

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Optimalizace vlastní spotřeby tepelné elektrárny

vedoucí práce: Prof. Ing. Jan Mühlbacher, CSc.

autor: Bc. Jan Ouhrabka

2012/2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2012/2013**

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

Jméno a příjmení: **Jan OUHRABKA**
Osobní číslo: **E11N0126P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Optimalizace vlastní spotřeby tepelné elektrárny**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište současný stav a zapojení vlastní spotřeby elektrárny.
2. Navrhněte možnosti úspor a větší efektivity ve vlastní spotřebě.
3. Proveďte vyhodnocení a výklad Vámi navrhovaných řešení.
4. Určete ekonomickou návratnost investic.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Bašta, J., Chládek, J., Mayer, I.: Teorie elektrických strojů, SNTL, Praha, 1968
2. Ibler, Z. a kol.: Energetika, BEN, Praha, 2002
3. Artur, R. Bergen, Vijay Vittal: Power systems analysis, Upper Saddle River, New Jersey, 2000
4. William, D. Stevenson: Elements of power system analysis, Mc. Graw-Hill Book Company, New York, 1982
5. Kolcun, M., Mühlbacher, J., Haller, R.: Mathematical analysis of electrical networks, BEN, Praha, 2004
6. Kolcun, M., Griger, V., Mühlbacher, J.: Electric power system operation control, Mercury-Smékal Publishing House, Košice, 2004
7. Doležal, J., Šťastný, J., Špetlík, J., Bouček, S., Brettschneider, Z.: Jaderné a klasické elektrárny, ČVUT Praha, 2011

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Mühlbacher, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na optimalizaci provozu tepelné elektrárny ELÚ III Plzeňské energetiky a.s.

Práce zahrnuje popis současného stavu tepelné elektrárny ELÚ III, návrhem možnosti úspor ve vlastní spotřebě elektrárny ELÚ III. Práce také obsahuje vyhodnocení navrhovaných variant možnosti úspor ve vlastní spotřebě a ekonomické vyhodnocení investic u navrhovaných řešení.

Klíčová slova

Elektrárna ELÚ III, výroba elektrické energie, vlastní spotřeba, rozvodny, provoz parního kotle, kouřové ventilátory, optimalizace kouřových ventilátorů, frekvenční měniče, asynchronní motory

Abstract

This thesis is focused on optimizing the operation of a thermal power plant ELÚ III. The work includes a description of the current state of the thermal power plant, the design possibilities for savings in its own power consumption. The work also includes the evaluation of the options propřed savings opportunities in their own consumption of propřed solutions.

Key words

Thermal power plant ELÚ III, generation of electricity, own consumption, substations, operation of the steam boiler, smoke ventilators, optimization smoke ventilators, frequency inverters, asynchronous motors.

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou 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 diplomové práce, je legální.

V Plzni dne: 29. 4. 2013

Bc. Jan Ouhrabka

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Janu Mühlbacherovi, Csc. a konzultantům z provozu elektrárny ELÚ III Ing. Miroslavovi Bobkovi a panu Vladimírovi Vokurkovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

Obsah	7
Úvod	9
Seznam symbolů a zkratk	10
1. Elektrárna ELÚ III	11
1.1 Popis stávajícího zařízení elektrárny ELÚ III	11
1.2 Výroba elektrické energie v elektrárně ELÚ III.....	16
1.3 Vlastní spotřeba elektrárny ELÚ III.....	18
2. Popis současného stavu a zapojení vlastní spotřeby elektrárny ELÚ III	19
2.1 Rozvodna R3A	20
2.2 Rozvodna R5A,B.....	21
2.3 Rozvodna R3B.....	22
2.4 Rozvodna R6	24
2.5 Rozvodna R3C.....	25
2.6 Rozvodna R10C.....	26
2.7 Rozvodna R11	27
3. Návrh možnosti úspor a větší efektivity ve vlastní spotřebě	28
3.1 Provoz parního kotle.....	29
3.2 Kouřové ventilátory.....	31
3.3 Optimalizace provozu kouřových ventilátorů	33
3.4 Možnost náhrady stávajících pohonů kouřových ventilátorů motory, která budou řízeny pomocí frekvenčních měničů	39
4. Vyhodnocení studie o optimalizaci kouřových ventilátorů v tepelné elektrárně	47
4.1 Vyhodnocení studie o vypnutí jednoho kouřového ventilátoru	47
4.2 Vyhodnocení příkonů motorů k pohonu kouřových ventilátorů	48
4.3 Vyhodnocení studie o náhradě stávajících motorů kouřových ventilátorů motory, které budou řízeny frekvenčními měniči	50
5. Ekonomická návratnost investic do optimalizace provozu kouřových ventilátorů	52
5.1 Ekonomická návratnost investic – vypnutí jednoho kouřového ventilátoru	52
5.2 Ekonomická návratnost – motory řízené frekvenčními měniči.....	53

Seznam literatury a použitých zdrojů 56

Přílohy

Přehledové schéma rozvodny 22 kV elektrárny ELÚ III 57
Mapa sítí 110 kV v oblasti řízení ČEZ Západ 58
Fotodokumentace elektrárny ELÚ III 59

Úvod

Diplomová práce je obsahově zaměřena na optimalizaci tepelné elektrárny ELÚ III patřící společnosti Plzeňská energetika a.s.

Text je rozdělen do pěti částí. První část práce se zabývá popisem stávajícího zařízení tepelné elektrárny ELÚ III, výrobou elektrické energie a vlastní spotřebou elektrárny ELÚ III.

Druhá část je zaměřena na popis současného zapojení vlastní spotřeby elektrárny ELÚ III.

Třetí část řeší návrh možnosti úspor ve vlastní spotřebě tepelné elektrárny.

Čtvrtá část práce pak vyhodnocuje studii o optimalizaci kouřových ventilátorů u parního kotle.

Pátá část textu je zaměřena na ekonomickou návratnost investic do optimalizace provozu elektrárny.

Seznam symbolů a zkratk

<i>ELÚ III</i>	elektrické ústředna III
<i>K₁, K₃, K₅</i>	označení parních kotlů
<i>TG8, TG 9, TG 10</i>	označení turbogenerátorů
<i>TTG8, TTG9, TTG10</i>	označení transformátorů
<i>R3A, R5A,B, R3B, R6, R3C</i>	označení rozvoden na hladině napětí 6 kV
<i>R10C, R11</i>	označení rozvoden na hladině napětí 3 kV
<i>HF</i>	fluorovodík
<i>HCl</i>	kyselina chlorovodíková
<i>SO₂</i>	oxid siřičitý
<i>I_N (A)</i>	jmenovitý proud
<i>z_% (%)</i>	procentuální zatížení
<i>m_p (t)</i>	množství páry
<i>C_F (μF)</i>	filtrační kondenzátor
<i>L_F (mH)</i>	tlumivka
<i>Z (Ω)</i>	impedance
<i>EMC</i>	elektromagnetická kompatibilita

1. Elektrárna ELÚ III

Elektrárna ELÚ III je majetkem společnosti Plzeňská energetika a.s. Je jedním z předních výrobců elektrické energie v západočeském regionu. Elektrárna ELÚ III má celkový instalovaný výkon 111 MW. Elektrárna se nezaměřuje pouze na výrobu silové elektřiny, ale i na poskytování podpůrných služeb v oblasti primární a výkonové regulace elektrické sítě. Vyrobena elektrická energie slouží k pokrytí spotřeby vlastního zařízení nutného k provozu elektrárny a k dodávkám do distribuční sítě za účelem obchodování na trhu s elektřinou. Dále elektrárna poskytuje služby v oblasti centrálního zásobování teplem.

1.1 Popis stávajícího zařízení elektrárny ELÚ III

Elektrárna je vybaveny dvěma uhelnými kotli s označením K_1 a K_3 a jedním kotlem na spalování těžkého topného oleje s označením K_5 . Kotle K_1 , K_3 jsou za normálních provozních podmínek současně v provozu a kotel K_5 slouží jako rezerva. Parametry jednotlivých kotlů a parametry výstupní páry jsou uvedeny v tab. 1.

	Typ paliva	Množství páry (t/hod)	Tlak páry (bar)	Teplota páry (°C)	Tepelný výkon kotle (MWt)
K_1	Uhlí	180	96	540	136,4
K_3	Uhlí	170	96	540	128,9
K_5	Topný olej	75	17	320	55

Tabulka 1

Výstupní pára z kotlů K_1 , K_3 , je vedena do vysokotlakých částí parních turbín turbogenerátorů TG 8, TG 9, TG 10 a do redukčních stanic páry redukcí výstupní tlaky páry z kotlů na hladinu tlaku 13 bar, s možností další redukce tlaku na hladiny tlaků 8 a 4 bary. Výstupní pára z kotle K_5 je používána jako technologická pára na hladině tlaku 13 bar s možností další redukce na hladiny tlaků 8 a 4 bary. Turbíny TG 8, TG 9, TG 10 jsou kondenzační, pára po expanzi v jednotlivých dílech turbíny vstupuje do kondenzátoru. Každá z turbín má tři regulované odběry páry, s provozními tlaky 13, 8, a 4 bary. Pára z jednotlivých odběrů turbín a pára z redukčních stanic páry je využívána pro

tepelná zařízení zásobovaná teplem pomocí parovodů nebo horkovodů (po využití tepla z páry ve výměňkových zařízeních).

Provozní parametry turbin jsou uvedeny v tab. 2.

	Výrobce	Hltnost (t/hod)	Teplota (°C)	Tlak (bar)
TG 8	Škoda Plzeň	180	530	91
TG 9	Škoda Plzeň	170	530	91
TG 10	Škoda Plzeň	120	480	91

Tabulka 2

Na společných hřídelích s turbínami jsou přes spojky připojeny synchronní alternátory. Provozované synchronní alternátory jsou dvoupólové stroje s hladkých rotorem. Výstupní napětí z alternátorů je 6.3 kV.

Provozní parametry jednotlivých synchronních strojů jsou uvedeny v tab. 3, tab. 4, tab. 5.

Synchronní alternátor TG8	
Výkon (kW)	28 000/30 500
Výrobce	Škoda
Spojení	Hvězda 6300 ± 5% V
Učinnost	0.8
Frekvence (Hz)	50
Otáčky (ot/min)	3000
Buzení	50 -170/50 – 184 V; 252-725/252-780A
Budič TG 8	
Zdánlivý výkon (kVA)	190
Napětí (V)	170
Proud (A)	645
Činný výkon (kW)	175

Tabulka 3

Synchronní alternátor TG9	
Výkon (kW)	28 000
Výrobce	Škoda
Spojení	Hvězda 6300 ± 5% V
Učíník	0.7
Frekvence (Hz)	50
Otáčky (ot/min)	3000
Buzení	67-290V 159-494A
Budič TG 9	
Zdánlivý výkon (kVA)	307
Napětí (V)	400
Proud (A)	443
Činný výkon (kW)	145

Tabulka 4

Synchronní alternátor TG10	
Výkon (kW)	33 000
Výrobce	Škoda
Spojení	Hvězda 6300 ± 5% V
Učíník	0.75
Frekvence (Hz)	50
Otáčky (ot/min)	3000
Buzení	61-268V 175-558A
Budič TG 10	
Napětí (V)	320
Proud (A)	625
Pomocný budič TG10	
Napětí (V), proud (A)	110, 22.7

Tabulka 5

Výstupní napětí synchronních alternátorů je 6.3kV, je transformováno na napěťovou hladinu 22kV za účelem možnosti připojení alternátorů na rozvodnu 22kV, která je umístěna v objektu elektrárny.

Transformaci z 6.3kV na napěťovou hladinu 22kV zajišťují tři olejové transformátory 6/22kV. Transformátor TTG9 má chlazení zajištěno pomocí nuceného oběhu oleje přes vodní chladič. Transformátory TTG8, TTG10 jsou chlazeny nuceným oběhem vzduchu, který zajišťují ventilátory osazené na nádobě transformátoru. Transformátory jsou umístěny v samostatných trafokomorách. Pod každým transformátorem je olejová jímka. Jímka je s odtokem do dvou hlavních záchytných jímek, kterým svým provedením pojmu 100% obsahu oleje transformátorů.

Parametry transformátorů jsou uvedeny v tab. 6.

Transformátory 6/22kV							
Označení	S (kVA)	U ₁ (V)	U ₂ (V)	I ₂ (A)	u _k (%)	Spojení	Provedení chlazení
TTG 8	40	23 00±5%	6300	3666	12,5	YNd1,S1	ODWF
TTG 9	40	23000±5%	6300	3666	12,5	YNd1	ODWF
TTG 10	20	23000±5%	6300	1833	9,9	YNd1,S1	ONAF

Tabulka 6

Rozvodna 22kV je spojena dvěma vývody s distribuční sítí s provozním napětím 110kV, pomocí dvou transformátorů 22/110kV.

Na výstupu z alternátorů jsou vyvedeny odbočky na napěťové hladině 6.3 kV.

Z těchto odboček jsou přes reaktory napájeny rozvodny pro vlastní spotřeby na hladině napětí 6 kV.

Do rozvodny 22 kV jsou připojeny záložní motorgenerátorové zdroje elektrické energie o výkonu 3 x 6.7 MW. Připojení motorgenerátorů k rozvodně 22kV je provedeno třemi transformátory o zdánlivých výkonech 8150kVA.

Všechny údaje o jednotlivých transformátorech jsou uvedeny v tab. 7a.

Technické parametry motorgenerátoru viz tab. 7b.

Transformátory pro připojení motorgenerátorů						
Označení	S (kVA)	U_1 (V)	U_2 (V)	I_2 (A)	u_k (%)	Spojení
MG1	8150	22500±2x2.2%	6000	784	8.3	YNd11
MG2	8150	22500±2x2.2%	6000	784	8.3	YNd11
MG3	8150	22500±2x2.2%	6000	784	8.3	YNd11

Tabulka 7a

Generátorové soustrojí	
Motor	
Počet válců	18
Otáčky	750 ot/min
Generátor	
Výstupní výkon	8150 kVA
Účinnost	0.8
Proud, frekvence, napětí	784A, 50Hz, 6000V

Tabulka 7b

Rozvodna 22 kV je vybavena dvojitým systémem přípojníc z důvodu zajištění bezpečnosti dodávky elektrické energie a také z důvodů rovnoměrného rozdělení výkonu pro napájení jednotlivých vývodů.

Celkové schéma rozvodny 22 kV viz příloha č. 1.

Přehled zapojení elektrárny do sítě 110 kV viz příloha č. 2.

1.2 Výroba elektrické energie v elektrárně ELÚ III

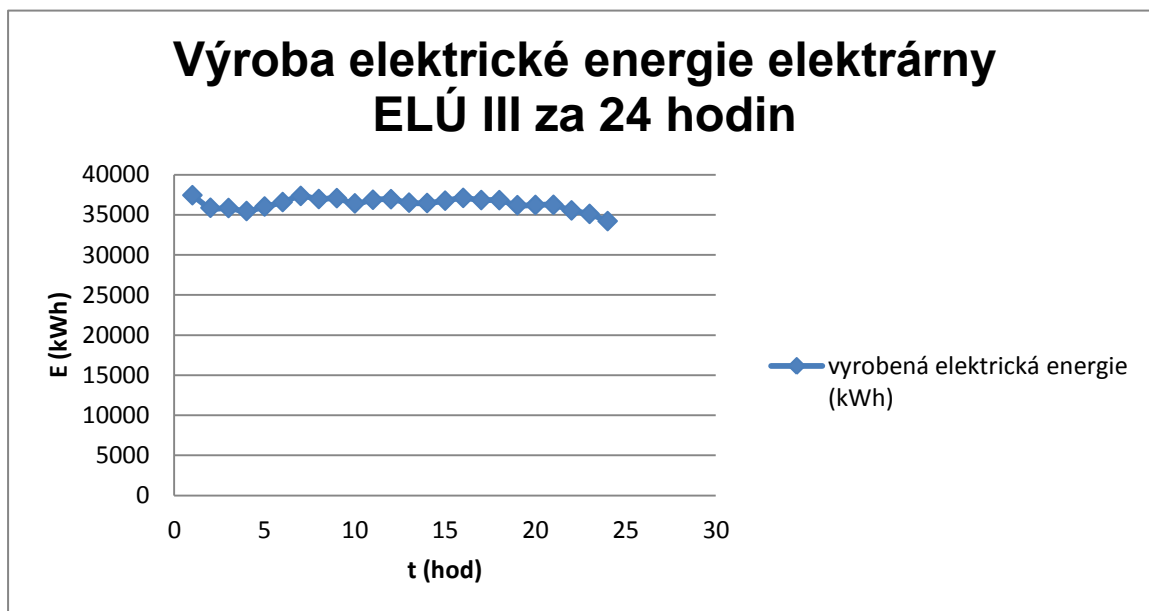
a) Bez poskytování podpůrných služeb v oblasti primární a výkonové regulace elektrické sítě

Elektrárna ELÚ III v případě, že neposkytuje podpůrné služby v oblasti regulace sítě, dodává z generátorů do elektrické sítě elektrický výkon 37 MW. Vyrobená elektrická energie v elektrárně je pak rovná 37 MWh.

Průběh výroby elektrické energie v elektrárně ELÚ III ve sledovaném období a v časovém úseku 24 hodin byl v kWh hodnotách. (viz tab. 8, graf 1)

Výroba elektrické energie elektrárny ELÚ III												
Čas t (hod)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Energie E (kWh)	37440	35872,5	35842,5	35467,5	36030	36585	37350	36960	37072,5	36420	36870	36945
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	36510	36465	36757,5	37102,5	36832,5	36825	36195	36225	36240	35542,5	35107,5	34207,5

Tabulka 8



graf 1

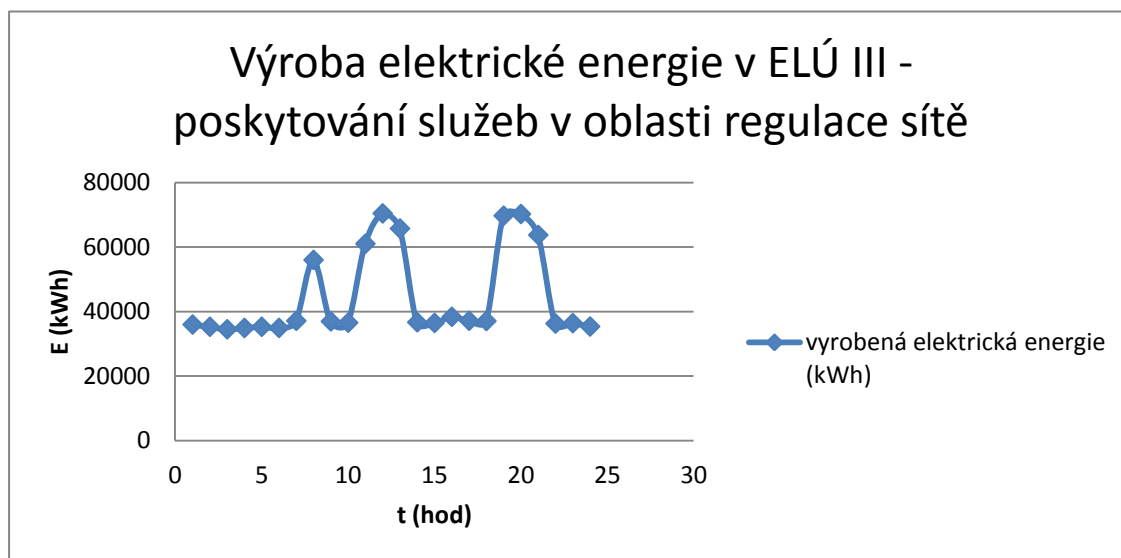
b) S poskytováním podpůrných služeb v oblasti primární a výkonové regulace elektrické sítě.

S poskytováním podpůrných služeb se výkon generátorů mění v závislosti na požadavcích nadřazeného dispečinku.

Průběh výroby elektrické energie v elektrárně ELÚ III ve sledovaném období a v časovém úseku 24 hodin se operativně změnil a výroba elektrické energie v kWh hodnotách byla viz tab. 9, graf 2.

Výroba elektrické energie v ELÚ III - poskytování služeb v oblasti regulace sítě												
Čas t (hod)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Energie E (kWh)	35917,5	35212,5	34440	34852,5	35212,5	34867,5	37065	55942,5	36885	36472,5	60975	70380
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	65700	36615	36412,5	38310	37080	37005	69667,5	70200	63682,5	36210	36352,5	35287,5

Tabulka 9



graf 2

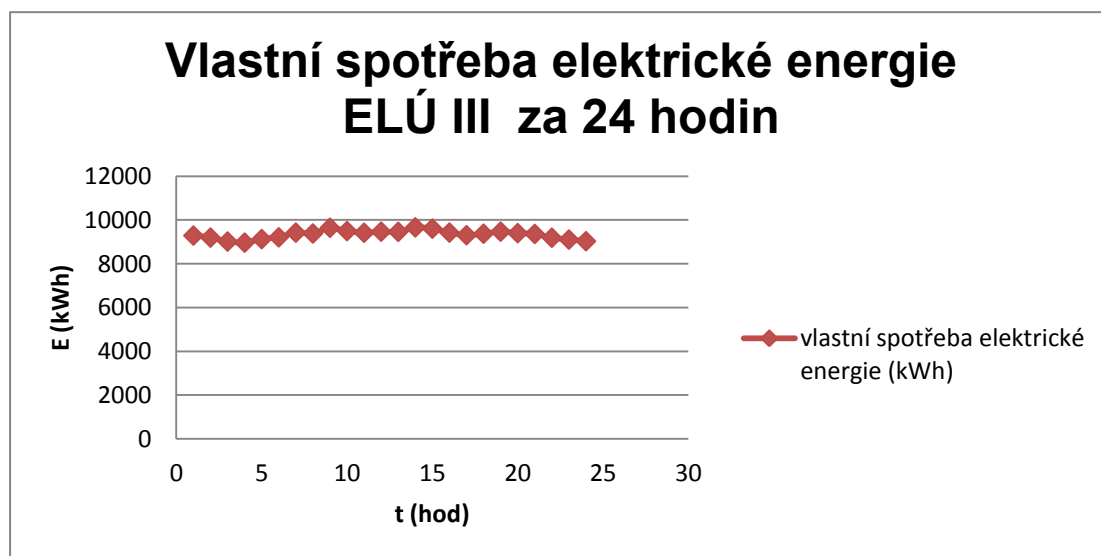
1.3 Vlastní spotřeba elektrárny ELÚ III

- a) Průběh odběru elektrické energie pro vlastní spotřebu elektrárny ELÚ III při výrobě elektrické energie bez poskytování podpůrných služeb regulace elektrické sítě viz tab. 10, graf 3.

Uvedená vlastní spotřeba navazuje na časový průběh výroby uvedený v tab. 10, graf 3.

Vlastní spotřeba elektrické energie ELÚ III												
Čas t (hod)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Energie E (kWh)	9290	9197,5	9017,5	8967,5	9130	9210	9425	9385	9647,5	9495	9420	9470
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	9460	9665	9607,5	9427,5	9307,5	9375	9470	9400	9365	9192,5	9107,5	9032,5

Tabulka 10



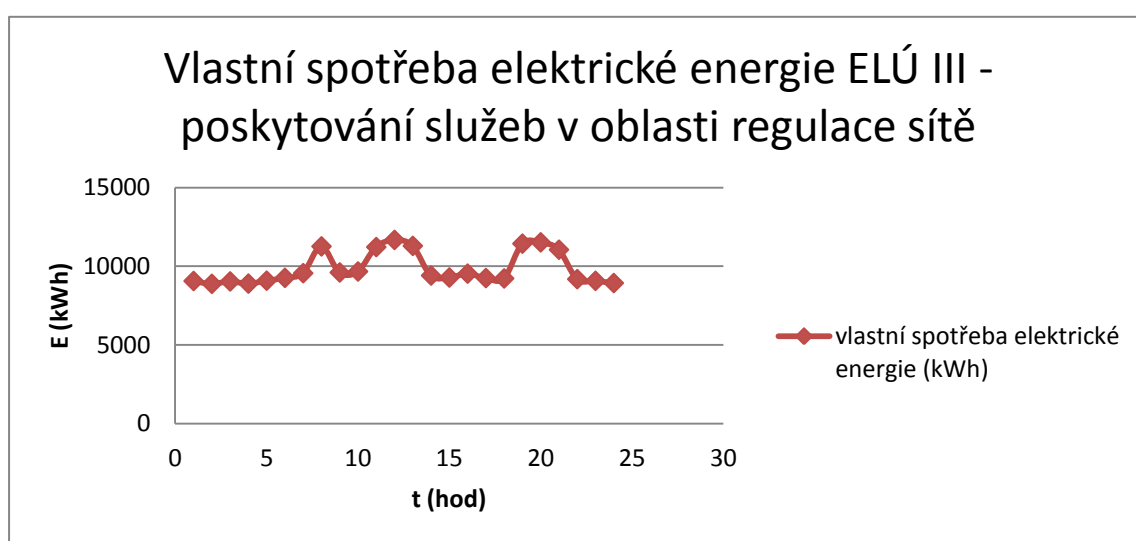
Graf 3

- b) Průběh odběru elektrické energie pro vlastní spotřebu elektrárny ELÚ III při výrobě elektrické energie s poskytováním podpůrných služeb regulace elektrické sítě viz tab. 11, graf 4.

Uvedená vlastní spotřeba navazuje na časový průběh výroby uvedený v tab. 11, graf 4.

Vlastní spotřeba elektrické energie ELÚ III - poskytování služeb v oblasti regulace sítě												
Čas t (hod)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Energie E (kWh)	9067,5	8887,5	9040	8902,5	9087,5	9267,5	9565	11267,5	9610	9672,5	11225	11680
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	11300	9415	9287,5	9535	9255	9230	11442,5	11525	11057,5	9185	9077,5	8937,5

Tabulka 11



Graf 4

2. Popis současného stavu a zapojení vlastní spotřeby elektrárny ELÚ III

Elektrická zařízení provozovaná v rámci vlastní spotřeby elektrárny ELÚ III jsou napájena z rozveden na napěťové hladině 6kV (přes rozvodny s místním značením R3A, R5A,B, R3B, R6, R3C), a z rozveden na napěťové hladině 3kV (R10C, R11). Rozvodny vlastní spotřeby na stejných napěťových hladinách jsou navzájem mezi sebou propojeny.

Z rozvodny R3A jsou napájena zařízení s odběrem elektrické energie. (viz tab. 12)

Zařízení	Výkon (kW)	Proud (A)	Číslo kobky	Napětí (V)
Chladicí čerpadlo VC 10	200	24.3	7	6000
Chladicí čerpadlo VC 20	200	24.3	8	6000
Napáječka N1	1600	185	10	6000
Napáječka N2	1600	185	1	6000

Tabulka 12

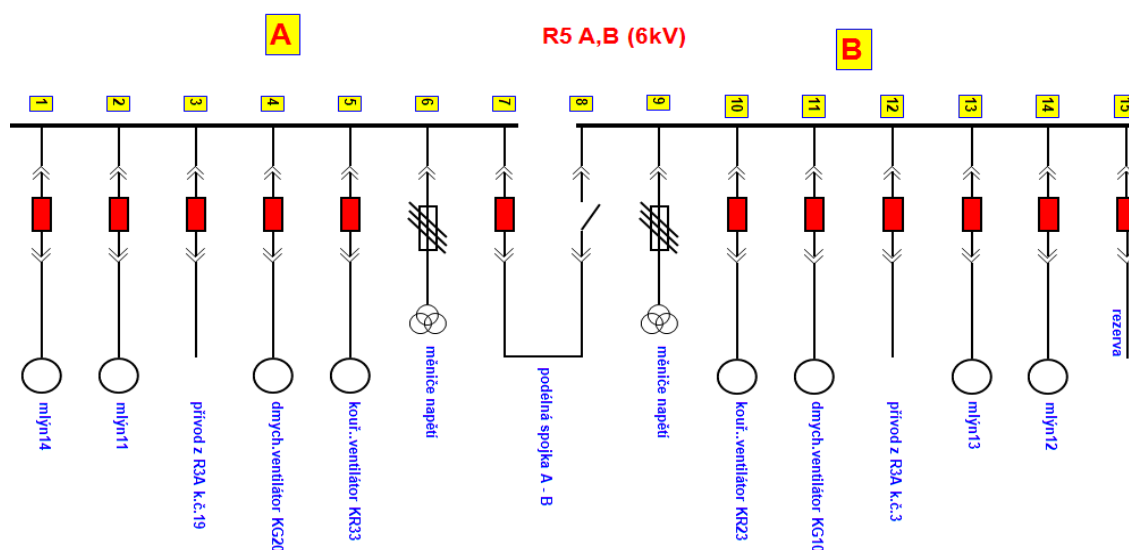
Chladicí čerpadla VC 10, VC20 slouží k chlazení kondenzátoru u turbogenerátoru s označením TG8.

Napáječky N1, N2 napájí kotel K₁ napájecí vodou.

Z rozvodny R3A je ještě možno napájet elektrické zařízení vodárny v Radčicích.

2.2 Rozvodna R5 A, B

Rozvodna R5A,B je napájena pomocí dvou kabelových propojek z rozvodny R3A. Rozvodna R5 se skládá ze dvou částí A, B, které je možné spojit pomocí podélné spojky. Rozvodna R5 má jednoduchý systém přípojníc. (viz obrázek 2)



Obrázek 2 Schéma převzato z provozního předpisu elektrárny ELÚ III

Z rozvodny R5A,B jsou napájena zařízení s odběrem elektrické energie pro parní kotel s označením K_1 (viz tab.13)

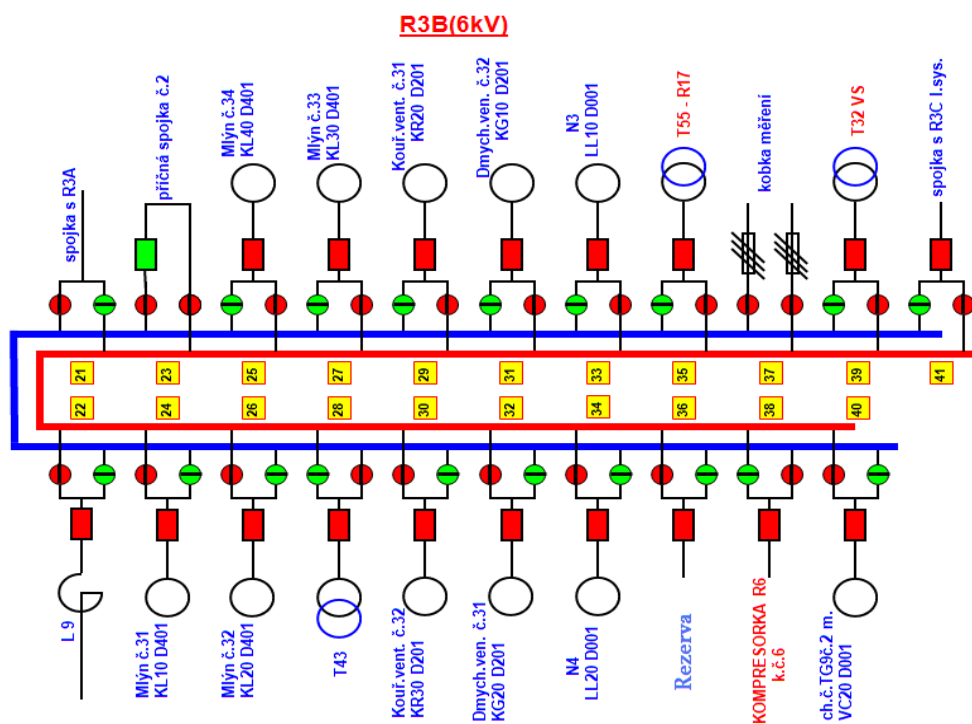
Zařízení	Výkon (kW)	Proud (A)	Číslo kobky	Napětí (V)
Mlýn 11	320	41.5	2	6000
Mlýn 12	320	41.5	14	6000
Mlýn 13	320	41.5	13	6000
Mlýn 14	320	41.5	1	6000
Dmychadlový ventilátor DV11	250	31.3	11	6000
Dmychadlový ventilátor DV12	250	31.3	4	6000
Kouřový ventilátor KR33	320	41.5	5	6000
Kouřový ventilátor KR23	320	41.5	10	6000

Tabulka 13

2.3 Rozvodna R3B

Rozvodna R3B má dvojitý systém přípojníc a je ji možné dle způsobu provozu zařízení napájet z odbočky za generátorem TG9, a prostřednictvím transformátoru T43. Napájení z odbočky za generátorem je vedeno přes reaktor L9 z důvodu omezení zkratových proudů v případě vzniku poruchy. Transformátor T43 má výkon 10 000 kVA a transformuje napětí z 22kV na napětí 6kV. Rozvodna je propojena kabelovými propojkami s rozvodnami R3A, R3C, R6.

(viz obrázek 3)



Obrázek 3 Schéma převzato z provozního předpisu elektrárny ELÚ III

Z rozvodny R3B jsou napájena zařízení s odběrem elektrické energie pro kotel s označením K_3 a turbogenerátor TG9. (viz tab. 14)

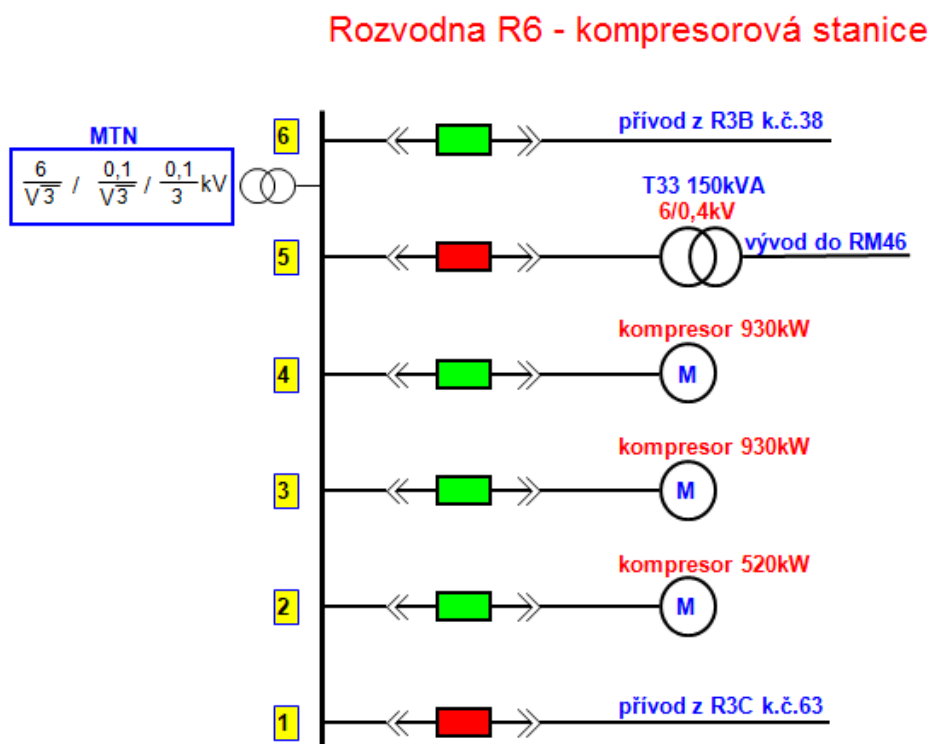
Zařízení	Výkon (kW)	Proud (A)	Číslo kobky	Napětí (V)
Napaječka N3	1250	147	33	6000
Napaječka N4	1250	147	34	6000
Chladicí čerpadlo VC20	200	24.6	40	6000
Mlýn 31	400	47.8	24	6000
Mlýn 32	400	47.8	26	6000
Mlýn 33	400	47.8	27	6000
Mlýn 34	400	47.8	25	6000
Kouřový ventilátor KV31, KV32	250	34.5	29,30	6000
Dmýchadlový ventilátor DV31, DV32	400	47.67	32,31	6000

Tabulka 14

Z kobky číslo 35 je vývod pro transformátor T55 o výkonu 1600kVA, který transformuje napětí z 6kV na napětí 0.4kV pro napájení rozvaděče R17 na hladině napětí 0.4kV. Z kobky číslo 39 je vývod pro transformátor T32 o výkonu 1600kVA, který transformuje napětí z 6kV na napětí 0.4kV pro napájení výměňkové stanice.

2.4 Rozvodna R6

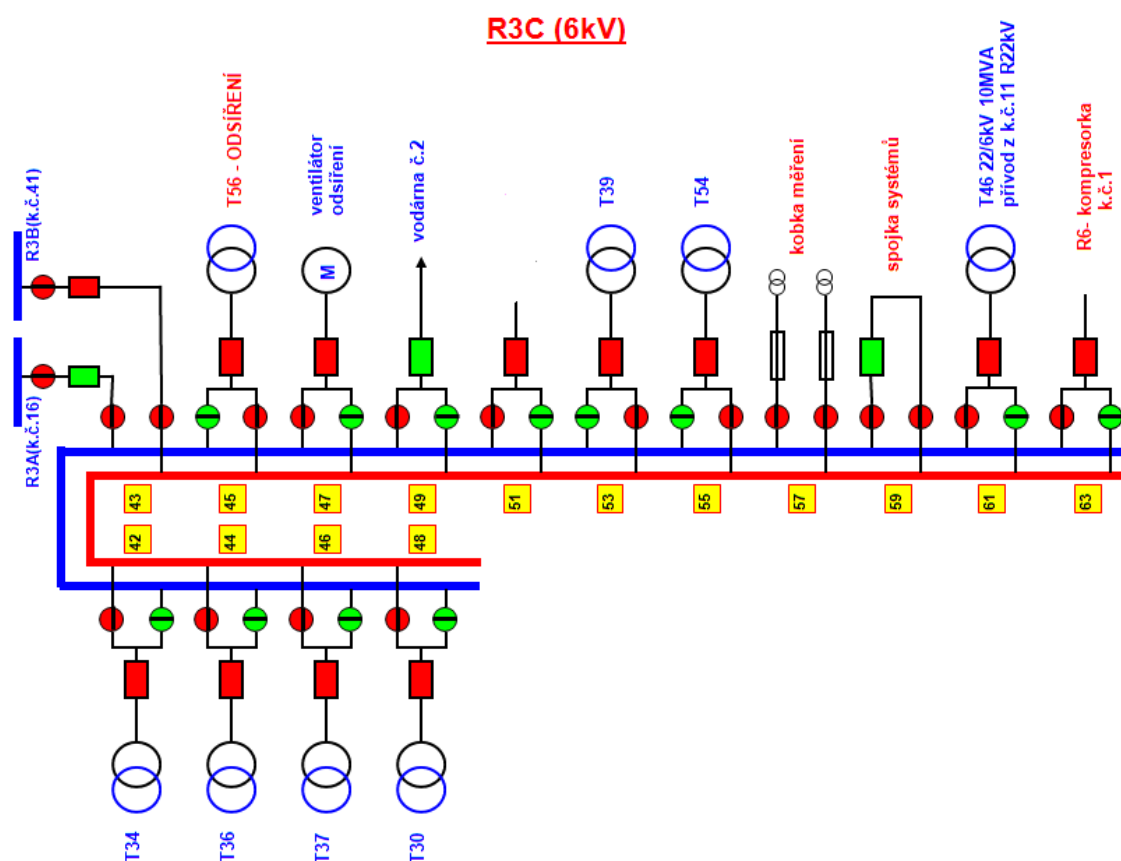
Rozvodna R6 je napájena pomocí dvou kabelových propojek z rozveden R3B a R3C a má jednoduchý systém přípojnic. Rozvodna R6 slouží k napájení tří vzduchových kompresorů v kompresorové stanici. Kompresor K_1 má výkon 520kW a je napájen z kobky číslo 2, kompresory K_2 , K_3 mají výkon 930kW a jsou napájeny z kobek číslo 3,4. (viz obrázek 4)



Obrázek 4 Schéma převzato z provozního předpisu elektrárny ELÚ III

2.5 Rozvodna R3C

Rozvodna R3C má dvojitý systém přípojnic a je napájena kabelovými propojkami ze dvou rozveden R3A, R3B a prostřednictvím transformátoru T46. Transformátor T46 má výkon 10 000 kVA a transformuje napětí z 22kV na napětí 6kV. Rozvodna je propojena kabelovým propojem s rozvodnou R6 na hladině 6kV. (viz obrázek 5)



Obrázek 5 Schéma převzato z provozního předpisu elektrárny ELÚ III

Z rozvodny R3C je z kobky číslo 47 napájen na hladině napětí 6kV ventilátor odsíření o výkonu 750kW a z kobky číslo 49 je napájena vodárna v Radčicích.

Transformátory T30, T34, T36, T37, T39, T54 slouží k transformaci napětí z 6kV na hladinu nízkého napětí 0.4kV.

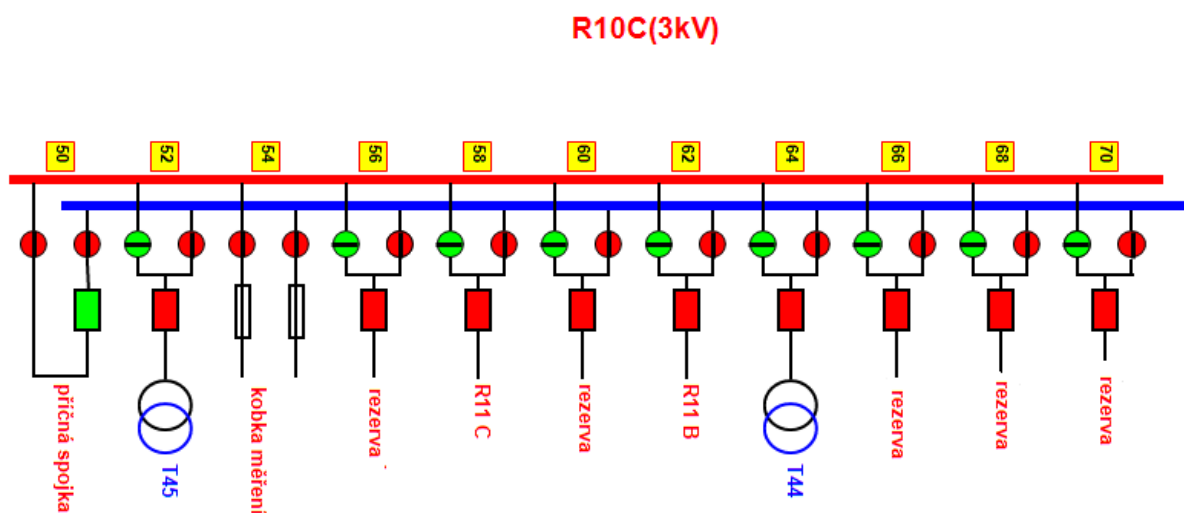
Transformátor T30 o výkonu 1000kVA slouží k napájení osvětlení celé elektrárny ELÚ III.

Transformátor T34 o výkonu 1000kVA slouží k napájení zařízení olejového kotle s označením K₅.

Transformátory T36, T37 o výkonech 1000kVA slouží k napájení zařízení velínu a k napájení nabíječek, které dobíjejí akumulátory na hladině napětí 220V stejnosměrných. Transformátor T39 o výkonu 1000kVA složí k záložnímu napájení motorgenerátorů. Transformátor T54 o výkonu 1600kVA slouží k záložnímu napájení blokových rozveden.

2.6 Rozvodna R10C

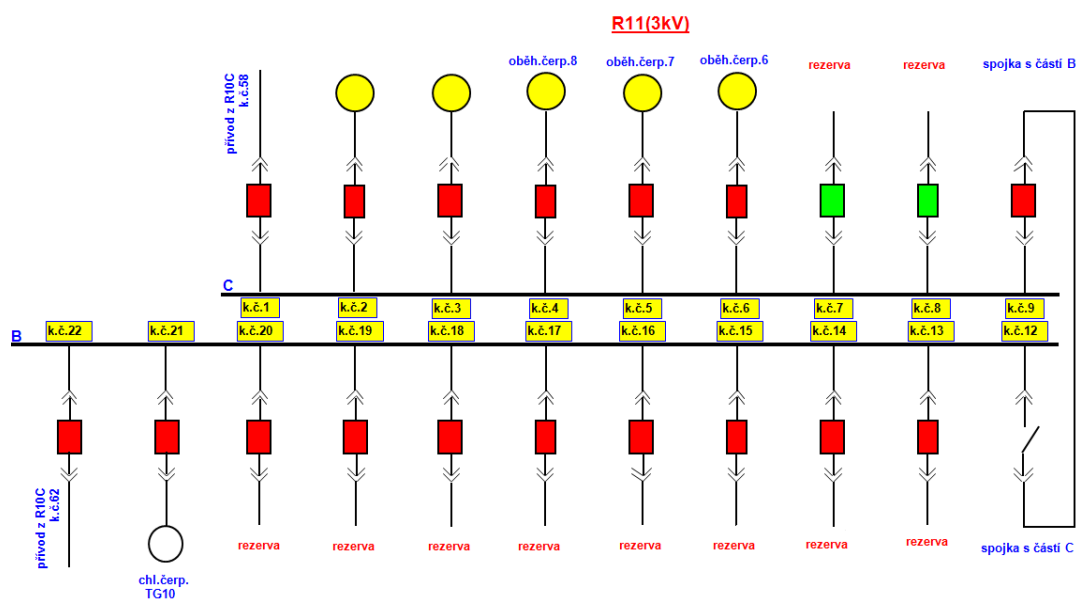
Rozvodna R10C má dvojitý systém přípojníc a je napájena prostřednictvím transformátorů T44, T45. Transformátory T44, T45 mají výkon 5000 kVA a transformují napětí z 22kV na napětí 3kV. Rozvodna R10C je propojena dvěma kabelovými propojkami s rozvodnou R11. (viz obrázek 6)



Obrázek 6 Schéma převzato z provozního předpisu elektrárny ELÚ III

2.7 Rozvodna R11

V rozvodně R10C z kobek číslo 58, 62 je pomocí kabelových propojek připojena rozvodna R11. Rozvodna R11 má jednoduchý systém přípojnic a skládá se ze dvou částí B, C, které je možné spojit pomocí podélné spojky přípojnic. (viz obrázek 7)



Obrázek 7 Schéma převzato z provozního předpisu elektrárny ELÚ III

Z rozvodny R11 jsou napájena zařízení s odběrem elektrické energie. (viz tab.15)

Zařízení	Výkon (kW)	Proud (A)	Číslo kobky	Napětí (V)
Oběhové čerpadlo 6	130	30.3	6	3000
Oběhové čerpadlo 7	130	30.3	5	3000
Oběhové čerpadlo 8	130	30.3	4	3000
Chladicí čerpadlo	370	92	21	3000

Tabulka 15

Chladicí čerpadlo slouží k chlazení kondenzátoru u turbogenerátoru s označením TG10.

3. Návrh možnosti úspor a větší efektivity ve vlastní spotřebě

Studie o možnostech optimalizace vlastní spotřeby elektrické energie vychází z údajů o provozu elektrárenského zařízení ELÚ III, které je ovlivňováno provozními požadavky na výrobu páry, ale hlavně požadavky na výrobu elektrické energie. Vzhledem k tomu, že elektrárna ELÚ III poskytuje podpůrné služby v oblasti primární a výkonové regulace elektrické sítě, je výroba elektrické energie řízena podle požadavků dispečinku distribuční sítě.

Požadovaná výroba elektrické energie má vliv na výrobu páry v parních kotlích. V současné době jsou požadavky dispečinku na výrobu elektrického výkonu v elektrárně ELÚ III na hodnotách, které se přibližně rovnají polovičnímu elektrickému výkonu této tepelné elektrárny, který by mohla poskytovat při plném využití provozní kapacity. Se snižující se potřebou vyrábět elektrickou energii se snižuje i množství vyrobené páry v parních kotlích. S nižším množstvím vyrobené páry v parních kotlích souvisí i nižší využívání některých zařízení, které zajišťují provoz parních kotlů. Mezi zařízení nezbytná pro provoz parních kotlů patří napájecí čerpadla kotle, které dopravují vodu do parních kotlů, mlýny, které zajišťují rozdrnění paliva na jemný prášek, který je poté dopravován do topeniště parních kotlů, vzduchové ventilátory, které mají za úkol dostatečně zásobovat parní kotle vzduchem a spalínové ventilátory, které zajišťují proudění spalin ze spalovací komory přes odsiřovací zařízení do komína.

Z důvodu, že tepelná elektrárna ELÚ III je využívána pouze na elektrických výkonech, které se blíží polovičnímu elektrickému výkonu elektrárny, je vhodné provoz některých zařízení souvisejících s výrobou elektrické energie optimalizovat.

Možnost optimalizace se bude zaměřovat na zařízení, která jsou součástí parních kotlů a představují velký podíl ve vlastní spotřebě elektrické energie pro tepelnou elektrárnu. Studie o možnostech optimalizace tepelné elektrárny ELÚ III se bude zabývat možností regulace provozu dvojice kouřových ventilátorů u kotle K_3 .

V první části se studie o optimalizaci vlastní spotřeby elektrárny zaměří na možnost vypnutí jednoho kouřového ventilátoru u kotle K_3 a na podmínky provozu kotlů, které by byly s vypnutím kouřového ventilátoru spojeny.

V druhé části studie o optimalizaci vlastní spotřeby tepelné elektrárny ELÚ III bude navržena možnost náhrady stávajících pohonů kouřových ventilátorů kotle K_3 motory, které budou řízeny pomocí frekvenčních měničů.

3.1 Provoz parního kotle

Parní kotel K_3 je určen ke spalování méněhodnotného sokolovského uhlí. Spalovací komora je třítahová ve tvaru U. Sálavé topeniště obdélníkového průřezu tvoří první tah. Přední stěna spalovací komory a zadní stěna druhého tahu vytváří ve spodní části spalovací komory granulační a škvárovou výsypku. Výparník kotle je s přirozenou cirkulací a má jedno kotlové těleso s vestavbami pro odlučování vody ze syté páry. Z kotlového bubnu je vyveden zavodňovací systém, pro zavodnění spodních komor výparníku kotle. Hořáky na uhelný prášek jsou umístěny pod stropem spalovací komory. Kotel má čtyři hořáky. Hořáky jsou nasměrovány do středu spalovací komory. Uhelný prášek je z každého mlýna zaveden do všech čtyř hořáků. U každého práškového hořáku je umístěn jeden kombinovaný olejoplynový hořák. Olejoplynové hořáky slouží k zapalování a stabilizaci uhelného prášku při najíždění kotle, nízkých výkonech kotle nebo při odstavování kotle.

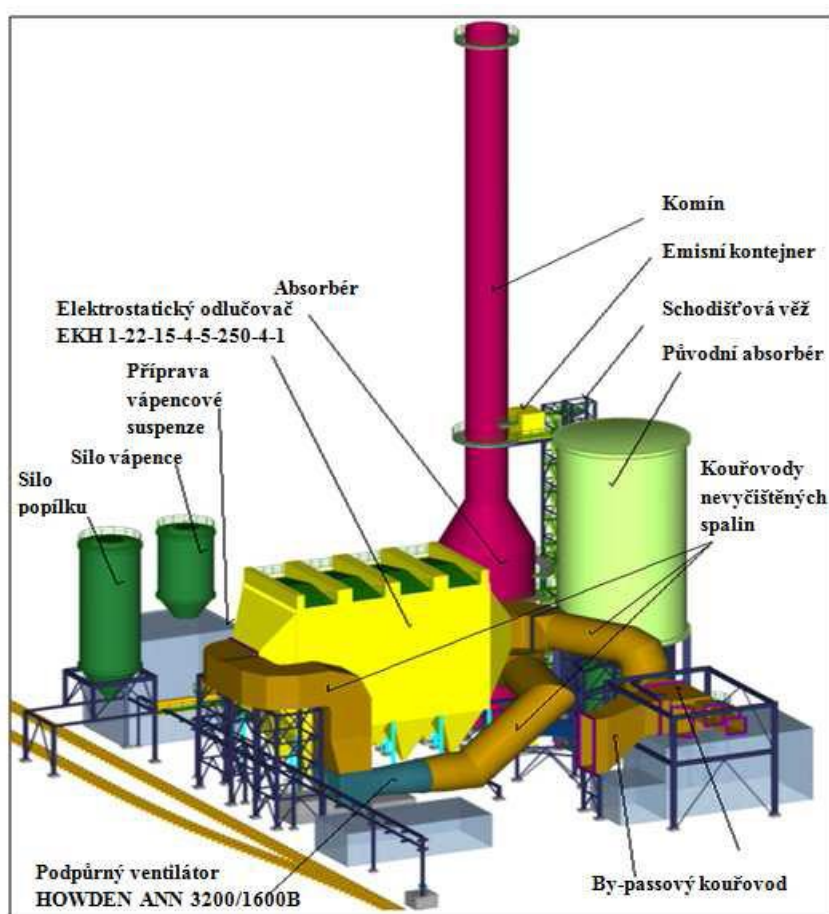
Spaliny proudí ve spodní části spalovací komory do druhého tahu. Prostor mezi komorou a druhým tahem je volný. Přední stěna druhého tahu, která současně tvoří i zadní stěnu spalovací komory, a boční stěny druhého tahu jsou zapojeny do systému výparníku. Zadní stěna druhého tahu a zadní skloněná plocha škvárové výsypky je vytvořena vstupním sálavým stěnovým přehřívákem. Strop druhého tahu je zapojen do systému přehříváku. Spaliny prochází do vodorovného tahu přehřívákovou mříží, která je součástí zadní stěny druhého tahu. Z vodorovného tahu prochází spaliny další přehřívákovou mříží do třetího tahu kotle. Ve třetím tahu je umístěn jeden svazek ležatého přehříváku a jeden svazek ohříváku vody.

Teplota přehřáté páry je regulována vstříkem napájecí vody, která je odebírána z napájecího potrubí.

Ze třetího tahu kotle vstupují spaliny ocelovým potrubím do regenerativního ohříváku vzduchu Ljungström. Z regenerativního ohříváku Ljungström se spaliny rozdělují do dvou větví, každá větev je osazena elektroodlučovačem a kouřovým ventilátorem. Výtlačná potrubí od obou kouřových ventilátorů jsou spojena do kouřového kanálu. Spaliny poté pokračují přes odsiřovací zařízení do komína. [1]

Odsiřovací zařízení elektrárny ELÚ III (celkový pohled obrázek 8) je instalováno za dvěma parními kotli K_1 , K_3 spalujícími hnědé uhlí.

Odebírané uhlí ze společnosti Sokolovská uhelná, a.s, má obsah síry maximálně 1.1%. Odsiřovací zařízení je založeno na absorpčním procesu mokrého vápence. Charakteristickým znakem odsiřovacího zařízení, je poměrně dlouho trávající kontakt mezi znečišťujícím plynem a reakční látkou. Při tomto procesu je odstraněn oxid siřičitý (SO_2), prach, HF, HCl z kouřových plynů. Výsledkem absorpčního procesu mokrého vápence je plnění emisního limitu čistého plynu SO_2 , jehož hodnota je $\leq 700 \text{ mg/Nm}^3$. Konečným produktem absorpčního procesu mokrého vápence jsou vyčištěné kouřové plyny a sádrovcový kal. [2]



Obrázek 8

Spalovací vzduch se nasává dvěma vzduchovými ventilátory z prostoru kotelny a z vnějšího ovzduší. Kotel je vybaven čtyřmi mlýnicemi s tlukadlovými mlýny. Nosným prvkem uhlénoho prášku je ohřátý vzduch, který dopravuje prášek do práškového hořáku. Jako zapalovací plyn pro uhlénoho prášek je použitý zemní plyn.[1]

Provozní údaje kotle K₃ (viz tab. 16)

Jmenovitý výkon kotle (hmotnostní průtok páry)	150 t/h (41,67 kg/s)
Hospodárný výkon kotle (hmotnostní průtok páry)	120 t/h (33,33 kg/s)
Minimální výkon kotle bez stabilizace hoření (hmotnostní průtok páry)	90 t/h (25 kg/s)
Minimální výkon kotle se stabilizací (hmotnostní průtok páry)	75 t/h (20,83 kg/s)
Jmenovitý tlak přehřáté páry	9,41 MPa
Jmenovitá teplota přehřáté páry	540±8°C
Účinnost kotle při výkonu kotle	85,5 %
	86%
1. Jmenovitým	
2. Hospodárným	

Tabulka 16

3.2 Kouřové ventilátory

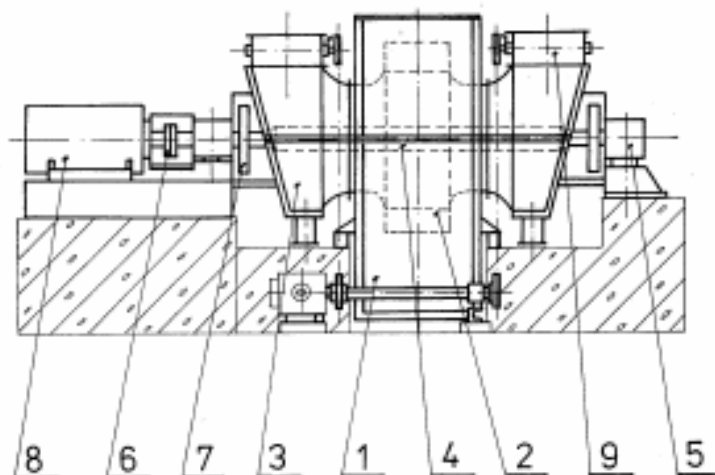
Na elektrárně ELÚ III jsou jako kouřové ventilátory použity radiální ventilátory typu RVI/2 - 2000. Ventilátory RVI/2 jsou radiální vysokotlaké ventilátory oboustranně sací, pohání je motory na napětí 6kV přes pružnou spojku. Uvnitř ventilátoru je mezi dvěma ložisky uloženo oběžné kolo. Ložiska se chladí chladicími kotouči nasazenými na hřídel mezi sací komoru a ložisko.

Hřídel ventilátoru je uložen ve valivých ložiskách v dělených ložiskových skříních. Spirální skříň je svařovaná, v nejnižší poloze odvodněna. Ke spirální skříně jsou připojeny sací komory. Spirální skříň a sací komory jsou dělené.

Ventilátory jsou vyrobeny v pancéřovém provedení. Pancéřové provedení má zesílené oběžné kolo a spirální skříň je zesílena vyměnitelnou vložkou.

K ventilátorům je připojena regulační klapka, která je ovládaná servopohonem. Účelem regulační klapky je dosažení požadovaného stálého průtoku spalin nebo slouží k plynulému regulování průtoku spalin v provozních rozmezích. Podtlak spalin je snímán pomocí dvou snímačů, které jsou umístěny na levé a pravé straně spalovací komory. Při poklesu podtlaku spalin ve spalovací komoře pod zadanou hodnotu se pootevírají regulační klapky kouřových ventilátorů, při zvýšení podtlaku spalin ve spalovací komoře se regulační klapky přivírají.[3]

Provedení radiálního ventilátoru RVI/2-2000 (viz obrázek 9)



Obrázek 9

Hlavní části ventilátoru

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1. Spirální skříň | 6. Spojka |
| 2. Oběžné kolo | 7. Chladicí kotouč |
| 3. Sací komora | 8. Elektromotor |
| 4. Hřídel | 9. Regulační klapka |
| 5. Ložisková skříň | |

Označení radiálního ventilátoru RVI

Ventilátor RVI 2000/2 – 4P – L45° - 180° - PP 12 3322.2 – ATYP / 740

2000/2	velikost a výkon
4	číslo oběžného kola
P	pancéřové provedení
L45°	poloha spirální skříňe
180°	poloha sacích komor
PP 12 3222	číslo normy
2	chlazení ložisek (100 – 250°C) s chladicími kotouči
ATYP	osová výška motoru
740	otáčky ventilátoru (ot/min)

Technické parametry

Objemový průtok vzdušiny	$Q_V = 61 \text{ m}^3/\text{s}$
Celkový tlak ventilátoru	$\Delta p_{cv} = 3000 \text{ Pa}$
Hustota dopravované vzdušiny	$\rho = 0,74 \text{ kg/m}^3$
Teplota dopravované vzdušiny	$t_{\max} = 210^\circ\text{C}$
Příkon ventilátoru	$P_p = 275 \text{ kW}$
Celková hmotnost	$m = 16\,850 \text{ kg}$

3.3 Optimalizace provozu kouřových ventilátorů

Kotel s místním označením K₃ má dva kouřové radiální ventilátory RVI/2-2000. Tyto ventilátory zajišťují odtaž spalin ze spalovací komory do spalinového kanálu. Spaliny poté proudí přes odsiřovací jednotku do komína.

Regulace výkonu jednotlivých spalinových ventilátorů je provedena pomocí přivírání a otevírání regulačních klapek. Regulační klapka dostává řídicí signály z tlakových čidel, které jsou umístěny na stěnách spalovací komory. Tlaková čidla měří velikost podtlaku ve spalovací komoře. Při poklesu podtlaku spalin ve spalovací komoře pod zadanou hodnotu se pootevírají regulační klapky spalinových ventilátorů, naopak při vzrůstu podtlaku se tyto regulační klapky přivírají.

Z důvodu požadavků na snížení vlastní spotřeby elektrické energie v tepelné elektrárně ELÚ III bude provedena studie o možné optimalizaci provozu těchto radiálních kouřových ventilátorů. K provedení studie o optimalizaci provozu kouřových ventilátorů, bylo nutné získat údaje o současném provozu kouřových ventilátorů. Tyto údaje ukazuje přiložená tabulka. (viz tab. 17)

Kouřové ventilátory - údaje o provozu - v provozu dvojice ventilátorů															
proud kouřového ventilátoru - levý (A)	20	21	24	26	23	25	23	23	25	22	23	23	21	22	
proud kouřového ventilátoru - pravý (A)	20	21	24	26	23	25	23	23	25	22	23	23	21	22	
činný výkon TG10 (MW)	7	6	11	10	9	11	10	10	10	11	9	10	11	8	9
množství páry K3 (t)	80	85	109	118	101	115	105	103	113	96	104	99	105	85	96
podtlak ve spalovací komoře (Pa)	-131	-126	-103	-234	-249	-118	-228	-153	-157	-209	-134	-157	-135	-105	-130

Tabulka 17

Z naměřených údajů o provozu kouřových ventilátorů vyplývá, že oba ventilátory odebírají stejně velké proudy. Velikost odebíraných proudů ventilátory souvisí s množstvím vyráběné páry v kotli.

Výpočet zatížení kouřového ventilátoru:

I_N Jmenovitý proud kouřového ventilátoru (viz tab.14)

I_{20} Proud kouřového ventilátoru při množství páry 80 t (viz tab. 17)

$$z_{\%} = \frac{I_{20}}{I_N} \cdot 100 = \frac{20}{34.5} \cdot 100 = 57.97\%$$

Zatížení jednoho kouřového ventilátoru při výrobě páry 80 t je přibližně 58%. Druhý kouřový ventilátor je také zatížen na 58%.

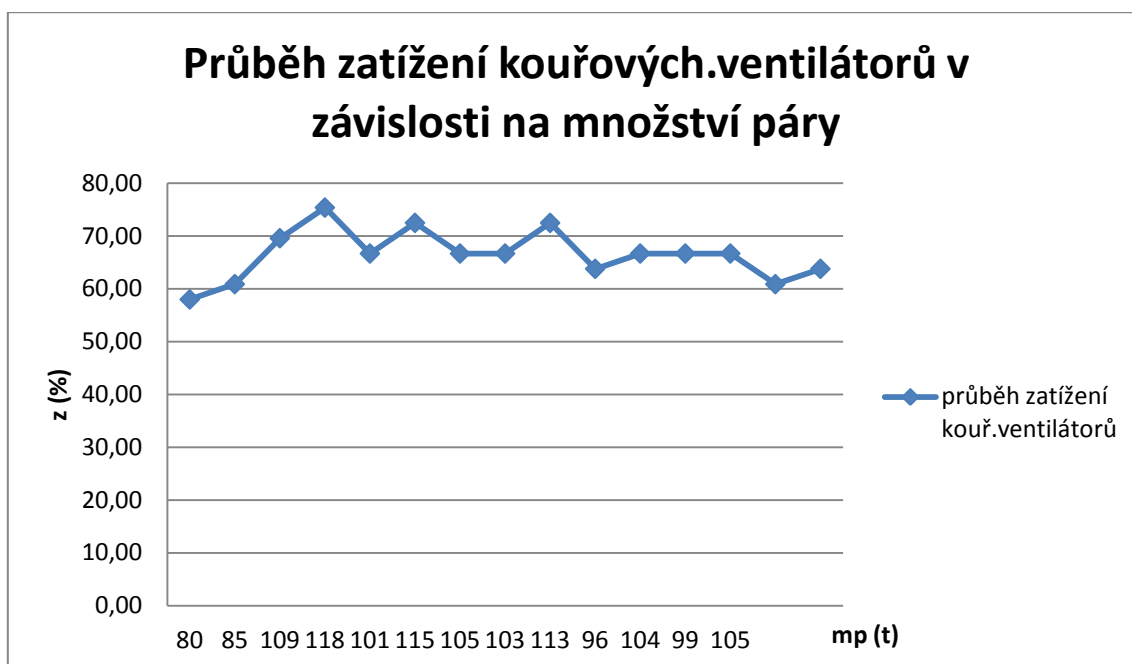
S rostoucí výrobou páry v parním kotli se zvyšují i proudy odebírané kouřovými ventilátory, protože je nutné udržování stálého podtlaku ve spalovací komoře. S rostoucími odebíranými proudy roste i zatížení obou kouřových ventilátorů.

Procentní zatížení kouřových ventilátorů (viz tab.18)

Zatížení kouřových ventilátorů													
Proud kouřového ventilátoru- levý (A)	20	21	24	26	23	25	23	23	25	22	23	23	23
Proud kouřového ventilátoru- pravý (A)	20	21	24	26	23	25	23	23	25	22	23	23	23
množství páry K3 (t)	80	85	109	118	101	115	105	103	113	96	104	99	105
Procentuální zatížení kouřových ventilátorů (%)	57,97	60,87	69,57	75,36	66,67	72,46	66,67	66,67	72,46	63,77	66,67	66,67	66,67

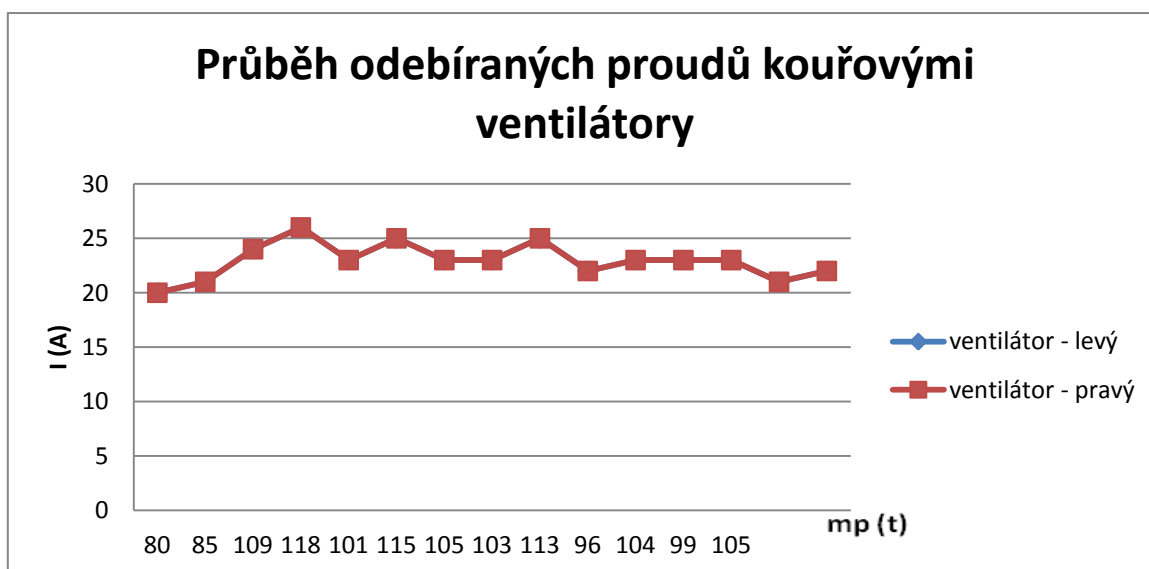
Tabulka 18

Průběh zatížení kouřových ventilátorů na množství vyrobené páry (viz graf 5)



Graf 5

Průběhy proudů, které odebírají kouřové ventilátory v závislosti na množství vyrobené páry (viz graf 6)



Graf 6

Z průběhu procentuálního zatížení kouřových ventilátorů (tab. 18, graf 5) je zřejmé, že kouřové ventilátory jsou využívány pouze na hodnotách kolem 66% z maximálních 100% a to v závislosti na množství vyrobené páry.

Možností ke snížení vlastní spotřeby elektrické energie elektrárny ELÚ III, je právě optimalizace provozu kouřových ventilátorů.

Z důvodu, že kouřové ventilátory jsou zatěžovány jen na 66%, nabízí se možnost jeden kouřový ventilátor vypnout a provozovat parní kotel pouze na jeden kouřový ventilátor. Toto řešení provozu jen s jedním ventilátorem by přineslo úsporu elektrické energie, a tím i snížení vlastní spotřeby elektrické energie elektrárny ELÚ III.



Kouřový ventilátor- pohled z levé strany



Kouřový ventilátor-pohled z pravé strany

Provoz parního kotle s jedním kouřovým ventilátorem

Tento provoz parního kotle pouze na jeden kouřový ventilátor byl zkušebně proveden před plánovanou odstávkou bloku K₃. Blok K₃ byl provozován s jedním kouřovým ventilátorem po dobu 2 hodin. Naměřené hodnoty bloku K₃ jsou získány z měření po dobu provozu kotle na jeden kouřový ventilátor.

Naměřené hodnoty z provozu jsou obsaženy v tabulce.(viz tab. 19)

Kouřový ventilátor - údaje o provozu													
Proud kouřového ventilátoru (A)	20	20	28	29	26	25	27	24	24	25	24	24	25
Činný výkon TG10 (MW)	7	8	7	8	8	8	8	7	8	8	8	9	8
Množství páry K3 (t)	73	72	72	96	73	64	79	70	70	76	73	73	76
Podtlak ve spalovací komoře (Pa)	-131	-125	-101	-62	-123	-98	-135	-103	-138	-110	-135	-103	-108
Typ provozu	V provozu oba ventilátory		Provoz pouze jednoho kouřového ventilátoru										

Tabulka 19

Po vypnutí jednoho kouřového ventilátoru z dvojice kouřových ventilátorů došlo k nárůstu proudu odebíraného provozovaným kouřovým ventilátorem. Proud odebíraný kouřovým ventilátorem dosáhl hodnoty až 29 A při množství páry 96 t. Při stabilní výrobě páry, která byla kolem 70 t, se hodnota proudu ustálila na 24 A.

Výpočet procentuálního zatížení jednotlivého kouřového ventilátoru před vypnutím druhého kouřového ventilátoru:

$$z_{\%} = \frac{I_{20}}{I_N} \cdot 100 = \frac{20}{34.5} \cdot 100 = 57.97\% - \text{množství páry } 72 \text{ t}$$

Výpočet procentuálního zatížení kouřového ventilátoru při samostatném provozu

$$z_{\%} = \frac{I_{28}}{I_N} \cdot 100 = \frac{28}{34.5} \cdot 100 = 81.16\% - \text{množství páry } 72 \text{ t}$$

$$z_{\%} = \frac{I_{29}}{I_N} \cdot 100 = \frac{29}{34.5} \cdot 100 = 84.06\% - \text{množství páry } 96 \text{ t}$$

$$z_{\%} = \frac{I_{26}}{I_N} \cdot 100 = \frac{24}{34.5} \cdot 100 = 69.57\% - \text{množství páry } 70 \text{ t}$$

Z výpočtu procentuálního zatížení kouřových ventilátorů je patrné, že před vypnutím byla dvojice kouřových ventilátorů zatížena na 58% při množství páry 72 t. Po vypnutí jednoho kouřového ventilátoru z dvojice kouřových ventilátorů, se zatížení jednoho kouřového ventilátoru zvýšilo na hodnotu 81 % při stejném množství vyráběné páry. Při zvýšení množství vyráběné páry na 96 t, zatížení ventilátoru dosáhlo hodnoty 84 %, tato hodnota se již přiblížila maximálně provozně nastavenému dovolenému zatížení kouřového ventilátoru. V případě dalšího zvýšení výroby páry by došlo k překročení

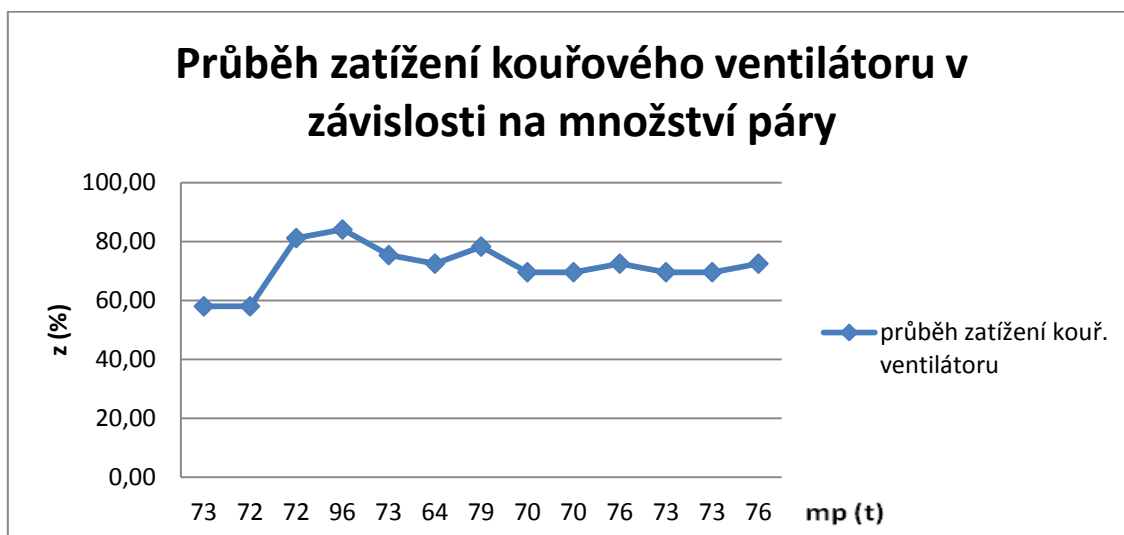
provozně nastavených hodnot pro kouřový ventilátor a následnému odstavení parního kotle jeho zabezpečovacím zařízením.

Procentuální zatížení kouřového ventilátoru (viz tab. 20)

Zatížení kouřového ventilátoru													
Proud kouřového ventilátoru (A)	20	20	28	29	26	25	27	24	24	25	24	24	25
Množství páry K3 (t)	73	72	72	96	73	64	79	70	70	76	73	73	76
Procentuální zatížení kouřového ventilátoru (%)	57,97	57,97	81,16	84,06	75,36	72,46	78,26	69,57	69,57	72,46	69,57	69,57	72,46

Tabulka 20

Průběh zatížení kouřového ventilátoru na množství vyrobené páry (viz graf 7)



Graf 7

Z průběhů procentuálního zatížení a naměřených proudů odebíraných kouřovým ventilátorem při samostatném provozu vyplývá, že parní kotel může jet pouze na jeden kouřový ventilátor, ale s určitými provozními omezeními. Při provozu jednoho kouřového ventilátoru nesmí množství vyráběné páry překročit 95 t. V případě překročení této hodnoty, by došlo k nouzovému odstavení kotle jeho provozně zabezpečovacím zařízením. Optimální množství páry, při kterém je provoz parního kotle na jeden kouřový ventilátor provozně bezpečné, je 75 t vzhledem k velikosti odebíraného proudu kouřového ventilátoru.

Kotel K_3 při normálním provozu (elektrárna neposkytuje podpůrné služby v oblasti regulace frekvence a výkonové regulace) vyrábí kolem 100 t páry za hodinu. V případě, že tento kotel K_3 bude provozován na jeden kouřový ventilátor, výrobu páry by bylo nutno snížit na 75 t páry za hodinu, vzniklý malý parní deficit by musel nahradit kotel K_1 .

3.4 Možnost náhrady stávajících pohonů kouřových ventilátorů motory, která budou řízeny pomocí frekvenčních měničů

Studie o optimalizaci vlastní spotřeby tepelné elektrárny ELÚ III se nyní bude zabývat návrhem možnosti náhrady stávajících pohonů kouřových ventilátorů motory, které budou řízeny pomocí frekvenčních měničů.

Studie bude zaměřena na výměnu motorů na hladině 6kV motory, které budou mít možnost regulace frekvenčními měniči, tyto motory již budou napájeny z hladiny napětí 400V.

Studie se nebude zabývat stavebními úpravami, které bude nutné vykonat v případě výměny motorů ani dimenzováním napájecího rozvaděče 400V.

Měniče kmitočtu

Při řízení střídavých pohonů se většinou používají měniče kmitočtu. Měniče kmitočtu mění jednofázový nebo trojfázový proud určitého napětí a kmitočtu na jiný jednofázový nebo trojfázový proud jiného napětí a kmitočtu a umožňují řídit otáčky elektromotoru s točivým polem. [4]

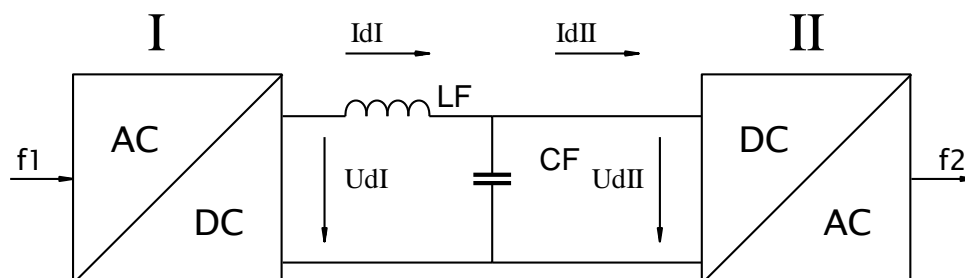
Ve studii o optimalizaci provozu kouřových ventilátorů, budou stávající motory kouřových ventilátorů nahrazeny motory s frekvenčními měniči. Navrženým typem frekvenčního měniče, který se bude uplatňovat při řízení motoru kouřového ventilátoru, bude typ nepřímého měniče kmitočtu.

Nepřímé měniče kmitočtu

Nepřímý měnič kmitočtu je složen z usměrňovače, který vstupní střídavé napětí a proud usměrní, a ze střídače, který usměrněné napětí a proud rozstřídá na požadovaný kmitočet. Stejnoseměrný meziobvod od sebe odděluje oba střídavé obvody. Toto řešení umožňuje řízení výstupního kmitočtu nezávisle na kmitočtu vstupním.

Výkony nepřímých měničů kmitočtu jsou až stovky kW. Normální rozsah výstupních kmitočtů je od 0 Hz až do stovek Hz.

Základní uspořádání měniče je znázorněno na obrázku 10. Skládá se z usměrňovače a z napěťového střídače.



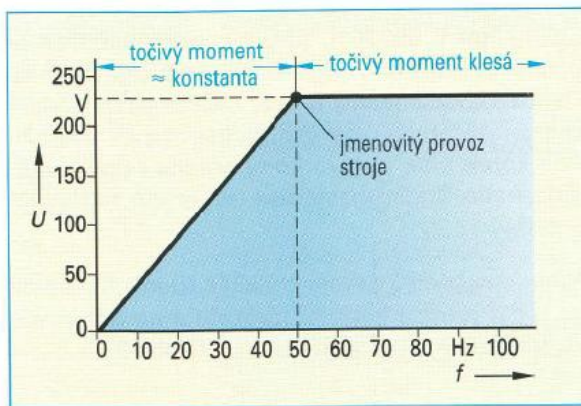
Obrázek 10 [5]

Stejnoseměrný meziobvod obsahuje filtrační kondenzátor C_F s poměrně velkou kapacitou (až jednotky tisíc μF). To také určuje, že stejnosměrný obvod se vzhledem k střídači chová jako zdroj napětí. Tlumivka L_F vyhlazuje proud z usměrňovače.

Střídač je napěťový jednofázový nebo třífázový. Normální provedení je s vlastní komutací.

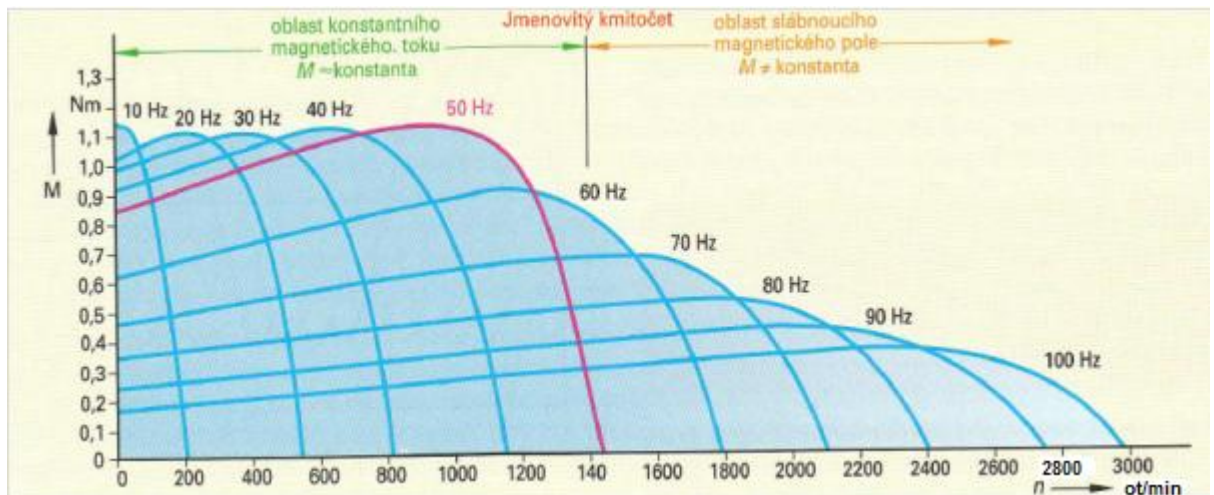
Usměrňovač může být ve spojení uzlovém nebo můstkovém, jednofázový nebo třífázový. Nejčastěji je používán trojfázový můstek. V nejjednodušším případě je použit diodový můstek. Nejdokonalejší variantou je měnič využívající pulzní napěťový usměrňovač. Tento usměrňovač umožňuje vracet rekuperovanou energii zpátky do sítě a pracuje s maximálním možným účinníkem. Proud odebíraný ze sítě je harmonický a ve fázi s napětím. [5]

Dochází – li ke změnám kmitočtu napětí na asynchronním motoru, který má jako náhradní zapojení sériový RL obvod, mění se také celková impedance Z . Proto je při každém kmitočtu jiný proud a tím jiný točivý moment. K udržení konstantního točivého momentu je u měničů kmitočtu požadována pevně definovaná závislost mezi napětím a kmitočtem. Tato stanovená charakteristika se nazývá U/f přizpůsobení. (obr. 11) [4]



Obrázek 11 Charakteristika U/f měniče kmitočtu [4]

Většina nepřímých měničů kmitočtu umožňuje provoz do dvojnásobku síťového kmitočtu. Z charakteristik motoru (obr. 12) je patrné, že by na svorky motoru muselo být připojeno alespoň dvojnásobné napětí sítě, aby se dosáhlo stejného točivého momentu v celém rozsahu od 0 Hz až f_{\max} .



Obrázek 12 Charakteristiky motoru s kmitočtově řízeným měničem [4]

Měnič kmitočtu může připojit na motor maximálně jmenovité napětí. Tím narůstá výstupní napětí jen do určitého kmitočtu. Při dalším zvyšování kmitočtu zůstává napětí konstantní. Motor je provozován až do jmenovitých otáček s konstantním točivým momentem. Při zvyšování otáček nad jmenovité pak točivý moment klesá. (obr. 12)

Asynchronní motor připojený na měnič kmitočtu musí být tedy o trochu výkonnější, aby pracoval i při minimálním kmitočtu s požadovaným točivým momentem. [4]

Asynchronní motor

Stávající asynchronní motor o výkonu 250 kW na hladině napětí 6 kV bude nahrazen asynchronním motorem na nízké napětí 400 V, který bude řízen pomocí frekvenčního měniče. Nově osazený asynchronní motor bude stejného výkonu jako předešlý motor, jedná se o motor s typovým označením 1LA8355-8AB60, který vyrábí firma Siemens. Tento asynchronní motor byl vybrán, protože splňuje požadavky, které jsou kladené na jeho provoz s frekvenčním měničem.

Asynchronní motor na nízké napětí 1LA8355-8AB60 od firmy Siemens

Třífázový nízkonapětový asynchronní motor řady 1LA8 je určen k pohonu průmyslových zařízení zejména ventilátorů a čerpadel.

Tento typ motoru přinese velké množství výhod. Motor má jednoduché a robustní provedení komponentů, které motoru zajistí dlouhou životnost, vysoká životnost motoru je následkem snížené provozní teploty vinutí motoru při daném zatížení, motor plně respektuje požadavky ČSN EN – 60034-30 a tento typ motoru dále šetří energii díky své vysoké účinnosti.



Obrázek 13 Asynchronní motor typ 1LA8

Technické údaje použitého motoru

Druh motoru	Asynchronní motor s rotorem nakrátko
Počet pólů	8
Jmenovité synchronní otáčky (ot/min)	750
Jmenovitý výkon (kW)	250
Jmenovité otáčky (ot/min)	741
Jmenovité napětí (V)	400
Jmenovitý proud (A)	462
Jmenovitá frekvence (Hz)	50
Účinnost	95%
Účinník (cos φ)	0,82
Celková hmotnost (kg)	2000
Ochrana krytem podle ČSN EN 60034-5	IP 55
Chlazení podle ČSN EN 60034-5	vzduch

Tabulka 21

Standardní izolační systém motoru řady 1LA8 umožňuje provoz motoru, při napájení z měniče kmitočtu s jmenovitým napětím do 460V+10 %. To samé platí pro provoz s pulzně řízeným měničem. Tato možnost napájení motoru z měničů kmitočtu nabízí mnoho výhod, které jsou zásluhou výborného izolačního systému.[5]

Asynchronní motor bude řízen prostřednictvím měniče kmitočtu Micromaster 440. Tento typ měniče kmitočtu s napěťovým meziobvodem je určen k napájení třífázových asynchronních elektromotorů ve výkonovém pásmu 90-250 kW. Hlavní oblastí použití tohoto frekvenčního měniče, je řízení otáček ventilátorů a čerpadel. Tento typ měniče zcela splňuje požadavky na řízení motorů kouřových ventilátorů.

Obvody řízení a regulace jsou provedeny pomocí digitální techniky s mikroprocesorovým řízením a výkonnými IGBT tranzistory. To činí tento měnič vysoce spolehlivým s možností velkého přizpůsobení vlastnostem u požadovaných aplikací. Měnič používá pulzně šířkovou modulaci s přepínatelným spínacím kmitočtem, tím je dosaženo tichého a rovnoměrného chodu motoru. Ochranné funkce měniče a motoru zajišťují dokonalou ochranu řízeného pohonu. [6]

Charakteristické vlastnosti měniče kmitočtu Micromaster 440

a) Základní vlastnosti

- Velice snadné nastavení měniče a uvedení do provozu
- Měníče Micromaster jsou navrženy tak, aby splňovaly požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC)
- Rychlá odezva měniče na řídicí signály
- Obvody mikroprocesorového řízení a regulace zabezpečují vysokou spolehlivost a flexibilitu řízení
- Množství parametrů umožňuje přizpůsobení pohonu s měničem kmitočtu dané aplikaci
- Požadovanou velikost výstupního kmitočtu (hodnotu otáček motoru) lze zadávat několika způsoby:
 - 1) Přímým číselným zadáním hodnoty kmitočtu
 - 2) Analogovým napěťovým nebo proudovým signálem (0-10V, 0-20mA)
 - 3) Prostřednictvím sériového rozhraní
 - 4) Až 15 pevně přednastavenými hodnotami kmitočtu

b) Rozšířené vlastnosti

- Rychlá ochrana proti nadměrnému nárůstu proudu, umožňuje reakci měniči dříve tak, aby nedošlo k vyhodnocení poruchového stavu a zastavení pohonu
- Možnost brzdění motoru stejnosměrným proudem
- Nastavitelná doba rozběhu a doběhu motoru s počátečním a koncovým zaoblením rozběhové křivky pro měkký rozběh a zastavení pohonu

c) Ochranné funkce

- Kompletní ochrana měniče a motoru před přetížením
- Ochrana proti přepětí a podpětí
- Ochrana proti mezifázovému a zemnímu spojení
- Ochrana proti překročení teploty měniče
- Tepelná ochrana motoru

Technické údaje použitého měniče kmitočtu

Technické údaje měničů Micromaster 440	
Napájecí napětí	3x380V(400V) ± 10%
Kmitočet napájecího napětí	47 – 63 Hz
Celkový účinník (cosφ)	≥ 0.7
Účinnost měniče	97 – 98%
Rozsah výstupního kmitočtu	0 – 650 Hz
Spínací kmitočet	2 – 8 kHz
Binární vstupy	6+2 programovatelné 24V
Binární výstupy	3 relé s programovatelnou funkcí
Analogové výstupy	2 programovatelné (0 -20 mA)
Referenční napětí	+24 V pro ovládání binárních vstupů
Teplota okolí při provozu	0 – 40°C
Způsob chlazení měniče	Chlazení pomocí vestavěného ventilátoru
EMC	Externí odrušovací filtry
Stupeň krytí	IP 20

Tabulka 22

Micromaster 440

- Ukázka provedení měniče (viz obrázek 14, 15)



Obrázek 14



Obrázek 15

4. Vyhodnocení studie o optimalizaci kouřových ventilátorů v tepelné elektrárně

Ve studii budou vyhodnoceny jednotlivé možnosti provozu radiálních kouřových ventilátorů. Vyhodnocení provozu ventilátorů bude na základě jejich odebíraného příkonu.

4.1 Vyhodnocení studie o vypnutí jednoho kouřového ventilátoru

Motory kouřových radiálních ventilátorů mají výkon 250 kW a jsou napájeny z hladiny napětí 6 kV.

Tyto radiální ventilátory nejsou zatěžovány na svůj maximální výkon z důvodu nižších požadavků na výrobu elektrické energie. (viz kapitoly 3; 3.2)

1) **Provoz parního kotle** – oba kouřové ventilátory současně v provozu (viz tab. 23)

Údaje o motoru k pohonu kouřového ventilátoru	
Výkon (kW)	250
Příkon (kW)	275
Jmenovitý napětí (V)	6
Jmenovitý proud (A)	34.5
Účinnost	0.91
Účinník (cosφ)	0.88

Tabulka 23

Tabulka odebíraných proudů a příkonů kouřových ventilátorů (viz tab. 24)

Kouřové ventilátory - údaje o provozu - v provozu dvojice ventilátorů															
Proud kouřového ventilátoru - levý (A)	20	21	24	26	23	25	23	23	25	22	23	23	23	21	22
Proud kouřového ventilátoru - pravý (A)	20	21	24	26	23	25	23	23	25	22	23	23	23	21	22
Příkon kouřového ventilátoru - levý (kW)	182,90	192,05	219,49	237,78	210,34	228,63	210,34	210,34	228,63	201,20	210,34	210,34	210,34	192,05	201,20
Příkon kouřového ventilátoru - pravý (kW)	182,90	192,05	219,49	237,78	210,34	228,63	210,34	210,34	228,63	201,20	210,34	210,34	210,34	192,05	201,20
Celkový příkon oba ventilátory (kW)	365,80	384,10	438,98	475,56	420,68	457,26	420,68	420,68	457,26	402,40	420,68	420,68	420,68	384,10	402,40

Tabulka 24

2) Provoz parního kotle - jeden kouřový ventilátor v provozu

Tabulka odebíraných proudů a příkonů kouřového ventilátoru (viz tab. 25)

Kouřový ventilátor - údaje o provozu													
Proud kouřového ventilátoru (A)	20	20	28	29	26	25	27	24	24	25	24	24	25
Příkon kouřového ventilátoru (kW)	182,90	182,90	256,07	265,21	237,78	228,63	246,92	219,49	219,49	228,63	219,49	219,49	228,63

Tabulka 25

4.2 Vyhodnocení příkonů motorů k pohonu kouřových ventilátorů

1) Oba ventilátory v provozu (viz tab. 26)

Celkový příkon - oba motory v provozu (kW)	365,8	384,1	438,98	475,56	420,68	457,26	420,68	420,68	457,26	402,4	420,68	420,68	420,68	384,1	402,4
Množství spotřebované el. energie (MWh)	0,366	0,384	0,439	0,476	0,421	0,457	0,421	0,421	0,457	0,402	0,421	0,421	0,421	0,384	0,402
Cena 1 MWh (Kč)	1200														
Průměrné množství spotřebované elektrické energie za 1 hodinu (MWh)	0,419														

Tabulka 26

Náklady spojené s provozem dvojice kouřových ventilátorů (viz tab. 27)

Náklady spojené s provozem dvojice kouřových ventilátorů	
Cena 1 MWh (Kč)	1200
Průměrné množství spotřebované elektrické energie za 1 hodinu (MWh)	0,42
Náklady na provoz za 1 hodinu	502,80 Kč
Náklady na provoz za 24 hodin	12 067,20 Kč
Náklady na provoz za týden	84 470,40 Kč
Náklady na provoz za měsíc	337 881,60 Kč
Náklady na provoz za rok	4 054 579,20 Kč
Celkové náklady na provoz za rok (300dní) zahrnutý odstávky a výpadky v provozu	3 620 160,00 Kč

Tabulka 27

2) Jeden kouřový ventilátor v provozu (viz tab. 28)

Celkový příkon kouřového ventilátoru (kW)	182,90	182,90	256,07	265,21	237,78	228,63	246,92	219,49	219,49	228,63	219,49	219,49	228,63
Množství spotřebované el. energie (MWh)	0,183	0,183	0,256	0,265	0,238	0,229	0,247	0,219	0,219	0,229	0,219	0,219	0,229
Cena 1 MWh (Kč)	1200												
Průměrné množství spotřebované elektrické energie za 1 hodinu (MWh)	0,226												

Tabulka 28

Náklady spojené s provozem kouřového ventilátoru (viz tab. 29)

Náklady spojené s provozem jednoho kouřového ventilátoru	
Cena 1 MWh (Kč)	1200
Průměrné množství spotřebované elektrické energie za 1 hodinu (MWh)	0,23
Náklady na provoz za 1 hodinu	271,20 Kč
Náklady na provoz za 24 hodin	6 508,80 Kč
Náklady na provoz za týden	45 561,60 Kč
Náklady na provoz za měsíc	182 246,40 Kč
Náklady na provoz za rok	2 186 956,80 Kč
Celkové náklady na provoz za rok (300dní) zahrnutý odstávky a výpadky v provozu	1 952 640,00 Kč

Tabulka 29

Náklady spojené s provozem dvojice kouřových radiálních ventilátorů jsou ve výši 3 620 160 Kč za rok. V případě vypnutí jednoho kouřového radiálního ventilátoru, se náklady na provoz sníží na hodnotu 1 952 640 Kč za rok.

Výsledek studie o optimalizaci provozu těchto kouřových ventilátorů je, že v případě vypnutí jednoho kouřového radiálního ventilátoru se sníží spotřeba elektrické energie pro provoz parního kotle a dojde k poklesu vlastní spotřeby tepelné elektrárny. Roční peněžní úspora při provozu parního kotle pouze na jeden kouřový ventilátor činí 1 667 520 Kč.

4.3 Vyhodnocení studie o náhradě stávajících motorů kouřových ventilátorů motory, které budou řízeny frekvenčními měniči

Tato studie nabízí dvě možnosti řešení provozu radiálních kouřových ventilátorů. Parní kotel má dva kouřové radiální ventilátory (viz kapitola 3.1), které zajišťují odtah spalin ze spalovací komory.

První možností řešení provozu kouřových ventilátorů je, že jeden motor, který pohání jeden kouřový ventilátor, by se nahradil motorem, který je možné řídit pomocí frekvenčního měniče. Druhý motor pohánějící druhý kouřový ventilátor by zůstal stávající.

Provoz kouřových ventilátorů v případě tohoto řešení by byl, že primárně v provozu by byl motor pohánějící kouřový ventilátor, který je řízen frekvenčním měničem. V případě, že požadovaný výkon na motor pohánějící kouřový ventilátor by byl nad 100% výkonu, co je schopen dodat motor s frekvenčním měničem, docházelo by k připnutí druhého motoru. Postup připínání by byl následující, stávající motor bez regulace by se rozběhl na svůj 100% výkon a druhý motor s frekvenčním měničem by zajišťoval potřebný nárůst požadovaného výkonu svojí regulací frekvence.

Tato možnost je ekonomicky méně náročná, protože dochází k výměně pouze jednoho motoru kouřového ventilátoru a je potřeba pouze jednoho frekvenčního měniče.

Druhá možnost řešení provozu kouřových ventilátorů je, že budou vyměněny oba stávající motory na hladině 6 kV motory, které budou napájeny z napěťové hladiny 400Va bude, je možné řídit frekvenčními měniči.

Provoz kouřových ventilátorů bude poté řešen regulací frekvence pomocí frekvenčního měniče, který bude součástí pohonu kouřového ventilátoru.

Tato možnost je z ekonomického hlediska více nákladná, neboť se musí vyměnit oba motory a s tím je spojena i potřeba dvou frekvenčních měničů.

Náklady spojené s provozem kouřových ventilátorů v případě první možnosti řešení (1. stávající motor, 2. motor řízen frekvenčním měničem) by se odhadem rovnaly nákladům nebo spíše by byly nižší než náklady, kdyby byl parní kotol provozován, jen na jeden kouřový ventilátor. To by vedlo k dosažení ještě větší úspory elektrické energie, než v případě pouhého vypnutí jednoho kouřového ventilátoru. A navíc by se dosáhlo zvýšení bezpečnosti provozu těchto kouřových ventilátorů.

(viz tab. 29)

Náklady spojené s provozem jednoho kouřového ventilátoru	
Cena 1 MWh (Kč)	1200
Průměrné množství spotřebované elektrické energie za 1 hodinu (MWh)	0,23
Náklady na provoz za 1 hodinu	271,20 Kč
Náklady na provoz za 24 hodin	6 508,80 Kč
Náklady na provoz za týden	45 561,60 Kč
Náklady na provoz za měsíc	182 246,40 Kč
Náklady na provoz za rok	2 186 956,80 Kč
Celkové náklady na provoz za rok (300dní) zahrnutý odstávky a výpadky v provozu	1 952 640,00 Kč

Tabulka 29

V případě druhé možnosti provozu kouřových ventilátorů (oba motory řízeny frekvenčními měniči) se náklady spojené s provozem kouřových ventilátorů nedají spolehlivě odhadnout, ale s jistotou lze říci, že budou podstatně nižší než v případě stávajícího stavu, kdy jsou kouřové ventilátory regulovány pouze regulační klapkou.

(viz tab. 27)

Náklady spojené s provozem kouřových ventilátorů se sníží. Hlavní důvodem snížení provozních nákladů kouřových ventilátorů je použití plynulé regulace. Plynulou regulaci zajišťují frekvenční měniče, které nastavují optimální otáčky kouřových ventilátorů podle požadavků.

5. Ekonomická návratnost investic do optimalizace provozu kouřových ventilátorů

Ekonomická návratnost investic do optimalizace provozu kouřových ventilátorů bude záviset na zvoleném způsobu provedení optimalizace. Ve studii jsou uvedeny možné způsoby provedení optimalizace kouřových ventilátorů, které přinesou úsporu elektrické energie a zefektivnění provozu těchto ventilátorů.

Jednotlivé navržené způsoby optimalizace kouřových ventilátorů sebou přináší různé finanční náklady na provedení. U některých navržených způsobů optimalizace kouřových ventilátorů bude nutné ještě přičítat náklady spojené s výměnou zařízení. Jedná se zejména o stavební úpravy, dimenzování přívodních rozvaděčů a náklady na demontáž stávajícího zařízení.

Optimalizace provozu kouřových ventilátorů přinese tepelné elektrárně ELÚ III snížení vlastní spotřeby a tím i vyšší finanční zisky, protože uspořeno elektrickou energii může vynaložit na jiné aktivity spojené s provozem této elektrárny.

5.1 Ekonomická návratnost investic – vypnutí jednoho kouřového ventilátoru

Tento způsob optimalizace provozu kouřových ventilátorů sebou nepřináší žádné finanční náklady na nákup nového zařízení ani na stavební úpravy. Jedná se o nejrychlejší způsob optimalizace provozu těchto ventilátorů. Nyní jsou v provozu dva kouřové ventilátory na jeden parní kotel. Z důvodu nízkého výkonového využití dvojice ventilátorů je možné jeden ventilátor vypnout a provozovat parní kotel pouze na jeden kouřový ventilátor. Toto řešení sebou přináší okamžitou úsporu elektrické energie a s tím spojené i nižší finanční náklady na zajištění provozu.

Optimalizace provedená tímto způsobem sebou také přináší mnoho podmínek, které musejí být splněny, aby byl zajištěn bezpečný provoz parního kotle. První podmínkou je, že nesmí dojít k proudovému přetížení kouřového ventilátoru, protože by hrozilo odstavení celého parního kotle. Odstavení parního kotle by poté přineslo velkou finanční ztrátu. Aby nenastalo odstavení parního kotle vlivem proudového přetížení kouřového ventilátoru, musí být výroba páry v parním kotli regulována jen na hodnoty kolem 75 t páry za hodinu. V případě nutnosti zvýšení výroby páry v parním kotli, musí

dojít k zapnutí druhého kouřového ventilátoru, aby byl zajištěn bezpečný provoz a dosáhlo se požadovaného množství vyrobené páry.

Náklady spojené s provozem ventilátorů jsou uvedeny v následující tabulce.
(viz tab. 30)

Náklady spojené s provozem ventilátorů			
2 ventilátory v provozu		1 ventilátor v provozu	
Náklady na den	12 067,20 Kč	Náklady na den (Kč)	6 508,80 Kč
Náklady na měsíc	337 881,60 Kč	Náklady na měsíc (Kč)	182 246,40 Kč
Náklady za rok – rok 300 dní	3 620 160,00 Kč	Náklady za rok (Kč) – rok 300 dní	1 952 640,00 Kč

Tabulka 30

Náklady na provoz s jedním kouřovým ventilátorem jsou za rok **1 952 640 Kč**. Tento způsob optimalizace provozu kouřového ventilátoru přinese roční úsporu ve výši **1 667 520 Kč**.

Ekonomické vyhodnocovací období jsou tři roky, za tuto dobu přinese optimalizace provozu kouřového ventilátoru peněžní úsporu ve výši **5 002 560 Kč**. Ekonomická návratnost této optimalizace je okamžitá.

5.2 Ekonomická návratnost – motory řízené frekvenčními měniči

Optimalizace kouřových ventilátorů pomocí frekvenčních měničů bude ekonomicky více nákladná než pouhé vypnutí jednoho kouřového ventilátoru. Náklady jsou spojeny především s náhradou stávajících asynchronních motorů motory, které je možné řídit frekvenčními měniči a samotným nákupem frekvenčních měničů.

Použití frekvenčních měničů sebou, ale přinese větší úsporu elektrické energie a lepší možnosti řízení otáček motorů podle potřeby. Řízení asynchronních motorů pomocí frekvenčních měničů je moderní způsob jak dosáhnout kvalitní regulace motoru s úsporou elektrické energie.

Na elektrárně ELÚ III budou použity frekvenční měniče typu Micromaster 440, které budou řídit nové asynchronní motory na nízké napětí, které dodá firmy Siemens. Tato sestava byla vybrána na základě požadavků na optimální provozní parametry.

- Cena jednoho frekvenčního měniče typu Micromaster 440 činí 347 727 Kč [7]
- Cena jednoho asynchronního motoru typ 1LA8355-8AB60 o výkonu 250 kW dosahuje částky 925 000 Kč [6]

Cenová bilance a ekonomická návratnost

- Nahrazení 1 stávajícího motoru novým motorem s použitím frekvenčního měniče, druhý motor zůstane stávajícího provedení (viz kapitola 4.3)

Cena frekvenčního měniče	347 727 Kč
Cena asynchronního motoru	925 000 Kč
Náklady na zakoupení	1 272 727 Kč
Úspory za 1 rok provozu (přibližné)	1 700 000 Kč
Roční bilance (úspory – náklady na zakoupení)	427 273 Kč
Bilance za 3 roky (úspora peněz)	3 827 273 Kč

Tabulka 31

Náklady na zakoupení sestavy frekvenčního měniče s asynchronním motorem dosáhnou hodnoty **1 272 727 Kč**. Tyto náklady na zakoupení se vrátí již v prvním roce používání. Roční úspora provozování sestavy frekvenční měnič asynchronní motor činí **1 700 000 Kč**.

V prvním roce provozování tato sestava vykáže úsporu ve výši **427 273 Kč**.

Za ekonomické období 3 roky tato úspora dosáhne hodnoty **3 827 273 Kč**.

- Nahrazení obou stávajících motorů motory, které budou řízení frekvenčními měniči

Cena frekvenčního měniče	347 727 Kč
Cena asynchronního motoru	925 000 Kč
Náklady na zakoupení	2 545 454 Kč

Tabulka 32

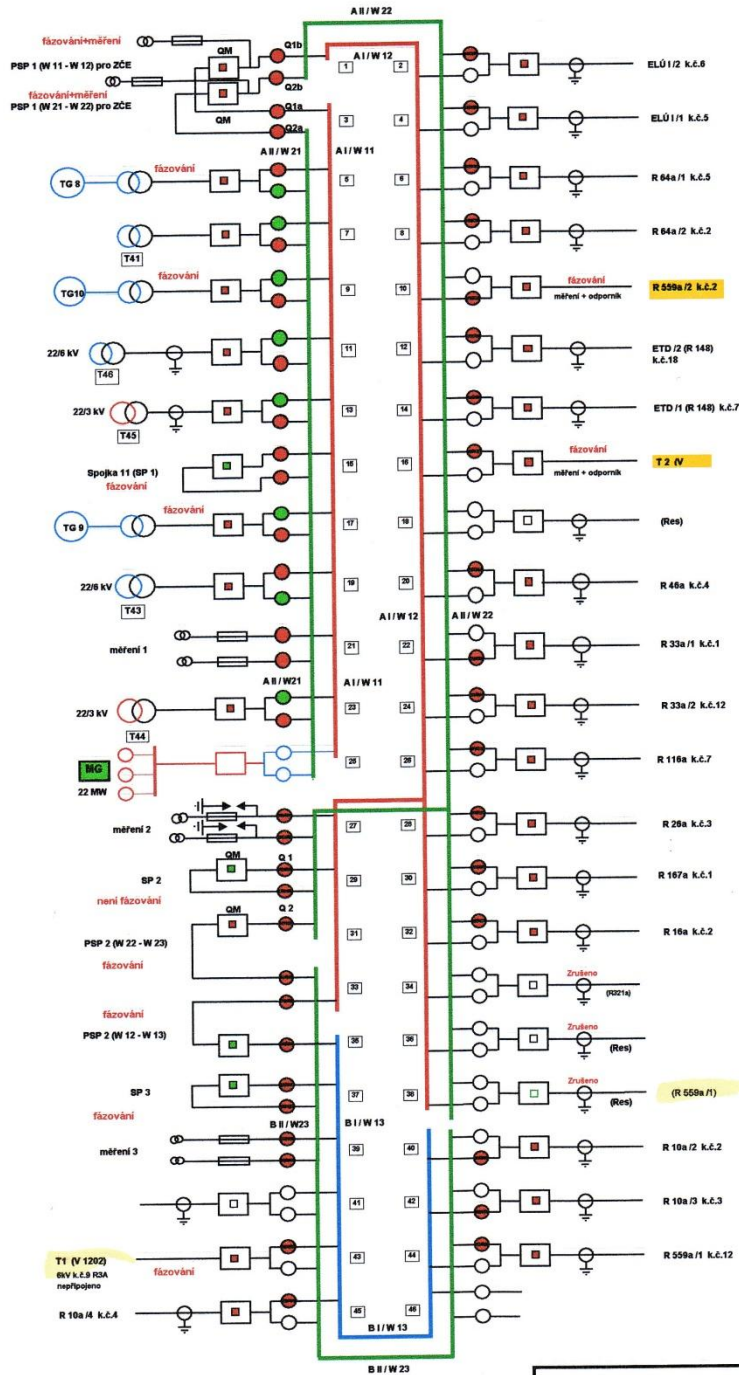
Náklady na zakoupení dosáhnou dvojnásobné částky (**2 545 454 Kč**) oproti předchozím uvedeným nákladům (**1 272 727 Kč**). To je způsobeno tím, že potřebujeme zakoupit dva nové motory a k nim i dva frekvenční měniče. Z ekonomického hlediska se tato investice vrátí nejpozději za dobu tří let.

Všechny výše uvedené optimalizace provozu kouřových ventilátorů se jeví výhodně z ekonomického hlediska.

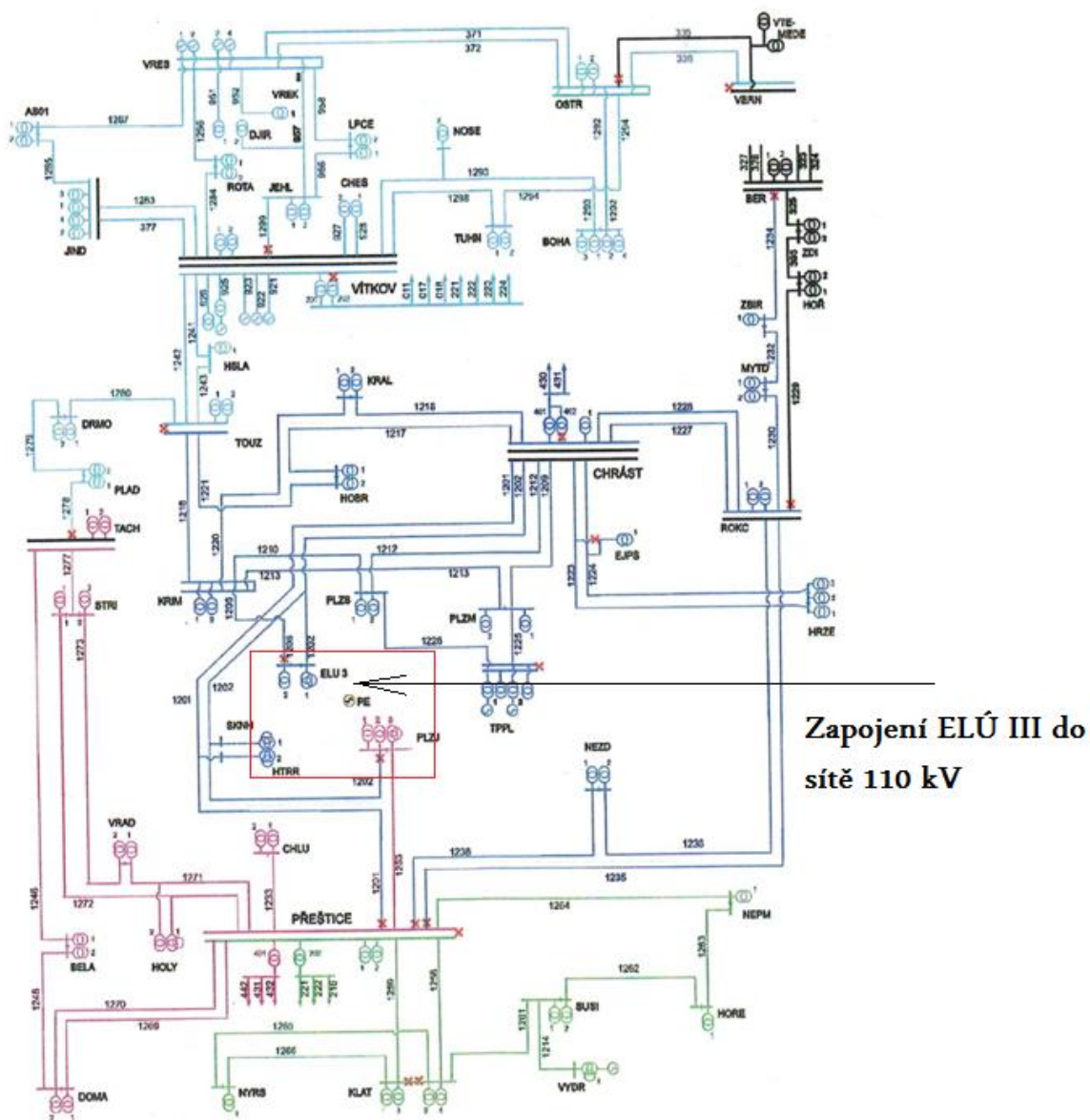
Seznam použité literatury a informačních zdrojů

- [1] ABB. Provozní předpisy ELÚ III. 15.8. Plzeň, 1995.
- [2] TENZA. Provozní předpisy ELÚ III: Odsiřovací zařízení. 21.9. Plzeň, 2012.
- [3] Radiální ventilátory. Klima [online]. 2000 [cit. 2012-12-09]. Dostupné z:
<http://www.klimacz.cz/>
- [4] TKOTZ, Klaus. Příručka pro elektrotechnika. Germany: Europa sobotáles, 2006.
ISBN 80-86706-13-3
- [5] VONDRÁŠEK, CSC, Prof.Ing.František. Výkonová elektronika: Měniče s vlastní komutací a bez komutace. Plzeň: tiskové středisko ZCU, 2003. ISBN 80-7082-980-X.
- [6] Nízkonapěťové motory 1LA8 - N-compact. Siemens [online]. [cit. 2013-02-12].
Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=7925f659f9>
- [7] Měniče Micromaster. Nízkonapěťové měniče Micromaster [online]. 2013
[cit. 2013-02-12]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/>
- [8] ČEZ DISTRIBUCE. Provozní instrukce. Plzeň, 2010.

Příloha č. 1 – Přehledové schéma rozvodny 22 kV elektrárny ELÚ III [1]



Příloha č. 2 – Mapa sítí 110 kV v oblasti řízení ČEZ Zápád [8]



Příloha č. 3 – Fotodokumentace elektrárny ELÚ III

Celkový pohled na elektrárnu ELÚ III



Pohled ze střechy strojovny na kotle K₁, K₃



Odsíření spalín na elektrárně ELÚ III



Kotel K₃ – pohled na horní část parního kotle



Kotel K₃ – hlavní pojišťovací ventily – výfuky na střechu bloku K₃



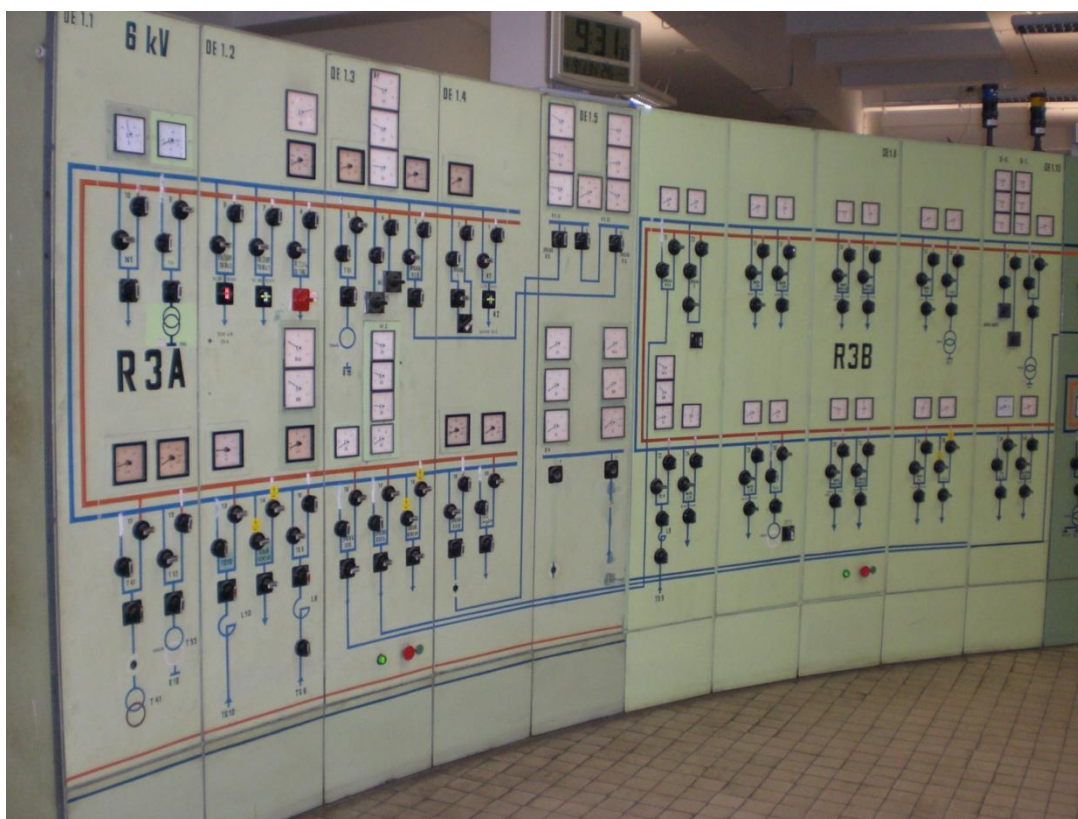
Kotel K₃ – vstup napájecí vody do parního kotle

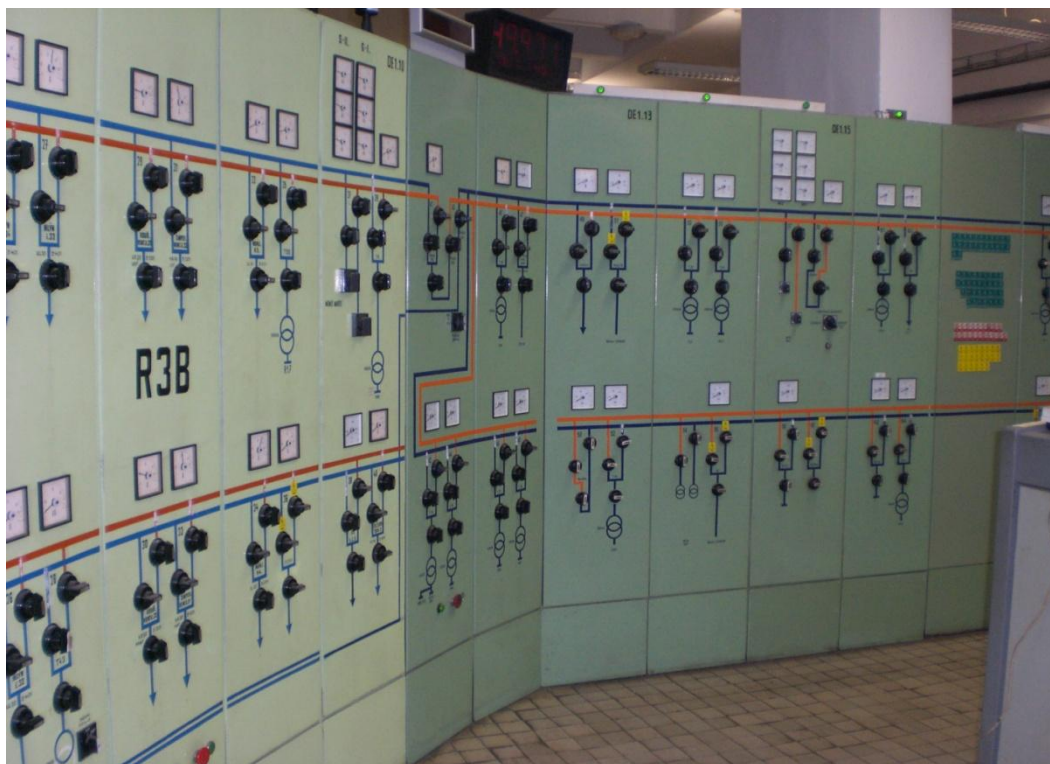


Strojovna elektrárny ELÚ III - pohledy na turbosoustrojí



Elektrárna ELÚ III – řídicí místnost (jednotlivá řídicí pole)





Elektrárna ELÚ III - rozvodna 6 kV



Rozvodna 6 kV – ukázky kobek



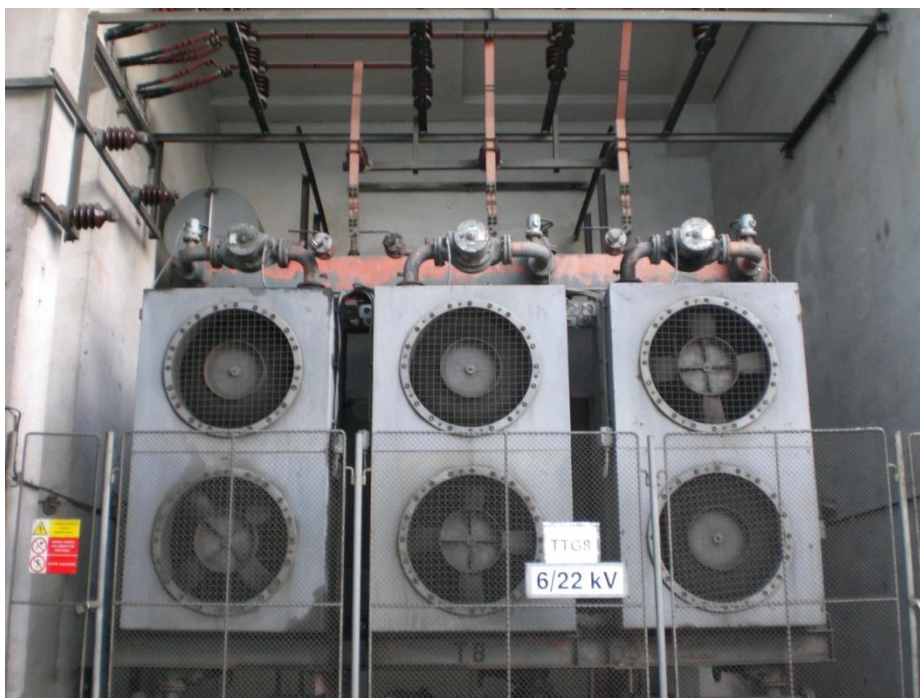
Odbočka za generátorem vedená přes reaktor na hladině napětí 6 kV



Reaktor



Transformátor 6/22 kV



Transformátor 22/3 kV



Vývodní rozvodna 110 kV



Vývodní transformátory 22/110 kV



Záložní motorgenerátorové zdroje elektrické energie o výkonu 3 x 6.7 MW



Vyvedení výkonu motorgenerátorů přes zapouzdřenou rozvodnu a transformátor 6/22 kV



Dmychadlový ventilátor pro přívod vzduchu do kotle



Kouřový ventilátor pro odtah spalín ze spalovací komory parního kotle

