

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Možný návrh a instalace elektrokotle v teplárně Vřesová

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o možnosti instalace elektrokotle s výkonem 24 MW v paroplynové elektrárně Vřesová z důvodu rozšíření poskytování podpůrných služeb tím zlepšení ekonomiky elektrárny. Z důvodu komplexnosti se věnuji i technické a ekonomické problematice paroplynových cyklů. Abych upozornil na výhodu používání elektrokotle pro podpůrné služby, napsal jsem jednu podkapitolu s názvem Elektrokotle ve světě, kde je uvedeno, že toto zařízení je ve světě již známé.

Klíčová slova

Elektrokotel, paroplyn, podpůrné služby, variabilní náklady, base load, emisní povolenky

Abstract

The bachelor thesis is about the possibility of installation the electric boiler with the power output 24 MW in the steam-gas power plant Vřesová, because of the expansion in support services, and by that improves the economy of the power plant. Due to the complexity, I devote to the technical and economical issues of steam-gas cycle. To point out the advantages of using the electric boiler for support services, I wrote an under chapter titled: „Electric boilers in the world,, , where is mentioned, that this device is already well known in the world.

Key words

Electric boiler, steam-gas, support services, variable cost, base load, emission allowances

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

V Plzni dne 5.6.2013

Jindřich Gabriel

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Lucii Noháčové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

1.	Úvod a technický popis stávajícího paroplynu	9
1.1.	Účinnost paroplynového cyklu:	11
2.	Podpůrné služby poskytované paroplynem	12
2.1.	Podpůrné služby	12
2.1.1.	Primární regulace frekvence bloku	12
2.1.2.	Sekundární regulace výkonu bloku	13
2.1.3.	Minutové zálohy	13
2.2.	Podpůrné služby poskytované paroplynovou elektrárnou Vřesová	14
3.	Technický popis instalace elektrokotle	16
3.1.	Základní informace o elektrických kotlích	16
3.1.1.	Konstrukce elektrických kotlů	16
3.2.	Základní technické charakteristiky	17
3.2.1.	Regulační schopnosti	17
3.2.2.	Elektrické charakteristiky elektrokotle	20
3.2.3.	Tepelné charakteristiky ELK	20
3.2.4.	Rozměry a hmotnost elektrokotle pro výkon 24 MW	21
3.3.	Možnosti napojení elektrokotle na stávající zařízení	21
3.3.1.	Elektrické připojení elektrokotle VN	21
3.4.	Připojení elektrokotle na tepelnou síť	21
3.4.1.	Primární okruh elektrokotle	21
3.4.2.	Znázornění primárního okruhu elektrokotle	22
3.4.3.	Vyvedení tepelného výkonu do horkovodního systému	22
3.5.	Připojení elektrokotle do nadřazeného řídicího systému teplárny	24
3.6.	Elektrokotel ve světě	26
4.	Instalace elektrokotle k paroplynu Vřesová	28
4.1.	Připojení elektrokotle do schématu paroplynové elektrárny Vřesová	30
5.	Ekonomika současného paroplynu, variabilní náklady, prodej energií.	31
5.1.	Variabilní náklady paroplynu	31
5.1.1.	Povolenky CO ₂	31
5.2.	Base load	31
5.3.	Peak load	32
5.4.	Výpočet ceny zemního plynu a emisních povolenek paroplynové elektrárny Vřesová	32
5.4.1.	Popis tabulky č. 4	33

5.4.2. Vyhodnocení tabulky č. 4.....	34
5.5. Poslední trend paroplynu na světě	35
6. Ekonomika elektrokotle	36
7. Závěr.....	37
8. Použitá literatura a zdroje.....	39

1. Úvod a technický popis stávajícího paroplynu.

Tlaková plynárna Vřesová, která patří pod společnost Sokolovská uhelná a.s., byla největším výrobcem svítiplynu v ČR s instalovaným výkonem 240000 m³/hod. surového plynu. Později byl svítiplyn nahrazen zemním plynem a technologie zplynování se stala základem výroby elektrické energie v paroplynové elektrárně s celkovým výkonem 400 MW.

Integrovaný paroplynový cyklus ve Vřesové je v ČR jediným zdrojem elektrické energie tohoto typu. K výrobě elektrické energie se současnou výrobou dálkového tepla, rozváděného do blízkého okolí je využíván energoplyn, získaný tlakovým zplyněním hnědého uhlí. Jednotka paroplynové elektrárny zahrnuje paroplynový dvojblok 2 x 185 MW, součástí jsou spalovací turbíny 917 E Alstom/General Electric a parní turbíny PP 60-71 (PBS); plynové turbíny mohou spalovat jak energoplyn získávaný zplyněním hnědého uhlí, tak i zemní plyn nebo obě paliva skombinovaná v jakémkoliv poměru. Paroplynovým dvojblokem se pokrývá především pološpičkové a špičkové zatížení v rozvodné síti. Výhodou je téměř bezporuchový provoz.

Výhodou elektrárny Vřesová je velký rozsah regulace výkonu. Možnost spalovat zemní plyn vedle energoplynu ve spalovacím systému plynových turbín má velmi významnou úlohu při zvyšování výkonu turbín dle potřeby dispečinku za současného ekonomického řízení provozu tlakových zplyňovacích generátorů, tudíž není nutné mít k dispozici plynojem pro skladování vyrobeného energoplynu.

[5]

Výhodou paroplynu je, že pevné částice, které by při normálním způsobu zpracování uhlí unikly do ovzduší, jsou zachyceny a přeměněny na strusku a popel, proto při následném zpracování spalovacího média vzniká minimum škodlivých látek, což znamená i menší dopad na životní prostředí, než při běžném zpracování uhlí.

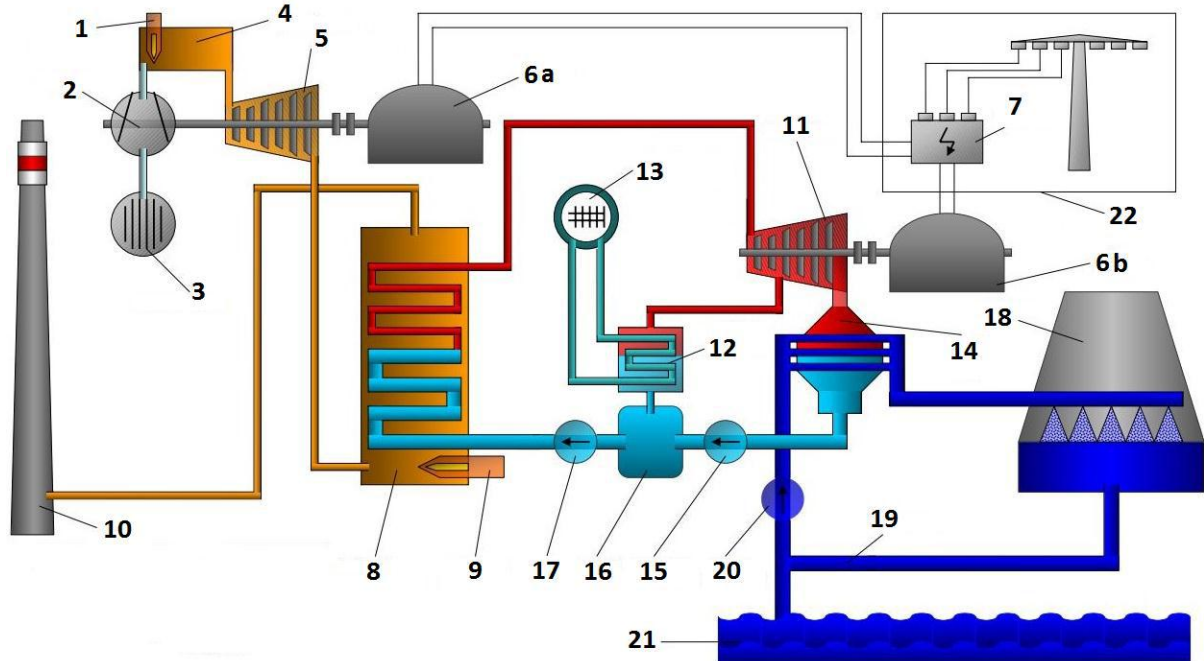
[2]

Tab. č.1 – technické parametry IPPC Vřesová

Technické parametry IPPC Vřesová:	
celkový výkon PPC Vřesová	400MW _e (dle teploty vzduchu)
minimální výkon jednoho bloku	73 MW _e

minimální trvalý výkon jedné plyn. turbíny	5 MW _e
maximální dodávka elektřiny za rok	2 094 427 MWh
odběr tepla celkem za rok	2000 TJ
spotřeba energoplynu	130 tis. m ³ /h (až 1 200 mil. m ³ /rok)
Doba využití maxima	5236,0675 h
spotřeba zemního plynu	40 mil. m ³ /rok

Schéma paroplynu



Obr. č. 1 – schéma paroplynové elektrárny Vřesová

- | | |
|----------------------|---|
| 1- palivo zemní plyn | 8- parní kotel (heat recovery steam generate) |
| 2- kompresor | 9- palivo zemní plyn |
| 3- nasávání vzduchu | 10- komín |
| 4- spalovací komora | 11- parní turbína |
| 5- plynová turbína | 12- výměník pára/voda |
| 6- generátor | 13- tepelná energie (vytápění) |
| 7- transformátor | |

14- kondenzátor páry z turbíny	19- chladící voda
15- kondenzační čerpadlo	20- čerpadlo chladící vody
16- napájecí nádrž	21- řeka
17- napájecí čerpadlo	22- vedení el. tepla
18- chladicí věž	

[2]

Teplota spalin z plynové turbíny je cca 540°C.

1.1. Účinnost paroplynového cyklu:

Termodynamická účinnost plynové turbíny je 34,8 %, účinnost bloku při kondenzačním provozu parní turbíny je 50,5 % a s využitím tepla spalin pro přehřev síťové vody činí účinnost 54,5 %.

K vlastní spotřebě paroplynové elektrárny Vřesová jsem neobdržel dostupné informace. Při výpočtu jsem tedy vycházel a využil informace z paroplynové elektrárny Počerady, kde je hrubá účinnost 58,4 %, hrubý výkon na svorkách generátoru 848 MWe a vlastní spotřeba 13 MWe, což je 1,53 %.

V paroplynové elektrárně Vřesové jsem použil toho, že vlastní výkon je 2,5 % z hrubého výkonu na svorkách generátoru, protože je starší a menší než paroplynová elektrárna Počerady. Vlastní spotřeba je zhruba 10 MWe. Největší spotřebič je zde napájecí čerpadlo, které napájí kotel vodou.

Zjistil jsem, že Čistá účinnost paroplynové elektrárny Vřesová je 48 %.

[5, 14]

2. Podpůrné služby poskytované paroplynem

2.1. Podpůrné služby

Podpůrné služby jsou nástroj pro zajištění systémových služeb (systémové služby jsou řízeny ČEPS, a.s. Zvyšují kvalitu a spolehlivost dodávky elektřiny přenosové soustavy. Kvalita, rovná se splnění dané frekvence a napětí. Spolehlivost znamená nepřerušenosť dodávky). Prostřednictvím podpůrných služeb lze řídit rozdíl mezi vyrobenou elektřinou a spotřebovanou elektřinou. To se provádí, buď zvýšením, nebo snížením výroby elektřiny. Podpůrné služby se dělí do tří skupin: primární regulace, sekundární regulace a terciální regulace, která byla v roce 2013 nahrazena za službu minutová záloha.

Jednotlivé podpůrné služby jsou nakupovány společností ČEPS ve výběrovém řízení, jsou to tzv. dlouhodobé roční kontrakty. Poskytovateli konkrétní kategorie podpůrné služby je tato služba placena ve výši, která je uvedena v domluveném kontraktu. Nejdražší je primární regulace, která musí zajistit okamžité vyrovnání výchylky frekvence na 50Hz. Podle dostupných zdrojů je v ČR k dispozici asi 200MW primární regulace. Co se týče sekundární regulace, je v ČR dle dostupných informací k dispozici zhruba 300MW a je méně náročná na zařízení a tedy je i méně cenově ohodnocena než primární regulace, ale o nic méně důležitá, protože vyrovnává výkon v síti mezi spotřebitelem a výrobcem. V případě výpadku největšího elektrárenského bloku v ČR, což je jaderná elektrárna Temelín s blokem 1000MW. ČEPS, a.s. musí být schopen nahradit takto velký výpadek z podpůrných služeb, které jsou nakoupeny od poskytovatelů.

2.1.1. Primární regulace frekvence bloku

Primární regulace frekvence f bloku (PR) je lokální automatická funkce, zajišťovaná obvody primární regulace, spočívající v přesně definované změně výkonu elektrárenského bloku v závislosti na odchylce frekvence od zadané hodnoty.

Velikost požadované změny výkonu bloku v závislosti na odchylce frekvence sítě je určena statikou primární regulací f . Pro tuto regulaci musí být v rámci výkonového rozsahu bloku trvale vyčleněna primární regulační záloha. Její velikost závisí na technologických vlastnostech bloku a požadavcích PPS. Provozovatel bloku musí zajistit uvolnění požadované regulační zálohy bloku v primární regulaci do 30 sekund od okamžiku vzniku výkonové nerovnováhy.

2.1.2. Sekundární regulace výkonu bloku

Sekundární regulace výkonu P bloku (SR) je proces změny hodnoty výkonu regulovaného elektrárenského bloku, tak jak je požadováno sekundárním regulátorem frekvence a salda předávaných výkonů. Kvalita této podpůrné služby je posuzována podle velikosti nabízeného rozsahu a rychlosti zatěžování.

Podpůrná služba SR výkonu bloku je zprostředkována pomocí změny požadované hodnoty regulátoru výkonu bloku.

Pro tuto regulaci musí být v rámci výkonu bloku vyčleněn výkon – sekundární regulační záloha, jejíž velikost závisí na technologických vlastnostech bloku. Celou velikost sekundární regulační zálohy musí být blok schopen realizovat do 10 minut od požadavku. Sekundární regulační záloha musí být symetrická podle bazového bodu (bazový bod je výkonový střed regulačního rozsahu).

V záporné části SR a v minutové záloze záporné pracuje elektrokotel.

2.1.3. Minutové zálohy

Jsou rozděleny do jednotlivých kategorií,

2.1.3.1. 5minutová záloha

Jedná se o zařízení, připojená k elektrizační soustavě (ES) ČR, obvykle elektrárenské bloky, která jsou do 5 minut od příkazu dispečinku ČEPS schopna poskytnout sjednanou regulační zálohu $RZMZ_{t\pm}$ (Regulační minutová záloha kladná). Minutovou zálohou se rozumí požadovaná změna výkonu, kladná nebo záporná, na svorkách poskytujícího zařízení.

Regulační minutová záloha kladná $RZMZ_{t+}$ může být realizována například: zvýšením výkonu bloku, odpojením čerpání (u PVE), nenajetím programovaného čerpání (plán čerpání není uskutečněný) a odpojením odpovídajícího zatížení od ES ČR.

Minimální velikost minutové regulační zálohy $RZMZ_t$ pro $t=5$ u jednoho bloku, případně zařízení je 30 MW (pokud není s provozovatelem PS dohodnuto jinak). Maximální výkon zařízení určuje ČEPS, a.s. Minimální doba, po kterou musí být garantováno poskytování 5minutové regulační zálohy $RZMZ_5$, jsou 4 hodiny a to i v případě aktivace této služby na konci intervalu její rezervace.

[6]

2.1.3.2. 15minutová záloha

Hlavní rozdíl mezi 5minutovou a 15minutovou regulací je v tom, že 5minutovou zálohu dodávají přečerpávací elektrárny a ty dokážou pracovat na plný výkon jenom určitou dobu, uvedenou v odstavci 5minutová záloha, a poté záloha dojde (přečerpávací elektrárna se vyprázdní). Ale 15minutová záloha dokáže pracovat na plný výkon neomezeně.

Jedná se o zařízení, připojená k ES ČR, obvykle elektrárenské bloky, která jsou do 15 minut od příkazu dispečinku ČEPS schopna poskytnout sjednanou regulační zálohu $RZMZ_{t\pm}$.

Regulační minutová záloha kladná $RZMZ_{t+}$ je realizována obdobně jako u 5minutové zálohy. Regulační minutová záloha záporná $RZMZ_{t-}$ (Regulační minutová záloha záporná) může být realizována například: snížením výkonu bloku, připojením odpovídajícího zatížení k ES ČR.

Minimální velikost minutové regulační zálohy $RZMZ_t$ pro $t=15$ jednoho bloku, případně zařízení je 10 MW. Maximální výkon zařízení je 70 MW (pokud není s provozovatelem PS dohodnuto jinak). Doba aktivace služby na rozdíl od 5minutové zálohy není omezena.

[6]

2.1.3.3. 30minutová záloha

Jedná se o zařízení, připojená k ES ČR, obvykle elektrárenské bloky, která jsou do 30 minut od příkazu dispečinku ČEPS schopna poskytnout sjednanou regulační zálohu $RZMZ_{t\pm}$.

Regulační minutová záloha kladná $RZMZ_{t+}$ je realizována jako u předchozích minutových záloh.

Minimální velikost minutové regulační zálohy $RZMZ_t$ pro $t=30$ jednoho bloku, případně zařízení je 10 MW. Maximální výkon zařízení je 70 MW (pokud není s provozovatelem PS dohodnuto jinak). Doba aktivace služby je stejná jako u 15minutové.

[6]

2.2. Podpůrné služby poskytované paroplynovou elektrárnou Vřesová

Elektrárna Vřesová, která spadá pod společnost Sokolovská uhelná a.s. (SUAS), je důležitou jednotkou v oblasti podpůrných služeb v ČR. Elektrárna Vřesová poskytuje primární regulaci

(PR), sekundární regulaci (SR), 15minutovou kladnou zálohu a 15minutovou zápornou zálohu. Jelikož jsem nenašel, zdali dodává i 30 minutovou zálohu, uvedl jsem pouze čtyři regulace. V tabulce je vidět, kolika procentuální zastoupení tvoří Sokolovská uhelná a.s. (SUAS) v jednotlivých kategoriích, plus dva největší poskytovatelé podpůrných služeb v ČR ČEZ a Alpiq Generation.

Tab. č.2 - Poměrné zastoupení subjektů v jednotlivých kategoriích podpůrných služeb

Poměrné zastoupení subjektů v jednotlivých kategoriích (v MWh)									
PR		SR		MZ15+		MZ15-		Celkem	
CEZ	20,16%	CEZ	43,92%	CEZ	17,54%	CEZ	52,83%	CEZ	54,91%
SUAS	15,00%	ALPIQ	17,70%	SUAS	15,42%	SUAS	16,53%	ALPIQ	10,98%
ALPIQ	14,93%	SUAS	12,43%	ALPIQ	11,88%	ALPIQ	13,74%	SUAS	8,98%

ALPIQ Alpiq Generation

CEZ ČEZ

SUAS Sokolovská uhelná

[7]

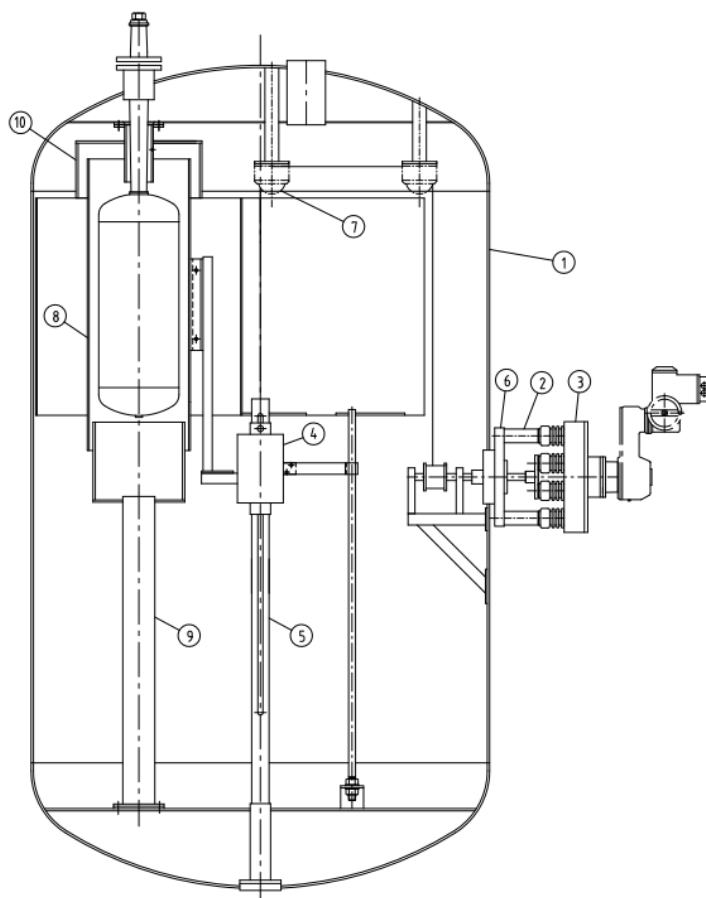
3. Technický popis instalace elektrokotle.

3.1. Základní informace o elektrických kotlích

3.1.1. Konstrukce elektrických kotlů

Elektrické kotle o výkonech v řádech desítek MW se vyrábějí několik desetiletí. Horkovodní elektrické kotle se využívají pro výrobu tepla v zemích, kde je celoročně nebo alespoň v určitých obdobích (např. v noci) nízká cena elektřiny, nebo v místech, kde není vhodné použít jiný zdroj tepla, ať už z dopravních, ekologických nebo jiných důvodů. Rozšířené jsou například ve skandinávských zemích.

U výkonů v desítkách MW se používají kotle speciální konstrukce, složené z izolované tlakové nádoby, elektrod, stínících válců elektrod, čerpadel a dalších zařízení. Ohřivaným médiem je demivoda o předem přesně určené vodivosti, která se ohřívá při průtoku kolem elektrod a proudí v samostatném okruhu odděleném od ostatní technologie tepelným výměníkem.



Obr. č.2 - bokorys elektrokotle

Elektrody jsou umístěny v tlakové nádobě a jsou stíněny válci z nevodivého, teple odolného materiálu, které se posouvají přes elektrody v závislosti na požadovaném výkonu.

3.2. Základní technické charakteristiky

3.2.1. Regulační schopnosti

3.2.1.1. Způsob regulace

Vlastní regulace horkovodních elektrokotlů velkých výkonů je provedena mechanicky pohybem válců stínících elektrod. Tato regulace je plynulá. Pohon je obstaráván elektromotorem a řídicí jednotkou. Regulační rozsah u horkovodních elektrokotlů je cca 4 až 100%. V současnosti probíhají práce na dalším snížení minimálního výkonu s cílem dosažení plného regulačního rozsahu.

Menší elektrokotle mohou být vybaveny tyristorovou regulací. Výhodou tyristorové regulace je vysoká přesnost. Při vyšších instalovaných výkonech však mohou vznikat vyšší harmonické a může docházet k negativnímu ovlivňování kvality elektřiny. Proto je u vyšších výkonů obvykle zvolena mechanická regulace, která bude použita i v případě návrhu elektrokotle do paroplynové elektrárny Vřesová.

3.2.1.2. Rychlost regulace

Rychlost regulace závisí na dvou faktorech, a to rychlosti přejezdu stínících válců v celém rozsahu regulace a na změně teploty ohřívaného média (teplota má vliv na vodivost). Hlavním faktorem z hlediska rychlosti regulace je rychlost přejezdu stínících válců, změna vodivosti má vliv menší.

Jako příklad můžu uvést rychlost regulace horkovodního elektrokotle s výkonem 8 MW, instalovaným v Teplárně Košice. Stínící válce projedou celý regulační rozsah za cca jednu a půl minuty, což odpovídá zhruba rychlosti regulace 5 MW/min. U elektrokotle většího výkonu je rychlost změny výkonu přímo úměrná instalovanému výkonu elektrokotle.



Obr. č.3 – motor pro řízení stínění elektrokotle



Obr. č.4 – staré stínění (Elektrotechnická fakulta ČVUT navrhla nové, účinnější)



Obr. č.5 – návštěva teplárny v Košicích

3.2.2. Elektrické charakteristiky elektrokotle

Nominální výkon až 24 MW.

Napájecí napětí: úroveň VN mezi 6 kV a 22 kV

Rychlost regulace: z 0% na 100% do 3 minut od povelu nadřazeného řídicího systému, z 100% na 0% do 3 minut od povelu nadřazeného řídicího systému

3.2.3. Tepelné charakteristiky ELK

Max 140 °C v primárním okruhu elektrokotle

Max. 135 °C na sekundární straně tepelného výměníku

dovolený max. tlak v horkovodní síti v sekundárním okruhu ELK 2 MPa, běžný provozní tlak do 1,5 MPa.

3.2.4. Rozměry a hmotnost elektrokotle pro výkon 24 MW

Výška: 7200 mm

Šířka: 5200 mm

Hloubka: 3900 mm

Hmotnost elektrokotle 6 tun

Základová deska pro nosnost 25 tun

3.3. Možnosti napojení elektrokotle na stávající zařízení

3.3.1. Elektrické připojení elektrokotle VN

Elektrokotel s výkonem 24MW, který by byl instalován do paroplynové elektrárny Vřesová, bude připojen na vývod generátoru. Elektrokotle s nižším výkonem lze zapojit na vlastní spotřebu teplárny. Napěťová úroveň bývá od 6kV do 15kV. Záleží na volné kapacitě a na způsobu napájení vlastní spotřeby. Nemělo by při žádných provozních stavech docházet k situaci, kdy by byl elektrokotel napájen z distribuční soustavy.

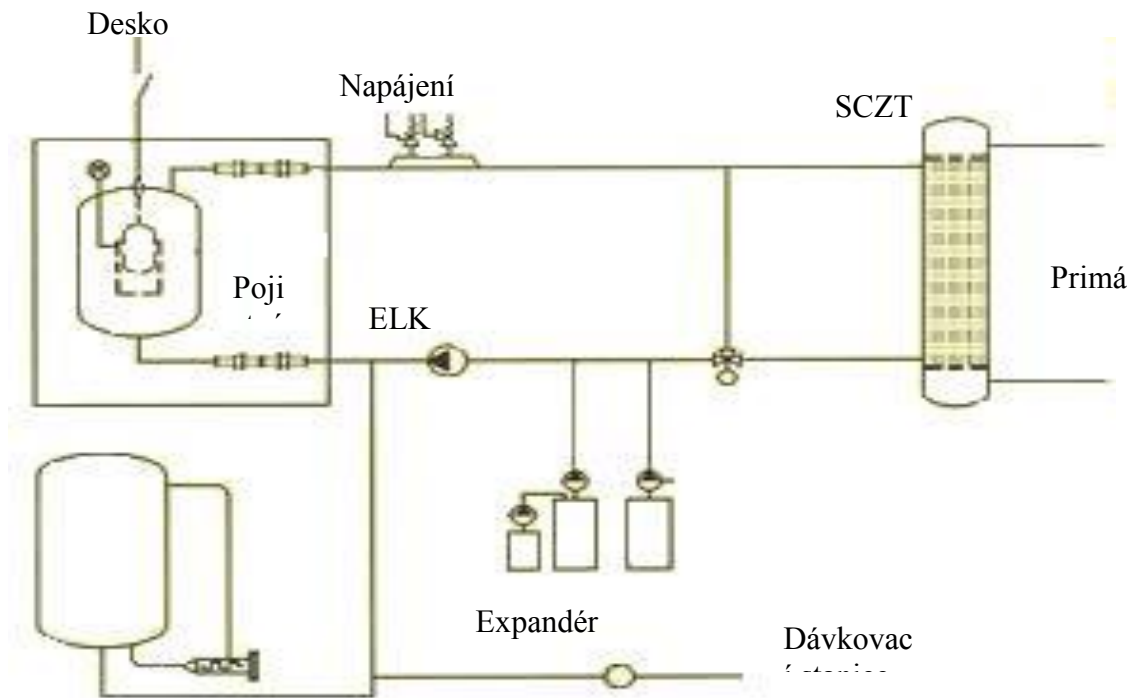
NN připojení

Elektrokotel pro svoje činnosti potřebuje také NN přípojku pro připojení rozvaděče 230/400 V. Z rozvaděče je napájen pohon čerpadel, servo pohonů apod. NN přípojka bude NN kabelem realizovaná z některého z NN rozvaděčů podle určení provozu.

3.4. Připojení elektrokotle na tepelnou síť

3.4.1. Primární okruh elektrokotle

Uzavřený primární okruh tvoří nedílnou součást samotného elektrokotle. Okruh je vybaven oběhovým čerpadlem, expandérem na vyrovnávání tlaku, dávkovací stanicí s čerpadlem, řadou pojistných a bezpečnostních prvků a rozebíratelným deskovým tepelným výměníkem.



Obr. č.6 primární okruh elektrokotle

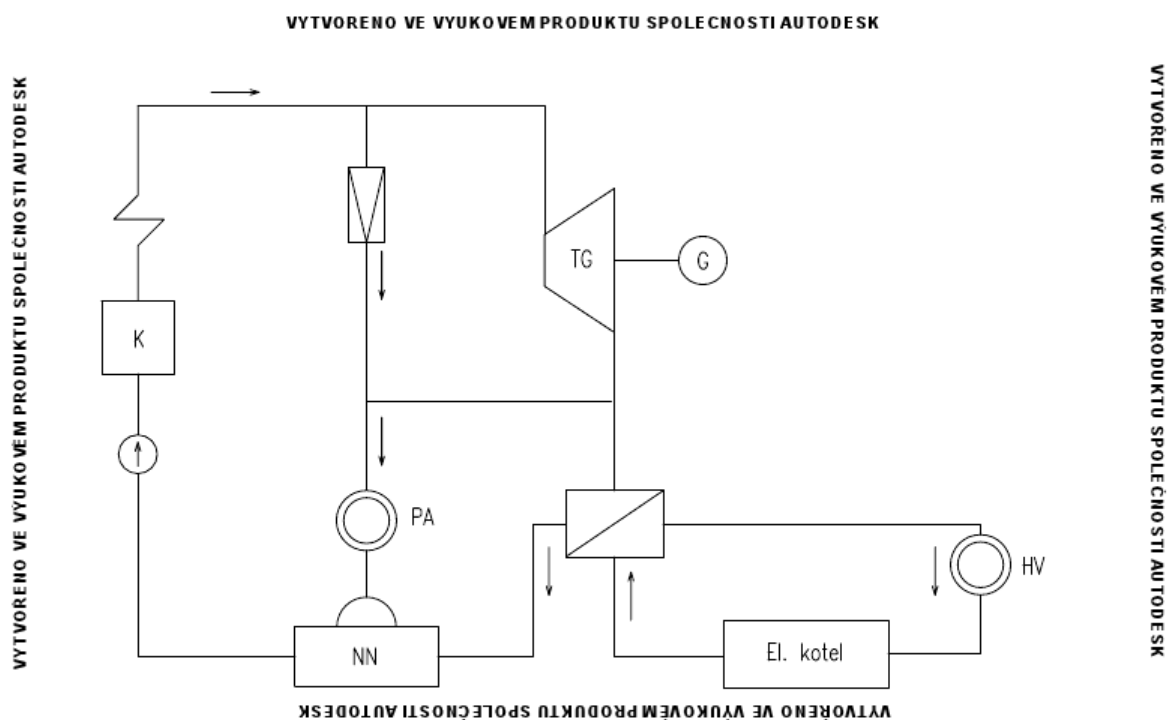
3.4.2. Znázornění primárního okruhu elektrokotle

Na uvedeném schématu je znázorněno zapojení elektrokotle do primárního okruhu (tj. vlastního okruhu elektrokotle odděleného výměníkem). Voda proudící elektrokotlem (vlevo nahoře) je ohřívána a teplo je následně předáváno na deskovém výměníku (vpravo nahoře) do horkovodní sítě (zcela vpravo). Na obrázku je též znázorněna expanzní nádoba (vlevo dole) a dávkovací stanice chemikálií pro nastavení požadovaných vlastností vody v primárním okruhu, zejména vodivosti (dole uprostřed).

3.4.3. Vyvedení tepelného výkonu do horkovodního systému

V zásadě se používají dvě základní připojení elektrokotle na stávající horkovodní síť.

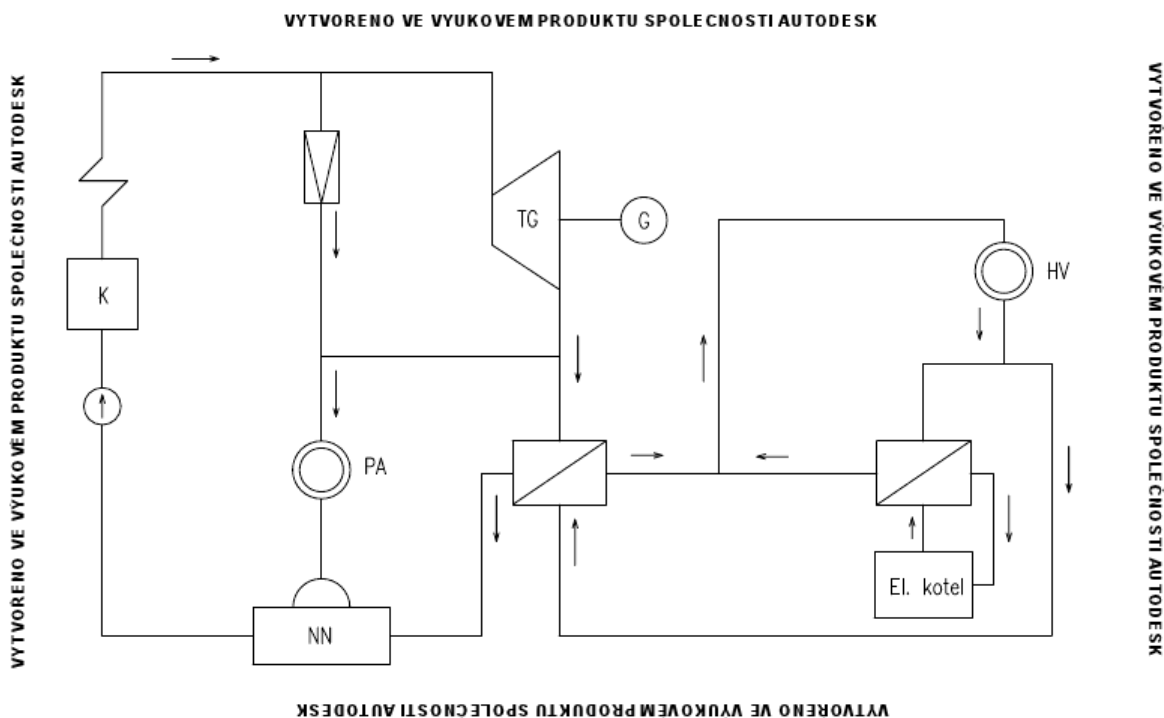
Elektrokotel může být připojen do vratné větve horkovodu. V případě aktivace slouží jako předehřev vody před vlastním parním ohřívákem. Elektrokotel přehřívá vratnou vodu v závislosti na požadovaném elektrickém výkonu a teplota vody se mění v závislosti na okamžitém výkonu elektrokotle. Toto zapojení jsem zde uvedl jen jako příklad, ale spíše se používá zapojení na Obr. č.6.



HV – horká voda (spotřebič)

Obr. č.7 - Elektrokotel připojený do vratné větve horkovodu

Druhou možností je elektrokotel připojit paralelně ke stávajícím ohřívákům mezi vratnou a vývodovou větev horkovodu. Při této variantě ohřívá elektrokotel vodu na požadovanou teplotu na výstupu z teplárny. Toto připojení se hodí pro větší výkony elektrokotle a také by bylo použito v paroplynové elektrárně Vřesová.



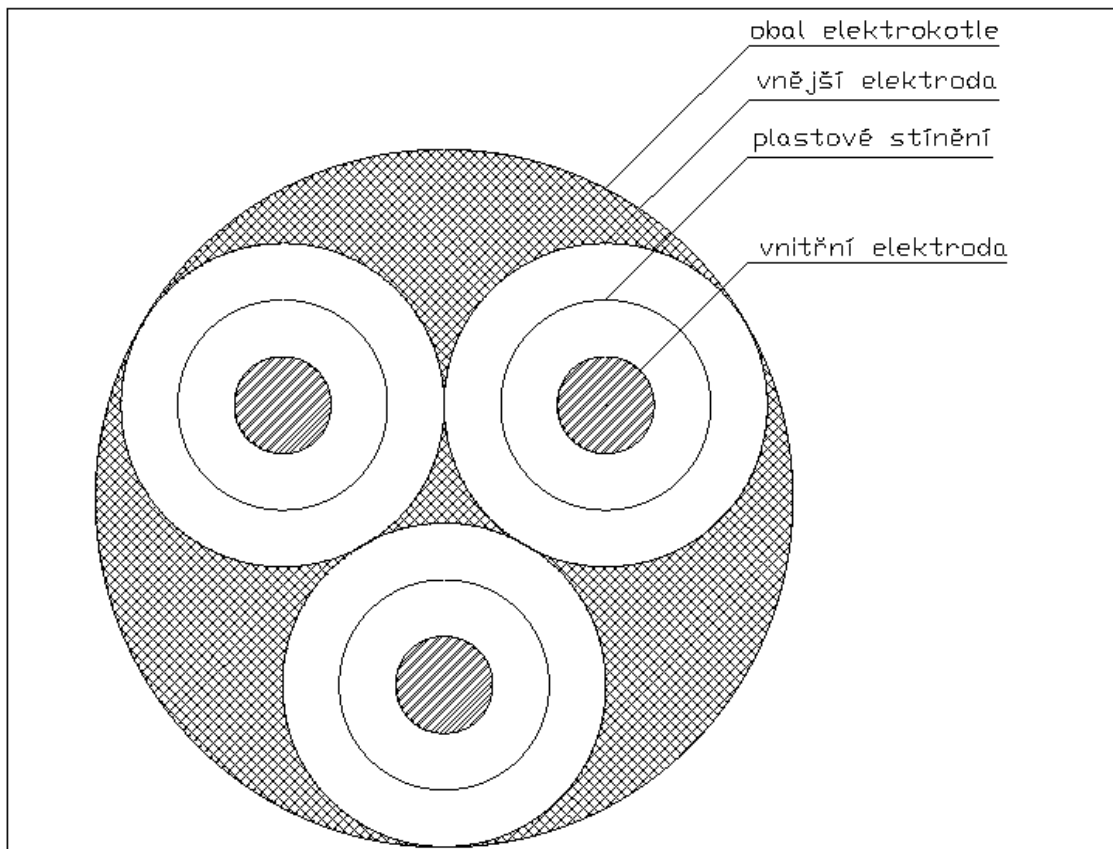
Obr. č.8 - elektrokotel připojený paralelně ke stávajícím ohřívákům mezi vratnou a vývodovou větev horkovodu

3.5. Připojení elektrokotle do nadřazeného řídicího systému teplárny

Elektrický kotel bude vybaven vlastním řídicím systémem, který zabezpečí zejména:

- plynulou regulaci v požadovaném rozsahu,
- možnost skokové regulace na předem určený výkon,
- komunikaci s nadřazeným řídicím systémem,
- bezpečný a spolehlivý provoz.

Napojení na nadřazený řídicí systém teplárny bude realizován prostřednictvím analogového signálu v rozsahu 4 – 20 mA nebo pomocí digitálního ethernetového připojení tak, aby mohl být elektrokotel povelován z nadřazeného řídicího systému.



Obr. č.9 – řez elektrokotle

Definici Fiktivního bloku dne 6. ledna 2012 upravuje Kodex PS, část II., kapitola 1.2.2 Podmínky vytváření fiktivních bloků. Úpravou dochází především k možnosti vytvoření fiktivního bloku společnou infrastrukturou soustav motorgenerátorů nebo kombinací turbogenerátoru a elektrokotle se společným vyvedením tepla.

Fiktivní blok je soubor několika energetických výrobních zařízení, typicky elektrárenských bloků, jedné elektrárny sdružených pro účely poskytování PpS do jednoho celku.

[17]

Fiktivní blok může být vytvořen pouze zařízeními jedné elektrárny vyvedenými do jedné rozvodny stejné napěťové úrovně, nejméně 22kV, u kterých existuje technologická vazba mezi jednotlivými soustrojími.

3.6. Elektrokotel ve světě

Jako jedna z prvních firem, která se zabývala výrobou a distribucí elektrokotle ve světě, je firma Zander & Ingeström AB, jež sídlí ve Švédsku. Od této firmy používá elektrokotel například Dánská firma Averhoff Energi Anlæg, která je instaluje v dánských teplárnách.

[<http://www.aea.dk>]

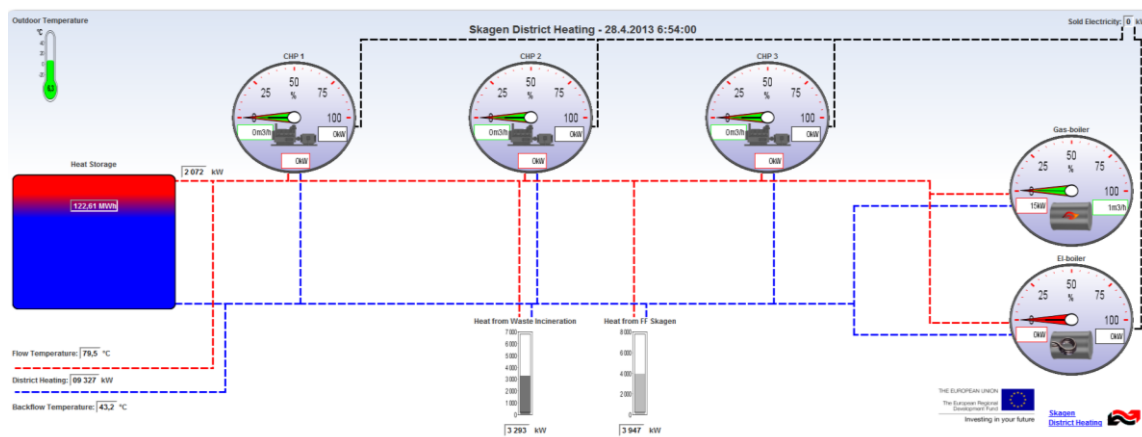
Ve městě Skagen na severu Dánska instalovala společnost Skagen Varmeværk A.m.b.a. elektrokotel o elektrickém výkonu 11MW a tepelném výkonu 11MW. Na internetových stránkách je možnost pozorovat provoz elektrokotle (<http://www.emd.dk/desire/skagen/>).

V roce 2011 jsem osobně navštívil Skagen a byl jsem na exkurzi elektrokotle. V Německu například používá pro podpůrné služby elektrokotel teplárna Flensburg, která využívá elektrokotel o výkonu 30MW a byl uveden do provozu na začátku roku 2013.

<http://www.stadtwerkeflensburg.de>



Obr. č. 10-11 –elektrokotel Skagen, plynový motor



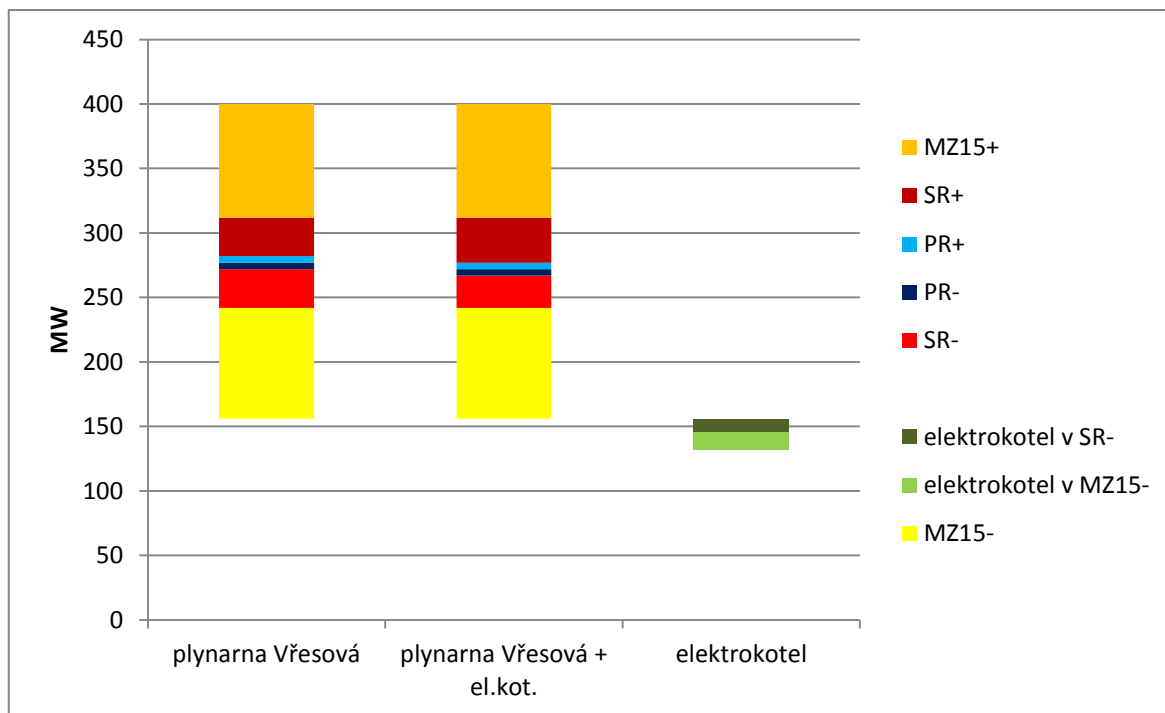
Obr. č.12 - On line sledování provozu v teplárně Skagen (výkon elektrického kotle je vpravo dole)

4. Instalace elektrokotle k paroplynu Vřesová

Zde jsem z Tab.č.2 připravil a vypočítal graf podpůrných služeb. Tento graf je jen orientační, jelikož přesné hodnoty nechce vlastník SUES zveřejňovat.

Tab. č.3 - tabulka podpůrných služeb paroplynové elektrárny s elektrokotlem

	MW
paroplynová elektrárna Vřesová	
minutová záloha 15minutová kladná	88
sekundární regulace kladná	30
primární regulace kladná	5
bázový bod	279
primární regulace záporná	5
sekundární regulace záporná	30
minutová záloha 15minutová záporná	86
paroplynová elektrárna Vřesová s elektrokotlem	
minutová záloha 15minutová kladná	88
sekundární regulace kladná se zvýšila o 5 MW	35
primární regulace kladná	5
bázový bod se snížil o 5 MW	274
primární regulace záporná	5
sekundární regulace záporná se zvýšila o 5 MW	35
minutová záloha 15minutová záporná se zvýšila o 14 MW	100



Obr. č. 14 – podpůrné služby paroplynové elektrárny s elektrokotlem

Při návrhu tabulky č. 14 – podpůrné služby elektrárny s elektrokotlem, jsem se musel řídit podle kodexu přenosové soustavy, pravidla a provozování přenosové soustavy, který vydala společnost Čeps a.s. v lednu 2012.

Při návrhu primární regulace frekvence je stanovena minimální velikost, poskytovaná na jednom bloku 3 MW a maximální velikost poskytovaná na jednom bloku 10 MW. V mém případě jsem navrhl maximální velikost 10 MW, jelikož paroplynová elektrárna Vřesová je dle tabulky č. 2 druhý největší subjekt poskytující primární regulaci frekvence v České republice.

Zatím co při návrhu sekundární regulace je minimální poskytovaná velikost SR+ nebo SR- na jednom bloku 10 MW a pro maximální poskytovanou sekundární regulaci na jednom bloku platí, že žádná z uvedených hodnot SR+, SR-, SR nepřekročí 70 MW. V mém případě jsem zvolil 40 MW SR a rozšířil je o 10 MW elektrokotlem, protože jinak by elektrokotel v odstavci ekonomika elektrokotle vycházela až moc příznivě.

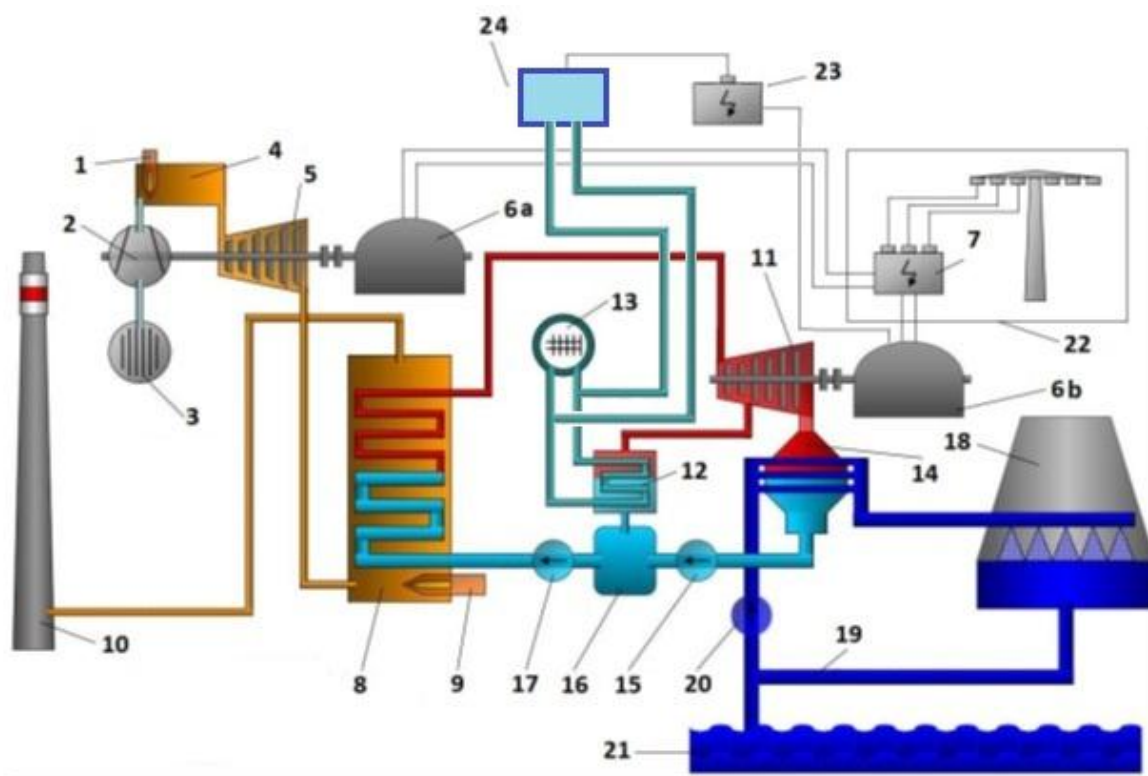
Při návrhu 15minutové zálohy je minimální poskytovaná velikost 10 MW na jednom bloku a maximální velikost poskytované na jednom bloku nesmí překročit 100 MW.

[16]

Paroplynová elektrárna Vřesová bez elektrokotle pracuje s bázovým bodem 277 MW a rozsah podpůrných služeb je od 156 MW do 400 MW. Při instalaci elektrokotle s výkonem 24MW,

tak rozšíříme rozsah podpurných služeb o 24MW, od 132MW do 400MW. Elektrokotel bude pracovat v sekundární regulaci mínus (SR-) a nebo v 15minutové záloze mínus (MZ15-). Elektrokotel se aktivuje při možnosti aktivace. První možnost aktivace elektrokotle je v sekundární regulaci mínus (SR-) a to při hodnotě 242 MW. Druhá možnost aktivace elektrokotle je v 15minutové záloze mínus (MZ15-) a to při hodnotě 156 MW, protože turbína má omezenou možnost regulace. Třetí možnost aktivace elektrokotle je kombinace předchozích dvou možností. Tj., tehdy, když ČEPS a.s. podá požadavek na sekundární regulaci mínus(SR-) a 15minutovou zálohu mínus (MZ15-) zároveň. Bázový bod se s elektrokotlem posune z hodnoty 277 MW na 272 MW.

4.1. Připojení elektrokotle do schématu paroplynové elektrárny Vřesová



Obr. č.15 – schéma paroplynové elektrárny Vřesová s elektrokotlem

Toto schéma jsem použil z Obr. č. 1 a dokreslil jsem k němu část 23) oddělovací transformátor, který je napájený z 6b) generátoru a část 24) elektrokotel, který je napájen z oddělovacího transformátoru a je přiveden na 13) tepelná energie (vytápění).

5. Ekonomika současného paroplynu, variabilní náklady, prodej energií.

5.1. Variabilní náklady paroplynu

Variabilní náklady jsou tzv. pohyblivé náklady, které se mohou měnit v průběhu roku. U paroplynu záleží především na ceně zemního plynu dodávaného plynovým potrubím z ciziny. Dále záleží na ceně vody, na nákladech na opravy, na nákladech na povolenky CO₂.

5.1.1. Povolenky CO₂.

Povolenky CO₂, nebo jinými slovy emisní povolenky, jsou nástroje, které vytvořila Evropská unie pro splnění závazku snížení skleníkových plynů. Emisní povolenky představují, kolik CO₂ v tunách je možno vypustit do ovzduší. Každý stát v Evropské unii rozdělí emisní povolenky mezi producenty skleníkových plynů. Producenty rozumíme například elektrárny, letecké společnosti, atd. Každý producent pak nakládá s emisními povolenkami podle svého uvážení. Kdo vypustí do ovzduší méně tun CO₂, než mu je přiděleno, tak ten s nimi může obchodovat na burze. Ta společnost, která vypustí více CO₂, si povolenky musí na burze odkoupit. Burza, podle které se řídí víceméně celá Evropa: <http://www.eex.com/en/Market%20Data/Trading%20Data/Emission%20Rights>.

Tento systém funguje od roku 2005.

[8]

V této kapitole je také dobré si vysvětlit pojem base load a peak load.

5.2. Base load

Base load znamená dodávku konstantního hodinového výkonu ve všech hodinách všech dnů dodávkového období. Base load se nakupuje na burze buď na 6 nejbližších kalendářních měsíců (Base load month futures), nebo na 4 nejbližší celá kalendářní čtvrtletí (Base load quater futures), či na 3 nejbližší celé roky (Base load year futures). Př. Já jako obchodník či výrobce si můžu v roce 2013 prodat či koupit base load elektřinu na rok 2014 za 37,90 Euro. Tato informace vychází z pražské burzy <http://www.pxe.cz/> a je zde uvedena k datu 12. 5. 2013.

5.3. Peak load

Peak load znamená dodávku elektřiny s konstantní hodnotou hodinového výkonu v čase od 8:00 do 20:00 ve dnech od pondělí do pátku v dodávkovém období bez ohledu na státní svátky. S elektřinou peak load se obchoduje na burze.

5.4. Výpočet ceny zemního plynu a emisních povolenek paroplynové elektrárny Vřesová

Tab. č.4 – výpočet ceny zemního plynu a emisních povolenek a cena elektřiny base load

Cena plynu - komodita	EUR/MWh	26,39
Výhřevnost/spalné teplo	EUR/MWh	0,91
na výhřevnost	EUR/MWh	29
Marže obchodníka	%	4%
	EUR/MWh	30,16
Cena služeb k plynu	%	1,07
Cena plynu celkem	EUR/MWh	32,271
Cena povolenek	EUR/Tunu	3,04
Zemní plyn - spotřeba CO2	tun CO2/MWh	0,2
Zemní plyn - spotřeba CO2	EUR/MWh	0,608
účinnost paroplynu	%	48,00%
zemní plyn a povolenky	EUR/MWh	68,498
Elektřina base load 2014	EUR/MWh	38,57

5.4.1. Popis tabulky č. 4

5.4.1.1. Marže obchodníka

Zemní plyn se nakupuje od určitých obchodníků za určitou cenu. Tito obchodníci zemní plyn nakoupí za určitou cenu od dodavatelů. Marže je tedy rozdíl mezi prodejní a nákupní cenou zemního plynu. Vyjadřuje se v procentech.

$$m = \frac{p - n}{p} * 100 [\%]$$

Kde m je marže obchodníka uvedena v procentech, p je prodejní cena a n je nákupní cena.

5.4.1.2. Spalné teplo a výhřevnost

Spalné teplo je takové množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením jednoho metru krychlového zemního plynu při barometrickém tlaku a adiabatických podmínkách (adiabatický děj je termodynamický děj, při kterém nedochází k výměně tepla mezi plynem a okolím, tento děj dochází při dokonalé tepelné izolaci), za předpokladu, že se vzniklé páry zchladí a zkondenzují, jinak řečeno, změni skupenství z plynného na kapalný. A spalné teplo je v tomto př. množství tepla, které se při tomto procesu uvolní.

Výhřevnost je množství tepla, uvolněného úplným spálením jednoho metru krychlového zemního plynu při barometrickém tlaku v adiabatických podmínkách, za předpokladu ochlazení spalin na teplotu výchozích látek a vodní pára ve spalinách zůstane v plynném stavu.

Výhřevnost má vždy menší hodnotu než spalné teplo.

[10,11]

5.4.1.3. Cena služeb plynu

Cena služeb plynu se dělí do dvou skupin:

5.4.1.3.1. Cena za přepravu plynu

Cena za přepravu plynu představuje náklady na dovoz zemního plynu ze zahraničí do České republiky a náklady na skladování zemního plynu.

5.4.1.3.2. *Cena za distribuci plynu*

Distribucí plynu se rozumí doprava plynu do odběrných míst zákazníků systémem místně příslušných plynovodů různých tlakových úrovní.

[12]

5.4.2. **Vyhodnocení tabulky č. 4**

Jak je z tabulky č. 4 vidět, tak celková cena zemního plynu s povolenkami na CO₂ je 68,498 euro a cena elektřiny vykupovaná v base load je 38,57 euro. Zde je tedy názorně ukázáno, že se při současných cenách nevyplatí provozovat paroplynovou elektrárnu v režimu base load, protože náklady jsou zde větší než příjmy. Nastává tedy otázka, proč tedy provozovat paroplynovou elektrárnu? Jak jsem uvedl v kapitole č. 2, tak paroplynová elektrárna Vřesová poskytuje podpůrné služby. Dle tabulky č. 2 je paroplynová elektrárna Vřesová jedna z nejvýznamnějších elektráren, která poskytuje podpůrné služby na českém trhu. Čili, dalším příjmem, než je prodej elektřiny base load je, že paroplynová elektrárna Vřesová je placena za disponibilitu (připravenost) poskytnout podpůrné služby do elektrizační soustavy. Další složka, kterou paroplynová elektrárna dodává do okolí, je teplo (horká voda a pára). Tím je samozřejmě zvětšená účinnost elektrárny. Horká voda je dodávána horkovodem do Karlových Varů, Chodova a nejbližšího okolí a pára je dodávána parovodem do Nejdku. Tlaková plynárna nabízí další vedlejší produkty, jako jsou dehet (80-100 tisíc tun/rok), fenolový koncentrát (10-12 tisíc tun/rok), kyselina sírová (17 tisíc tun/rok), kapalný amoniak (7 tisíc tun/rok).. Další důvod proč se vyplatí provozovat paroplynovou elektrárnu Vřesová je ten, že si sama vyrábí energoplyn z uhlí, tudíž není závislá na dodávce drahého zemního plynu. V elektrárně jsou sice nainstalované dvojité hořáky na zemní plyn a energoplyn. Každý z těchto plynů má jiné vlastnosti. Zemní plyn má lepší hořlavé vlastnosti, než energoplyn, to je zapříčiněno tím, že energoplyn vyrábějící společností Sokolovské a.s. je vyráběna z hnědého ne moc kvalitního uhlí. Zemní plyn je zde využíván kvůli rychlým změnám výkonu a ještě nad hladinou 70% instalovaného výkonu, kvůli časové prodlevě ve výrobě energoplynu nedokáže pokrýt poptávku po plynu, proto se na hranici 70% instalovaného plynu spaluje ve dvojitém hořáku energoplyn se zemním plynem. Množství spotřebovaného dražšího zemního plynu je tedy jenom malé. Údaje o ceně energoplynu nejsou známy, ale z uvedeného se dá předpokládat, že paroplynová elektrárna Vřesová je výdělečná. Velkou výhodou bylo, že velmi komplikované zařízení na výrobu energoplynu bylo již zainvestováno.

[2,13]

5.5. Poslední trend paroplynu na světě

Spojené státy americké poslední dobou zažívají takzvanou „břidlicovou revoluci“, to znamená, že USA vyrábí levný plyn z břidlic. Elektrárny v USA přecházejí ve velkém z uhlí na plyn, tím pádem je v Americe přebytek levného uhlí. To je exportováno do Evropy, což zapříčinilo spolu s krachem emisních povolenek, že i ty nejmodernější paroplynové elektrárny v Anglii, Německu nebo nová paroplynová elektrárna v Malešicích na Slovensku se odstavují.

A proto, že je v Evropě uhlí levné a plyn drahý, stává se elektřina z uhlí levnější. To se naopak neslučuje s evropským úsilím snížit emise skleníkových plynů, protože paroplynové elektrárny vypouštějí méně skleníkových plynů než uhelné elektrárny.

[15]

6. Ekonomika elektrokotle

Tab. č. 5 - ekonomika elektrokotle o výkonu 24 MW

ekonomika elektrokotle o výkonu 24 MW

sekundární regulace (SR)		
cena za disponibilitu sekundární regulace (SR)	CZK/MWh	650
průměrná aktivace sekundární regulace mínus (SR-) během roku		16%
cena za poskytování regulační energie sekundární regulace mínus (SR-)	CZK/MWh	1
přírůstek disponibility sekundární regulace mínus (SR-)	MW	5
příjem za přírůstek poskytované regulační energie sekundární regulace mínus (SR-)	CZK/rok	6400
průměrná aktivace sekundární regulace plus (SR+) během roku		12%
cena za poskytování regulační energie sekundární regulace plus (SR+)	CZK/MWh	2350
přírůstek disponibility sekundární regulace plus (SR+)	MW	5
příjem za přírůstek poskytované regulační energie sekundární regulace plus (SR+)	CZK/rok	11280000
doba poskytování sekundární regulace (SR)	hodin/rok	8000
příjem za přírůstek disponibility	CZK/rok	52000000
příjem za přírůstek poskytované regulační energie	CZK/rok	11286400
celkový přírůstek příjmů za sekundární regulaci	CZK/rok	63286400

15tíminutová záloha (MZ15-)		
cena za disponibilitu 15tíminutové zálohy (MZ15-)	CZK/MWh	250
Průměrná aktivace 15tíminutové zálohy (MZ15-) během roku		4%
Cena za poskytování regulační energie 15tíminutové zálohy (MZ15-)	CZK/MWh	200
Doba poskytování 15tíminutové zálohy (MZ15-)	hodin/rok	8 000
Přírůstek disponibility 15tíminutové zálohy (MZ15-)	MW	14
Příjem za přírůstek disponibility	CZK/rok	28 000 000
Příjem za přírůstek poskytované regulační energie	CZK/rok	896 000
Celkový přírůstek příjmů za 15tíminutové zálohy (MZ15-)	CZK/rok	28 896 000

Celkové zvýšení příjmů instalací elektrokotle	CZK/rok	92 182 400
--	----------------	-------------------

Dobu provozu paroplynové elektrárny jsem zvolil 8000 hodin v roce, což je zhruba 333 dní, protože elektrárna potřebuje potřebnou dobu na revize. Ceny za disponibilitu nejsou dostupné informace. Je to jenom hrubý odhad.

7. Závěr

Paroplynová elektrárna Vřesová je s výkonem 400 MWe velkou elektrárnou na plyn v České republice. Je považována za tak zvanou pojistku proti black outu. To znamená, že zaručuje rychlé snížení výkonu až na hodnotu své vlastní spotřeby, to je dobré při přebytku energie v síti, aby nedošlo k rozpadu sítě.

Jak jsem již zmínil v kapitole 5. Ekonomika současného paroplynu, se v dnešní době nevyplácí stavět v Evropě paroplynovou elektrárnu kvůli břídicové revoluci v USA a tudíž i exportu levného uhlí z USA do Evropy. Důkazem jsou na Slovensku Malženice, které patří společnosti E.ON. Paroplynová elektrárna Vřesová má ale výhodu v tom, že si zplyňuje uhlí a zařízení na zplyňování bylo zde již postaveno.

Ve své práci uvádím informace o elektrokotli s výkonem 24 MW a o jeho případné instalaci do paroplynové elektrárny Vřesová. Velké elektrokotle se dříve používali k topení centrálních soustav Skandinávie z důvodu levné elektřiny. Nově se velké elektrokotle používají k poskytování podpůrných služeb v Německu, Dánsku a na Slovensku. Zde vzniká otázka, proč není elektrokotel ještě nainstalován v žádné elektrárně v ČR? Protože ČEPS a.s. povolil instalaci elektrokotle ve svém Kodexu až v roce 2013. V současné době je ve fázi jednání instalace elektrokotle o výkonu 10MW do teplárny v Příbrami.

Elektrokotel je používán pro rozšíření poskytování podpůrných služeb stávajícího zdroje. V našem případě elektrokotel rozšiřuje sekundární regulaci (SR) o 5 MW dolů (SR-) a o 5 MW nahoru (SR+) a 15minutovou zálohu minusovou (MZ15-) o 14 MW. To je uvedeno v grafu na obr. č. 14 a v tabulce č. 5. V grafu je názorně vidět pracovní oblast elektrokotle, o kolik se sníží bazový bod a o kolik se zvýší celková možnost poskytování podpůrných služeb. Elektrokotel je zaplacen jednak za disponibilitu (přípravenost) poskytovat podpůrné služby a za aktivaci při požadavku od ČEPS na regulaci výkonu v elektrické síti. V tabulce č. 5 je uvedena ekonomika elektrokotle a je zde uvedeno, proč je výhodné elektrokotel nainstalovat a provozovat. Za disponibilitu v sekundární regulaci (SR) vydělá elektrokotel 52 000 000 CZK/rok a v 15minutové záloze (MZ15-) je za disponibilitu zaplaceno 28 000 000 CZK/rok. Poté je elektrokotel zaplacen za aktivaci, v sekundární regulaci (RS) to činí 11 286 400 CZK/rok a v 15minutové záloze (MZ15-) 896 000 CZK/rok. Dohromady by tedy elektrokotel za rok vydělal 92 182 400 CZK. Podle výše uvedených informací je zřejmé, že elektrokotel z převážné části vydělává čekáním na povel od velína k aktivaci, čili za připravenost.

Teplo vyrobené elektrokotlem není mařeno, ale je použito pro ohřev vody, která je dodávána horkovodem do měst a obcí.

8. Použitá literatura a zdroje.

- [1] <http://www.suas.cz/page/show/slug/elektricka-energie>
- [2] Maršál, Jan. *Paroplynová elektrárna*. Plzeň, 2003. Bakalářská práce. Západočeská univerzita. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce ing. Miroslav Šafařík.
- [3] http://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmyslov%C3%BD_komplex_V%C5%99esov%C3%A1
- [4] http://hosting.pilsfree.net/vaca/FEL/4rocnik/-%20ZS/E1/E1_semestralni%20prace_sirovy_2006/E1_semestralni%20prace_sirovy_2006.pdf
- [5] www.biopaliva-ctpb.cz/attachments/084_IAP.doc
- [6] <http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Podpurne-sluzby/Stranky/default.aspx>
- [7] <http://www.ceps.cz/CZE/Data/Jak-seobstaravaji-PpS/Stranky/default.aspx>
- [8] http://wiki.rvp.cz/Knihovna/1.Pedagogicky_lexikon/U/Udr%C5%BEiteln%C3%BD_rozvoj/Emisn%C3%AD_povolenky
- [9] http://www.pxe.cz/pxe_downloads/Rules_Regulation/Cz/PXE_rad_standardizace.pdf
- [10] http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/VYT/Plyn_ve_vytapeni.pdf
- [11] http://cs.wikipedia.org/wiki/Adiabatick%C3%BD_d%C4%9Bj
- [12] <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/jake-jsou-slozky-celkove-ceny-za-dodavku-zemniho-plynu>
- [13] http://www.petroleum.cz/upload/ap_2006_05.pdf
- [14] <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/paroplynové-elektřárny/připravované-projekty-paroplynových-elektřáren-čez.html>
- [15] <http://byznys.ihned.cz/c1-59862460-evropa-kvuli-bridlicnemu-boomu-v-usa-a-krachu-emisnich-povolenek-odstavuje-plynove-elektřárny>
- [16] http://www.eru.cz/user_data/files/sdelen%C3%AD_elektro/kodex/2012%20listopad/II.pdf
- [17] http://www.eru.cz/user_data/files/sdeleni_elektro2/PPPS/C_II_2012_k_%20prip.pdf