ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Opatření ke splnění emisních limitů SO_2 na ETI 2

Bc. Pavel Doležal **2015**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2014/2015**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Pavel DOLEŽAL**
Osobní číslo:	**E13N0003K**
Studijní program:	**N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor:	**Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu:	**Opatření ke splnění emisních limitů SO2 na ETI 2**
Zadávající katedra:	**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování:

1. Popište schéma provozu ETI 2, uveďte parametry zařízení a zaměřte se na část provozu související s odsířením spalin kotle K9.
2. Uveďte požadavky na emisní limity a zpracujte analýzu původního a nově nasazeného způsobu odsíření. Na základě analýzy a experimentálního ověření v rámci realizovaného projektu navrhněte optimální způsob provozování odsíření (množství a četnosti dávek kyseliny adipové).
3. Vyhodnoťte dopady inovace způsobu odsíření na provoz kotle, úroveň emisí a posuďte i ekonomické aspekty použitého řešení.

Rozsah grafických prací:	**podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy:	**30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce:	**tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:	

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

Vedoucí diplomové práce:	**Doc. Ing. Eva Müllerová, Ph.D.** Katedra elektroenergetiky a ekologie
Datum zadání diplomové práce:	**15. října 2014**
Termín odevzdání diplomové práce:	**11. května 2015**

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

L.S.

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce popisuje způsob odsíření v elektrárně Tisová, analyzuje systém odsiřování spalin a zaměřuje se na vliv dávkování aditiva, kyseliny adipové, do odsiřovacího procesu pro dosažení vyšší účinnosti odsíření a tím snížení emisí SO_2.

Klíčová slova

kotel, oxid siřičitý, odsiřování, emise, aditivum, kyselina adipová, dávkování

Abstract

The master's thesis describes a desulphurisation process in the power plant Tisová. The thesis analyses a flue gas desulphurisation system and focuses on the effect of adding different doses of adipic acid as an additive into the desulphurisation process to achieve higher desulphurisation efficiency and consequently to reduce SO_2 emissions.

Key words

boiler, sulphur oxid, desulphurisation, emission, additives, adipic acid, dosage

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 4.5.2015 Bc. Pavel Doležal

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Evě Müllerové, Ph. D. za cenné profesionální rady, připomínky, věnovaný čas a metodické vedení práce, kolegyni a zároveň konzultantce Ing. J. Rittichové za ochotu, rady a zkušenosti získané při dávkování kyseliny adipové, kolegyni Ing. P. Přesličkové za odborné konzultace v oblasti ekologie a nakonec bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu věnovanou mému studiu.

Obsah

OBSAH **8**

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK **10**

ÚVOD **11**

1 ELEKTRÁRNA TISOVÁ **12**

1.1 POLOHA ELEKTRÁRNY 12
1.2 HISTORIE ELEKTRÁRNY 13
1.3 SOUČASNÝ STAV A TECHNICKÉ PARAMETRY ELEKTRÁRNY 14

2 HLAVNÍ SOUČÁSTI ETI 2 ..... **14**

2.1 GENERÁTOR 15
2.1.1 Technický popis zařízení *15*
2.1.2 Napájení vlastní spotřeby a vyvedení výkonu ETI 2 ..... *16*
2.2 GRANULAČNÍ KOTEL K9 18
2.2.1 Technický popis zařízení *18*
2.2.2 Základní parametry kotle *20*
2.2.3 Hlavní rozměry kotle *20*
2.2.4 Palivo *20*
2.3 ODSÍŘENÍ 21
2.3.1 Způsob odsíření ETI 2 ..... *21*
2.3.2 Technologický proces odsiřování *21*
2.3.1 Schéma odsíření ETI2 ..... *22*
2.3.2 Kouřovody *22*
2.3.3 Absorbér *23*
2.3.4 Odlučovač kapek *25*
2.3.5 Cirkulační čerpadla *25*
2.3.6 Oxidační vzduch *26*
2.3.7 Čerpadlo sádrovcové suspenze *27*
2.3.8 Sádrovcová hydrocyklonová stanice *27*

3 ENERGETIKA A ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ **29**

3.1 ODSIŘOVÁNÍ SPALIN 31
3.2 SNIŽOVÁNÍ EMISÍ ETI 2 32
3.3 EMISNÍ LIMITY 33
3.3.1 Kritéria hodnocení emisního limitu TZL, SO_2, NOx, CO *34*
3.3.2 Kontinuální měření emisí *35*
3.3.3 Popis a umístění přístrojů pro kontinuální měření emisí *36*
3.3.4 Vyhodnocování emisí *38*

4 ANALÝZA ÚČINNOSTI ODSÍŘENÍ ETI 2 ..... **40**

4.1 MNOŽSTVÍ PALIVA 40
4.2 MNOŽSTVÍ SPALIN 41
4.3 MNOŽSTVÍ ODSTRANĚNÉHO SO2 43
4.4 SPOTŘEBA VÁPENCE 44
4.5 VÁPENCOVÁ SUSPENZE 44
4.6 MNOŽSTVÍ SÁDROVCOVÉ SUSPENZE Z ABSORBÉRU 45
4.7 BILANCE VODY 45
4.8 BILANČNÍ SCHÉMATA ABSORBÉRU 47

5 APLIKACE ADITIV DO ODSIŘOVACÍHO PROCESU **50**

5.1 PŮSOBENÍ ADITIV V PROCESU ODSÍŘENÍ 51
5.1.1 Anorganická aditiva 51
5.1.2 Organická aditiva 52
5.2 KYSELINA ADIPOVÁ HOOC-$(CH_2)_4$-COOH 53
5.3 ZKUŠEBNÍ TESTOVÁNÍ KYSELINY ADIPOVÉ V ETI 54

6 DÁVKOVACÍ ZAŘÍZENÍ KYSELINY ADIPOVÉ 58

6.1 FUNKCE ZAŘÍZENÍ 59
6.2 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ 59
6.3 ZPŮSOB DÁVKOVÁNÍ A PROVOZOVÁNÍ 62
6.4 ZKUŠEBNÍ PROVOZ S DÁVKOVÁNÍM ADITIVA 63
6.4.1 Prvotní nadávkování kyseliny adipové 63
6.4.2 Dávkování aditiva a jeho vliv na odsíření ETI2 64
6.5 ROZHODNUTÍ O DÁVKOVÁNÍ KYSELINY ADIPOVÉ 68

7 ZÁVĚR 69

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ 71

Seznam symbolů a zkratek

EisNet…….Počítačový program pro vyhodnocování emisí

EMON…….Emisní monitorovací systém

EO……..……Elektrostatický odlučovač

ETI……..…..……Elektrárna Tisová

HC……..Hydrocyklon

IPPC……Integrovaná prevence a omezování znečištění

K9……Zdroj č. 009 (granulační kotel K9)

NDIR…… Princip pohlcování infračervených paprsků plynem

NOx…….……Oxid dusíku

PLC……....Programovatelný procesor

PROMOTIC……...Vizualizační systém údajů měření emisí

ŘS…….. Řídící systém

SBS…….……..…Statická budící souprava

TG……..Turbogenerátor

TZL…….……..Tuhé znečišťující látky

VEP…….....….Vedlejší ekologické produkty (popílek, stabilizát)

VT……..……Vysokotlaký

Úvod

Cílem diplomové práce je stanovit optimální množství a frekvenci dávkování kyseliny adipové jako aditiva zlepšující účinnost odsíření K9 v elektrárně Tisová v nově postaveném zařízení pro dávkování aditiv. Práce je rozdělena do tří částí. V první části je popsáno technologické zařízení ETI 2, zejména odsíření. Druhá část je věnována emisním limitům, způsobu měření emisí a provedení analýzy účinnosti odsíření. Ve třetí části popisuji aplikaci aditiv, konkrétně kyseliny adipové a její testování v ETI. V závěru rekapituluji ekonomické a ekologické přínosy tohoto zařízení.

1 Elektrárna Tisová

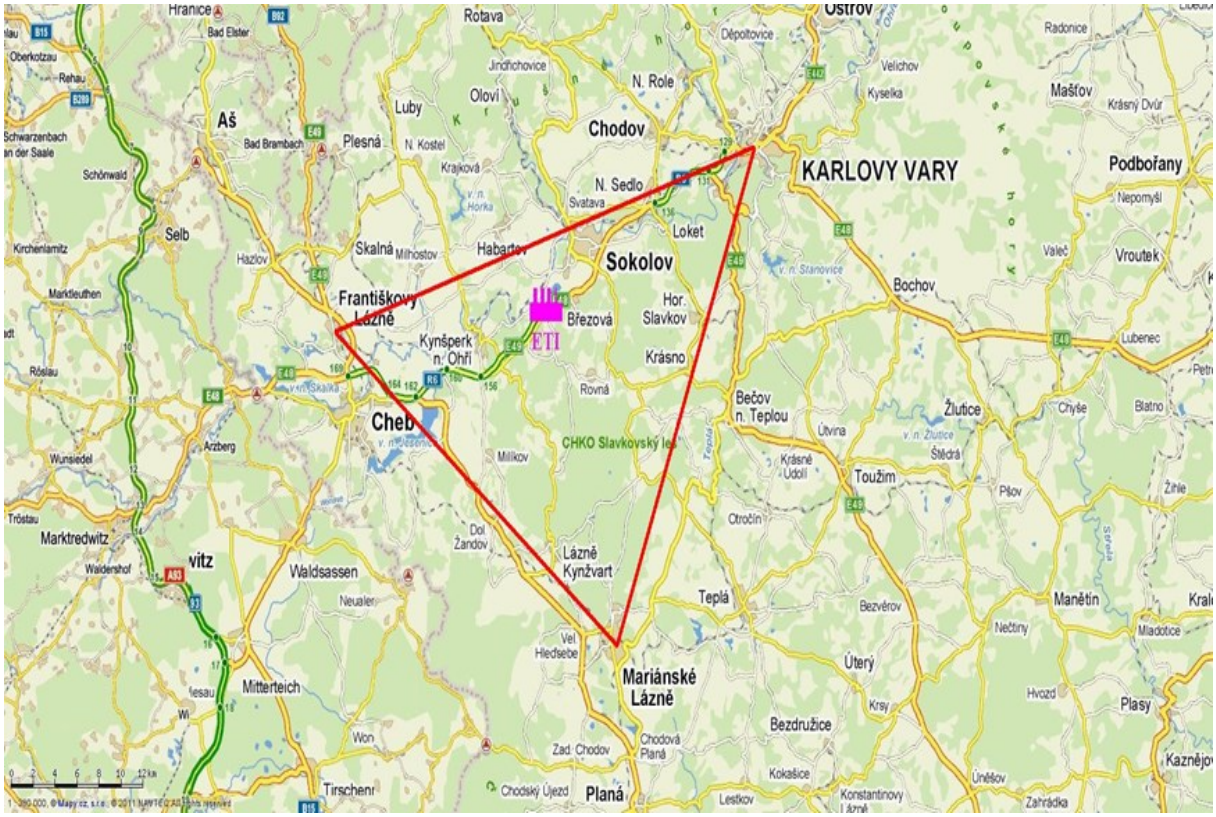
Elektrárna Tisová je jedním z uhelných zdrojů, které jsou provozovány Skupinou ČEZ. V současné době je elektrárna součástí nově utvořené organizační jednotky ČEZ, a.s. s názvem Elektrárny Hodonín, Poříčí a Tisová, která sdružuje zařízení s významným podílem výroby tepla. [1]

Obr. 1.1 Elektrárna Tisová, převzato z [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. Je nejzápadněji situovaným energetickým zdrojem ČEZ, a.s. Leží v nadmořské výšce 405 m a geograficky je umístěna téměř v geometrickém středu

lázeňského trojúhelníku, jehož vrcholy tvoří lázeňská města Karlovy Vary, Mariánské Lázně a Františkovy Lázně. Elektrárna byla vystavěna na místě původní hornické obce Tisová, která byla zbořena z důvodu rozsáhlé důlní činnosti v minulém století. O umístění právě do těchto míst rozhodly především dva zásadní faktory pro provoz hnědouhelné elektrárny - řeka Ohře, ze které je zásobována vodou, a blízké zásoby sokolovského hnědého uhlí. [1]



Obr.1.2 Poloha elektrárny Tisová

1.2 Historie elektrárny

Elektrárna Tisová patří k nejstarším hnědouhelným elektrárnám. Historie elektrárny začíná v lednu roku 1953, kdy bylo rozhodnuto o výstavbě a začala se zpracovávat projektová dokumentace. Byly provedeny rozsáhlé úpravy terénu na rozloze téměř 41 ha. Zahrnovaly demolici bývalé obce Tisová, přeložky vodovodu a Tisovského potoka, zvýšení terénu staveniště navážkou nad úroveň stoleté vody a zasypání slepých ramen řeky Ohře. Dalšími rozsáhlými investicemi bylo vybudování pobřežní silnice Citice – Černý mlýn, regulace toku Ohře, vybudování jezu Černý mlýn a ochranné hráze proti záplavám. Přifázování prvního turbogenerátoru ETI 1 50 MW bylo provedeno v roce 1958, celkový výkon ETI 1 činil 212 MW. Výstavba ETI 2 byla zahájena v roce 1955. Poslední z celkem tří turbogenerátorů 100 MW byl uveden do provozu v roce 1962. Celkový výkon ETI 2 tehdy

činil 300 MW. S celkovým výkonem 512 MW se stala ETI ve své době největší elektrárnou s podílem výroby elektrické energie 9,8 %. V současné době jsou na ETI I v provozu tři kondenzační turbíny TG 1, TG 2 a TG 3 s generátory o výkonu 57 MW a jedna protitlaková, turbína TG 5 s výkonem 12,8 MW. Páru pro ně dodávají dva fluidní kotle K11 a K12. Na ETI 2 je v provozu pouze jeden odsířený blok 6 s granulačním kotlem a turbogenerátorem TG6 o výkonu 112 MW. Celkový instalovaný výkon elektrárny činí v současné době 288 MW. Hlavní prioritou ETI zůstává zásobování okolních obcí teplem. Mezi tyto obce patří Sokolov, Březová, Bukovany, Habartov, Svatava a Královské Poříčí. [1]

1.3 Současný stav a technické parametry elektrárny

ETI 1 se sběrnicovým uspořádáním tvoří dva fluidní kotle K11 a K12, každý o výkonu 350 t/h. Jedna kondenzační, rovnotlaká, dvoutělesová turbína TG1 s turbogenerátorem 57MW dvě turbíny TG2, TG3 kondenzační, rovnotlaké, dvoutělesové, s jedním regulovaným odběrem páry s turbogenerátory rovněž 57 MW a turbína protitlaková, kombinovaná, jednotělesová TG5 s turbogenerátorem 12,8 MW. Vyvedení dodávky tepla je prostřednictvím parní soustavy o jmenovitých parametrech 1,2 MPa, 240 °C.

ETI 2 s blokovým uspořádáním tvoří granulační kotel s přihříváním páry 330 t/h a kondenzační, rovnotlaká, třítělesová turbína s turbogenerátorem 105 MW.

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. [1]

2 Hlavní součásti ETI 2

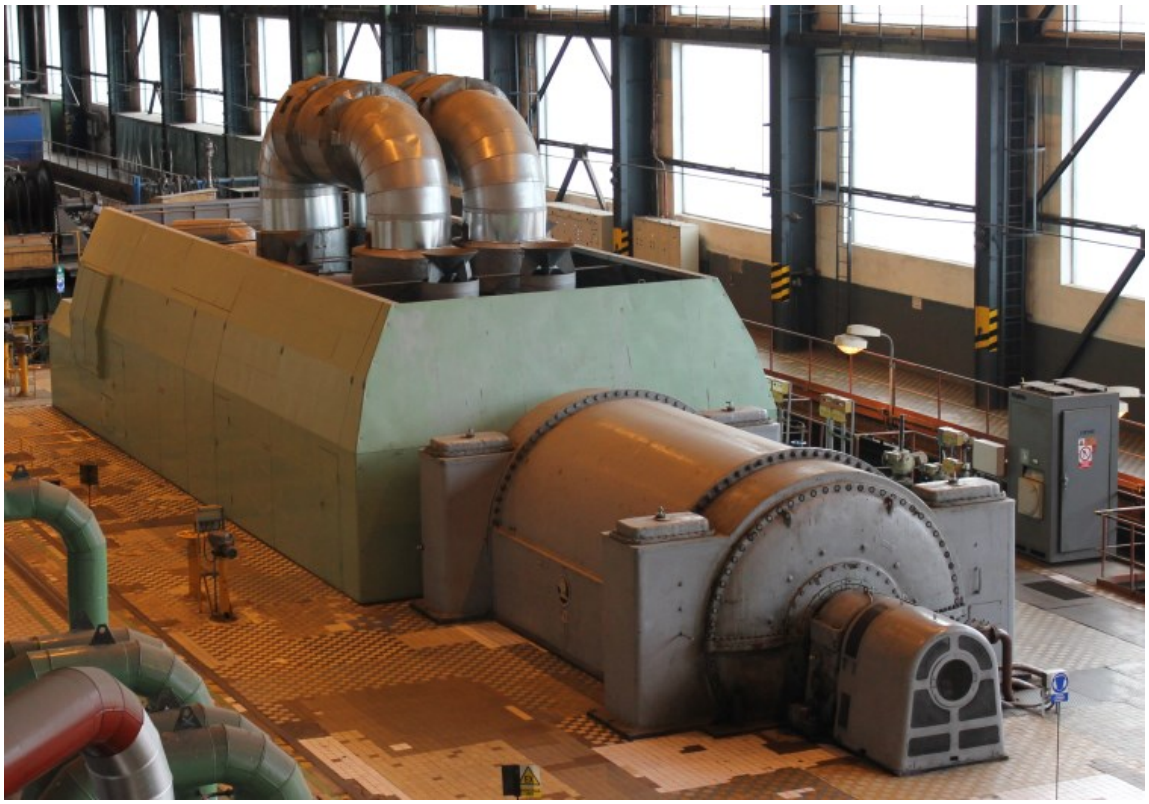
Hlavní součástí ETI 2 (bloku č. 6) je kotel K9 s parním výkonem 330 t/h a parní turbína s turbogenerátorem TG 6 o výkonu 105 MW. Součástí bloku jsou rovněž elektroodlučovače a odsiřovací jednotka, jejíž popis, funkce a intenzifikace odsíření tvoří hlavní náplň této

diplomové práce. Všechny tyto části jsou na sobě provozně přímo závislé. S ostatním společným zařízením ETI je zařízení kotle propojeno za účelem povozu, najíždění případně odstavování.

2.1 Generátor

2.1.1 Technický popis zařízení

Generátor o výkonu 105 MW je součástí soustrojí turbína a alternátor bloku 6. Turbína je třítělesová, kondenzační s osmi neregulovanými odběry pro ohřev regenerace. Je vybavena dvěma rychlozávěrnými ventily a čtyřmi VT regulačními ventily v přívodu admisní páry, dvěma RZ klapkami na výstupu z VT dílu, dvěma kombinovanými rychlozávěrnými a záchytnými ventily v přívodu přihřáté páry. Turbína je konstruována pro kondenzační provoz.



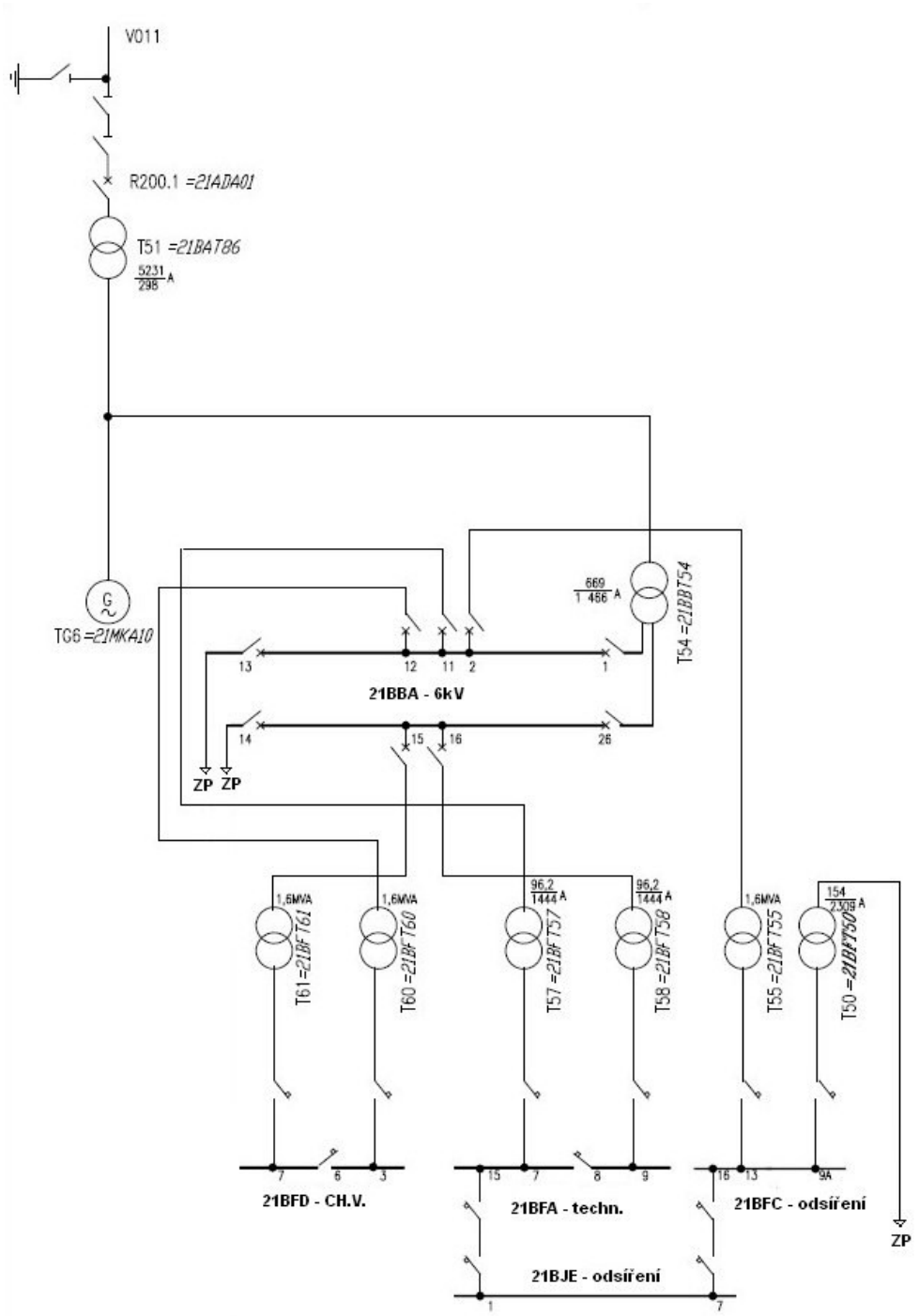
Obr.2.1 TG6

Generátor je chlazen vodíkem a proto jeho příslušenstvím je vodíkové hospodářství a zařízení pro těsnící olej ucpávek na hřídeli včetně souboru poruchové signalizace a zabezpečovacích zařízení. Generátor je chráněn v provozu souborem elektrických ochran

a vybaven souborem měřicích přístrojů. Elektrické ochrany transformátorů jsou součástí souboru tvořícího s elektrickými ochranami generátoru soubor elektrických ochran bloku. K buzení generátoru slouží statická budící souprava (SBS). Souprava je umístěná na kótě 0 m, její napájení je provedeno přes budící transformátor, který je připojen na odbočení z pasoviny generátorového vývodu. [2,3,4]

2.1.2 Napájení vlastní spotřeby a vyvedení výkonu ETI 2

Pro napájení vlastní spotřeby je provedena odbočka z generátorového vývodu na odbočkový transformátor 21BBT54 převádějící statorové napětí generátoru 13.8 kV na napětí 6 kV pro rozvodnu vlastní spotřeby 21BBA, ze které jsou dále napájeny 6 kV pohony pro technologii a dále nn rozvodny a rozváděče. Vyrobená energie o napětí 13,8 kV je vodiči vývodu generátoru přivedena na vývodový transformátor 21BAT86, který ji přetransformuje na napětí 220 kV vývodové linky. Součástí vývodu na vvn straně vývodového transformátoru jsou spínací zařízení a bleskojistky. Tato zařízení slouží pro přifázování generátoru k síti, pro viditelné a izolační odpojení a bleskojistky chrání transformátor před atmosférickým přepětím. Součástí vývodu generátoru, vývodu 220 kV a odbočky z vývodu jsou měřicí transformátory pro připojení měřících a ochranných přístrojů. Vyvedení elektrického výkonu elektrárny ETI 2 do distribuční sítě je realizováno prostřednictvím rozvodny Sokolov - Vítkov linkou V011 - 220 kV. Na *Obr. 1.3* je zobrazeno blokové uspořádání rozvoden a přehledové schéma vyvedení výkonu.



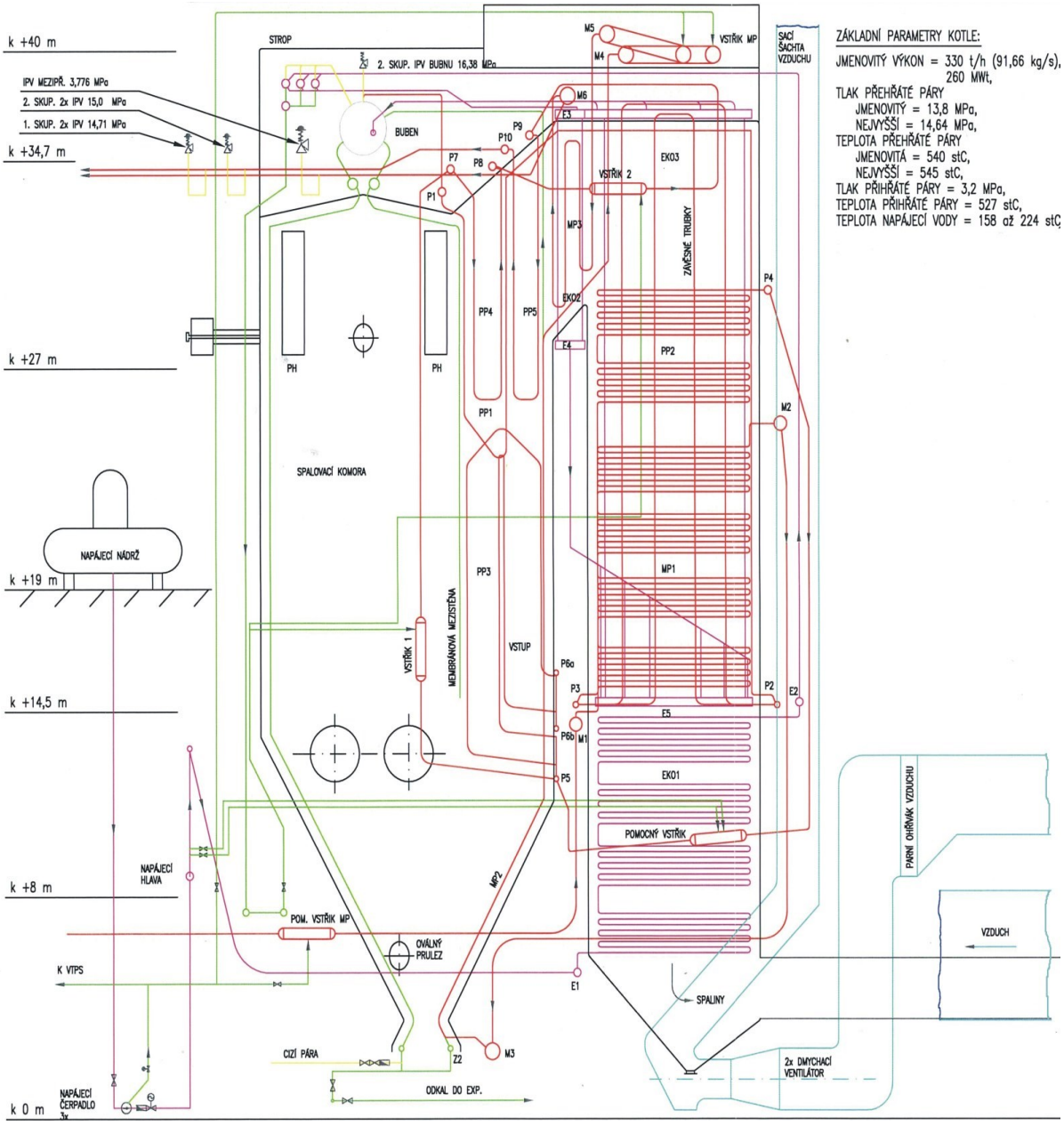
Obr. 2.2 Napájení vlastní spotřeby a vyvedení výkonu ETI 2, převzato z [2]

2.2 Granulační kotel K9

2.2.1 Technický popis zařízení

Výrobcem parního kotle jsou SES Tlmače. Kotel G 330 t/h (K9) je kotel jednobubnový, strmotrubný s přirozenou cirkulací, cirkulační číslo 5. Granulační s přímým foukáním prášku do spalovací komory, s plně vychlazenou spalovací komorou. Pro přehřívání vysokotlaké páry je použito pět stupňů přehřívačů. Pro přihřívání páry vystupující z VT dílu turbiny je použit mezipřehřívač dělený na tři části. Kotel tvoří dvoutahový výparník a třetí tah (dodatkové plochy). Výparník se skládá z kotelního bubnu, systému zavodňovacích trubek a systému varných trubek se zavodňovacími komorami. Přední a boční stěny výparníku jsou tvořeny varnými trubkami. Zadní stěna výparníku je tvořena varnými trubkami a trubkami druhého dílu mezipřehřívače páry. Vlastní spalovací komora je od druhého tahu oddělena membránovou mezistěnou, tvořenou též varnými trubkami. Na spodní část výparníku je napojena výsypka s dvěma vynašeči strusky a jedním drtičem strusky. Struska se splavuje hydraulicky do bagrovací stanice č. 2 a odtud je čerpána bagrovacími čerpadly na úložiště Silvestr. Ve spodní části druhého tahu je uložen sálavý 3. přehřívač (šotový). Je zavěšen na část trubek 1. přehřívače, který současně tvoří strop 2. a 3. tahu (dodatkových ploch) a horní část zadní stěny 3. tahu.V horní části 2. tahu nad 3. přehřívačem jsou zavěšeny 4. a 5. přehřívač a výstupní smyčkový 3. díl mezipřehřívače. Boční stěny přechodu 2. a 3. tahu a boční stěny 3. tahu v horní polovině jsou tvořeny trubkami 3. a 2. stupně ekonomizéru (EKA). V horní části 3. tahu je uložen ležatý přehřívač č. 2. Ten tvoří částečně i přední stěnu 3. tahu. Pod 2. přehřívačem je umístěn první díl mezipřehřívače páry a pod ním pak čtyřdílný ležatý první stupeň ekonomizéru. Spodní část 3. tahu tvoří dvoudílná výsypka, na níž jsou napojeny dva kouřovody. Popílek odloučený ve výsypce je turnikety podáván do splavovacího kanálu. Spaliny procházejí přes dva rotační ohříváky vzduchu, dva třísekcové elektrodlučovače a pomocí dvou kouřových (spalinových) ventilátorů jsou hnány do odsiřovacího absorbéru (nebo při najíždění a odstavování do stávajícího komínu). Popílek z elektroodlučovačů je dopravován gravitačně do mezizásobníků popílku a z nich pneumaticky do výrobny stabilizátu. Z mezizásobníků je možno provádět odběr popílku do autocisteren. Pro přípravu uhelného prášku slouží čtyři uzavřené mlýnské okruhy s ventilátorovými samonasávacími mlýny se sušením surového uhlí spalinami, odebíranými ze spalovací komory. Vzduch do kotle dopravují dva axiální rovnotlaké dmýchací ventilátory. Ohřívání vzduchu je zajištěno parním ohřívákem vzduchu a dvěma rotačními ohříváky vzduchu. Pro najíždění kotle a stabilizaci hoření je kotel vybaven čtyřmi plynovými

najížděcími hořáky, umístěnými v horní části přední stěny spalovací komory. Celý tlakový systém kotle včetně kotlového bubnu je zavěšen na nosné konstrukci a dilatuje směrem dolů. Rozdíl v dilataci studeného kotle a kotle za plného provozu nad vynašeči strusky je cca 130 mm. [5]



Obr. 2.3 Řez K9, převzato z [5]

2.2.2 Základní parametry kotle

Tab. 2.1 Základní parametry kotle, převzato z [5]

Jmenovitý parní výkon	91,66 kg/s	(330 t/h)
Minimální výkon bez stabilizace	55 kg/s	(198 t/h)
Regulační rozsah kotle	70 - 100 %	
Tlak přehřáté páry nejvyšší	14,64 MPa	
Tlak přehřáté páry provozní	13,80 MPa	
Teplota přehřáté páry nejvyšší	545 °C	
Teplota napájecí vody bez VTO	158 °C	
Teplota napájecí vody s VTO I a II	224 °C	
Nejnižší teplota vzduchu před parním ohřívákem	5 °C	
Max. teplota vzduchu za parním ohřívákem	80 °C	
Teplota vzduchu za rotačním ohřívákem	225 °C	
Teplota spalin před rotačním ohřívákem	254 °C	
Teplota spalin za rotačním ohřívákem (max.)	180 °C	
Množství spalin za EO (max.)	557000 m^3/h	154,7 m^3/sec
Účinnost kotle při jmenovitém výkonu	87,9 %	

2.2.3 Hlavní rozměry kotle

Tab.2.2 Hlavní rozměry kotle, převzato z [5]

Šířka	14,00 m
Délka	20,80 m
Výška	40,00 m
Hmotnost včetně kouřovodů, vzduchovodů a sušek bez zazdívek a tepelných izolací	cca 1 908 t
Celkový vodní obsah	cca 247 m^3

2.2.4 Palivo

Pochází se Sokolovské hnědouhelné pánve, z dolu Jiří ve Vintířově. Dodavatelem je Sokolovská uhelná a.s. Uhlí je do areálu ETI dopravováno ve vagónech kolejovou dopravou. Parametry uhlí uvedeny v *Tab. 3*.

Tab. 2.3 Parametry uhlí, převzato z [5]

Výhřevnost	9,75 - 13,75 MJ/kg
Obsah vody v surovém palivu	32 – 40 %
Obsah popele v sušině	20,2 – 42 %
Obsah síry v sušině	0,6 – 5,65 %

2.3 Odsíření

2.3.1 Způsob odsíření ETI 2

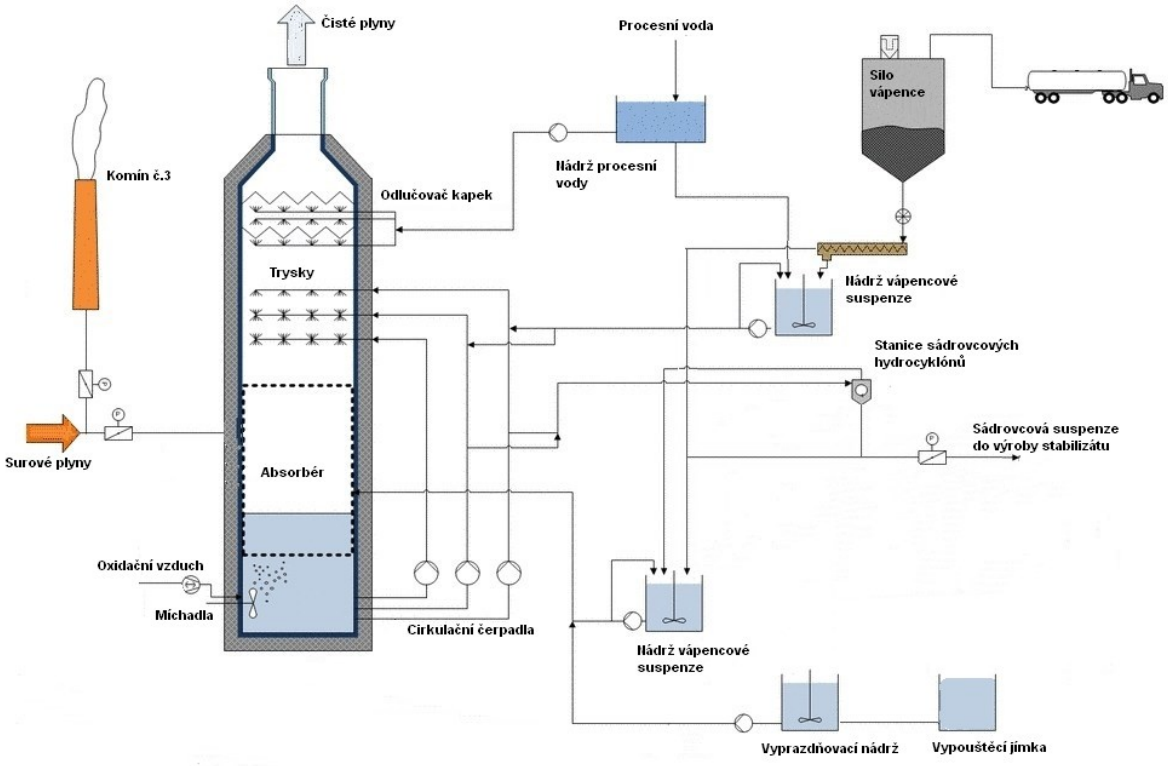
Pro odsíření spalin K9 je použit systém mokré vápencové vypírky spalin. Je to nejvíce používaný způsob odsíření jak v Evropě, tak v USA i Japonsku. Reakčním činidlem, na který se oxid siřičitý SO_2 zachycuje, je vodní suspenze jemně mletého vápence a produktem odsíření je i hydrát síranu vápenatého ($CaCO_4 \cdot 2\ H_2O$), tzv. energosádrovec. Účinnost zachycení SO_2 je vysoká, dosahuje až 96 % při současně vysokém využití reakčního činidla vápence. Produkt odsíření, energosádrovec, je velmi dobře využitelný zejména ve stavební výrobě, kde plně nahradí používaný přírodní sádrovec. Energosádrovec je využíván jako přísada při výrobě cementu a sádry. Zařízení rovněž zachytává ze spalin tuhé znečišťující látky TZL. Koncentrace TZL ve spalinách kotle za elektroodlučovači se může pohybovat okolo 100 $mg/_Nm^3$, maximálně 150 $mg/_Nm^3$). [6,8]

2.3.2 Technologický proces odsiřování

Spaliny z K9 jsou dopravovány přes elektroodlučovače spalinovým ventilátorem K9 ve dvou větvích bez dalšího chlazení o teplotě cca 180 ºC kouřovody K1/2/3 přímo do absorbéru těsně nad 100 % hladiny suspenze. Před absorbérem se obě větve kouřovodů spojují. Po průchodu reakční sprchovou zónou a odlučovači kapek ME se odvádí bez dodatečného ohřevu komínem č. 5 do atmosféry. Tzv. mokrým komínem, který je umístěn přímo na absorbéru, byl vyřešen problém ohřívání spalin za absorbérem bez výměníku tepla. V zařízení není výměník tepla, který bývá místem velmi náchylným ke korozi a je také místem, kde hrozí ucpávání různými nálepy. V absorbéru jsou spaliny sprchované sádrovcovou suspenzí k pohlcení SO_2. Sprchování zároveň slouží k ochlazení spalin na optimální reakční teplotu 59 ºC až 60 ºC, těsně pod rosným bodem. Odpařená voda a voda v odtažené sádrovcové suspenzi se doplňuje ostřikem. Spotřeba procesní vody v zařízení dosahuje špičkově až 120 t/h, v průměru 35 až 40 t/h. Suspenze v absorbéru je rozstřikována až 3 oběhovými čerpadly. Dmychadlem oxidačního vzduchu je dodáván vzdušný kyslík. Přivádí se k horním míchadlům v jímce absorbéru a slouží k dooxidaci siřičitanu na síran, pH suspenze je udržováno na hodnotách 5,4 až 5,5. Sádrovcová suspenze se z absorbéru odebírá odtahovým čerpadlem na zahuštění hydrocyklony. Zahuštěný výtok z hydrocyklonu, pokud hustota v absorbéru dosáhne 1,105 kg/l, je odtahován do nádrže sádrovcové suspenze v objektu

výrobny stabilizátu. Po poklesu hustoty v absorbéru na 1,095 kg/l se výtok z hydrocyklonu přeřadí zpět do absorbéru. K odsiřování slouží jemně mletý vápenec třídy 7. Ten se po stočení ze sila dopravuje do zásobní nádrže vápencové suspenze, kde se ředí procesní vodou na hustotu 1,24 kg/l a ta se dopravuje do absorbéru. Původně ETI kupovala z vápenky Loděnice „vápencové odprašky“, které se domílaly mokrou cestou v kuličkovém mlýně. Nyní se kupuje jemný vápenec, který se nemusí mlít a tak se mlýn dnes nepoužívá. Při najíždění nebo poruše odsiřování se spaliny po spojení obou větví kouřovodů vedou mimo odsiřování do původního komína č.3. Pro řízení technologie procesu ETI používá ŘS firmy Metso Automation. [6,9,10]

2.3.1 Schéma odsíření ETI2



Obr. 2.4 Schéma odsíření ETI 2, převzato z [11]

2.3.2 Kouřovody

Kouřovody jsou kouřové plyny od kotle dopravovány do absorbéru nebo do komína. Jsou provedeny z ocelového plechu, izolovány minerální plstí s oplechováním hliníkovým plechem. Teplota kouřových plynů dosahuje až 193 °C. Pokud by teplota povrchu vnitřních plechů kouřovodu poklesla pod teplotu rosného bodu par ve spalinách, okolo 62 °C, může dojít ke korozi povrchu. Kouřové plyny jsou vedeny od sacích ventilátorů potrubím kruhového průřezu až k spojovacímu, přechodovému kusu, kde dochází ke spojení spalin

z levého a pravého tahu kotle a zároveň k přechodu na obdélníkový tvar kouřovodu. Za ním je namontován rozbočovací díl, který umožňuje odvedení spalin buď do absorbéru, což je standardní provoz nebo do komína č. 3, který se používá při najíždění či odstávce nebo při havárii. [6]

2.3.3 Absorbér

Absorbér je hlavním zařízením odsiřovací jednotky. Kouřové plyny se v něm dostávají v protiproudu do kontaktu se suspenzí obsahující absorpční prostředek z vápence (rozpuštěný $CaCO_3$). V absorbéru probíhá snížení koncentrace SO_2 v kouřových plynech (i TZL). Děj je charakterizován součtovou rovnicí (2.1) a hmotnostně (2.2):

$$SO_2 + CaCO_3 + \frac{1}{2}O_2 + 2H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O + CO_2 \quad (2.1)$$

$$64\ t \qquad 100\ t \qquad 16t \qquad 36t \qquad 172\ t \qquad 44\ t \quad (2.2)$$

Rovnice v sobě zahrnuje tyto čtyři děje:

1. Pohlcování (absorpce) SO_2 z kouřových plynů ve vodě obsažené v suspenzi. Tento děj je fyzikální a vratný (reversibilní) takže jej nepopisujeme chemickou reakcí.

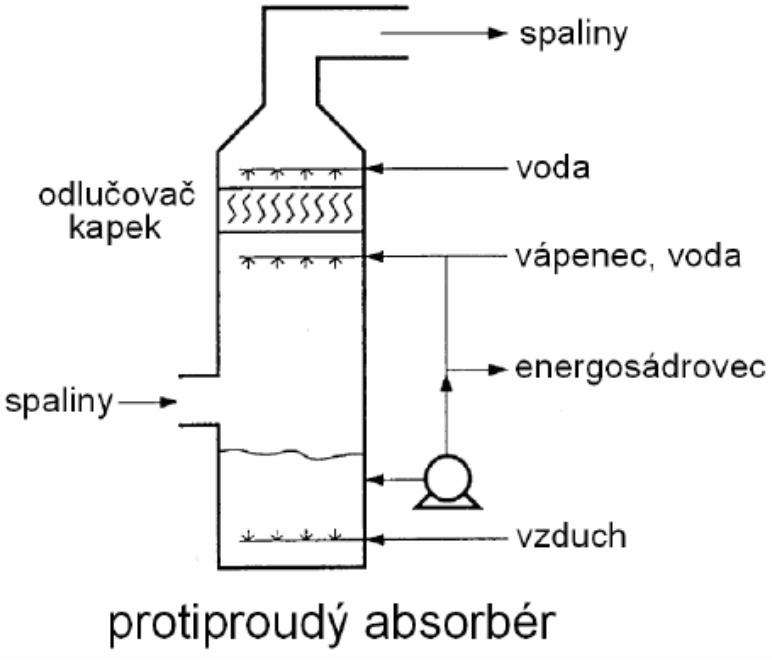
2. Reakce pohlceného SO_2 s rozpuštěným (disociovaným) uhličitanem vápenatým přidávaným do sádrovcové suspenze, tento děj je nevratný.

3. Oxidace vzniklého siřičitanu vápenatého vzdušným kyslíkem na síran vápenatý, tento děj je nevratný.

4. Rušená krystalizace síranu vápenatého na sádrovec, tento děj je vratný, to znamená, že při naředění sádrovcové suspenze vodou, ubývá sádrovec a přibývá síran vápenatý. [6]

Důležitou hodnotou pro řízení děje v absorbéru je hodnota pH. V absorbéru je ideální pH 5,4, při kterém je účinnost odsíření maximální. Volbou pH v absorbéru můžeme ovlivnit i spotřebu vápence a následně i účinnost odsíření. Absorbér je možné rozdělit na tři

nejpodstatnější části: jímka absorbéru, kontaktní zóna a plynová zóna, nad ní je kónus a pak komín č. 5. V dolní části absorbéru se shromažďuje promíchávaná sádrovcová suspenze, přidává se do ní vápencová suspenze a oxidační vzduch. V jímce absorbéru se nachází 6 míchadel, tři na kótě 0 m a tři na kótě 6,6 m. Hladina v jímce absorbéru se měří analogovými měřeními s výběrem 2 hodnot ze 3 měření, protože udržování správné hladiny v absorbéru s minimálními výkyvy je pro chod velmi důležité. Udržování stálé hladiny se provádí ostřikováním odlučovačů kapek v plynové zóně. Pokud by toto množství nebylo dostačující a hladina by klesala, je možno přivádět procesní vodu do absorbéru samostatným přívodem. Kouřové plyny vstupují do absorbéru vstupem kouřových plynů nad hladinou suspenze. Proudí absorbérem směrem zdola nahoru rychlostí do 3 m/s. Rozstřikovacím systémem v kontaktní zóně je protiproudně rozstřikována sádrovcová suspenze. V horní části absorbéru nad rozstřikovacími lávkami, v plynové zóně, jsou kouřové plyny vedeny dvěma horizontálními lamelovými odlučovači kapek, kde se zbavují kapiček suspenzí, unášenými odsířenými kouřovými plyny. Celý komín je na ochranu proti korozi vnitřně pogumován. Teplota v absorbéru nesmí přesáhnout hranici 80 °C, protože jinak hrozí poškození pogumování a deformace odlučovače kapek, která je v lepším případě spojena se snížením účinnosti a v horším případě pádem jednotlivých částí do jímky absorbéru. Hrozí-li překročení této teploty, řídící systém automaticky absorbér odstaví tím, že se otevře kouřová klapka do komína č.3 a uzavře klapka do absorbéru. Na výstupu z absorbéru je umístěno měření vyčištěných kouřových plynů. [6,7]



Obr. 2.5 Schéma absorbéru, převzato z [6]

2.3.4 Odlučovač kapek

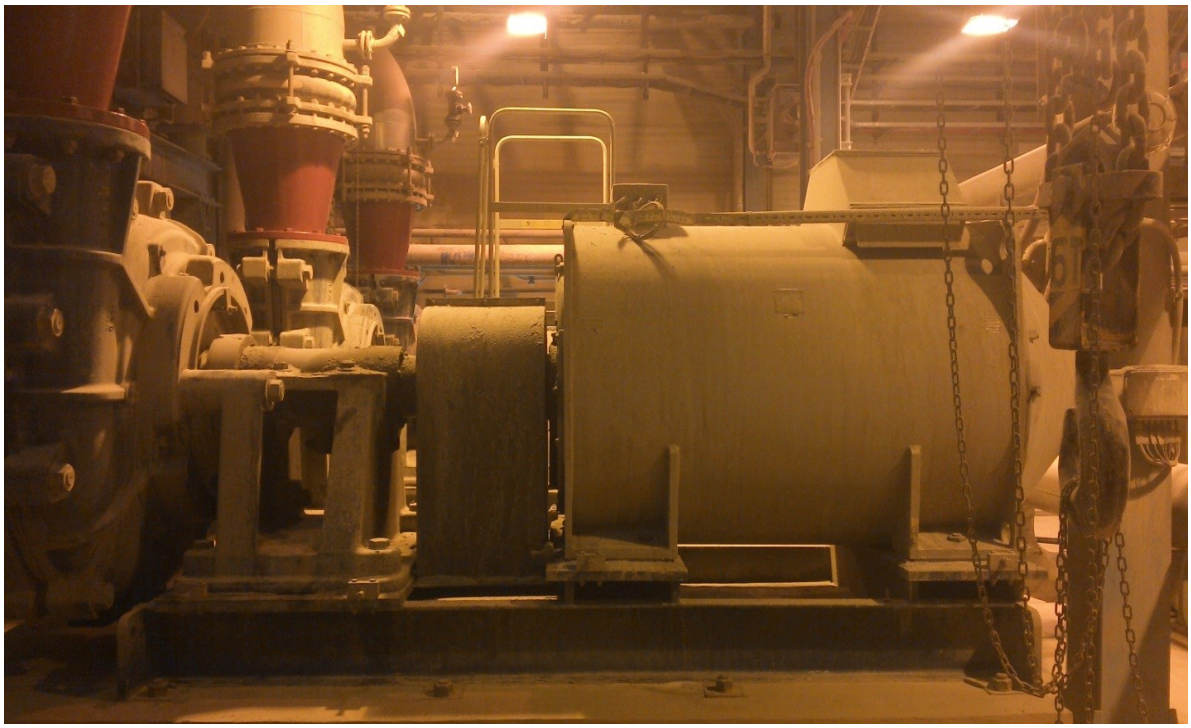
V absorbéru jsou dva samostatné odlučovače kapek, z nichž první, spodní slouží pro hrubé odloučení úletu, druhý, horní pro dočištění spalin. Odlučovače jsou odlučovače nárazové, „chevron type“. Tvoří je řada desek šikmo uložených ke směru toku a mnohonásobně měnících směr toku plynu. Plyn nesoucí kapky úletu naráží na desky, kapky se odlučují a stékají po deskách. Desky jsou uloženy do rámů z polypropylenu. Odlučovače kapek se oplachují vodou, aby nedocházelo k zanášení odlučovačů. Hrubé odlučovače, které jsou blíže k proudícím spalinám, se skrápějí vodou z vnitřní i vnější strany. Zevnitř kontinuálně, zevně periodicky v určitých intervalech. Dočišťující odlučovače mají ostřiky sice z obou stran, avšak ostřik se provádí z vnitřní strany v závislosti na tlakové ztrátě, vnější ostřik jen při odstávkách za účelem čištění. [6,7]

Obr. 2.6 Odlučovač kapek v absorbéru

2.3.5 Cirkulační čerpadla

Cirkulační systém absorbéru se skládá ze tří cirkulačních čerpadel. Každé čerpadlo je poháněno elektromotorem o příkonu 315 kW při jmenovitém napětí 6,3 kV. Proti opotřebení

jsou čerpadla opatřena vnitřním pogumováním. Sání čerpadel je zavedeno do jímky absorbéru a pogumovaným potrubím přivedeno do rozstřikovacích lávek. Suspenze z absorbéru je čerpána cirkulačními čerpadly a rozprašována keramickými tryskami instalovanými ve třech sprchovacích úrovních. Trysky v nejnižší a druhé úrovni sprchových lávek čerpadel č. 11 a č. 12 rozstřikují suspenzi nahoru i dolu. Trysky sprchové lávky čerpadla č. 13 rozstřikují suspenzi pouze jedním směrem, mají větší průměr, protože stejné množství dopravované suspenze tryskají pouze směrem dolů. Tato rozstřikovací lávka má největší účinnost, protože doba kontaktu s kouřovými plyny je největší. Keramické trysky jsou namontovány na potrubí ze sklolaminátu. Potrubí spodních dvou rozstřikovacích lávek je nahoře zesílené do tvaru stříšky. Tím je chráněno nejen proti abrazi rozstřikovanou sádrovcovou suspenzí, ale je tím podstatně zabráněno také tvoření nálepů. [6,7]



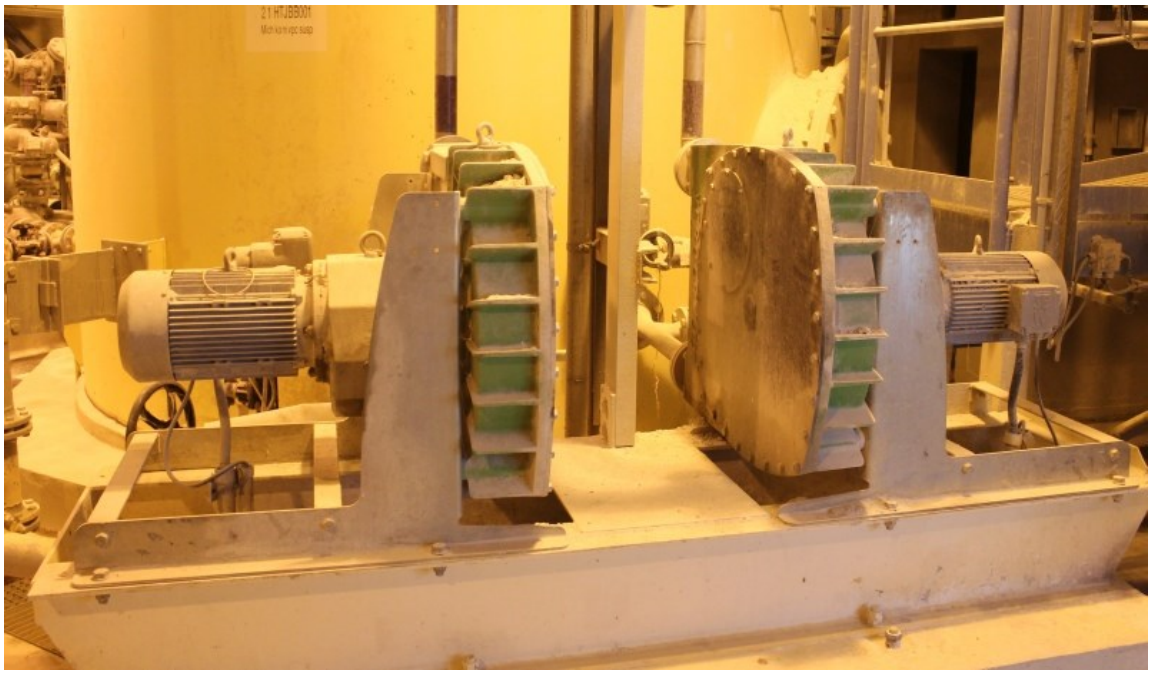
Obr. 2.7 Cirkulační čerpadla ETI 2

2.3.6 Oxidační vzduch

K zajištění vzduchu pro oxidaci siřičitanu vápenatého na síran slouží dmychadla oxidačního vzduchu. Vzduch je nasáván z prostoru budovy čerpadel a je veden ocelovým potrubím do absorbéru. Na absorbéru je umístěn rozvaděč, ze kterého jsou přivedena krátká přípojná potrubí k jednotlivým hrdlům vstupu do absorbéru. V provozu je vždy jen jedno dmychadlo, druhé slouží jako záloha. [6]

2.3.7 Čerpadlo sádrovcové suspenze

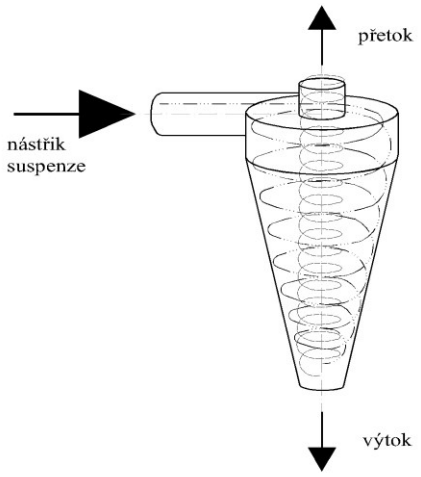
Čerpadlo sádrovcové suspenze pracuje v trvalém provozu a zásobuje sádrovcový hydrocyklon suspenzí z dolní části jímky absorbéru. Zásobování probíhá do doby, než stoupne objemová hmotnost suspenze nad zadanou hranici, poté dochází k přepnutí klapky za hydrocyklonem, aby zahuštěná suspenze ze sádrovcového hydrocyklonu proudila do mezizásobníku sádrovcové suspenze. [6]



Obr. 2.8 Čerpadla vápencové suspenze

2.3.8 Sádrovcová hydrocyklonová stanice

Hydrocyklon je zařízení používané na odlučování či třídění mikroskopických částic (pod 0,2 mm). Vlastní rozdružovací efekt je způsoben rychlým kruhovým pohybem suspenze, který je výslednicí tvorby dvou vířivých sil. Těžší pevné částice energosádrovce padají směrem k vnějšímu víru, vznikajícímu působením odstředivé síly a z hydrocyklonu odcházejí výtokovou tryskou společně s podílem kapaliny, zatímco lehčí částice vstupují do víru vnitřního a opouštějí hydrocyklon společně s rovnovážným množstvím vody na opačném konci hydrocyklonu. Fyzikální princip je zobrazen na *Obr. 2.7.*



Perspektivní zobrazení hydrocyklonu schématicky znázorňující pohyb víru.

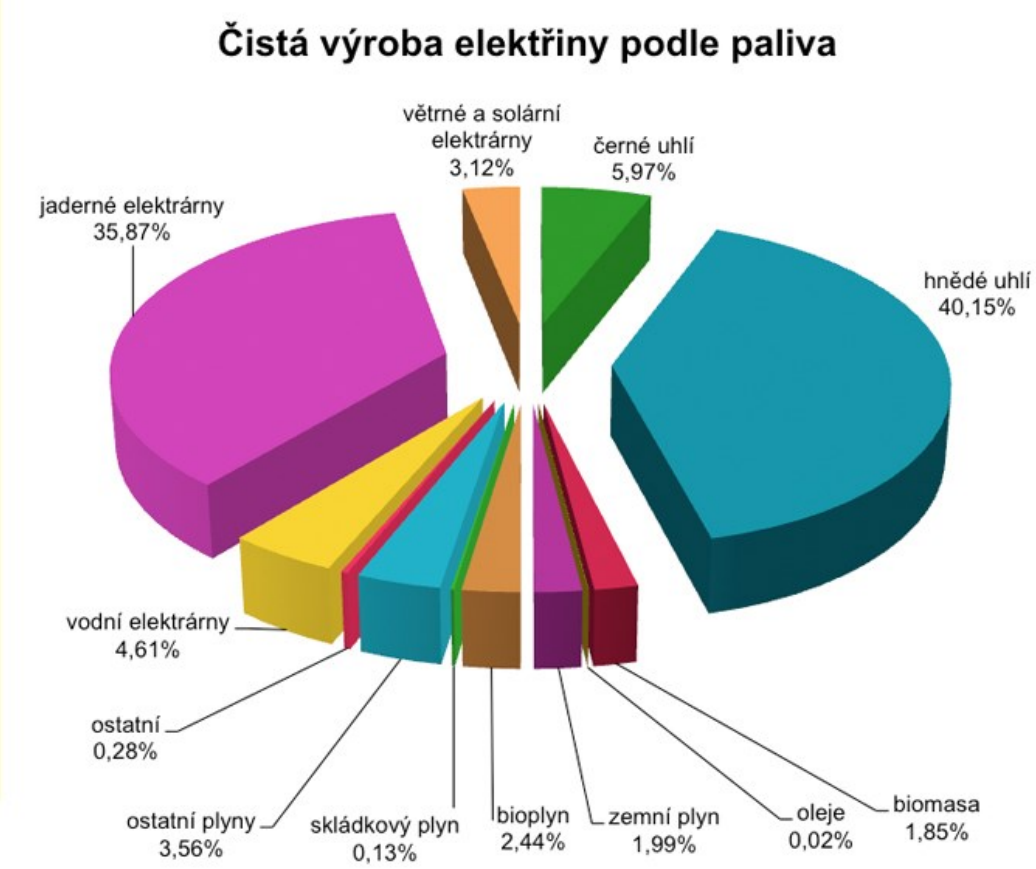
Obr. 2.9 Princip hydrocyklonu, převzato z [6]

Systém je proti korozi a abrazi chráněn pogumováním všech provozních zařízení. Suspenze z absorbéru má pH cca 5,4, hrozí napadení všech součástí z oceli korozí a to za značně rychlého postupu, protože vznikající rez je ihned odnášena suspenzí. Stanice hydrocyklonů pro zpracování sádrovcové suspenze je válcovitého tvaru a je do ní vložen cyklopak osmi hydrocyklonů *Obr. 2.8.* Ty jsou rovnoměrně rozmístěny po obvodu kruhového rozdělovače. Kombinací trysek o různém průměru je dosaženo optimálního zahuštění sádrovcové suspenze. Výtok je zaústěn do nádrže sádrovcové suspenze. Přetok o nízké hustotě, který obsahuje jen malé množství pevných částic se přivádí zpět do absorbéru. [6,12]

Obr. 2.10 Hydrocyklon odsíření K9

3 Energetika a znečišťování ovzduší

Výroba elektrické energie a tepla v klasických elektrárnách spalováním fosilních paliv s sebou přináší i zvýšenou zátěž na životní prostředí, nevyjímaje člověka. Nejtíživější problémy představují především emise oxidů síry, dusíku a tuhých znečišťujících látek. V své práci se nejvíce věnuji právě oxidům síry. Uhelná ložiska jsou doprovázena v menším či větším rozsahu sírou, která při spalování uhlí se mění z větší části na oxid siřičitý, částečně na oxid sírový a z menší části se váže pevné zbytky spalování, jimiž jsou popílek a škvára. Podíl síry vázané na popílek a škváru závisí především na charakteru popelovin v uhlí, ale i též na technologii spalování. Uhlí s vysokým obsahem alkálií a zejména vápníku, váže větší podíl oxidu siřičitého na popílek a škváru, zatím co uhlí obsahující převážně SiO_2 a nízký obsah alkálií jen zanedbatelné množství. Spalovací procesy probíhající při nižších teplotách (např. fluidní kotle) vážou na pevné zbytky zpravidla více oxidů siry než kotle spalující uhlí při vyšších teplotách (např. kotle výtavné nebo granulační). Měření provedená na granulačních kotlích spalujících česká hnědá uhlí, která mají popel převážně kyselý (obsah SiO_2 cca 50 % hm.), prokázala, že 95 % síry obsažené v uhlí uniká do spalin a jen malé množství síry (cca 5%) se váže na pevné zbytky. Energetika se na celkovém podílu znečištění ovzduší podílí významnou měrou, neboť stále téměř polovina (48 procent) z celkové výroby elektřiny v roce 2013 pochází z výroben spalující fosilní paliva *Obr. 3.1*. Před deseti lety byl podíl o 5 procent větší. Může za to sílící tlak na snižování úrovně emisí a masivní podpora obnovitelných zdrojů energie. Mají-li klasické elektrárny i nadále zůstat v provozu, musí splňovat přísné emisní limity, které se budou i nadále, což povede k nemalým investicím do zařízení, zejména v oblasti desulfurace a denitrifikace. U zařízení, které nebude schopno tyto limity plnit, to může znamenat i jejich odstavení z provozu. [8]



Obr. 3.1 Podíly zdrojů na výrobě elektřiny v ČR v r. 2013, převzato z [14]

Existuje celá řada možností jak omezit emise oxidů síry. Jsou to:

- Absolutní snižování spotřeby paliv**.** Toho lze docílit buď přímo jejich spalováním v zařízeních s vyšší energetickou účinností, nebo nepřímo spotřebiči s nižší energetickou náročností, eventuálně snížením spotřeby tepla, např. zlepšením tepelně izolačních vlastností staveb.

- Náhrada paliv obsahujících síru za paliva nízkosirná nebo bez síry**.** Jedná se o náhradu spalovaného uhlí s vysokým obsahem síry za uhlí nízkosirná, za kapalná paliva s nízkým obsahem síry nebo zemní plyn.

- Odsiřování uhlí**.** Účinné snížení síry v uhlí procesy odsiřování uhlí není doposud uspokojivě průmyslově zvládnuto. Síra je v uhlí obvykle obsažena v několika formách, které se chovají k jednotlivým separačním procesům odlišně.

- Odsiřováním spalin. Odsiřování spalin některými procesy lze považovat za průmyslově zvládnuté a je aplikované na celé řadě elektráren a tepláren. Právě tato

koncepce odsíření se používá i v elektrárně Tisová a dále se věnuji pouze tomuto způsobu odsíření spalin.

3.1 Odsiřování spalin

Technologii odsiřování spalin lze charakterizovat:

- Značnými objemy čištěných spalin.
- Nízkými koncentracemi znečišťujících látek ve spalinách, jimiž jsou SO_2, SO_3, Cl^-, F^-
- Obrovskými hmotnostními toky těchto látek.

Produkce spalin závisí i na druhu spalovaného paliva a na přebytku spalovacího vzduchu. Obvyklé hodnoty pro výrobu elektřiny na 100 MW v přepočtu na standardní podmínky jsou pro hnědé uhlí cca 0,5 – 0,6 milionu m^3/h. Větší objemy čištěných spalin jsou z hlediska nákladů nevýhodné, protože vyžadují rozměrnější aparáty. Čím je vyšší obsah síry v uhlí, tím i vyšší jsou emise oxidů síry, které je nutno ze spalin odloučit. Velká množství produktů odsiřování se obtížně zužitkovávají. Za mírou emise oxidů při spalování paliv se považuje měrná sirnatost paliva. Ta je definována jako hmotový obsah síry v uhlí vztažený na jednotku výhřevnosti paliva:

$$\boldsymbol{S_m = \frac{S_h^r}{Q^r}} \qquad [\, g/MJ \,] \tag{3.1}$$

kde S_m je měrná sirnatost paliva, S^r_h je obsah síry v 1 kg paliva v původním stavu a Q^r výhřevnost paliva v původním stavu. Česká hnědá uhlí energetická mají nízkou výhřevnost a relativně vysoký obsah síry vztažený na výhřevnost. V porovnání s černým uhlím energetickým, dováženým do západní Evropy z Číny nebo JAR, mají tato uhlí emise vyšší, protože mají také vysokou měrnou sirnatost, jak dokládá následující příklad.

Černé uhlí spalované v západní Evropě	Hnědé severočeské energetické uhlí
Výhřevnost cca 25 MJ/kg	Výhřevnost cca 9 – 12 MJ/kg
Obsah síry 0,5 – 0,8 % hm.	Obsah síry 1,3 %
Měrná sirnatost 0,2 – 0,3 g S/MJ	Měrná sirnatost 1,1 – 1,5 g S/MJ

Z uvedeného příkladu vyplývá, že na jednotku vyrobené energie (např. MWh) jsou emise oxidů síry v ČR zhruba asi pětkrát vyšší než v západní Evropě. Pro výrobu 1 MWh elektřiny je zapotřebí cca 11 GJ v palivu. Hodinová emise SO_2 ($E_h^{SO_2}$) 100 MW bloku elektrárny na hnědé uhlí při plném využití instalovaného výkonu a při obsahu síry v původním paliva 1,3 % a výhřevnosti 12 MJ/kg činí:

$$E_h^{SO_2} = \frac{100 \cdot 11 \cdot 0{,}013 \cdot 2 \cdot 0{,}95}{12} = 2{,}26 \ \text{[t/h]}$$

kde hodnota 0,95 charakterizuje, že 95 % síry obsažené v uhlí přejde do spalin. [7] Při ročním využití instalovaného výkonu kotle 5000 hodin činí i roční emise ($E_r^{SO_2}$) 100 MW bloku: $E_r^{SO_2} = 5000 \cdot 4{,}53 = 22650$ t/ rok

3.2 Snižování emisí ETI 2

Nejvýznamnější investiční aktivity posledních let byly zaměřeny na splnění požadavků nové legislativy v ochraně vod a ovzduší před znečišťujícími látkami a na ekologické ukládání odpadů. Cílem rozsáhlého a finančně náročného programu Elektrárny Tisová bylo snížení emisí popílku, oxidu siřičitého, oxidů dusíku a oxidu uhelnatého na hodnoty nižší než stanoví zákon. Naplňování programu začalo v roce 1992 výstavbou třísekčního elektrického odlučovače spalin K9 *Obr. 3.2.*

Obr. 3.2 Elektroodlučovače K9

V letech 1995 - 1997 byla vybudována odsiřovací jednotka pracující na principu mokré vápencové vypírky. Dodavatelem byla německá firma L.&C. Steinmüller GmbH *Obr. 3.3.*

Obr. 3.3 Odsíření K9

Ekologizace Elektrárny Tisová byla završena realizací doprovodných staveb, které zabezpečují ekologické ukládání stabilizátů vznikajících z tuhých zbytků po spalování uhlí v úložišti a kompletní zneškodnění znečištěných odpadních vod z areálu elektrárny chemickou čistírnou odpadních vod. Mimo těchto velkých staveb probíhá průběžně modernizace zařízení elektrárny tak, aby odpovídalo současným trendům výroby elektřiny a tepla. [15]

3.3 Emisní limity

Emisní limity pro různé zdroje v závislosti na tepelném příkonu a druhu paliva a topeniště jsou stanoveny v zákonu o ochraně ovzduší č.86/2002, konkrétně v nařízení vlády č.146/2007.

Jsou zde rovněž stanoveny podmínky snižování emisí v následujících letech. V *Tab. 3.1* jsou uvedeny hodnoty emisních limitů pro K9, které jsou stanoveny v Integrovaném povolení č.j. 4146/ZZ/05 ze dne 12.5.2006, vydané Krajským úřadem Karlovarského kraje. Platí pro koncentraci přepočtenou na suchý plyn, při normálních podmínkách 101,32 kPa, 0 °C a pro obsah kyslíku 6 % ve spalinách.

Tab 3.1 Emisní limity

Zdroj znečištění	**Emisní limit v mg/m^3**			
	Tuhé znečišťující látky TZL	Oxid siřičitý SO_2	Oxidy dusíku NO_x	Oxid uhelnatý CO
K9	80	1 600	650	250

3.3.1 Kritéria hodnocení emisního limitu TZL, SO_2, NOx, CO

Emisní limit je nejvýše přípustné množství znečišťující látky vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování ovzduší vyjádřené jako hmotnostní koncentrace znečišťující látky v odpadních plynech. Emisní limit se považuje za dodržený, jestliže jsou v průběhu kalendářního roku současně splněny tyto podmínky:

- Roční průměr denních průměrných hodnot je nižší než hodnota emisního limitu.
- 95 % všech půlhodinových průměrných hodnot je nižší než 120 % hodnoty emisního limitu.
- Všechny půlhodinové průměrné hodnoty jsou nižší než dvojnásobek hodnoty emisního limitu.
- Žádná z měsíčních průměrných hodnot nepřesáhne emisní limit.
- Pro oxid siřičitý a tuhé znečišťující látky 97 % a pro oxidy dusíku 95 % všech 48hodinových koncentrací průměrných hodnot nepřesáhne 110 % emisního limitu.

48hodinovou průměrnou hodnotou se rozumí aritmetický průměr dvou platných po sobě jdoucích denních průměrných hodnot; pro výpočet 48hodinové průměrné hodnoty počínaje 1. lednem a konče 31. prosincem kalendářního roku, přičemž pro výpočet 48hodinové průměrné hodnoty může být každý ze dnů v roce použit pouze jednou; osamocené denní průměry v průběhu roku se pro výpočet 48 hodinové průměrné hodnoty nesčítají. [16]

Do hodnot rozhodných pro posouzení dodržení emisního limitu se nezahrnují údaje zjištěné při:

- Uvádění zařízení do provozu (najíždění kotle), odstavování kotle z provozu.
- Odstraňování poruch způsobujících zvýšení emisí.
- Překračování emisí ve výjimečných situacích, kdy nelze kotel odstavit, jestliže je v provozu pouze tento kotel a v případě jeho odstavení by byla ohrožena dodávka tepla pro obyvatelstvo. Kotel bude odstaven po uvedení náhradního zdroje tepla do provozu.
- Kalibraci kontinuálního měření, ověřování správnosti údajů kontinuálního měření a gravimetrického měření.
- Při technologických operacích zajišťujících provoz (např. přejíždění mlecího okruhu), vysoušení zazdívek kotle, primární zkoušky, profuky parovodů, zkoušky spalování alternativního paliva schválené rozhodnutím příslušného orgánu ochrany ovzduší včetně dodržování stanovených podmínek pro provedení zkoušky. [16]

3.3.2 Kontinuální měření emisí

V souladu se zákonem č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů a jeho prováděcími právními předpisy a platným integrovaným povolením jsou hmotnostní koncentrace škodlivin v spalinách zjišťovány kontinuálním měřením emisí včetně vztažných hodnot teploty a kyslíku ve spalinách. Data zjišťovaná kontinuálním měřením jsou uschována a chráněna proti pozměňování. Vyhodnocení výsledků kontinuálního měření emisí je zabezpečeno jednotným systémem emisního monitoringu EMON. Systém emisního monitoringu zahrnuje následující skupiny:

a) Skupina přístrojů a analyzátorů měřící jednotlivé znečišťující látky a další doprovodné veličiny. Je umístěna v provoze u měřicích míst u komínů.

b) Skupina prostředků výpočetní techniky s hardwarovými a softwarovými moduly tvořícími "Vyhodnocovací systém měření emisí" (VS EMON), který zajišťuje sběr, digitalizaci, přenos po počítačové LAN síti, zobrazení, analýzu a zpracování naměřených veličin v reálném čase tak, aby byly splněny požadavky zákonných předpisů. K operativnímu sledování měření a zjišťování plnění emisních limitů v provoze je používána vizualizace PROMOTIC prostřednictvím web-klientů.

K vykazování emisí a hodnocení plnění emisních limitů je používána softwarová aplikace EISNET. Relační databázové systémy provádějí ukládání předepsaných a dalších potřebných veličin, zajišťují jejich třídění, archivaci a dlouhodobou dostupnost pro další zpracování a použití. Správu zařízení VS EMON zajišťuje oddělení péče o zařízení elektro a MaR. Provoz, údržbu, kalibrace a ověřování měření zabezpečuje ČEZ pomocí autorizované firmy. [16]

3.3.3 Popis a umístění přístrojů pro kontinuální měření emisí

a) Analyzátor URAS 14 (SO_2, NO, CO, O_2 a CO_2)

Pro měření plynných znečišťujících látek je použit přístroj URAS 14. Analyzátor URAS je vícekomponentní analyzátor, pracující na principu nedisperzivní infračervené spektrometrie (NDIR). Metoda NDIR pracuje bez rozkladu světla a je založena na faktu, že některé plyny absorbují určitou vlnovou délku (spektrální čáru) záření, které jím prochází. Při správné volbě zdroje záření tato metoda umožňuje s vysokou selektivitou určovat a měřit složení plynů, jejichž absorpční pásma pohlcující světlo a leží ve spektru infračervených vlnových délek, tzn. od 200 do 900 nm. Podle intenzity útlumu se pak určuje koncentrace každého plynu obsaženého ve směsi. Mezi plyny splňující tento požadavek patří například SO_2, NO, NH_3, CO, CO_2, N_2O nebo CH_4. Obsah O_2 ve spalinách je zjišťován převodníkem, pracujícím na elektrochemickém principu. [18,19]

Obr. 3.4 Analyzátor URAS 14

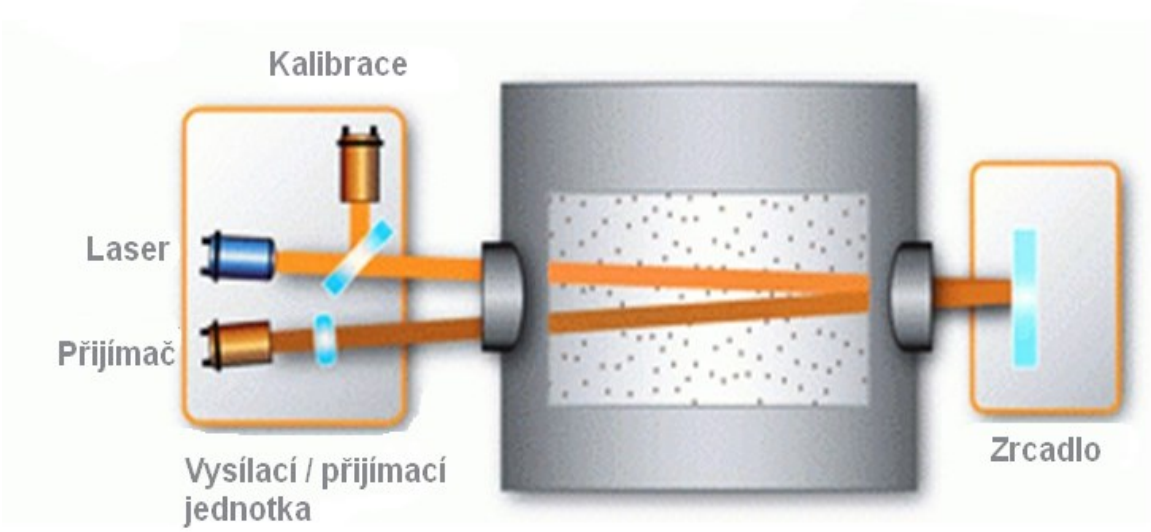
K získávání vzorků slouží dvě odběrová místa:

1. Měřící místo před odsířením: vzorky plynných znečišťujících látek jsou odebírány speciálními sondami z levého i pravého spalinovodu cca 8 m před spalinovými ventilátory kotle a vyhřívaným vedením přivedeny do buňky emisí K9.

2. Měřící místo za odsířením: Vzorek plynných znečišťujících látek je odebírán sondou na kótě cca 38 m na konci absorbéru před zaústěním do komína. Z měřícího místa jsou spaliny vedeny do buňky emisí odsíření K9. V buňce je vzorek upraven a zaveden do analyzátoru.

b) Analyzátor DURAG 280-10 a SICK RM 210 (TZL)

Pro měření tuhých znečišťujících látek. Princip pro měření a detekci prachu a částic sazí je použití průchodu optického paprsku napříč detekčním prostorem viz *Obr. 3.2.* Nárazem paprsku světla do částeček prachu totiž dochází k jeho rozptylu a tím i snížení jeho energie a intenzity. Pokud tedy intenzitu vráceného paprsku porovnáme s intenzitou paprsku vyslaného. Fyzikální měřenou veličinou je transmise. Po gravimetrické kalibraci je možné vypočítat odpovídající hmotnostní koncentraci tuhých znečišťujících látek. [16,17,18]



Obr. 3.5 Princip měření, převzato z [21]

K získávání vzorků slouží dvě odběrová místa:

1. Měřící místo před odsířením: Sondy pro odběr tuhých znečišťující látek spolu s analyzátory DURAG 280-10 jsou umístěny na spalinovodech cca 18 m před jednotlivými spalinovými ventilátory. Údaje o koncentraci tuhých znečišťujících látek z obou analyzátorů jsou zavedeny do buňky emisí K9.

2. Měřící místo za odsířením: Analyzátor tuhých znečišťujících látek SICK RM 210 je umístěn ve vyhřívaném obtoku kouřovodu na konci absorbéru na kótě cca 38 m před zaústěním do komína. Speciální ventilátor zabezpečuje průtok vzorku vyhřívaným obtokem hlavního kouřovodu. Tento typ přístroje zaručuje přesnější měření nízkých koncentrací tuhých znečišťujících látek při provozu bloku s odsiřovacím zařízením. Údaj o koncentraci tuhých znečišťujících látek jez analyzátoru veden do buňky emisí odsíření K9.

Z analyzátoru měření emisí jsou přivedeny analogové signály obsahující změřené hodnoty na vstupy digitalizačních karet PLC automatu. Současně jsou do PLC automatu přivedeny binární signály obsahující informaci o stavu analyzátoru. Všechny hodnoty jsou v PLC automatu digitalizovány. Digitalizované hodnoty jsou pomocí Modbus TCP protokolu odeslány do nadřazeného lokálního serveru EMON, na kterém je provozována serverová aplikace vytvořena ve vývojovém prostředí PROMOTIC. Zde probíhá základní verifikace hodnot, on-line vizualizace všech měřených hodnot, zpracování minutových průměrů koncentrací, výpočet půlhodinových průměrů, tvorba historických trendů, ukládání půlhodinových průměrů do SQL serveru. Veškeré veličiny jsou zobrazovány na monitorech operátorů ve vizualizaci PROMOTIC prostřednictvím web-klientů. Půlhodinové průměry jsou ukládány do centrální databáze SQL Server ORGREZ, odkud je přebírá databáze vyhodnocovacího systému EisNet. VS EisNet slouží ke sběru a digitalizaci měřených dat, jejich zpracovávání, ukládání a vyhodnocování ve smyslu platných legislativních požadavků. [16]

3.3.4 Vyhodnocování emisí

Základem vyhodnocovacího systému EMON je lokální server, na kterém běží hlavní serverová aplikace, která je vytvořena ve vývojovém prostředí PROMOTIC. Serverová aplikace sbírá všechny měřené veličiny (analogové a binární signály) v intervalech cca 2 až 3 sekundy a provádí jejich následné zpracování. Data jsou ukládána do lokální SQL databáze

a do SQL databáze na server na pracovišti ORGREZ, a. s. Ostrava, kde probíhá konečné zpracování v rámci aplikace EisNet. Na tomto serveru je integrován http server, který umožňuje přístup k vizualizačnímu systému z počítačů v síti LAN VPN EMON ČEZ. Veškerá další vizualizace měřených veličin je řešena prostřednictvím tzv. webových klientů. Aplikace vizualizačního systému PROMOTIC je proti zneužití chráněna hardwarovým klíčem umístěným v USB portu počítače PC. Přístup k jednotlivým vizualizacím vyžaduje autorizaci (jméno a heslo). Do lokálního serveru PROMOTIC jsou přenášena data z řídícího systému technologie pro určení provozních stavů zdroje a kontinuální výpočet množství spalin v jednotlivých časových úsecích. V rámci koncepce EMON jsou řešeny případné poruchové stavy týkající se výpadku komunikace mezi PLC a lokálním vyhodnocovacím serverem PROMOTIC. V těchto případech probíhá automatické zálohování snímaných dat (ukládání do vnitřní paměti jednotlivých PLC automatů a paměť je proti ztrátě dat vybavena zálohovací baterií) a po obnovení komunikace jsou data zpětně načtena do lokálního serveru PROMOTIC. Zpracování v nadstavbové vyhodnocovací aplikaci EisNet. Aplikace EisNet automaticky získává on-line půlhodinové hodnoty zasílané po VPN EMON z lokální databáze PROMOTIC. Ukládá je ve vlastní SQL databázi. Ve VS EisNet dochází k validaci a k dalším výpočtům pro konečné stanovení emisí škodlivin a vyhodnocení dodržení emisních limitů. VS umožňuje zpracování tištěných i elektronických výstupů stanovených právními předpisy. Program rovněž provádí „nahrazování“ dat, chybějících z důvodu výpadku přístrojů emisního monitoringu nebo jiné příčiny. Jedná se o proces, který zabezpečí výpočet množství emisí a poplatků za ně. Tyto náhradní hodnoty jsou použity ve VS pouze k dopočtu emisí a poplatků. Nevstupují do hodnocení plnění emisních limitů, ani do hodnocení provozní spolehlivosti (výtěžnosti emisního měření). Denní vyhodnocování a měsíční verifikaci emisních dat zabezpečuje ekolog OJ prostřednictvím VS EisNet. Data jsou předávána externí firmě, která zajišťuje validaci dat pro výpočet poplatků za emitované škodliviny. ČIŽP bude v případě potřeby umožněna kontrola, popř. zpětná kontrola postupu při vyhodnocování a verifikaci emisních dat z kontinuálního měření, tj. např. porovnání výpisu emisních dat před verifikací a po ní a kontrola údajů týkajících se provozu kotle a filtračního zařízení, zejména vznik a odstranění poruchových a havarijních stavů. [16]

4 Analýza účinnosti odsíření ETI 2

Společnost ČEZ, a.s. předpokládá provoz K9 k horizontu roku 2030. S ohledem na vývoj legislativy o omezování emisí SO_2, bude od roku 2020 stanovena úroveň emisí SO_2 ve výstupních kouřových plynech na hodnotu 200 mg/m_N^3, jelikož účinnost odsiřovacích procesů včetně použitých technologií byla poplatná znalosti legislativy v počátku devadesátých let, byla volena v pásmu 80 – 95 %. Tato účinnost se ale v budoucnu jeví jako nedostatečná, proto bylo nutné provést analýzu odsiřovací jednotky pro určení nejvhodnějšího technickoekonomického řešení pro dosažení koncentrace SO_2 ve výstupních kouřových plynech pro hodnotu 200 mg/m_N^3. Pro výpočet množství spalin v m_N^3/h bylo nutno vypočítat množství paliva potřebného pro maximální výkon a množství spalin na 1 kg paliva. Pro výpočet spotřeby vápence, vody a tvorby sádrovce včetně dalších provozních hmot byly použity údaje dodavatele absorbéru fy. Steinműller. Výpočty byly provedeny pro přebytek vzduchu 1,5, což představuje obsah kyslíku v suchých spalinách 7,09 (na rozdíl od přebytku 1,4, obsah kyslíku 6 %). [13]

4.1 Množství paliva

Vzhledem k tomu, že se mění kvalitativní znaky paliva oproti palivu, pro které byl absorbér navrhován je nutno určit množství spalovaného uhlí. Dle hodnot z programu EisNet bylo zjištěno množství spáleného uhlí v r. 2010, jeho průměrná výhřevnost, provozní hodiny a průměrný elektrický výkon. Na základě těchto hodnot byl proveden přepočet na nové palivo pro výkon 110 % jmenovitého výkonu, tzn. 110 $MW_{el.}$

$$\boldsymbol{m_{pal} = \frac{m_u}{h_{pr}}} \qquad \text{[t/h]} \qquad (4.1)$$

m_{pal} - množství spáleného uhlí při průměrném ročním výkonu [t]

m_u - množství spáleného uhlí [t]

h_{pr} - provozní hodiny [h]

Přepočet na elektrický výkon

$$m_{sk} = \frac{m_{pal} \cdot 110}{P_{prům}} \quad [t/h] \quad (4.2)$$

m_{sk} - skutečné množství uhlí při výkonu 110% jm. výkonu [t/h]

$P_{prům}$ - průměrný el. výkon v r. 2010 [MW]

V *Tab. 4.1* jsou hodnoty spotřeby a výroby K9 v r. 2010. Z těchto hodnot byla vypočtena hodinová spotřeba paliva a přepočtena podle dosaženého el. výkonu na 110 % výkon. Při přepočtu byly vzaty v úvahu pouze měsíce říjen až listopad, kdy byl el. výkon uveden pouze pro K9.

Tab. 4.1 Spotřeba a výroba K9

Měsíc	Spotřeba	Výroba		Výpočet
	Množství uhlí [t]	Provozní hodiny [hod]	El. výkon [MW]	Množství uhlí [t/h]
říjen	52003	651	97	79,88
listopad	54706	687	96	79,69
prosinec	60903	744	97	81,86
průměr	55871	694	97	80,48

Průměrná spotřeba uhlí s výhřevností 12198 kJ/kg byla 80,48 t/h při průměrném výkonu bloku 97 MW. Po přepočtu na 110 % výkon činí spotřeba uhlí 91,26 t/h a po přepočtu na výhřevnost 12 MJ/kg pak 92,77 kg/h uhlí. [13]

4.2 Množství spalin

Pro přepočet absorbéru na jiné palivo je nutno znát množství a složení spalin vzniklých spálením paliva. Důležitý je nejen obsah SO_2 ve vzniklých spalinách, ale také množství suchých a vlhkých spalin a jejich složení. Vzhledem k tomu, že výpočet absorbéru byl proveden pro přebytek vzduchu 1,5 (obsah O_2 v suchých spalinách je 7,09 %), byl i výpočet pro nové palivo proveden pro tento přebytek vzduchu. Limitní obsahy SO_2 byly přepočteny

z 6 % kyslíku na 7,09 % kyslíku a z těchto hodnot pak vypočteny potřebné hmoty (resp. objemy) provozních hmot absorbéru. [13]

Množství spalovacího vzduchu a spalin bylo vypočteno pomocí spalovacích rovnic ze znalosti složení paliva.

Minimální množství spalovacího vzduchu

$$\mathbf{O_{vzmin}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{0{,}21}} \cdot (\mathbf{1{,}865 \cdot C + 5{,}553 \cdot H + 0{,}698 \cdot S - 0{,}699 \cdot O}) \quad [m_N^3/kg] \qquad (4.3)$$

kde C, H, S a O příslušné složky paliva

Minimální množství suchých spalin

$$\boldsymbol{O_{ss\,min}} = \mathbf{1{,}854} \cdot \boldsymbol{C} + \mathbf{0{,}683} \cdot \boldsymbol{S} - \mathbf{0{,}699} \cdot \boldsymbol{O} \qquad [m_N^3/kg] \qquad (4.4)$$

Minimální množství vlhkých spalin

$$\boldsymbol{O_{sv\,min}} = \boldsymbol{O_{ps\,min}} + \frac{\mathbf{1{,}111} \cdot \boldsymbol{H} + \mathbf{1{,}243} \cdot \boldsymbol{W^r}}{\mathbf{100}} \qquad [m_N^3/kg] \qquad (4.5)$$

W^r obsah vody v palivu [%], H obsah vodíku v palivu [%]

Skutečné množství vzduchu

$$\boldsymbol{O_{vz}} = \boldsymbol{n} \cdot \boldsymbol{v} \cdot \boldsymbol{O_{vz\,min}} \qquad [m_N^3/kg] \qquad (4.6)$$

n přebytek vzduchu [-], v obsah vlhkosti ve vzduchu (1,02) [-]

Přebytek vzduchu se vypočte dle vztahu:

$$\boldsymbol{n} = \mathbf{1} + \frac{\boldsymbol{\omega_{O_2}}}{\mathbf{20{,}9} - \boldsymbol{\omega_{O_2}}} \cdot \frac{\boldsymbol{O_{ss\,min}}}{\boldsymbol{O_{vz\,min}}}$$

$$\boldsymbol{n} = \mathbf{1} + (\frac{\boldsymbol{\omega_{CO_{2max}}}}{\boldsymbol{\omega_{CO_2}}} - \mathbf{1}) \cdot \frac{\boldsymbol{O_{ss\,min}}}{\boldsymbol{O_{vz\,min}}}$$

ω_{O_2}- naměřený obsah O_2 v suchých spalinách [%]

ω_{CO_2}- naměřený obsah CO_2 v suchých spalinách [%]

Skutečné množství suchých vlhkých spalin

$$\boldsymbol{O_{ss} = O_{ss\,min} + (n-1) \cdot O_{vz\,min}} \quad [m_N^3/kg] \quad (4.7)$$

Objemové složení spalin

Určí se výpočtem objemu složky (CO_2, H_2 , SO_2, O_2 a N_2) a ta se vydělí celkovým množstvím spalin a vynásobí 100, takže výsledek je uveden v %

$$\boldsymbol{V_{CO_2} = 1,854 \cdot C^r} \quad [m_N^3/kg] \quad (4.8)$$

$$\boldsymbol{V_{SO_2} = 0,683 \cdot S^r} \quad [m_N^3/kg] \quad (4.9)$$

$$\boldsymbol{V_{H_2O} = 11,111 \cdot H^r + 1,243 \cdot W_t^r} \quad [m_N^3/kg] \quad (4.10)$$

$$\boldsymbol{V_{N_2} = 0,8 \cdot N^r + 3,762 \cdot O_{min}} \quad [m_N^3/kg] \quad (4.11)$$

$$\boldsymbol{V_{O_2} = (n-1) \cdot V_{vz\,min} \cdot 0,21} \quad [m_N^3/kg] \quad (4.12)$$

Vztah pro přepočet objemového složení SO_2 na hmotnostní složení:

$$\boldsymbol{SO_{2hm} = SO_2 \cdot \rho_{SO_2} \cdot 10000} \quad [mg/m_N^3] \quad (4.13)$$

Vztah pro přepočet koncentrace SO_2 na jiný obsah O_2 ve spalinách:

$$\boldsymbol{SO_{2hm\,nový} = SO_{2hm} \cdot \frac{21 - O_{2\,nový}}{21 - O_2}} \quad [mg/m_N^3] \quad (4.14)$$

4.3 Množství odstraněného SO_2

Pro stanovení množství odstraněného SO_2 je nutno znát množství suchých spalin a množství SO_2 v suchých spalinách před absorbérem a rovněž stejné veličiny za absorbérem. Odstraněný SO_2 se vypočte jako rozdíl množství SO_2 před a za absorbérem. Množství SO_2 před absorbérem se vypočte ze vztahu:

$$SO_{2před} = \frac{c_{SO_2} \cdot V_{ss}}{1000000} \quad [kg/h] \quad (4.15)$$

c_{SO_2} - koncentrace SO_2 v suchých spalinách [mg/m_N^3]

V_{ss} - množství suchých spalin [m_N^3/h]

Stejným způsobem se vypočte množství SO_2 za absorbérem dosazením hodnot koncentrace SO_2 a množství suchých spalin za absorbérem. Odstraněný SO_2 je pak rozdíl hodnot před a za absorbérem. [13]

$$SO_{2ods} = SO_{2před} - SO_{2za} \quad [kg/h] \quad (4.16)$$

4.4 Spotřeba vápence

Množství potřebného vápence je vypočteno z množství odstraněného SO_2 ze spalin stechiometrickým výpočtem podle rovnice:

$$SO_2 + CaCO_3 + 2\,H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O + CO_2$$

$$64{,}065 + 100{,}087 + 36{,}0306 = 172{,}172 + 44{,}0095 \quad [kg] \quad (4.17)$$

Z této rovnice vyplývá, že na odstranění 64,065 kg SO_2 je potřeba 100,087 kg $CaCO_3$ a vznikne 172,172 kg $CaSO_4.2H_2O$. Potom teoretická spotřeba $CaCO_3$ je:

$$CaCO_{3teor} = SO_{2odstr} \cdot \frac{100{,}087}{64{,}065} \quad [kg/h] \quad (4.18)$$

SO_{2odstr} - množství odstraněného SO_2 [kg/h]

4.5 Vápencová suspenze

Výpočet množství vápencové suspenze, která vzniká smíšením vápence a vody je dán obsahem vápence v suspenzi a dodavatelem je předepsán na 25 % hmotnostního podílu. Celkové množství vápencové suspenze je pak součet hmotností vápence a vody v jednotkách kg/h. Pro přepočet na objemové množství m^3/h je nutno stanovit hustotu suspenze, která vychází z objemu vody a vápence v suspenzi a hmotnosti vápence. Objem tuhých složek

v suspenzi obecně je vypočten z hustoty tuhých složek a množství tuhých složek, objem vody se rovná hmotnosti vody. Objem tuhých složek OTS se vypočte dle vztahu:

$$\boldsymbol{OTS} = \frac{\boldsymbol{množství\ tuhých\ složek}}{\boldsymbol{hustota\ tuhých\ složek}} \quad [m^3/h] \quad (4.19)$$

Hustota suspenze pak jako podíl množství tuhých složek a objemu tuhých složek a objemu vody. Hustota vápence dle literatury (i kontrolou podle výpočtu Steinműller) je 2,68 g/cm^3, u sádrovce pak 2,4 g/cm^3. Do tuhých složek je nutno zahrnout také obsah $MgCO_3$ a dalších nečistot. [13]

4.6 Množství sádrovcové suspenze z absorbéru

Množství sádrovcové suspenze je vypočteno jako součet množství sádrovcové suspenze odcházející z hydrocyklonu na struskové hospodářství a množství sádrovcové suspenze vracející se z hydrocyklonu do absorbéru. [13]

Množství sádrovce v suspenzi se vypočte dle vztahu:

$$\boldsymbol{CaSO_4} = \frac{\boldsymbol{SO_{2odstr}} \cdot \mathbf{172{,}172}}{\mathbf{64{,}0628}} \quad [kg/h] \quad (4.20)$$

4.7 Bilance vody

Pro stanovení množství doplňované procesní vody do absorbéru je nutno provést bilanci vody v absorbéru. Ke ztrátám vody dochází jednak ve spalinách a jednak v sádrovcové suspenzi odcházející do škvárového hospodářství. Voda je do absorbéru přiváděna vápencovou suspenzí, vodou na oplach lapačů kapek a jako doplňková voda do absorbéru. Vlhkost vstupních i výstupních spalin je možno vyjádřit $\%_{obj}$, potom množství vody obsažené ve spalinách se vypočte jako množství vlhkých spalin násobené obsahem vody ve spalinách [m^3/h] a po vynásobení hustotou vodní páry pak v [kg/h]. Vztahy pro výpočet jsou následující:

$$\boldsymbol{H_2O_{vstup}} = \boldsymbol{V_{sv\ vstup}} \cdot \boldsymbol{c_{H_2O_{vstup}}} \quad [m^3/h] \quad (4.21)$$

$$\boldsymbol{H_2O_{vstup}} = \boldsymbol{V_{sv\ vstup}} \cdot \boldsymbol{c_{H_2O_{vstup}}} \cdot \boldsymbol{\rho_{H_2O_g}} \quad [kg/h] \quad (4.22)$$

Stejným způsobem je proveden výpočet množství vody ve spalinách na výstupu z absorbéru s tím rozdílem, že za množství spalin a koncentraci vody jsou dosazována hodnoty spalin na výstupu z absorbéru. [13]

$$\boldsymbol{H_2O_{výstup}} = \boldsymbol{V_{sv\ výstup}} \cdot \boldsymbol{c_{H_2O_{výstup}}} \quad [m^3/h] \quad (4.23)$$

$$\boldsymbol{H_2O_{vsýtup}} = \boldsymbol{V_{sv\ výstup}} \cdot \boldsymbol{c_{H_2O_{výstup}}} \cdot \boldsymbol{\rho_{H_2O_g}} \quad [kg/h] \quad (4.24)$$

V_{sv} - množství vlhkých spalin [m^3/h]

c_{H_2O} - obsah vody ve spalinách [-]

ρ_{H_2O} - hustota vodní páry [kg/m_N^3]

Ztráta vody v sádrovcové suspenzi

Ztrátu vody v sádrovcové suspenzi je možno rozdělit na ztrátu krystalickou vodou ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) a ztrátu vodou v sádrovcové suspenzi, odcházející na škvárové hospodářství.

Ztráta krystalickou vodou se vypočte dle vztahu:

$$\boldsymbol{H_2O_{kryst}} = \frac{\boldsymbol{CaSO_4 \cdot 2{,}172 \cdot 18{,}0153}}{\boldsymbol{172{,}172}} \quad [kg/h] \quad (4.25)$$

Ztráta vodou v suspenzi je popsána rovnicí (4.10). Celková ztráta vody v sádrovcové suspenzi je rovna součtu obou vod:

$$\boldsymbol{H_2O_{celk}} = \boldsymbol{H_2O_{kryst}} + \boldsymbol{H_2O_{susp}} \quad [kg/h] \quad (4.26)$$

Celková ztráta vody

Množství vody, kterou je nutno nahradit, se rovná součtu ztráty vody spalinami a ztráty vody sádrovcovou suspenzí. [13]

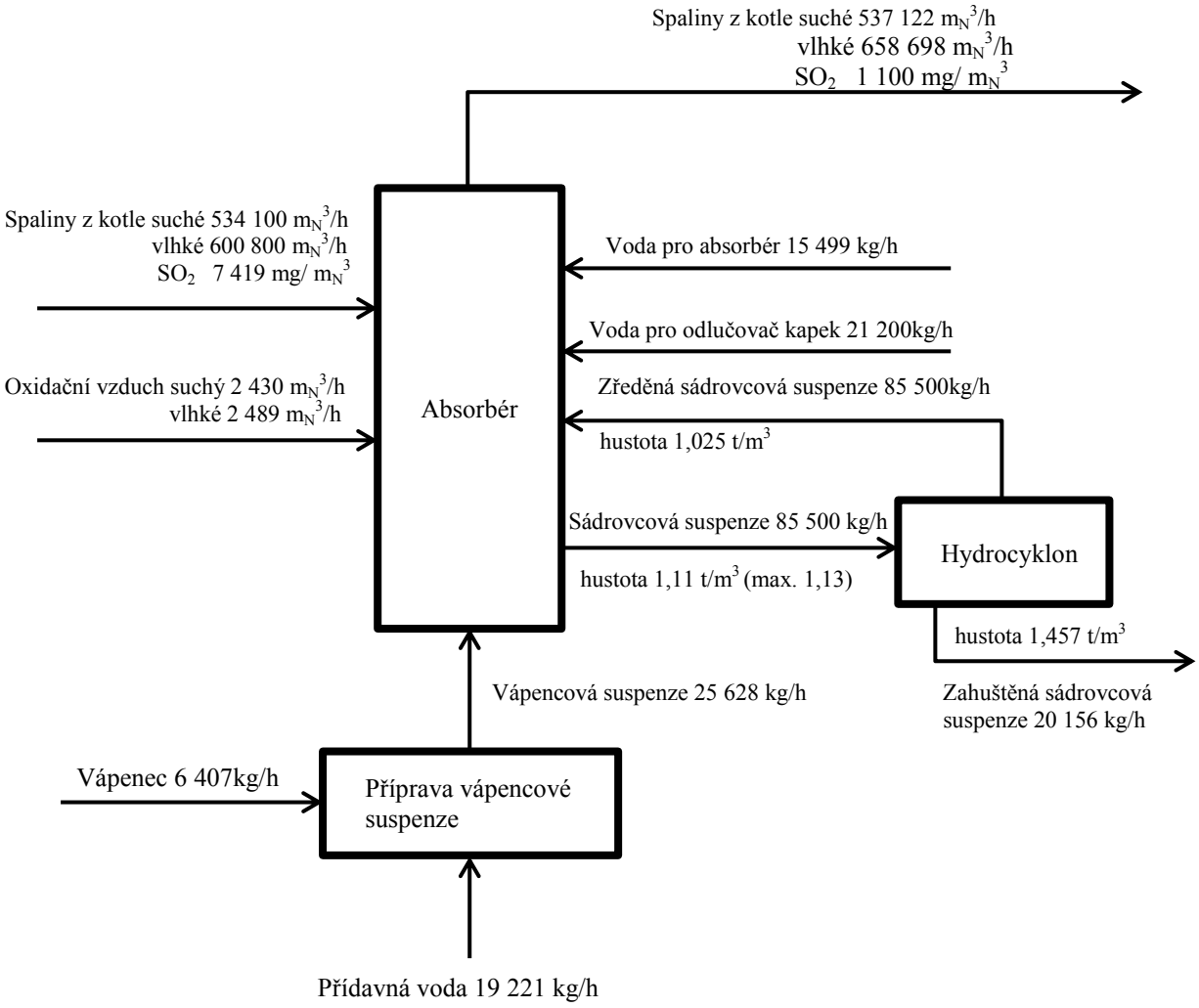
Doplňková voda

Celkové množství vody, kterou je nutno dodat do absorbéru, je rovno celkové ztrátě vody. Doplňková voda je do absorbéru dodávána jako voda ve vápencové suspenzi, dále jako voda nutná pro ostřik odlučovačů kapek (množství předepsáno výrobcem 21 200 kg/h) a nakonec jako doplňková voda do absorbéru. Ta je vypočtena jako rozdíl celkové ztráty vody a vody ve vápencové suspenzi a vody potřebné pro ostřik odlučovačů kapek. [13]

4.8 Bilanční schémata absorbéru

V souladu s metodikou popsanou v kap. 4 byl proveden výpočet veškerých údajů potřebných pro posouzení absorbéru podle nově zadaných podmínek. Vypočítané hodnoty jsou zaneseny do bilančních schémat toku hmot v absorbéru *Obr. 4.1* a *Obr. 4.2*. [13]

Bilanční schéma absorbéru - projekt

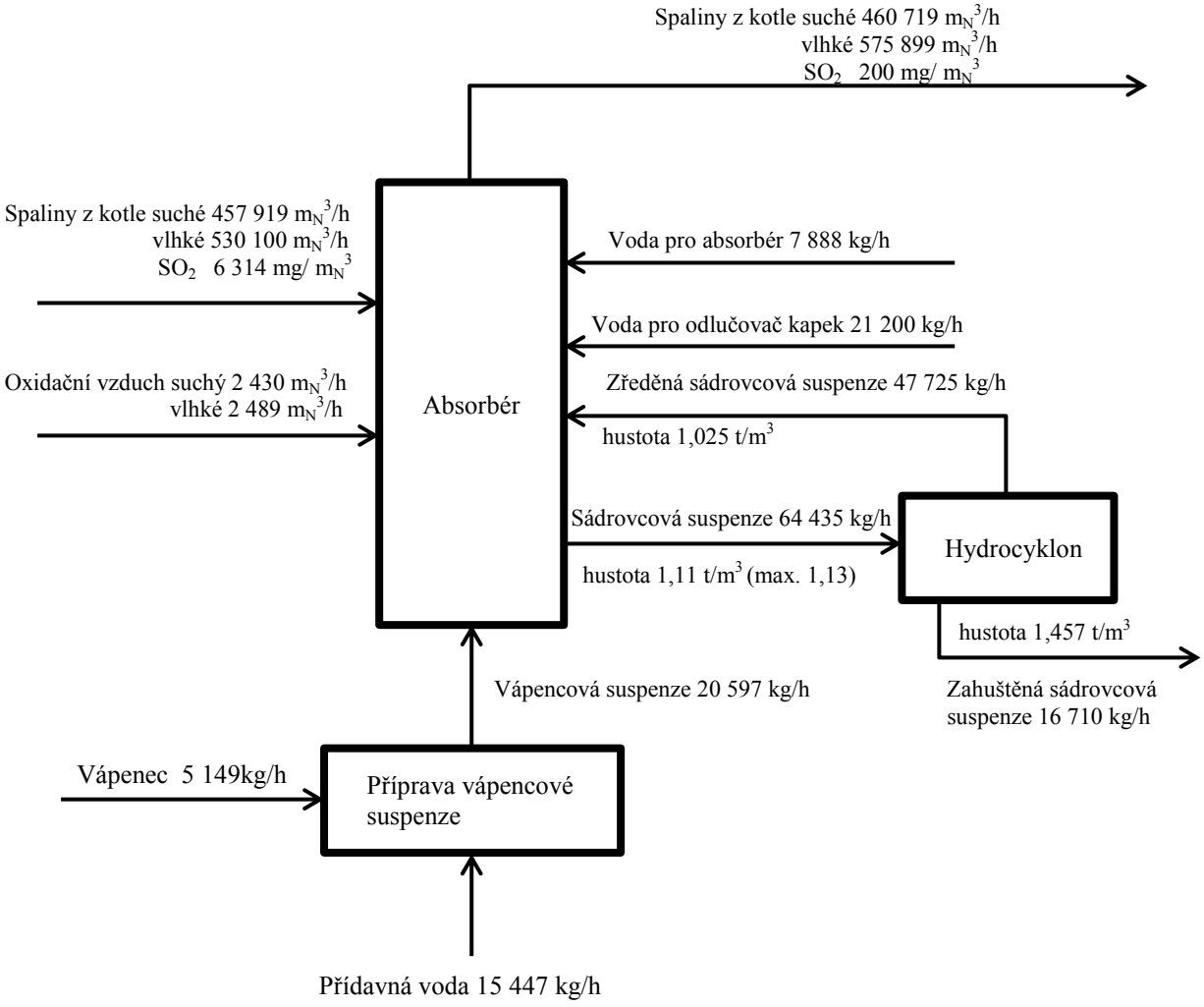


Obr. 4.1 Bilanční schéma absorbéru – projekt, převzato z [13]

Bilance vody

spaliny vstup	53 613 kg/h	spaliny výstup	97 723 kg/h
oxid. vzduch	31 kg/h	sádrovec volná	10 054 kg/h
procesní vody	55 920 kg/h	sádrovec kryst.	1 894 kg/h
celkem	109 564 kg/h	celkem	109 671 kg/h

Bilanční schéma absorbéru – 200 mg/m_N3 SO_2 na výstupu z absorbéru



Obr. 4.2 Bilanční schéma absorbéru pro SO_2 200 mg/m_N^3, převzato z [13]

Bilance vody

spaliny vstup	58 003 kg/h	spaliny výstup	92 605 kg/h
oxid. vzduch	31 kg/h	sádrovec volná	8 355 kg/h
procesní vody	44 536 kg/h	sádrovec kryst.	1 578 kg/h
celkem	102 570 kg/h	celkem	102 538 kg/h

Ze srovnání projektovaných a vypočtených hodnot vyplývá, že z hlediska množství a dopravy provozních hmot není nutno měnit jednotlivé agregáty ani potrubí. Absorbér byl dimenzován na vyšší požadavky z hlediska množství spalin i koncentrace SO_2 ve spalinách než odpovídá stechiometrickým výpočtům. Konstrukce absorbéru odpovídá stupni odsíření cca 85 %. Pro nové limity SO_2 ve spalinách se tento stupeň odsíření jeví jako nedostatečný a je nutno ho zvýšit na 97 %. Toho lze dosáhnout zvýšením recirkulace suspenze v absorbéru tzn. úpravou poměru L/G. Recirkulační čerpadla jsou navržena pro L/G = 14. Pro stupeň odsíření 97 % je nutno zvýšit tento poměr na hodnotu min. 24, tzn., že množství recirkulované suspenze se musí zvýšit z 9 450 m^3/h (jedno čerpadlo 3 150 m^3/h) na 13 800 m^3/h (jedno čerpadlo 4 600 m^3/h). Pro toto nové množství dopravované suspenze bude nutno změnit i průměry potrubí. V současné době je průměr DN 700, rychlost suspenze v potrubí při množství suspenze 875 l/s je 2,27 m/s, což je rychlost vyšší než z hlediska ztrát doporučují se obvykle 2 m/s. Pro rychlost 2 m/s a množství dopravované suspenze 4 600 m^3/h lze doporučit zvýšení průměru potrubí na 0,9 m. Současně je nutno změnit i průměry sprchových lávek. Z hlediska tlaku, potřebného pro dopravu suspenze do výšky 22,1 m (nejvyšší úroveň trysek) je nutno zajistit hodnotu ca 3 bary a tento tlak dále navýšit o ztráty celé trasy. Doporučený tlak na výtlaku cirkulačních čerpadel ca 7 barů. Rovněž lze doporučit aplikaci aditiv pro zvýšení účinnosti odsiřovacího procesu, neboť výše uvedená opatření s sebou přináší potřebu vysokých investic do úpravy popř. výměny zařízení. [13]

5 Aplikace aditiv do odsiřovacího procesu

Použití aditiv v procesu mokré vápencové metody není novinkou. Jejich použití je běžné v USA, kde při zpřísnění emisních limitů podle novely zákona o ovzduší slouží pro zvýšení účinnosti odsiřovacího procesu. Ještě dříve se uplatnily v celé řadě instalací pro omezení tvorby úsad a nánosů v pračkách. V současné době je aplikace aditiv do vápencových vypíracích suspenzí jednou z nejúčinnějších a ekonomicky nejvýhodnějších cest intenzifikace procesu odsíření s cílem zlepšit kvalitu vyrobeného energosádrovce a zvýšení účinku oxidace siřičitanového iontu na iont síranový. Aditiva podle mechanismu působení lze rozdělit na anorganická a organická Jako anorganická aditiva se používají především sole horečnaté, i když stejný účinek mají sole sodné. Za organická aditiva se považují především organické kyseliny, jejichž disociační konstanty leží mezi kyselinou uhličitou a siřičitou. Použití

silnějších kyselin či jejich solí však také není neobvyklé, jako např. kyseliny mravenčí nebo její draselné soli. Jejich společným znakem je, že tvoří rozpustné sole vápenaté. Pojem „aditivum“ vznikl ze skutečnosti, že v USA bylo intenzifikováno odsíření spalin na celé řadě jednotek až dodatečně; nebylo tedy součástí původní projektové dokumentace. Dnes se používají v nových instalacích jako nástroj pro usměrnění chemismu procesu, který šetří investiční náklady a umožňuje provozovat zařízení s nižšími náklady, spolehlivostí a větší pružností. [7,8,23]

5.1 Působení aditiv v procesu odsíření

5.1.1 Anorganická aditiva

Přidá-li se síran hořečnatý do vápencové suspenze, způsobuje podstatný vzrůst alkality systému v důsledku zvýšeného podílu SO_3^{2-}. SO_2 absorbující se v suspenzi se podstatně rychleji přeměňuje na SO_3^{2-} a to bez okamžité nutnosti vazby na rozpuštěný Ca^{2+}, jak je tomu u neaditivovaného procesu. Zvýšený účinek aditiva na absorpci SO_2 se vysvětluje tvorbou iontového páru $MgSO_3^o$. Protože SO_3^{2-} je oproti rozpuštěnému SO_2 alkaličtější, pak se zvyšující se koncentrací SO_3^{2-} roste i rozpouštěcí kapacita roztoku. Při použití vápence s přídavkem $MgSO_4$ je počáteční fáze reakce stejná jako u neaditivovaného systému, tj. nastává hydratace SO_2 na H_2SO_3, ale ta poté reaguje s iontovým párem $MgSO_3^o$ za tvorby iontu HSO_3^-:

$$H_2SO_3 + MgSO_3^o \rightarrow Mg^{+2} + 2\,HSO_3^- \quad (5.1)$$

$$CaCO_3 + Mg^{2+} + 2\,HSO_3 \rightarrow MgSO_3^o + Ca^{2+} + SO_3^{2-} + CO_2 + H_2O \quad (5.2)$$

$$Ca^{2+} + SO_3^{2-} + 0{,}5\,H_2O \rightarrow CaSO_3.0{,}5\,H_2O \quad (5.3)$$

Reakce (5.1) je neutralizace SO_2, reakce (5.2) regenerace $MgSO_3^o$ probíhající v jímce absorbéru a (5.3) srážení produktu odsíření.

Působení $MgSO_4$ se vysvětluje tím, že v reakci (5.4) posouvá rovnováhu reakce ve prospěch $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$, přičemž se regeneruje $MgSO_3^o$

$$MgSO_4 + CaSO_3 \cdot 0{,}5\ H_2O \rightarrow CaSO_4.2\ H_2O + MgSO_3^o \quad (5.4)$$

Nevýhodou použití Mg^{2+} jako aditiva je jeho citlivost na Cl- a F- ve spalinách. Proto je nutné před samotnou absorpci zařadit předpírání spalin vodou v absorbéru se samostatným pracím okruhem kapaliny. [7,8,23]

5.1.2 Organická aditiva

Nízkou koncentraci Ca^{2+} ve vypírací suspenzi lze zvýšit přídavkem organických kyselin, které co do hodnoty disociační konstanty leží obvykle mezi kyselinou siřičitou a uhličitou. Jedná se o kyseliny tvořící rozpustné soli Ca^{+2}, které zvyšují rozpustnou alkalitu suspenze a působí svojí tlumící kapacitou. Mechanismus lze popsat rovnicemi:

$$2\ HR + CaCO_3 \rightarrow CaR_2 + CO_2 + H_2O \quad (5.5)$$

$$CaR_2 \rightarrow Ca^{+2} + 2\ R^- \quad (5.6)$$

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3 \quad (5.7)$$

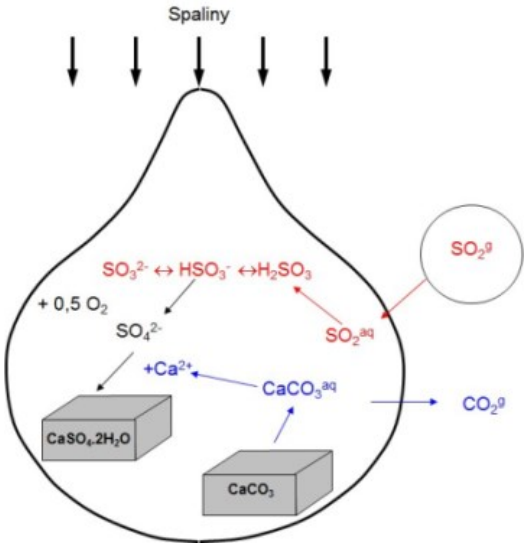
$$H_2SO_3 \rightarrow H^+ + HSO_3^- \quad (5.8)$$

$$HSO_3^- \rightarrow H^+ + SO_3^- \quad (5.9)$$

$$Ca^{2+} + SO_3^{2-} \rightarrow CaSO_3 \quad (5.10)$$

$$2\ H^+ + 2\ R^- \rightarrow 2\ HR \quad (5.11)$$

Při odsiřovacím procesu v padající kapičce suspenze *Obr. 5.1* probíhají dílčí reakce (procesy), z nichž určující pro celkovou účinnost je rychlost nejpomalejší reakce. Obvykle se jedná o přenos hmoty z plynné fáze do kapalné fáze promývací suspenze, který je tím více omezován, čím menší je hodnota pH. Na své cestě věží absorbéru se pH padajících kapiček postupně snižuje. Aplikací aditiv je ale možno tento efekt minimalizovat a pH kapky udržovat po celé dráze jejího pádu přibližně konstantní. Rozhodující význam má působení aditiv na zvýšení rozpustnosti vápence, tj. rychlost rozpouštění pevné fáze a tím potlačení poklesu pH dodáním potřebného množství iontu Ca^{2+} v kapalné fázi do procesu. K dispozici je pak stále reakční povrchová plocha s optimálními podmínkami pro průběh odsiřovacího procesu. Přidaná kyselina se podle rovnice (11) regeneruje a opět působí na $CaCO_3$. [7,8,23]



Obr. 5.1 Procesy v kapce suspenze, převzato z [23]

Z řady organických kyselin přicházejí v úvahu především ty, které vyhovují nízkou cenou, nízkou tenzí par, nízkou molekulovou hmotností a stálostí ve vypíracím roztoku. V úvahu je zapotřebí vzít i dopad jejich použití na odpadní vody a na pevný odpad. Charakteristickým rysem použití organických kyselin v procesu mokré vápencové metody jsou jejich ústojné vlastnosti. Ty umožňují udržování nižších hodnot pH v absorbéru a jeho cirkulačním okruhu, což příznivě ovlivňuje využití vápence. Vynikajícím rysem použití organických kyselin je skutečnost, že nejsou citlivé na obsah chloru a fluoru ve spalinách. To umožňuje provozovat proces absorpce a chlazení spalin v jediném aparátu s jediným cirkulačním okruhem, což se příznivě odrazí v pořizovacích nákladech. Testována byla kyselina citrónová, kyselina maleinová, kyselina glutarová, kyseliny adipová a kyselina octová. Jako nejvhodnější byla nakonec zvolena kyselina adipová.

5.2 Kyselina adipová HOOC-$(CH_2)_4$-COOH

Jako aditivum byla zvolena, obzvláště pro tyto vlastnosti:

- Jedno z nejvyšších navýšení schopností vázat SO_2 ze spalin prostřednictvím vypírací suspenze.
- Nízká tenze par nad roztokem (tj. nízká ztráta odparem a únosem kapek přes odlučovače kapek, očekávaná spotřeba ve výši cca 1/9 – 1/10 spotřeby kyseliny mravenčí).
- Malý vliv rozdílu koncentrací na výsledný účinek (malé nároky na přesnost

dávkování).

- Aplikovaná koncentrace v rozmezí cca 200 – 800 mg/l.
- Dodávána jako bílý krystalický prášek, vzhledem k vysoké cirkulaci suspenze v nádrži absorbéru není problém s rozpuštěním.
- Příznivá identifikace nebezpečnosti látky - bezpečnostní list.
- Žádný nepříjemný zápach (např. na rozdíl od kyseliny octové a kyseliny mravenčí).
- Nenáročné podmínky skladování.
- Snadná dostupnost a přijatelná cena.
- Zdravotně nezávadná (používá se v potravinářství a lékařství).
- Nemá nepříjemný zápach a snadno se skladuje.
- Ročně se jí ve světě vyrobí cca 2,5 mil. tun (snadno dostupná).

Obr. 5.2 Kyselina adipová

5.3 Zkušební testování kyseliny adipové v ETI

Na základě kladných výsledků zkoušek konaných v elektrárnách v EDĚ, EPR 1, EPR 2, ECH, EPC a EMĚ 2 bylo rozhodnuto provést ověření působení vlivu aditiv v procesu odsíření s cílem dosažení zvýšení účinnosti odsíření při spalování standardního paliva v ETI 2. Jako aditivum byla použita kyselina adipová.

Na začátku ranní směny byl v provozu absorbér B6 se dvěma recirkulačními čerpadly (RČ 12 a RČ 13). Hustota suspenze v absorbéru připravena na úrovni cca 1 085 g/l při minimální provozní hladině (cca 82 %).

Provozní parametry:

- SO_2 na vstupu: cca 4 500 mg/Nm^3
- Výkon bloku: 100 MW
- SO_2 na výstupu: cca 1 300 mg/Nm^3 (6 % O_2)
- Účinnost odsíření: cca 75 %
- Hodnota pH: 5,4

V 08:30 hod bylo najeto i RČ11, po ustálení se změnily provozní parametry:

- SO_2 na vstupu: cca 4 500 mg/Nm^3
- Výkon bloku: 100 MW
- SO_2 na výstupu: cca 690 mg/Nm^3 (6 % O_2)
- Účinnost odsíření: cca 88 %
- Hodnota pH: 5,4

V rozmezí 09:20 hod až 10:10 hod nasypáno do jímky absorbéru a následně přečerpáno (2x) do absorbéru B6 celkem 500 kg kyseliny adipové (vstupní koncentrace cca 800 mg/l – dle hladiny v absorbéru a objemu suspenze v potrubních rozvodech). Kyselina adipová byla dodána do ETI ve 500 kg baleních (big bag). Ručně byla „nadávkována“ do jímky absorbéru a po rozmíchání přečerpána ve dvou stupních (nadávkování do odčerpané jímky – napuštění jímky – míchání – 1. přečerpání – opětovné napuštění jímky – míchání – 2. přečerpání).

Po prvním čerpání v 09:40 hod byl zaznamenán pokles výstupního SO_2 cca 150 mg/Nm^3. Nejnižší hodnoty, méně než 100 mg/Nm^3 bylo dosaženo cca v 10.40 hod, po úplném přečerpání kyseliny adipové do jímky absorbéru. Při provozu všech tří recirkulačních čerpadel se parametry ustálily na těchto hodnotách:

- SO_2 na vstupu: cca 4 700 mg/Nm^3
- Výkon bloku: 100 MW
- SO_2 na výstupu: cca 75 mg/Nm^3 (6 % O_2)
- Účinnost odsíření: cca 98,5 %

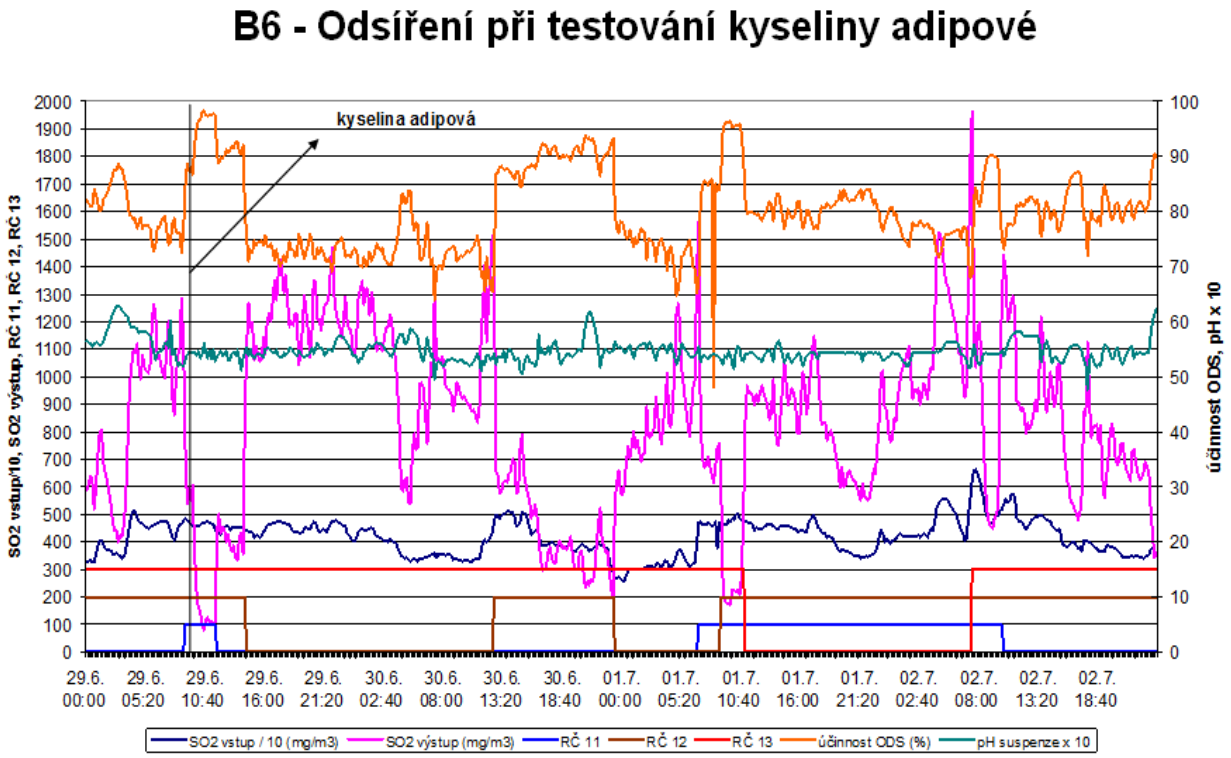
- Hodnota pH: 5,4

Z hodnot lze pozorovat výrazné snížení koncentrace výstupního SO_2 ve spalinách vlivem nadávkované kyseliny adipové. Po nadávkování celého pytle Big Bag se dále testovalo, jaký vliv na výstupní koncentraci SO_2 bude mít postupné odstavování oběhových čerpadel.

V 11:30 odstaveno RČ 11. V provozu zůstaly RČ 12 a RČ 13. Při vstupní koncentraci SO_2 cca 4 400 mg/Nm^3 zaznamenána koncentrace výstupního SO_2 v rozmezí cca 350 - 550 mg/Nm^3 (účinnost odsíření cca 90 – 92,5 %). Hodnota pH udržována z důvodu nefunkčnosti regulace operátorem ručně na hodnotě cca 5,4

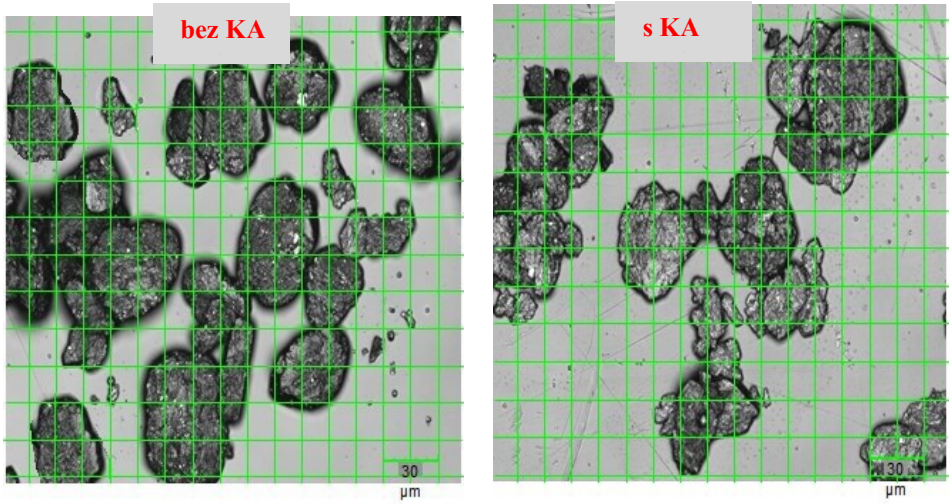
V 14:00 přikročeno k odstavení i RČ 12. V provozu zůstalo pouze RČ 13, které zásobuje suspenzí nejvyšší rozstřikovací patro. Výstupní koncentrace SO_2 se zvýšila až na úroveň cca 1 350 mg/Nm^3, což představuje celkovou účinnost odsíření cca 72 %.

V 15:53 po dosažení hustoty suspenze v absorbéru v úrovni 1 105 g/l zahájen automaticky odtah sádrovcové suspenze. Hustá fáze, která je oddělena hydrocyklonem se po překlopení klapky odtahuje na stabilizát. Z celkového počtu 8 ks hydrocyklonů byly v provozu tři. Výkon odtahovacího čerpadla na 100 % (frekvenční měniče nejsou z důvodu opotřebení HC provozně využívány). Odtah provozován dle potřeby po dobu cca 2 – 4 hodiny s obdobnou dobou prodlevy.



Obr. 5.3 Vliv kyseliny adipové na odsíření B6, převzato z [13]

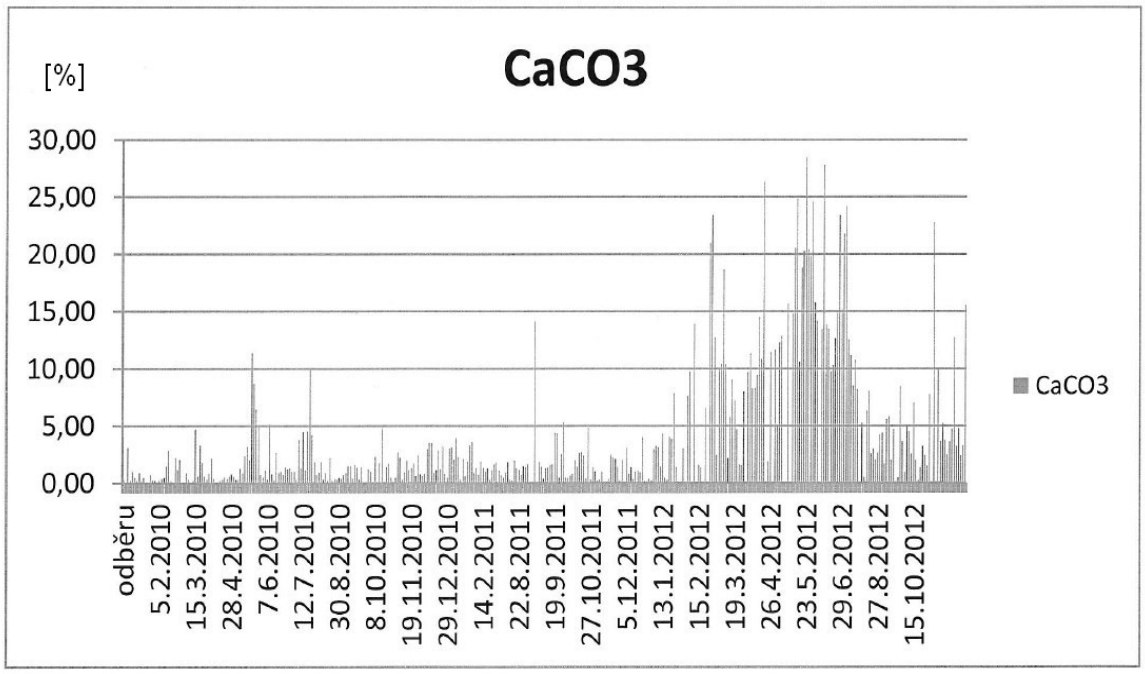
Vliv kyseliny adipové v odsiřovacím procesu je znázorněn na *Obr. 5.3*. Po nadávkování KA lze pozorovat menší časovou prodlevu, která je způsobena přečerpáním suspenze do zásobníku. Z grafu lze vypozorovat působení KA na zvýšení účinnosti odsíření po dobu více než 24 hod. Po tuto dobu byly z provozu odstaveny 2 recirkulační čerpadla a pro dodržení stanovených limitů emisí SO_2 postačilo pouze provozovat RČ 13, které vykazuje nejvyšší účinnost, při podmínce že vstupní koncentrace SO_2 nepřesáhne 5 000 mg/Nm^3. Rovněž bylo prokázáno lepší rozpouštění vápence v suspenzi. *Obr. 5.4*



Obr. 5.4 Vliv kyseliny adipové na rozpouštění vápence, převzato z [13]

6 Dávkovací zařízení kyseliny adipové

Celý rok 2012 odsiřovací zařízení pracovalo na horní hranici projektované účinnosti, krátkodobě bylo přetěžováno vysokým obsahem SO_2 ve vstupních spalinách, koncentrace dosahovala více než 9 000 mg/m^3. V roce 2010 se koncentrace SO_2 ve vstupních spalinách pohybovala v rozmezí 3000 - 5000 mg/m^3 . Pro udržení výstupní koncentrace SO_2 dle IPPC je absorbér přesycován vápencovou suspenzí, což se projevuje výrazným zvýšení množství nezreagovaného vápence v sádrovcové suspenzi *Obr 6.1*, která je používána ke tvorbě VEP a snížení účinnosti odsiřování.



Obr. 6.1 Zastoupení nezreagovaného vápence v sádrové suspenzi, převzato z [22]

V roce 2011 činil roční průměr nezreagovaného vápence cca 1,65 % . V roce 2012 byla tato hodnota 8,9%. Při detailních rozborech byly dosahovány denní hodnoty dokonce vyšší než 20%. Měsíční průměry hodnot nezreagovaného vápence v roce 2011 a roce 2012 jsou v *Tab 6.1.* Tyto aspekty a pozitivní výsledky testování kyseliny adipové konané v r. 2010 vedly k rozhodnutí o výstavbě dávkovacího zařízení KA. Výstavba zařízení začala v r. 2013 a zkušební provoz započal na začátku roku 2014.

Tab. 6.1 Procentuální zastoupení nezreagovaného vápence v sádrové suspenzi, převzato z [22]

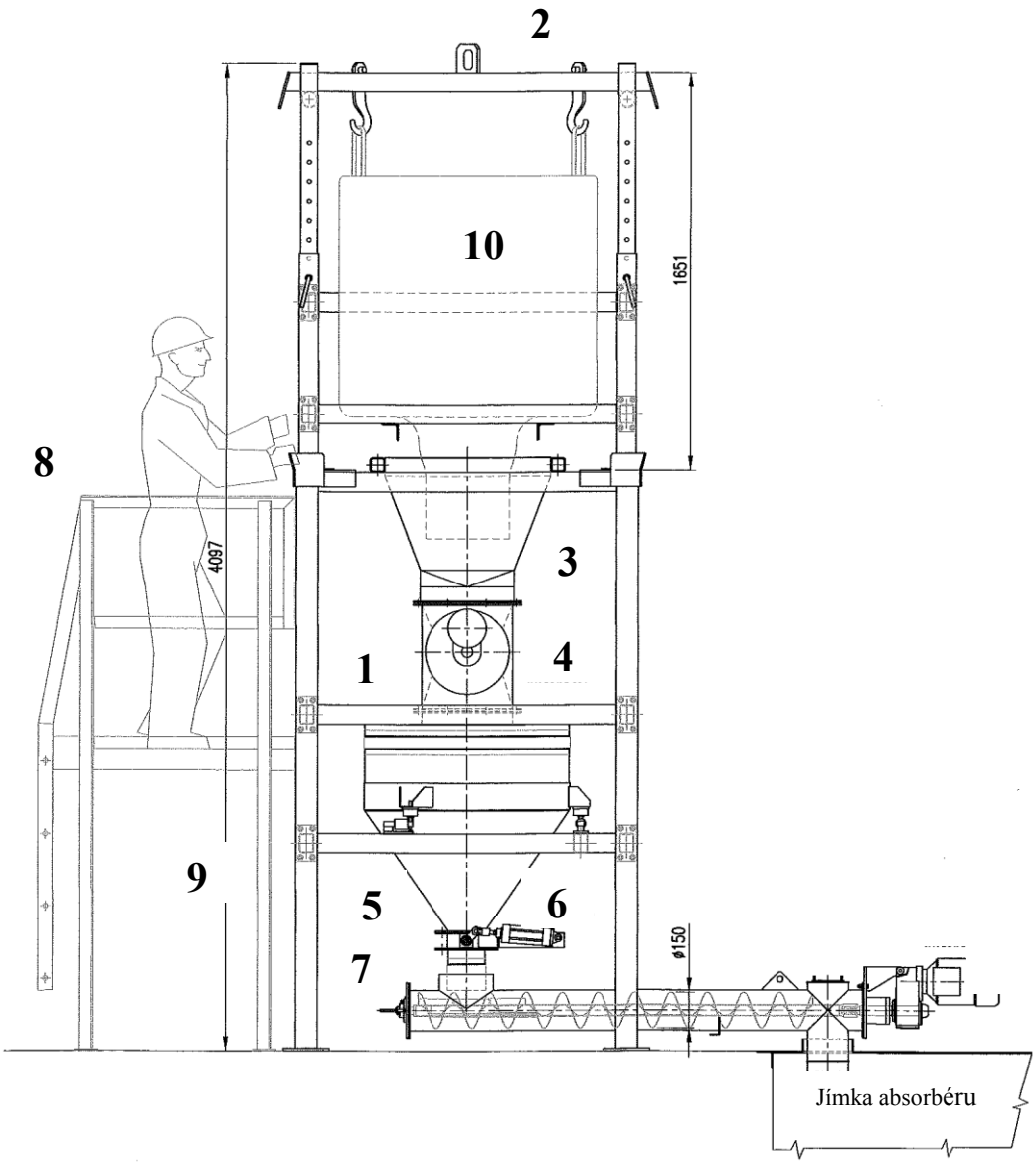
Měsíc	rok 2011			rok 2012		
	Čistota vápence $CaCO_3$ [%]	Čistota sádrovce $CaSO_4$ [%]	nezreag. vápenec $CaCO_3$ [%]	Čistota vápence $CaCO_3$ [%]	Čistota sádrovce $CaSO_4$ [%]	nezreag. vápenec $CaCO_3$ [%]
leden	98,82	82,64	1,88	98,12	83,93	2,49
únor	99,16	84,04	1,61	98,78	87,83	8,16
březen	-	-	-	98,52	80,17	7,44
duben	-	-	-	98,70	73,82	10,91
květen	-	-	-	98,86	68,11	16,32
červen	-	-	-	98,92	82,93	16,26
červenec	98,30	75,75	1,52	98,92	72,03	15,95
srpen	98,98	83,62	1,02	98,85	83,36	4,29
září	99,04	83,61	2,77	98,90	82,64	3,96
říjen	98,88	89,53	2,06	99,07	74,72	3,33
listopad	98,80	84,27	1,00	-	-	-
prosinec	98,84	85,87	1,37	-	-	-

6.1 Funkce zařízení

Zařízení slouží pro bezpečné zajištění plnění mezní hodnoty koncentrace emise SO_2 ve výstupních spalinách. Dávkovací a plnící zařízení slouží k nadávkování kyseliny adipové do vypouštěcí jímky absorbéru a následnému přečerpání do absorbéru. Proces přípravy roztoku kyseliny adipové, navážení dávky provádí pověřená osoba, nejčastěji pochůzkář, který je ve spojení s operátorem kotle, který provádí její přečerpání. Původní záměr o plně automatické řízení dávkování kyseliny adipové při překročení výstupní koncentrace SO_2 250 mg/m^3 nebyl realizován z důvodu navýšení finančního rozpočtu na jeho zřízení.

6.2 Technické řešení

Celé zařízení můžeme z hlediska funkce rozdělit na dvě zařízení. Na dávkovací zařízení *Obr. 6.2* a plnící zařízení *Obr. 6.3*. Dávkovací zařízení slouží k přesnému nadávkování a dopravy kyseliny adipové a skládá se z nosné konstrukce vlastního dávkovače, konstrukce pro zavěšení bagu, dávkovacího a odměřovacího zásobníku, dopravníku kyseliny adipové do vypouštěcí jímky absorbéru a příslušenství. Dávkovací zařízení je umístěno v prostoru čerpadlovny absorbéru, na východní straně vypouštěcí jímky. Zařízení je vybaveno lokálním ovládacím panelem.

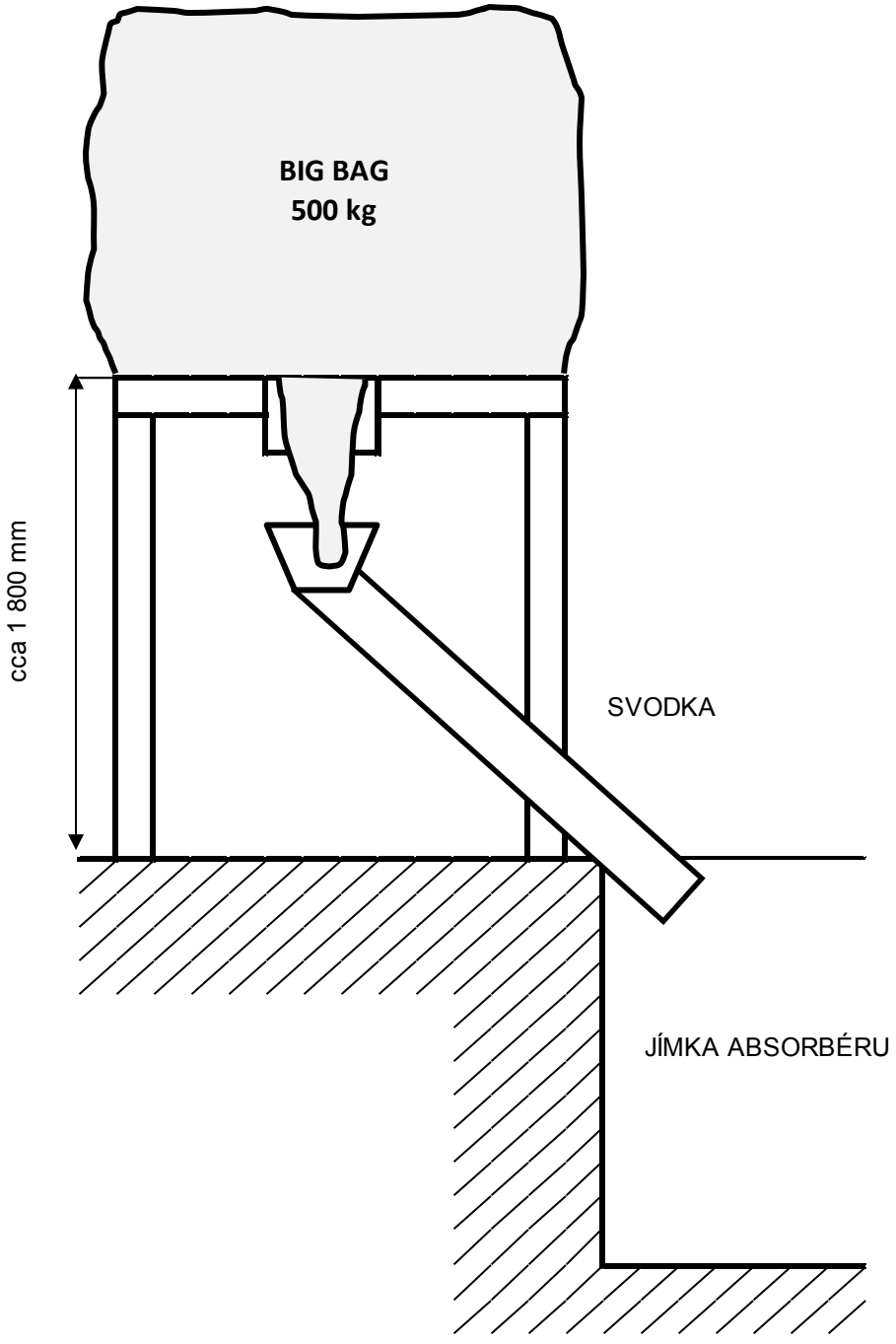


Obr. 6.2 Konstrukční řešení dávkovacího zařízení, převzato z [22]

Vlastní zařízení pro dávkování KA do absorbérů se skládá z:

1/ Nosná konstrukce tenzometrické váhy
2/ Nosná konstrukce bagu
3/ Výsypka bagu
4/ Rotační podavač
5/ Odvažovaný zásobník
6/ Uzavírací klapka
6/ Tenzometrické dávkovací váhy TVD 200
7/ Šnekový dopravník
8/ Obslužná plošina
9/ Ovládací panel
10/ Big-Bag

Plnící zařízení slouží k nadávkování iniciační dávky kyseliny adipové tj. celého pytle Big-Bag a skládá se z nosné ocelové konstrukce, násypné části a svodky. Plnící zařízení je umístěno na západní straně jímky absorbéru a umožní uložení bagu 500 kg nad jímkou a bezpečné vyprázdnění obsahu.



Obr. 6.3 Konstrukční řešení plnícího zařízení, převzato z [22]

Obr. 6.4 Dávkovací a plnící zařízení KA, skutečný stav

6.3 Způsob dávkování a provozování

Kyselina adipová je do elektrárny dodávána v práškové formě v Big-Bag pytlích o hmotnosti á 500 kg. Big-Bag pytle jsou transportovány do čerpadlovny absorbéru vysokozdvižným vozíkem a usazeny na nosnou konstrukci dávkovacího a plnícího zařízení. Dosedací plocha pro Big-Bag je opatřena vibračním zařízením podporující bezobslužné vysypávání kyseliny adipové. Prášková KA se uvolněným úvazkem přes lopatkový mlýnek a turniketový podavač sype do vážícího zásobníku. Z vážícího zásobníku je dávka KA dopravníkem zavedena do vypouštěcí jímky absorbéru, kde dojde k rozpuštění a následnému přečerpání roztoku prostřednictvím stávajícího čerpadla do vlastního absorbéru.

Činnosti jako jsou doprava Big-Bag pytlů a dávkování KA do vypouštěcí jímky absorbérů se provádí manuálně personálem obsluhy. Manipulace s kyselinou adipovou jako je doprava

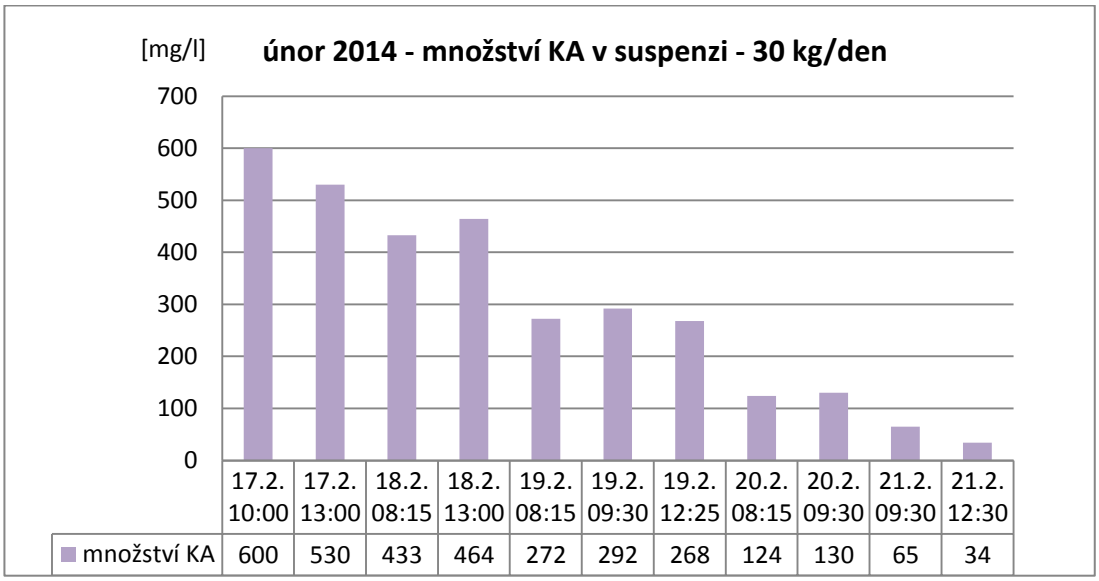
a zavěšení big bagu je prováděna vysokozdvižným vozíkem typu DESTA DVHM 2522 LX s maximálním zdvihem vidlí od země 2,5 m. Přečerpání do absorbéru je řízeno operátorem z velína K9. Vlastní způsob provozování dávkovacího zařízení byl předběžně navržen takto: Po rozhodnutí o použití aditiva bude do absorbéru přečerpána iniciační dávka kyseliny adipové. Iniciační dávka bude vytvořena jednorázovým rozpuštěním 500 kg KA v sádrovcové suspenzi ve vypouštěcí jímce absorbéru a přečerpáním stávajícím čerpadlem do absorbéru. Iniciační dávka by měla být přečerpána do absorbéru po ukončení vyřeďování absorbéru. V pravidelné periodě, jednou za 24 h nebo ideálně vždy po ukončení vyřeďování absorbéru bude doplňována dávka kyseliny adipové prostřednictvím dávkovacího zařízení do absorbéru. Množství periodické dávky bylo zapotřebí stanovit zkušebně, jejím konkrétním množstvím a periodou dávkování se zabývám v následující kapitole. [22]

6.4 Zkušební provoz s dávkováním aditiva

Po výstavbě dávkovacího zařízení bylo nutno stanovit množství a frekvenci dávkování aditiva – kyseliny adipové. Jelikož na začátku roku 2014, konkrétně v měsíci lednu a únoru bylo dosahováno stropu emisí SO_2 ve výstupních spalinách, započal zkušební provoz dávkovacího zařízení. Podle zkušeností z jiných elektráren se osvědčilo prvotní nadávkování celého Big Bagu a poté 1 x za 24 hod dávkovat cca 30 - 80 kg kyseliny adipové. Jelikož systém odtahu sádrovce mokrou cestou se projeví i ztrátou, tj. odtažením potřebného aditiva, bylo nutné zjistit množství KA pro krytí těchto ztrát. Za tímto účelem byly pravidelně odebírány vzorky suspenze, ze kterých se zjišťovala koncentrace KA v nádrži absorbéru. Vzorky byly odesílány do elektrárny Tušimice, kde se v laboratořích provedl rozbor vzorku podle našich požadavků.

6.4.1 Prvotní nadávkování kyseliny adipové

Prvotní nadávkování a začátek zkušebního dávkování proběhlo v 8. týdnu r. 2014. V pondělí 17.2. v 07,50 hod byl do nádrže vyprázdněn obsah celého Big Bagu. V dalších dnech se jednou denně v dopoledních hodinách provádělo dávkování. Nejprve se denní dávka kyseliny adipové stanovila na 30 kg. Průběžně byly odebírány vzorky suspenze z absorbéru, ze kterých byla určena koncentrace kyseliny adipové *Obr 6.5*.

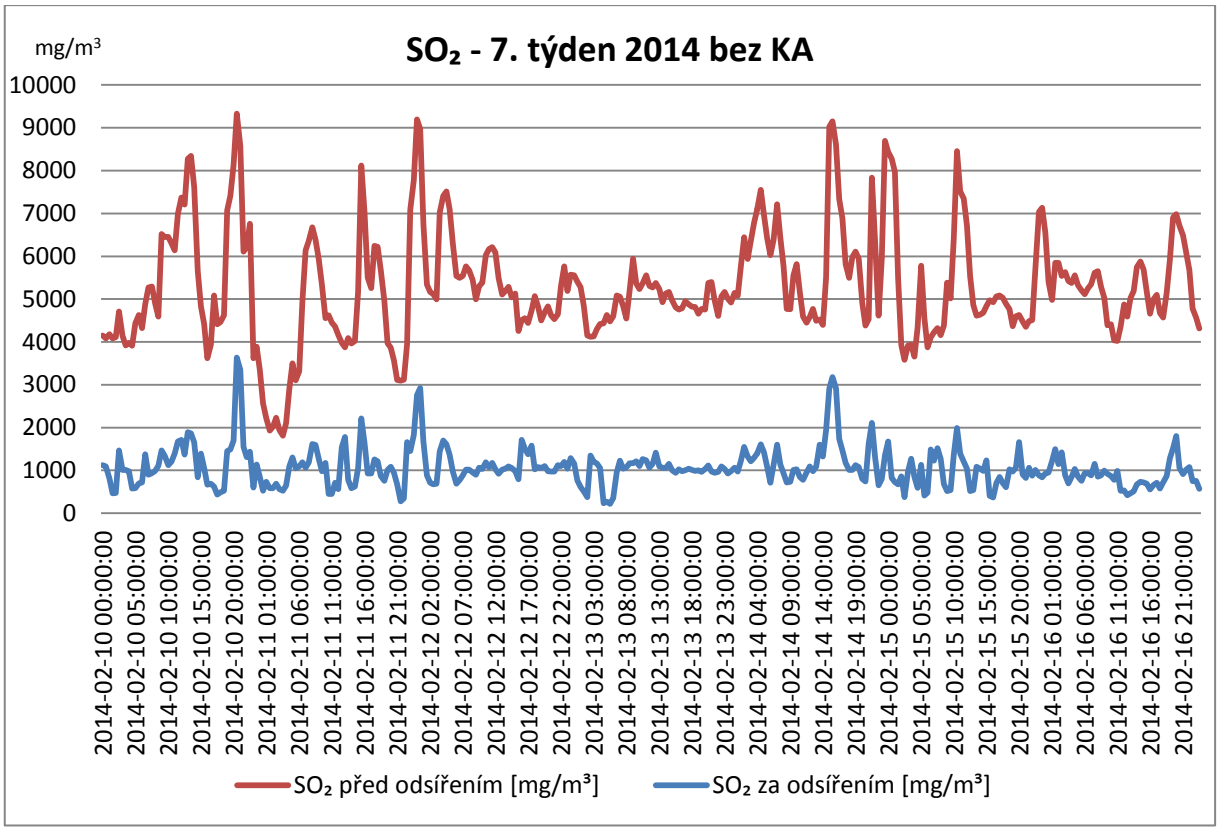


Obr. 6.5 Koncentrace KA v suspenzi – únor 2014

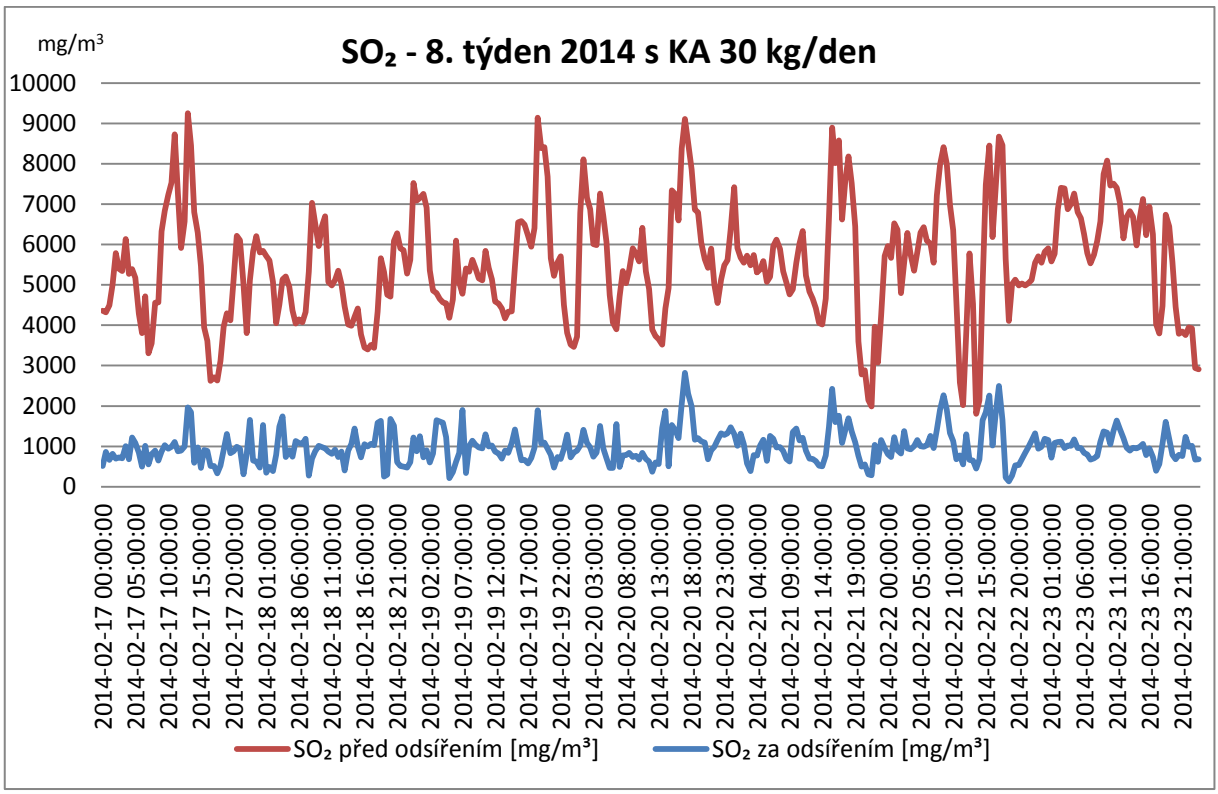
Z grafu je patrný každodenní úbytek KA a postupná degradace suspenze. Již 3. den po nadávkování klesla koncentrace KA na třetinu. Ani denní dávkování v množství 30kg KA tento úbytek nepokrývalo a koncentrace KA se 5. den snížila na úroveň cca 30 mg/l. Nadále již hodnota koncentrace KA okolo této hodnoty oscilovala. Navýšení na cca 60 mg/l bylo pozorovatelné vždy po ranním nadávkování. Aby bylo možné vyhodnotit vliv dávkovaného aditiva na výstupní emise SO_2, bylo zapotřebí při konstantním dávkování dlouhodobě sledovat i vývoj emisí.

6.4.2 Dávkování aditiva a jeho vliv na odsíření ETI2

Na *Obr 6.6* a *Obr. 6.7* můžeme porovnat vliv aditiva na účinnost odsíření. Bez použití aditiv při vysokých koncentrací SO_2 (více než 9000 mg/m^3) před odsířením docházelo i k navýšení hodnot za odsířením, více než 3000 mg/m^3. V grafu můžeme zaznamenat vznik „píků“. Výskyt těchto píků je mnohem zřetelnější právě bez použití aditiv. Na *Obr 6.7* lze pozorovat vliv aditiva již krátce při prvotním nadávkování. I přes vysokou koncentraci SO_2 před odsířením, špičkově více než 9000 mg/m³ nepřesáhl výstupní SO_2 hodnotu 2000 mg/m³. Výrazný tlumící účinek aditiva na koncentraci SO_2 za odsířením je nejvíce zřejmý cca 3 dny po inicializačním nadávkování KA. V dalších dnech docházelo ke snižování koncentrace KA v absorbéru, které mělo za následek opět zvyšování koncentrace SO_2 ve výstupních spalinách. Z důvodu velké sirnatosti paliva se v dávkování 30 kg/den KA dále pokračovalo do konce měsíce.

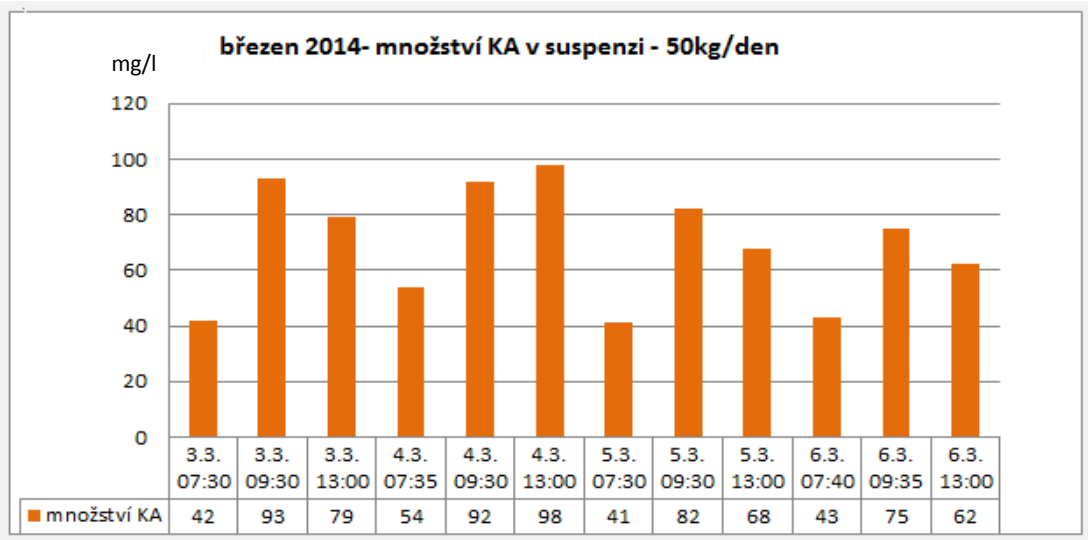


Obr. 6.6 Obsah SO_2 bez KA



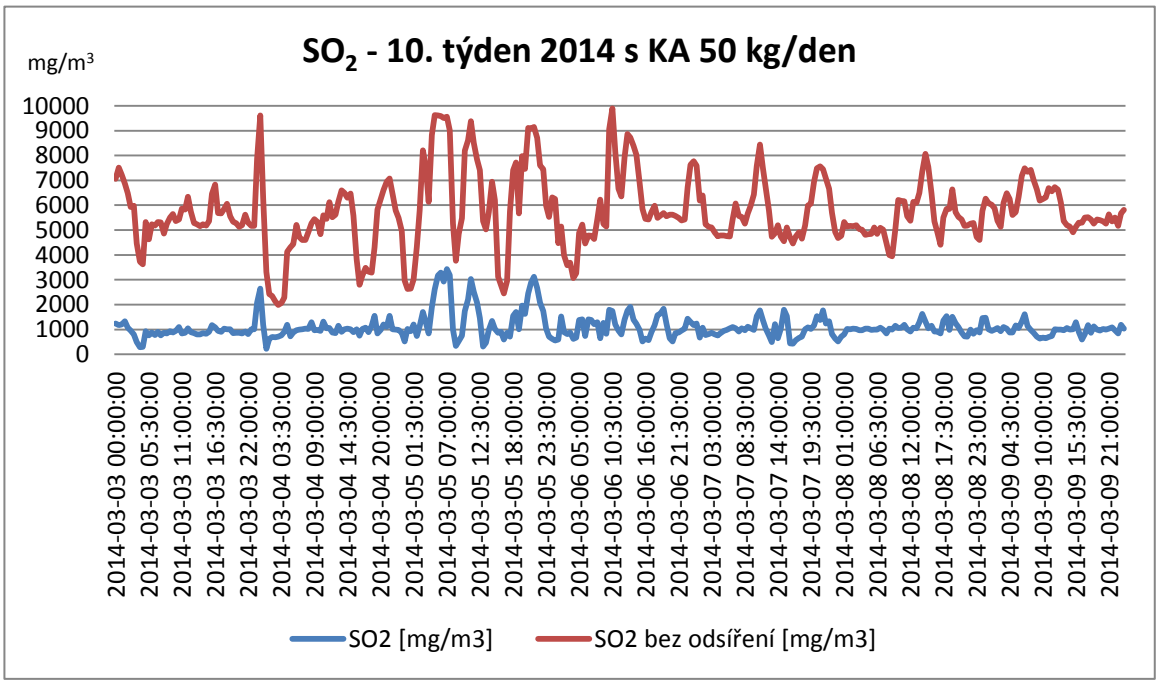
Obr. 6.7 Obsah SO_2 s KA, 30 kg/den

Od začátku března r. 2014 se začalo dávkovat vyšší množství KA. Denní dávka byla stanovena na 50 kg. Pravidelné dávkování se provádělo v ráno 08.00 hod. V následně odebraném vzorku lze pozorovat navýšení koncentrace KA v absorbéru z 30 mg/l na téměř 100 mg/l. Na *Obr 6.8* je opět dobře pozorovatelný postupný úbytek KA v suspenzi způsobený odtahem sádrovce. Denním dávkováním 50 kg KA se koncentrace KA v absorbéru pohybovala mezi 40 - 100 mg/l.



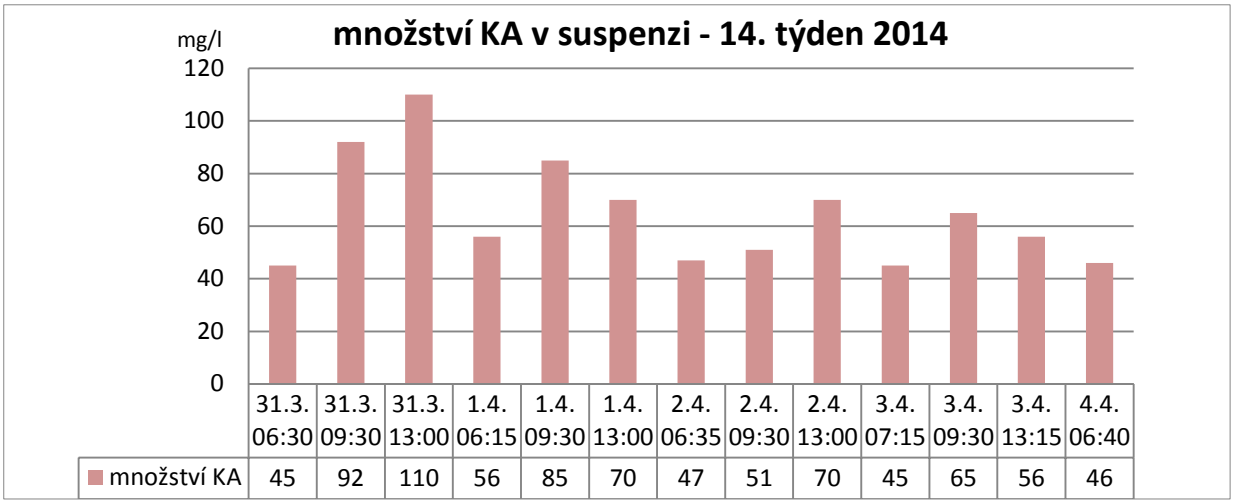
Obr. 6.8 Koncentrace KA v suspenzi – březen 2014

Zvýšení dávky KA na 50 kg se projevilo ještě lepším tlumením špiček tj. snížením počtu píků při vysoké koncentraci SO_2 a proto se v dávkování dále pokračovalo, viz *Obr 6.9*.



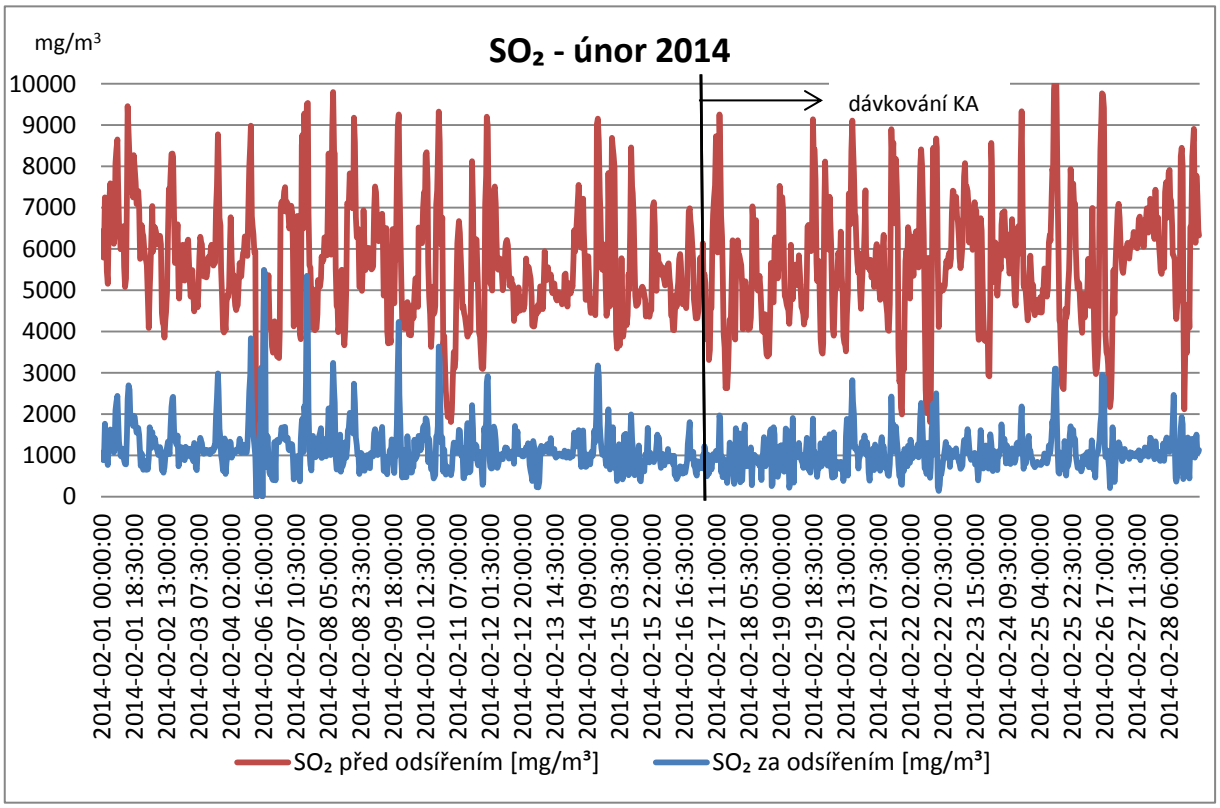
Obr. 6.9 Obsah SO_2 s KA, 50 kg/den

Ve 14. týdnu r. 2014 byly opět odebrány vzorky suspenze pro zjištění koncentrace KA při dávkování 50 kg denně. Oproti předchozímu nižšímu dávkování lze na *Obr 6.10* pozorovat mírné navýšení koncentrace KA v rozmezí 45-110 mg/l viz



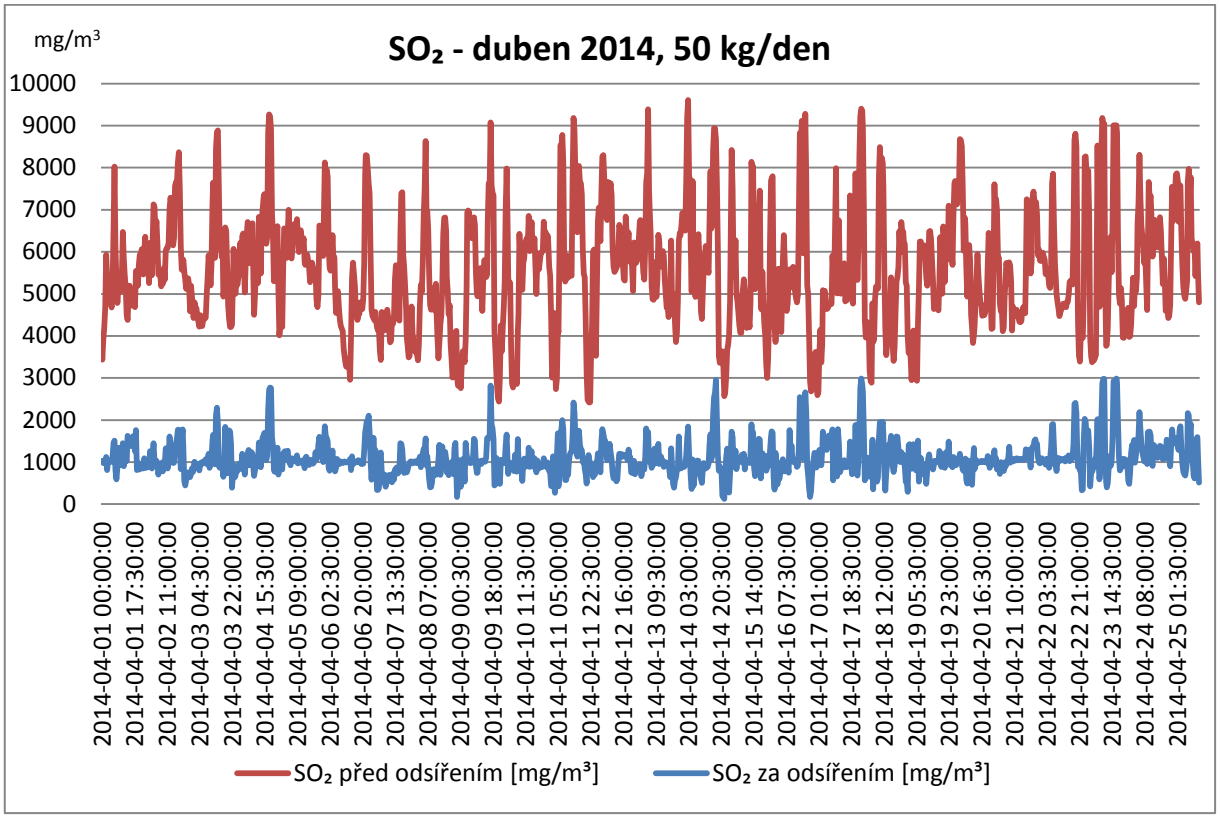
Obr. 6.10 Koncentrace KA v suspenzi – 14. týden 2014

Na *Obr 6.11* je označen datum počátku dávkování KA do absorbéru, od této doby můžeme sledovat nižší výskyt abnormálně zvýšených hodnot koncentrací SO_2 za odsířením, které se před aplikací KA často vyskytovaly.



Obr. 6.11 SO_2 únor 2014 - začátek dávkování

Na *Obr 6.12*. jsou znázorněny hodnoty SO_2 v měsíci dubnu 2014, při dávkování 50 kg KA denně. Rovněž lze pozorovat velmi nízký výskyt hodnot koncentrací SO_2 přesahující 3000 mg/m^3



Obr. 6.12 SO_2 duben 2014

6.5 Rozhodnutí o dávkování kyseliny adipové

Jelikož dávkování KA přispívalo ke zlepšení emisních limitů SO_2, obzvláště při dodržování maximálních půlhodinových průměrů, bylo rozhodnuto o zahájení pravidelného dávkování KA do absorbéru v množství 50 kg denně od měsíce března 2014. Při krátkodobé odstávce bloku tj. do týdne bude denní dávka snížena na 20 kg. Při dlouhodobé odstávce se dávkování KA přeruší a před uvedením bloku do provozu se provede iniciační nadávkování KA o velikosti 500 kg

7 Závěr

Neustálý tlak na úroveň snižování emisí se projevil i v provozování K9 v elektrárně Tisová. Za účelem dodržování současných ale hlavně i budoucích limitů, bylo v ETI v r. 2013 vystaveno dávkovací zařízení kyseliny adipové. Toto aditivum napomáhá lepšímu rozpouštění vápence ve vápencové mokré vypírce a zvyšuje tím účinnost odsiřovacího procesu. Jelikož od r. 2012 je absorbér přetěžován zvýšenými emisemi SO_2, které způsobilo palivo s vysokým obsahem síry dodávané společností Sokolovská uhelná a.s., hledalo se nejvhodnější technickoekonomické řešení pro splnění těchto limitů. Na začátku roku 2014 byl zaznamenán vyšší obsah koncentrace SO_2 ve spalinách než byl obvyklý průměr. Emisní hodnoty se často blížily až k nejvyšším dovoleným hranicím limitů, proto bylo rozhodnuto o počátku dávkování aditiva – kyseliny adipové do odsiřovacího procesu. Se zahájením zkušebního provozu dávkování kyseliny adipové se začalo 17. 2. 2014, kdy byla nejdříve nadávkována iniciační dávka v množství 500 kg kyseliny adipové a následovalo denní dávkování 30 kg KA. Dávkování se provádělo pravidelně v 08.00 hod a průběžně byly odebírány vzorky suspenze, které byly odesílány na chemický rozbor do elektrárny Tušimice. Rozbor měl stanovit koncentraci KA v absorbéru. Koncentrace KA se dle předpokladu měla snižovat tzv. nařeďováním, kdy část aditiva současně odchází i s odtahem hrubé sádrovcové suspenze. Za normálních podmínek obsahuje sádrovcová suspenze 20 % pevných částic. Po průchodu hydrocyklonem, kde je rozdělena na hrubou a jemnou frakci, činí podíl hrubé frakce sádrovcové suspenze stále cca 50 %, zbytek tvoří vlhkost a v ní i rozpuštěna kyselina adipová. Po nasypání iniciační dávky 500 kg KA byla naměřena koncentrace 600 mg/l. Při této koncentraci bylo pozorovatelné zvýšení účinnosti odsiřovacího procesu téměř o 20 %. Pro dodržení současných limitů SO_2 stačilo provozovat pouze čerpadlo č. 13 s nejvyšší účinností zaústěné do nejvyššího rozstřikovacího patra. V případě chodu všech cirkulačních čerpadel bylo možné splňovat i limit 200 mg/m^3. Následná analýza vzorků suspenze prokázala výrazný úbytek KA způsobený odtahem sádrovcové suspenze. Již 3. den klesla koncentrace na třetinu a i při denním dávkování 30 kg KA se snížila až na úroveň cca 30 mg/l. Od března 2014 bylo rozhodnuto o navýšení denní dávky na 50 kg KA. Při zvýšeném dávkování 50 kg denně se koncentrace KA v suspenzi pohybovala od 40 do 100 mg/l. I při této koncentraci byl zaznamenán zvýšený efekt odsíření. Obzvláště se účinek projevil tlumením špiček vysokých výstupních emisí SO_2 způsobených spalováním paliva s vysokým obsahem síry. Jelikož se aplikování aditiva v této dávce osvědčilo a postačovalo pro plnění emisí SO_2, kdy již nedocházelo k překračování půlhodinových intervalů, pokračovalo se v dávkování celý rok

až do poloviny února 2015. Během testovacího provozu dávkování KA se zjistilo, že palivo od dodavatele Sokolovská uhelná a.s. vykazuje velmi rozdílné hodnoty koncentrace síry a právě při spalování uhlí s velmi vysokou sirnatostí bylo pozorovatelné znatelné zvýšení emisí SO_2. Jelikož K9 lze zauhlit rovnou z vagónů kolejové dopravy nebo uhlím ze skládky ETI, osvědčilo se smíchání uhlí pocházejícího přímo z vlaků s palivem, již nějakou dobu uskladněným na skládce. Tímto promícháním paliva se eliminovalo zásobení bunkrů pouze vysoce sirnatým uhlím, které způsobovalo překračování emisí a nutnost dávkování aditiva. Dávkování kyseliny adipové s sebou samozřejmě přináší i zvýšení investičních a provozních nákladů. Náklady na výstavbu dávkovacího a plnícího zařízení si vyžádaly investici ve výši cca 1 mil. Kč. Za jediný rok provozování bylo nadávkováno přes 22 tun kyseliny adipové. Při průměrné ceně 42 Kč/kg to činí také 1 mil. Kč. V současnosti je dávkování KA pozastaveno, může za to palivo s menší sirnatostí a rovněž způsob míchaní paliva při plnění bunkrů. I když aplikací KA byla dokázána vyšší účinnost odsíření, nelze v současnosti doporučit její dlouhodobé používání. Krytí ztrát KA způsobené odtahem sádrovcové suspenze je vysoké a velmi zvyšuje provozní náklady. Dávkování KA se osvědčilo v elektrárně Prunéřov, kde je za hydrocyklonovou stanicí umístěno sekundární zařízení pro vysoušení hrubé frakce sádrovcové suspenze pomocí vakuové vývěvy či v elektrárně Mělník 2, kde se jako sekundární odvodňovací zařízení používají filtrační odstředivky. Takto odvodněný vápenec obsahuje na konci procesu max. 10% volné vody. Další možností zvýšení účinnosti odsíření a plnění přísných emisních limitů SO_2 po roce 2020 je zvýšení recirkulace suspenze, tj. zvýšení poměru L/G . To obnáší výměnu oběžných kol čerpadel, navýšení průměru potrubí a výměnu tryskových hlav, které s sebou také přináší potřebu nemalých investic.

Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] ČEZ, a.s. – Tisová [online]. Dostupné z*: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/tisova.html>*

[2] L. KOVÁČ, P. VANĚK. *Provozní předpis pro obsluhu TG 6*, ČEZ, a. s., OJ Teplárny, lokalita Tisová, ETI0 5 082.

[3] F. ČERNÝ. *Provozní předpis pro generátor 21MKA*, ČEZ, a. s., OJ Teplárny, lokalita Tisová, ETI0 6 030rev2.

[4] F. ČERNÝ. *Provozní předpis pro rozvodnu 21BBA*, ČEZ, a. s., OJ Teplárny, lokalita Tisová, ETI0 6 020rev1.

[5] K. BEJR, M.UHERKA. *Provozní předpis pro obsluhu K9*, ČEZ, a. s., OJ Teplárny, lokalita Tisová, ETI0 2 066.

[6] K. BEJR, F. HLAVÁČ, M.UHERKA. *Technologie odsíření*, ČEZ, a. s., OJ Teplárny, lokalita Tisová, ETI0 2 037.

[7] J. VEJVODA, P. MACHAČ, P. BURYAN. *Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů*. VŠCHT Praha, 2003, ISBN: 80-7080-517-X.

[8] Z. IBLER a kol. *Technický průvodce energetika*, BEN, Praha 2002, ISBN 80-7300-026-1

[9] ČEZ, a.s. - vypírka [online]. Dostupné z*: <http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/vypirka_5.html>*

[10] V. TĚHNÍK, R. NEČAS, *Uplatnění vápencové suroviny z hlediska kvality v různých průmyslových odvětvích*. - VUSTAH. Praha 2010.

[11] Steuler [online]. Dostupné z: *<http://www.steuler-ab.de/en/complete-solutions/flue-gas-desulfurization-technology>*

[12] J. ROZKYDLÁLEK. *Hydroseparace uzavřených vodohospodárských okruhů průmyslových podniků*. Ostrava, Dům techniky ČSVTS, 1986.

[13] J. TOMČALA, J. PECHÁČEK. *Studie intenzifikace odsíření ETI kotlů K9 a K12*, ev. č. 4400013463, Orgrez, 2010.

[14] Elektřina [online]. Dostupné z *<http://www.elektrina.cz/vyroba-elektriny-v-cr-nejvic-energie-stale-ziskavame-z-uhelnych-elektraren>*

[15] ČEZ, a.s. - Tisová parametry [online]. Dostupné z: *<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/tisova.html#tech_param>*

[16] JÍLEK, M. SPÁLENKA, P. PŘESLIČKOVÁ. *Provozní řád zdroje znečišťování*

ovzduší, Granulační K9, ČEZ, a. s., OJ Teplárny, lokalita Tisová, ETI0 2 020.

[17] Ministerstvo životního prostředí [online]. Dostupné z: <*http://www.mzp.cz/C125745802F0DC7/cz/prechodny_narodni_plan/$FILE/OOO-PNP-12062014.pdf*>

[18] Technické prostředky automatizace. [online]. Dostupné z: <*http://homel.vsb.cz/~ott007TPA-Otte.htm*>

[19] Analyzátor Uras [online]. Dostupné z: <*http://www.flsmidth.com/enUS/Gas+Analysis Technology/Products/Gas+Analysers/ABBAutomation+Products/ABB+Uras+14*>

[20] Měření prachu [online]. Dostupné z: <*http://www.environmental-expert.com/downloads/rm210-dust-soot-number-monitor-32813*>

[21] Měření koncentrace prachu a senzory prachu [online]. Dostupné z: < *http://automatizace.hw.cz/clanek/2006111201*>

[22] Záměr projektu ETI_IT-90-05-00452, 2013.

[23] J. TOMČALA, T. HEGR. *ADISOx – aplikace kyseliny adipové*, Orgrez 2009