

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky  
KEV**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Frekvenční měniče pohonů kouřových ventilátorů  
v ČEZ a.s., elektrárna Tisová**

**Miroslav Florián**

**2014**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Miroslav FLORIÁN  
Osobní číslo: E11B0124K  
Studijní program: B2644 Aplikovaná elektrotechnika  
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika  
Název tématu: Frekvenční měniče pohonů kouřových ventilátorů v ČEZ a.s.,  
elektrárna Tisová  
Zadávající katedra: Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

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

Práce by měla obsahovat:

1. Uveďte základní popis technologie elektrárny Tisová ETI I.
2. Popište technologii frekvenčních měničů kotlů K11, K12, KV K11 - FM 6kV/3,3kV - ABB, ACS 1000, 12-ti pulsní, IGCT, vodou chlazený pro pohon 3 000kW/6kV. KV K12 - FM 6kV/6kV - Siemens Robicon Perfect Harmony - GEN III, 36-ti pulsní, IGBT, vzduchem chlazený, pro pohon 2 000 kW/ 6kV.
3. Zhodnoťte vliv frekvenčních měničů na úsporu elektrické energie, snížení vlastní spotřeby.
4. Zhodnoťte vlivy poruch frekvenčních měničů na provoz zařízení.
5. Závěr

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1. firemní literatura
2. elektronické informační zdroje, katalogy
3. Vondrášek F.: Výkonová elektronika, svazek III. - Měniče s vnější komutací a bez komutace. Skripta ZČU Plzeň, 1994

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Pittermann, Ph.D.  
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013  
Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014

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



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na zhodnocení vlivu frekvenčních měničů pohonů kouřových ventilátorů fluidních kotlů na vlastní spotřebu elektrárny Tisová ETI I.

Práce je rozdělená do čtyř kapitol. V první kapitole je popsána technologie elektrárny Tisová ETI I. Způsob vyvedení výkonu, napájení vlastní spotřeby a stručný popis fluidních kotlů s uvedením nejdůležitějších ventilátorů pro provoz těchto kotlů. Ve druhé kapitole je popsána technologie frekvenčních měničů fluidních kotlů K11, K12 napájených z napěťové hladiny 6 kV. Ve třetí kapitole je zhodnocen vliv frekvenčních měničů na úsporu elektrické energie zpracováním naměřených dat za provozu zařízení. Poslední čtvrtá kapitola posuzuje vliv poruch frekvenčních měničů na provoz fluidních kotlů.

## **Klíčová slova**

Frekvenční měnič, pohon, fluidní kotel, kouřový ventilátor, elektrárna Tisová

## **Abstract**

The bachelor's work is anticipated to focused in evaluating impact of converter rate smoke drive ventilator fluid boilers own usage in power plant Tisova ETI I.

The work is divided in to a four chapters. The first chapter is describing power plant technology. The way for the output, feeding own usage and brief fluid boiler description with mentioning the most important ventilator for operating these boilers. The second chapter is describing converter rate fluid boiler K11, K12 technologie and feeding from 6kV level tention. The third chapter is evaluating impact of converter rate on electric energie savings and processing mesurd informations in operating device. The last chapter is talking about converter rates defect impacting on working fluid boilers.

## **Key words**

Frequency inverter, drive, fluid boiler, smoke fan, power Tisová

## **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 bakalářské práce.

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

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Pittermannovi, Ph.D.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ELEKTRÁRNA TISOVÁ</b> .....	<b>14</b>
1.1 POLOHA ELEKTRÁRNY .....	14
1.2 ELEKTRÁRNA V ČASE .....	14
1.3 BUDOUCNOST ELEKTRÁRNY .....	16
1.4 SOUČASNÝ STAV A TECHNICKÉ PARAMETRY ELEKTRÁRNY TISOVÁ ETI I.....	16
1.4.1 <i>Vyvedení výkonu elektrárny Tisová ETI I, linky 110 kV</i> .....	16
1.4.2 <i>Zajištění vlastní spotřeby ETI I – rozvodny 6 kV</i> .....	17
1.4.3 <i>Řídicí systém elektrárny</i> .....	19
1.4.4 <i>Fluidní spalování</i> .....	19
1.4.5 <i>Fluidní kotel K 11</i> .....	20
1.4.6 <i>Hlavní ventilátory K11</i> .....	21
1.4.7 <i>Fluidní kotel K 12</i> .....	23
1.4.8 <i>Hlavní ventilátory K12</i> .....	24
<b>2 POHONY VENTILÁTORŮ NAPÁJENÝCH Z FM</b> .....	<b>26</b>
2.1 MĚNIČE KMITOČTU .....	26
2.1.1 <i>Nepřímý měnič kmitočtu</i> .....	26
2.1.2 <i>Nepřímý měnič s napěťovým střídačem</i> .....	26
2.2 ŘÍZENÍ MĚNIČŮ FREKVENCE, REGULACE OTÁČEK ASYNCHRONNÍHO MOTORU.....	28
2.2.1 <i>Skalární řízení</i> .....	28
2.2.2 <i>Vektorové řízení</i> .....	29
2.2.3 <i>DTC přímé řízení točivého momentu</i> .....	29
2.3 POHON KOUŘOVÉHO VENTILÁTORU K11 .....	32
2.3.1 <i>Motor Flender Loher AHRA – 800MB – 06A</i> .....	33
2.3.2 <i>Frekvenční měnič ABB, ACS 1000, IGCT</i> .....	34
2.4 POHON KOUŘOVÉHO VENTILÁTORU K12 .....	36
2.4.1 <i>Motor ČKD 4V224 – 06HW</i> .....	37
2.4.2 <i>Frekvenční měnič Siemens, Robicon Perfect Harmony</i> .....	38
<b>3 VLIV FREKVENČNÍCH MĚNIČŮ NA ÚSPORU ELEKTRICKÉ ENERGIE</b> .....	<b>41</b>
3.1 VLIV FREKVENČNÍHO MĚNIČE K11 NA SPOTŘEBU ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	42
3.2 VLIV FREKVENČNÍHO MĚNIČE K12 NA SPOTŘEBU ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	42
<b>4 VLIV PORUCH FM NA PROVOZ ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>43</b>
4.1 PORUCHY FM K11 .....	44
4.1.1 <i>Porucha vysoká teplota vnitřního chladicího okruhu FM</i> .....	44
4.1.2 <i>Porucha FM, závad ve výkonové části měniče</i> .....	45
4.1.3 <i>Preventivní údržba</i> .....	46
4.2 PORUCHY FM K12 .....	46
4.2.1 <i>Oprava FM</i> .....	47
4.2.2 <i>Závada v ovládacím obvodu FM</i> .....	47
4.2.3 <i>Závada 62BPA01</i> .....	47
4.2.4 <i>Preventivní údržba</i> .....	48
<b>5 ZÁVĚR</b> .....	<b>48</b>



<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>50</b>
<b><i>PŘÍLOHA Č.1 ZPRACOVANÁ DATA PROVOZNÍCH ZÁZNAMŮ K11.....</i></b>	<b>1</b>
<b><i>PŘÍLOHA Č.2 GRAF – PROVOZ ZAŘÍZENÍ K11.....</i></b>	<b>2</b>
<b><i>PŘÍLOHA Č.3 ZPRACOVANÁ DATA PROVOZNÍCH ZÁZNAMŮ K12.....</i></b>	<b>3</b>
<b><i>PŘÍLOHA Č.4 GRAF – PROVOZ ZAŘÍZENÍ K12.....</i></b>	<b>4</b>

## Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na zhodnocení vlivu frekvenčních měničů pohonů kouřových ventilátorů fluidních kotlů na vlastní spotřebu elektrárny Tisová ETI I. Mnohé zkušenosti, které v této bakalářské práci uvádím jsem nabyl při provozu popisovaného zařízení. S popisovaným zařízením přicházím ve své profesní praxi do styku jak v běžném provozním režimu, tak i při řešení poruchových událostí.

V první kapitole je popsána technologie elektrárny Tisová ETI I. Způsob vyvedení výkonu, napájení vlastní spotřeby a stručný popis fluidních kotlů s uvedením nejdůležitějších ventilátorů pro provoz těchto kotlů.

Ve druhé kapitole je popsána technologie frekvenčních měničů fluidních kotlů K11, K12 napájených z napěťové hladiny 6 kV. V úvodu této kapitoly jsou obecně popsány měniče kmitočtu (frekvenční měniče), dále jsou popsány konkrétní aplikace měničů instalovaných v elektrárně Tisová, jedná se o pohony kouřových ventilátorů fluidních kotlů K11 a K12. KV K11 - FM 6 kV/ 3,3 kV - ABB, ACS 1000, 12-ti pulsní, IGCT, vodou chlazený pro motor 3 000 kW/ 6 kV a KV K12 - FM 6 kV/ 6 kV - Siemens Robicon Perfect Harmony - GEN III, 36-ti pulsní, IGBT, vzduchem chlazený, pro motor 2 000 kW/ 6 kV.

Ve třetí kapitole je zhodnocen vliv frekvenčních měničů na úsporu elektrické energie zpracováním naměřených dat získaných za provozu zařízení. Výsledky jsou zpracovány do tabulek.

Poslední čtvrtá kapitola posuzuje vliv poruch frekvenčních měničů na provoz fluidních kotlů. Tyto poruchy jsou uvedeny se stručným popisem události.

## Seznam symbolů a zkratk

$\cos \varphi$ ..... [-]	Účinník
$E_{El}$ ..... [MWh]	Elektrická energie vyrobená elektrárnou
$E_{Elvl}$ ..... [MWh]	Elektrická energie spotřebovaná elektrárnou
$E_{Elvl,FM0}$ ..... [MWh]	Elektrická energie spotřebovaná elektrárnou, provoz bez měniče
$E_{KV}$ ..... [MWh]	Elektrická energie spotřebovaná KV
$E_{KV,FM0}$ ..... [MWh]	Elektrická energie spotřebovaná KV, provoz bez měniče
$E_{KV,FM100}$ ..... [MWh]	Elektrická energie spotřebovaná KV, provoz s měničem
$f_s$ ..... [Hz]	Synchronní frekvence
$f_1$ ..... [Hz]	Vstupní frekvence
$f_2$ ..... [Hz]	Výstupní frekvence
$I$ ..... [A]	Proud
$I_c$ ..... [A]	Kolektorový proud
$\vec{i}_r$ ..... [A]	Vektor rotorového proudu
$\vec{i}_s$ ..... [A]	Vektor statorového proudu
$i_{sd}$ .....	Podélná složka vektoru statorového proudu
$j i_{sg}$ .....	Příčná složka vektoru statorového proudu
$J$ ..... [kg.m <sup>2</sup> ]	Moment setrvačnosti
$k$ .....	Konstanta
$M_p$ ..... [t]	Množství vyrobené páry
$M$ ..... [Nm]	Moment
$M_w$ ..... [Nm]	Požadovaný moment
$M_m$ ..... [Nm]	Moment maximální
$P$ ..... [W]	Výkon
$P_{KV}$ ..... [kW]	Příkon
$P_{jm}$ ..... [t/h]	Parní výkon jmenovitý
$P_{KV,FM0}$ ..... [kW]	Příkon KV, provoz bez měniče
$P_{KV,FM100}$ ..... [kW]	Příkon KV, provoz s měničem
$P_{KV,KOM}$ ..... [kW]	Příkon KV, provoz kombinovaný
$Q_i^r$ ..... [MJ/kg]	Výhřevnost uhlí
$Q_{pp}$ ..... [t/h]	Průměrná hodnota parního výkonu
$R_s$ ..... [Ω]	Odpor statorového vinutí
$THD_u$ ..... [%]	Celkové harmonické zkreslení napětí

THD <sub>i</sub> ..... [%]	Celkové harmonické zkreslení proudu
U..... [V]	Napětí
U <sub>ce</sub> ..... [kV]	Napětí kolektor – emitor
$\vec{u}_s$ ..... [V]	Vektor statorového napětí
$\Delta E_{Elvl}$ ..... [%]	Snížení vlastní spotřeby
$\Delta E_{KV}$ ..... [MWh]	Elektrická energie spotřebovaná, rozdíl
$\Delta M$ ..... [Nm]	Rozdíl momentu
$\vec{\Psi}_r$ ..... [Wb]	Vektor spřaženého magnetického tok statoru
$\vec{\Psi}_s$ ..... [Wb]	Vektor spřaženého magnetického tok statoru
$\omega$ ..... [rad/s]	Úhlová rychlost
$\omega_s$ ..... [rad/s]	Synchronní úhlová rychlost
$\omega_n$ ..... [rad/s]	Jmenovitá úhlová rychlost
ACFB .....	Atmosferický fluidní kotel s cirkulující vrstvou
CaSO <sub>4</sub> .....	Síran vápenatý
CaO .....	Oxid vápenatý
CO <sub>2</sub> .....	Oxid uhličitý
C <sub>F</sub> .....	Filtrační kondenzátor
D.....	Primární vinutí transformátoru do trojúhelníku
d .....	Sekundární vinutí transformátoru do trojúhelníku
DTC .....	Přímé řízení momentu
ETI .....	Elektrárna Tisová
FM.....	Frekvenční měnič
GTO .....	Vypínací tyristor
GUSP .....	Napájecí jednotka řídící elektrody
IGBT .....	Bipolární tranzistor s izolovaným hradlem
IGCT .....	Tyristor řízený integrovanou řídící elektrodou
IP .....	Stupeň krytí
TG .....	Turbogenerátor
K .....	Fluidní kotel
KS FK .....	Kompresorová stanice fluidních kotlů
KV.....	Kouřový ventilátor
L <sub>F</sub> .....	Filtrační indukčnost
NO <sub>x</sub> .....	Oxid dusíku

nn .....	Nízké napětí
O <sub>2</sub> .....	Kyslík
PID .....	Proporcionálně integro - derivační regulátor
PWM .....	Pulzně šířková modulace
R .....	Rezistor
ŘS .....	Řídicí systém
S .....	Spínač
SO <sub>2</sub> .....	Oxid siřičitý
vn .....	Vysoké napětí
Y .....	Vinutí motoru zapojení do hvězdy
Y .....	Primární vinutí transformátoru zapojení do hvězdy
y .....	Sekundární vinutí transformátoru do hvězdy

# 1 Elektrárna Tisová

Skupina ČEZ je provozovatelem uhelných elektráren a tepláren v 13 lokalitách České republiky. Uhelne elektrárny a teplárny jsou většinou situovány do oblastí, s dostatečnou zásobou uhlí a vody. Tyto aspekty umožňují snížit náklady na dopravu uhlí a vody. V některých uhelných elektrárnách se s uhlím spaluje i biomasa. [1]

Elektrárna Tisová je jedním z uhelných zdrojů, které jsou provozovány Skupinou ČEZ. V současné době je elektrárna Tisová součástí nově utvořené organizační jednotky ČEZ, a. s. s názvem Elektrárny Hodonín, Poříčí, Tisová, Trmice, která sdružuje zařízení s významným podílem výroby tepla. [2]

Ve světě je vyrobeno zhruba 44 % elektrické energie v uhelných elektrárnách. V Evropě to je okolo 33 %. V České republice se na výrobě elektrické energie podílí uhelné elektrárny skupiny ČEZ přibližně z 50 %. Předpokladem pro další provoz uhelných elektráren je udržet krok s vědeckotechnickým pokrokem. Jedná se hlavně o oblast zvyšování energetické účinnosti. Nevýhodou současných uhelných elektráren je nízká účinnost okolo 34 %. Využití českých uhelných elektráren v příštích letech by měl podpořit očekávaný růst poptávky po elektrické energii a především spolehlivost dodávky proti obnovitelným zdrojům. [1]

## 1.1 Poloha elektrárny

Umístění elektrárny je situováno v karlovarském kraji do oblasti v západní části Sokolovské hnědouhelné pánve mezi Slavkovským lesem a Krušnými horami na pravém břehu řeky Ohře v nadmořské výšce 405 m, na místě původní hornické obce Tisová, která zanikla z důvodu rozsáhlé důlní činnosti v minulém století. O umístění do této lokality rozhodly dva zásadní faktory pro provoz hnědouhelné elektrárny - řeka Ohře, ze které je zásobována vodou a blízké zásoby sokolovského hnědého uhlí. [2]

## 1.2 Elektrárna v čase

Vlastní elektrárnu lze rozdělit do dvou technologických celků ETI I a ETI II. Výstavba první části elektrárny ETI I byla zahájena v roce 1954. Zvoleno bylo sběrníkové uspořádání osmi kotlů, vysokotlaké, třítahové s granulačním ohništěm s přirozenou cirkulací vody o parním výkonu 125 t/h a čtyř kondenzačních turbín s turbogenerátory 50 MW a jedné protitlakové turbíny s turbogenerátorem 12 MW. První stroj 50 MW byl fázován k síti v prosinci roku 1958, poslední stroj 12 MW pak v roce 1959. Celkový instalovaný výkon výrobní jednotky ETI I tak činil 212 MW. [2]

Výstavba ETI II byla zahájena v roce 1955. Byly instalovány tři bloky 100 MW a uvedeny do provozu byly v letech 1960 - 1962. Zdrojem páry ETI II byly kotle vysokotlaké, třítahové s granulačním ohništěm, přirozenou cirkulací vody a přihříváním páry o parním výkonu 350 t/h. Pro zapalování kotlů celé elektrárny se používal lehký i těžký topný olej. [2]

S celkovým instalovaným výkonem 512 MW se stala elektrárna ve své době první československou velkoelektrárnou, kde byly instalovány bloky o výkonu 100 MW s turbogenerátory chlazenými vodíkem. V roce 1964 byl podíl výroby elektrické energie elektrárny na výrobě celé elektrizační soustavy 9,8 % . [2]

V letech 1983 - 1987 byly realizovány rozsáhlé rekonstrukce technologie ETI I, kdy byla koncepce změněna z klasické elektrárny na elektrárnu s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. Byly rekonstruovány dvě turbíny 50 MW, které byly nahrazeny kondenzačními turbínami s regulovaným odběrem o výkonu 55 MW. Zároveň s touto změnou byl vybudován napáječ tepla pro region Sokolovska a teplo začalo být distribuováno do okolních měst a obcí. Celkový instalovaný výkon elektrárny se tak zvýšil na 522 MW. [2]

Začátkem devadesátých let byly odstaveny dva 100 MW bloky. Jeden na konci roku 1990, druhý na konci roku 1991. Na začátku roku 1992 měla elektrárna instalovaný výkon 322 MW. Zatím posledním strojem odstaveném v roce 1998 byla turbina 50 MW, instalovaný výkon elektrárny klesl na 272 MW. [2]

V dalších letech byla elektrárna rekonstruována z důvodu naplnění požadavků nové legislativy v ochraně ovzduší a vod před znečišťujícími látkami. Cílem těchto rekonstrukcí bylo snížení emisí popílku, oxidu siřičitého, oxidů dusíku a oxidu uhelnatého na hodnoty nižší než byly stanoveny zákonem. [2]

První změnou v roce 1992 byla instalace třisekcového elektrického odlučovače v ETI II. Výrobní jednotka ETI I na to navázala výměnou technologie výroby páry. Došlo k výstavbě dvou nových fluidních kotlů K11 a K12 o parním výkonu 350 t/h místo původních práškových kotlů K1 - 8 o parním výkonu 125 t/h. Výstavba prvního fluidní kotle K11 probíhala v letech 1993 - 1995. Fluidní kotel K11 byl prvním fluidním kotlem takového výkonu ve skupině ČEZ. Výstavbu realizovali akciová společnost Vítkovice a Ingeneering EVT Stuttgart. Druhý fluidní kotel K12 byl stavěn v průběhu let 1995 - 1997. Jeho dodavatelem byla německá firma LLB-Lurgi Lentjes Babcock Energietechnik GmbH. Oba kotle jsou atmosférické fluidní kotle s cirkulující vrstvou (ACFB). Pro zapalování všech kotlů v elektrárně se v současné době používá zemní plyn. [2]

### 1.3 Budoucnost elektrárny

Budoucnost elektrárny především závisí na dostatečném množství uhlí v požadované kvalitě. Při naplnění programu obnovy se předpokládá možnost dlouhodobě provozovat hlavní výrobní zařízení elektrárny bez nutnosti vyšších investičních nákladů na obnovu dožitých částí a celků do r. 2015 - 2018. Výroba ETI I je technologií kombinované výroby elektřiny a tepla napojenou na rozsáhlou síť centrálního zásobování teplem. Spolehlivá dodávka elektrické a tepelné energie umožňuje pokrýt energetickou poptávku v rámci celé elektrizační soustavy a poptávku po teple v regionu. Z tohoto pohledu je v současné době elektrárna jen velmi těžko zastupitelná a od toho se odvíjí její další budoucnost i když důležitou roli hraje ekonomická stránka výroby. [2]

### 1.4 Současný stav a technické parametry elektrárny Tisová ETI I

ETI I je elektrárna se sběrníkovým uspořádáním, kterou tvoří dva fluidní kotle K11 a K12 o jmenovitém parním výkonu 350 t/h, jedna turbína TG1 kondenzační, rovnotlaká, dvoutělesová s turbogenerátorem 57 MW a dvě turbíny TG2, TG3 kondenzační, rovnotlaké, dvoutělesové, s jedním regulovaným odběrem páry s turbogenerátory 57 MW a turbína TG5 protitlaková, kombinovaná, jednotělesová s turbogenerátorem 12,8 MW.[2]

Vyvedení dodávky tepla zajišťuje parní soustava o jmenovitých parametrech topného média, tlaku 1,2 MPa a teplotě 240 °C. [2]

ETI II s blokovým uspořádáním tvoří granulační kotel K9 s přehříváním páry o parním výkonu 330 t/h a TG6 kondenzační, rovnotlaká, třítělesová turbína s turbogenerátorem 112 MW. [2]

Palivem je sokolovské hnědé uhlí, které je dopravováno pásovou dopravou přímo z třídírny od dodavatele Sokolovská uhelná a. s.. V roce 2004 bylo na fluidních kotlích zahájeno spoluspalování uhlí s dřevní štěpkou do 20 % množství uhlí. Zdrojem technologické vody pro elektrárnu je řeka Ohře a též přilehlé odkaliště bývalého lomu Silvestr. Roční produkce Elektrárny Tisová je přibližně 1,6 TWh elektrické energie a 1500 TJ tepelné energie. Celkový instalovaný výkon v současné době činí 295,8 MW. [2]

#### 1.4.1 Vyvedení výkonu elektrárny Tisová ETI I, linky 110 kV

Vyvedení elektrického výkonu elektrárny do distribuční sítě je realizováno prostřednictvím rozvodny Sokolov - Vítkov linkami 110 kV. Na Obr. 1.1 je přehledové schéma vyvedení výkonu a napájení vlastní spotřeby elektrárny Tisová ETI I. [3]





přes transformátor 00BBT06 odbočkou jedním z turbogenerátorů TG1 - 3 do kobky 00BBA14. Druhá ze sběren je ve stavu bez napětí. Automatický záskok vybavuje kobka 00BBA26, která zároveň slouží pro záložní napájení ze záskokové části v případě potřeby. Další možností záložního napájení pracovní části společné rozvodny vlastní spotřeby 00BBA, je přívod z rozvodny 65BBA odbočkou z TG5 nebo linky V925 přes transformátor 65BCT53 a reaktor 65BBR do kobky 00BBA40 záložní části a dále pak do 00BBA08 pracovní části. Z pracovní části společné rozvodny 00BBA jsou napájeny hlavní přívody vn rozveden společných provozů. [3]

Záskoková část společné rozvodny 00BBA kobky 00BBA27 - 52 má napájené standardně oba systémy sběren. Jedna sběrna záskokové části společné rozvodny 00BBA je zpravidla napájena přes rozvodnu 65BBA z odbočky TG5 nebo linky V925 přes transformátor 65BCT53 a reaktor 65BBR do kobky 00BBA40. Druhá sběrna záskokové části společné rozvodny 00BBA je zpravidla napájena z linky V926 přes transformátor 00BCT05 a reaktor 00BBR do kobky 00BBA39. Ze záskokové části společné rozvodny 00BBA jsou napájeny záložní přívody blokových rozveden vn, záložní přívody nn a vn rozveden společných provozů, nn rozvodna 61BFA a vn pohony záložních zařízení. [3]

- **Rozvodna 61BBA**

Bloková vn rozvodna 6 kV s jedním systémem sběren je napájena odbočkou z vývodu turbogenerátoru TG1 přes odbočkový transformátor vlastní spotřeby 61BBT07 do skříně hlavního přívodu 61BBA07 nebo záložním přívodem ze společné rozvodny z kobky 00BBA38 do skříně záložního přívodu 61BBA01. Záložní přívod zároveň zajišťuje automatický záskok. Z této rozvodny jsou napájeny vn pohony TG1 a hlavním přívodem nn bloková rozvodna 0,4 kV 61BFA . [3]

- **Rozvodna 62BBA**

Bloková vn rozvodna 6 kV s jedním systémem sběren a podélným dělením je napájena odbočkou z vývodu turbogenerátoru TG2 přes odbočkový transformátor vlastní spotřeby 62BBT08 do skříně hlavního přívodu 62BBA19 nebo záložním přívodem z kobky 00BBA47 do skříně záložního přívodu 62BBA01. Záložní přívod zároveň zajišťuje automatický záskok. Z této rozvodny jsou napájeny vn pohony TG2, K12 a hlavním i záložním přívodem bloková rozvodna nn 0,4 kV 62BFA a rozvodna kompresorové stanice KS FK 62BFK. [3]

- **Rozvodna 63BBA**

Bloková vn rozvodna s jedním systéme sběren a podélným dělením je napájena odbočkou z vývodu turbogenerátoru TG3 přes odbočkový transformátor vlastní spotřeby 63BBT09 do skříně hlavního přívodu 63BBA18 nebo záložním přívodem z kobky 00BBA43 do skříně záložního přívodu 63BBA01. Záložní přívod zároveň zajišťuje automatický záskok.. Z této rozvodny jsou napájeny vn pohony TG3, K11 a hlavním i záložním přívodem blokova rozvodna nn 0,4 kV 63BFA a rozvodna kompresorové stanice KS FK 63BFK. [3]

### 1.4.3 Řídící systém elektrárny

Řídící systém Damatic XD/XDi od firmy Valmet Automation, je distribuovatelný ŘS a je nasazován v elektrárně Tisová od roku 1994. První instalace proběhla na zauhlování v roce 1994 a na ní navazovala instalace při výstavbě fluidních kotlů K11 a K12. Následovala instalace ŘS pro elektrovelín. Dnes je ŘS nasazen v celé lokalitě ETI jako hlavní ŘS, který zajišťuje komunikaci mezi operátory, technologií a zabezpečovacími systémy turbín SAIA, kotlů Trikonex, tkaninových filtrů SIMATIC a elektrických ochran SEL. V současné době probíhá obnova ŘS na K12 a elektrovelínu za modernější systém téže firmy. [2, 4]

### 1.4.4 Fluidní spalování

Snaha spalovat méně kvalitní uhlí s nízkou výhřevností a současně i s různorodými vlastnostmi byla podmětem k vývoji systému, který spočívá ve spalování paliva z nízkým obsahem hořlaviny a setrvání této hořlaviny po poměrně dlouhou dobu v aktivní zóně hoření a tím k dokonalému spalování. To stálo u zrodu fluidního spalování. [5]

V současné době, kdy je kladen především důraz vyrábět elektrickou energii s ohledem na ekologii se prosazují pouze výrobní jednotky, které splňují požadavky „čisté technologie spalování“. U fluidních kotlů je jejich největší výhodou nízkoteplotní spalování při teplotě 850 °C, takto spalované drčené uhlí hrubší frakce společně s prachem potlačuje tvorbu NOx a současně je vázán oxid siřičitý SO<sub>2</sub>, vznikající spalováním síry obsažené v uhlí přímo v ohništi přidáváním mletého vápence. V rovnicích 1.1 a 1.2 je popsána chemická reakce odsíření. Mletý vápence, se v ohništi vlivem tepla nejprve rozloží na:



a takto rozložený vápenec váže síru za vzniku síranu vápenatého (sádry):



V ohništi vzniká ve vzhledu fluidní vrstva - směs popela, uhlí, spalin a vzduchu. Spalování probíhá pomaleji než u práškových kotlů. Fluidní vrstva lépe roznáší teplo a snižuje

se tak teplota v ohništi. Množství popela, který je potřeba k udržení fluidní vrstvy je zajištěno tím, že se popel odlučuje v cyklonu a vrací se zpět přes sifon do ohniště, podle potřeby se popel z vrstvy odpouští. [5]

Fluidní kotle pro svůj provoz potřebují velké ventilátory, které spotřebují velké množství elektrické energie. Ventilátory udržují fluidní vrstvu ve vzhledu. Největší fluidní kotel s výkonem 350 t/h páry v ČR byl uveden do provozu v roce 1995 v elektrárně Tisová. Fluidní kotle se uplatňují hlavně na menších elektrárnách, kde výstavba nákladného odsiřovacího zařízení za kotlem není ekonomicky výhodná. [5]

#### 1.4.5 Fluidní kotel K 11

Atmosférický fluidní kotel s cirkulující vrstvou K11, který spaluje hnědé uhlí ze sokolovské pánve je jedním ze dvou zdrojů páry elektrárny Tisová ETI I. Parametry kotle K11 jsou uvedeny v Tab. 1.1. Fluidní kotel je schopen společně s uhlím spalovat i dřevní štěpku v množství do 20 % tepelného obsahu základního paliva. [6]

Konstrukce kotle navržená společností EVT Stuttgart se štíhlou a vysokou spalovací komorou s výškou 47 m, se vyznačuje dokonalým spalováním. Tím je způsobeno, že nedopal tohoto kotle je velmi nízký. Tvar spalovací komory má pozitivní vliv i na cirkulaci vápence, proto dochází k dokonalému vypálení vápence na  $CaO$  a k dokonalému využití vápna pro odsiřování. Účinnost odsiřování činí 85 - 90 %. Při provozu je nutno velmi přísně hodnotit vzduchovou bilanci kotle, aby bylo spalování účinné. Množství vzduchu přiváděného do kotle je měřeno a vyhodnocováno ŘS v algoritmech regulací. Pro řízený vzduchový režim při plném výkonu fluidního kotle platí rozdělení přiváděného vzduchu dle Tab. 1.2.[6]

Tab. 1.1 Parametry K11 (převzato z [6])

Fluidní kotel s cirkulující vrstvou K11	Jednotky	Hodnoty
Parní výkon fluidního kotle	[t/h]	350
Tepelný výkon fluidního kotle	[MW <sub>i</sub> ]	262,13
Tlak páry	[Mpa]	9,42
Teplota přehřáté páry	[°C]	505
Teplota napájecí vody	[°C]	165
Teplota nasávaného vzduchu	[°C]	25
Rozsah automatického řízení P <sub>jm</sub>	[%]	40 - 100
Minimální výkon bez najížděcího paliva P <sub>jm</sub>	[%]	30
Vlastní spotřeba při P <sub>jm</sub>	[kW/h]	7 157
Účinnost	[%]	91,6
Spotřeba vápence	[kg/h]	8450
Výhřevnost uhlí Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>	[MJ/kg]	9,75 - 12,75
Výhřevnost dřevní štěpky	[MJ/kg]	9,5 - 12
Spotřeba paliva při P <sub>jm</sub> , účinnosti 91,6 % a výhřevnosti Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>	[t/h]	95,5

Tab. 1.2 Vzduchová bilance K11 (převzato z [6])

Vzduchová bilance	Jednotky	Hodnoty
Primární vzduch	[Nm <sup>3</sup> /h]	178 000
Sekundární vzduch	[Nm <sup>3</sup> /h]	142 000
Ostatní vzduchy do kotle	[Nm <sup>3</sup> /h]	63 050
Celkem vzduch do kotle	[Nm <sup>3</sup> /h]	383 050

#### 1.4.6 Hlavní ventilátory K11

- **Hlavní vzduchový ventilátor 11HLB10AN001**

Hlavní vzduchový ventilátor nasává studený vzduch z venku a nebo teplý vzduch z prostoru kotelny a je dimenzován na celé množství spalovacího vzduchu kotle. Výkon hlavního vzduchového ventilátoru je řízen pomocí věnce regulačních lopatek na sání ventilátoru. Vzduch z výtlačku hlavního ventilátoru je zaveden do parního ohříváku vzduchu. [6]

Tab. 1.3 Parametry hlavního vzduchového ventilátoru (převzato z [6])

Ventilátor	Typ	Radiální Rothemühle gII - 120 - ALK
Množství vzduchu	[Nm <sup>3</sup> /s]	132,7
Tlakový rozdíl	[kPa]	17
<b>Motor</b>	Typ	Flender Loher JHRA-560LR-04A
Příkon	[kW]	3000
Otáčky	[ot/min]	1493

- **Ventilátor primárního vzduchu 11HLB02AN001**

Vzduch na výstupu z rotačního ohříváku Ljunström má teplotu cca 160°C a dělí se na sekundární a primární. Množství vzduchu je regulováno pomocí věnce regulačních klapek umístěných v sání ventilátoru. Ventilátor primárního vzduchu slouží ke zvýšení tlaku vzduchu odebíraného z rozdělovacího potrubí vzduchu za Ljungströmem, který vzduch již předeřál na teplotu cca 160°C. Tento vzduch zajišťuje vnos směsi uhlí, popela a vápence nad tryskovým dnem (princip fluidizace). Množství primárního vzduchu představuje cca 50% celkového množství vzduchu přiváděného do kotle. Primární vzduch je regulován podle výkonu kotle, při výkonu pod 50% je množství primárního vzduchu konstantní, aby se udržela fluidizace. [6]

Tab. 1.4 Parametry ventilátoru primárního vzduchu (převzato z [6])

Ventilátor	Typ	Radiální Rothemühle gII - 120 - ALK
Množství vzduchu	[Nm <sup>3</sup> /s]	130,67
Tlakový rozdíl	[kPa]	10,7
<b>Motor</b>	Typ	ČKD 4V182-02HW
Příkon	[kW]	1600
Otáčky	[ot/min]	2983

- **Hlavní recirkulační ventilátor 11HNF02AN001**

Hlavní recirkulace spalin odebíraných před sáním kouřového ventilátoru, jedná se o vyčištěné spaliny bez popílku s obsahem  $O_2$  do 6 %. Slouží pro provoz kotle při sníženém výkonu kotle pod 50 %, aby se mohl fluidní kotel provozovat s přebytkem kyslíku a bylo zajištěno kvalitní spalování. Kromě toho by vysoký přebytek vzduchu mohl ovlivnit zvýšenou tvorbu  $NO_x$ . Při výkonu kotle nad 60 % slouží ventilátor k účinnému způsobu snížení teplot ve fluidním loži pod 850 °C, v případě kdy není účinná regulace teploty pomocí třídičů popela. Recirkulační ventilátor dopravuje spaliny do sání ventilátoru primárního vzduchu, který dopraví směs spalin a vzduchu do trysek hlavního fluidního lože. [6]

Tab. 1.5 Parametry hlavního recirkulačního ventilátoru (převzato z [6])

Ventilátor	Typ	Radiální Rothemühle H IIa - 70 - ALK
Množství vzduchu	[Nm <sup>3</sup> /s]	31,21
Tlakový rozdíl	[kPa]	22,19
<b>Motor</b>	Typ	Drásov ARN560W-2
Příkon	[kW]	900
otáčky	[ot/min]	2975

- **Recirkulační ventilátor 11HNF04AN001**

Menší recirkulační ventilátor spalin dopravuje spaliny do třídičů popela. Spaliny docílují stejný efekt jako v hlavním tryskovém dnu, tedy snižují teplotu ve fluidním loži a navíc je ventilátor v provozu při vysokých teplotách v třídičích popela. [6]

Tab. 1.6 Parametry recirkulačního ventilátoru (převzato z [6])

Ventilátor	Typ	Radiální Rothemühle N III – 40 – ALK
Množství vzduchu	[Nm <sup>3</sup> /s]	10,3
Tlakový rozdíl	[kPa]	25,2
<b>Motor</b>	Typ	Drásov ARN450W-2
Příkon	[kW]	355
Otáčky	[ot/min]	2975

- **Kouřový ventilátor 11HNC10AN001**

Kouřový ventilátor zajišťuje tah spalin celého kotle. Regulace tahu je prováděna regulačním věncem v sání ventilátoru a frekvenčním měničem. Jedná se z pohledu provozu kotle o pohon, který najíždí jako první a jako poslední odstavuje. [6]

Tab. 1.7 Parametry kouřového ventilátoru (převzato z [6])

Ventilátor	Typ	Radiální Rothemühle gII – 177, 5 – ALK
Množství spalin	[m <sup>3</sup> /s]	205
Tlakový rozdíl	[kPa]	5,9
<b>Motor</b>	Typ	Flender Loher AHRA-800MB-06A
Příkon	[kW]	3000
Otáčky	[ot/min]	991

#### 1.4.7 Fluidní kotel K 12

Atmosférický fluidní cirkulující vrstvou kotel K12 spalující sokolovské hnědé uhlí s možností spalovat dřevní štěpku v množství do 20 % tepelného obsahu základního paliva. Parametry kotle jsou uvedeny v Tab. 1.8. K12 je nedílnou součástí technologického procesu výroby elektřiny a tepla ve výrobě ETI I. Konstrukce atmosférického fluidního kotle dle společnosti LURGI se vyznačuje dokonalým spalováním. Dokonalé spalování je umožněno štíhlou a vysokou spalovací komorou s výškou komory 32 m. Stejně jako v případě předešlého kotle K11 je při provozu nutno velmi přísně hodnotit vzduchovou bilanci kotle, aby bylo spalování účinné. Množství vzduchu přiváděného do kotle je měřeno a vyhodnocováno ŘS v algoritmech regulací. Pro řízený vzduchový režim při plném výkonu fluidního kotle platí rozdělení přiváděného vzduchu dle Tab. 1.9. [7]

Tab. 1.8 Technické parametry K12 (převzato z [7])

Fluidní kotel s cirkulující vrstvou K12	Jednotky	Hodnoty
Parní výkon fluidního kotle	[t/h]	350
Tepelný výkon fluidního kotle	[MW <sub>t</sub> ]	262
Tlak páry	[Mpa]	9,42
Teplota přehřáté páry	[°C]	505
Teplota napájecí vody	[°C]	148/165
Teplota nasávaného vzduchu	[°C]	25
Rozsah automatického řízení P <sub>im</sub>	[%]	40 ÷ 100
Minimální výkon bez najížděcího paliva P <sub>im</sub>	[%]	30
Vlastní spotřeba při P <sub>im</sub>	[kW/h]	6286,0
Účinnost	[%]	93,4
Spotřeba vápence	[kg/h]	8450
Výhřevnost uhlí Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>	[MJ/kg]	9,75 - 12,75
Výhřevnost dřevní štěpky	[MJ/kg]	9,5 - 12
Spotřeba paliva při P <sub>im</sub> a účinnosti 92,8 % a výhřevnosti Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>	[t/h]	84,24

Tab. 1.9 Vzduchová bilance K12 (převzato z [7])

Vzduchová bilance	Jednotky	Hodnoty
Primární vzduch	[Nm <sup>3</sup> /h]	145 300
Sekundární vzduch	[Nm <sup>3</sup> /h]	181 950
Ostatní vzduch	[Nm <sup>3</sup> /h]	31 500
Celkem vzduch do kotle	[Nm <sup>3</sup> /h]	358 750

#### 1.4.8 Hlavní ventilátory K12

- **Primární ventilátor 12HLB01AN001**

Radiální vzduchový ventilátor nasává cca 40% vzduchu z hlavního vzduchového potrubí, protlačuje jej přes primární sektor rotačního ohříváku vzduchu a dopravuje primární vzduch pod oba dýzové rošty spalovací komory jako fluidizační vzduch. Výkon ventilátoru je řízen pomocí věnce regulačních lopatek na straně sání ventilátoru. [7]

Tab. 1.10 Parametry primárního ventilátoru (převzato z [7])

Ventilátor	Typ	Radiální Rothemühle g II J - 77,5 - ALK
Množství	[Nm <sup>3</sup> /s]	60,24
Tlakový rozdíl	[kPa]	21,68
<b>Motor</b>	Typ	ČKD Praha 4V 182 - 02 HW
Příkon	[kW]	1600
Otáčky	[ot/min]	2980



- **Sekundární ventilátor 12HLB05AN001**

Radiální vzduchový ventilátor nasává cca 60% vzduchu z hlavního vzduchového potrubí, protlačuje jej přes dvojici sekundárních sektorů rotačního ohříváku vzduchu a dopravuje sekundární vzduch do spalovací komory jako spalovací vzduch. Výkon ventilátoru je řízen pomocí věnce regulačních lopatek na straně sání ventilátoru. [7]

Tab. 1.11 Parametry sekundárního ventilátoru (převzato z [7])

Ventilátor	Typ	Radiální Rothemühle D II C - 95 - ALK
Množství vzduchu	[Nm <sup>3</sup> /s]	82,03
Tlakový rozdíl	[kPa]	17,65
<b>Motor</b>	Typ	LOHER Gmbh JHXA - 500MR - 02A
Příkon	[kW]	2250
Otáčky	[ot/min]	2983

- **Kouřový ventilátor 12HNC01AN001**

Kouřový ventilátor vytváří tah z kotle, což je jedna ze základních podmínek spalování. Kouřový ventilátor je uváděn do provozu jako první a z provozu je odstavován jako poslední. Chod kouřového ventilátoru je podmínkou pro provoz takřka celého kotle. Výkon ventilátoru je řízen pomocí věnce regulačních lopatek na straně sání ventilátoru a frekvenčním měničem. [7]

Tab. 1.12 Parametry kouřového ventilátoru (převzato z [7])

Ventilátor	Typ	Radiální Rothemühle D II C - 200 - ALK
množství spalin	[Nm <sup>3</sup> /s]	229,56
tlakový rozdíl	[kPa]	6,269
<b>Motor</b>	Typ	ČKD Praha 4 V 224 – 064 HW
příkon	[kW]	2000
otáčky	[ot/min]	985

## 2 Pohony ventilátorů napájených z FM

### 2.1 Měníče kmitočtu

Měníče kmitočtu (frekvenční měniče) pracují na principu přeměny napětí a proudu jednoho kmitočtu na napětí a proud kmitočtu jiného. Jejich využití je nejčastěji při řízení rychlosti střídavých strojů s asynchronními a synchronními motory pomocí změny kmitočtu. Při řízení indukčních motorů je tento způsob regulace velmi efektivní a proto je stále zdokonalován. Měníče kmitočtu umožňují rozběh motorů bez proudového nárazu na síť a řízení jejich otáček v požadovaném pásmu. Pro udržení maximálního momentu  $M_m$  je nutné spolu se změnou kmitočtu měnit i hodnotu výstupního napětí. [8]

Měníče kmitočtu dělíme:

- podle počtu fází vstup - výstup
  - jednofázové
  - trojfázové
  - m fázové
- podle způsobu zapojení
  - přímý měnič kmitočtu (cyklokonvertor, maticový měnič )
  - nepřímý měnič kmitočtu (se stejnosměrným meziobvodem) [8]

#### 2.1.1 Nepřímý měnič kmitočtu

Z důvodu využití tohoto druhu měniče v popisovaných aplikacích se budu věnovat pouze popisu nepřímého měniče. Nepřímý měnič kmitočtu je složen v podstatě ze tří propojených částí:

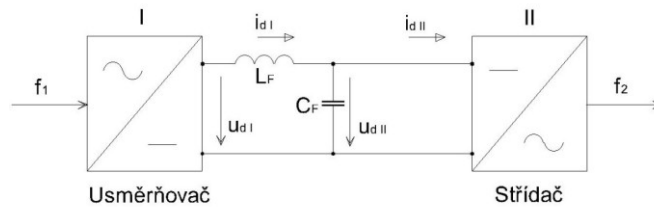
- usměrňovač - vstupní střídavé napětí a střídavý proud o vstupním kmitočtu  $f_1$  usměrní, v mnoha případech je napájen z transformátoru,
- střídač - usměrněné napětí a proud rozstřídá na požadovaný kmitočet  $f_2$ ,
- stejnosměrný obvod - odděluje oba střídavé obvody - vstupní a výstupní.

Tímto uspořádáním lze měnit výstupní kmitočet zcela nezávisle na kmitočtu vstupním. Výkony nepřímých měničů jsou běžné stovky kW. Běžný rozsah výstupních kmitočtů je prakticky od nuly až do stovek Hz. Mezní dosahované výkony jsou v řádu desítek MW a kmitočty dosahují řádově desítky kHz pro využití v elektrotepelné technice. [9]

#### 2.1.2 Nepřímý měnič s napěťovým střídačem

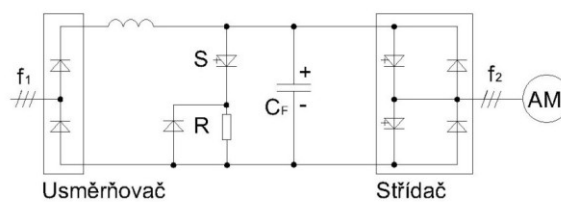
Nepřímý měnič bývá v uspořádání podle Obr. 2.1. Jak bylo popsáno výše je složen

z usměrňovače, střídače a stejnosměrného obvodu. Usměrňovač je v zapojení můstkovém, řízený nebo neřízený, trojfázový nebo jednofázový. Stejnsměrný obvod obsahuje filtrační kondenzátor  $C_F$  s poměrně velkou kapacitou, dosahující velikosti až jednotky mF. Právě tento kondenzátor se z pohledu napájení střídače chová jako napěťový zdroj. Tlumivka  $L_F$  vyhlazuje proud z usměrňovače. U mnoha aplikací tlumivka není součástí měniče z důvodu snížení ceny. Funkci tlumivky potom nahrazuje rozptylová indukčnost napájecího transformátoru. Střídač bývá napěťový s vlastní komutací, trojfázový nebo jednofázový. [9]



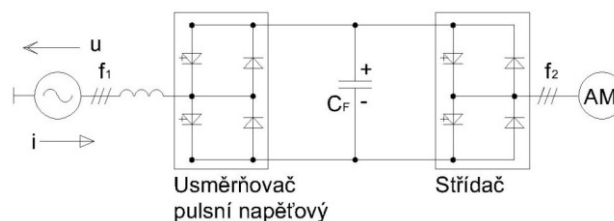
Obr. 2.1 Základní uspořádání měniče kmitočtu s napěťovým meziobvodem- (převzato z [9])

Na Obr. 2.2 je nejjednodušší schéma uspořádání měniče, s diodovým usměrňovacím můstkem. V případě požadavku rekuperace energie ze zátěže střídače takto zapojeného měniče se musí energie mařit v odporu  $R$ . Spínání spínače  $S$  je v tomto případě vhodné odvozovat od hladiny napětí na  $C_F$ . [9]



Obr. 2.2 Nepřímý měnič kmitočtu s diodovým usměrňovačem (převzato z [9])

Další variantou je měnič, který má na vstupu pulsní napěťový usměrňovač. Takto zapojený měnič Obr. 2.3, umožňuje vracet rekuperovanou energii do napájecí sítě a pracuje s maximálním možným účínkem. Proud odebíraný z napájecí sítě je téměř harmonický a ve fázi s napětím. [9]



Obr. 2.3 Nepřímý měnič kmitočtu s pulsním napěťovým usměrňovačem (převzato z [9])

## 2.2 Řízení měničů frekvence, regulace otáček asynchronního motoru

Způsob řízení obvodů střídačů napájení asynchronních motorů je oblastí s dynamickým vývojem, který reaguje na vývoj polovodičových součástek a na vývoj systémů řízení na principu mikropočítačů, mikrokontrolérů a signálových procesorů (DSP).

Řízení měničů lze rozdělit na:

- skalární řízení
- vektorové řízení
- přímé řízení momentu [8]

### 2.2.1 Skalární řízení

Skalární řízení je způsob řízení, který je využíván u pohonů jednoduchých aplikací, kde nejsou kladeny vysoké nároky na dynamické vlastnosti pohonu a nebo tam, kde nedochází ke změně momentu skokem. Princip vychází z rovnice 2.1.

$$\bar{u}_s = R_s \bar{i}_s + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} + j\omega_s \bar{\Psi}_s \quad (2.1)$$

Vzhledem k použití regulace s pomalými změnami lze výraz  $\frac{d\bar{\Psi}_s}{dt}$  zanedbat a dostáváme rovnici 2.2.

$$\bar{u}_s = R_s \bar{i}_s + j\omega_s \bar{\Psi}_s \quad (2.2)$$

Pro použití v oblasti rychlostí  $\omega > 0,1 \omega_n$  lze zanedbat i úbytky napětí na odporech a dostáváme rovnici 2.3.

$$\bar{u}_s = j\omega_s \bar{\Psi}_s \quad (2.3)$$

Při podmínce konstantního toku  $\bar{\Psi}_s$ , což je princip skalárního řízení vychází rovnice 2.4, napětí je přímo úměrné kmitočtu.

$$\frac{u_s}{f_s} = k \quad (2.4)$$

Pro výpočet maximálního moment  $M_m$  platí rovnice 2.5.

$$M_m = k \cdot \frac{u_s^2}{f_s^2} \quad (2.5)$$

Pro oblast řízení  $\omega < \omega_n$  lze podmínku pro plný magnetický tok splnit. Protože však každý motor má své maximální napětí, které je obvykle i napětím jmenovitým, lze napětí zvyšovat pouze do hodnoty jmenovitého napětí. Pro oblast řízení  $\omega > \omega_n$  platí, že pokud budeme dále zvyšovat frekvenci a napětí nikoliv bude klesat magnetický tok, a tím se motor bude odbuzovat. Maximální moment  $M_m$  je úměrný druhé mocnině napětí a tím i druhé mocnině magnetického toku, proto při odbuzování tento moment klesá. Z toho vyplývá frekvenční omezení pro oblast použití.[8]

### 2.2.2 Vektorové řízení

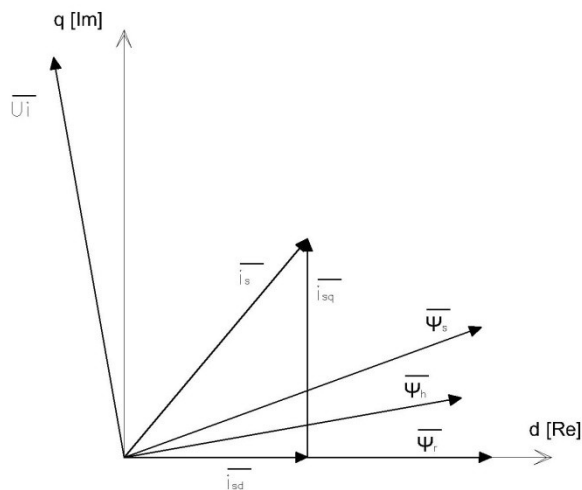
Dalším ze způsobů řízení, je vektorové řízení. Vektorové řízení lze použít pro pohony dynamicky náročných aplikací s asynchronními motory. Princip vektorového řízení spočívá v regulování statorového proudu rozděleného na dvě složky. Princip vychází z úplného fázorového diagramu náhradního schéma, kdy jsou zavedeny nové osy souřadného systému d, q a vzniká fázorový diagram s orientací na tok rotoru  $\overline{\Psi}_r$  viz Obr. 2.4, kde lze využít toho, že fázor rotorového proudu  $\overline{i}_r$  je kolmý na fázor rotorového magnetického toku  $\overline{\Psi}_r$ . Reálná osa je orientována na magnetický tok rotoru  $\overline{\Psi}_r$ . Vektor toku rotoru  $\overline{\Psi}_r$  je vybuzen pouze podélnou složkou  $\overline{i}_{sd}$  a moment je dán pouze příčnou složkou  $\overline{i}_{sq}$  a platí výraz 2.6

$$\overline{i}_s = \overline{i}_{sd} + j\overline{i}_{sq} \quad (2.6)$$

Pro moment M, platí rovnice 2.7.

$$M = k_M \cdot |\overline{\Psi}_r| \cdot \overline{i}_{sq} \quad (2.7)$$

[10]



Obr. 2.4 Fázorový diagram vektorového řízení (převzato z [10])

### 2.2.3 DTC přímé řízení točivého momentu

DTC (Direct Torque Control) přímé řízení momentu je nejmladší způsob řízení otáček asynchronních strojů. Metoda vychází z myšlenky, kdy se reguluje přímo moment v pásmu z určitou tolerancí a tím i průběh vektoru magnetického toku po zadané křivce. Obě veličiny jsou zpracovány v matematickém modelu asynchronního motoru, kde dochází také k jejich vyhodnocování. Měření i výpočty jsou vyhodnocovány velmi rychle až 40 000 krát během jedné sekundy, takže řízení DTC „ví“ přesně, jak se chová hřídel motoru. Rychlost výpočtů je důležitá, aby bylo možné vždy vyhodnotit, zda je třeba moment zvětšit či zmenšit. Před

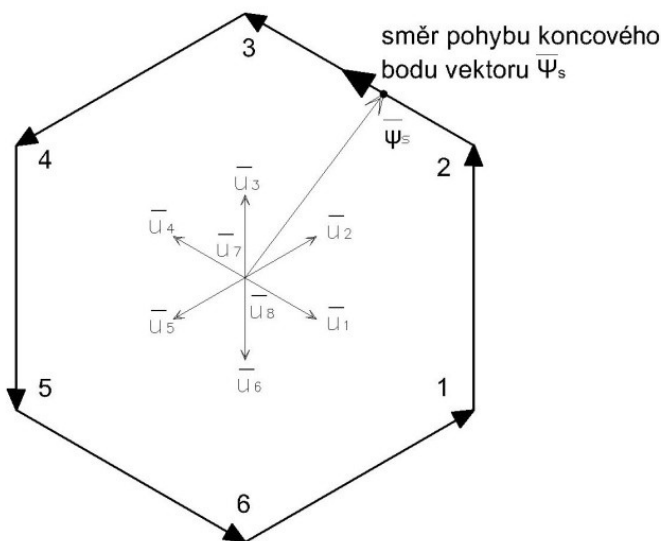
každým regulačním taktem je nutno rozhodnout jakým způsobem je nutné spínat střídač, aby se vektor toku pohyboval požadovaným směrem. Z napěťové rovnice pro stator ve stojícím souřadném systému vychází rovnice 2.8.

$$\bar{u}_s = R_s \cdot \bar{i}_s + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} \Rightarrow \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} = \bar{u}_s - R_s \cdot \bar{i}_s \Rightarrow \bar{\Psi}_s = \int (\bar{u}_s - R_s \cdot \bar{i}_s) dt \quad (2.8)$$

Zanedbáním statorového odporu dostaneme rovnici 2.9.

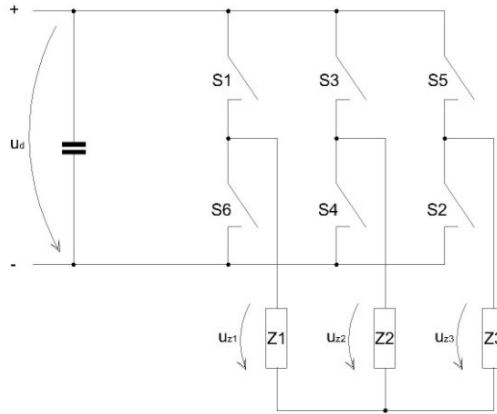
$$\bar{\Psi}_s = \int \bar{u}_s dt \quad (2.9)$$

Pokud zanedbáme vliv statorového odporu vychází nám, že změna vektoru spřaženého magnetického toku  $\bar{\Psi}_s$  má směr vektoru napětí  $\bar{u}_s$ . Nejjednodušší trajektorie koncového bodu vektoru  $\bar{\Psi}_s$  je znázorněna na Obr. 2.5. Pohyb bodu po šestiúhelníku je určen vhodnou posloupností dvouhodnotového napěťového střídače. [8,11]



Obr. 2.5 Pohyb vektoru po trajektorii (převzato z [8])

Pomocí šesti spínačů lze popsat principiálně činnost měniče. Náhradní schéma měniče je znázorněno na Obr. 2.6. Anodová komutační skupinu je tvořena spínači značenými lichými čísli, katodová skupina je tvořena spínači značenými sudými čísli. Pro vysvětlení činnosti je použit diagram kde jsou zapnuty vždy tři spínače za podmínky, že nesmí dojít k sepnutí spínačů jedné větve nad sebou, tato kombinace by vedla ke zkratu. Z této podmínky nám vychází osm kombinací sepnutí spínačů. Šest s nenulovým napětím a dvě s nulovým napětím. V Tab. 2.1 jsou popsány všechny kombinace i s hodnotami napětí na zátěži. [8]



Obr. 2.6 Náhradní schéma spínání měniče pomocí spínačů (převzato z [8])

Tab. 2.1 kombinace sepnutí spínačů a napětí na zátěž (převzato z [8])

		kombinace sepnutí							
		aktivní vektor						nulový vektor	
		1	2	3	4	5	6	7	8
spínač	S1	x	x	x				x	
	S2		x	x	x				x
	S3			x	x	x		x	
	S4				x	x	x		x
	S5	x				x	x	x	
	S6	x	x				x		x
napětí $u_{zi}/u_d$	$u_{z1}$	1/3	2/3	1/3	-1/3	-2/3	-1/3	0	0
	$u_{z2}$	-2/3	-1/3	1/3	2/3	1/3	-1/3	0	0
	$u_{z3}$	1/3	-1/3	-2/3	-1/3	1/3	2/3	0	0

Schéma obecného regulačního obvodu pro přímé řízení DTC je na obr. 2.7. Z výpočtu rozdílu skutečného a požadovaného momentu pomocí dvouhodnotového regulátoru je řízen moment v tolerančním pásmu. Řízení hlídá překročení horní meze žádaného momentu, když k tomu dojde přejde do režimu, který vyvolá jeho pokles. Stav kdy moment klesá je udržován dokud moment neklesne na dolní mez požadovaného momentu, jakmile jí dosáhne, řízení měniče se přepne do stavu kdy je tok takový, aby umožnil opět nárůst momentu. Moment motoru a magnetický tok jsou vypočítávány ze změřených proudů a z vyhodnoceného napětí motoru.[8]





Frekvenční měniče je napájen přes trojvinutový suchý transformátor REISBLOCK firmy ABB s převodem 6/1,9/1,9 kV a spojením Dd0yn1. [12]

Chlazení je zajištěno dvěma chladiči voda-voda a voda - vzduch. Ve vnitřním okruhu je využita deionizovaná voda, která se upravuje přímo v zařízení pro úpravu chladicí vody, které je součástí frekvenčního měniče. Chlazení vody zajišťuje primární okruh chlazení kotle. [12]

Regulaci kouřového ventilátoru obstarává PID regulátor ŘS DAMATIC. Regulace je řešena jako kombinovaná, dvojúrovňová. Regulace při malých regulačních odchylkách se provádí změnou otáček. Regulace při velkých regulačních odchylkách se provádí současně pomocí otáček motoru společně s regulací regulačním věncem. Jde především o velkou dynamiku při velkých výkonových změnách kotle. Dalším důvodem tohoto řešení je zachování původní regulace při provozu na by-pass. Vzhledem k tomu že je regulační věnec v provozu i při chodu motoru přes frekvenční měnič je zajištěna jeho funkčnost při provozu na by-pass. Toto řešení pozitivně ovlivňuje spolehlivost celé soustavy. [12]

### **2.3.1 Motor Flender Loher AHRA – 800MB – 06A**

Z důvodu havárie byl původní motor Škoda 2MJ 540630 K/6 v roce 2004 odstaven z provozu. Poškození motoru bylo velkého rozsahu a bylo tedy rozhodnuto o jeho výměně. Příčinou havárie bylo mechanické poškození izolace čel vinutí od cizího tělesa a tím následně k poškození vinutí vlivem zkratu. Jelikož nebylo možno ihned zajistit z rezerv elektrárny jiný odpovídající motor byl na dočasnou dobu zapůjčen náhradí motor z jiné elektrárny. [4]

Nově dodaný motor Flender Loher AHRA - 800MB - 06A je osazen na pozici pohonu kouřového ventilátoru od roku 2005. Jedná se o horizontálně usazený asynchronní motor s kotvou nakrátko. Kostra statoru a ložiskové štíty jsou z oceli. Kryt ventilátoru je vyroben z ocelového plechu. Vnější ventilátor nasává chladicí vzduch otvory v krytu ventilátoru a žene je po povrchu nebo chladícími trubkami kostry statoru. U chlazení pomocí chladících trubek podporuje navíc odvod tepla uzavřený okruh vzduchu uvnitř motoru. Povrch kostry statoru je s chladícími trubkami a zabudovanou svorkovnicí. Izolace vinutí statoru je v teplotní třídě F dle EN 60034 - 1. Kvalitní lakované vodiče, vhodné povrchové izolační látky a způsob impregnace zaručují vysokou mechanickou a elektrickou pevnost vinutí spojenou s vysokou užitnou hodnotou a dlouhou dobou životnosti. Rotorová klec je vyrobená pájením natvrdo. Motor je vybaven antikondenzačním vyhříváním, které smí být uvedeno do provozu pouze při odstaveném stroji. [13]

Tab. 2.2 Parametry motoru Flender Loher AHRA – 800MB – 06A (převzato z [13])

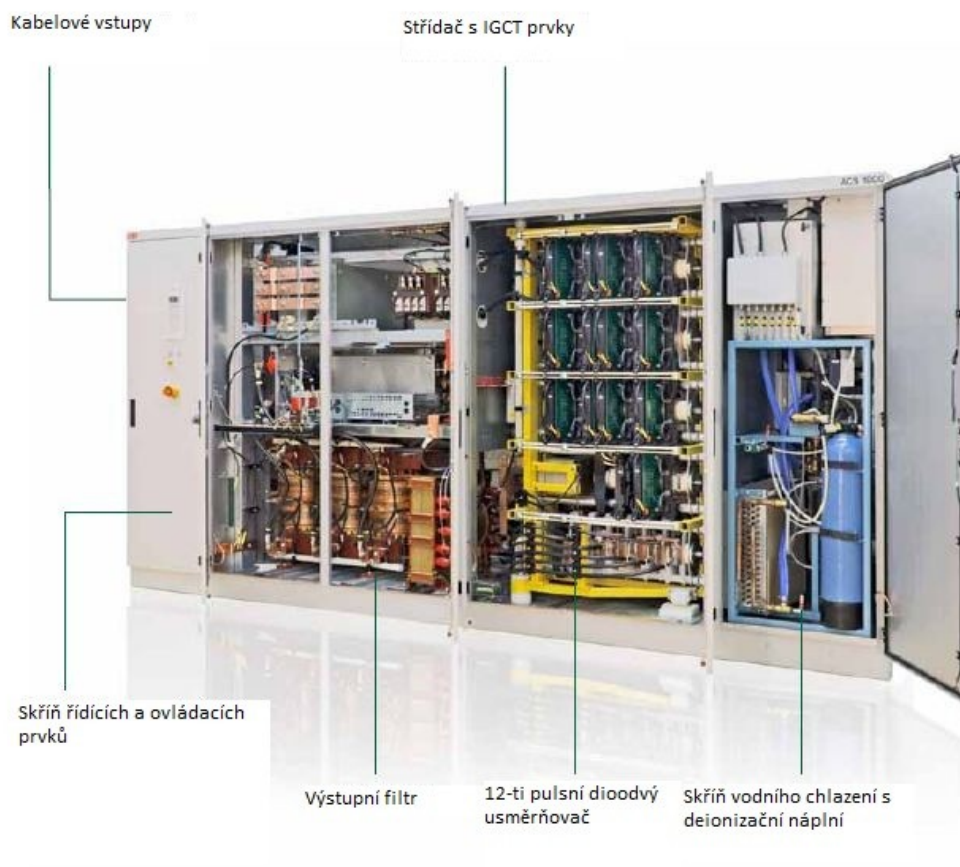
Flender Loher - AHRA - 06A	Jednotky	Hodnoty
Počet fází	[-]	3
Jmenovitý výkon P	[kW]	3 000
Jmenovité napětí U	[kV]	6
Jmenovitý proud I	[A]	344
Rozběhový proud	[%]	580
Moment setrvačnosti	[kg m <sup>2</sup> ]	400
Účinnost ( P 100 - 75 - 50 % )	[%]	96,7/ 96,6/ 95,9
Účinitel cos φ ( P 100 - 75 - 50 % )	[-]	0,87/ 0,85/ 0,78
Počet pólpárů	[-]	6
Jmenovité otáčky	[ot . min <sup>-1</sup> ]	991
Frekvence	[Hz]	50
Krytí		IP 54
Tvar		IM B3
Chlazení		IC 511
Zapojení vinutí		Y
Rok výroby		2005
Hmotnost [kg]		17 000

### 2.3.2 Frekvenční měnič ABB, ACS 1000, IGCT

Měnič ACS 1000 je zařízení ze standardní řady měničů v nabídce společnosti ABB. Jedná se o vysokonapěťový měnič určený k napájení motorů ventilátorů, kompresorů, čerpadel a dopravníků vn napětím 2,3 kV, 3,3 kV a 4,0 kV. Výkonový rozsah měničů pokrývá řadu od 315 kW do 5 000 kW. Měniče ACS 1000 se vyznačují dvěma významnými technologiemi a to, přímé řízení točivého momentu DTC, a polovodičové prvky IGCT. Měnič vybavený těmito technologiemi se vyznačuje maximální spolehlivostí. [14]

ACS 1000 obsahuje na vstupu 12-ti pulsní neřízený usměrňovač, toto zapojení potlačuje vliv 5. a 7. harmonické. Na výstupní straně je tvořen tříúrovňovým střídačem, využívající střední bod. Střední bod je vytvořen středem filtračního kondenzátoru stejnosměrného meziobvodu. Při takovém zapojení je postačující nižší modulační frekvence a zároveň napěťové namáhání výkonových prvků je poloviční v porovnání s dvojúrovňovým zapojením. Ve výsledku je při napájení 2 x 1,9 kV, výstupní napětí 3,3 kV. Měnič ACS 1000 se vyznačuje sinusovým průběhem výstupního napětí a proudu, čehož je dosaženo pomocí sinusového filtru a patří k standardní výbavě. Motor je tedy napájen v podstatě napětím s kvalitnějším průběhem než při napájení ze sítě, THD<sub>u</sub> je menší než 1%. To má pozitivní vliv

při dimenzování pohonu a není nutné počítat z rezervou pro přidavné ztráty. V takto zapojeném zařízení nelze zamezit vzniku ložiskových proudů, proto musí být motor vybaven jedním izolovaným ložiskem. Vzhledem k sinusovému výstupnímu napětí se nevytváří na hřídeli motoru pulzační momenty. [15]



Obr. 2.8 ACS 1000 (převzato z [16])

### 2.3.2.1 IGCT

Tyristory IGCT od ABB jsou vyráběny v pastilkových pouzdrech. Součástky takové konstrukce umožňují snadné spojení s chladičem a navíc slouží jako elektrické kontakty propojené s vývody tyristoru. Při použití pastilkových součástek závisí elektrické a tepelné parametry na přítlačné síle. [17]

Struktura polovodičového prvku IGCT vychází z podstatného zlepšení klasické struktury GTO a integrace zpětné diody. Jde o tyristor GTO s velmi rychlým spínáním až do kmitočtu 40 kHz. Tyristor IGCT je řízený integrovanou řídicí elektrodou. Jedná se o modul, který je složen z tyristorové struktury IGCT a řídicí elektroniky. Při takto konstruované součástce

dochází k maximálnímu potlačení parazitních vlivů. IGCT modul nemá integrovaný napájecí zdroj. Bývá napájen ze zdroje GUSP (Gate Unit Supply Power), jeho výkon bývá v rozsahu 10 až 100 W. Tyristory IGCT jsou optimalizovány pro nízké ztráty ve vedení, pro spínací frekvence většiny aplikací okolo 500 Hz. [17]



Obr. 2.9 IGCT od ABB (převzato z [18])

## 2.4 Pohon kouřového ventilátoru K12

V elektrárně Tisová proběhla v roce 2007 rekonstrukce pohonu kouřového ventilátoru, který byl původně regulován pomocí natáčení klapky regulačního věnce. Tuto rekonstrukci realizovala firma ČKD FINERGIS, a.s. Stejně jako v případě fluidního kotle K11 byla rekonstrukce provedena za použití původního motoru a původního vývodu 6 kV 50 Hz z rozvodny 62BBA doplněného frekvenčním měničem. Frekvenční měnič Robicon Perfect Harmony je blokově uspořádán společně s napájecím transformátorem a pomocnou rozvodnou 62BPY. Veškeré zařízení je umístěno v budově filtrové stavby. Pomocná rozvodna skříňového typu EFACEC řady Normafix se skládá ze tří polí, které slouží v případě poruchy FM k provozu motoru na by-pass, dále tato rozvodna slouží v případě údržby FM k jeho zajištění. FM je vzduchem chlazený. Chlazení obstarávají dva ventilátory ve stropě skříně. Vzduch přiváděný do prostoru rozvodny je veden dvěma potrubími, které přivádějí chladicí vzduch z venkovního prostoru. Potrubí je vybaveno textilními filtry a hlídáním tlakové

diference pro signalizaci zanesených filtrů. Protože pro chod kotle je velmi důležitý kouřový ventilátor, který slouží pro odtah spalin ze spalovací komory kotle a tím udržuje potřebný podtlak ve spalovací komoře, je spolehlivost soustrojí motor - ventilátor - regulační ústrojí vyžadována na maximální úrovni. [19]

Pohon ventilátoru je řešen asynchronním motorem s kotvou nakrátko. Původní regulace množství nasávaného vzduchu byla aerodynamická, regulačními lopatkami tzv. regulační věnec. Tato regulace je dostatečně rychlá a citlivá, je však ztrátová a proto byl pohon doplněn frekvenčním měničem, který umožňuje podstatně výhodnější regulaci podtlaku změnou otáček ventilátoru. [19]

S ohledem na zajištění vyšší spolehlivosti pohonu obsahuje konfigurace napájení motoru přes měnič také poloautomatický by-pass, v případě poruchy FM dojde k přejetí na tento by-pass a regulaci podtlaku zajišťuje regulační věnec. Zpětné přejetí motoru na FM vyžaduje krátkodobé odstavení kouřového ventilátoru a tudíž odstavení kotle z provozu. [19]

#### **2.4.1 Motor ČKD 4V224 – 06HW**

Jedná se o horizontálně usazený asynchronní motor s kotvou nakrátko, vzduchem chlazený s vodním chladičem pro pohon kouřového ventilátoru. Stroj skříňového typu se svařovanou konstrukcí. Skříň je upevněna k podstavci pomocí patek. Stator je složen z dynamových plechů a zavřen do samonosné konstrukce tvořené stahovacími deskami a trámci. Vinutí statoru je uloženo v drážkách statorových plechů a je z mědi a je izolováno v tepelné třídě F. Čelo vinutí je zpevněno bandážovými kruhy. Statorové vinutí je vyvedeno na svorkovnici přístupnou po odšroubování víka v horním krytu. Rotor je tvořen hřídelem a navařenými žebry na kterých je uloženo jeho rotoru. Na žebrech jsou připevněny dva radiální ventilátory vnitřního ventilačního obvodu. Vinutí rotoru je tyčové a spojené kruhy nakrátko (vírová klec). Tyč - mosaz a kruhy na nakrátko jsou z elektrovedné mědi. Motor je vybaven válečkovými ložisky. Přední ložisko je izolované. Vzduchová mezera se nastavuje ukládáním podkládacích plechů mezi patky jeho statoru a vany. Chlazení stroje je nepřímé ICW37A71 s chladičem voda – vzduch. Vnitřní uzavřený oběh vzduchu je zajišťován dvěma radiálními ventilátory a ventilačním účinkem rotoru. Voda slouží jako sekundární chladivo. Motor je vybaven antikondenzačním zařízením, jedná se o čtyři topná tělesa 500 W, 240 V. Toto zařízení nesmí být v provozu při chodu motoru. [20]

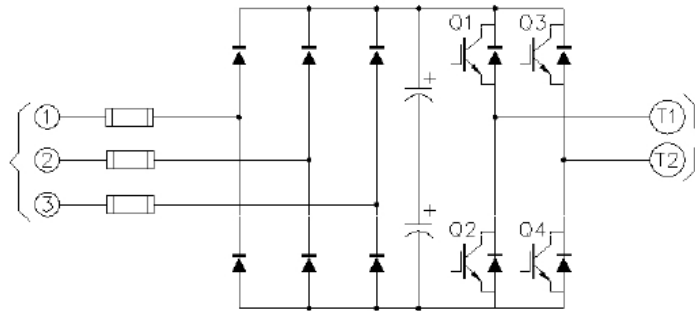
Tab. 2.3 Parametry motoru ČKD 4V224 – 06HW (převzato z [20, 21])

ČKD 4V224 – 06HW	Jednotky	Hodnoty
Počet fází	[-]	3
Jmenovitý výkon P	[kW]	2 000
Jmenovité napětí U	[kV]	6
Jmenovitý proud I	[A]	222
Rozběhový proud	[A]	1120
Moment setrvačnosti	[kg . m <sup>2</sup> ]	212
Účinnost (100 %)	[%]	95,5 %
Účinitel cos φ	[-]	0,90
Jmenovité otáčky	[ot . min <sup>-1</sup> ]	985
Jmenovitá frekvence	[Hz]	50
Krytí		IP 54
Tvar		IM 1001
Chlazení		ICW 37 A 71
Zapojení vinutí		YY
Rok výroby		1997
Hmotnost [kg]		9 295

#### 2.4.2 Frekvenční měnič Siemens, Robicon Perfect Harmony

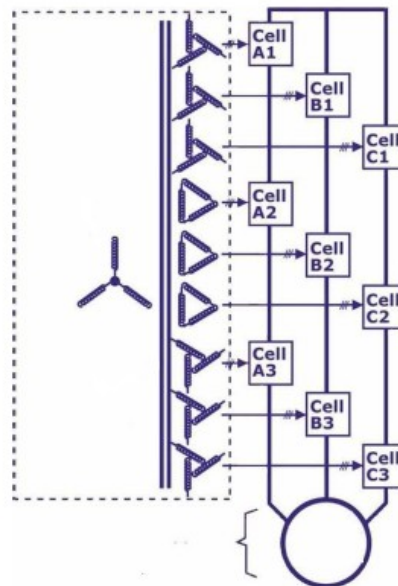
Vysokonapěťové měniče řady Robicon Perfect Harmony se vyrábějí řadách s výkony 300 - 31 000 kVA a výstupním napětí 2,3 - 13,8 kV, ve skříňovém provedení včetně vstupního transformátoru. Chlazení lze volit vodní nebo vzduchové. Měnič je určen pro pohony čerpadel, ventilátorů v průmyslu a energetice. Základem této koncepce je multipulsní šířková modulace (Multi-level PWM) s použitím nízkonapěťových buněk IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) řazených sériově. Unikátní patentovaná konstrukce měnič umožňuje provoz i při výpadku výkonového prvku, který je do cca 450 ms přepojen na by-pass a lze pokračovat v provozu bez přerušení procesu. Použitím vstupního transformátoru s konzervativním dimenzováním ss meziobvodu měniče je rovněž dosaženo velmi vysoké odolnosti vůči nestabilitám napájecího napětí. [22]

Základní část měniče je tzv. výkonová buňka (Power-Cell) na Obr. 2.10. Ta je tvořena nízkonapěťovými spínacími prvky IGBT a jedná se v podstatě o samostatný frekvenční měnič se stejnosměrným meziobvodem. [23]



Obr. 2.10 Výkonová buňka Power Cell (převzato z [23])

Podle požadavku na velikost výstupního napětí je měnič složen z do série zapojených výkonových buněk jak je znázorněno na Obr. 2.11. Spínání výkonových buněk řídí software v takové posloupnosti, aby ve výsledku bylo dosaženo víceúrovňového spínání s výsledným sinusovým průběhem. Tranzistory střídače jsou spínány s frekvencí v rozmezí 400 - 600 Hz. Nízká frekvence spínání pozitivně ovlivňuje spínací ztráty. Víceúrovňová PWM modulace umožňuje vysokou efektivní výstupní frekvenci při nízkých spínacích frekvencích na jednotlivých prvcích. Výstupní napětí a proud jsou téměř harmonické. [23]

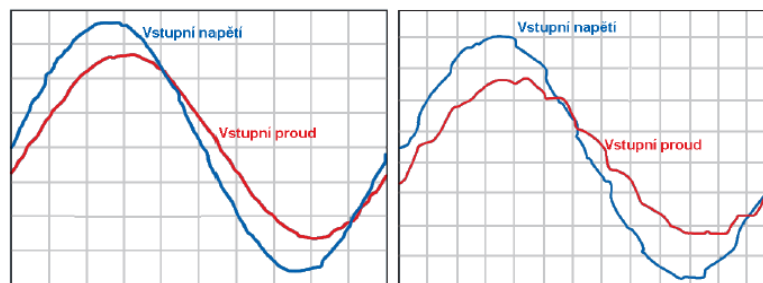


Obr. 2.11 18-ti pulzní zapojení měniče Robicon Perfect Harmony (převzato z [23])

Měnič umožňuje napájet bez použití filtru i původní motory určené pro napájení ze sítě frekvence 50 Hz. Průběh výstupního proudu měniče má vliv na to, že nevznikají pulzační momenty, které mohou být příčinou zvýšeného mechanického namáhání poháněného zařízení. Kvalitní průběhy proudu a napětí umožňují použít kabel měnič - motor téměř bez omezení. Modulárnost této technologie umožňuje vytvoření téměř libovolného napětí, aniž by bylo nutno použít zvyšovací transformátor. Příkladem je frekvenční měnič určený pro



napájení napětím 6 kV jako v případě elektrárny Tisová. Při použití měniče Robicon Perfect Harmony nejsou kladeny vysoké nároky na izolaci motoru. Omezením velikosti spínaného napětí a napájení z transformátoru je eliminován vznik souhlasného napětí. Vznik ložiskových proudů způsobených měničem je omezen na zanedbatelnou hranici a není potřebné mít motor vybavený izolovaným ložiskem. Dalším zásadním pozitivním efektem tohoto řešení je způsob napájení, který výrazně omezuje harmonické zkreslení napájecí sítě. Toho je dosaženo použitím speciálního transformátoru a sériového řazení výkonových buněk. Zapojení vstupního usměrňovače je takto vždy minimálně 18 pulzní. Průběhy elektrických veličin na vstupu měniče v porovnání s 12-ti pulzním zapojení zobrazuje Obr. 2.12. Zkreslení  $THD_u$  je u 18-ti pulzního zapojení menší než 3 % a zkreslení  $THD_i$  menší než 5 %. 12-ti pulzní zapojení při stejných podmínkách vykazuje zkreslení  $THD_u$  na úrovni 5,9 % a zkreslení  $THD_i$  8,8 %. Počet pulsů souvisí s počtem použitých buněk zapojených v 1 fázi, pak při 6 kV na výstupu, kde je 6 buněk v sérii, je napájení 36-ti pulzní. Při 36-ti pulzním napájení je činitel celkového harmonického zkreslení napětí  $THD_u$  nižší než 1 %. [23]



Obr. 2.12 Průběh veličin na vstupu měniče, vlevo 18-ti pulzní Robicon Perfect Harmony, vpravo 12-ti pulzní zapojení (převzato z [23])

#### 2.4.2.1 IGBT

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) – bipolární tranzistor s izolovaným hradlem. Jde o polovodičovou součástku, která integruje v jedné součástce vlastnosti bipolárních a unipolárních tranzistorů. Zatížení proudové i napěťové je určeno bipolární částí, říditelnost pak unipolární částí. Z toho vychází výhoda této součástky a to je řízení, které obstarává bipolární část tranzistoru a je tedy prováděno nevýkonovým napěťovým signálem. V sepnutém stavu je vstupu téměř nekonečný odpor řídicí elektrody a malý úbytek napětí na výstupu. V současnosti jsou vyráběny IGBT tranzistory až pro napětí  $U_{ce}$  6,5 kV a proudy  $I_c$  1500 A. Spojením s nízkou spínací energií a velmi dobrými dynamickými vlastnostmi nacházejí tyto součástky ve výkonové elektronice velmi široké uplatnění. [8]



### 3 Vliv frekvenčních měničů na úsporu elektrické energie

K vyhodnocení přínosu frekvenčního měniče na snížení vlastní spotřeby jsem přistoupil na základě dat získaných z provozních záznamů [24]. Data, která byla zpracována jsou z období let 2011 - 2013. Toto období je dostatečně dlouhé, aby bylo možno vyhodnotit provoz frekvenčního měniče v reálných podmínkách provozu. Data jsou v měsíčních intervalech zpracována v tabulkách grafech v přílohách č. 1 - 4. Pro K11 příloha č.1 Zpracování dat provozních záznamů a příloha č.2 Graf – provoz zařízení K11. Pro K12 příloha č.3 Zpracování dat provozních záznamů a příloha č.4 Graf – provoz zařízení K12. Oba grafy příloha č. 2 a 4 názorně ukazují jaký má frekvenční měnič vliv na spotřebu elektrické energie pokud je měnič v provozu. Pro zpracování tabulek v příloze č. 1 a příloze č. 2 jsem vycházel z množství spotřebované elektrické energie pohonem kouřového ventilátoru  $E_{KV}$  a doby jeho provozu přes frekvenční měnič nebo by-pass, informace o množství vyrobené páry  $M_p$  a doby provozu kotle K11 a K12 v daném měsíci. Z těchto hodnot byly vypočtené průměrné hodnoty parního výkonu  $Q_{pp}$  a průměrného příkonu pohonu kouřového ventilátoru  $P_{KV}$  podle typu provozu.  $P_{KV,FM100}$  (provoz pohonu přes měnič),  $P_{KV,FM0}$  (provoz pohonu přes by-pass) a  $P_{KV,KOM}$  (provoz pohonu v kombinovaném režimu přes měnič i by-pass) z důvodu poruchy frekvenčního měniče a nebo pomocné rozvodny, která zajišťuje přepínání FM - by-pass. Z poměru dní provozu frekvenčního měniče ku provozu pohonu kouřového ventilátoru, bylo stanoveno procento využití v daném měsíci. Z hodnot  $P_{KV,FM0}$  a  $P_{KV,FM100}$  za celé období byly určeny průměrné hodnoty příkonu, které jsem použil k určení hodnot maximální spotřeby elektrické energie kouřového ventilátoru  $E_{KV,FM0}$  (provoz pohonu bez měniče) a minimální spotřeby pohonu kouřového ventilátoru  $E_{KV,FM100}$  (trvalý provoz pohonu s měničem) za celý rok. Z hodnoty  $E_{KV,FM0}$  a skutečné spotřebované elektrické energie  $E_{KV}$  byla stanovena hodnota  $\Delta E_{KV}$  uspořené elektrické energie za rok. V Tab. 3.1 pro K11 a Tab. 3.2 pro K12 jsou hodnoty vypočtených a skutečně odebraných spotřeb porovnány s výrobou elektrické energie  $E_{EI}$  a  $E_{EIV}$  vlastní spotřebou elektrické energie elektrárny. Dále byla určena velikost vlastní spotřeby pokud by byl pohon provozován bez frekvenčního měniče  $E_{EIV,FM0}$ . Z těchto hodnot bylo určeno snížení vlastní spotřeby v jednotlivých letech a k průměrnému snížení za celé období. Pro jednotlivé kotle byly hodnoty zpracovány samostatně a jsou v následujících kapitolách.

### 3.1 Vliv frekvenčního měniče K11 na spotřebu elektrické energie

V Tab. 3.1 jsou zpracovány naměřené a vypočtené hodnoty popisované v úvodu třetí kapitoly pojednávající o postupu vyhodnocení dat. Pokud vycházím z ceny elektrické energie 1 000,- Kč za 1 MWh, je cena za spotřebovanou elektrickou energii provozu KV při využití frekvenčního měniče na 85,15 % ve výši 29 380 000,- Kč za tři roky, měsíčně to činí 816 111,- Kč. Potom odhadnutá finanční úspora je 16 565 000 Kč což činí 460 139,- Kč měsíčně. Tato úspora je důvodem pohon provozovat i nadále přes frekvenční měnič. Nutno podotknout, že úspora elektrické energie za celé období je v průměru 36,18 %, a významně se podílí na snížení vlastní spotřeby celé elektrárny o 0,41 %.

Tab. 3.1 Vliv pohonu kouřového ventilátoru K11 na vlastní spotřebu ETI

		K11			
Veličina \ Období		2011	2012	2013	Celkem
Výroba $E_{EI}$	[MWh]	1 372 534	1 356 247	1 339 326	4 068 107
Vlastní spotřeba $E_{EIV}$	[MWh]	172 173	144 879	156 430	473 482
Vlastní spotřeba $E_{EIV}$	[%]	12,54	10,68	11,68	11,64
Vlastní spotřeba $E_{EIV,FM0}$	[MWh]	177 673	150 814	161 651	490 138
Vlastní spotřeba $E_{EIV,FM0}$	[%]	12,94	11,12	12,07	12,05
Snížení vlastní sp. $\Delta E_{EIV}$	[%]	0,40	0,44	0,39	0,41
$E_{KV}$	[MWh]	10 930	7 827	10 623	29 380
$E_{KV,FM100}$	[MWh]	9 685	8 113	9 339	27 137
$E_{KV,FM0}$	[MWh]	16 430	13 763	15 843	46 036
$\Delta E_{KV}$	[MWh]	5 500	5 935	5 221	16 656
$\Delta E_{KV}$	[%]	33,48	43,13	32,95	36,18
$M_p$	[t]	1 923 955	1 496 077	1 732 735	5 152 767
Provoz KV	[den]	308	258	297	863
Provoz $KV_{FM100}$	[den]	238	258	246	742
Provoz $KV_{FM0}$	[den]	70	0	51	121
Využití FM	[%]	77,27	100,00	80,41	85,15
Poruchové události	[-]	4	0	2	6

### 3.2 Vliv frekvenčního měniče K12 na spotřebu elektrické energie

V Tab. 3.2 jsou zpracovány naměřené a vypočtené hodnoty popsány v úvodu třetí kapitoly pojednávající o postupu vyhodnocení dat. Stejně jako v předchozím případě pro K11, vycházím z ceny elektrické energie 1 000,- Kč za 1 MWh. Cena za spotřebovanou elektrickou energii provozu KV je při využití frekvenčního měniče na 63,44 % vypočtena ve výši 21 812 000,- Kč za tři roky, měsíčně to je 605 889,- Kč. Odhadnutá finanční úspora je

7 270 000 Kč za tři roky, což v tomto případě činí 201 944,- Kč měsíčně. Tato úspora v porovnání z předešlým případem je nižší, ale je i nižší cena za provoz KV, protože se jedná o menší pohon, ale i tak je to velký přínos v úspoře a to je důvod nadále pohon provozovat přes frekvenční měnič. Nutno podotknout, že úspora elektrické energie za celé období je v průměru 25,00 % se v tomto případě podílí na snížení vlastní spotřeby o 0,18 %.

Tab. 3.2 Vliv pohonu kouřového ventilátoru K12 na vlastní spotřebu ETI

		K12			
Veličina \ Období		2011	2012	2013	Celkem
Výroba $E_{EI}$	[MWh]	1 372 534	1 356 247	1 339 326	4 068 107
Vlastní spotřeba $E_{EIVl}$	[MWh]	172 173	144 879	156 430	473 482
Vlastní spotřeba $E_{EIVl}$	[%]	12,54	10,68	11,68	11,64
Vlastní spotřeba $E_{EIVl,FM0}$	[MWh]	173 659	147 994	159 099	480 752
Vlastní spotřeba $E_{EIVl,FM0}$	[%]	12,65	10,91	11,88	11,82
Snížení vlastní sp. $\Delta E_{EIVl}$	[%]	0,11	0,23	0,20	0,18
$E_{KV}$	[MWh]	9 533	5 868	6 411	21 812
$E_{KV,FM100}$	[MWh]	6 411	5 226	5 283	16 920
$E_{KV,FM0}$	[MWh]	11 019	8983	9 080	29 082
$\Delta E_{KV}$	[MWh]	1 486	3 115	2 669	7 270
$\Delta E_{KV}$	[%]	13,49	34,67	29,39	25,00
$M_p$	[t]	2 048 955	1 551 580	1 536 886	5 137 421
Provoz KV	[den]	341	278	281	900
Provoz KV <sub>FM100</sub>	[den]	107	237	227	5571
Provoz KV <sub>FM0</sub>	[den]	234	41	54	329
Využití FM	[%]	31,38	85,25	80,78	63,44
Poruchové události	[-]	3	4	3	10

## 4 Vliv poruch FM na provoz zařízení.

Frekvenční měniče působí na provoz kotle negativně především svými poruchami. V následujících kapitolách 4.1 pro K11 a 4.2 pro K12 budou uvedeny poruchové události, které měly vliv na odstavení obou kotlů z provozu a to jak plánované tak neplánované. Protože oba frekvenční měniče jsou zařazeny jako pohony kouřových ventilátorů, jsou tedy strategickými pohony, jak již bylo napsáno v předešlých kapitolách pohon kouřového ventilátoru najíždí jako první a odstavuje jako poslední. Proto jakákoliv porucha na frekvenčním měniči vede na odstavení kotle a stejně tak přejetí pohonu z by-passu na frekvenční měnič musí být provedeno s odstavkou kotle, pokud tato odstavka nenastane z důvodu jiné poruchy a nebo plánovaného odstavení kotle. V elektrárně Tisová pracují již od

roku 1998 kdy jsem nastoupil na pozici „provozní elektrikář“, v současné době jsem na pozici „provozní elektrikář zástupce mistra“ ve směnném provozu. Jedním z mých úkolů je řešit závady na hlavním výrobním zařízení a jeho pomocných provozech. V minulosti jsem se z mnohými závadami popisovanými níže setkal osobně a podílel se na jejich řešení.

## 4.1 Poruchy FM K11

V Tab. 4.1 jsou zaznamenány poruchové události frekvenčního měniče K11 za celé hodnocené období se stručným popisem události a uvedením, zda byl kouřový ventilátor najet na by-pass či FM. V hodnoceném období byli zaznamenány převážně poruchy vlivem špatného chlazení FM z chladicího okruhu kotle. To vedlo ke zvýšení teploty vnitřního chladicího okruhu FM a jeho výpadku. V jednom případě byl FM odstaven vyhodnocením vnitřní poruchy FM, při této poruše došlo k poškození IGCT tyristorů a diod. [4, 24]

Tab. 4.1 Poruchové události FM K11 (převzato z [24])

Začátek	Konec	Popis události	Provoz KV
23.02.2011 12:57	23.02.2011 16:05	Porucha FM, vysoká teplota FM	by-pass
11.04.2011 15:12	11.04.2011 15:22	Porucha FM, vysoká teplota FM	FM
11.04.2011 15:22	11.04.2011 17:42	Porucha FM, vysoká teplota FM	by-pass
26.05.2011 22:22	27.05.2011 02:23	Úprava software FM, výměna motoru	FM
02.04.2013 00:27	02.04.2013 10:10	Porucha FM, poškození IGCT	by-pass
02.11.2013 18:46	02.11.2013 19:11	Porucha FM, vysoká teplota FM	by-pass
08.11.2013 11:20	08.11.2013 11:50	Najetí pohonu z by-passu na FM	FM

### 4.1.1 Porucha vysoká teplota vnitřního chladicího okruhu FM

Frekvenční měnič je chlazen vnitřním okruhem chladicí vody, která je deionizovaná. Tento okruh je chlazen z primárního chladicího okruhu kotle. Chladicí okruh kotle je vybaven dvojicí paralelně zapojených textilních filtrů a by-passem obou těchto filtrů. Při provozu měniče je vždy v provozu vodní okruh přes jeden filtr a druhý v záloze, aby v případě zvýšené teploty chladicí vody bylo možno filtry přejet a následně vyčistit. Standardně se filtry čistí dvakrát týdně. Voda v chladicím okruhu kotle musí být udržována do teploty 35 °C, při dosažení této teploty dochází k poruchové signalizaci zvýšená teplota chladicí vody a obsluha musí provést přejetí na záložní filtr a pokud teplota stále stoupá snížit zatížení FM a případně ponechat oba filtry v provozu. Nedoporučuje se provozovat chladicí okruh přes by-pass, protože hrozí zanesení filtru přímo ve skříni měniče a tento filtr lze vyčistit pouze při odstaveném měniči. Pokud dojde ve vnitřním okruhu k dosažení teploty 39 °C je signalizována výstraha vysoká teplota chladicí vody FM a při překročení teploty 41 °C dojde

k odstavení FM. [4, 6]

Pouze při výpadku FM vysokou teplotou z 23.02.2011 byl zjištěn silně zanesený filtr chladicí vody primárního okruhu a současně filtr uvnitř skříně FM, to bylo způsobeno uvolněním nánosu uvnitř potrubí. U této události bylo stanoveno nápravné opatření, proplách potrubí při plánované odstávce, protože podobné problémy byly zaznamenány již v minulosti. Při dalších výpadech tohoto typu již zanesení filtrů nebylo hlášeno, ale vždy došlo k náhlému dosažení teploty 35 °C vnitřního okruhu a při přejetí filtrů pokračoval nárůst teploty až k teplotě 41 °C vnitřního okruhu FM a následně došlo k odstavení pohonu. Jeden z chladičů voda - vzduch byl vyměněn v rámci pravidelné údržby z důvodu drobné netěsnosti. Ostatní prvky chlazení byly měněny v rámci akce upgrade FM. [4, 24]

#### **4.1.2 Porucha FM, závad ve výkonové části měniče**

Dne 02.04.2013 v 00:22 hod došlo k výpadku působením ochrany FM, měnič a kotel byl před výpadkem v normálním provozním stavu bez signalizované výstrahy. Hlavní blokova rozvodna 63BBA byla napájena ze záložního přívodu 00BBA43, TG3 ve stavu před fázováním. Poruše předcházela signalizace nadproud ve vývodu 63BBA43 a následně došlo k odstavení FM KV K11, po vyhodnocení situace na elektrodozorně byla provedena kontrola měniče, při této kontrole došlo neopatrností ke zmáčknutí tlačítka RESET a tudíž ke ztrátě výpisu poruchových hlášení. Provozní personál provedl veškeré úkony kontroly před pokusem o najetí. Při pokusu o start zařízení nebylo uvolněno najetí na FM a nebylo možné pohon najet ani přes by-pass. Následně byl zjištěn vadný pohon odpojovače v pomocné rozvodně 62BPA, pohon zajištěn a provedena manipulace pomocí ručního ovládání. Po tomto zásahu již bylo možno pohon zapnout přes by-pass. K vyhodnocení poruchy FM byl pozván servis ABB při odstaveném kotli. Diagnostikou FM byla zjištěna závada ve výkonové části měniče a to dva poškozené IGCT tyristory a tři diody, včetně jednoho zdroje GUSP (Gate Unit Supply Power). Přesná příčina poruchy nebyla stanovena, protože záznamy z řídicí jednotky měniče byli již smazány a tak tato zatím nejvážnější porucha měniče zůstává bez vysvětlení. Podle názoru servisního technika mohlo dojít právě k poruše napájecího zdroje GUSP, nedošlo k vypnutí jednoho IGCT tyristoru a došlo ke zkratu. Této teorii nasvědčuje poškození napájecího zdroje. Tato porucha způsobila odstavení FM na téměř tři měsíce a nemalé investiční náklady na její opravu. [4, 24]

### 4.1.3 Preventivní údržba

Pro spolehlivý provoz je nutné provádět preventivní údržbu každý rok, především kontrolu, čištění a měření komponent měniče. Výměnu záložních baterií a deionizační náplně v pravidelných intervalech daných výrobcem. V současné době provádí společnost ABB Upgrade. U tohoto typu měniče je doporučovaný společností ABB Upgrade po 12-ti letech provozu, z důvodu provozní spolehlivosti a prodloužení životnosti. Tato doba byla překročena o více jak dva roky a lze se domnívat, že se dalo předcházet některým závadám, které stály za odstavením zařízení. Obnova měniče především doporučuje preventivní výměnu součástí které jsou dožité, jedná se o výměnu součástí chlazení a to ventilátor, čerpadlo včetně chladičů a deionizační vložky chlazení vnitřního okruhu. Dále jsou to řídicí a měřicí obvody, ve výkonové části se jedná o výměnu elektrolytických kondenzátorů stejnosměrného meziobvodu a sinusového výstupního filtru. U IGCT modulů dochází k výměně řídicích desek včetně napájecích modulů GUSP. Další provoz tohoto zařízení by měl být z pohledu spolehlivosti jako s novým měničem. Této obnovy jsem se mohl účastnit a získal tak cenné poznatky, které bych mohl využít při dalším provozu zařízení. [4, 25]

### 4.2 Poruchy FM K12

Stejně jako v předchozím případě pro FM K11 jsou poruchové události FM K12 přehledně seřazeny v Tab. 4.2 za celé hodnocené období se stručným popisem události a uvedením, zda byl kouřový ventilátor najet na by-pass či FM. V hodnoceném období byly zaznamenány převážně poruchy vlivem závad v ovládacích obvodech a závad vstupního vypínače pomocné rozvodny 62BPA01. [4, 24]

Tab. 4.2 Poruchové události FM K12 (převzato z [24])

Začátek	Konec	Popis události	Provoz KV
17.03.2011 20:31	18.03.2011 04:40	Oprava FM	by-pass
17.05.2011 00:50	17.05.2011 23:45	Oprava FM	by-pass
30.07.2011 13:15	31.07.2011 10:38	Porucha FM , závada v ovl. obvodu FM	FM
02.02.2012 10:31	02.02.2012 12:40	Porucha FM , závada 62BPA01	by-pass
27.03.2012 05:13	27.03.2012 08:08	Porucha FM , závada 62BPA01	FM
13.05.2012 01:50	13.05.2012 03:41	Porucha FM , závada v ovl. obvodu FM	FM
13.05.2012 06:55	13.05.2012 07:50	Porucha FM , závada v ovl. obvodu FM	by-pass
15.01.2013 20:54	15.01.2013 21:17	Porucha FM , závada v ovl. obvodu FM	FM
15.01.2013 21:17	15.01.2013 22:50	Porucha FM , závada v ovl. obvodu FM	by-pass
26.01.2013 00:25	26.01.2013 02:05	Najetí FM z by-passu	FM

#### 4.2.1 Oprava FM

V rámci tohoto zásahu z 17.03.2011, který byl veden jako porucha a proto se o něm zmíním došlo k odstavení kotle z důvodu naplánování oprav, protože kotel byl provozován od začátku roku bez měniče. Jednalo se o zásah servisního technika Siemens při odstranění závady v obvodu měření LINE OVER VOLTAGE (vstupní napětí větší než 120 %), toto bylo řešeno výměnou vadné měřicí karty a současně s tím, byla řešena závada v obvodu střádání výkonového spínače v 62BPA01 pomocné rozvodny, kdy byl zjištěn vadný motor střádače a zkrat v tomto obvodu. Vzhledem k časově omezené odstávce nebylo možno závady dořešit, novou měřicí kartu nebylo možno nakonfigurovat a proto byla vrácena původní karta. Při dalším plánovaném odstavení 17.5.2011 byl problém střádání dořešen, ale FM nebylo možno stále provozovat, přetrvávající opravy servisem Siemens, tento stav byl až do letní odstávky 07. 2011, kde bylo vše dořešeno, nová karta řádně nakonfigurována a FM bylo možno provozovat. [4, 24]

#### 4.2.2 Závada v ovládacím obvodu FM

Závada z 30.7.2011 se nikterak neprojevila na poruchovém hlášení FM, ale došlo k neodůvodněnému poklesu otáček se současnou signalizací, že motor je mimo provoz a následkem ztráty podtlaku došlo k výpadku kotle. kotel již nebyl bezprostředně znovu najížděn z důvodu úspory paliva a následující den byl měnič najet bez problému. K dalšímu výpadku vlivem závady v řídicích obvodech došlo 13.5.2012 a to hned dvakrát po sobě při této závadě došlo ke ztrátě signalizace o provozu FM a k jeho následnému odstavení, byla zjištěna nespolehlivá funkce některých ovládacích prvků, bylo rozhodnut, že bude provedena výměna spínacích prvků v řídicí skříni FM, jelikož se jedná o spínače a relé, které spínají malá napětí a prach (jemný popílek), který se usazuje na kontaktech zvětšuje přechodový odpor. Jedná se o vzduchem chlazený měnič a tudíž tento problém nelze eliminovat na přijatelnou míru jinak než, že budou tyto komponenty z důvodu spolehlivosti vyměněny. K další závadě došlo 15.01.2013, kdy byla signalizována poruchová hláška BLOWER LOSS (ztráta chlazení), u této závady bylo zjištěno, že nepřevádí pomocný kontakt hlavního vypínače 0,4 kV pro napájení řídicí skříně FM, tento kontakt byl provizorně propojen a při následné odstávce vyměněn. [4, 24]

#### 4.2.3 Závada 62BPA01

V případě poruchy z 02.02.2012 bylo signalizováno poruchové hlášení TRIP FOR MCB OPENING MEDIUM VOLTAGE LOW (ztráta napájecího napětí), při této závadě byl

proveden pokus o najetí na FM, ale to se nedařilo, proto, bylo rozhodnuto kotel uvést do provozu s pohonem KV přes by-pass a FM byl uveden do provozu až po jiné poruchové události kotle. Při následném výpadku FM dne 27.03.2012 byla, jako příčina závady identifikována vadná nulová cívka spínače v 62BPA01 a současně s tím nespolehlivá funkce spínače, kdy v některých případech došlo k tzv. proskočení spínače. Jedná se o závadu, kdy spínač po zapínacím impulsu zapne, ale ihned dojde k vypnutí, závada byla odstraněna řádným seřizením spínačem specialistou servisu EFACEC. [4, 24]

#### 4.2.4 Preventivní údržba

V rámci údržby zařízení společnost Siemens doporučuje ve svém programu údržby provádět pravidelné kontroly, čištění a testování součástí měniče každý rok, dále pak po již tříletém provozu kontrolovat stav kondenzátorů výkonových buněk a po pěti letech kontrolu jističů a kontaktů spínacích prvků, vstupního transformátoru a výstupních filtrů. V rámci preventivní údržby je doporučováno každý rok provádět výměnu dveřních filtrů a po čtyřech letech výměnu záložních baterií, po pěti letech ventilátory chlazení a po deseti letech komponenty výkonových buněk a po dvaceti letech nebo 100 000 hodinách provozu provést tzv. Retrofit – obnova frekvenčního měniče. Tento plán preventivní údržby by měl zajistit, že měnič bude v co nejlepší kondici a jeho provoz bude bezpečný a spolehlivý. [4, 26]

## 5 Závěr

V této práci jsem popsal zařízení pohonů kouřových ventilátorů obou kotlů elektrárny Tisová ETI 1 napájených z hladiny napětí 6 kV. Přestože se jedná o fluidní kotle stejných parametrů, ale jiných výrobců, je samotná technologie kotlů do značné míry také jiná. Jsou zde použity ventilátory stejného výrobce, ale jiných parametrů. Motory i samotné měniče frekvence pro regulaci otáček těchto motorů jsou také jiné. Výkony obou motorů jsou velmi rozdílné. V případě kotle K11 se jedná o výkonnější 3 MW motor a u K12 je to motor 2 MW, to se samozřejmě značným způsobem projeví na vlastní spotřebě kotle a tudíž jeho účinnosti. V uvedených tabulkách je vidět, že motory pokud jsou provozovány bez FM tak jsou zatěžovány nižším výkonem než je výkon jmenovitý a proto úspory elektrické energie při provozu přes FM dosahují značných hodnot. Pokud se podíváme u K11 na průměrnou úsporu elektrické energie v průměru za tři roky 36,11 % při dostupnosti 85,15 % se sedmi poruchami za celé období, lze tento měnič hodnotit velmi dobře a přes svou dobu, po kterou je v provozu je spolehlivý, uveden do provozu byl již v roce 1999. Provozování frekvenčního



měníče se významně podílí na snížení vlastní spotřeby celé elektrárny v průměru o 0,41 %.

U měniče na K12 je za celé období úspora 25,00 % v průměru, při dostupnosti 63,44 % s deseti poruchami je úspora elektrické energie tohoto měniče méně výrazná. Snížení vlastní spotřeby o 0,18 % je také menším přínosem do celkového hodnocení elektrárny a je způsobeno především tím, že se jedná o pohon s menším výkonem. V neprospěch tohoto měniče působil fakt, že v roce 2011 byl téměř sedm měsíců mimo provoz z důvodu poruchy.

Nutno podotknout, že řešení závad u takto velkých pohonů bývá velmi obtížné, s ohledem na to jak správně sladit úkoly údržby s provozem zařízení. Vždy je snahou každou odstávku kotle využít i pro účely jiných oprav, které lze jen velmi obtížně provádět za provozu. Koordinace takových oprav vyžaduje značné zkušenosti nabyté provozem daného zařízení. Navíc zkušební provoz je velmi finančně nákladný proces a značně prodlužuje uvádění zařízení do provozu. V závěru lze pouze doporučit plánování údržby tak jak doporučují výrobci a mělo by se předejít nečekaným závadám a snížit poruchovost jednotlivých kotlů a zvýšit úsporu elektrické energie.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

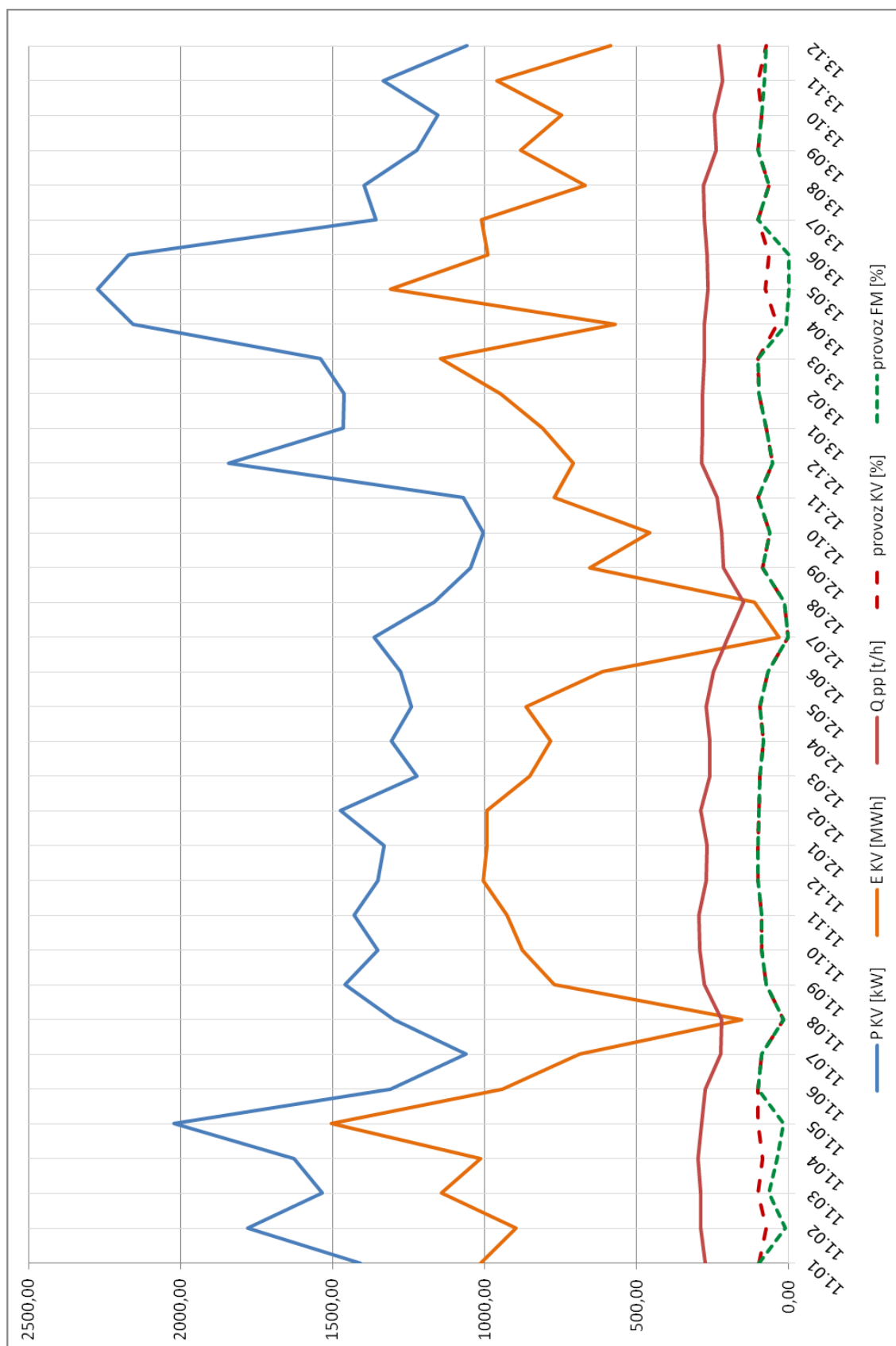
- [1] Informace o uhelných elektrárnách. ČEZ. [online]. 2014 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/uhelne-elekrarny/informace-o-uhelne-energetice.html>
- [2] Elektrárna Tisová. ČEZ. [online]. 2014 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/uhelne-elekrarny/cr/tisova.html>
- [3] MERTL, Miroslav. ČEZ. *Provoz elektrárny při mimořádných stavech v elektrizační soustavě: ETIO 6 036*. OJ Teplárny. lokalita Tisová, 2013.
- [4] FLORIÁN, Miroslav. ČEZ. *Vlastní praxe*. ČEZ, ETI, 2014.
- [5] ČEZ A.S. *Elektrárny na fosilní paliva* [online]. 2014 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.kdejinde.cz/cs/studenti/materialy-ke-studiu/tiskoviny/>
- [6] SOUČEK, Jaroslav. ČEZ. *Provozní předpis pro obsluhu fluidního kotle K11: ETIO 2 016*. OJ Teplárny. lokalita Tisová, 2004.
- [7] SOUČEK, Jaroslav. ČEZ. *Provozní předpis pro obsluhu fluidního kotle K12: ETIO 2 059*. OJ Teplárny. lokalita Tisová, 2005.
- [8] KŮS, Václav. *Elektrické pohony a výkonová elektronika*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2006. ISBN 80-704-3422-8.
- [9] VONDRÁŠEK, František. *Výkonová elektronika*. 2., rozš. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2003, 267 s. ISBN 80-708-2980-X.
- [10] FLAJTINGR, Jiří a Lumír KULE. *Elektrické pohony se střídavými motory a polovodičovými měniči*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 2002, 142 s. ISBN 80-708-2919-2.
- [11] Přímé řízení momentu a měniče ABB. [online]. 2007, roč. 2007, 8-9, [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=36722](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36722)
- [12] KULDA, Vojtěch. ELCOM. *Pohony velkých výkonů s frekvenčními měniči 3,3 kV* [online]. 2010. [cit. 2014-03-06]. Dostupné z: <http://www.elcom.cz/pohony/ke-stazeni/>
- [13] FLENDER LOHER. *Dokumentace motoru AHRAMB-06A*.
- [14] ABB. *ACS 1000, 315-5000 kW* [online]. 2014 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot216.nsf/veritydisplay/3702a1b7e8e78928c1256fab005b3cc0/\\$file/ACS%201000%20\(CZ\).pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot216.nsf/veritydisplay/3702a1b7e8e78928c1256fab005b3cc0/$file/ACS%201000%20(CZ).pdf)
- [15] KULDA, Vojtěch. ELCOM. *Frekvenční měniče pro pohony velkých výkonů*, [online], 2011 [cit. 2014-03-02]. Dostupný z <http://www.elcom.cz/pohony/ke-stazeni/>

- [16] ABB. *ACS 1000 EN Rev H\_lowres* [online]. 2014 [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot216.nsf/veritydisplay/f8f2f0ed4f9b0b81c1257abf002ab813/\\$file/ACS%201000%20EN%20Rev%20H\\_lowres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot216.nsf/veritydisplay/f8f2f0ed4f9b0b81c1257abf002ab813/$file/ACS%201000%20EN%20Rev%20H_lowres.pdf)
- [17] ABB. *Vypínací tyristory IGCT* [online]. 2014 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/cz/9AAC30200135.aspx?country=CZ>
- [18] ABB. *Integrated gate-commutated thyristor* [online]. 2014 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: [http://new.abb.com/products/semiconductors/integrated-gate-commutated-thyristors-\(igct\)](http://new.abb.com/products/semiconductors/integrated-gate-commutated-thyristors-(igct))
- [19] RADA, Martin. METSO AUTOMATION. *Snížení spotřeby el. energie kouřového ventilátoru K12: Technická zpráva*. Tisová, 2007.
- [20] ŽALUD, Jan. ČKD. *Technický návod: ČKD, 4V 224-06HW*. Praha, 1997.
- [21] ETI. *Dotazník elektromotoru: Kouřový ventilátor 12HNC01AN001*. ETI, 1997.
- [22] SIEMENS. *Robicon Perfect Harmony* [online]. 2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/?ctxnh=d398586431&ctxp=home>
- [23] POCHYLA, Martin a Pavel KŘÍŽ. Úsporné měniče Siemens s malým harmonickým zkreslením. [online]. 2011, roč. 2011, č. 6 [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=43669](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=43669)
- [24] SPÁLENKA, Miloš. ČEZ. *Provozní ekonomie*. ČEZ, ETI, 2014.
- [25] ABB. *ACS 1000, 12 year preventive maintenance kit* [online]. 2014 [cit. 2014-05-30]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot216.nsf/veritydisplay/de940d3c1bf205efc1257a8e004889b7/\\$file/SN\\_ACS1000%20prevent\\_maint\\_lowres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot216.nsf/veritydisplay/de940d3c1bf205efc1257a8e004889b7/$file/SN_ACS1000%20prevent_maint_lowres.pdf)
- [26] SIEMENS. *Perfect Harmony Air-Cooled Drives Preventive Maintenance Services*. firemní literatura. Siemens, 2014.

Příloha č.1 Zpracovaná data provozních záznamů K11

K11 rok	Období / Velikost		Datum poruchy	E RV		Provoz kotle		M p	Q pp		Provoz KV		Provoz FM		P KV							
	měsíc	d m		[MWh]	[kWh]	[h]	[den]		[%]	[t]	[h]	[%]	[den]	[den]	[den]	[den]	[kWh]	[kWh]				
2011	leden	11.01	31	1 012 900	1 013	28,0	90	183 552	273	78	30,00	96,77	107,14	30	0	96,8	100,0	1406,81	0	0	1406,81	
	únor	11.02	28	898 100	898	491	20,5	73	141 574	288	82	21,00	75,00	102,65	3	18	10,7	14,3	0	0	1777,98	1777,98
	březen	11.03	31	1 141 700	1 142	738	30,8	99	214 357	290	83	31,00	100,00	100,81	20	11	64,5	64,5	0	0	1594,54	1594,54
	duben	11.04	30	1 014 100	1 014	578	24,1	80	173 036	299	86	26,00	86,67	107,96	11	15	36,7	42,3	0	0	1625,16	1625,16
	květen	11.05	31	1 503 600	1 504	740	30,8	99	212 245	287	82	31,00	100,00	100,54	5	26	16,1	16,1	0	0	2020,97	2020,97
	červen	11.06	30	941 900	942	720	30,0	100	198 866	274	78	30,00	100,00	100,00	30	0	100,0	100,0	1308,19	0	0	1308,19
	červenec	11.07	31	886 700	887	637	26,5	86	147 873	223	64	27,00	87,10	101,73	27	0	87,1	100,0	1059,72	0	0	1059,72
	srpen	11.08	31	1 155 600	1 156	79	3,3	11	17 446	221	63	5,00	16,13	151,90	5	0	16,1	100,0	1296,67	0	0	1296,67
	září	11.09	30	771 000	771	373	15,5	52	103 843	278	80	22,00	73,33	141,55	22	0	73,3	100,0	1460,23	0	0	1460,23
	říjen	11.10	31	875 100	875	587	24,5	79	170 934	291	83	27,00	87,10	110,39	27	0	87,1	100,0	1350,46	0	0	1350,46
	listopad	11.11	30	926 800	927	601	25,0	83	176 471	294	84	27,00	90,00	107,82	27	0	90,0	100,0	1430,25	0	0	1430,25
	prosinec	11.12	31	1 004 400	1 004	705	29,4	95	191 658	272	78	31,00	100,00	105,53	31	0	100,0	100,0	1350,00	0	0	1350,00
2012	leden	12.01	31	990 900	991	714	29,8	96	191 888	269	77	31,00	100,00	104,20	31	0	100,0	100,0	1331,85	0	0	1331,85
	únor	12.02	29	891 200	891	658	27,4	95	190 243	289	83	28,00	96,55	102,13	28	0	96,6	100,0	1475,00	0	0	1475,00
	březen	12.03	31	851 300	851	689	27,9	90	173 244	259	74	29,00	93,55	104,04	29	0	93,5	100,0	1223,13	0	0	1223,13
	duben	12.04	30	784 100	784	556	23,2	77	143 623	258	74	25,00	83,33	107,91	25	0	83,3	100,0	1306,83	0	0	1306,83
	květen	12.05	31	883 800	884	654	27,3	88	176 009	270	77	29,00	93,55	106,42	29	0	93,5	100,0	1241,09	0	0	1241,09
	červen	12.06	30	613 000	613	446	18,6	63	110 775	248	71	20,00	66,67	107,62	20	0	66,7	100,0	1277,08	0	0	1277,08
	červenec	12.07	31	32 700	33	20	0,8	3	4 000	200	57	1,00	3,23	120,00	1	0	3,2	100,0	1362,50	0	0	1362,50
	srpen	12.08	31	112 000	112	59	2,4	8	8 630	149	43	4,00	12,90	166,52	4	0	12,9	100,0	1166,67	0	0	1166,67
	září	12.09	30	653 700	654	603	25,1	84	130 012	216	62	26,00	86,67	103,48	26	0	86,7	100,0	1047,60	0	0	1047,60
	říjen	12.10	31	457 300	457	432	18,0	58	94 938	220	63	19,00	61,29	105,56	19	0	61,3	100,0	1002,85	0	0	1002,85
	listopad	12.11	30	770 300	770	713	29,7	99	166 927	234	67	30,00	100,00	100,98	30	0	100,0	100,0	1069,86	0	0	1069,86
	prosinec	12.12	31	707 100	707	368	15,3	49	105 388	286	82	16,00	51,61	104,35	16	0	51,6	100,0	1841,41	0	0	1841,41
2013	leden	13.01	31	808 500	809	479	20,0	64	135 685	283	81	23,00	74,19	115,24	23	0	74,2	100,0	1464,67	0	0	1464,67
	únor	13.02	28	948 200	948	583	24,3	87	165 876	285	81	27,00	96,43	111,15	27	0	96,4	100,0	1463,27	0	0	1463,27
	březen	13.03	31	1 146 000	1 146	744	31,0	100	205 382	276	79	31,00	100,00	100,00	31	0	100,0	100,0	1540,32	0	0	1540,32
	duben	13.04	30	569 000	569	208	8,7	29	57 618	277	79	11,00	36,67	126,92	2	9	6,7	18,2	0	0	2155,30	2155,30
	květen	13.05	31	1 310 000	1 310	540	22,5	73	142 706	264	76	24,00	77,42	106,67	0	24	0,0	0,0	0	0	2274,31	2274,31
	červen	13.06	30	890 000	890	415	17,3	58	111 062	268	76	19,00	63,33	109,88	0	19	0,0	0,0	0	0	2171,05	2171,05
	červenec	13.07	31	1 010 000	1 010	744	31,0	100	206 837	277	79	31,00	100,00	100,00	31	0	100,0	100,0	1357,53	0	0	1357,53
	srpen	13.08	31	669 500	670	406	16,9	55	114 107	281	80	20,00	64,52	118,23	20	0	64,5	100,0	1394,79	0	0	1394,79
	září	13.09	30	880 500	881	720	30,0	100	171 208	238	68	30,00	100,00	100,00	30	0	100,0	100,0	1222,92	0	0	1222,92
	říjen	13.10	31	747 000	747	600	25,0	81	147 166	245	70	27,00	87,10	108,00	27	0	87,1	100,0	1152,78	0	0	1152,78
	listopad	13.11	30	960 000	960	720	30,0	100	156 770	218	62	30,00	100,00	100,00	24	6	80,0	80,0	1057,97	0	0	1057,97
	prosinec	13.12	31	584 000	584	523	21,8	70	119 439	228	65	23,00	74,19	105,54	23	0	74,2	100,0	1057,97	0	0	1057,97
<b>Průměr</b>			30	816 111	816	542	23	74	143 132	259	74	23,94	78,76	110,33	20	4	67	84,32	1 309,37	2 222,68	1 741,21	1 432,09

Příloha č.2 Graf – provoz zařízení K11



Příloha č.3 Zpracovaná data provozních záznamů K12

K12 rok	Období / Velikost		Datum poruchy		E KV		Provoz kotle		M p		Q p		Provoz KV				Provoz FM				P KV									
	měsíc	r.m	d/m	d/m	[MWh]	[KWh]	[h]	[den]	[%]	[h]	[h]	[%]	[den]	[den]	[%]	FM 0	FM 100	FM/KV	FM 0	FM 100	FM 0	FM 100	FM 0	FM 100	FM 0	FM 100	FM 0	FM 100	FM 0	FM 100
2011	leden	11.01	31	1 038	744	31,0	100	192,257	258	74	31,00	100,00	100,00	100,00	0	31	0,0	0,0	0	1394,76	0	1394,76	0	1394,76	0	1394,76	0	1394,76	0	1394,76
	únor	11.02	28	969 900	970	28,0	100	185 761	276	79	28,00	100,00	100,00	100,00	0	28	0,0	0,0	0	1443,30	0	1443,30	0	1443,30	0	1443,30	0	1443,30	0	1443,30
	březen	11.03	31	954 800	955	30,7	99	183 536	249	71	31,00	100,00	101,09	100,00	0	31	0,0	0,0	0	1283,06	0	1283,06	0	1283,06	0	1283,06	0	1283,06	0	1283,06
	duben	11.04	30	942 600	943	29,9	100	172 769	241	69	30,00	100,00	100,28	100,00	0	30	0,0	0,0	0	1309,17	0	1309,17	0	1309,17	0	1309,17	0	1309,17	0	1309,17
	květen	11.05	31	970 800	971	30,0	97	194 957	270	77	31,00	100,00	103,19	100,00	0	31	0,0	0,0	0	1304,84	0	1304,84	0	1304,84	0	1304,84	0	1304,84	0	1304,84
	červen	11.06	30	1 014 600	1 015	30,0	100	194 612	270	77	30,00	100,00	100,00	100,00	0	30	0,0	0,0	0	1409,17	0	1409,17	0	1409,17	0	1409,17	0	1409,17	0	1409,17
	červenec	11.07	31	411 900	412	168	71,0	23	36 949	220	63	12,00	38,71	171,43	10	2	32,3	83,3	0	1430,21	0	1430,21	0	1430,21	0	1430,21	0	1430,21	0	1430,21
	srpen	11.08	31	454 800	455	744	31,0	100	170 844	230	66	31,00	100,00	100,00	100,00	0	31	0	0	0	611,29	0	611,29	0	611,29	0	611,29	0	611,29	
	září	11.09	30	598 800	599	718	29,9	100	193 208	269	77	30,00	100,00	100,28	100,00	0	30	0	0	0	831,67	0	831,67	0	831,67	0	831,67			
	říjen	11.10	31	668 400	668	440	18,3	59	120 771	274	78	26,00	83,87	141,82	5	21	16,1	19,2	0	1071,15	0	1071,15	0	1071,15	0	1071,15	0	1071,15		
	listopad	11.11	30	921 900	922	700	29,2	97	204 807	293	84	30,00	100,00	102,86	100,00	0	30	0,0	0,0	0	1280,42	0	1280,42	0	1280,42	0	1280,42	0	1280,42	
	prosinec	11.12	31	586 800	587	744	31,0	100	198 484	267	76	31,00	100,00	100,00	100,00	0	31	0	0	0	788,71	0	788,71	0	788,71	0	788,71	0	788,71	
2012	leden	12.01	31	556 200	556	727	30,3	98	184 104	253	72	31,00	100,00	102,34	31	0	0	0	0	747,58	0	747,58	0	747,58	0	747,58	0	747,58		
	únor	12.02	29	821 400	821	667	27,8	96	179 976	270	77	28,00	96,55	100,75	2	28	6,9	7,1	0	1222,32	0	1222,32	0	1222,32	0	1222,32	0	1222,32		
	březen	12.03	31	583 500	584	574	23,9	77	148 150	255	73	24,00	77,42	100,35	21	3	67,7	87,5	0	1013,02	0	1013,02	0	1013,02	0	1013,02	0	1013,02		
	duben	12.04	30	248 400	248	72	3,0	10	20 506	285	81	8,00	26,67	286,67	3	5	10,0	37,5	0	1293,75	0	1293,75	0	1293,75	0	1293,75	0	1293,75		
	květen	12.05	31	617 400	617	413	17,2	56	117 202	284	81	20,00	64,92	116,22	13	7	41,9	65,0	0	1286,25	0	1286,25	0	1286,25	0	1286,25				
	červen	12.06	30	645 000	645	614	25,6	85	172 502	281	80	27,00	90,00	105,54	27	0	90,0	100,0	0	995,37	0	995,37	0	995,37	0	995,37				
	červenec	12.07	31	483 000	483	648	27,0	87	148 622	226	65	28,00	90,32	103,70	28	0	90,3	100,0	0	718,75	0	718,75	0	718,75	0	718,75				
	srpen	12.08	31	292 500	293	560	23,3	75	114 255	204	58	24,00	77,42	102,86	24	0	77,4	100,0	0	507,81	0	507,81	0	507,81	0	507,81				
	září	12.09	30	204 900	204	130	5,4	18	32 179	248	71	9,00	30,00	166,15	9	0	30,0	100,0	0	945,83	0	945,83	0	945,83	0	945,83				
	říjen	12.10	31	297 900	298	452	18,8	61	102 756	227	65	21,00	67,74	111,50	21	0	67,7	100,0	0	591,07	0	591,07	0	591,07	0	591,07				
	listopad	12.11	30	402 900	403	613	25,5	85	137 991	225	64	27,00	90,00	105,71	27	0	90,0	100,0	0	621,76	0	621,76	0	621,76	0	621,76				
	prosinec	12.12	31	715 800	716	744	31,0	100	197 337	265	76	31,00	100,00	100,00	31	0	100,0	100,0	0	962,10	0	962,10	0	962,10	0	962,10				
2013	leden	13.01	31	690 900	690	563	23,5	76	150 714	268	76	26,00	83,87	110,83	12	14	38,7	46,2	0	1106,25	0	1106,25	0	1106,25	0	1106,25				
	únor	13.02	28	510 000	510	572	23,8	85	148 428	259	74	26,00	92,86	109,09	26	0	92,9	100,0	0	817,31	0	817,31	0	817,31	0	817,31				
	březen	13.03	31	552 000	552	530	22,1	71	143 146	270	77	24,00	77,42	108,68	24	0	77,4	100,0	0	958,33	0	958,33	0	958,33	0	958,33				
	duben	13.04	30	645 000	645	644	26,8	89	177 144	275	79	28,00	93,33	104,35	28	0	93,3	100,0	0	959,82	0	959,82	0	959,82	0	959,82				
	květen	13.05	31	549 000	549	547	22,8	74	145 397	266	76	23,00	74,19	100,91	23	0	74,2	100,0	0	994,57	0	994,57	0	994,57	0	994,57				
	červen	13.06	30	300 000	300	336	14,0	47	78 286	233	67	17,00	56,67	121,43	17	0	56,7	100,0	0	735,29	0	735,29	0	735,29						
	červenec	13.07	31	714 000	714	481	20,7	65	123 057	256	73	24,00	77,42	119,75	10	14	32,3	41,7	0	1239,58	0	1239,58	0	1239,58	0	1239,58				
	srpen	13.08	31	1 035 000	1 035	736	30,7	99	189 598	258	74	30,00	96,77	97,83	4	26	12,9	13,3	0	1437,50	0	1437,50	0	1437,50	0	1437,50				
	září	13.09	30	292 000	292	238	9,9	33	54 364	228	65	14,00	46,87	141,18	14	0	46,7	100,0	0	839,29	0	839,29	0	839,29						
	říjen	13.10	31	309 000	309	442	18,4	59	93 427	211	60	21,00	67,74	114,03	21	0	67,7	100,0	0	613,10	0	613,10	0	613,10						
	listopad	13.11	30	360 000	360	545	22,7	76	118 123	217	62	23,00	76,67	101,28	23	0	76,7	100,0	0	652,17	0	652,17	0	652,17						
	prosinec	13.12	31	465 000	465	603	21,0	68	115 202	229	65	25,00	80,65	119,28	25	0	80,6	100,0	0	775,00	0	775,00	0	775,00						
	<b>Průměr</b>				606	560	23	77	142 706	253	72	25,00	82,15	115,32	24	9	52	66,69	0	1 346,39	0	1 346,39	0	1 346,39	0	1 346,39	0	1 346,39		

Příloha č.4 Graf – provoz zařízení K12

