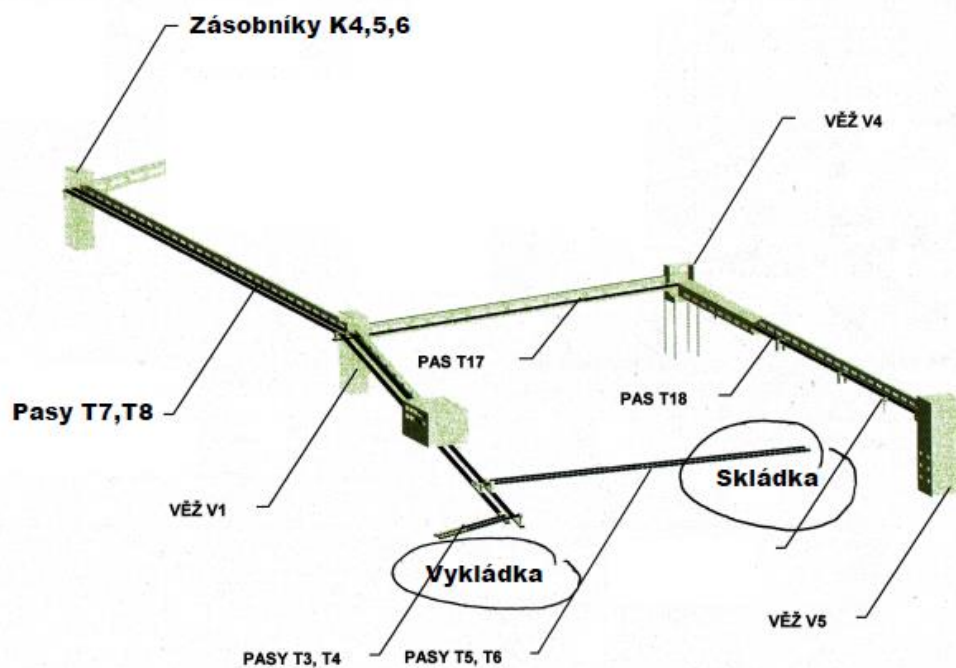
datum vykládky	Množství uhlí (tuny)	počet vozů	datum vykládky	Množství uhlí (tuny)	počet vozů
1	1 730	27	17	1 400	27
2	1 730	13	18	1 730	13
3	1 730	27	20	1 730	13
4	1 730	13	21	1 400	27
6	1 730	13	23	1 730	13
7	1 400	27	23	1 400	27
8	1 400	27	25	1 730	13
9	1 730	13	2	1 500	13
10	1 400	27	6	1 400	27
10	1 400	27	9	1 500	13
11	1 730	13	12	1 400	27
13	1 730	13	13	1 400	27
14	1 400	27	16	1 500	13
14	1 400	27	20	1 400	27
16	1 730	13	23	1 500	13
17	1 400	27	24	1 400	27
Celkem				49 490	654

Tab. 2.8.1 Dovoz uhlí za měsíc únor

Podle následujícího obr. 2.8.1 lze stanovit množství spáleného uhlí za měsíc únor na 49616,3 tun, tato hodnota je součtem množství, které bylo zváženo na dopravnících T7 a T8, které dopravují uhlí dle Obr. 2.8.2 ze skládky do zásobníků kotlů (množství v zásobníku uvažují na začátku a konci měsíce stejný).

	PAS T7	PAS T8	PAS T17
TENTO DEN	135.3 t	170.1 t	110.4 t
MINULÝ DEN	1315.9 t	378.7 t	672.6 t
TENTO MĚSÍC	3615.0 t	1381.3 t	1187.3 t
MINULÝ MĚSÍC	32585.5 t	17030.8 t	5387.3 t
TENTO ROK	70652.0 t	29536.7 t	11141.0 t
MINULÝ ROK	181232.8 t	152571.3 t	39286.4 t

Obr. 2.8.1 Spotřeba uhlí za měsíc únor (minulý měsíc)



Obr. 2.8.2 Schéma dopravníků (pro pochopení údajů z Obr. 2.8.1)

Průměrný výkon jsem stanovil grafickou metodou z grafů výkonu na 65,3 MW (viz příloha 2.8.1 a 2.8.2). Podle následující rovnice,

$$m_u = \frac{49616,3}{t \cdot P} = \frac{49616,3}{28 \cdot 24 \cdot 65,3} = 1,13 [\text{t/MWh, t, h, MW}] \quad (2.8.1)$$

kde m_u je množství uhlí potřebné k výrobě jedné MWh elektrické energie, t je počet hodin v měsíci únoru a P je průměrný výkon získaný z grafů je k výrobě jedné MWh potřeba 1,13 tun uhlí. To odpovídá i teoretickému předpokladu,

$$m_u = \frac{3600}{Q_n \cdot \eta_e} = \frac{3600}{12 \cdot 30} = 1 [\text{t/MWh, kJ, kJ/kg, -}] \quad (2.8.2)$$

kde m je množství uhlí potřebné k výrobě jedné MWh elektrické energie, 3600 je energie jedné kWh vyjádřené v kJ, Q_n je průměrná výhřevnost jednoho kg hnědého uhlí a η_e je průměrná účinnost tepelné elektrárny. [16]

Při použití dat z rovnice 2.8.1 by tedy byl možný provoz při nejhorších uvažovaných podmínkách, tedy v měsíci únoru, kdy je vynakládáno hodně energie na výrobu tepla a zároveň je na skládce nejmenší množství uhlí, to je 25 tisíc tun a uvažování odběru OP na maximum schopnosti Plzeňské teplárenské a.s., po dobu podle následující rovnice,

$$t = \frac{m_s}{m_u \cdot P} = \frac{25000}{1,13 \cdot 137} = 161,5 [\text{h}] = 6,73 [\text{dní}] [\text{h, t, t, MW}] \quad (2.8.3)$$

kde t je čas OP bez dodávky uhlí, m_s je množství uhlí na skládce, m_u je množství uhlí potřebné k výrobě jedné MWh elektrické energie a P je maximální odběr OP.

Během tohoto času se samozřejmě předpokládá obnova dodávky ze sítě a alespoň částečný provoz železnice, tedy nikdy by nemělo dojít k úplnému spálení naskladněného uhlí.

3 Blackout

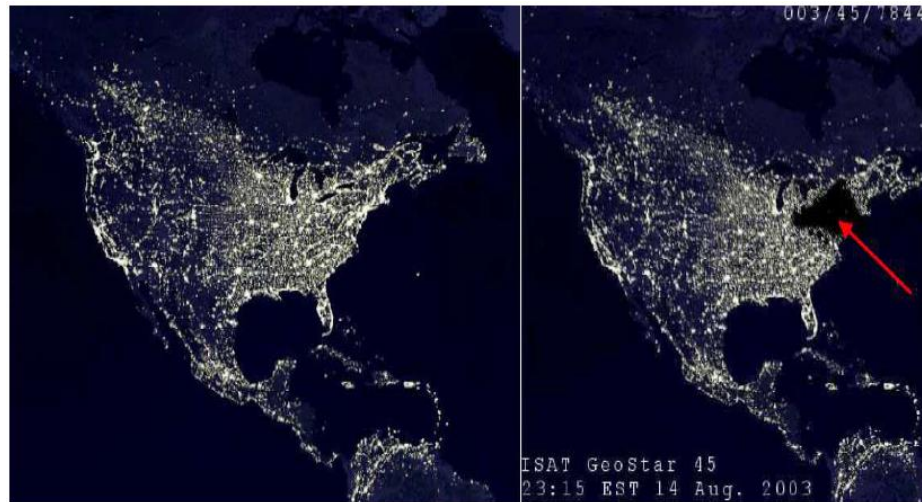
Jak již bylo řečeno, OP je poslední účinnou obranou proti kaskádovitě se šířícímu kolapsu elektrizační soustavy. Následkem nezvládnutí vytvoření ostrovů a tím ukončení postupu kaskádovitěho kolapsu nastává blackout. Je to úplný výpadek celé energetické soustavy nebo její významné části. Nedodávka elektrické energie má obrovské dopady na náš život. Asi největší blackout postihl v roce 2012 Indii, kde zanechal bez proudu přes 670 milionů obyvatel. Že tato situace hrozí i v zemích s vyspělejší infrastrukturou dokazují následující příklady:

- 9. - 10. 1965 – severovýchod USA (30 milionů obyvatel)
- 13. – 14. 8. 1977 – USA (9 milionů obyvatel)
- 5. 11. 1993 – Řecko (4 miliony obyvatel)
- 24. 8. 1994 – Itálie (18 milionů obyvatel)
- 20. 2. 1998 – Nový Zéland (60 000 obyvatel po dobu 5 týdnů)
- 26. 12. 1999 – Francie (3,4 milionu domácností)
- 25. 5. 2005 – Rusko (10 milionů obyvatel)
- 18. 8. 2005 – Indonésie (téměř 100 milionů obyvatel)
- 4. 11. 2006 – velká část Evropy (5 milionů obyvatel)
- 14. 3. 2010 – Chile (15 milionů obyvatel)
- 14. 1. 2012 – Turecko (20 milionů obyvatel)

[10]

Toto jsou však pouze příklady blackoutů, které postihly velké množství obyvatel, ve skutečnosti je jich zaznamenaných mnohonásobně více.

Asi mediálně nejznámějším blackoutem je výpadek v USA a Kanadě v roce 2003, který vznikl pádem několika stromů na linku velmi vysokého napětí a trval 42 hodin. Během kaskádovitěho výpadku bylo od sítě odpojeno 256 energetických zdrojů. Došlo k výpadku železniční a letecké dopravy, telefonních přenosů i internetu. Jen v New Yorku bylo zaznamenáno 3000 požárů, velká část z nich od svíček. Nejvíce úmrtí bylo zaznamenáno v dopravě vlivem nefungující světelné signalizace a pádem ze střech, říms a oken zlodějů při rabování. [17]



Obr. 4 Satelitní pohled na výpadek v USA a Kanadě v roce 2003 [10]

Blackout je obvykle způsoben několika poruchami najednou, které svým působením zapříčiní nedodržení pravidla N-1. ES je stavěna právě podle tohoto spolehlivostního pravidla (jaderné elektrárny dokonce N-2), které říká, že při výpadku vedení, transformátoru nebo elektrárenského bloku nesmí dojít k přetížení jiného prvku sítě.

Tento sled poruch obvykle vzniká jako následek běžné opravy/údržby na vedení spojený s nutností toto vedení odstavit a souběžným například přetížením vedení neočekávanou spotřebou/výrobou nebo zkratem. Časté výpadky jsou způsobeny živelnými pohromami, jako vítr, který způsobí pád stromu na vedení, bouřka, povodně či požáry. Opomenout nemůžeme ani případný teroristický čin.

Jak již bylo zmíněno nedodávka elektrické energie má obrovský vliv na život obyvatel. Nejdůležitějším parametrem pro hodnocení dopadů je délka nedodávky. S krátkými výpadky v rámci minut není problém hlavně díky systémům bateriových záložních zdrojů, které udrží v chodu veškeré ovládací systémy všech služeb.

Při výpadku v délce několika hodin je však vše závislé jen na záložních diesela agregátech, které jsou instalovány jen v omezeném počtu např. v nemocnicích a ani zde není jejich výkon dostačující k poskytnutí dostatečné energie k běžnému provozu. Přestává fungovat internet i telefonní síť. Nastává kolaps v dopravě vlivem nefungující světelné signalizace a osvětlení a zastavení MHD fungující na elektřinu. Již nefungují pokladny obchodních domů ani rozhlasové služby.

Při výpadku v rámci několika dní již nastává k problémům se zásobováním potravin a pitné vody, zhoršuje se zdravotní stav vlivem špatných hygienických podmínek. Objevují se případy rabování zvláště mnoha opuštěných bytů, násilí a jiných forem zneužívání nastalé

situace.

Při výpadku delším jak týden dochází k výpadkům záložních dieselagregátů vlivem nedostatku pohonných hmot, což vytváří obrovský problém hlavně ve zdravotnictví. Dále se zvyšuje kriminalita, lidé již opouští své domy jen ve dne. [10]

3.1 Možné scénáře

Během přechodu do ostrova mohou nastat 3 situace:

- Úspěšný přechod do ostrovního provozu, kdy jsou oba ostrovy stabilně napájeny.
- Alespoň jedno turbosoustrojí v provozu na vlastní spotřebu umožňuje najetí i druhého zdroje a následné zprovoznění obou ostrovů.
- Start ze tmy pomocí Plzeňské energetiky a.s.

4 Možnosti zlepšení

Jako možnosti zlepšení současného stavu navrhuji tři možnosti.

4.1 Vytvoření plánu startu v kooperaci s Plzeňskou energetikou a.s.

Plzeňská energetika a.s. má k dispozici tři dieselaagregáty o výkonu $3 \cdot 7\text{MVA}$, tedy 21MVA výkonu. To je dostačující výkon k dokonce současnému najíždění Plzeňské teplárenské a.s. a Plzeňské energetiky a.s. Bohužel obsluha ani z jednoho podniku a ani ČEZ a.s. nemá pro tuto situaci ucelený plán a dokonce např. obsluha Plzeňské teplárenské ani netuší, že tato možnost najetí existuje. Proto navrhuji vytvoření najížděcího plánu, aby byly v případě krizového stavu Plzeňské ostrovy v co možná nejkratší době zprovozněny. Tento plán je nutné uvést do provozních předpisů všech tří dříve jmenovaných institucí, aby se docílilo informovanosti dotčených pracovníků a disciplinovanému zprovoznění ostrovů.

Pro účel najetí pomocí PE a.s. se dají doporučit s ohledem na délku trasy a množství použitých rozvodů (oba parametry zvyšují riziko poruchy) 3 spojovací trasy podle obr. 2.3.2 s uvažováním spojení mezi rozvodnou PLTEP a.s. a rozvodnou Škoda do které vyvádí PE a.s. svůj výkon pomocí dvou linek 22kV ($2 \cdot 40\text{MW}$).

1. Rozvodna Škoda → linka 1206 → rozvodna Křimice → linka 1210 → rozvodna Plzeň-sever → linka 1226 → rozvodna PLTEP a.s.
2. Rozvodna Škoda → linka 1206 → rozvodna Křimice → linka 1213 → rozvodna Plzeň-město → linka 1225 → rozvodna PLTEP a.s.
3. Rozvodna Škoda → linka 1202 → rozvodna Chrást → linka 1209 → rozvodna Plzeň-město → linka 1225 → rozvodna PLTEP a.s.

Tato varianta se zdá být pravděpodobnější z důvodu nízkých vstupních nákladů (pouhé vypracování jednotného plánu a úprava předpisů) a plánované fúze PLTEP a.s. s PE a.s.

4.2 Zavedení startu ze tmy

Při určení nejmenšího dostačujícího výkonu pro start ze tmy Plzeňské teplárenské uvažuji 5MVA . Vycházím z 16. 5. 2018, kdy byl v provozu pouze K6 s TG2 a vlastní spotřeba byla $4,4\text{MVA}$. 5MVA dieselaagregát má tedy rezervu $0,6\text{MVA}$. Doporučit lze například motorgenerátor 16PA6B o výkonu 5432kW od firmy MANdieselaturbo nebo například dva motorgenerátory 3516B-HD o výkonu 2500kVA od firmy ZeppelinCAT.

Pro takový start by musel být vypracován zvláštní předpis s popisem souběžnosti připojované zátěže a dostatečnými prodlevami mezi připojováním největších motorů (doba ustálení zátěžných momentů a poklesu rozběhových proudů). Vznikla by potřeba dovybavit velké motory, jako jsou např. uhelné mlýny, kouřové ventilátory nebo čerpadla chladící vody obvody omezujícími rozběhové proudy.

Bohužel tato varianta představuje vstupní náklady, které se nikdy nezaplatí, neboť schopnost startu ze tmy není nijak placena a proto se těžko zavádí.

4.3 Zavedení podpory VTRV při skokovém snížení spotřeby nebo výpadku na vlastní spotřebu

Před VTRV turbíny jsou vždy zařazeny ventily rychlozávěrné (RZV), které zasahují při zapůsobení jakékoli ochrany způsobující úplný výpadek turbosoustrojí (odstavení turbosoustrojí). RZV ventily zavírají přívod páry do turbíny během několika stovek až desítek milisekund na rozdíl od VTRV, které se uzavírají až několik sekund. Takové rychlosti uzavření dosahují pomocí své konstrukce, RZV se totiž otevírá proti silné pružině, která v případě odjištění ventil doslova přirazí do zavřené polohy.

Systém podpory VTRV spočívá ve funkci RZV, který se při skokové změně zatížení směrem dolů uzavře a čeká až se VTRV přiblíží požadovanému otevření, kdy se RZV opět otevře. Tento systém dokáže úspěšně eliminovat nežádoucí zvýšení otáček turbosoustrojí (tedy zvýšení frekvence spotřeby) při výše zmíněném scénáři a tedy snížení rozkmitání při přechodovém jevu a oddálení případného výpadku zapůsobením nadotáčkovou ochranou. [15]

5 Závěr

Zamýšlené shrnutí poskytuje ucelený pohled na problematiku OP z pohledu požadavků OP, důležitosti OP a seznamuje s nebezpečím absence OP.

Po seznámení s hlavními principy OP, jsem definoval Plzeňské ostrovy a rozebral automatiku tyto vytvářející. Vysvětlil jsem reakci turbosoustrojí na změnu zatížení spojenou s vytvořením ostrovů a tvrzení podložil příslušnou rovnicí. V kapitole Omezení technologického celku jsem poukázal na omezení schopnosti přechodu do OP z pohledu schopnosti regulace kotlů, omezení konstrukcí TG1 a schopnosti udržení OP se zásobami paliva. Tvrzení jsem porovnal s teoretickými výpočty. Nakonec jsem navrhl tři možnosti zlepšení současného stavu.

Jak již bylo dříve zmíněno jsem přesvědčen, že do budoucna, hlavně z důvodu rozšiřující se elektromobility, se bude dále současným nebo i větším trendem zvyšovat spotřeba se současně nedostatečným rozvojem akumulčních či SMART technologií a potřeba spolehlivých systémů k odvrácení kritických stavů, jakým je OP bude zapotřebí.

Město Plzeň má tuto problematiku v porovnání se zbytkem České republiky poměrně dobře zpracovanou hlavně díky poměrně vyrovnanému požadavku města na výkon a schopností obou přilehlých zdrojů. Nicméně není čas tzv. „usnout na vavřínech“, ale je zapotřebí současný stav dále zdokonalovat a upravovat. Osobně doufám, že v této době probíhající fúze PLTEP a.s. s PE a.s. by mohla přinést výhody v zavedení větší spolupráce jak v tomto problému, tak i v ekonomizaci běžného provozu, a že i tato práce může přispět ke zdokonalení současného stavu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

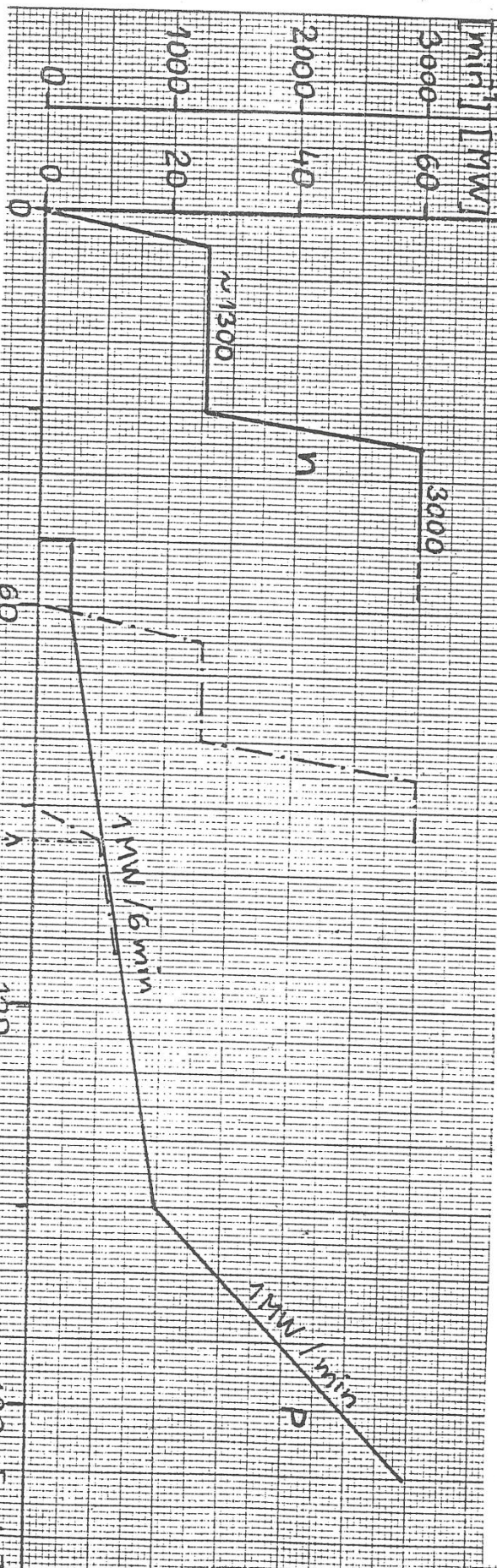
- [1] Čeps a.s., *Kodex PS*, revize 18/Leden 2018.
- [2] Plzeňská Teplárenská a.s., *Místní provozní předpis TG1*
- [3] Plzeňská Teplárenská a.s., *Místní provozní předpis TG2*
- [4] Plzeňská Teplárenská a.s., *Místní provozní předpis TG3*
- [5] Plzeňská Teplárenská a.s., *Místní provozní předpis Frekvenční relé Frea 16*
- [6] Čeps a.s., *Činnosti* [online]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/cinnosti>
- [7] K. Noháč, *Studijní materiál předmětu Elektrárny 2, Elektrarny2-cast11-v1.pdf*
Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~nohac/E2/Elektrarny2-cast11-v1.pdf>
- [8] K. Máslo, *Řízení a stabilita elektrizační soustavy*, Praha: Asociace energetických manažerů, 2013
- [9] I. Petružela, *Regulace frekvence a napětí, lekce05_06.pdf* Dostupné z:
https://home.pilsfree.net/fantom/FEL/MR/FEL_CVUT/lekce05_06.pdf
- [10] J. Žák, *Studie blackoutů s ohledem na jadernou elektrárnu Dukovany(DP)*, Brno, 2013
- [11] Plzeňská Teplárenská a.s., *Ostrovní provoz generátorů PT*
- [12] Sdružení RaEL, *Mapy energetických sítí*, Dostupné z:
<http://orael.ru/inside/experience/cz.report.2010/rz/mapy/index.htm>
- [13] Čez a.s., *Elektrizační soustavy* [online], Dostupné z:
https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/05/soustavy_3.html
- [14] Čeps a.s., *statistiky-pps* [online], Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/statistiky-pps>
- [15] Materiály a poznámky z kurzu Strojníků na VSE a.s. CHOMUTOV
- [16] K. Noháč, *Studijní materiál předmětu Elektrárny 2, ProvozniMediaTepelneElektrarny.pdf*
- [17] M. Dufková, *Problém jménem blackout* [online], Dostupné z:
<http://www.3pol.cz/cz/rubriky/fyzika-a-klasicka-energetika/1768-problem-jmenem-blackout>, 2015

Najížděcí diagram turbíny TG 1

Plzeň T 5197

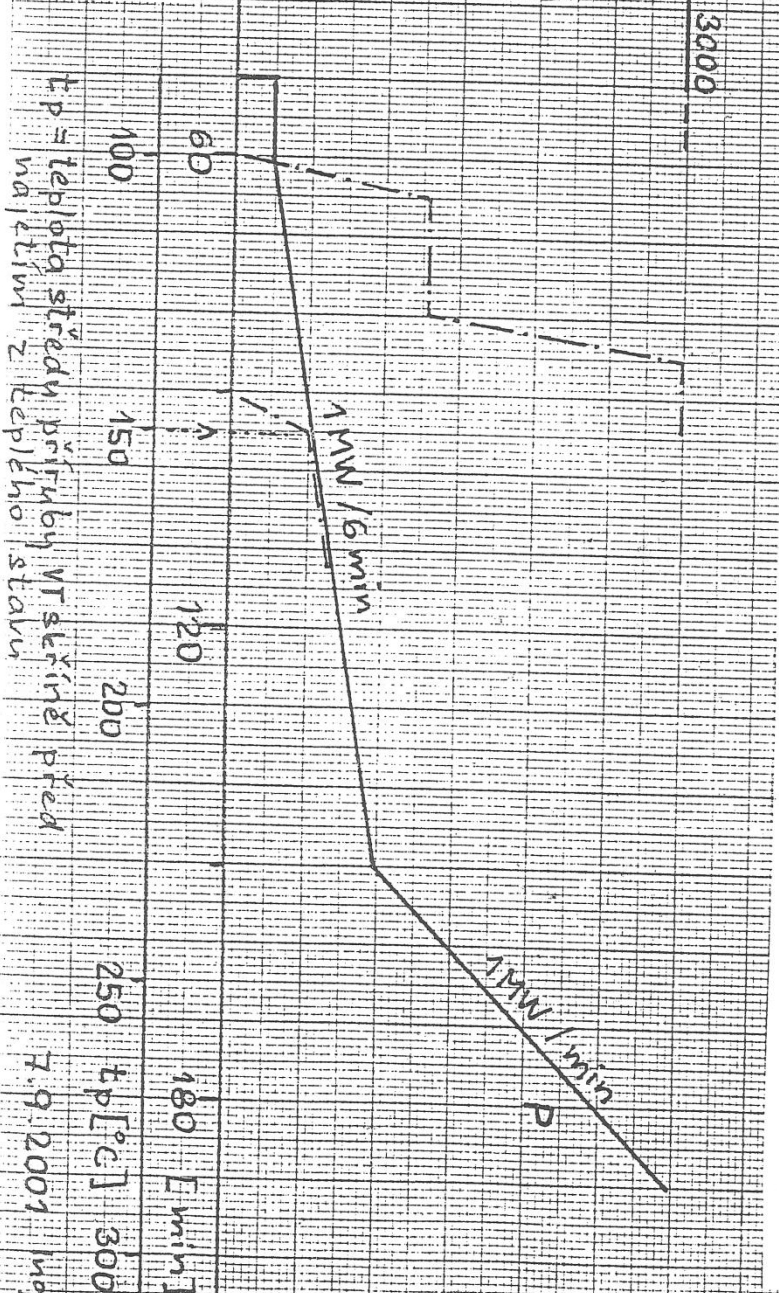
Druh parovodu vstupní páry při otevíracích rychlozavěrných ventilech rychlostí cca 3°C min⁻¹, zvyšování tlaku páry ale tabulky. Do dosažení plného tlaku je odvodnění přivřené tak, aby vypuštělo vodu s minimem páry. Teplota páry na RZ ventilů před startem ze studeného stavu min 360°C, při snížených parametrech min 350°C. Počáteční zatížení po přifázování max. 5 MW. Půběh zatěžování je orientací, skutečná rychlost zatěžování musí být volena tak, aby nebyl přetřesen maximální povolený rozdíl teplot na přírubě VT skříňe 100°C.

Najíždění z tepleho stavu:
 Při ohřevu parovodu vstupní páry je možné dosáhnout tlak páry, příslušný teplotě sytosti, rovné teplotě parovodu nebo ventilových komor zrychleně se zavřeným odvodněním. Další zvyšování potom pokračuje podle tabulky. Teplota páry před startem minimálně $t_p + 120^\circ\text{C}$, vždy však více než 360°C při jmenovitých parametrech. Způsob najetí je určen teplotou příruby t_p před startem. Na zatížení, příslušné této teplotě se dostaneme zrychleně, další zatěžování probíhá jako při najíždění ze studeného stavu. Doporučena maximální průměrná rychlost rozdílu teplot příruby 100°C. Čerchované
 křačovat přitom povolený rozdíl teplot příruby 150°C.
 znázorněn způsob najetí z teploty 150°C.



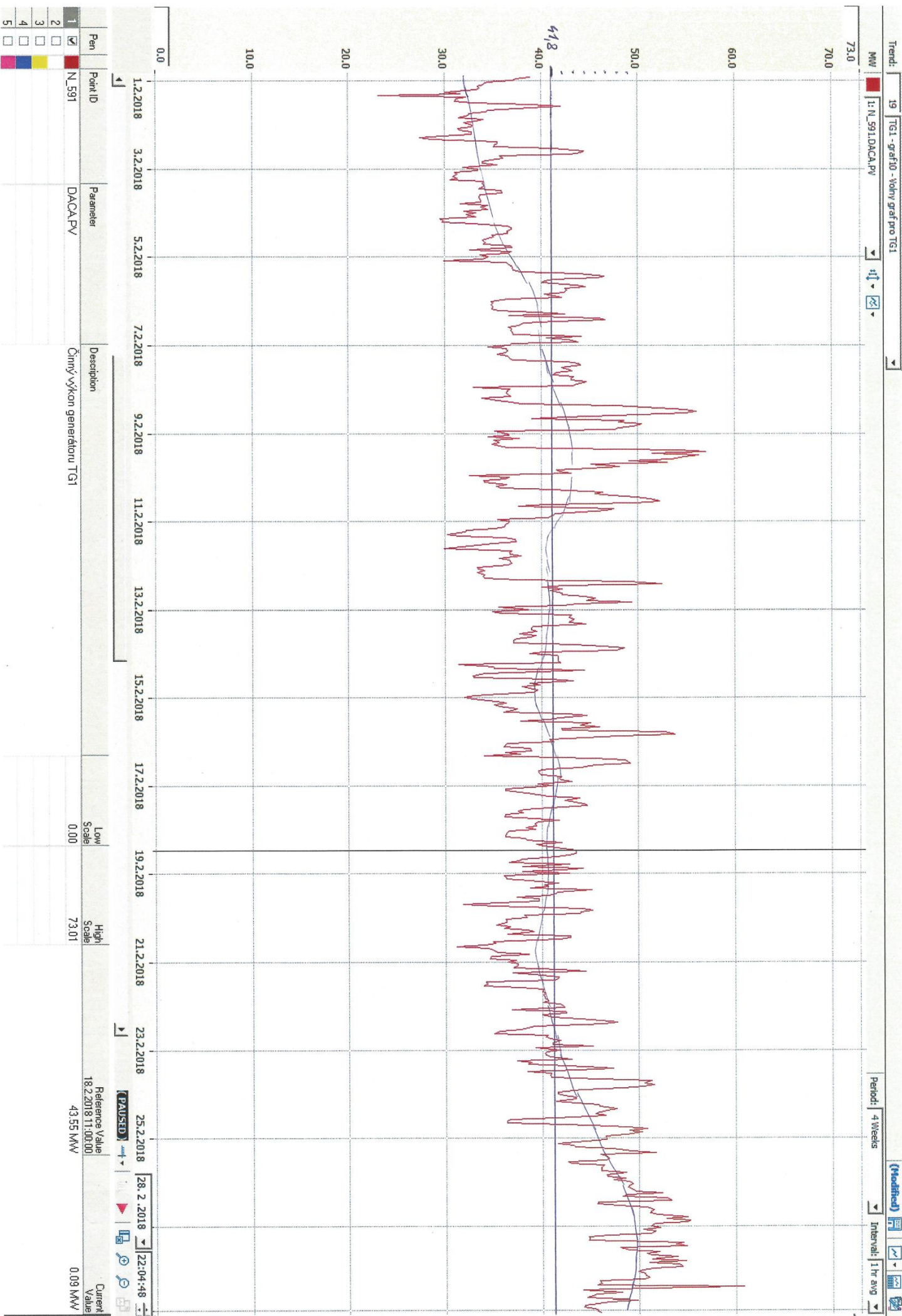
Délka prodevy na $n = 1300$

t_p [°C]	≤ 100	150	200	≈ 250
čas [min]	25	15	10	5

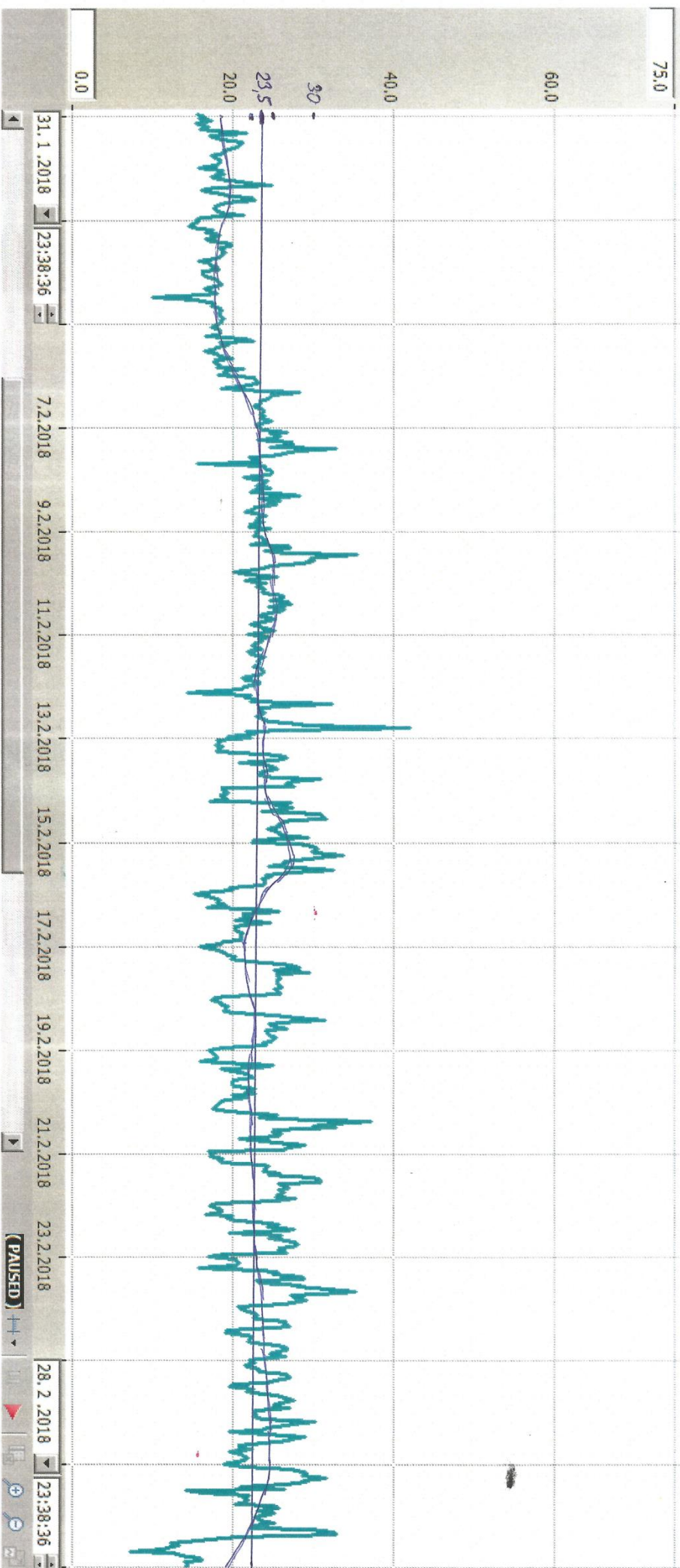


Prohřívání parovodu po reg. ventily

čas [min]	přetlak [MPa]	teplota sytosti [°C]
0	0,0	100
10	0,2	130
20	0,5	160
30	1,2	190
40	2,2	220
50	3,9	250
60	6,3	280
70	9,8	310
80	plný	



Příloha 2.8.1 Odhad průměrného výkonu TGI grafickou metodou za měsíc únor



Pen	Point ID	Parameter	Description	Low Scale	High Scale	Reference Value	Current Value
1	6MK_CE901	PV	GINNY VYKON NA SVOR TG2	0.00	75.00		27.51 MW
2	6LBD40_CT001	PV	II.ODBER				
3	6LBD40_CP001	PV	PARA VII. ODBERU				
4	6LBD30_CT001	PV	1.REG.ODBER				
5	6LBD30_CP001	PV	tlak pary v 1. obd.p.klap				
6	6LBD20_CT001	PV	I.ODBER				
7	6LBD20_CP001	PV	PARA VI. ODBERU				
8	6LBD14_CT001	PV	2.REG.ODBER				
9	6LBD14_CP001	PV	PARA VE II. REG. ODBERU				
10							