



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

OPTIMALIZACE PROVOZU ELEKTRÁRENSKÝCH A TEPLÁRENSKÝCH BLOKŮ V ES

OPTIMALIZATION OF OPERATING HEATING AND POWER PLANT UNITS IN THE PS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB BEZDĚK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR MASTNÝ, Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UCENÍ
TECHNICKÉ V BRNE

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Jakub Bezděk
Ročník: 3

ID: 120591
Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace provozu teplárenských a elektrárenských bloku v ES

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popis jednotlivých typu výroben.
2. Podmínky spolupráce elektrárenských bloku.
3. Definice regulačních nástrojů.
4. Výpočet ukazatelů paralelní spolupráce definovaných výroben.

DOPORUCENÁ LITERATURA:

podle pokynu vedoucího práce

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

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

UPOZORNENÍ:

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 následku 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 c.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

BEZDĚK, J. *Optimalizace provozu teplárenských a elektrárenských bloků v ES*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 50 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

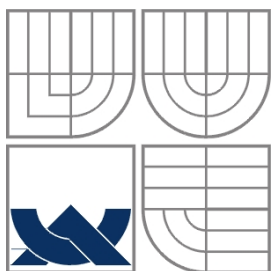
Optimalizace provozu elektrárenských a teplárenských bloků v ES

Jakub Bezděk

vedoucí: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2011

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering

Bachelor's Thesis

Optimalization of operating heating and power plant units in the PS

by

Jakub Bezděk

Supervisor: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Brno University of Technology, 2011

Brno

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá strukturou elektrizačních soustav v Evropě a jejich spolupráci. Dále se také věnuje základním druhům elektráren a tepláren, nejčastějším výrobnám elektrické energie, poté je v práci popsána optimalizace provozu elektrizační soustavy, její systémové služby, podpůrné služby a služby poskytující přeshraniční poskytování elektrické energie.

Závěrem práce jsou definice regulačních nástrojů a na příkladu je ukázáno optimální rozdělení výkonu dvou specifických bloků při daném zatížení.

KLÍČOVÁ SLOVA: elektrizační soustava, optimalizace, tepelná elektrárna, vodní elektrárna, jaderná elektrárna, teplárna, systémové služby, podpůrné služby, primární regulace, sekundární regulace, terciární regulace

ABSTRACT

This thesis deals with the structure of the electricity transmission system in Europe and their cooperation. Furthermore, it also analyzes the basic types of power plants and heating plants, then describes the optimization of operation of the electricity transmission system, the system services, support services and providing cross-border provision of electricity.

Finally, work is the definition of regulatory tools and the example shows the optimal power distribution of two specific blocks for a given load.

KEY WORDS:

electricity transmission system, thermal power plant, hydro power plant, nuclear power plant, heating plant, system services, support services, primary control, secondary control, tertiary control

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD	14
2 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA	15
2.1 STRUKTURA ELEKTRIZAČNÍCH SOUSTAV.....	16
3 ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE	18
3.1 TEPELNÉ ELEKTRÁRNY	18
3.1.1 KONDENZAČNÍ ELEKTRÁRNY	18
3.1.2 ELEKTRÁRNY SE SPALOVACÍ TURBÍNOU.....	19
3.1.3 TEPLÁRNY	20
3.2 VODNÍ ELEKTRÁRNY.....	23
3.3 JADERNÉ ELEKTRÁRNY	24
4 OPTIMALIZACE PROVOZU ES	25
4.1 SYSTÉMOVÉ SLUŽBY (SYS).....	25
4.1.1 TECHNICKO-ORGANIZAČNÍ PROSTŘEDKY PRO ZAJIŠTĚNÍ SYS	26
4.2 VZTAHY MEZI SYSTÉMOVÝMI A PODPŮRNÝMI SLUŽBAMI	30
4.3 PODPŮRNÉ SLUŽBY (PPS)	31
4.3.1 PRIMÁRNÍ REGULACE F BLOKU (PR).....	32
4.3.2 SEKUNDÁRNÍ REGULACE P BLOKU (SR)	33
4.3.3 TERCÍÁRNÍ REGULACE P BLOKU (TR)	33
4.3.4 RYCHLE STARTUJÍCÍ 10-TI MINUTOVÁ ZÁLOHA (QS10).....	34
4.3.5 RYCHLE STARTUJÍCÍ 15-TI MINUTOVÁ ZÁLOHA (QS15).....	34
4.3.6 DISPEČERSKÁ ZÁLOHA DOSTUPNÁ V ČASE T MINUT (DZT).....	34
4.3.7 ZMĚNA ZATÍŽENÍ (ZZ30)	34
4.3.8 SNÍŽENÍ VÝKONU (SV30).....	35
4.3.9 VLTAVA (VSR)	35
4.3.10 SEKUNDÁRNÍ REGULACE U/Q (SRUQ).....	35
4.3.11 SCHOPNOST OSTROVNÍHO PROVOZU (OP).....	35
4.3.12 SCHOPNOST STARTU ZE TMY (BS)	37
4.4 EREGZG A EREGZ	38
4.4.1 PŘESHRANIČNÍ POSKYTOVÁNÍ EREGZG	38
4.4.2 PŘESHRANIČNÍ POSKYTOVÁNÍ EREGZ	39
5 DEFINICE REGULAČNÍCH NÁSTROJŮ.....	40
5.1 PRIMÁRNÍ REGULACE	40
5.1.1 SUMÁRNÍ REGULAČNÍ ZÁLOHA PRO PRIMÁRNÍ REGULACI ES ČR (RZPRS)	40
5.2 SEKUNDÁRNÍ REGULACE	41
5.2.1 SUMÁRNÍ REGULAČNÍ ZÁLOHA PRO SEKUNDÁRNÍ REGULACI ES ČR (RZSRS)	42
5.3 TERCÍÁRNÍ REGULACE	43

5.4 PŘÍKLAD ROZLOŽENÍ VÝKONOVÝCH ZÁLOH NA ELEKTRÁRENSKÉM BLOKU	44
6 VÝPOČET UKAZATELŮ PARALELNÍ SPOLUPRÁCE DEFINOVANÝCH VÝROBEN.....	46
6.1 PŘÍKLAD VÝPOČTU	47
7 ZÁVĚR.....	49
POUŽITÁ LITERATURA	50

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1-Elektrizační soustava ČR.....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 2-Sdružení ES v Evropě</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 3-Rankin-Clausiiův oběh</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 4-Přeměna energie.....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 5-Základní typy zdrojů kombinované výroby elektrické energie a tepla</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 6-Přeměna energie ve vodní elektrárně.....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 7-Přeměna energie v jaderné elektrárně</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 8-Struktura regulace U a Q v PS.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 9-Velikost zálohy pro sekundární regulaci podle UCTE [9]</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 10-Rozložení výkonových záloh na elektrárenském bloku</i>	<i>44</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka č.1-Vztahy mezi SyS a PpS.....</i>	<i>31</i>
---	-----------

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_r	výroba elektrické energie
ARN	automatický regulátor napětí
ASRU	sekundární regulace napětí
BS	schopnost startu ze tmy
DZt	dispečerská záloha
e	modul teploty výroby
EregZ	regulační energie ze zahraničí negarantovaná
EregZG	regulační energie ze zahraničí garantovaná do 30 min
ES	elektrizační soustava
f	frekvence
G	regulační odchylka
IPS/UPS	The Integrated Power System/ Unified power system of Russia
K	parametr
n	počet zdrojů činného výkonu v ES
N	celkové provozní náklady v ES
N_i	variabilní náklady i-tého zdroje
m	počet zdrojů jalového výkonu v ES
OP	schopnost ostrovního provozu
P	činný výkon
P_i	činný výkon i-tého zdroje
P_s	celkové činné zatížení v ES
P_z	celkové ztráty činného výkonu v ES
PK	přenosová kapacita
PpS	podpůrná služba
PR	podpůrná služba
PR	primární regulace
Q	jalový výkon
Q_i	jalový výkon i-tého zdroje
Q_d	celkové dodané teplo
Q_s	celkové jalové zatížení v ES
Q_z	celkové ztráty jalového výkonu v ES
q_{kond}	měrná spotřeba tepla při kondenzační výrobě elektrické energie

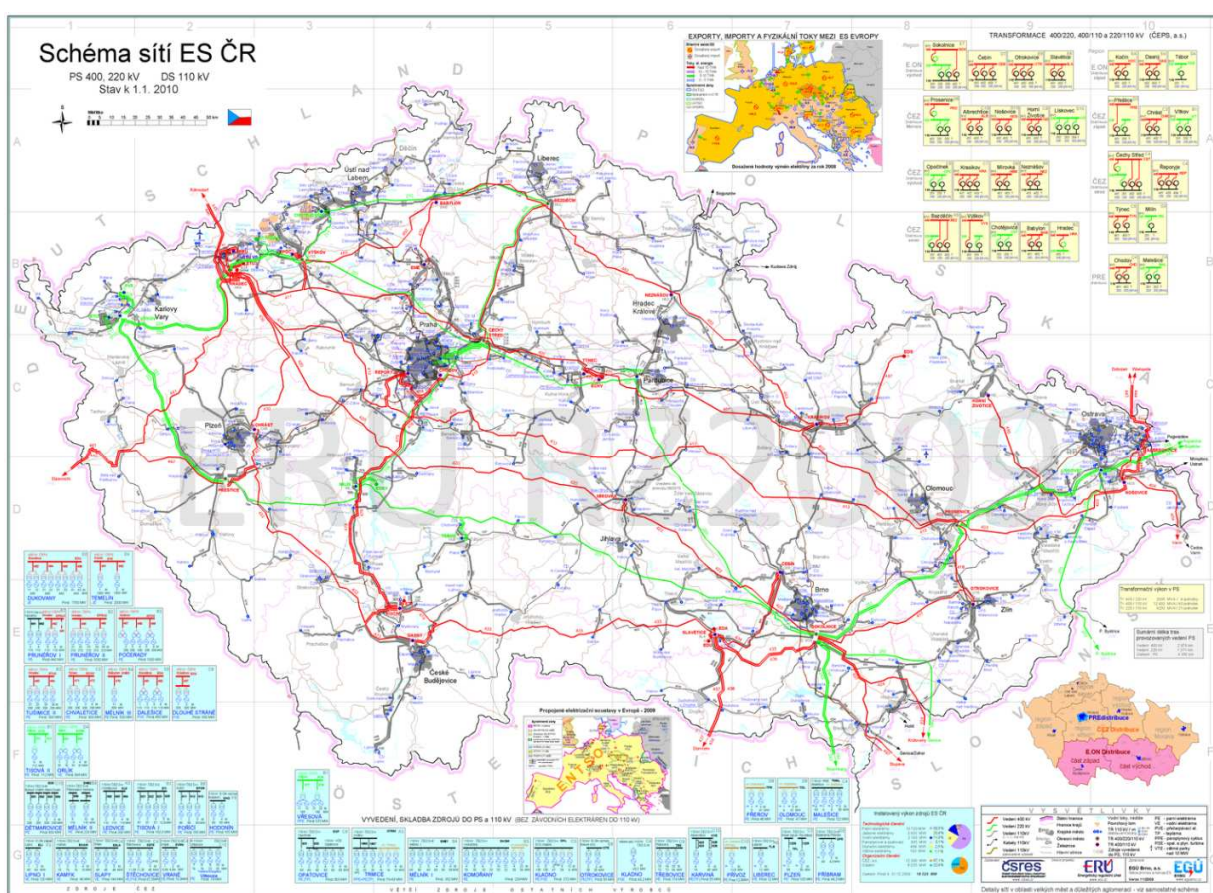
$Q_{\max}$	maximální spotřeba tepla
QS_{10}	rychle startující 10-ti munitová záloha
QS_{15}	rychle startující 15-ti munitová záloha
Q_t	teplo dodaného turbínou
q_{tepl}	měrná spotřeba tepla při protitlakové výrobě elektrické energie
ROP	regulátor ostrovního provozu
RRPR	regulační rozsah primární regulace
RRsR	regulační rozsah sekundární regulace
RZPR	regulační zálohy primární regulace
RZsR	regulační zálohy sekundární regulace
SCZT	soustava centralizovaného zásobování teplem
SR	sekundární regulace
SRUQ	sekundární regulace U/Q
SV_{30}	snížení výkonu
SyS	systémová služba
TR	terciální regulace
U	napětí
U_i	napětí v i-tém uzlu sítě
UCPTE	Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Électricité
UCTE	Union pour la Coordination et du Transport de l'Électricité
VSR	Vltavská kaskáda
ZZ30	změna zatížení
α	teplárenský součinitel
ΔP	odezva výkonu
ΔQ_{pal}	úsporu energie při kombinované výrobě
Δf	odchylka frekvence
λ	výkonové číslo
λ	výkonové číslo regulační oblasti

1 ÚVOD

Optimalizace provozu je proces výběru nejlepší varianty z mnoha možností řízení elektrizační soustavy. Tento proces by měl vést k vyšší efektivitě, což zahrnuje jak spolehlivou a bezpečnou dodávku elektrické, tak i dodávku elektrické energie dohodnuté kvality všem odběratelům, pokud možno s nejnižšími náklady. Nejdůležitější provozní parametry určující kvalitu elektřiny jsou kmitočet a napětí. Kmitočet f je celosystémový parametr, při ustáleném chodu ES je ve všech místech soustavy stejný. Napětí U je místní parametr, má v různých místech ES různou velikost. K dalším kvalitativním parametrům patří podíl vyšších harmonických v křivce napětí a symetričnost napětí.

2 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA

Elektrizační soustava je souhrnem všech paralelně spolupracujících elektráren, elektrických přenosových a rozvodných zařízení a elektrických spotřebičů řízených centrálně i jednotně. Elektrizační soustava je jednotný technický a organizační celek, jejíž úkolem je spolehlivá dodávka dostatečného množství elektrické energie odběratelům ve specifikované kvalitě, s co nejnižšími náklady a při zaručené bezpečnosti práce. Mimo výrobních, přenosových a distribučních zařízení, jež jsou hlavními prvky tohoto systému, patří do elektrizační soustavy i další prvky zajišťující měření, kontrolu, ochranu, regulaci a řízení celé soustavy. Elektrizační soustava České republiky je vidět na obr. č.1.[4]



Obrázek 1-Elektrizační soustava ČR

Výroba i spotřeba elektrické energie se prakticky děje v témže okamžiku a je dána současností výrobních, přenosových a spotřebitelských pochodů. Výroba a přenos elektrické energie se přísně řídí okamžitou spotřebou. Dle toho není možné, aby existovala rozdílnost mezi výrobní kapacitou elektráren a spotřebou. Jelikož není možné elektrickou energii skladovat, tak je nutno okamžitě reagovat na stochastické změny ve spotřebě elektrické energie. Vyžaduje to, aby energetika byla vysoce kvalitně organizována, vybavována automatizačními prvky a nejmodernější výpočetní technikou. Velké množství proměnných veličin, které je nutno sledovat

a stále vyhodnocovat jak ve vzájemném působení, tak i v konečném výsledku umožňuje aplikaci v matematické statistice.[2]

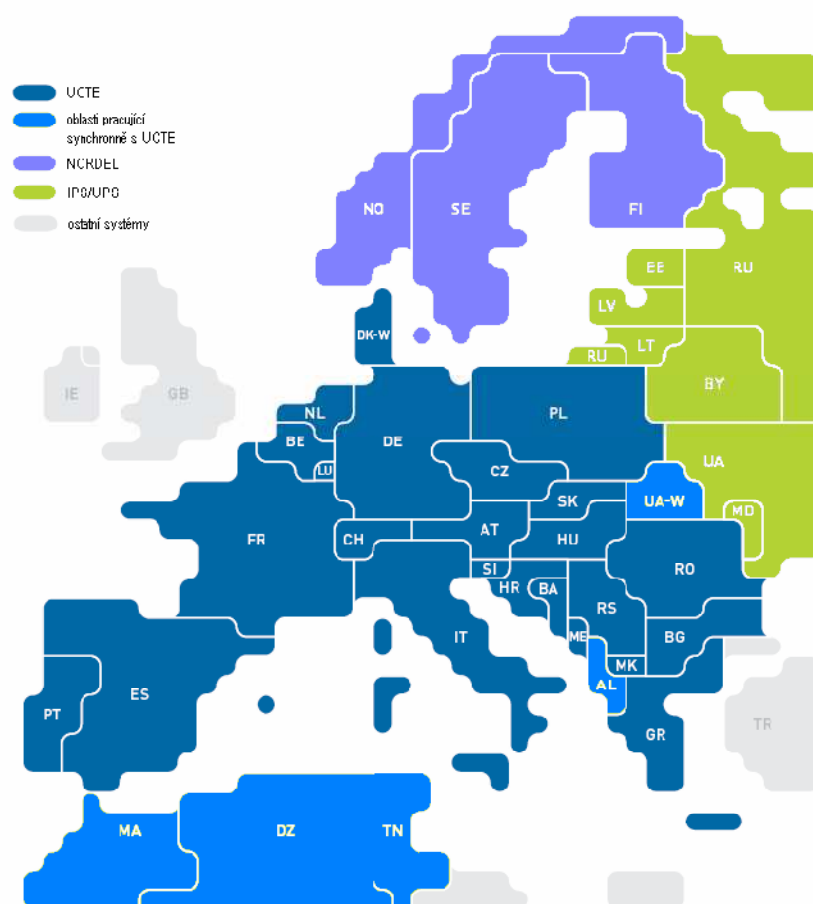
Doprava elektrické energie v elektrizační soustavě se děje prostřednictvím přenosové soustavy a distribučních soustav. Přenosová soustava představuje jeden ze základních subsystému elektrizační soustavy, který propojuje všechny významné subjekty (elektrárny, velké podniky, apod.) v elektrizační soustavě a zajišťuje rozhodující podíl zahraniční spolupráce. Dále zajišťuje přenos elektřiny, provoz, údržbu a rozvoj přenosové soustavy a především dispečerské řízení elektrizační soustavy v reálném čase. Jako systémovou službu dále zpracovává a testuje plán obrany přenosové soustavy proti šíření poruch a plán obnovy elektrizační soustavy po rozsáhlých systémových poruchách. Technicky řídí systémové služby, jako je regulace výkonu a kmitočtu, regulace napětí a jalového výkonu a řídí potřebné výkonové rezervy. Distribuční soustava je zařízení pro rozvod elektřiny z přenosové soustavy nebo ze zdrojů zapojených do ní ke koncovým uživatelům. Součástí distribuční soustavy jsou i její řídicí, ochranné, zabezpečovací a informační systémy. V podmínkách elektrizační soustavy ČR se jedná o rozvody a zařízení do maximálního napětí 110 kV.[3]

2.1 Struktura elektrizačních soustav

Pro synchronizaci a vzájemnou pomoc v elektrizačních soustavách vzniklo několik sdružení spojující ES v různých zemích po celé Evropě. Nejvýznamnější a sdružující většinu Evropy je unie UCTE, kam spadá i Česká republika. Dalšími významnými sdruženími v Evropě jsou NORDEL (východ Dánska, Finsko, Norsko, Švédsko), IPS/UPS (Rusko, Lotyšsko, Estonsko, Litva, Ukrajina, atd.) a další menší systémy kam spadá například Velká Británie a Irsko. Na obrázku č.2 [6] jsou vidět uskupení jednotlivých zemí.

UCTE (dříve UCPTÉ) je unie pro koordinaci přenosu elektřiny, fungování a rozvoje sítě pro přenos elektřiny pro kontinentální evropské synchronně provozované přenosové soustavy, za účelem zajistit spolehlivou platformu pro všechny účastníky vnitřního trhu s elektřinou a mimo ni.[5]

UCTE je jedním z největších elektrických synchronních propojení na celém světě, které sdružuje 24 členských zemí Evropy s 29 provozovateli elektrizačních soustav. Zajišťuje rovnováhu mezi výrobou a poptávkou po elektrické energii asi pro 500 milionů lidí. Podle výroční zprávy UCTE z roku 2008 se vyrobilo 2643 TWh elektrické energie (netto).



Obrázek 2-Sdružení ES v Evropě

3 ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE

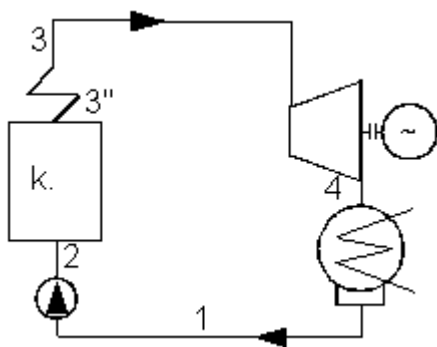
Zdroje elektrické energie si můžeme rozdělit do dvou základních druhů a to na obnovitelné a neobnovitelné. Hlavními výrobny mezi neobnovitelnými zdroji elektrické energie jsou tepelné elektrárny, kam patří i teplárny a jaderné elektrárny. Neobnovitelné zdroje energie jsou reprezentovány především fosilními palivy (černé a hnědé uhlí, lignit, ropa a zemní plyn) a jadernými palivy (uran a thorium). Do obnovitelných zdrojů řadíme především vodní elektrárny, které bohužel v našich zeměpisných šířkách mají už vyčerpaný potenciál, ale patří sem také zdroje ze sluneční, větrné, geotermální energie a další.

3.1 Tepelné elektrárny

Tepelné elektrárny umožňují získávání elektrické energie a tepla využitím tepelné energie chemicky vázané v primárních zdrojích energie. Tepelné elektrárny v současné době mají stále největší podíl na výrobě elektrické energie jak u nás, tak i ve světě, ale jejich trend je klesající. Je to zapříčiněno jejich špatným vlivem na svoje okolí a přírodu, ale také vzrůstající výstavbou nových jaderných zdrojů.

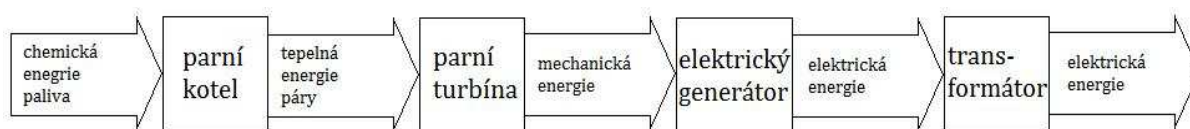
3.1.1 Kondenzační elektrárny

Kondenzační elektrárna je energetická výroba, jež dodává elektrickou energii z kondenzačních turbosoustrojí. Kondenzační elektrárny mají dominantní postavení mezi zdroji elektrické energie. Na světové výrobě elektrické energie se podílí přibližně 80%. V České republice se na výrobě podílí cca 55%. Kondenzační elektrárny pracují na základě tepelného Rankin-Clausiova cyklu. Tento oběh je přímý tepelný oběh, který je možné realizovat s médiem, jež při použitých teplotách a tlacích prochází plynným a kapalným skupenstvím. Nejpoužívanější pracovní látkou je voda. Rankin-Clausiov oběh lze realizovat zjednodušeným ideálním technologickým schématem kondenzační elektrárny viz. obr. č.3.



Obrázek 3-Rankin-Clausiov oběh

Přeměna energie probíhá následovně. V parním kotli se mění spalování fosilních paliv (např. uhlí, ropy, plynu), chemická energie na tepelnou energii páry, která se v parní turbíně mění na mechanickou a v elektrickém generátoru na energii elektrickou. Přeměnu můžeme vidět na obrázku č.4 [7].



Obrázek 4-Přeměna energie

Zvyšováním účinnosti oběhu můžeme docílit větší ekonomičnosti a ekologičtějšího provozu. Zvyšování účinnosti se dá docílit několika způsoby. Při zvýšení parametrů admisní páry (tlak, teplota přehřátí) a snížení tlaku v kondenzátoru (zvýšení vakua), lze zvýšit celkovou tepelnou účinnost oběhu. Volba parametrů (vstupních i výstupních) elektrárenského bloku patří k nejdůležitějším rozhodnutím při návrhu bloku. Vhodnou volbou vstupních i výstupních parametrů páry a vody (teplota, tlak) se ovlivní nejen celková tepelná účinnost zařízení, ale také výše investičních a později i provozních nákladů a spolehlivost provozu. Obecně lze říci, že tepelná hospodárnost se zvyšuje se zvyšujícími se počátečními parametry páry. Zvýšení je však zpravidla omezeno zejména technickými a ekonomickými možnostmi.

Další zvýšení účinnosti můžeme dosáhnout zvýšením teploty napájecí vody do kotle (regenerační ohřev). Regenerační ohřev bývá tvořen kaskádou nízkotlakých a kaskádou vysokotlakých povrchových ohříváků, mezi něž je zařazen ohřívák (odplyňován) s napájecí nádrží sloužící k odplynění napájecí vody. Počet stupňů regeneračního ohřevu se pohybuje od 6 do 9. Ohřev vody je třeba rozdělit na jednotlivé stupně tak, aby se dosáhlo nejlepší hospodárnosti. Lze dokázat, že nejlepší účinnosti tepelného oběhu se dosáhne, ohřeje-li se napájecí voda v každém stupni přibližně o stejný přírůstek teploty, tj. zvýší-li se její tepelný obsah v každém stupni o stejnou hodnotu.

K hlavním způsobům zvyšování účinnosti tepelného oběhu patří přihřívání páry. Přihříváním rozumíme dodání energie páře, která již část svého tepla přeměnila ve vysokotlaké části turbíny na mechanickou práci. Páru přihříváme na teplotu blízkou teplotě přehřátí nebo na teplotu přehřáté páry. Přihřívání se provádí buď přímo v kotli nebo ostrou parou a nebo odběrovou parou odběrem z vysokotlakého stupně. Kromě zvýšení tepelné účinnosti se přihříváním dosáhne i vyšší suchosti páry v koncových stupních turbíny. Přihřívání se používá zejména u bloků velkých výkonů (100MW a výše). [8]

3.1.2 Elektrárny se spalovací turbínou

Elektrárny se spalovací turbínou upoutaly pozornost energetiků především pro řadu výhodných vlastností, které umožňovaly použití těchto elektráren ke krytí stále rostoucího špičkového zatížení soustavy. U nás se tento typ elektráren staví pouze jako špičkové a rezervní zdroje. V zemích bohatých na kapalná a plynná paliva jsou elektrárny se spalovacími turbínami stavěny i jako základní elektrárny.

Mezi přednosti elektráren se spalovacími turbínami patří rychlý rozběh a odstavení, prakticky bez ztrát (spouštění trvá několik minut), menší obestavěný prostor na stejný instalovaný výkon, nižší měrné investiční náklady (odpadají různé provozny jako kotelna, úpravná vody atd.), nepatrná spotřeba chladicí vody, poměrně dobrá účinnost (25 až 35%), možnost rychlé výstavby a úplně automatizace provozu. Spalovací turbíny spalují vzácné kapalně nebo plynné palivo, což v našich podmínkách mnohdy omezovalo jejich provoz.

Tepelný oběh spalovací turbíny se liší od parního oběhu tím, že pracovní látka nemění v oběhu své skupenství. Spalovací turbína využívá chemicky utajenou energii paliva (kapalného, plynného, tuhého) spalovaného za stálého tlaku ve spalovací komoře, která tvoří konstrukční celek se spalovací turbínou a kompresorem. Vzniklé spaliny se mísí se vzduchem a tím se získá pracovní látka pro spalovací turbínu. Kapalným palivem používaných ve spalovacích komorách jsou ropné produkty (destiláty a zbytky po destilaci) vstřikované do spalovací komory pod tlakem. Plynným palivem může být zemní, generátorový nebo jiný výhřevný plyn, který se přivádí do spalovací komory rovněž pod tlakem. Tuhým palivem pro spalovací turbíny je kvalitní práškové uhlí, které se po vysušení a rozemletí rozprašuje do spalovacích komor turbíny. Tuhé palivo se používá ojediněle pro vysoké náklady na sušení a mletí paliva, zanášení a opotřebování mechanismů turbíny a znečišťování popílkem. [8]

3.1.3 Teplárny

Snaha o co nejlepší využití energie z primární energie fosilních paliv vedla ke vzniku kombinovaných výroben elektřiny a tepla. Tento druh výroby se obecně nazývá teplárna a od kondenzačních elektráren se liší v použitém technologickém zařízení a celkovým tepelným schématem. Teplárna je především zdrojem tepla a je vedle výtopny jedním z účinných řešení centralizovaného zásobování teplem. Použití tepláren dodávajících teplo a elektrickou energii je energeticky výhodnější než použití výtopen dodávajících pouze teplo. Rozhodnutí, zda postavit teplárnu nebo výtopnu závidí na velikosti odběru a průběhu tepelného zatížení (denním i nočním) zásobované oblasti. Poněvadž teplárny jsou investičně náročnější než výtopny, je třeba navrhnout velikost turbín tak, aby byly co nejlépe využity.

Podíl tepla dodaného turbínou Q_t a maximální spotřeba tepla Q_{max} se nazývá teplárenský součinitel α

$$\alpha = \frac{Q_t}{Q_{max}} \quad [-; kJ, kJ] \quad (3.1)$$

Pro optimální dobu využití protitlakových turbín při nerovnoměrném tepelném odběru se volí teplárenský součinitel menší než jedna.

Úsporu energie při kombinované výrobě elektrické energie a tepla je možné vyjádřit jako

$$\Delta Q_{pal} = e \cdot Q_d \cdot (q_{kond} - q_{tepl}) \quad [kJ; \frac{kWh}{kJ}, kJ, \frac{kJ}{kWh}, \frac{kJ}{kWh}] \quad (3.2)$$

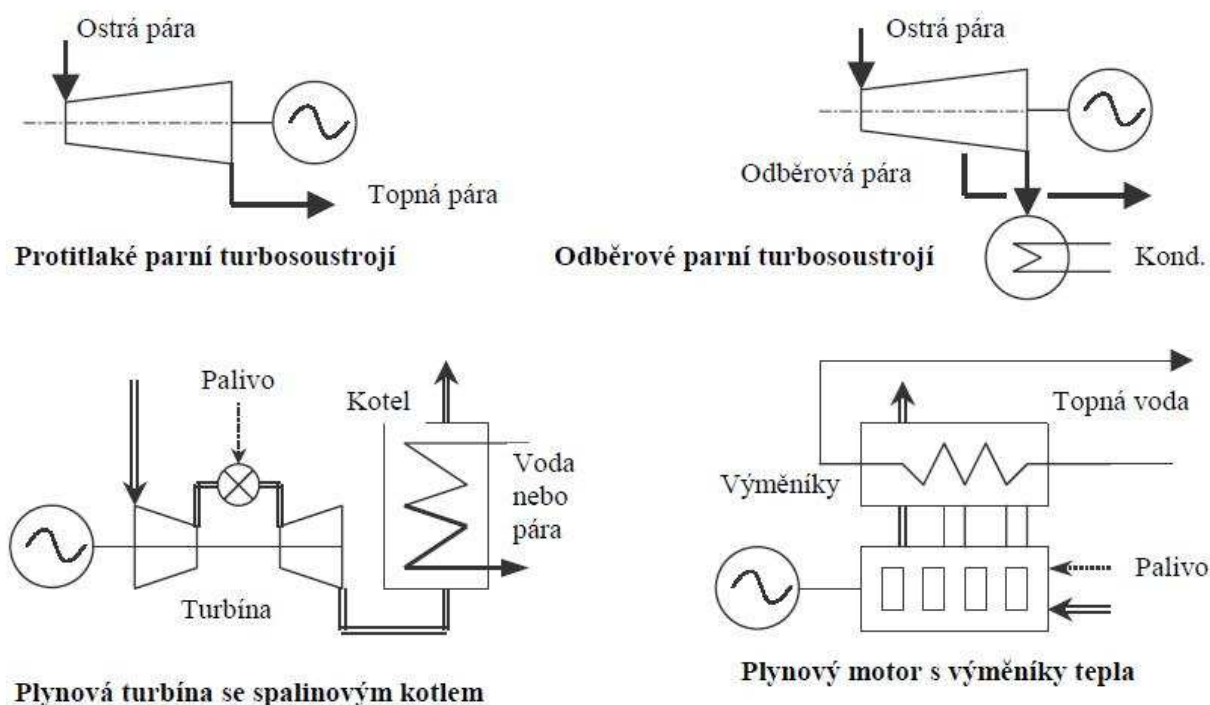
,kde e je modul teplárenské výroby, Q_d je celkové dodané teplo, q_{kond} je měrná spotřeba tepla při kondenzační výrobě elektrické energie, q_{tepl} je měrná spotřeba tepla při protitlakové výrobě elektrické energie.

Modul teplotní výroby (měrná výroba elektřiny na dodanou jednotku tepla) je definován

$$e = \frac{A_r}{Q_d} \quad \left[\frac{kWh}{kJ}, kWh, kJ \right] \quad (3.3)$$

,kde A_r je výroba elektrické energie. [8]

V teplotních zdrojích se setkáváme se čtyřmi základními typy zdrojů využitelných pro současnou výrobu elektrické energie a tepla. Jsou to parní protitlaké a parní odběrové turbíny, plynové turbíny a plynové motory. Schematické znázornění všech těchto čtyř základních typů strojů je uvedeno na obrázku č. 5. [9]



Obrázek 5-Základní typy zdrojů kombinované výroby elektrické energie a tepla

U parních protitlakých turbín je veškerá emisní pára využívána pro topné účely, a to ať již přímo jako pára dodávaná do parních soustav centralizovaného zásobování teplem (SCZT), nebo jako pára dodávaná do zdrojových výměníkových stanic horkovodních SCZT. Výhodou tohoto stroje je vysoká energetická účinnost, nevýhodou je přímá závislost výroby elektrické energie na dodávkách tepla. Z pozice řízení elektrizační, nebo distribuční soustavy potom hovoříme o tzv. vynucené výrobě elektrické energie, což znamená, že dispečink příslušné části elektrizační soustavy nemůže s instalovaným výkonem v protitlakých turbosoustrojích libovolně manipulovat, nýbrž musí pouze akceptovat okamžité hodnoty dodávek z těchto zdrojů. Tuto, pro elektrizační soustavu nevýhodnou vlastnost, částečně eliminují odběrové parní turbosoustrojí, ovšem na úkor zhoršené celkové energetické účinnosti cyklu.

Parní odběrové turbíny umožňují přerozdělovat množství páry odebírané pro topné účely a množství páry využívané pro kondenzační výrobu elektrické energie, samozřejmě pouze v určitém omezeném rozsahu, daném maximálními velikostmi odběrů a minimálními průtoky do kondenzace. Právě minimální průtoky posledními stupni turbíny limitují spodní hranici vynucené

výroby elektrické energie. Rozsah tzv. volné, dispečersky využitelné výroby elektrické energie je na horní hranici limitován instalovaným elektrickým výkonem turbosoustrojí, na spodní hranici pak jeho dosažitelným výkonem při maximálním odběru páry pro topné účely. Stupeň využívání pásma volné výroby elektrické energie na odběrových parních turbosoustrojích záleží na technických podmínkách (počtech jednotek a instalovaných výkonech, napěťové úrovni sítě, pružnosti a technickém vybavení kotlů a turbín, atd.) a na ekonomických podmínkách (cena paliva, konstrukce obchodních smluv, atd.), které se mohou lokalitu od lokality podstatně lišit.

Samostatné plynové turbíny jako zdroje kombinované výroby elektrické energie a tepla bývají využívány velice zřídka (pouze u průmyslových podniků s vyrovnanými potřebami elektrické energie a páry pro technologické účely). Zpravidla jsou za plynovými turbínami aplikovány spalínové kotle produkující páru o vysokých parametrech, která je dále využívána pro provoz parních turbín.

Takovýmto kombinacím zařízení říkáme paroplynové cykly, a je-li na konci tohoto cyklu použita protitlaká parní turbína, provozní vlastnosti celého paroplynového cyklu odpovídají protitlaké výrobě (vysoká celková energetická účinnost, vynucená výroba elektrické energie), je-li použita odběrová parní turbína, provozní vlastnosti celého paroplynového cyklu odpovídají odběrové výrobě (nižší celková energetická účinnost, existence volného elektrického výkonu).

K hlavním výhodám paroplynových cyklů patří podstatně vyšší podíl výroby elektřiny oproti vyráběnému objemu tepla, což je ovlivněno plynovou turbínou, která může být v době odstávky paroplynového cyklu využívána i jako záložní zdroj v elektrizační soustavě schopný najetí na plný výkon do cca 15 minut ze studeného stavu. K hlavním nevýhodám paroplynového cyklu patří nezbytnost použití ušlechtilých paliv (plynů, nebo lehkých topných olejů) a menší regulační rozsah plynových turbín.

Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla na bázi plynových motorů, která se často nazývá kogenerací, bývá aplikována především ve zdrojích menších SCZT. Plynové motory mají oproti ostatním zdrojům elektrické energie jedno výrazné specifikum, kterým je možnost častých, opakovaných a poměrně velmi rychlých startů a odstávek. Tyto vlastnosti je možno s výhodou využít pro vykrývání denních diagramů zatížení místních odběrových soustav elektrické energie, dořešit je však vždy třeba vazby na denní průběhy dodávek tepla. Obvyklým technickým i ekonomicky úspěšným řešením bývá přiřazení beztlakých statických akumulátorů tepla, což jsou objemné, tepelně izolované nádrže, které jsou v době chodu plynových motorů nabíjeny přebytky jejich tepelného výkonu, a naopak, v době odstávky motoru jsou naakumulované přebytky využívány ke krytí potřeb tepla v SCZT. K hlavním výhodám plynových motorů patří již zmiňovaná možnost rychlých a časných startů a dobrá provozní pružnost, k hlavním nevýhodám pak potřeba kvalitního paliva a velké hmotnosti limitující hodnoty instalovaných elektrických výkonů.

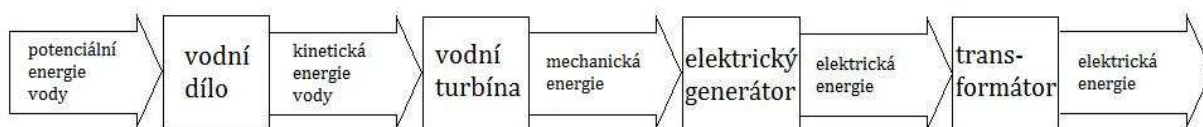
Elektrická energie vyráběná na všech popisovaných typech strojů je využívána pro krytí vlastních spotřeb zdrojů, nebo pro dodávky do místních či distribučních sítí. U zdrojů s plynovými motory a s malými parními protitlakými (redukčními) turbínami převažuje výroba pro účely vlastní spotřeby, naopak u odběrových parních turbín a paroplynových cyklů silně převažuje výroba pro dodávky do elektrizační soustavy. [9]

3.2 Vodní elektrárny

V řekách a mořích je ukryt značný potenciál mechanické energie, a to energie, která se díky přírodním zákonům stále obnovuje. Pro nás je velmi zajímavá energie vodních toků. Výhodou je i možnost její akumulace. Vodní elektrárny využívají mechanickou energii vody, která je relativně levná a ekologicky čistá. Výstavbu vodních elektráren však umožnil až vynález účinného vodního motoru – vodní turbíny. Současné vodní turbíny pracují s vysokou účinností. Jednotkový výkon turbosoustrojí má v praxi značný rozsah od jednotek kW až po jednotky velikosti přes 800 MW.

Vodní elektrárny v porovnání s elektrárnami spalujícími fosilní paliva a s jadernými elektrárnami mají řadu výhod. Je tu možnost rychlého a hospodárného spuštění a odtavení (řádově v jednotkách minut), jednoduchý technologický proces výroby s možností úplné automatizace provozu a dálkového ovládání, vysoká pohotovost k výrobě při nízké poruchovosti, velká účinnost přeměny mechanické energie vodního toku na elektrickou energii a neznečišťující okolí exhalacemi a odpady z výroby.

Česká republika nemá z hlediska využití hydroenergetického potenciálu vodních toků příliš vhodnou polohu. Prochází jí evropské rozvodí, takže u nás řeky především pramení a vodní energie je rozptýlena do malých toků. Pro většinu našich toků je typické značné kolísání průtoků a poměrně malé spády. Tato okolnost působí na využití hydroenergetického potenciálu nepříznivě. Dá se jí však čelit výstavbou akumulčních vodních nádrží. Přeměna energie ve vodní elektrárně je vidět na obrázku č.6. [7]



Obrázek 6-Přeměna energie ve vodní elektrárně

Energeticky nejprůzračnější české řeky jsou z hlediska průměrných průtoků pouze Labe, Vltava, Morava. Ostatní toky poskytují možnosti výstavby vodních děl menších kapacit. Nejvíce je energeticky využita řeka Vltava, na níž byla postavena kaskáda vodních elektráren provozovaných elektrárenskou společností ČEZ o celkovém instalovaném výkonu asi 765 MW. [8]

ČEPS a.s. provozovatel přenosové soustavy v ČR využívá vltavskou kaskádu jako fiktivní blok. Poskytuje rychle startující deseti minutovou zálohu a v závislosti na hydrologických podmínkách také sekundární regulaci. Fiktivní blok Vltava je v ES ČR zcela jedinečný, proto je veden a řízen zcela samostatně, aby bylo možné zohlednit technické podmínky, hydrologickou situaci a jiná ustanovení platná pro vltavskou kaskádu.

Kromě elektráren na Vltavě jsou u nás v provozu i tři velmi důležité přečerpávací vodní elektrárny Dalešice (480 MW), Dlouhé Stráně (650 MW) a Štěchovice (45 MW). Přečerpávací elektrárny fungují na principu akumulace energie ve formě vody v nádržích. Jejich výroba elektrické energie slouží k pokrytí špičkových výkyvů v denním diagramu zatížení. Přes noc, při

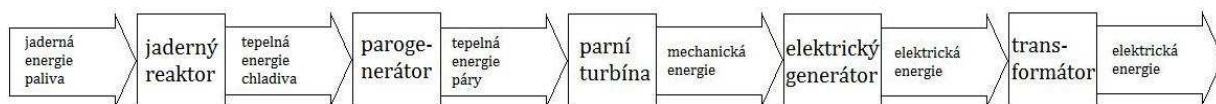
nejmenším zatížení, naopak spotřebovávají energii k opětovnému načerpání vody do horních nádrží.

Velké zdroje jako jsou jaderné a tepelné elektrárny pokrývají základní zatížení sítě a jejich výkon je možné během dne měnit jenom velice omezeně. Navíc je velmi neekonomické stavět velké energetické zdroje, které by byly v provozu jen po zlomek dne, provoz takové elektrárny by byl neúměrně drahý. Proto vodní elektrárny, jak akumulací či přečerpávací jsou používány pro pokrytí špičkových spotřeb elektrické energie. Význam vodních elektráren se v současné době čím dál více zvyšuje, se zvyšujícím se množstvím alternativních zdrojů, jako jsou větrné či sluneční elektrárny.

3.3 Jaderné elektrárny

Jednou z možností jak zajistit lidstvu elektrickou a tepelnou energii pro budoucí spotřebu je využití energie jaderných reakcí. V současné době se v energetice průmyslově využívá pouze štěpení jader těžkých prvků. Provozovatelé jaderné elektrárny používají k získání tepelné energie, potřebné k výrobě elektrické energie, výhradně řízenou štěpnou reakci. Druhý princip označovaný jako termojaderná syntéza, tj. slučování lehkých prvků, je v období výzkumů.

V jaderné elektrárně vyrábíme elektrickou energii z tepelné v podstatě na stejném principu jako v elektrárnách spalujících fosilní paliva. Zásadní rozdíl mezi oběma typy elektráren spočívá ve zdroji tepelné energie. Kotel spalující fosilní paliva jako zdroj tepelné energie v tepelné elektrárně je v jaderné elektrárně nahrazen jaderným reaktorem, respektive primárním okruhem. Tepelná energie vzniká v aktivní zóně reaktoru štěpením jader izotopu uranu ^{235}U . Průběh přeměny energií v jaderné elektrárně můžeme vidět na obrázku č.7. [7]



Obrázek 7-Přeměna energie v jaderné elektrárně

V České republice za rok 2009 bylo vyrobeno 82,2 milionů MWh elektrické energie, z toho 33% pokryly jaderné elektrárny Dukovany a Temelín. Jejich společný instalovaný výkon 3830 MW představuje 21% z celkového instalovaného výkonu České republiky. Podíl těchto zdrojů na celkové výrobě je vysoký proto, že jsou využívány přednostně, neboť jaderné zdroje ve srovnání s ostatními energetickými zdroji pracují s nejnižšími proměnnými náklady. Výkon na našich jaderných elektrárnách má nyní i v budoucnu rostoucí tendenci díky probíhajícím modernizačním technologického zařízení, optimalizaci provozu a odstávek, ale také se plánuje s výstavbou nových bloků u obou našich jaderných elektráren.

4 OPTIMALIZACE PROVOZU ES

4.1 Systémové služby (SyS)

Systémové služby, které poskytuje provozovatel sítě (v České republice ČEPS, a.s.) slouží k zajištění bezpečného a spolehlivého provozu PS, kvality přenosu elektrické energie a k zajištění požadavků pro provoz ES ČR vyplývajících z mezinárodní spolupráce s UCTE.

Provozovatel PS (ČEPS) zajišťuje následující systémové služby:

1) Udržování kvality elektřiny

Služba využívá tyto technicko-organizační prostředky:

- Udržování souhrnné výkonové zálohy pro primární regulaci frekvence
- Sekundární regulace f a P
- Sekundární regulaci napětí
- Terciární regulace napětí
- Zajištění kvality napěťové sinusovky
- Zajištění stability přenosu

Kritéria pro posuzování kvality elektřiny vycházejí z platných technických norem.

2) Udržování výkonové rovnováhy v reálném čase

Služba využívá tyto technicko-organizační prostředky:

- Sekundární regulace f a P
- Terciární regulaci výkonu
- Využití dispečerské zálohy

Kritéria pro posuzování kvality udržování výkonové rovnováhy a salda předávaných výkonů vycházejí z doporučení platných obecně v rámci UCTE.

3) Obnovení provozu

Jako hlavní prostředek se využívá plán obnovy spolu se schopností ostrovního provozu a startu ze tmy (Pps). Kritéria pro posuzování kvality obnovení provozu vycházejí z předpisů platných v rámci ČEPS, a.s. a UCTE.

4) Dispečerské řízení

Kromě již výše uvedených prostředků zahrnuje tato služba ještě:

- zajišťování bezpečnosti provozu prostřednictvím plánu obrany a provozních instrukcí
- řízení propustnosti sítě (toků činných výkonů) pomocí zapojení sítě, redispečinku, protiobchodu

Kritéria pro posuzování kvality dispečerského řízení vycházejí z předpisů a provozních instrukcí platných v rámci ČEPS, a.s. a UCTE.

4.1.1 Technicko-organizační prostředky pro zajištění SyS

4.1.1.1 Udržování souhrnné výkonové zálohy pro primární regulaci frekvence

Udržování souhrnné výkonové zálohy pro primární regulaci frekvence znamená obstarání této zálohy ve stanovené výši a kvalitě (s požadovanou statikou a dynamikou).

V propojené ES je primární regulace frekvence založena na tzv. principu solidarity. To znamená, že při narušení výkonové rovnováhy mezi zatížením a výkonem zdrojů (např. poruchovým výpadkem bloku nebo změnou zatížení) se na obnovení výkonové rovnováhy podílejí všechny zdroje propojené soustavy, které jsou do primární regulace frekvence zapojeny v jednotlivých regulačních oblastech.

Účelem primární regulace frekvence je tudíž zvýšení (snížení) výkonu a tím zastavení poklesu (vzrůstu) odchylky frekvence v časovém intervalu několika sekund. Matematicky tato odezva výkonu ΔP závisí na stacionární odchylce frekvence Δf od jmenovité hodnoty takto:

$$\Delta P = -\lambda \cdot \Delta f \quad \left[MW; \frac{MW}{Hz}, Hz \right] \quad (4.1)$$

kde λ je výkonové číslo regulační oblasti. Výkonové zálohy pro primární regulace frekvence každé z regulačních oblastí se stanoví jako standard udávající, jak velký výpadek výkonu má být pokryt činností primární regulace frekvence. Zajištění této (vzájemně v UTCE dohodnuté) výkonové zálohy je základní povinností provozovatelů PS, tj. podmínkou synchronní spolupráce soustav společností spolupracujících v tomto propojení. Z toho vyplývá, že každá regulační oblast udržuje pro ni stanovenou souhrnnou výkonovou zálohu na primární regulaci frekvence s danou sumární statikou.

Na primární regulaci frekvence se podílejí bloky poskytující podpůrnou službu (PR). Na činnost primární regulace frekvence navazuje sekundární regulace f a P .

4.1.1.2 Sekundární regulace f a P

Sekundární regulace f a P automaticky udržuje frekvenci na jmenovité hodnotě a výkonovou rovnováhu regulační oblasti (saldo předávaných výkonů se sousedními soustavami na sjednané hodnotě).

Sekundární regulace f a P je zajišťována automaticky sekundárním regulátorem frekvence a předávaných výkonů, který je umístěn na Dispečinku ČEPS. Na sekundární regulátor jsou připojeny terminály elektráren s bloky poskytujícími (PpS) sekundární regulace P bloku a terminály v hraničních rozvodnách měřící předávaný výkon. Samotný regulátor pracuje podle metody síťových charakteristik, která zajišťuje tzv. princip neintervence, což znamená, že způsobenou výkonovou nerovnováhu, projevující se změnou frekvence a odchylkou předávaných výkonů vyrovnává pouze postižená regulační oblast, kde výkonová nerovnováha vznikla. Regulační odchylka se tedy spočítá:

$$G = \Delta P + K \cdot \Delta f \quad \left[MW; MW, \frac{MW}{Hz}, Hz \right] \quad (4.2)$$

ΔP je odchylka předávaných výkonů od plánované hodnoty a K je nastavený parametr, který by se měl teoreticky rovnat výkonovému číslu λ , aby princip neintervence platil ideálně.

Okamžitou regulační odchylku výkonu nesmíme zaměňovat za systémovou odchylku, která představuje odchylku energie subjektů zúčtování za obchodní interval. Při obnovování výkonové rovnováhy navazuje sekundární regulace f a P na primární regulaci frekvence tak, aby postupně nahradila výkon, který byl poskytnut na principu solidarity v propojené soustavě. Proces sekundární regulace f a P je realizován vysíláním žádané hodnoty výkonu ze sekundárního regulátoru na bloky poskytující (PpS) (SR).

Činnost sekundární regulace f a P by měla obnovit zadané hodnoty frekvence a předávaných výkonů do 15 minut od okamžiku vzniku výkonové nerovnováhy. Na činnost sekundární regulace f a P navazuje terciární regulace výkonu.

4.1.1.3 Terciární regulace výkonu

Terciární regulace výkonu udržuje potřebnou sekundární regulační zálohu.

Terciární regulace výkonu slouží pro nahrazení vyčerpané sekundární regulační zálohy, tedy výkonu, který byl použit v rámci činnosti sekundární regulace f a P . Pro terciární regulaci je možné využívat točivou zálohu (bloky poskytující (PpS) terciární regulace P bloku) nebo najíždět podle potřeby rychle startující zálohu.

4.1.1.4 Využití dispečerské zálohy

Dispečerská záloha slouží pro pokrývání výkonové nerovnováhy, která vzniká tím, že účastníci trhu (subjekty zúčtování odchylek) nejsou dlouhodobě (více než cca 2 hodiny) schopni dodržet plánované odběrové diagramy nebo diagramové body.

Účelem dispečerské zálohy je pokrytí nedostatku výkonu vzniklého výpadkem bloků nebo větším odebíraným výkonem oproti sjednanému odběrovému diagramu, který provozovatelé bloků nebo uživatelé nejsou schopni nebo ochotni nahradit vlastními prostředky (např. nákupem elektřiny na vyrovnávacím trhu).

4.1.1.5 Sekundární regulace napětí (ASRU)

Sekundární regulace napětí automaticky udržuje zadané napětí v pilotním uzlu přenosové soustavy. Zadané napětí je určeno terciární regulací napětí.

Úlohou ASRU je udržování zadaných napětí, které jsou stanoveny terciární regulací napětí v pilotních uzlech. Systém ASRU je realizován pomocí automatického regulátoru napětí (ARN). Tento regulátor reaguje na odchylku skutečného napětí od napětí zadaného v pilotním uzlu a určí potřebný jalový výkon pro její odregulování. Hodnota požadovaného výkonu je rozesílána na elektrárny, jejichž bloky poskytují (PpS) sekundární regulace U/Q .

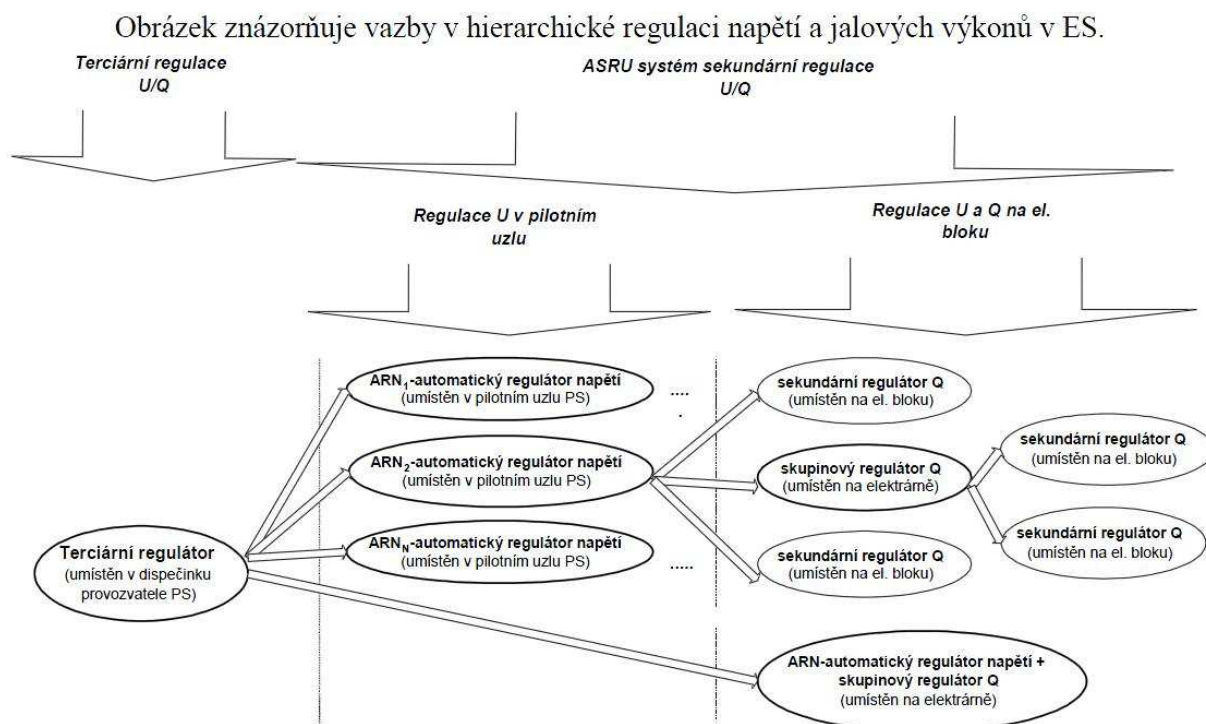
Pokud má elektrárna více než jeden blok, musí být vybavena též tzv. skupinovým regulátorem jalového výkonu, který rozdělí požadovaný výkon z ARN na jednotlivé bloky dle zvoleného klíče. Principiálně jsou možná následující uspořádání:

1. ARN je umístěn na elektrárně (je součástí řídicího systému elektrárny). Jeho nedílnou částí je potom tzv. skupinový regulátor buzení, který řídí jalové výkony jednotlivých bloků (pulzní nebo analogovou regulací jalového výkonu).

2. ARN není umístěn na elektrárně (je umístěn např. na blízké rozvodně zvn a vvn), ale jeho součástí je skupinový regulátor buzení elektrárny, který přímo řídí jalové výkony jednotlivých bloků (pulzní nebo analogovou regulací).

3. ARN není umístěn na elektrárně (je umístěn např. na blízké rozvodně zvn a vvn), ale zasílá na elektrárnu sumární žádanou hodnotu jalového výkonu. Takto je skupinovým regulátorem, který je umístěn na elektrárně rozdělována na jednotlivé bloky.

Konkrétní uspořádání musí být dohodnuto mezi poskytovatelem (PpS) a provozovatelem PS. Do systému ASRU jsou zařazeny i kompenzační tlumivky, které jsou využívány při vyčerpání příslušných regulačních rezerv alternátorů. Regulovat kompenzačními tlumivkami by se mělo začít dříve, než jsou zcela vyčerpány technické možnosti alternátorů. Na těch by se měla udržovat stálá rezerva Q pro havarijní situace. Systém regulace zahrnuje i hladinové regulátory transformátorů. ASRU musí umožňovat komunikaci s terciární regulací napětí.



Obrázek 8-Struktura regulace U a Q v PS

Při přechodu pilotního uzlu do ostrovního provozu se odpojuje ASRU ze systému terciární regulace (dálkové ovládání napětí) a přepojuje na režim zadávání žádaného napětí místně. Popudovým signálem je výstup z alespoň jednoho regulátoru ostrovního provozu ROP příslušného generátoru, který reguluje napětí v daném pilotním uzlu. Není-li k dispozici signál z ROP, využije se přímo výstup z frekvenčního relé, které indikuje vznik ostrovního provozu v dané části PS

4.1.1.6 Terciární regulace napětí

Terciární regulace napětí koordinuje zadaná napětí v pilotních uzlech pro bezpečný a ekonomický provoz ES jako celku.

Je představována optimalizačním programem pracujícím na Dispečinku ČEPS. Z obr. č.8 je vidět, že terciární regulace napětí tvoří vrchol v hierarchii regulaci napětí a jalových výkonů v ES.

4.1.1.7 Zajištění stability přenosu

Jedná se o kontrolní a koordinační činnost spočívající v zajištění stability přenosu činných výkonů a tlumení výkonových kyvů v soustavě.

Provoz propojených přenosových soustav vyžaduje kontrolu statické a dynamické stability při přenosech výkonů. Tuto kontrolu provádí ČEPS sledováním a vyhodnocováním měřených dějů v reálném čase a kontrolními výpočty stability. Na základě analýzy se navrhuje opatření pro nastavení hlídačů meze podbuzení, zesílení regulátorů buzení a nastavení konstant systémových stabilizátorů (PSS) v regulátorech buzení jednotlivých generátorů. Tyto záležitosti také řeší Obranný plán v opatření proti kývání a ztrátě synchronismu.

4.1.1.8 Obnovování provozu po úplném nebo částečném rozpadu soustavy (ztrátě napájení)

Proces skládající se z najetí bloků bez podpory napětí ze sítě (start ze tmy), postupné obnovy napětí sítě a napájení uživatelů dle předem určených priorit a dále z ostrovního provozu částí sítě a postupného sfázování ostrovních provozů.

V případě, že dojde k velké systémové poruše, která není zvládnuta běžnými prostředky (popsanými v Plánu obrany proti šíření poruch), může nastat black-out, neboli dojít k úplnému nebo částečnému rozpadu soustavy. V případě takovýchto poruch musí ČEPS zajistit obnovení provozu do normálního stavu. K tomuto účelu má vytvořený Plán obnovy, který je rozpracován do provozních instrukcí dispečinků provozovatelů DS a pravidelně trénován a některé jeho části i reálně testovány. Příkladem může být start bloků bez dodávky vnějšího napětí a výkonu – start ze tmy a schopnost ostrovního provozu elektrárenských bloků.

4.1.1.9 Zajištění kvality napětíové sinusovky

Funkce pasivního charakteru (monitorovací a kontrolní) i aktivního charakteru (filtry).

S rozvojem polovodičových technologií roste počet zařízení založených na této bázi napájených z vyšších napětíových hladin. To může způsobit zkreslení průběhu napětí (pulsy, obsah vyšších harmonických apod.), které zpětně negativně ovlivňuje jiné uživatele. Proto ČEPS má právo monitorovat a měřit „čistotu“ sinusovky a identifikovat zdroje poruch a navrhnout opatření.

4.2 Vztahy mezi systémovými a podpůrnými službami

K zajištění systémových služeb (SyS) používá ČEPS podpůrné služby (PpS) poskytované jednotlivými uživateli PS. ČEPS tak dosahuje správné a spolehlivé fungování ES v rámci standardů UCTE. Jedná se zejména o následující služby (zkratky jsou uvedeny v závorce):

- Primární regulace f bloku (PR)
- Sekundární regulace P bloku (SR)
- Terciární regulace P bloku (TR)
- Rychle startující 10-ti minutová záloha (QS₁₀)
- Rychle startující 15-ti minutová záloha (QS₁₅)
- Dispečerská záloha (DZt)
- Změna zatížení (ZZ₃₀)
- Snížení výkonu (SV₃₀)
- Vltava (VSR)
- Sekundární regulace U/Q (SRUQ)
- Schopnost ostrovního provozu (OP)
- Schopnost startu ze tmy (BS)

Následující tabulka uvádí přehled vztahů mezi systémovými a podpůrnými službami. [10]
Pro jednotlivé SyS uvádí odpovídající (PpS), kterými se uživatelé PS jako poskytovatelé (PpS) mohou podílet na zajištění těchto systémových služeb.

SYSTÉMOVÁ SLUŽBA	Kategorie	I Provozovatelé elektrárenských bloků	IIA Provozovatelé DS	IIB Uživatelé z PS	III Sousední PS
	Technicko- organizační prostředek				
UDRŽOVÁNÍ KVALITY ELEKTRINY	Udržování souhrnné výkonové zálohy pro PRIMÁRNÍ REGULACI FREKVENCE	Primární regulace f bloku			
	SEKUNDÁRNÍ REGULACE NAPĚTÍ	Sekundární regulace U/Q			
		Sekundární regulace P bloku			
UDRŽOVÁNÍ VÝKONOVÉ ROVNOVÁHY	SEKUNDÁRNÍ REGULACE f a P	Rychle startující 10-ti minutová záloha Vltava	Změna zatížení	Změna zatížení	
	TERCIÁRNÍ REGULACE VÝKONU	Terciární regulace P bloku Rychle startující 30-ti minutová záloha Snižování výkonu Vltava	Změna zatížení	Změna zatížení	
	Zajištění DISPEČERSKÉ ZÁLOHY	Dispečerská záloha	Změna zatížení	Změna zatížení	
ODNOVOVÁNÍ PROVOZU		Schopnost ostrovního provozu Schopnost startu ze tmy			

Tabulka č.1-Vztahy mezi SyS a PpS

4.3 Podpůrné služby (PpS)

Všechny podpůrné služby musí splňovat tyto obecné požadavky:

- Měřitelnost – se stanovenými kvantitativními parametry a způsobem měření.
- Garantovaná dostupnost služby během denního, týdenního a ročního cyklu s možností vyžádat si inspekci.
- Certifikovatelnost – stanovený způsob prokazování schopnosti poskytnout služby pomocí periodických testů.
- Možnost průběžné kontroly poskytování

K zajištění systémových služeb (SyS) používá ČEPS „podpůrné služby“ PpS poskytované jednotlivými uživateli PS. ČEPS tak dosahuje správné a spolehlivé fungování ES v rámci standardů, které si pro provoz zvolil, nebo které přijal jako člen propojených soustav.

Následující část popisuje PpS tak, jak jsou poskytovány jednotlivými subjekty na jejich zařízeních:

- Primární regulace f bloku (PR)
- Sekundární regulace P bloku (SR)
- Terciární regulace P bloku (TR)
- Rychle startující 10-ti minutová záloha (QS₁₀)
- Rychle startující 15-ti minutová záloha (QS₁₅)
- Dispečerská záloha (DZ_t)
- Změna zatížení (ZZ₃₀)
- Snížení výkonu (SV₃₀)
- Vltava (VSR)
- Sekundární regulace U/Q (SRUQ)
- Schopnost ostrovního provozu (OP)
- Schopnost startu ze tmy (BS)

Kromě podpůrných služeb obstarávaných v ES ČR využívá ČEPS pro systémovou službu Udržování výkonové rovnováhy v reálném čase ještě regulační energii opatřenou na domácím trhu a domácím vyrovnávacím trhu (VT) a dále výpomoc ze synchronně pracující soustavy.

Regulační energie opatřená na domácím trhu v ČR

- Regulační energie z vyrovnávacího trhu opatřená v ČR (negarantovaná)
- Regulační energie opatřená na domácím trhu v ČR, (dohoda s výrobcem negarantovaná)

Výpomocí ze synchronně pracující soustavy se rozumí import/export regulační energie, realizovaný změnou salda předávaných výkonů po odsouhlasení se sousedním PPS.

Výpomoc ze synchronně pracující soustavy je možno realizovat následujícími způsoby:

- Havarijní výpomoc
- Nákup negarantované regulační energie ze zahraničí
- Nákup garantované regulační energie ze zahraničí

4.3.1 Primární regulace f bloku (PR)

Primární regulace f bloku je lokální automatická funkce zajišťovaná obvody primární regulace, spočívající v přesně definované změně výkonu elektrárenského bloku v závislosti na odchylce frekvence od zadané hodnoty. Změnu výkonu elektrárenského bloku vyžadovanou obvody primární regulace v závislosti na odchylce frekvence udává regulační rovnice:

$$\Delta P = - \frac{100}{\delta} \frac{P_n}{f_n} \Delta f \quad (4.3)$$

, kde ΔP je požadovaná změna výkonu bloku [MW]

P_n je nominální výkon bloku [MW]

Δf je odchylka frekvence od zadané hodnoty [Hz]

δ je statika primární regulace [%]

f_n je zadaná frekvence (obvykle jmenovitá 50 Hz)

Poskytovatel PpS primární regulace f bloku (PR) musí zajistit uvolnění požadované regulační zálohy (RZPR) do 30 sekund od okamžiku vzniku odchylky frekvence. Maximální rezervovaná velikost (RZPR) na bloku je uvolňována při změně kmitočtu o 200 mHz od zadané hodnoty (platí pro bloky do 300 MW) a pro bloky nad 300 MW se uvažuje s uvolněním maximální rezervované velikosti (RZPR) při změně kmitočtu o 100 mHz od zadané hodnoty.

Z důvodu omezení vlivu výpadků bloků poskytujících tuto PpS na souhrnnou zálohu, je stanovena maximální velikost vykupované (RZPR) od jednoho bloku 10 MW. Minimální velikost (RZPR) poskytovaná na jednom bloku je 3 MW, přičemž platí

$$RZPR = \frac{1}{2} \cdot RRPR \quad (4.4)$$

,kde RRPR je regulační rozsah primární regulace.

4.3.2 Sekundární regulace P bloku (SR)

Sekundární regulace P bloku (SR) je proces změny hodnoty výkonu regulovaného elektrárenského bloku, tak jak je požadováno sekundárním regulátorem frekvence a salda předávaných výkonů. Využitím regulační zálohy (SR) (dále RZSR) je dáno algoritmem sekundárního regulátoru Dispečinku ČEPS.

Poskytovatel PpS sekundární regulace P bloku (SR) musí velikost regulační zálohy (RZSR) bloku realizovat určenou rychlostí nejpozději do 10 minut od požadavku.

Minimální rychlost změny (RZSR) bloku je 2 MW/min. Minimální velikost (RZSR) poskytovaná na jednom bloku je 10 MW, přičemž platí:

$$RZSR = \frac{1}{2} \cdot RRSR \quad (4.5)$$

,kde RRSR je regulační rozsah sekundární regulace.

4.3.3 Terciární regulace P bloku (TR)

Terciární (točivá) regulace P bloku spočívá ve změně výkonu bloku na základě požadavku vyslaného na elektrárnu technickým zařízením Dispečinku ČEPS. Pro snižování výkonu využíváme zálohu označenou (RZTR-). Pro zvyšování výkonu využíváme zálohu označenou (RZTR+).

Poskytovatel PpS terciární regulace P bloku (TR) musí celou velikost regulační zálohy realizovat nejpozději do 30 minut od požadavku. Minimální velikost vykupované (RZTR+ nebo RZTR-) pro blok připojený k regulátoru ČEPS je 10 MW, přičemž platí:

$$RZTR- = RRTR-; RZTR+ = RRTR+$$

Minimální rychlost změny výkonu je 2 MW/min. Maximální velikost poskytované (TR) na jednom bloku nesmí překročit 100 MW.

4.3.4 Rychle startující 10-ti minutová záloha (QS₁₀)

Jedná se o bloky, které jsou do 10 minut od příkazu Dispečinku ČEPS schopny poskytnout sjednanou zálohu RZQS₁₀, odpojení čerpání (u přečerpávacích vodních elektráren PVE) nebo nenajetí programovaného čerpání.

Hlavním účelem použití těchto bloků je vyregulování výkonové nerovnováhy vzniklé jako důsledek výpadků elektrárenských bloků nebo náhlého a významného nárůstu zatížení. Opětovné načerpání u PVE, tj. obnova možnosti poskytovat tuto službu je zodpovědností poskytovatele (QS₁₀). Minimální velikost (RZQS₁₀) jednoho bloku musí být 30 MW (pokud není s provozovatelem PS dohodnuto jinak). Minimální doba, po kterou musí být garantováno poskytování rychle startující 10-ti minutové zálohy (RZQS₁₀), je 4 hodiny.

4.3.5 Rychle startující 15-ti minutová záloha (QS₁₅)

Jedná se o bloky, které jsou do 15 minut od příkazu Dispečinku ČEPS schopny poskytnout sjednanou zálohu RZQS₁₅. Rychle startující patnáctiminutovou zálohou se rozumí zvýšení výkonu na svorkách poskytujícího bloku.

Poskytovatel PpS (QS₁₅) musí garantovat dobu poskytování (RZQS₁₅) minimálně 24 hodin od požadavku Dispečinku ČEPS, a to i v případě, kdy požadavek na provoz přesáhne do období, v němž již služba nebyla v PP rozepsána. Poskytovatel je povinen odstavit celou velikost regulační zálohy do 15 min. od pokynu Dispečinku ČEPS. Minimální velikost RZQS₁₅ musí být 10 MW. Způsob aktivace určuje ČEPS.

Bloky poskytující QS₁₅ nemohou zároveň (ve stejné obchodním intervalu) poskytovat následující podpůrné služby SR, TR, QS₁₀, DZ_t.

4.3.6 Dispečerská záloha dostupná v čase t minut (DZ_t)

Dispečerskou zálohu dostupnou v čase (t) minut (DZ_t) tvoří bloky elektráren odstavené do zálohy, schopné na žádost provozovatele PS garantovat přifázování a najetí na jmenovitý nebo předem sjednaný výkon maximálně do času t. Dispečerskou zálohu dostupnou v čase (t) se rozumí výkon na svorkách poskytujícího bloku snížený o vlastní spotřebu (netto). Čas (t) může nabývat jedné z uvedených diskrétních hodnot 30, 60, 90, 360 minut.

Poskytovatel PpS (DZ_t) musí garantovat dobu poskytování (RZDZ_t) minimálně 36 h od požadavku Dispečinku ČEPS, a to i v případě, kdy požadavek na provoz přesáhne do období, v němž již služba nebyla v PP rozepsána. Poskytovatel je povinen odstavit blok do zálohy do 30 min. od pokynu Dispečinku ČEPS. Minimální výkon bloku pro (DZ_t) musí být alespoň 15 MW. Způsob aktivace (DZ_t) určuje ČEPS.

4.3.7 Změna zatížení (ZZ₃₀)

Změna zatížení zajištěná poskytovatelem ve směru odlehčení nebo zvýšení o předem definované a garantované velikosti regulační zálohy (RZZZ₃₀-, případně RZZZ₃₀+) na základě požadavku provozovatele PS.

Jedná se o změnu zatížení, která nespadá do kategorie změn, které jsou povinně realizované podle regulačního, vypínacího a frekvenčního plánu (viz vyhláška č. 219/2001 MPO).

Plná velikost aktivované PpS musí být dosažena do 30 min. od požadavku Dispečinku ČEPS. Minimální doba, po kterou musí být garantována realizace PpS po její aktivaci je 120 min. Minimální velikost ZZ₃₀ zajišťovaná od jednoho poskytovatele je alespoň 10 MW.

4.3.8 Snížení výkonu (SV₃₀)

Jedná se o bloky, které jsou do 30 min. od pokynu Dispečinku ČEPS schopny snížení výkonu o předem sjednanou hodnotu zálohy (RZSV₃₀) nebo jsou schopny plného odstavení nebo nenajetí zdroje programovaného PP.

Služba je využívána pro snížení dodávky do ES a odregulování výkonové nerovnováhy při významné záporné odchylce v soustavě vzniklé nedodržením sjednaných diagramů v rozsahu přesahujícím možnost standardně určených velikostí PpS – (SR a TR-). Minimální velikost zálohy zajišťované od jednoho poskytovatele této PpS je 30 MW a minimální doba, po kterou musí být garantováno její využití po aktivaci dispečerem ČEPS, je 24 hodin.

Poskytovatel (PpS) snížení výkonu (SV₃₀) musí na požádání ČEPS, a.s., doložit pro jednotlivé případy aktivace, na kterých blocích tuto službu poskytoval.

4.3.9 Vltava (VSR)

Služba využívající fiktivní blok Vltava vychází z dohody mezi ČEZ, a.s. a ČEPS, a.s. Poskytuje zejména (RZQS_{10v}) a dále v závislosti na hydrologických podmínkách (RZVSR).

Fiktivní blok Vltava je v ES ČR zcela jedinečný jak z pohledu podmínek Vltavské kaskády, tak z pohledu organizace jeho řízení. Pro ověření schopnosti poskytovat PpS provádí ČEPS, a.s. jeho certifikaci.

4.3.10 Sekundární regulace U/Q (SRUQ)

Sekundární regulace U/Q je automatická funkce využívající celý certifikovaný (smluvně dohodnutý) regulační rozsah jalového výkonu bloků pro udržení zadané velikosti napětí ve pilotních uzlech ES a zároveň rozděluje vyráběný jalový výkon na jednotlivé stroje.

Regulační proces má být aperiodický nebo maximálně s jedním překmitem a ukončený do 2 minut. Sekundární regulace U/Q musí být zároveň schopná spolupracovat s prostředky terciární regulace napětí a jalových výkonů.

4.3.11 Schopnost ostrovního provozu (OP)

Jedná se o schopnost provozu elektrárenského bloku do vydělené části vnější sítě tzv. ostrova. Ostrovní provoz se vyznačuje velkými nároky na regulační schopnosti bloku.

Schopnost Ostrovní provoz bloku je nezbytná pro předcházení a řešení stavu nouze a je legislativně podložena vyhláškou č. 219/2001. Ostrovní provoz bloku se vyznačuje značnými

změnami systémových veličin – frekvence a napětí, což souvisí s tím, že blok pracuje do izolované části soustavy. Elektrárenský blok přechází automaticky do regulačního režimu ostrovního provozu při poklesu frekvence pod 49,8 Hz a při vzrůstu frekvence nad 50,2 Hz. Změny zatížení ostrova představují velké nároky na regulaci činného výkonu bloku. Zatížení je proměnné a tím vyvolané změny napětí a frekvence musí být blok schopen řešit svou autonomní regulací (na rozdíl od paralelního provozu, kdy jsou změny napětí a frekvence řešeny prostřednictvím systémových služeb).

Požadavky na schopnosti bloku:

A. Přechod do ostrovního provozu

Přechod do ostrovního provozu bloku je charakterizován obvykle náhlou změnou frekvence a vznikem bilanční nerovnováhy činného případně jalového výkonu. Při přechodu do ostrovního provozu (jehož vznik je indikován vhodným frekvenčním relé, které je nastaveno na hodnotu danou frekvenčním plánem je nutné okamžitě zajistit především:

1. změnu režimu regulace bloku na proporcionální regulaci otáček
2. odpojení dálkové regulace výkonu (vypojení bloku ze sekundární regulace f a P)
3. odpojení sekundární regulace napětí (ASRU) ze systému terciární regulace napětí
4. pokud možno aperiodický a stabilní přechod otáček na novou hodnotu, která je dána frekvencí v ostrovu a nastavenými parametry regulace otáček. Výkon turbíny se v mezním případě může změnit z hodnoty jmenovitého výkonu až k hodnotám vlastní spotřeby
5. odepnutí bloku od vnější sítě do provozu na vlastní spotřebu (i z jmenovitého zatížení), pokud kmitočet vybočí z mezí dle frekvenčního plánu. Přechod na otáčky při napájení vlastní spotřeby musí být stabilní
6. přepnutí potřebných regulací bloku do režimu vhodného pro ostrovní provoz

B. Ostrovní provoz

Blokové regulace a technologické zařízení bloku musí zajistit:

1. stabilní paralelní spolupráci s ostatními bloky zapojenými v ostrovu
2. adekvátní odezvu dodávaného činného a jalového výkonu na změny frekvence a napětí, a to i při práci s nenominálními parametry napětí a frekvence. Adekvátní odezvou rozumíme tzv. idealizovanou závislost výkonu turbíny P_{id} na stacionární (po odeznění rychlých elektromechanických přechodných dějů) odchylce frekvence Δf :

$$P_{id} = P_0 - \frac{100}{\delta} \frac{P_n}{f_n} \Delta f \quad (4.6)$$

kde: δ je statika proporcionálního regulátoru otáček (doporučená hodnota je 4 až 8 %),

P_0 je výkon bloku před přechodem do ostrovního provozu nebo hodnota daná základním otevřením regulačních orgánů (reg. ventilů u parních turbin, ovladače paliva u plynových, a rozváděcího/oběžného kola u vodních turbin) v případě, že obsluha bloku provedla změnu výkonu na pokyn dispečera PS.

3. dle pokynů dispečera PS měnit dostatečně plynule a jemně otáčky (výkon) soustrojí

C. Opětovné připojení ostrova k soustavě

Blok musí být schopen:

1. pracovat v režimu ostrovního provozu po dobu minimálně 2 hodin
2. dle pokynů dispečera PS regulovat frekvenci ostrova dostatečně plynule a jemně, tak aby mohlo dojít v daném místě k opětovnému přifázování ostrova k propojené soustavě
3. blok musí být schopen připojení k vnější síti při kmitočtu a svorkovém napětí $(92 < u < 108)\% U_n$
4. v případě, že se blok fází v rozvodně PS, musí být blok schopen přivést napětí po blokovém vedení do této rozvodny.

D. Dostupnost služby

Pro kontrolu schopnosti ostrovního provozu provádí poskytovatel této PpS periodické certifikační testy. ČEPS má právo požadovat na poskytovateli možnost inspekce připravenosti k plnění této podpůrné služby provedené způsobem, který neovlivní provoz bloku.

4.3.12 Schopnost startu ze tmy (BS)

Schopnost bloku - najetí bez pomoci vnějšího zdroje napětí - na jmenovité otáčky, dosáhnout jmenovitého napětí, připojení k síti a jejího napájení v ostrovním režimu.

Schopnost vybraných bloků pro start ze tmy je nezbytná pro obnovení dodávky po úplném nebo částečném rozpadu sítě a je legislativně podložena vyhláškou č. 219/2001. Výběr bloků schopných startu ze tmy provádí ČEPS v dohodě s poskytovatelem této služby.

Požadavky na vybrané bloky pro start ze tmy:

A. Dodržení postupu

Po obdržení pokynu k provedení startu ze tmy od ČEPS se provedou následující kroky (ve smluvně dohodnutém časovém a výkonovém rozpětí):

1. okamžité zahájení postupu najíždění bez použití vnějšího zdroje napětí
2. podání napětí do nadřazené sítě (vedení zvn nebo vvn) v požadované kvalitě (velikost napětí, stabilita a kmitočet), blok pracuje v regulačním režimu ostrovního provozu
3. obnovení napájení stanovených částí sítě dle pokynů Dispečinku ČEPS
4. postupné zatěžování ostrova činným výkonem pomocí předem definovaných změn zatížení
5. provoz ve stanovených výkonových mezích s limitem frekvenčních a napěťových odchylek
6. opětovné připojení ostrova k soustavě
7. paralelní provoz se soustavou
8. další provoz podle pokynů ČEPS

B. Koordinovatelnost postupu

Poskytovaná PpS je v souladu s Plánem obnovy, je kompatibilní s postupy obnovy a s provozními instrukcemi a předpisy dotčených subjektů: výrobců el.energie a regionálních distribučních podniků v dané lokalitě.

C. Schopnost ostrovního provozu

Vybraný blok pro start ze tmy je schopen pracovat v ostrovním provozu, a má platnou certifikační zkoušku na PpS - Schopnost ostrovního provozu.

D. Dostupnost služby

Pro kontrolu schopnosti startu ze tmy provádí poskytovatel této PpS periodické certifikační testy. ČEPS má právo požadovat na poskytovateli možnost inspekce připravenosti k plnění této podpůrné služby provedené způsobem, který neovlivní provoz bloku.

4.4 EregZG a EregZ

Pod pojmem EregZG (Regulační energie ze zahraničí garantovaná do 30 min) a EregZ (Regulační energie ze zahraničí negarantovaná, dostupnost cca 2h) se zde rozumí přeshraniční dodávka elektřiny, uskutečněná na pokyn dispečera (nikoliv automaticky). Lze jej tedy chápat jako speciální druh plánované zahraniční výměny.

4.4.1 Přeshraniční poskytování EregZG

Přenosové kapacity (PK)

V případě výměn EregZG mezi dvěma soustavami je nutno mít dostatek dostupné a garantované přenosové kapacity. Vzhledem k tomu, že je možné poskytování této služby i mezi PPS, které spolu přímo nesousedí musí tato podmínka platit nejen pro zdrojovou a cílovou PPS, ale také pro všechny soustavy EregZG tranzitující.

Pro výkonové toky způsobené požadavkem na EregZG je možné využívat pouze PK v rámci čistých přenosových kapacit. Subjekt poskytující EregZG je povinen zajistit si kapacitu prostřednictvím aukce (roční, nebo měsíční) ve výši sjednané dodávky EregZG. Musí při tom prokázat, že jde o rezervaci pro účely EregZG a rezervovaná PK je přesně ve výši sjednaného kontraktu na EregZG. Na tuto rezervovanou kapacitu nebude uplatňován princip „use it or lose it“.

Realizace

Pro poskytování EregZG musí být uzavřena smlouva mezi třemi subjekty – zdrojovou PPS, cílovou PPS a subjektem poskytujícím EregZG. Zdrojová PPS zajistí realizaci přeshraničního přenosu ve stanoveném rozsahu, pokud o to cílová PPS a poskytující subjekt požádají. Dodávku EregZG lze aktivovat nebo ukončit vždy na přelomu obchodního intervalu (v současnosti celá hodina).

4.4.2 Přeshraniční poskytování EregZ

Jedná se o negarantovanou dodávku elektřiny a tím bez nutnosti rezervace přenosových kapacit. O možnosti jejich použití v reálném čase rozhoduje PPS na základě znalosti momentální situace v ES, a zejména na profilech.

Pro poskytování EregZ musí být uzavřena smlouva mezi třemi subjekty – zdrojovou PPS, cílovou PPS a poskytovatelem EregZ.

Požadavek na dodávku EregZ vychází od cílové PPS a je adresován smluvnímu poskytovateli. Poskytovatel se následně dotáže PPS zdrojové soustavy, zda existuje volná kapacita a je-li možné požadovanou EregZ přenést. Součástí dotazu poskytovatele musí být parametry dodávky EregZ a to zejména velikost výkonu a časový interval dodávky. PPS zdrojové soustavy přenos povolí nebo zamítne v závislosti na aktuální situaci v PS. Pro přenos EregZ bude použita v reálném čase nevyužitá čistá přenosová kapacita na příslušném profilu.

Pokud PPS zdrojové soustavy přenos EregZ povolí, informuje o tom poskytovatele a PPS cílové soustavy. PPS obou soustav si odsouhlasí parametry kontraktu a změnu salda, kterou následně nahlásí evropskému koordinačnímu centru UCTE v Brauweiler.

Dotaz na PPS zdrojové soustavy musí být poskytovatelem podán nejpozději 90 minut před plánovanou dodávkou EregZ. Schvalovací procedura, včetně nahlášení změny salda na CC Brauweiler musí být ukončena nejpozději 30 minut před plánovanou dodávkou EregZ.

Dodávku EregZ lze aktivovat nebo ukončit vždy na přelomu obchodního intervalu (v současnosti celá hodina).

5 DEFINICE REGULAČNÍCH NÁSTROJŮ

5.1 Primární regulace

Primární regulace je soubor technických prostředků, zajišťujících rychlou změnu výkonu jednotky při změně kmitočtu v síti. Jde o regulaci proporcionální, která u tepelných bloků využívá akumulovanou energii v technologickém zařízení a zajišťuje základní stabilizaci kmitočtu sítě.

$$\frac{\Delta f}{\Delta P} = \frac{x_p}{P_{jm}} \quad (5.1)$$

kde x_p je pásmo proporcionality.

$$S_T = \frac{x_p}{f_{jm}} = \frac{\Delta f \cdot P_{jm}}{f_{jm} \cdot \Delta P} \quad (5.2)$$

kde f_{jm} [Hz] je jmenovitý kmitočet, S_T nastavená statika primární regulace.

Závislost změny výkonu na změně kmitočtu je určena vztahem

$$\Delta P = - \frac{\Delta f}{S_T} \cdot \frac{P_{jm}}{f_{jm}} \quad [MW] \quad (5.3)$$

Okamžitá rezerva je v ES realizována primární regulací. Výkon je řízen regulačními ventily turbíny, využívá se akumulované tepelné energie v kotli a parovodu. Bilanční tepelná rovnováha je následovně obnovena regulací přívodu paliva do kotle. Funkce primární regulace musí být zajištěna trvale v celém regulačním rozsahu bloku. Rezerva musí být aktivována jak ve směru zvýšení výkonu, tak i ve směru snížení výkonu.[1]

5.1.1 Sumární regulační záloha pro primární regulaci ES ČR (RZPRS)

Velikost (RZPRS) je v každé hodině roku dána požadavkem UCTE, který je nutný chápat jako nepodkročitelný, plus rezervou na výpadek největšího možného příspěvku primární regulace ($RZPRS_{REZ}$). Vzorec pro určení (RZPRS) je tedy:

$$RZPRS = Round(RZPRS_{UCTE} + RZPRS_{REZ}) \quad (5.4)$$

$RZPRS_{UCTE}$ je požadavek UCTE na velikost RZPRS ES ČR,

$RZPRS_{REZ}$ je rezerva výkonu pro výpadek bloku v primární regulaci,

RZPRS se zaokrouhluje s krokem 5 MW

Výsledná hodnota (RZPRS) se z praktických důvodů dále zaokrouhluje. Zaokrouhlování je prováděno u všech kategorií PpS podle stejného principu, a to vždy nahoru s určitým krokem.

5.1.1.1 Sumární regulační záloha pro primární regulaci dle požadavku UCTE ($RZPRS_{UCTE}$)

Podle pravidel UCTE nesmí při výpadku výroby nebo spotřeby $P_{pu} = 3000$ MW (v současnosti podle doporučení UCTE) být odchylka frekvence v propojení větší než 200 mHz. V propojené ES je primární regulace založena na tzv. principu solidarity. To znamená, že při narušení rovnováhy mezi zatížením a výkonem zdrojů (např. poruchovým výpadkem bloku nebo změnou zatížení) se na „návratu“ do rovnovážného stavu podílejí všechny zdroje propojené soustavy, které jsou do systému primární regulace frekvence zapojeny. Velikost výkonu zařazeného do primární regulace frekvence se pro jednotlivé oblasti stanovuje na základě doporučení UCTE:

$$RZPRS_{UCTE} = \frac{E_{iso}}{E_u} \cdot P_{pu} \quad (5.5)$$

kde E_{iso} je celková výroba elektrické energie v dané regulační oblasti za uplynulý rok,

E_u je celková výroba elektrické energie v synchronně pracujícím propojeném systému za uplynulý rok,

P_{pu} je celková záloha pro primární regulaci pro UCTE (stanovena na 3000 MW),

$RZPRS_{UCTE}$ je požadavek UCTE na sumární regulační zálohu pro primární regulaci v rámci ES ČR.

5.1.1.2 Sumární rezerva výkonu pro výpadek bloku v primární regulaci ES ČR ($RZPRS_{REZ}$)

V případě poruchy, tj. výpadku kteréhokoliv bloku zařazeného do primární regulace frekvence, musí být zabezpečeno obnovení velikosti požadované ($RZPRS$) v plném rozsahu bez prodlení. Proto je třeba mít k dispozici navíc rezervní výkon na výpadek největšího možného příspěvku do primární regulace frekvence. Velikost ($RZPRS_{REZ}$) je tedy v každé hodině rovna největšímu z příspěvků bloků do zálohy pro primární regulaci frekvence. Protože se požadavek UCTE ($RZPRS_{UCTE}$) během stanoveného ročního období nemění, nastává změna výsledné hodnoty pouze v důsledku změny ($RZPRS_{REZ}$), tedy plánovaných oprav bloků.[9]

5.2 Sekundární regulace

Soubor technických prostředků, který zajišťuje požadovanou hodnotu kmitočtu a regulaci sjednané výměny energie mezi sousedními elektrizačními soustavami. V případě poruchy (výpadek výroby nebo spotřeby) ve vlastní soustavě musí sekundární regulace – za využití primární regulace propojených soustav – dosáhnout souladu mezi výrobou a spotřebou, tedy obnovit kmitočet a saldo předávaných výkonů na žádanou hodnotu během několika minut. Funkce sekundární regulace je definována vztahem

$$\Delta P_d = -\beta \cdot G - \frac{1}{T_r} \int G dt \quad (5.6)$$

kde ΔP_d je akční hodnota síťového regulátoru, předávaná na regulační jednotky soustavy, β proporcionální člen síťového regulátoru, T_r integrační časová konstanta síťového regulátoru, G

celková regulační odchylka ($G = \Delta P + K_r \Delta f$), ΔP odchylka součtu předávaných výkonů od žádané hodnoty, K_r výkonové číslo regulované sítě nastavitelné na sekundárním regulátoru, Δf odchylka kmitočtu od žádané hodnoty.

V režimu sekundární regulace jsou provozovány vybrané bloky, které vyhovují stanoveným požadavkům z hlediska dynamického chování (realizace minutové rezervy), funkčních vlastností technologie a jsou vybaveny pro tento provozní režim příslušným přístrojovým vybavením. Výkon po zadání z centrálního dispečinku ES je řízen prostřednictvím regulace výkonu turbíny, využívá se akumulované tepelné energie a rychlé vyrovnání porušené tepelné rovnováhy se provede regulací přívodu paliva do kotle. U kombinované výroby elektřiny a tepla lze v některých případech provést vyrovnání bilanční tepelné rovnováhy i za cenu přechodné změny v dodávce tepla.[1]

5.2.1 Sumární regulační záloha pro sekundární regulaci ES ČR (RZSRS)

Záloha pro sekundární regulaci je točivá výkonová záloha ovládaná centrálním sekundárním regulátorem frekvence a salda předávaných výkonů. Sekundární regulační záloha se kromě pokrývání náhodné fluktuace zatížení podílí také na pokrývání deficitu po výpadku bloků. Slouží pro pokrývání rychlých a dynamických změn rozdílů mezi zatížením a dodávaným výkonem. RZSRS se určuje ze statistické analýzy odchylky OD(t) mezi dodávaným výkonem a zatížením v ES ČR, která je po zohlednění salda předávaných výkonů a jeho odchylky ACE v každém okamžiku pokrývána PpS. Pro hodnotu SR platí podmínka:

$$RZSRS \geq RZSRS_L \quad (5.7)$$

kde $RZSRS_L$ je doporučení UCTE na sumární regulační zálohu pro (SR).

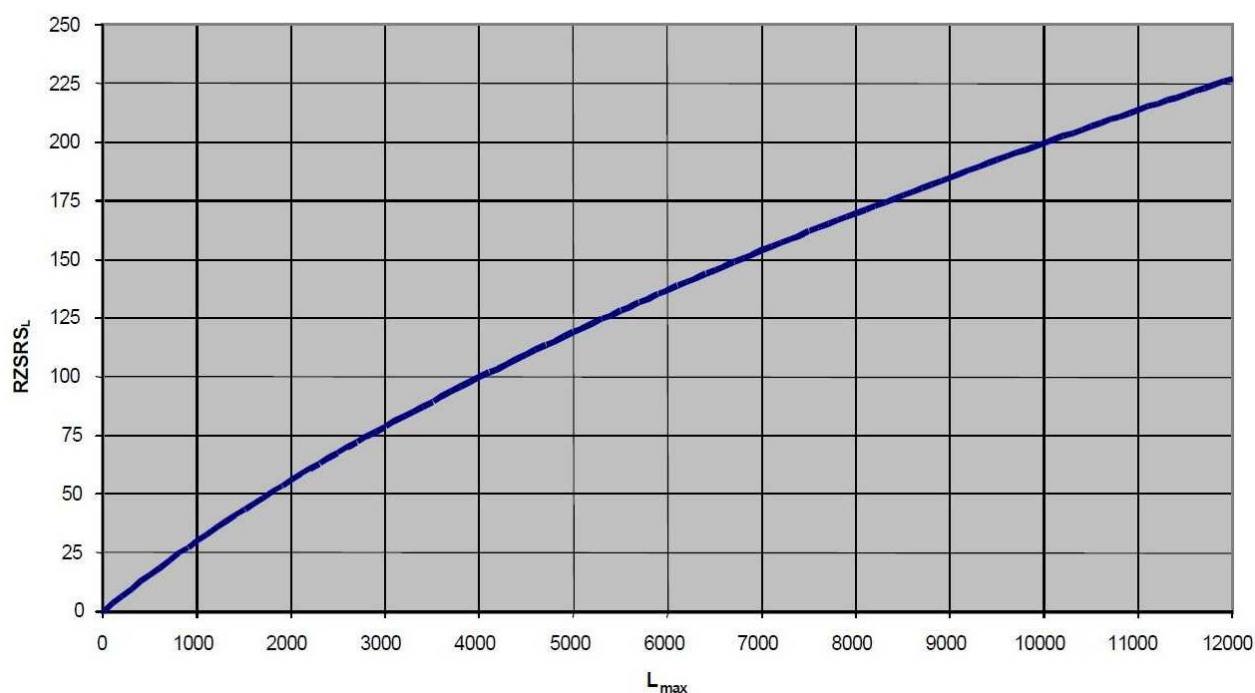
5.2.1.1 Sumární regulační záloha pro sekundární regulaci dle doporučení UCTE ($RZSRS_L$)

($RZSRS_L$) je doporučená regulační záloha pro (SR) podle UCTE. Tuto hodnotu je nutné chápat jako nepodkročitelnou, přičemž v ní nejsou zahrnuty žádné další specifické požadavky pro konkrétní soustavu; pouze vliv velikosti zatížení. Je určena následujícím vztahem, ve kterém je již promítnuto zaokrouhlení vypočtené hodnoty:

$$RZSRS_L = \text{Round}(\sqrt{aL_{\max} + b^2} - b) \quad (5.8)$$

kde $a=10$, $b=150$ jsou empirické konstanty, $L_{\max}$ je maximální očekávané zatížení daného roku, $RZSRS_L$ se zaokrouhluje s krokem 10 MW.

Vzhledem k tomu, že velikost ($RZSRS_L$) je odvozena od maximálního zatížení roku, je po celý rok konstantní. Představu o její velikosti je možné si učinit z následujícího obrázku, který znázorňuje ($RZSRS_L$) jako funkci $L_{\max}$. [9]

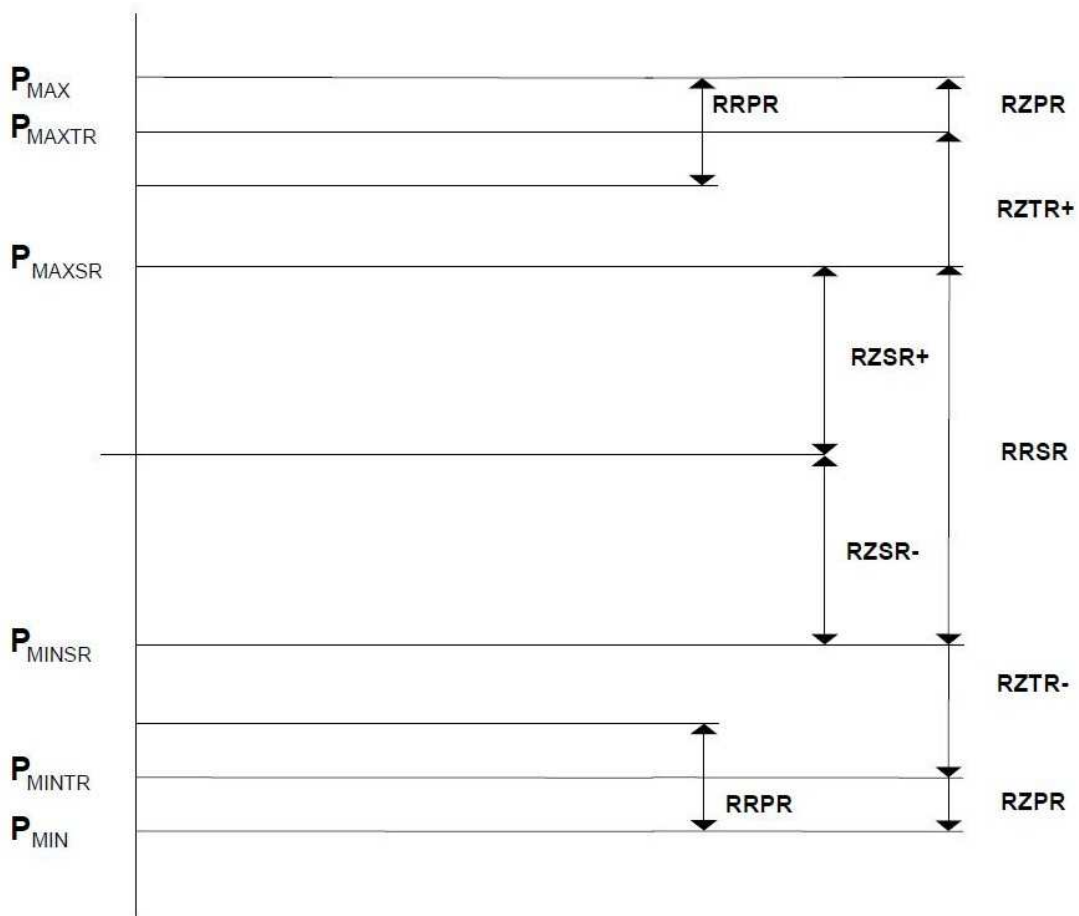
Velikost zálohy pro sekundární regulaci podle UCTE

Obrázek 9-Velikost zálohy pro sekundární regulaci podle UCTE [9]

5.3 Terciární regulace

Je realizována v řízení výroby pro podporu provozu systému sekundární regulace – zajištění dostatečného rozsahu činnosti této regulace. Základním parametrem pro její nasazení je regulační pásmo, tj. přípustná rychlost změn výkonu.

5.4 Příklad rozložení výkonových záloh na elektrárenském bloku



Obrázek 10-Rozložení výkonových záloh na elektrárenském bloku

P_{MAXSR} ...Největší výkon bloku použitelný pro sekundární regulaci P bloku v regulačním rozsahu (RRSR).

P_{MINSR} ...Nejmenší výkon bloku použitelný pro sekundární regulaci P bloku v regulačním rozsahu (RRSR).

P_{MAXTR} ...Největší výkon bloku použitelný pro terciární regulaci P bloku v regulačním rozsahu (RRTR).

P_{MINTR} ...Nejmenší výkon bloku použitelný pro terciární regulaci P bloku v regulačním rozsahu (RRTR).

P_{MAX} ...Technické maximum bloku.

P_{MIN} ...Technické minimum bloku.

$RRPR$...Regulační rozsah primární regulace (PR)

$RZPR$...Regulační záloha (PR) – jedná se o točivou výkonovou zálohu, která je vyčleněna na bloku poskytujícím podpůrnou službu primární regulace f bloku.

$RZSR(+)$...Kladná část regulační zálohy (SR) – jedná se o kladnou část točivé výkonové zálohy, která je vyčleněna na daném bloku poskytujícím podpůrnou službu sekundární regulace P bloku.

$RZSR(-)$...Záporná část regulační zálohy (SR) – jedná se o zápornou část točivé výkonové zálohy, která je vyčleněna na daném bloku poskytujícím podpůrnou službu sekundární regulace P bloku.

$RZTR(-)$...Regulační záloha záporné (TR) – jedná se o (točivou) výkonovou zálohu „směrem dolů“, která je vyčleněna na bloku poskytujícím podpůrnou službu terciární regulace P bloku.

$RZTR(+)$...Regulační záloha kladné (TR) – jedná se o (točivou) výkonovou zálohu „směrem nahoru“, která je vyčleněna na bloku poskytujícím podpůrnou službu terciární regulace P bloku.

$RRSRS$...Sumární regulační rozsah (SR)

Pokud blok poskytuje službu primární regulace f bloku (PR), pak platí pro nakoupenou ($RZPR$):

$$RZPR = \frac{1}{2} \cdot RRPR \quad (5.9)$$

Je-li blok zapojen v systému sekundární regulace P bloku (SR), pak platí:

$$RRSR = RZSR_+ + |RZSR_-| \quad (5.10)$$

Pro sumární hodnoty za všechny bloky jednoho poskytovatele, případně za ES zapojené v systému sekundární regulace P bloku (SR) platí:

$$RZSRS_+ = |RZSRS_-| = \frac{1}{2} \cdot RRSRS \quad (5.11)$$

Poskytuje-li blok ($RZTR+$) a zároveň ($RZSR$) potom platí:

$$RRTR_+ = P_{MAXTR} - P_{MAXSR} \quad (5.12)$$

Poskytuje-li blok ($RZTR-$) a zároveň ($RZSR$) potom platí:

$$RRTR_- = P_{MAXSR} - P_{MAXTR} \quad (5.13)$$

6 VÝPOČET UKAZATELŮ PARALELNÍ SPOLUPRÁCE DEFINOVANÝCH VÝROBEN

Při paralelním provozu bloků v ES se rozdělení výkonů na jednotlivé bloky řeší tak, aby se celkově dosáhla nejnižší spotřeba paliva nebo nejnižší proměnné provozní náklady výroby na výrobu, dodávku elektřiny pro celkem požadované zatížení soustavy. Při řešení úlohy hospodárného rozdělení výkonu se používají nákladové charakteristiky jednotlivých bloků (obvykle variabilní provozní náklady) a různé výpočtové metody. Obecně uvažujeme bloky s různým jmenovitým výkonem a různými charakteristikami. Při paralelním provozu jednotek se rozdělování výkonů na jednotlivé jednotky jako úloha extrému funkce více proměnných s vedlejšími podmínkami. Současně třeba řešit úlohu optimalizace volby počtu a vhodné kombinace jednotek, aby byla zajištěna spolehlivá a laciná výroba energie pro zadané zatížení. Provoz bloků je nejvíc ovlivňován nočním, sobotním a nedělním snížením zatížením. Snížení zatížení lze řešit změnou výkonu jednotek, nebo odstavením určitého počtu jednotek. Pro volbu odstávek nebo provozu při nízkém zatížení je třeba znát velikost ztrát spojených s odstavením a opětovným spuštěním jednotek. [1]

Hospodárné rozdělení výkonů se řeší nalezením minima funkce nákladů (při dodržení spolehlivé dodávky elektrické energie spotřebitelům) v ES: Náklady ES pro každou hodnotu celkového činného a jalového zatížení jsou funkcí činných a jakových výkonů jednotlivých prvků, podílejících se na krytí tohoto zatížení.

$$N = \sum_{i=1}^{n \cdot m} N_i(P_i, Q_i) \quad (6.1)$$

Při splnění bilančních podmínek

$$\varphi = P_1 + P_2 + \dots + P_n - P_S - P_Z = 0 \quad (6.2)$$

$$\psi = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_m - Q_S - Q_Z = 0 \quad (6.3)$$

a při splnění provozních omezení daných obecně nerovnostmi pro všechny zdroje činných a jalových výkonů

$$P_i^2 + Q_i^2 \leq S_{i \max}^2 \quad (6.4)$$

$$P_{i \max} \geq P_i \geq P_{i \min} \quad (6.5)$$

$$Q_{i \max} \geq Q_i \geq Q_{i \min} \quad (6.6)$$

,pro všechny uzly ES

$$U_{i \max} \geq U_i \geq U_{i \min} \quad (6.7)$$

,pro všechny větve ES

$$|\delta_i - \delta_j| \leq T_{ij} \quad (6.8)$$

kde T_{ij} je mezní přenosový úhel ve větvi (i,j).

Pokud se neuvažují provozní omezení, lze úlohu řešit např. Lagrangeovou metodou neurčitých multiplikátorů.

Při tomto řešení přejde funkce na tvar

$$N = N_1(P_1) + N_2(P_2) + \dots + N_n(P_n) = \sum_{i=1}^n N_i(P_i) \quad (6.9)$$

Rozdělení výkonů s ES tak, aby celkové náklady byly minimální, spočívá v nalezení extrému účelové funkce (6.9) při splnění vazebních podmínek (6.2, 6.3). Řešení spočívá v nalezení minima pomocné Lagrangeovy funkce

$$\Phi = N + \lambda_1 \varphi + \lambda_2 \psi = \min \quad (6.10)$$

kde λ je vektor Langrangeových multiplikátorů.

Při zjednodušeném řešení (neuvažují se ztráty v sítích)

$$\frac{\partial N_i}{\partial P_i} = b_i \quad (6.11)$$

je poměrný přírůstek nákladů i-tého zdroje při jednotkové změně jeho činného výkonu.

Podle výpočtu je optimálního rozdělení výkonu dosaženo při rovnosti poměrných přírůstků nákladů všech zdrojů

$$b_1 = b_2 = \dots = b_n \quad (6.12)$$

Řešení platí pro nelineární funkci $N_i(P_i)$ a

$$\frac{\partial N_i(P_i)}{\partial P_i^2} > 0 \quad (6.13)$$

6.1 Příklad výpočtu

Nákladové charakteristiky (variabilní náklady) a regulační rozsahy elektrárenských bloků.

Blok B1

$$N_1 = 16853 + 195,9 \cdot P_1 + 0,95 \cdot P_1^2$$

$$90 \leq P_1 \leq 180 \quad [\text{MW}]$$

Blok B2

$$N_2 = 9846 + 230,2 \cdot P_2 + 1,41 \cdot P_2^2$$

$$30 \leq P_2 \leq 80 \quad [\text{MW}]$$

Určení výkonů jednotlivých bloků pro minimalizaci celkových nákladů pro zatížení $L = 160$ MW.

$$\frac{\partial N_1}{\partial P_1} = 195,9 + 1,9 \cdot P_1$$

$$\frac{\partial N_2}{\partial P_2} = 230,2 + 2,82 \cdot P_2$$

$$\frac{\partial N_1}{\partial P_1} = \frac{\partial N_2}{\partial P_2}$$

$$195,9 + 1,9 \cdot P_1 = 230,2 + 2,82 \cdot P_2$$

$$P_1 + P_2 = 160$$

$$P_1 = 160 - P_2$$

$$195,9 + 1,9 \cdot (160 - P_2) = 230,2 + 2,82 \cdot P_2$$

$$\underline{P_2 = 57,1 MW}$$

$$\underline{P_1 = 160 - 57,1 = 102,9 MW}$$

Výpočet pomocí Lagrangeových multiplikátorů

$$\lambda = \frac{2 \cdot L + \sum \frac{a_1}{a_2}}{\sum (a_2)^{-1}} = \frac{2 \cdot 160 + \frac{195,9}{0,95} + \frac{230,2}{1,41}}{\frac{1}{0,95} + \frac{1}{1,41}} = 391,33 K\check{c}/MWh$$

$$P_i = \frac{\lambda - a_1}{2 \cdot a_2}$$

$$\underline{P_1} = \frac{391,33 - 195,9}{2 \cdot 0,95} = \underline{102,9 MW}$$

$$\underline{P_2} = \frac{391,33 - 230,2}{2 \cdot 1,41} = \underline{57,1 MW}$$

Optimálním řešením rozložení zatížení $L = 160$ MW je tedy

B1 102,9 MW

B2 57,1 MW

7 ZÁVĚR

V této bakalářské práci je rozebrána struktura elektrizačních soustav v Evropě, jejich hlavní funkce a je zde popsáno členění a spolupráce přenosové a distribuční soustavy.

Je zde výčet základních a nejčastějších druhů výroben elektrické energie, definice výroben a pro každý typ popsáno využití v diagramu zatížení. Pro každý typ výroby tu jsou vyčísleny podíly na výrobě elektrické energie jak ve světě, tak i v České republice. Tepelné elektrárny drží ve světě jednoznačný primát ve výrobě elektrické energie, do budoucna se však počítá s klesající tendencí. Je to zapříčiněno rozsáhlou výstavbou jaderných elektráren, jejichž energie se považuje za čistší a perspektivnější i z důvodu velkých zásob uranu, ale v našem případě v České republice je to i otázkou prolomení těžebních limitů uhlí. Vodní elektrárny v České republice nemají moc velký potenciál, jejich výrobní kapacity jsou téměř vyčerpány a do budoucna se neočekává jejich růst.

Optimalizaci provozu elektrizační soustavy v České republice má na starost ČEPS, a.s., který zajišťuje především systémové služby, což je udržování kvality elektřiny, udržování výkonové rovnováhy v reálném čase, obnovení provozu a dispečerské řízení. K zajištění systémových služeb používá ČEPS podpůrné služby poskytované jednotlivými uživateli PS. Pro rovnováhu v síti ČEPS také poskytuje dvě služby sloužící k regulaci energie ze zahraničí. Jsou to služby EregZG (Regulační energie ze zahraničí garantovaná do 30 min) a EregZ (Regulační energie ze zahraničí negarantovaná, dostupnost cca 2h), je to jakýsi speciální druh zahraniční výměny.

Práce se také podrobněji věnuje definici regulačních nástrojů, kam patří primární, sekundární a terciární regulace. Ač název je trochu zavádějící, tak hierarchicky nejvýše postavenou je terciární regulace.

Na konec práce je ukázán výpočet optimálního rozdělení výkonů při paralelní spolupráci jednotek s definovanými nákladovými charakteristikami pro požadované zatížení.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] IBLER, Z. a kol. Technologický průvodce energetika - 1. díl., Nakladatelství BEN - technická literatura, vydání první, Praha 2002, ISBN 978-80-7300-026-4Elektrárny III
- [2] FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ [online]. 2008 [cit. 2010-12-01]. Akreditační databáze. Dostupné z WWW: <<http://www.fel.zcu.cz/akred2008/>>.
- [3] Energetický regulační úřad [online]. 2009 [cit. 2010-11-17]. Roční zpráva o provozu ES ČR 2009. Dostupné z WWW: <http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocni_zprava/2009/>.
- [4] European Network of Transmission System Operators for Electricity [online]. 2009 [cit. 2010-11-17]. Statistical Yearbook. Dostupné z WWW: <<https://www.entsoe.eu/resources/publications/former-associations/ucte/statistical-yearbook/>>.
- [5] TLUSTÝ, Josef. Řízení elektrizačních soustav. Praha, 2010. 41 s. Přednáška. ČVUT FEL.
- [6] RAČEK, J. Strojní zařízení elektráren. Brno: Nakladatelství Novotný, 2007. s. 1-192. ISBN: 978-80-214-3388-5. Matoušek Výroba elektrické energie
- [7] KARAFIÁT, Josef: Teplárenství. [s.l.] : Ortep, 2001. 34 s.
- [8] ČEPS, a.s. [online]. 2010 [cit. 2010-11-12]. Kodex PS 2010. Dostupné z WWW: <<http://www.ceps.cz/detail.asp?cepsmenu=5&IDP=61&PDM2=0&PDM3=0&PDM4=0>>.
- [9] ČEPS, a.s. [online]. 2011 [cit. 2011-03-23]. Kodex PS 2011. Dostupné z WWW: <<http://www.ceps.cz/detail.asp?cepsmenu=5&IDP=61&PDM2=0&PDM3=0&PDM4=0>>.
- [10] IBLER, Zbyněk. Energetika v příkladech : Technický průvodce energetika - 2. díl. 1. vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2003. 384 s. ISBN 80-7300-097-0.