

# Návrh možností snížení emisí oxidu siřičitého v Teplárně Otrokovice a.s. po roce 2016

Lucie Horáková

---

Bakalářská práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí  
akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Lucie Horáková  
Osobní číslo: T12778  
Studijní program: B2808 Chemie a technologie materiálů  
Studijní obor: Inženýrství ochrany životního prostředí  
Forma studia: prezenční

Téma práce: Návrh možností snížení emisí oxidu siřičitého  
v Teplárně Otrokovice a.s. po roce 2016

Zásady pro vypracování:

1. Popište, jaké změny v oblasti emisních limitů mají nastat po roce 2016.
2. Provedte důkladnou literární rešerši o možnostech a dostupných technikách snižování emisí oxidů síry.
3. Provedte rozbor současného způsobu snižování emisí SO<sub>2</sub> v Teplárně Otrokovice a pokuste se navrhnout opatření, která by měla zajistit splnění zpřísněných emisních limitů po roce 2016.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

**Databáze Web of Science**

**Velká spalovací zařízení – referenční dokumenty o BAT**

<http://www.ippc.cz/index.php?m=docs&a=getActiveFile&ffid=357>

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vratislav Bednařík, Ph.D.

Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Datum zadání bakalářské práce:

20. ledna 2015

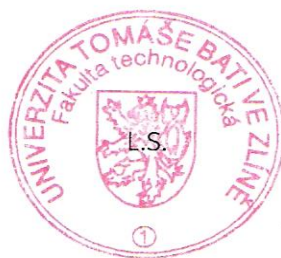
Termín odevzdání bakalářské práce:

22. května 2015

Ve Zlíně dne 10. února 2015

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

*děkan*



doc. Mgr. Marek Koutný, Ph.D.

*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá problematikou snižování emisí SO<sub>2</sub> při výrobě tepelné energie spalováním fosilních paliv. V úvodní části se vysvětlují jednotlivé části ze zákona o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb., které se přímo týkají této problematiky a přinesly výrazné zpřísnění emisních limitů. V další části se popisují jednotlivé principy metod snižování emisí SO<sub>2</sub>. Následuje popis technologie, která je využívána v Teplárně Otrokovice a.s. v současné době. Závěrem práce je návrh úpravy dosavadní technologie a cílem splnění nových přísnějších emisních limitů.

Klíčová slova: emise SO<sub>2</sub>, emisní limity, znečištění ovzduší, odsiřování, teplárna

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the issue of the SO<sub>2</sub> emissions reduction in the production of thermal energy by combustion of fossil fuels. In the introductory part to explain each part of the Czech Act No. 201/2012 Coll., on ambient air protection, which are directly related to this issue and brings stronger emissions limits. In the next section describe each of the principles of the SO<sub>2</sub> emissions reduction methods. Followed by a description of the methods that are currently used in the company Teplarna Otrokovice a. s. Finally, the work is proposing modifications of the technology used to comply with the new strict emission limits.

Keywords: SO<sub>2</sub> emissions, emissions limits, air pollution, flue gas desulphurization, heating station

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Vratislavovi Bednaříkovi, Ph.D., za inspiraci, rady, věcné připomínky i celkové vedení bakalářské práce.

Příjmení a jméno: HORÁKOVÁ LUCIE

Obor: IOŽP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 19. 5. 2015

Lucie Horáková

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

# OBSAH

ÚVOD.....	10
<b>1 TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>1 DŮLEŽITÉ BODY ZE ZÁKONA O OVZDUŠÍ Č. 201/ 2012 SB.....</b>	<b>12</b>
1.1 ZNEČIŠTĚNÍ A ZNEČIŠŤOVÁNÍ .....	12
1.2 ZHODNOCENÍ ÚROVNĚ ZNEČIŠTĚNÍ.....	12
1.3 PODMÍNKY PRO PROVOZOVATELE STACIONÁRNÍHO ZDROJE .....	13
1.4 ORGÁNY ZAJIŠŤUJÍCÍ SPRÁVNÍ ČINNOST NA ÚSEKU OCHRANY OVZDUŠÍ.....	14
1.5 INFORMACE O KVALITĚ OVZDUŠÍ .....	15
1.6 NÁRODNÍ PROGRAM PRO SNÍŽENÍ EMISÍ ČESKÉ REPUBLIKY .....	15
1.7 PROGRAMY ZLEPŠOVÁNÍ KVALITY OVZDUŠÍ .....	15
1.8 SMOGOVÁ SITUACE .....	16
1.9 POPLATEK ZA ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ.....	16
1.10 ZPŘÍSTUPŇOVÁNÍ INFORMACÍ .....	16
<b>2 DŮLEŽITÉ BODY Z NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 354/ 2002 SB.....</b>	<b>18</b>
2.1 VELKÉ SPALOVACÍ ZDROJE .....	18
<b>3 DŮLEŽITÉ BODY Z VYHLÁŠKY Č. 415/ 2012 SB.....</b>	<b>19</b>
3.1 ZJIŠŤOVÁNÍ ÚROVNĚ ZNEČIŠTĚNÍ A VYHODNOCENÍ .....	19
<b>4 SHRUTÍ.....</b>	<b>20</b>
4.1 SROVNÁNÍ PŮVODNÍCH A NOVÝCH HODNOT PRO EMISNÍ LIMITY .....	20
<b>5 TECHNIKY NA SNÍŽENÍ EMISÍ SO<sub>2</sub>.....</b>	<b>21</b>
5.1 VYUŽITÍ NÍZKOSIRNÉHO PALIVA NEBO PALIVA SE ZÁSADITÝMI SLOUČENINAMI V POPELU .....	21
5.2 MOKRÉ PRAČKY (MOKRÉ METODY) .....	21
5.2.1 Mokrý vápno – vápencová metoda.....	21
Technologický proces odsíření SO <sub>2</sub> pomocí metody vápno – vápencové .....	22
5.2.2 Metoda vypírání mořskou vodou .....	27
5.2.3 Mokrý magnezitová metoda .....	29
5.2.4 Mokrý čpavková metoda .....	30
5.3 POLOSUCHÉ METODY.....	31
5.3.1 Suchá rozprašovací metoda (rozprašovací sušárna).....	31
5.4 SUCHÉ METODY .....	34
5.4.1 Injektáž sorbentu do topeniště.....	34
5.4.2 Injektáž sorbentu do kouřovodu .....	36
5.4.3 Kombinovaná injektáž sorbentu.....	38



5.4.4	Suchá pračka s cirkulujícím fluidním ložem (CFB).....	39
5.4.5	Regenerativní procesy .....	39
<b>6</b>	<b>SHRNUTÍ TECHNIK NA ODSTRANĚNÍ SO<sub>2</sub></b> .....	<b>42</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>ZÁKLADNÍ ÚDAJE O TOT A. S.</b> .....	<b>44</b>
<b>8</b>	<b>POPIS DOSAVADNĚ POUŽÍVANÉ TECHNOLOGIE</b> .....	<b>45</b>
8.1	TRASA SPALIN .....	45
8.2	DOPRAVA POPÍLKU A KONCOVÉHO PRODUKTU .....	46
8.3	SILA NA VÁPNO A PŘÍPRAVA VÁPENNÉHO MLÉKA .....	47
8.4	PŘÍPRAVA VÁPENNÉ SUSPENZE.....	48
8.5	REAKTOR A JEHO VYBAVENÍ.....	48
8.6	NAPÁJECÍ ČERPADLO A ROZPRAŠOVÁNÍ.....	49
8.7	STLAČENÝ VZDUCH .....	49
8.8	TECHNOLOGICKÁ VODA A VODA PRO PŘÍPADNÉ CHLAZENÍ REAKTORU .....	50
8.9	TKANINOVÝ FILTR A JEHO VYBAVENÍ .....	50
8.10	PODPŮRNÝ SPALINOVÝ VENTILÁTOR .....	51
8.11	KALOVÁ JÍMKA.....	51
8.12	PARNÍ OHŘEV VÝSYPEK.....	52
8.13	ŘÍZENÍ, MONITOROVÁNÍ A ALARMY .....	52
<b>9</b>	<b>NÁVRH OPATŘENÍ NA SNÍŽENÍ SO<sub>2</sub> V TOT. A. S.</b> .....	<b>53</b>
9.1	METODY SNÍŽENÍ EMISÍ SÍRY .....	54
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>58</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>59</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>60</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>61</b>

## ÚVOD

V dnešní době, kdy je průmysl každodenní součástí našeho života, je zcela jasné, že dochází k výraznému znečišťování ovzduší. Není tedy divu, že se zavádí regulace tohoto znečišťování. Tato regulace je dána právními předpisy. Dané právní předpisy jsou samozřejmě čím dál více přísnější z důvodu lepší kvality ovzduší. Je proto kladem velký tlak na znečišťovatele, kteří se snaží splnit přísné kritéria daného právního předpisu. Jelikož je snaha dodržet tyto limity stále těžší, je na místě vynalézat lepší technologie, anebo kombinace těch stávajících, které by tyto limity splňovaly, a poté je uplatňovat v praxi.

V této práci se konkrétně jedná o dodržení limitů vypouštění emisí SO<sub>2</sub> Teplárny Otrokovice a.s. (TOT a.s.), které se mají v následující vyhlášce výrazně snížit, jedná se o vyhlášku č.415/2012Sb. Plánované snížení limitů však není Teplárna Otrokovice a.s. za současného provozu schopna dodržet. Proto je zapotřebí upravit současnou technologii a postupy výroby. Tato úprava postupů a využívaných technologií nemusí být tak nákladná, jak se může na první pohled zdát.

Jednou z možností, jak tyto limity emisí SO<sub>2</sub> splnit, je nahrazení nebo doplnění současné metody jinou vyhovující metodou. Metod využívaných k odstranění SO<sub>2</sub> je hned několik a jsou jednotlivě probrány v textu této práce, kde je i popsán dosavadní odsiřovací proces využívaný TOT a.s.

Součástí této práce je i návrh úpravy technologie a následná konzultace s technologem Teplárny Otrokovice a.s. o možnosti využití a realizace mého návrhu v provozu. Není podmínkou, že tento návrh bude Teplárnou Otrokovice a.s. zrealizován, ale je určitou možností, jak docílit snížení emisních limitů SO<sub>2</sub>, které mají nastat po roce 2016.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# **1 DŮLEŽITÉ BODY ZE ZÁKONA O OVZDUŠÍ Č. 201/ 2012 SB.**

## **1.1 Znečištění a znečišťování**

Znečišťování je dáno přípustnou úrovní emisních limitů, emisními stropy, technickými podmínkami provozu a vyhovující tmavostí kouře. U každého komínového průduchu nebo výduchu musí být dodrženy dané emisní limity pro ovzduší. Emisní limity jsou dvojího druhu:

- obecné emisní limity
- specifické emisní limity

Jestliže stanovujeme u stacionárního zdroje pouze jeden nebo více specifických emisních limitů, nebo jeden a více emisních stropů, nevztahují se na něj obecné emisní limity. U stacionárních zdrojů, skupin stacionárních zdrojů nebo mobilních zdrojů a provozoven se stanovují emisní stropy. Tyto získané emisní stropy a podmínky provozu doplňují emisní limity. Celkový tepelný příkon stacionárního zdroje udává výrobce, anebo tento výkon můžeme spočítat z dostupných informací o stacionárním zdroji. [1]

## **1.2 Zhodnocení úrovně znečištění**

Provozovatel je zodpovědný a zjišťuje úroveň znečištění u znečišťujících látek, které produkuje, rovněž je pro něj stanoven specifický emisní limit nebo emisní strop. Úroveň znečištění stacionárního zdroje zjišťuje provozovatel pomocí měření, pokud to není možné a má provozovatel souhlas od krajského úřadu, může se úroveň znečištění vypočítat.

Měření se provádí na místech, kde nedochází ke změnám složení odpadního plynu proudícího do ovzduší. Pokud máme více komínů nebo výduchů u stacionárního zdroje, provádí se měření na každém z nich.

Emisní znečištění se zjišťuje buď jednorázovým měřením, které je stanoveno právním předpisem, nebo je to měření kontinuální. Jestliže se jedná o jednorázové měření emisí, provádí jej autorizovaná osoba, kontinuální měření zajišťuje provozovatel stacionárního zdroje. Pro ověření správnosti kontinuálního měření emisí zajistí provozovatel jednou za

kalendářní rok jednorázové měření autorizovanou osobou. Ještě je důležité každé tři kalendářní roky kalibrovat kontinuálního měření emisí. [1]

Měření emisních limitů, kontroluje Česká inspekce životního prostředí. Protokol vypracovaný Českou inspekcí životního prostředí, je zasílán danému krajskému úřadu. Provozovatel má povinnost provést jednorázové měření emisí, musí o tomto kroku uvědomit Českou inspekci životního prostředí a to nejméně do 5 pracovních dnů. Pokud dojde k nějaké změně, je potřeba o tom informovat Českou inspekci životního prostředí nejméně jeden den dopředu. [1]

### **1.3 Podmínky pro provozovatele stacionárního zdroje**

Povinností provozovatele je uvádět do provozu jen stacionární zdroj, který bude splňovat úroveň znečištění v souladu s podmínkami tohoto zákona. Také je jeho povinností dodržení emisních limitů, emisních stropů, technických podmínek provozu a vhodné tma-  
vosti kouře. Ve stacionárním zdroji smí spalovat jen paliva splňující požadavky na kvalitu paliva dané výrobcem nebo uvedená v povolení provozu.

Při kontrole příslušným orgánem musí předložit informace o provozu stacionárního zdroje, i údaje o vypouštění skleníkových plynů do ovzduší. Dále musí zpřístupnit osobám pověřeným Ministerstvem ŽP jako, je obecní úřad s rozšířenou působností, k přístupu ke stacionárnímu zdroji, jeho příslušenství, používaným palivům a technologiím související s provozem pro kontrolu a dodržení povinností tohoto zákona.

Jednou za dva kalendářní roky provozovatel zajistí údržbu stacionárního zdroje odborně způsobilou osobou, která byla proškolená výrobcem. Musí vést evidenci o stacionárním zdroji popisující tento zdroj a jeho provoz, údaje o jeho vstupech a výstupech. Tyto údaje poté ohlásit do 31. března z předchozího kalendářního roku pomocí integrovaného systému ohlašovacích povinností. Evidenci je povinen uchovávat po dobu 3 let na místě provozu stacionárního zdroje pro případnou kontrolu.

Znečišťující látky odcházející ze stacionárního zdroje musí být odváděny komínem nebo výduchem, jestliže není určeno jinak, z důvodu aby nedošlo k překročení emisního limitu. [1]

Pokud nastane v provozu stacionárního zdroje nebezpečný stav ohrožující kvalitu ovzduší, je povinen provozovatel nejpozději do 24 hodin podat zprávu na krajský úřad a Českou inspekci ŽP o stavu znečištění. Dále omezit provoz nebo odstavit stacionární zdroj. V případě spalovacích stacionárních zdrojů nesmí během 12 měsíců být kumulativně překročena doba 120 hodin odstávce a nesmí dojít při dodávce tepelné energie k ohrožení lidského zdraví.

U spalovacích stacionárních zdrojů, které mají jmenovitý tepelný příkon 300kW a méně, se nesmí spalovat hnědé uhlí, lignit, uhelné kaly a proplásky. [1]

#### **1.4 Orgány zajišťující správní činnost na úseku ochrany ovzduší**

Správní činnost ohledně ochrany ovzduší provádějí tyto orgány:

- Ministerstvo ŽP
- Ministerstvo zdravotnictví
- Česká inspekce ŽP
- Česká obchodní inspekce
- krajský úřad
- obecní úřady obcí s rozšířenou působností
- obecní úřady
- celní úřady a
- Ministerstvo zemědělství

Pokud se jedná o území vojenských újezdů, tak správní činnost vykonávají újezdní úřady a Ministerstvo obrany.

Ministerstvo ŽP rozhoduje o odvolání proti rozhodnutí v oblasti ochrany ovzduší, které vydala Česká inspekce ŽP nebo krajský úřad. Správní orgány jako je Česká inspekce ŽP, Česká obchodní inspekce, krajský úřad, obecní úřad obce s rozšířenou působností a celní úřad dohlížejí na dodržování těchto předpisů.

Ministerstvo zdravotnictví upozorňuje Ministerstvo ŽP o zvýšených zdravotních rizicích vlivem zvýšené hodnoty imisních limitů. Dále provádí měření na určitých místech a kontrolu zdravotního stavu obyvatelstva. [1]

## **1.5 Informace o kvalitě ovzduší**

O tom, jaká je úroveň znečištění ovzduší, vede MŽP (Ministerstvo ŽP) informační systém kvality ovzduší. Součástí tohoto systému je také registr emisí a stacionárních zdrojů, i množství znečišťujících látek, který vypouští stacionární zdroj do ovzduší. Po shromáždění dat provádí ministerstvo inventuru, která spočívá v hodnocení a zjištění celkového množství vypouštěných znečišťujících látek. Po zhodnocení předchozího roku, může říci, jak bude vypadat následující rok, případně některým situacím předcházet. [1]

## **1.6 Národní program pro snížení emisí České republiky**

Tento program zajišťuje celkové snížení úrovně znečištění v České republice ve spolupráci s ústředními správními úřady. Program se zpracovává jednou za 4 roky a schvaluje jej vláda. Obsahuje analýzu o úrovni a vývoji znečištění. Cílem programu je snížení znečištění pomocí emisních stropů, snížení zatížení troposférickým ozonem a snížit expozici pro částice PM<sup>2.5</sup>. Pro stacionární a mobilní zdroje jsou zajištěny imisní limity a emisní stropy. [7]

## **1.7 Programy zlepšování kvality ovzduší**

Když v určité zóně nebo aglomeraci dojde k překročení imisních limitů, vypracuje ministerstvo s příslušným krajským úřadem nebo obecním úřadem do 18 měsíců od konce kalendářního roku, ve kterém došlo k překročení, program pro zlepšení kvality ovzduší. Tento program vyhláší MŽP ve Věstníku a požaduje, aby imisního limitu byly dosaženy co nejdříve.

Pokud jsou nějaké námitky proti tomuto opatření, může je podat jen provozovatel stacionárního zdroje, dojde k přezkumnému řízení, které lze zahájit jen do 1 roku od začátku programu zlepšování kvality ovzduší. Po přezkoumání vypracuje ministerstvo s příslušným

krajským úřadem nebo obecním úřadem novější program zlepšování kvality ovzduší a to nejméně jednou za 3 roky. [1]

## **1.8 Smogová situace**

Pod smogovou situací si představme stav, kdy je ovzduší mimořádně znečištěno, a to oxidem siřičitým, oxidem dusičitým, částicemi PM<sup>10</sup> a troposférickým ozonem, které překročily prahové hodnoty. Vznik a zánik smogové situace vyhláší ministerstvo na veřejně přístupném informačním systému a v médiích.

Pokud je to nutné, může obec vydat regulační řád, který obsahuje opatření o omezení provozu silničních motorových vozidel. Tento regulační řád vydává obec formou nařízení a musí o jeho vydání informovat MŽP.

Jestliže se nacházíme v nízkoemisní zóně, jsou zde stanoveny podmínky pro případný vznik smogové situace vlivem silničního provozu motorových vozidel. [1]

## **1.9 Poplatek za znečištění ovzduší**

Poplatky za znečištění platí provozovatel, jsou dány za vypouštění znečišťujících látek do ovzduší ze stacionárního zdroje. Poplatky nemusí platit provozovatel stacionárního zdroje, pokud celková výše poplatků za určité období činí méně než 50 000 Kč. Základem poplatku je množství emisí ze stacionárního zdroje nebo zdrojů v tunách, vypočte se jako součin ze základu poplatku a sazby, platí se jednou za kalendářní rok.

Do roku 2016 bude získávat peníze s poplatků Státní fond životního prostředí České republiky, od roku 2017 získá jenom 65 % z celkového zisku, protože 25 % přijme kraj, ve kterém se stacionární zdroj nachází a zbylých 10 % dostane státní rozpočet. [1]

## **1.10 Zpřístupňování informací**

Zpřístupňování informací pro veřejnost mají na starosti orgány ochrany ovzduší. Informují o úrovni znečištění, výskytu stacionárních a mobilních zdrojů, množství emisí z nich. Také připravují opatření pro snížení úrovně znečištění s takovým předstihem, aby byla možnost vnést připomínky. [1]



Informace můžeme získat i od krajského úřadu nebo MŽP ohledně překročení prahové hodnoty, varovné prahové hodnoty nebo regulační prahové hodnoty v dané zóně nebo aglomeraci.

Jelikož je Česká republika vázána mezinárodní smlouvou k orgánům Evropské unie, musí poskytovat informace příslušným orgánům EU o úrovni znečištění, zdroji a jejich emisí, opatření pro snížení úrovně znečištění a ochraně klimatického systému Země. [1]

## **2 DŮLEŽITÉ BODY Z NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 354/ 2002 SB.**

Tímto nařízením vlády se stanovovaly emisní limity a další podmínky provozu spalovacích stacionárních zdrojů znečišťující ovzduší. Toto Nařízení vlády je již dnes zrušeno, ale do 1. 9. 2012 se stacionární zdroje tímto řídili. [2]

### **2.1 Velké spalovací zdroje**

Emisní limity se stanovují u velkých zdrojů v závislosti na jmenovitém tepelném příkonu.

Pokud provozovatel hodlá rozšířit zdroje tepelného příkonu nejméně o 50MW, musí uvědomit inspekci nebo orgán kraje, který stanoví nové podmínky pro emisní limit.

Nejčastěji sledovanými znečišťujícími látkami jsou:

- tuhé znečišťující látky, oxid siřičitý, oxidy dusíku (oxid dusičitý a oxid uhelnatý)
- plynné anorganické sloučeniny chloru (chlorovodík) a plynné anorganické sloučeniny fluoru (fluorovodík). [2]

### **3 DŮLEŽITÉ BODY Z VYHLÁŠKY Č. 415/ 2012 SB.**

Tato vyhláška se zabývá přípustnou úrovní znečišťování a jejím zjišťováním. [3]

#### **3.1 Zjišťování úrovně znečištění a vyhodnocení**

Může být jednorázového původu, kdy měření provádíme, při zahájení provozu, dále při každé změně paliva nebo v případě zásahu do konstrukce zdroje. Toto měření musíme provést nejpozději do 3 měsíců od vzniku dané skutečnosti.

Jednorázově můžeme měřit i v časových intervalech, a to jedenkrát za 1 kalendářní roky, pokud změníme palivo nebo zasáhneme do konstrukce, jinak se měření provádí jednou za 3 kalendářní roky. Jestliže máme spalovací stacionární zdroj o celkovém jmenovitém příkonu 50MW a více, tak se měření provádí dvakrát za kalendářní rok. [3]

## 4 SHRNU TÍ

### 4.1 Srovnání původních a nových hodnot pro emisní limity

Před tím, než byla vydána vyhláška č. 415/2012 Sb., tak pro TOT a.s. platily emisní limity, které byly napsány v nařízení vlády č. 354/2002 Sb. Vyhláška č. 415/ 2012 Sb. ponechává emisní limity v platnosti do 31. 12. 2015 a poté budou nahrazeny novými (Tab. 1).

*Tab. 1 Srovnání emisních limitů podle období trvání*

Období	Do 31. 12. 2015	Po roce 2016
Emisní limit (mg/m <sup>3</sup> ) pro SO <sub>2</sub>	1650	250
Emisní limit (mg/m <sup>3</sup> ) pro NO <sub>x</sub>	650	200
Emisní limit (mg/m <sup>3</sup> ) pro TZL	80	25

## **5 TECHNIKY NA SNÍŽENÍ EMISÍ SO<sub>2</sub>**

Techniky, kterými se dají snížit emise SO<sub>2</sub> jsou různé, zpracovala jsem je do přehledného schématu (viz. PŘÍLOHA P I) a postupně je budu rozebírat detailněji.

### **5.1 Využití nízkosírného paliva nebo paliva se zásaditými sloučeninami v popelu**

Jednou s věcí jak snížit emise SO<sub>2</sub> je využití nízkosírného paliva, samozřejmě jen pokud je možná dodávka tohoto v paliva. Tato záměna je realizovatelná, jelikož k odsíření dochází uvnitř kotle v důsledku obsahu vápence v popílku nebo jiných sloučenin. Běžně je obsah vápence u černého uhlí 5 %, u hnědého uhlí a rašeliny může být i vyšší. [4]

### **5.2 Mokrý pračky (mokrý metody)**

Mokrý pračky patří mezi technologie, které převažují v odsířování a zejména metody na bázi vápenec – sádrovec. Tento typ technologie se používá u velkých užitkových kotlů, jelikož má vysokou účinnost v odstranění SO<sub>2</sub> a je spolehlivý. Jako sorbent se zde používá vápenec, protože je dostupný v mnoha zemích a taky patří mezi levnější sorbenty. Vedlejší produkty, které vznikají, jsou buď sádrovec, nebo směs síranu a siřičitanu vápenatého, podle způsobu oxidace. Sádrovec můžeme prodat a tím snížit i celkové provozní náklady. [4]

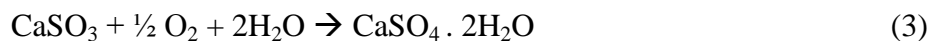
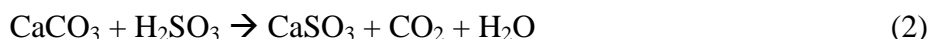
#### **5.2.1 Mokrý vápno – vápencová metoda**

Tento typ praček patří k nejrozšířenějšímu systému odsířování spalin. Nejčastěji se jako reakční činidlo používá vápenec, jelikož jeho výskyt je ve většině zemí a je výrazně levnější než jiná činidla. Pokud chceme vedlejší produkt jako je sádrovec prodávat, zákazník požaduje bělost, proto se jako reakční činidlo používá vápno. Ve většině případů by odsířování spalin používající vápenec, by mohlo dosáhnout stejných hodnot odsíření SO<sub>2</sub> jako s vápnem. Další možností by bylo použít i vápno obohacené hořčíkem. [4], [6]

### *Technologický proces odsíření SO<sub>2</sub> pomocí metody vápno – vápencové*

Spaliny nebo také kouřové plyny opouštějí odlučovač pevných částic a dále prochází přes výměník tepla do absorbéru s odsiřovacím činidlem, které obsahuje vodnou suspenzi jemně mletého vápence. Toto odsiřovací činidlo by mělo obsahovat více než 95 % uhličitanu vápenatého a je nepřetržitě vpouštěno do absorbéru. Spaliny, které jsou již vyprané, procházejí odlučovačem mlžných kapek (demisterem) a následně vypouštěny komínem nebo přes chladicí věž do atmosféry. Produkty, které vznikly při reakci, se odtahují z absorbéru a posílají na odvodnění a další zpracování.

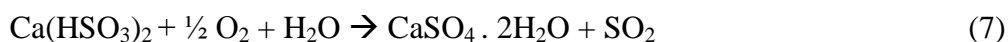
U mokrých vápencových praček ještě závisí na oxidaci, proto se rozdělují na dvě kategorie, podle toho jaké je oxidace, buď je nucená, nebo přirozená. Způsob oxidace určíme podle chemických reakcí, pH reakční suspenze a výslednými vedlejšími produkty. Při nucené oxidaci je pH 5 – 6 a patří k nim následující reakce:



Reakce (1) a (2) probíhají u všech mokrých metod odsíření spalin. Podle reakce (3) poznáme nucenou oxidaci siřičitanu vápenatého vzduchem a vznik krystalického síranu vápenatého (dihydrátu) neboli sádrovce. U nucené oxidace se zavádí na dno absorbéru vzduch, tak aby oxidoval siřičitan vápenatý na síran vápenatý, přitom dosahuje více než 99 % oxidaci.

U přirozené oxidace se siřičitan vápenatý oxiduje částečně kyslíkem, který je obsažený ve spalinách. Hlavním produktem této oxidace je siřičitan vápenatý hemihydrát (5). Vytvořený kal obsahuje směs siřičitanu vápenatého hemihydrátu a sádrovce.

Pokud je pH nižší a je v rozmezí 4,5 – 5,5, tak se chemické reakce liší. Po absorpci SO<sub>2</sub> (1) není primárním produktem neutralizace siřičitan vápenatý, ale hydrogensířičitan vápenatý. [4], [6]



Hydrogensířičitan vápenatý je mnohem lépe rozpustný než sířičitan vápenatý, proto i provoz s nižším rozmezí pH má menší riziko ucpání.  $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$  se oxiduje a krystalizuje ve formě sádrovce (7).

Když používáme nucenou oxidaci, tak je odvodnění snadnější, jelikož jsou krystalky sádrovce celkem velké. Jako primární odvodnění se nejčastěji používá hydrocyklon, poté následuje sekundární odvodnění na filtrech nebo můžeme použít místo nich odstředivky. Výsledný produkt obsahuje kolem 90 % pevné fáze, proto se s ním i dobře manipuluje, můžeme ho i prodávat jako sádru pro omítky, do cementu nebo může nahradit i přírodní sádrovec, v nejhorším případě se uloží na skládku. Pokud je produkt jako sádra, sníží se tím i celkové náklady na provoz, ale při odvodnění je potřeba důkladného promytí, aby se odstranily rozpustné soli, jako jsou chloridy.

Vedlejší produkt u přirozené oxidace je směs, která se těžko odvodňuje, protože je to směs hemihydrátu sířičitanu vápenatého a bezvodného síranu vápenatého. Proto u primárního odvodnění zahušťujeme, následné sekundární odvodnění se provádí přes filtry nebo i na odstředivkách. Obsah vody u vedlejšího produktu přirozené oxidace je 40 – 50 %. Většinou se ukládá na odkaliště nebo na skládku, ale předtím se musí smíchat s popílkem a vápnem, mohlo by dojít ke změně skupenství vlivem tixotropní povahy produktu. Je zde možnost přejít z přirozené na nucenou oxidaci, jelikož sádrovec má lepší jakost než kal a také je vhodnější pro ukládání na skládku.

Mokrou vápencovou metodu můžeme rozdělit do čtyř typů (a, b, c, d) podle uspořádání (viz. PŘÍLOHA P II). Typ (c) a (d) znázorňuje metodu nucené oxidace, ale je možnost, aby se změnila na přirozenou oxidaci, a to zastavením přívodu vzduchu do zbytkového kalu v oxidační nádobě. U typu (a) a (b) se využívá přídavná oxidační nádoba, ale v dnešní době se již nevyužívají. Typ (c) úplně vyřadil oxidační nádobu, zde se vzduch potřebný k oxidaci vhání na dno absorberu, pro vytvoření sádrovce. Tato metody oxidace je nejběžnější metodou, také se často nazývá oxidací in situ (uvnitř). Když dochází k oxidaci v oxidační nádobě, jako je toho u typu (a) a (b), tak je to oxidace ex situ (vně). I když

předřazená pračku slouží k odstranění HCl a HF, tak je schopná i při nízkém pH odstranit více rtuti, stejně jako jemné pevné částice, které jsou nositeli dalších stopových prvků. [4], [6]

Výhody oxidace in situ:

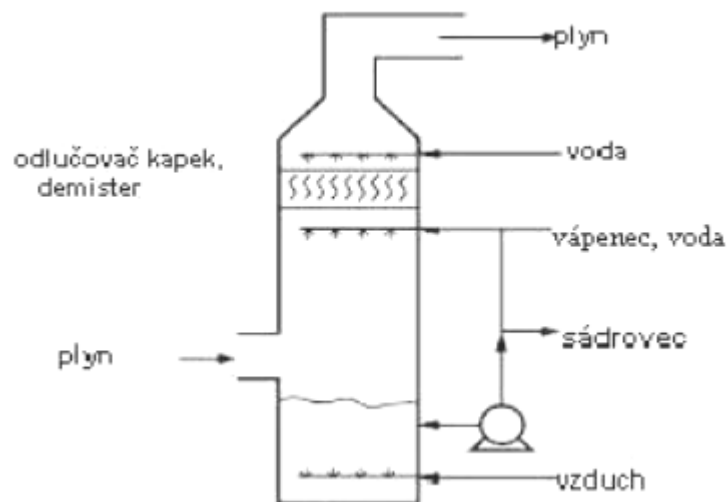
- Předcházení problémů s inkrustací a ucpáváním
- Vyšší spolehlivost provozu i účinnost než oxidace ex situ
- Odstranění SO<sub>2</sub> i při nízkém pH
- Vyšší využitelnost vápence
- Možnost snížit tvorbu S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Posledním typem je (d), které má nejjednodušší uspořádání a převažuje v odsířování spalin, protože všechny chemické reakce probíhají v jediném zabudovaném absorbéru. Snižuje to investiční náklady a jednak spotřebu energie. Jelikož je věž zabudovaná, vyžaduje menší prostor, což usnadňuje lépe vybavit stávající kotle.

U mokré vápno – vápencové metody můžeme použít různé druhy absorbérů.

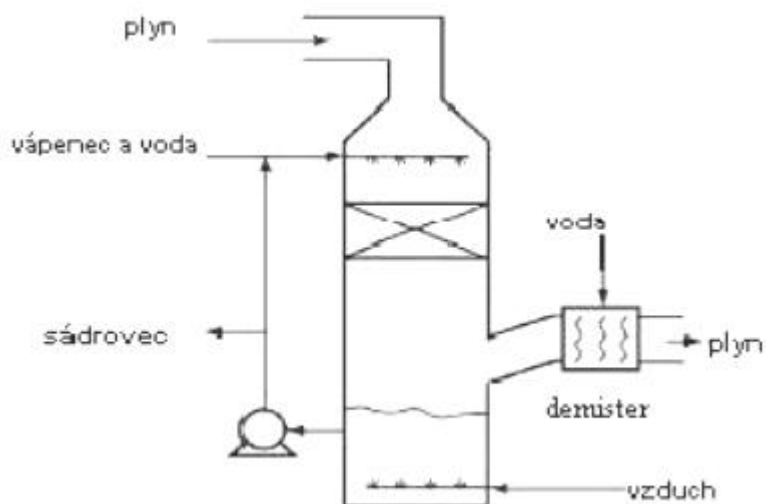
Prvním typem je sprchový absorbér věžového typu (Obr. 1), které se používá nejvíce. Ve sprchové věži se obvykle vyskytují tři až čtyři rozstříkové hladiny s řadou trysek. Těmito tryskami se rozptyluje vodná suspenze jemně mletého vápence, tímto stylem se rovnoměrně rozprostře. Spaliny, které vstoupí do absorbéru, jsou v blízkém kontaktu s pohybujícími se kapkami v protiproudém uspořádání. Vzniklá mlha kapaliny je unášena nahoru, kde je zachycena v demistru (odlučovači kapek). [4], [6]





Obr. 1 Sprchová věž s rozstříkem [4]

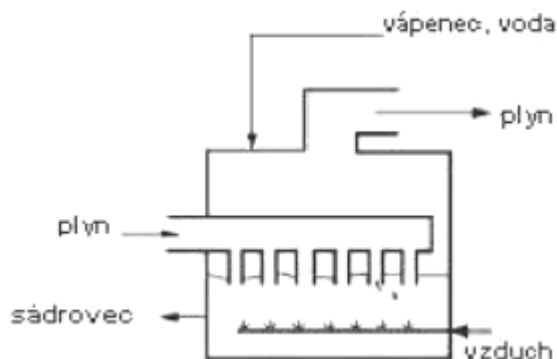
Druhým typem je věžový absorbér s výplní (Obr. 2), jako výplň je zde použita plastová mřížka. Jelikož výplňový absorbér je ve tvaru věže, čímž se prodlužuje doba zdržení plynu a kapaliny, což vede k vyšší účinnosti odstranění  $\text{SO}_2$ . Výhodou tohoto absorbéru je, že nedochází k problémům s inkrustací, protože byly dobře zvládnuty procesy odsíření. Další vlastností je souproudeé uspořádání s vysokou rychlostí průtoku plynu.



Obr. 2 Věž s výplní [4]

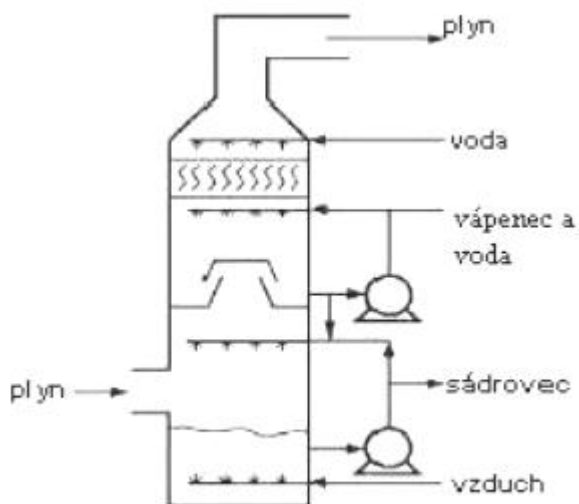
Třetím typem je proudový reaktor s probubláváním (Obr. 3). Spaliny jsou proudově vháněny do suspenze pomocí ponorných trubek, přitom jsou turbulentně probublávány lože reaktoru plnicí se vápencovou suspenzí, do které ještě vháníme vzduch, aby docházelo k oxidaci. Tento absorbér je typickou ukázkou zjednodušeného procesu odsíření spalin, protože vyloučil potřebu čerpadel pro cirkulaci, rozstříkových hubic, sběrného potrubí,

samotných oxidačních nádrží a zahušťovačů. Tímto způsobem se zmenšili provozní potíže i spotřeba energie.



*Obr. 3 Reaktor s probubláváním [4]*

Nakonec čtvrtým typem je věž s dvojitým okruhem (Obr. 4), jako první byl zprovozněn v USA. Absorbér s dvojitým okruhem je popisován jako sprchové zařízení a absorbér, i když každý pracuje s jiným pH. [4], [6]



*Obr. 4 Věž s dvojitým okruhem [4]*

Při mokrých metodách odsiřování spalin vápencem je jasné, že dochází ke korozi, erozi a abrazi v provozu. Průchod spalin vedením, počínaje vstupem do absorbéru až po vyústění komínem, je zapotřebí chránit před působením kyselin, například pomocí pryžo-

vého nebo ochranného povlaku. Větší pozornost je zvláště věnována úseku u vstupu vedení, absorberu, výstupního vedení ohřevu a zdiva komína. U úseků, kde se pracuje se suspenzí, je větší riziko působení koroze a abraze, především se jedná o rozstříkovací zónu v absorberu, zásobníky, míchadla, čerpadla, potrubí, ventily a všechna zařízení pro odvodňování.

Spaliny procházející průchodem systému mokrého odsíření se ochlazují na teplotu 45 – 80 °C. Lepší rozptyl vyčištěných spalin z komína dosáhneme tím, že teplota spalin na výstupu z komína bude minimální, jsou dány předpisy. Pokud chceme splnit tyto požadavky, musíme spaliny přehřát, k tomu se používá obvykle regenerační výměník tepla, jenž pracuje na principu plyn - plyn. Vyčištěné spaliny vypouštěné mokrým komínem mají nižší nároky na elektrickou energii, ale negativem je viditelný oblak. Pro mírný dopad na kvalitu ovzduší má větší vliv výška komínu než vztlak vypouštěného plynu.

System mokrého odsíření spalin potřebuje dostatek prostoru, pokud tento proces zavádíme do stávajícího zařízení, je důležité postavit nový komín, jelikož ten stávající by nemusel splňovat podmínky pro tento účel. Je to dáno vystupujícími plyny z odsiřovacího zařízení, které podléhají větší korozi. [4], [6]

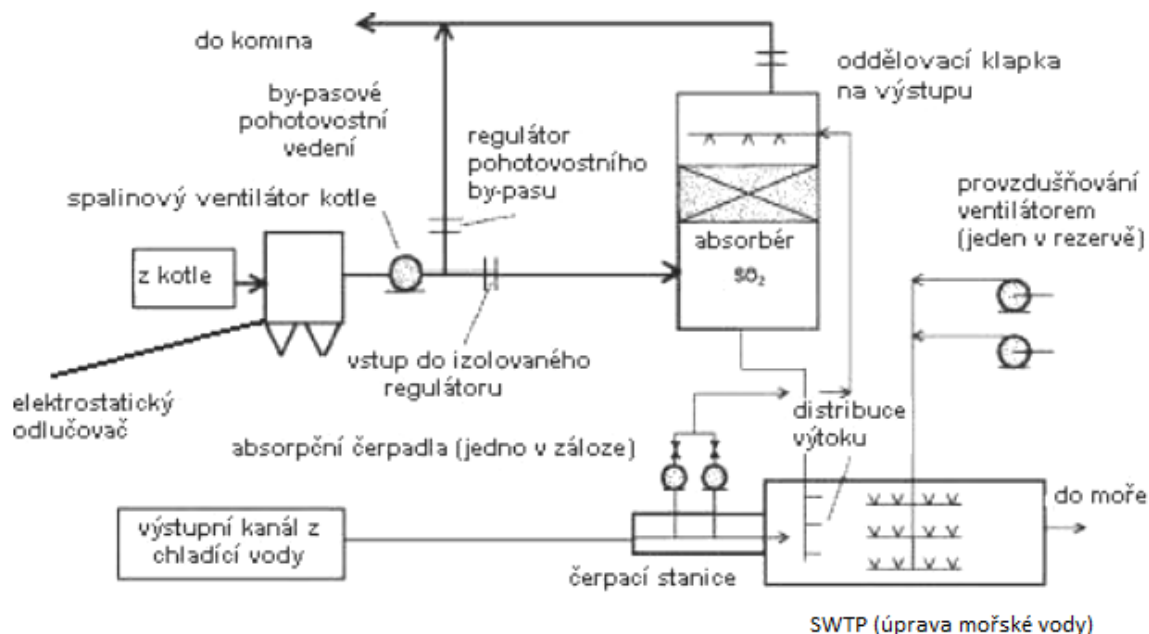
Do dnešní doby prošly mokré metody rozsáhlým vývojem, zejména ve vylepšení spolehlivosti a účinnosti odlučování, což vedlo i k nižším nákladům. Spolehlivost u nucené oxidace je obvykle kolem 99 %, přirozená oxidace má spolehlivost v rozmezí 95 – 99 %.

Náklady spojené s pořízením mokré vápencové metody jsou poměrně vysoké, ale vedlejší produkty jsou prodejné, takže se celkové náklady sníží. Nejvíce náklady ovlivňuje průtokový objem spalin. Investice do provozu mokré vápencové technologie může kolísat v rozmezí 35 – 50 EUR/kW a údržba se pohybuje okolo 0,2 – 0,3 EUR/kWh (energie, která byla spotřebována). Zatím co náklady na odstranění SO<sub>2</sub> jsou mnohem výraznější a to 750 – 1150 EUR/t, také toto odlučování SO<sub>2</sub> ovlivňuje cena dodávané elektřiny. [4], [6]

### **5.2.2 Metoda vypírání mořskou vodou**

Při této metodě se využívají vlastnosti mořské vody jako je absorbovat a neutralizovat oxid siřičitý, který je obsažen ve spalinách. Jestliže je elektrárna v blízkosti mořské

vody, tak se voda využívá jako chladivo v kondenzátorech. Nejjednodušeji lze pochopit princip procesu vypírání mořskou vodou ze schématu (Obr. 5). [4], [6]



Obr. 5 Princip procesu vypírání mořskou vodou [4]

Spaliny opouštějící odlučovač prachu, což je zde tkaninový filtr nebo elektrický odlučovač. Následně spaliny vstupují do absorberu  $\text{SO}_2$ , zde dochází ke kontaktu s daným množstvím mořské vody, kterou odebíráme z výpusti kondenzátoru parní turbíny. Ze spalin se oxid siřičitý absorbuje díky přítomnosti kyselého i normálního uhličitánu z mořské vody. Kyselá kapalina z absorberu se následně mísí s mořskou vodou způsobem, tak aby se udrželo optimální pH pro oxidaci. Vzduch, který vstupuje, zahajuje oxidaci kyselého siřičitánu, který vznikl při absorpci oxidu siřičitého, poté na kyselý síran a nakonec se odstraní rozpuštěný oxid uhličitý. Použitá voda, která se zpět vrací do moře, se nejprve nasytí kyslíkem a pH se upraví ještě před výpustí do moře. U této metody nedochází ke vzniku pevných vedlejších produktů. Tento proces je založen na chemické rovnici (8).



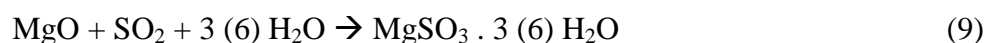
Určité množství mořské vody se přepustí do horního patra absorberu, kde proudí přes výplň a absorbuje se oxid siřičitý. Mořská voda, která se okyselí, tak se zachycuje v jímcě absorberu a dále protéká na základě gravitace do úpravní mořské vody, což je

SWTP (úprava mořské vody). Výchozí okyselená voda z absorberu se mísí se zbylou chladící vodou ve speciální jednotce, která se nachází v čelním úseku úpravní SWTP, ještě předtím než dojde k oxidaci. Zde se do mořské vody vhání okolní vzduch, SO<sub>2</sub> přechází na síran, voda je dostatečně nasycená kyslíkem a pH se upraví na hodnotu 6, nakonec je voda vypouštěna zpět do moře. [4], [6]

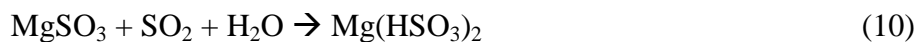
### 5.2.3 Mokrý magnezitová metoda

V této metodě probíhá regenerativní proces, jeho principem je absorpce oxidu siřičitého do suspenze oxidu hořečnatého (9). Regenerací se krystalky siřičitanu hořečnatého rozkládají na oxid hořečnatý za vysoké teploty (800 °C) v redukční atmosféře, ten se vrací do procesu. Oxid siřičitý se dále zpracovává na kyselinu sírovou nebo i na elementární síru. [4], [5]

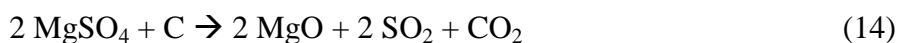
Hlavní reakce:



Další reakce:



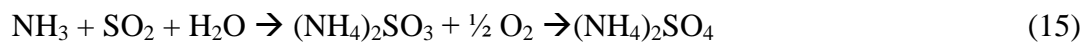
Regenerace:



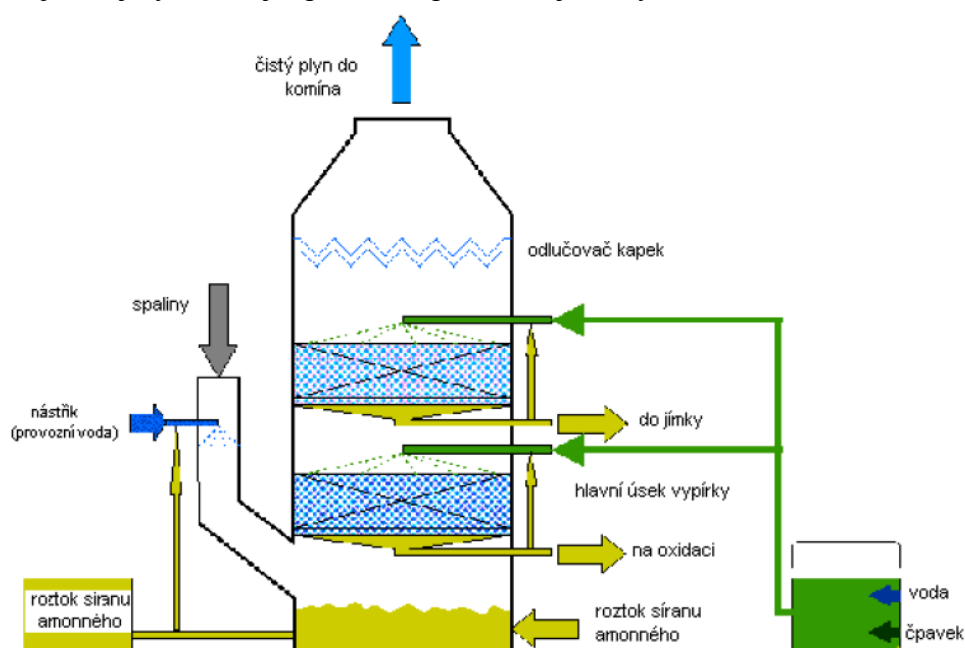
Potřeba kvalitního magnezitu, buď přírodní, nebo MgO z mořské vody, eroze použitého materiálu vlivem dopravy krystalů a velká energetická náročnost, jsou pro tuto metodu nevýhodou. Opakem je spolehlivost a dostatečná účinnost odsíření, která činí přes 90 %. Uplatňuje se především u mazutových kotlů, ale nemá tak široké uplatnění jako vápencová metoda. [4], [5]

### 5.2.4 Mokrý čpavková metoda

Při tomto procesu se  $\text{SO}_2$  absorbuje ve vodném čpavku za vzniku síranu amonného (15), což je vedlejší produkt a je možnost ho využít jako minerální hnojivo (Obr. 6).



Tato metoda byla provozována v Německu, aby splnila emisní limity pod  $200 \text{ mg/m}^3$ . Konečným produktem je tedy síran amonný, který je zpracováván v paletizačním zařízení za vzniku granulí a následně využití jako hnojivo. Jelikož je v průmyslových zemích nadbytek tohoto hnojiva z jiných zdrojů, proto se upouští od jeho využití. [4], [6]

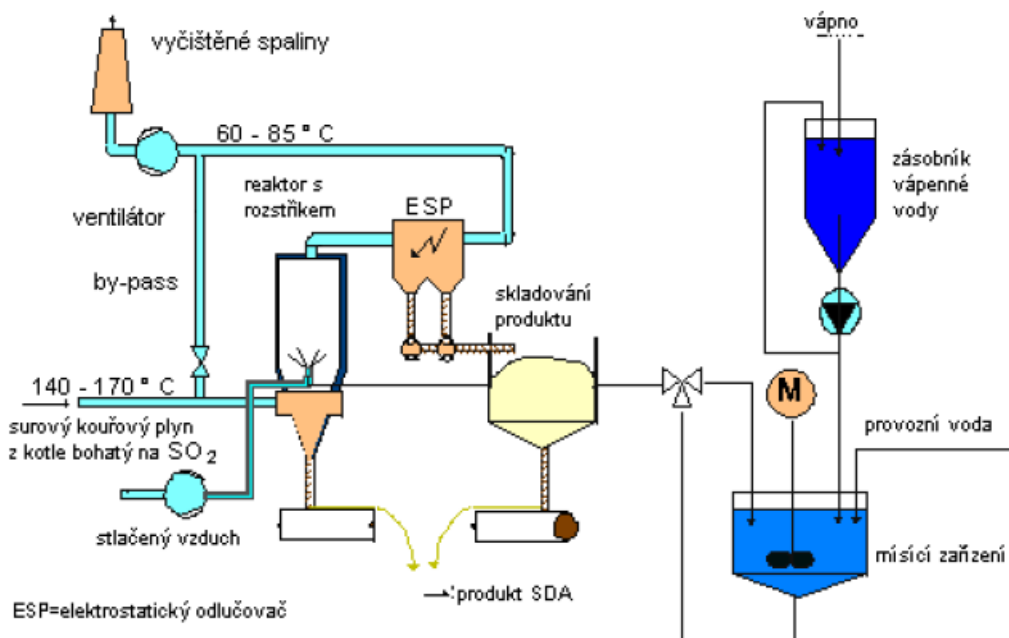


Obr. 6 Princip pračky mokré čpavkové metody [4]

## 5.3 Polosuché metody

### 5.3.1 Suchá rozprašovací metoda (rozprašovací sušárna)

Rozprašovací sušárna zaujímá celosvětově druhou příčku ve využití tohoto systému odsíření spalin. Nejčastěji se  $\text{SO}_2$  odstraňuje ze spalin pomocí vápenné kaše, která zajišťuje spolehlivost provozu a účinnost odsíření. Výhodou těchto sušáren je nízká počáteční investice, ale za to vysoké provozní náklady z důvodu použití dražšího sorbentu, což je vápno. Většinou se tato metoda využívá u kotlů s menší nebo střední kapacitou a zároveň musí spalovat uhlí o nízkém až středním obsahu síry (1,5 %). Výsledným produktem je směs síranu a siřičitanu vápenatého a popílku, směs není moc komerčně atraktivní. [4]

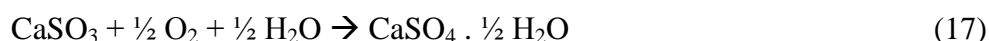


Obr. 7 Schéma rozprašovací sušárny [4]

Toto zařízení (Obr. 7) hlavně tvoří absorbér se suchým rozstříkáním, odlučovací zařízení tuhých částic a to buď elektrostatický odlučovač, nebo tkaninový filtr, dále je zde zařízení k recyklaci a zneškodnění vzniklých reakčních produktů. Jako sorpční činidlo pro absorpci  $\text{SO}_2$  je zde běžné vápno nebo oxid vápenatý. Vápno se mísí s přebytečnou vodou (vyhasí se), pro zisk vápenné suspenze neboli vápenného mléka. Vzniklá vápenná kaše se rozprašuje do mraku velmi jemných kapek v absorbéru, kde zde dochází k odstranění  $\text{SO}_2$  ze spalin. Použitá voda se teplem spalin odpaří, často při dostatečném časovém zdržení,

což obvykle bývá cca 10 sekund, je to z důvodu, aby se mohlo SO<sub>2</sub> a ostatní kyselé plyny jako jsou SO<sub>3</sub> a HCl zreagovat s hydrátem vápenatým na siřičitan a síran vápenatý a chlorid vápenatý. Odpadní vodu není potřebné upravovat, jelikož se veškerá voda v absorbéru se suchým rozprašováním vypaří.

Chemismus tohoto procesu je jednoduchá acidobazická absorpční reakce mezi SO<sub>2</sub> a hydroxidem vápenatým podle následujících reakcí (16, 17). [4]



Tuto absorpci hodně ovlivňuje teplota spalin, vlhkost plynu, koncentrace SO<sub>2</sub> v kouřovém plynu a ještě velikost kapek rozptýlené suspenze. Jako vedlejší produkt získáme suchou směs siřičitanu a síranu vápenatého, popílku a nezreagovaného vápna. Jelikož odpadní produkt obsahuje ještě zbytky nezreagovaného vápna, tak se recykluje a míchá se s čerstvou vápennou suspenzí, pro zvýšení využití vápna.

Nejčastěji se v Evropě rozprašovací sušárny využívaly, až spaliny prošly odlučovačem, který odstranil většinu popílku, a poté následně vstoupily do absorbéru. Odlučovač je zabudován mezi ohříváč vzduchu a absorbérem. Toto rozmístění má za následek výhody jak při počáteční investici, tak i při provozních nákladech.

- Napomáhá lepší účinnosti elektrostatických odlučovačů, což má za efekt nižší emise
- Snižuje objem odpadu, který je potřeba zneškodnit

Jako předřadný odlučovač se obvykle používá elektrostatický odlučovač o jedné sekci. V hlavní části absorbéru je rozprašovací tryska na vápennou kaši, vyskytuje se ve verzích rotačního rozprašovače. Rotační rozprašovač je umístěn uprostřed klenby a má za úkol rozprašovat jemné kapky hydratovaného vápna. Nejprve se proud spalin rozdělí na vstupu do absorbéru, 60 % plynu vstupuje do absorbéru zařízením pro rozptyl plynu v klenbě a zbylých 40 % středovým rozprašovačem. Seřízení obou proudů napomáhá k regulaci profilu mraku rozprašovacích kapek, dále obstarává promísení kouřových spalin a sorbentu v úzkém prostoru okolo rozprašovače.



Na trysky v rozprašovači jsou kladeny vysoké normy, které musí splňovat, patří zde schopnost odolat korozi vlivem působení spalin a erozi vápnem, dále musí mít nízkou tlakovou ztrátu a minimální riziko ucpání. [4]

Sorbent v rozprašovacích sušárnách se zužitkuje mnohem více než u metod s injektáží sorbentu, ale nezreagovaného vápna je asi 10 – 40 % z celkového přídatku vápna, a proto se ze systému vypouští se siřičitanem a síranem vápenatým. Abychom zlepšili využití sorbentu, provádí se citlivá regulace poměru sorbentu a vody při přípravě suspenze, dále můžeme dosáhnout snížení teploty nasycení v absorbéru a recirkulaci části odpadu zpět.

Konečný produkt z rozprašovací sušárny se nejčastěji ukládá na zabezpečené skládky, jelikož obsahuje nezreagované vápno, není možnost jej zneškodnit, aniž by se upravil. Tvoří prach, a proto hrozí riziko vyluhování nebezpečných složek, které by byly neregulovatelné. Pro tento případ se speciálně upravuje mísením s vodou a popílkem, vytvoří se stabilní zneškodnitelný produkt neboli stabilizát. Suchý vedlejší produkt je využit na různé stavební účely.

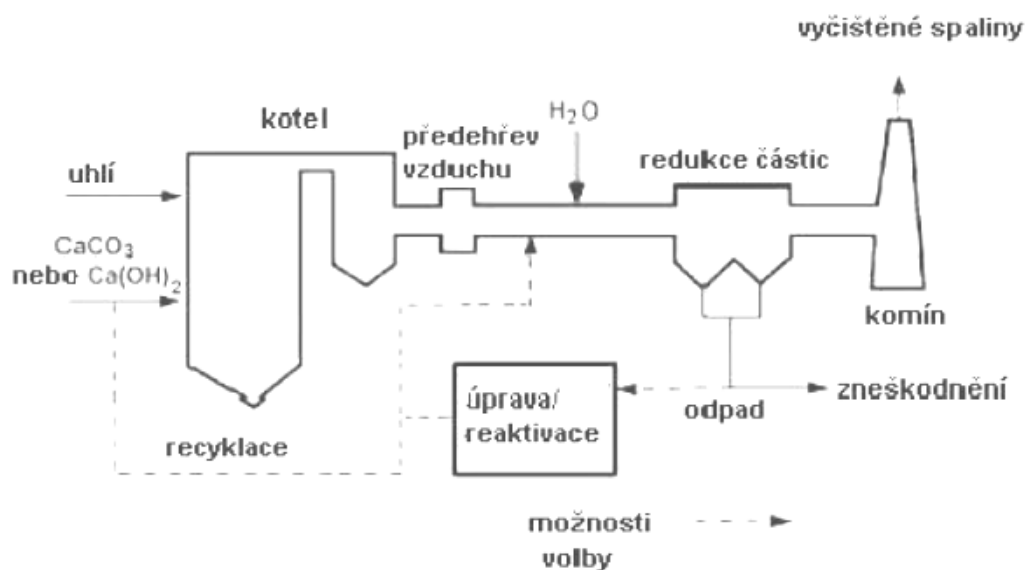
Provozní teplota rozprašovací sušárny činí 20 – 30 °C nad teplotu nasycení, kdy se rosný bod nachází mezi 45 – 55 °C. Není potřeba ohřev u vyčištěných spalin.

Tato metoda je vhodná pro paliva s nízkým nebo mírným obsahem síry a u menších zařízení. Počáteční náklady závisejí především na kapacitě zařízení, typu a technologické úpravě rozprašovacího absorbéru a injektážního systému. Náklady pro velké spalovací zařízení jsou asi o 30 – 50 % nižší než investiční náklady na mokrý vápencový proces, nevýhodou jsou ale provozní náklady, které jsou vyšší, jsou způsobeny dražším sorpčním činidlem. Náklady na rozprašovací sušárnu u kotle jsou asi 18 – 25 EUR/MW, údržba 0,5 – 0,7 EUR/ MWh. Celkové náklady technologie jsou 600 – 800 EUR/ na tunu odstraněného SO<sub>2</sub>. [4]

## 5.4 Suché metody

### 5.4.1 Injektáž sorbentu do topeniště

Principem této metody je přímá injektáž sorbentu do proudu plynu z topeniště kotle (Obr. 8). Jako sorbenty jsou zde obvykle používány, práškový vápenc (CaCO<sub>3</sub>), vápenný hydrát (Ca(OH)<sub>2</sub>) a dolomit (CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub>). V topeništi je zvýšená teplota, která má za následek kalcinaci sorbentu za následné tvorby reakčních částic CaO. SO<sub>2</sub> ze spalin reaguje s povrchem těchto částic za vzniku siřičitanu vápenatého a síranu vápenatého. Takto vzniklé produkty se zachycují s popílkem na odlučovačích částic, nejčastěji jsou to elektrostatické odlučovače nebo tkaninové filtry. Odpadní produkt se ukládá na skládku za pečlivého dozoru, jelikož odpad obsahuje aktivní vápno a siřičitan vápenatý, možnost využití tohoto odpadu je ve výzkumné fázi. [4]



Obr. 8 Princip injektáže sorbentu do topeniště [4]

Zde jsou reakce, při kterých dochází k odstraňování SO<sub>2</sub>:



Když používáme metodu injektáže sorbentu do topeniště, přispívá to k odstranění  $\text{SO}_3$ .

Kritické teploty pro reakci vápence při injektáži do topeniště jsou v rozmezí 980 – 1230 °C, při tomto rozmezí teplot a dostatečně časovém intervalu (což je asi půl sekundy) vznikne jediné reaktivní vápno ( $\text{CaO}$  – pálené vápno). U vápenného hydrátu nalezneme dvě kritické rozmezí teplot, 980 – 1230 °C a kolem 540 °C, k tomuto výsledku se přišlo teprve nedávno. [4]

Pokud injektujeme vápenec do ohniště kotle při optimálním provozu, můžeme dosáhnout účinnosti odstranění  $\text{SO}_2$  kolem 50 %. U této metody je účinnost a využití vápence nižší než u jiných procesů, proto jsou určitá opatření pro zvýšení účinnosti. Jedním z nich je rozstřík vody do vedení před odlučovačem, což má za následek zvýšení účinnosti odstranění  $\text{SO}_2$  o 10 %.

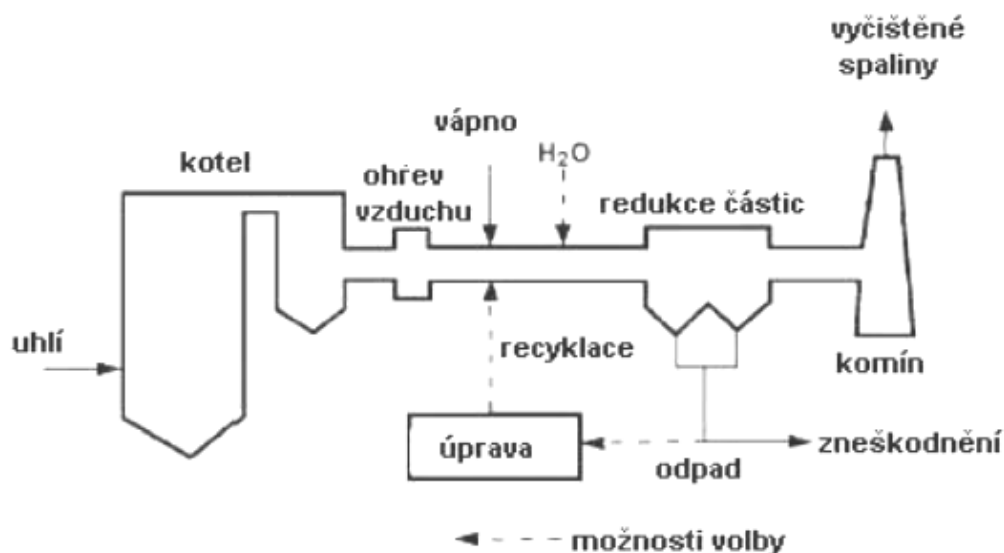
Zde v této metodě dochází k recyklaci reakčního produktu a to tímto způsobem, že je zachycen v zařízení k redukci tuhých částic, mezi které patří elektrostatický odlučovač a tkaninový filtr. Opětovně je vstřikován do topeniště nebo do vedení, kde se ponechá několikrát cirkulovat, od tohoto opatření se očekává zvýšení účinnosti odstranění  $\text{SO}_2$ , která může dosáhnout až 70 – 90 %.

Vzniklý popílek, se kterým se manipuluje, je potřeba ho zneškodnit při injektáži sorbentu do topeniště, způsobuje komplikaci vlivem množství jemných produktů reakce, které se musí zpracovat. Pokud se použije injektáž sorbentu do topeniště, je zapotřebí počítat se zaslepováním a zanášením výměníků tepla, proto je vhodné zvýšit odfuk sazí.

Provozní náklady na tuto metody jsou nižší než u rozprašovací sušárny nebo u mokré metody odsířování. Další výhodou je jednoduchý pochod provozu, tím pádem není potřeba zvláštní obsluhy. Vedlejší produkt je možné znovu využít, ale nemá žádný ekonomický význam. [4]

### 5.4.2 Injektáž sorbentu do kouřovodu

Tato metoda spočívá ve vstřikování sorbentu, který je na bázi vápna, do spalin mezi ohřivačem vzduchu a elektrostatickým odlučovačem, případně tkaninovým filtrem (Obr. 9). [4]



Obr. 9 Princip injektáže sorbentu do kouřovodu [4]

Typy injektáže do kouřovodu:

- Suchý vápenný hydrát, který je zapotřebí zvlhčit
- Suchá injektáž sodné substance, u které není třeba zvlhčení
- Poslední je injektáž vápenné suspenze nebo čištění v kouřovodu, nevyžaduje se vlhčení

Jedním z důvodů, proč se vlhčí vodou, je ten, že se aktivuje sorbent a zvýší se absorpce  $\text{SO}_2$ , druhým důvodem je úprava tuhých částic tak, aby se udržela účinnost elektrostatického odlučovače.

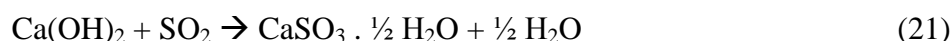
I když se navenek injektáž sorbentu do kouřovodu jeví jako jednoduchý proces, je několik jevů, které mají za následek zvýšení redukční působnosti:

- Při použití sorbentu na bázi vápníku nebo sodíku se nezreagované absorpční činidlo mnohokrát recykluje

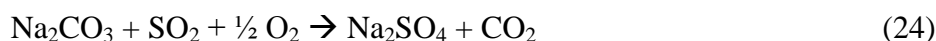
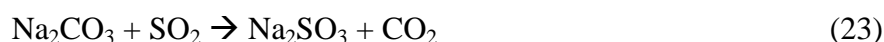
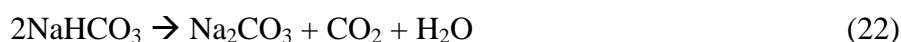
- U spolupráce se stávajícím elektrostatickým odlučovačem se zvyšuje účinnost při snížení teploty to i za vyšší vlhkosti [4]

Pokud by se nerecykloval použitý sorbent, reagovalo by s SO<sub>2</sub> pouze 15 – 30 % hm. sorbentu. Rovnice, které jsou napsány níže, znázorňují chemické děje při této metodě.

Pro vápenatý sorbent



Pro sodíkový sorbent



Tato technologie je charakteristická nízkými investičními náklady, jednoduchostí pochodu, ale nevýhodou je nízká účinnost odstranění SO<sub>2</sub>, proto je málo využívaná v průmyslu. Plusem této metody je ještě velká možnost použití u starých a malých kotlů, tím pádem se v současnosti vyvíjejí způsoby jak zvýšit odsíření a dosáhnout 70 – 95 % účinnosti. [6]

Použitý sorbent se recykluje, jelikož je to ekonomicky důležité. Bez recyklace by totiž sorbent reagoval s SO<sub>2</sub> pouze 15 – 30 % hm. Ca(OH)<sub>2</sub>, což znamená, že 70 – 85 % nezreagovaného hydrátu vápenatého by zachytil elektrostatický odlučovač zneškodňující suchý popílek.

System, který recykluje sorbent, může využít zachycených pevných látek a recyklovat je znovu do kouřovodu, aby se dala možnost Ca(OH)<sub>2</sub> opět reagovat s SO<sub>2</sub>. Tímto způsobem není nutno navyšovat přídavek čerstvého vápna a taky se nenavyšují náklady na čerstvý sorbent.

Tahle metoda injektáže sorbentu do kouřovodu je jednoduchá, provoz taktéž. Nevyskytují se závažné rizika, které by způsobovala špatné fungování provozu.

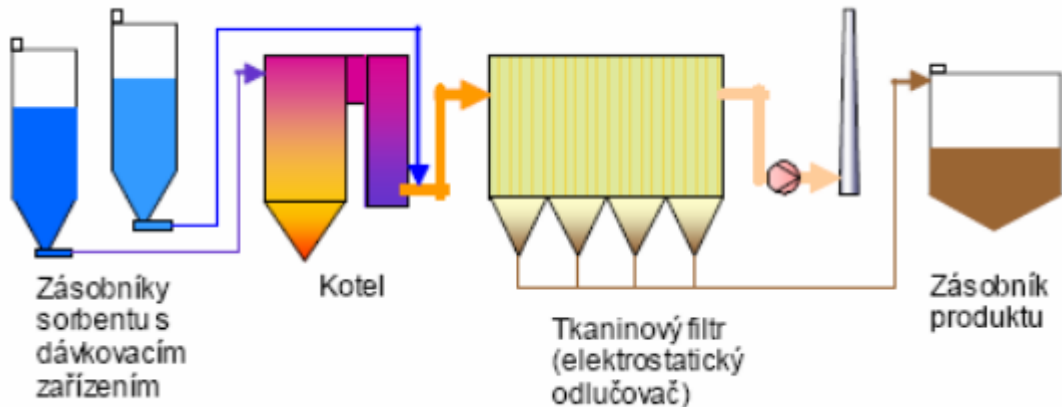
Pro tento typ metody jsou vhodná různá paliva, také techniky spalování, protože se injektáž provádí do chladnější části kouřovodu, tím se předejde spékání sorbentu, nebo i roztavení.

Proces je snadno regulován, takže nějak nezatěžuje kotel. Injektáž suchého sorbentu je ekonomicky výhodná u malých zařízení, počáteční náklady jsou nízké a další náklady jsou ovlivněny obsahem síry v palivu. Provozní náklady jsou poněkud vyšší, jelikož se používá dražší sorbent než třeba u metod s vápencem. Nevýhodou je zde vedlejší produkt, který nelze znovu využít, tudíž bude mít provozovatel vyšší náklady na odstranění. [4]

### **5.4.3 Kombinovaná injektáž sorbentu**

Je zde kombinován nástřik sorbentu do topeniště a do kouřovodu spalin, čímž se dosáhne lepší účinnosti odsíření. Jako sorpční činidlo se používá vápenec, jelikož je levnější než vápno. Průmyslové využití dosáhla tato metoda některými hlavními provozními charakteristikami, jako jsou:

- Relativně vysoký podíl odstranění  $\text{SO}_2$
- Nízké počáteční a provozní náklady
- Nenáročné dovybavení
- Provoz a údržba je jednoduchá, aniž by se muselo manipulovat se suspenzí
- Není potřeba velkého prostoru, jelikož strojní zařízení je menší
- Není nutná úprava odpadní vody [4]



Obr. 10 Schéma kombinované injektáže sorbentu [6]

#### 5.4.4 Suchá pračka s cirkulujícím fluidním ložem (CFB)

Jedná se o proces cirkulující fluidní lože (vrstvy), který se řadí mezi suché pračky. Odlišuje se rozprašovací sušárnou a také injektáží sorbentu. Metody se využívá v Německu u kotlů spalující uhlí.

Vápenný hydrát se přímo nastříkne do reaktoru, kde je cirkulující fluidní lože. Spaliny vstupují spodem z kotelního ohříváku vzduchu do reaktoru, kde vertikálně proudí vzhůru do Venturiho systému. V tomto systému se nejdříve plyn urychlí, poté zbrzdí a následně vstupuje do horní válcovité nádoby. Výška nádoby je přizpůsobená podle hmotnosti materiálu na loži, aby došlo ke kontaktu s  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a  $\text{SO}_2$ . Vnějšími vstupy přichází recirkulovaný materiál, regenerační činidlo a ještě voda z úpravy plynu, která se zavádí na protilehlé straně Venturiho systému. V nádobě nejsou žádné mechanické ani nosné součásti.

Provoz není nijak složitý a snadno se udržuje, jelikož není třeba údržby strojního zařízení, protože neobsahují drtiče mlýnů, čerpadla, míchačky, rotační rozprašovače a odvodňovací zařízení suspenze. [6]

#### 5.4.5 Regenerativní procesy

U těchto procesů se opětovně využívá sorpční činidlo, které projde tepelnou nebo chemickou úpravou za vzniku koncentrovaného  $\text{SO}_2$ , který se následně převádí na elemen-

tární síru. V průmyslu nedosáhly širokého využití, protože se jedná o složitou metodu s vysokými počátečními náklady a také větší spotřebou energie při provozu. [4]

#### a) Proces se siřičitanem a kyselým siřičitanem sodným

Tento proces je nejrozšířenější regenerativní metoda, využívá se u průmyslového zařízení, které spaluje černé uhlí, hnědé uhlí, lignit, olej a naftový koks. Metoda je využívána v Německu, Japonsku a USA, ale postupem času ji mění za levnější procesy odstranění SO<sub>2</sub>.

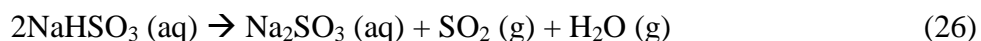
Princip této techniky je založen na rovnováze siřičitanu a kyselého siřičitanu sodného. Nejprve spaliny procházejí předpírací jednotkou, což znamená, že plyn se sytí, chladí a zároveň se odstraňují halogeny.

Reakce, které probíhají v absorběru:

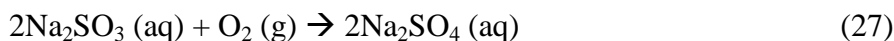


Absorpce probíhá protiproudou, když tekutina stéká dolů kolonou, dochází ke změně siřičitanu na kyselý siřičitan, který poté opouští kolonu. V roztoku je zachyceno i malé množství popílku, ten se odstraňuje v předřazené pračce a filtrací, ještě předtím, než tekutina projde meziskladovacím prostorem regenerace. [4]

Hlavní reakce v regeneračním prostoru:



Dále se regeneruje ve výparnicích s nuceným oběhem kapalný produkt z absorběru. Poté krystalizuje siřičitan sodný z roztoku, který se znovu rozpouští v kondenzátu, čímž vzniká kapalina pro napájení absorběru. V procesu probíhají dvě vedlejší reakce, jedna v prostoru absorběru a druhá při regeneraci. V tomto absorpčním prostoru se kyslíkem, který je obsažen ve spalínách vytváří síran sodný a ten snižuje kapacitu kapaliny pro absorpci oxidu siřičitého.



Může vzniknout nepatrné množství thiosíranu sodného během regenerace:





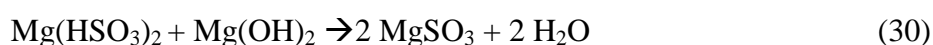
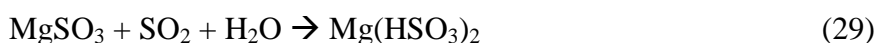
Odkalováním se koncentrace thiosíranu udržuje v relativně nízké hodnotě. Aby nedocházelo ke ztrátám sodíku, přidává se hydroxid sodný a jako inhibitor pro oxidaci je zde kyselina etylendiamintetraoctová (EDTA).

Za nevýhodu procesu se považuje složitý provoz, ale také potřeba kvalifikované osoby na obsluhu. [4]

### **b) Proces s oxidem hořečnatým (MgO)**

Proces se řadí mezi regenerativní metody mokré vypírky a jako sorbent se zde využívá roztok hydroxidu hořečnatého. Principem se podobá mokré vápencové vypírce. Liší se pouze stupněm regenerace vyčerpaného sorpčního činidla. Ze spalin se předřazenou vypírkou odstraňuje HCl a HF, kvůli předcházení kontaminace hořečnaté soli. Následně spaliny proudí do absorbéru, kde se vodnou suspenzí síranu hořečnatého absorbuje oxid siřičitý.

Probíhají zde reakce:



Produkty reakcí jsou siřičitan a síran hořečnatý, neustále vytékají z absorbéru a s poté se suší v sušárně. Jak siřičitan, tak i síran hořečnatý se kalcinují při teplotě 900°C za přítomnosti uhlíku, tím se regeneruje oxid hořečnatý, který se vrací do systému. [4]



Vzniká zde jako vedlejší produkt elementární síra, kyselina sírová a koncentrovaný oxid siřičitý. Tyto produkty jsou prodejné, tím jsou celkové provozní náklady sníženy, protože jinak MgO spotřebovává velké množství energie při regeneraci.

V současné době se nově nestaví žádné provozy s touto technologií a ani nejsou žádné v plánu.

## 6 SHRNUTÍ TECHNIK NA ODSTRANĚNÍ SO<sub>2</sub>

V této tabulce jsem stručně shrnula některé techniky, které jsem předtím podrobněji popsala. (Tab. 2)

Tab. 2 Shrnutí technik odsíření

Technika	Podíl snížení SO <sub>2</sub>	Parametr	Hodnota
Mokrý vápno - vápencová metoda	92 – 98 % (v závislosti na typu absorbéru)	Provozní teplota	45 – 60 °C
		Sorbent	vápenec, vápno
		Vedlejší odpad	sádrovec
		Čistota sádrovce	90 – 95 %
Vypírka mořskou vodou	85 - 98 %	Provozní teplota	u vstupu 145 °C, u výstupu 30 – 40 °C
		Sorbent	mořská voda/ vzduch
		Odpadní voda	žádná (jen síranové ionty rozpuštěné v mořské vodě)
Rozprašovací sušárna	85 - 92 %	Provozní teplota	vstup 120 – 200 °C, výstup 65 - 80°C
		Sorbent	vápno /CaO
		Vedlejší odpad	směs popílku, nezreagovaná aditiva a CaSO <sub>3</sub>
Injektáž sorbentu do topeniště	30 – 50 %  70 – 80 % podle recyklace reakčního produktu	Provozní teplota	980 – 1230 °C
		Sorbent	vápenný hydrát, vápenec
		Odpad	směs Ca solí
Suchá pračka s cirkulujícím fluidním ložem	90 – 99 %	Provozní teplota	7 – 80 °C
		Sorbent	Ca(OH) <sub>2</sub>
		Odpad	CaSO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub>

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O TOT A. S.

Kategorie zdroje	Energetika – spalování paliv (Spalování paliv v kotlích o celkovém jmenovitém tepelném příkonu nad 5 MW)
Složení zařízení	Kotelna s odlučovacím zařízením
Celkový instalovaný výkon (MW <sub>t</sub> )	264
Instalovaný elektrický výkon (MW <sub>el</sub> )	Jmenovitý 50
Počet kotlů	5
Druh kotle	Parní s ohřívákem vody nebo vzduchu
Typ kotle	Vodotrubný
Druh topeniště	Granulační
Jmenovitý tepelný výkon (MW <sub>t</sub> )	88
Výrobce kotle	PBS Brno / TENZA, a.s., Brno
Účinnost podle výrobce (%)	87
Doba provozu	Nepřetržitě ve dne i v noci
Emisní limit (mg/m <sup>3</sup> ) pro TZL:	80
	SO <sub>2</sub> : 1650
	NO <sub>x</sub> 650
	CO 200
Druh odlučovacího zařízení	Elektrostatický odlučovač – horizontální; Odsiřovací zařízení – absorpce plynů; Textilní (tkaninový) filtr – hadicový [9, 10]

## 8 POPIS DOSAVADNĚ POUŽÍVANÉ TECHNOLOGIE

TOT a. s. využívá jako odsiřovací technologii polosuchou metodu u tří kotlů. U této technologie se ze spalin odstraňuje popílek a kyselé plyny, mezi ně patří  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  a  $\text{HCl}$ .

Vedlejším produktem není žádná odpadní voda, jelikož se odpařuje, ale jen suchý prášek, který se skládá především ze siřičitanu vápenatého. Ten se buď vyváží na skládku, nebo se používá např. při stavbě silnic.

Celý proces odsíření spalin je řízen z velína prostřednictvím řídicího systému.

KONSTRUKCE:

Společné zařízení pro odsiřovací jednotky, patří, jsem:

- Systém pro skladování vápna
- Systém pro přípravu sorbentu (skládá se z přípravy vápenného mléka a přípravy odsiřovací suspenze
- Systém reproduktu
- Systém koncového produktu
- Systém pro technologický vzduch
- Zásobování vodou, skládající se ze systémů technologické vody, vody pro nouzové chlazení reaktoru a ucpávkové vody

Zařízení odsiřovací linky 1 (pro linku 2 je to identické):

- Reaktor
- Dávkovač odsiřovací suspenze
- Tkaninový filtr a doprava produktu
- Podpůrný spalinový ventilátor [9, 10]

### 8.1 Trasa spalin

Každá ze tří paralelních kotelních jednotek je vybavena přehřívákem vzduchu, elektrostatickým odlučovačem, sacím ventilátorem a spalinovou kapkou. Elektrostatické odlu-

čovače mají emise popílku pod hodnotou  $180 \text{ mg/Nm}^3$ , čímž dochází ke snížení obsahu abrazivního popílku v absorbentu, což má za důsledek nižší spotřeby vápna.

Vzniklé spaliny jsou přiváděny do 2 statických směšovacích komor, odtud vedou společným spalínovodem do odsiřovací technologie. Ta probíhá v reaktorech, kde dochází k rozprašování absorbentu, ten je na bázi vápenného mléka. Na rozprašování slouží trysky, do kterých je přiváděno absorpční médium, tyto trysky vytvářejí jemnou mlhu z kapiček. Po smíchání spalin s touto mlhou dochází k chemické absorpci. Při reakci reagují plynné kyselá sloučeniny s hydroxidem vápenatým v absorbentu. Voda obsažená v kapičkách se vypaří, spaliny se ochladí a produktem reakce je suchý prášek. Nepatrná část prášku dopadá na dno reaktoru, odtud je odvážena řetězovým dopravníkem.

Poté částice proudí se spalinami do tkaninového filtru. Tento filtr pracuje na principu vysavače (částice prachu jsou mechanicky separovány). Částice ve spalinách jsou na tomto filtru zachyceny na vnější straně tkaninových rukávů. Pokud je na rukávech už velká vrstva částic, rukávy se musí vyčistit. Čistí se stlačeným vzduchem, který proudí zevnitř rukávu, tím dochází k odpadnutí částic na dno do výsypky.

Dopravní systém DEPAC je konstruován na přepravu pevné fáze, dopravuje prach od výsypek elektrostatického odlučovače, tkaninového filtru a mechanického odlučovače. Tento prach se shromažďuje v podavači, pokud je podavač plný, prach je fluidizován (vrstva částic je ve stavu vznosu a chová se podobně jako kapalina), natlakován a vypuštěn do dopravního potrubí.

Koncový produkt obsahuje nepatrnou část nezreagovaného  $\text{Ca(OH)}_2$ , proto se z části posílá do sila reproduktu, kde se opět využívá pro přípravu absorbentu. [9, 10]

## **8.2 Doprava popílku a koncového produktu**

Separovaný prach z tkaninového filtru (koncový produkt) je pneumaticky dopravován systémem DEPAC do sila reproduktu (část produktu odsíření, která je vrácena do procesu) nebo do koncového sila produktu. Toto silo je společné pro obě odsiřovací linky. Pokud dojde k naplnění sila reproduktu, doprava se automaticky přepne do expedičního sila koncového produktu.

Sila koncového produktu jsou součástí 3 expedičních sil popílku a produktu odsíření. V silu č. 1 se skladuje popílek, v silu č. 2 se skladuje produkt odsíření a v posledním silu č. 3 se skladuje popílek nebo produkt odsíření.

Jednotlivé sila zaujímají objem  $1270 \text{ m}^3$  a jsou vybavena dvěma stáčecími hubicemi pro stlačení skladovaného produktu, který se poté nakládá do železniční nebo automobilové cisterny. Ještě obsahuje odprašovací filtry a systém fluidizace skladované látky, který je zabudován na dnu sila. Z kompresorové stanice je do sil přiváděn sušený a stlačený vzduch. [9, 10]

### **8.3 Sila na vápno a příprava vápenného mléka**

Systém je pro obě odsiřovací linky společný.

Pálené vápno obsahuje  $\text{CaO}$ , je dováženo vagóny po železnici nebo automobilovými cisternami, poté se ukládá do dvou přijímacích vápenných sil. Jedno silo má objem asi  $240 \text{ m}^3$ . Tento objem sila je dostačující pro cca 2 x 100 hodin plného provozu tří kotlů teplárny za průměrného obsahu síry v palivu. Z těchto sil je vápno dopravováno pneumatickým systémem podle potřeby do dvou denních sil. Jsou umístěny nad střechou objektu přípravy odsiřovací suspenze. V horní části víka přijímacího sila č. 1 je zabudován kapsový tkaninový odprašovací filtr s odsávacím ventilátorem. Obě sila jsou vybavena přetlako – podtlakovou bezpečnostní klapkou, vibrační výsypkou a 3 hladinoměry. Sila jsou vzájemně propojena potrubím v tom nejvyšším bodě. Denní sila na vápno jsou schopny pojmout objem  $2 \times 31 \text{ m}^3$  a jsou určeny k zásobování vápnem pomocí dvou automatických linek pro hašení vápna.

V objektu jsou dvě linky na přípravu vápenného mléka a jedna na přípravu odsiřovací suspenze.

Vápenné mléko je vyráběno hašením, a to ve dvou identických linkách DUVAMATIC. Linky mohou být spouštěny a odstavovány podle hladiny vápenného mléka v zásobníku. Každá z linek je schopna zpracovat 2500 kg vápna za hodinu. Linka č. 1 stačí na plný provoz tří kotlů teplárny, při průměrném obsahu síry v palivu. Druhá linka je jen záložní, používá se v případě poruchy, nebo pokud je vyšší obsah síry v palivu.

Toky suchého vápna a vody do hasících nádrží jsou nastaveny, jelikož vápno má proměnlivé vlastnosti, je nutno na každé směně toto nastavení kontrolovat. V hasících nádržích je zabudován teploměr a míchadlo. [9, 10]

Vápenné mléko, které produkují obě linky, obsahuje 18 – 23 % sušiny, ta se dále prosévá na vibračním sítu, a následně ukládá v nádrži (objem 50 m<sup>3</sup>) vápenného mléka. Síta je nutné udržovat čisté, proto se perou v 10% kyselině citrónové.

Vzniklé vápenné mléko se čerpá v uzavřené cirkulační smyčce jedním ze dvou čerpadel. Z této smyčky je mléko dávkováno přes řídicí ventil do společné napájecí nádrže odsiřovací suspenze.

#### **8.4 Příprava vápenné suspenze**

Sorbent se vyrábí v rozmíchávači suspenze. Příprava sorbentu spočívá v přidávání produktu ze sila reproductu do vápenného mléka a technologické vody. Zamíchávací nádrž obsahuje šikmý podávací šnek, tím se dopravuje suchý koncový produkt dolů do zamíchávací nádrže. V horní části této nádrže se nachází míchací zařízení. Tímto procesem se zvyšuje podíl tuhých látek na 35 %. Vzniklý absorbent se obvykle nazývá odsiřovací suspenze.

Rozmícháváč je nepřetržitě napájen suspenzí z napájecí nádrže pomocí oběhového čerpadla. Tato suspenze se prosévá na vibračním síti, a poté se odvádí do napájecí nádrže odsiřovací suspenze. Z této nádrže je následně odebírána pro rozprašování v odsiřovacím reaktoru. [9, 10]

#### **8.5 Reaktor a jeho vybavení**

Reaktor je složen z válcové věže se dnem ve tvaru kužele, na vnitřní ploše reaktoru je nanášena polyvinylesterová nátěrová hmota, ta zajišťuje, aby nedocházelo ke korozi při spalování uhlí s vysokým obsahem chloru. Dno reaktoru je vytápěno parními topnými články.

V reaktoru dochází ke střetu vápenného mléka se spalinami. Spaliny proudí společným spalinovodem přes 7 vstupních otvorů. Ve středu otvoru je vždy rozprašovací soustava trysek.



Odsiřovací suspenze je těmito tryskami rozprařována. Spaliny vystupují společným vedením ze spodní části reaktoru a následně vstupují do tkaninového filtru.

Na dně reaktoru nalezneme reverzibilní (vratný) řetězový dopravník, který vyváží produkt do sila reproduktu nebo přes nouzový vývod. Nouzový vývod disponuje rotačním podavačem. Pro chlazení spalin je přes reaktor veden potrubím chladící vzduch. Vedení chladícího vzduchu má jednu uzavírací klapku a jednu řídící klapku, tato klapka na základě teploty spalin ovládá množství přiváděného vzduchu. [9, 10]

## **8.6 Napájecí čerpadlo a rozprařování**

Napájecí čerpadlo vyvíjí tlak asi 10 barů (1MPa), což je důležité pro rozprařování suspenze v sedmi soustavách trysek. Suspenze je rozstřikována do spalin, které vstupují do horní části reaktoru. Stlačený vzduch dodává energii pro rozprařování o tlaku 8 barů (0,8 MPa). Napájecí čerpadlo je obvykle napájeno suspenzí z napájecí nádrže reaktoru odsiřovací linky č. 1. Pokud dojde k odstavení linky 1, tak se manuálně přestaví ventily a napájecí čerpadlo pro linku 1 se použije pro zásobování suspenze linku 2.

Cyklón odděluje suspenzi od vzduchu v době, kdy je potřeba zpětného proplachu rozprařovací soustavy. Suspenze je rozprařována v horní části reaktoru pomocí trysek do spalin.

Čerpadlo obsahuje pulzní tlumiče a ventily pro proplachování čerpadla i potrubí. Za rozmíchávačem suspenze se nachází napájecí čerpadlo i napájecí nádrž. Tlak a průtok suspenze jsou nepřetržitě monitorovány tlakovými snímači a průtokoměry. Celkový průtok vzduchu je ovládán škrťícím ventilem na všech čtrnácti soustavách. Aby nedocházelo k velkému usazování na hlavě tělesa trysek, tak jsou čištěny vzduchem pomocí ventilátoru. [9, 10]

## **8.7 Stlačený vzduch**

Stlačený vzduch je pro spotřebu teplárny vyráběn v kompresorové stanici. Stanice je tvořena čtyřmi šroubovými kompresory bez mazání značky Atlas Copco, dvěma sušičkami stlačeného vzduchu a potřebnými redukčními stanicemi. Při provozu teplárny se využívají

jen 3 kompresory, čtvrtý je rezervní pro případ poruchy. Kompresory jsou vybaveny soustavou chladičů, které umožňují rekuperaci tepla z chladicí vody, tzn., že jsou chlazeny nízkým průtokem vody a její výstupní teplota dosahuje 95 °C. Stanice vyrábí stlačený vzduch, a to rovnou ve třech úrovních sušení. První je nesušený a neredukovaný vzduch, ten slouží k rozprašování suspenze v odsiřovacích reaktorech. Druhý je vymražený, ale už redukovaný, využívá se jako dopravní a odprašovací vzduch v tkaninových filtrech. Poslední je vysušený a redukovaný vzduch, ten se používá jako instrumentální vzduch a vzduch pro dopravu nehašeného vápna. [9, 10]

K vyrovnání tlaku v síti stlačeného vzduchu, slouží dva vzdušníky o jednotlivém objemu 10 m<sup>3</sup>. Vzdušníky jsou postaveny venku a navazují na síť surového neredukovaného vzduchu. Kompresorová stanice disponuje dochlazovači stlačeného vzduchu, ty se starají o dochlazování vzduchu před sušením, dále zde nalezneme vymrazovací sušičku, adsorpční sušičku, dva redukční ventily vzduchu, výměníky pro úpravu teploty chladicí vody a cirkulační čerpadlo chladicí vody.

## **8.8 Technologická voda a voda pro případné chlazení reaktoru**

Technologická voda se využívá při hašení vápna, přípravě suspenze, celkovému proplachu a čištění. Používá se zde i pitná voda, to jako ucpávková a voda do bezpečnostních sprch.

Čerpadlo, které rozprašuje chladicí vodu je společné pro obě linky a také se může využít při výpadku napájení, kdy je potřeba chladit reaktor.

Podpůrné čerpadlo zde zajišťuje tlakový nárůst pro zásobování vodou do bezpečnostních sprch v odsíření, a to především nahoře v reaktoru.

## **8.9 Tkaninový filtr a jeho vybavení**

V TOT a. s. se používá tkaninový filtr typu LKPG se systémem rukávců. Rukávce se čistí stlačeným vzduchem, pokud jsou na vnější straně zaneseny. Filtr je tvořen 4 odděleními, která obsahují výsypky a systém čištění rukávců. Každé oddělení má 396 rukávců

v 22 řadách o délce jednoho rukávce 8 m, oporu jim zajišťuje drátěná klec, která je dvou-dílná.

Jednotlivá oddělení mají zásobník stlačeného vzduchu se samostatnými pulzními ventily připojenými na trubky s tryskami.

Výsypky mají kónický tvar a obsahují výstupní uzavírací ventil stavidlového typu. Spodní část výsypky je vytápěna parou, která proudí trubkami.

Na střeše skříně trysek jsou velké dveře, které umožňují přístup k rukávcům a trubkám s tryskami. Dveře jsou ovládány manuálně. Ještě jsou zde inspekční dveře nacházející se dole ve výsypkách. K řadám oddělení vedou dva přívodní spalinovou, ve kterých se nacházejí vstupní klapky ovládané pneumatickými válci. I výstupní klapky talířového typu disponují pneumatickými akčními členy. [9, 10]

## **8.10 Podpůrný spalinový ventilátor**

Axiální ventilátor typu PFS se zde využívá jako podpůrný spalinový ventilátor s nastavitelnými lopatkami. Zajišťuje proudění spalin odsířovací technologií.

Natočení úhlu lopatek ventilátoru provádí hydraulický systém a zároveň maže ložiska ventilátoru. Teplota a vibrace jsou monitorovány v ložiscích ventilátoru.

Vzduchový chladicí systém je složen z ventilátoru a systému trubek, jimiž je vzduch rozváděn do difuzéru ventilátoru. Pro chlazení zejména lopatek oběžného kola a ložisek se používá čerstvý okolní vzduch

## **8.11 Kalová jímka**

Veškerá voda z provozu je zachytávána v jímce, patří sem i voda z umývání podlah v objektu odsíření suspenze. Pokud dojde k naplnění jímky, tak se kalovými čerpadly čerpá do zamíchávací nádrže. Jímka tvoří dvě části, první má objem 18 m<sup>3</sup> a je v ní umístěno míchací zařízení, které je napojeno na kalové čerpadlo. Druhá neboli havarijní část má objem asi 32 m<sup>3</sup>, neobsahuje míchací zařízení a je spojena přepadovým kanálem. Pokud je potřeba vypustit nějakou nádrž v objektu, tak se použije tato havarijní.

## **8.12 Parní ohřev výsypek**

Všechny čtyři dolní části výsypek tkaninových filtrů a také u obou výsypek reaktorů jsou vybaveny parním ohřevem. V meziprostoru mezi stěnou a izolací výsypky jsou zabudovány teplosměnné trubky, rozváděcí komora páry a ještě sběrná komora kondenzátu. Na konci kondenzátu z každé výsypky je přidělena žebrovaná dochlazovací trubka kondenzátu. Výhodou je, že každou výsypku lze od systému ohřevu odpojit. Průtok páry lze regulovat v místě parního přívodu před rozdělením toku páry do jednotlivých výsypek.

Pára, která je potřebná k ohřevu výsypek, je odebírána z hlavního parovodu, a to v místě nad stávající kompresorovou stanicí. Následně je vedena potrubím nad kouřovody k oběma odsířovacím linkám, stejnou cestou je vrácen podchlazený kondenzát. Tento systém podle potřeby můžeme odvodnit, ale i odvodušnit. [9, 10]

## **8.13 Řízení, monitorování a alarmy**

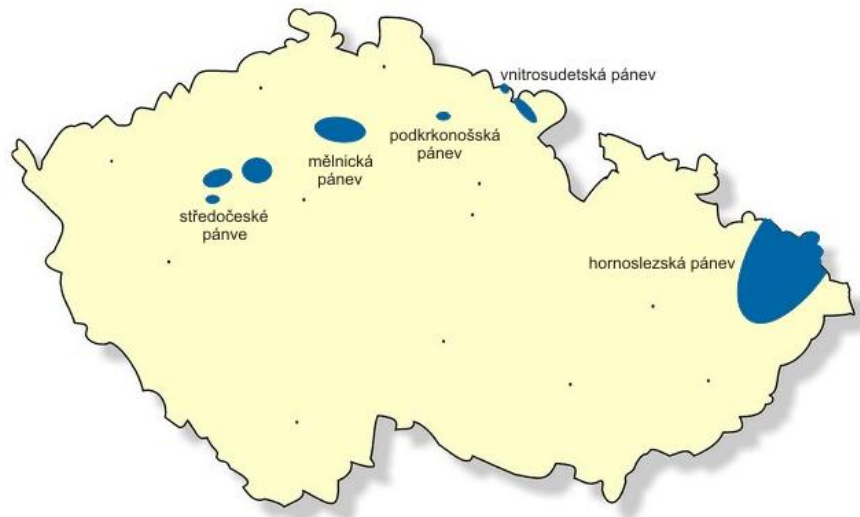
Odsířování spalin je řízeno centrálním systémem Honeywell TDC 3000.

Proces technologie je monitorován, aby nedocházelo k překročení minimálních a maximálních mezních hodnot. Alarmové stavy se zobrazují na monitorech a vypisují na tiskárnách.

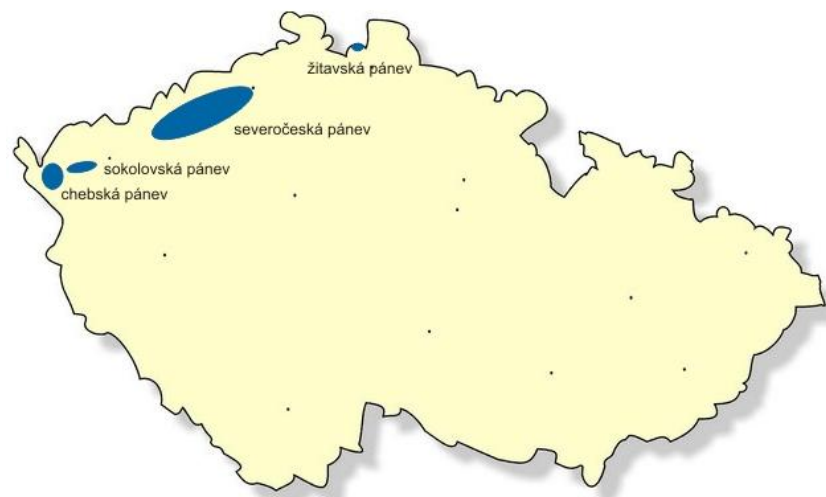
Řídicí systém ovládá provoz v reakcích, záleží i na změnách provozních paramentů a okolních podmínek. [9, 10]

## 9 NÁVRH OPATŘENÍ NA SNÍŽENÍ SO<sub>2</sub> V TOT. A. S.

Dnes TOT a. s. využívá hnědé a černé uhlí s obsahem síry v průměru u hnědého uhlí 1,7 % a výhřevností 16,5 MJ/kg, za to u černého uhlí je obsah síry o něco nižší. Průměrná hodnota je 0,55 % a výhřevnost je v rozmezí 14,5 – 19,1 MJ/kg. V České republice se nacházejí tyto naleziště černého (Obr. 11) a hnědého uhlí (Obr. 12).



Obr. 11 Naleziště černého uhlí v ČR [8]



Obr. 12 Naleziště hnědého uhlí v ČR [8]

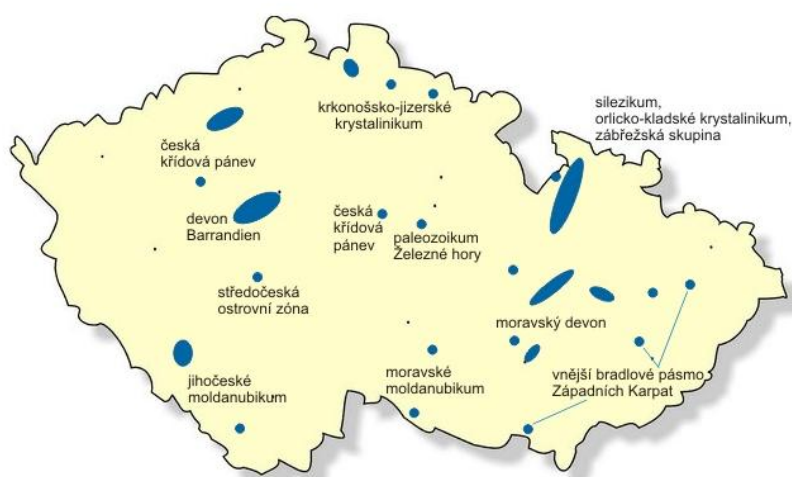
Pro snížení SO<sub>2</sub> a zároveň splnění nového emisního limitu, aniž by se muselo, nějak zasahovat do provozu, je vhodným řešením použít nízkosírné palivo. Podle odhadu u černého uhlí s obsahem síry 0,55 %, které TOT a. s. využívá, by ke splnění nastávajícího emisního limitu muselo toto uhlí mít o 92 % nižší obsah síry.

Mezi nízkosírná paliva patří např. lehký nebo extra lehký topný olej, který TOT a. s. používá jen při najíždění kotle a zapalování hořáků, dále se využívá i nízkosírné hnědé a černé uhlí. Při získávání informací a kontaktování jiných tepláren bylo zjištěno, že Teplárna České Budějovice, a.s. a Teplárna Písek, a.s., využívají nízkosírné uhlí.

Topný olej má oproti uhlí vyšší výhřevnost, která činí 39,7 MJ/kg a zároveň i obsah síry je maximálně 0,1 %. Jednou z možností jak snížit emise SO<sub>2</sub>, by tedy bylo využití topného oleje jako paliva.

## 9.1 Metody snížení emisí síry

Jednou z metod je vápno – vápencová, která má vysokou účinnost v odsíření (92 – 98 %). Tuto metodu využívá jedna z elektráren, která byla kontaktována, jedná se o Elektrárnu Opatovice, a. s. Jako sorbent se zde používá levný vápenec, jenž je dostupný i v ČR (obr. 13). Vedlejší produkt je zde sádrovec nebo směs síranu a siřičitanu vápenatého (hemihydrátu), sádrovec je možno prodat.



Obr. 13 Zdroje vápence v ČR [8]

Magnezitová metoda je regenerativní proces, probíhá zde absorpce SO<sub>2</sub> do suspenze MgO. Pro tuto suspenzi je potřeba kvalitního magnezitu. SO<sub>2</sub> se zpracovává na kyselinu sírovou, případně na elementární síru. Při nedokonalém zajištění a manipulaci s kyselinou sírovou, by mohlo dojít k nežádoucímu úniku do ŽP. I když tato metoda disponuje velkou účinností, přes 90 %, není velmi průmyslově využívána.

Dále se i využívá mokrá čpavková metoda, kdy se SO<sub>2</sub> absorbuje do vodného čpavku, za vzniku síranu amonného. Ten se využívá jako minerální hnojivo, jelikož je tohoto hnojiva přebytek, proto se tato metoda již v současnosti nepoužívá. Ještě by mohlo dojít k úniku čpavku při manipulaci a následná kontaminace podzemních vod.

Ještě je možnost použít metody injektáže do topeniště nebo do kouřovodů. Obě tyto metody vstříkují sorbent přímo do proudu spalin v místě podle názvu. Sorbent je na bázi vápna (injektáž do kouřovodu) nebo přímo práškový vápenec (injektáž do topeniště). Vedlejší produkty jsou nevyužívány, proto se ukládají na skládku. Nevýhodou je i nízká účinnost, proto je pro průmysl nevýhodou, v současnosti se vyvíjí úpravy u těchto metod pro zvýšení své účinnosti.

Následující metoda by si vyžadovala kompletní přestavbu současné TOT a. s., jedná se o suchou pračku s cirkulujícím fluidním ložem (CFB), tento způsob spalování plynného paliva již používají v Alpiq Generation (CZ) s.r.o. – teplárna Zlín. Je to snadná technologie na údržbu a taky její účinnost dosahuje vysokých hodnot, mezi 90 – 99 %.

Z těchto metod bych vybrala pro TOT a. s. a jejich dosažení nových emisních limitů, které nastanou 1. 1. 2016, využití nízkosírného paliva, nemuselo by nijak dojít k zásahu do provozu.

Pokud by přesto muselo dojít k rekonstrukci provozu, tak nejlepší by byla metoda vápno – vápencová, ta sice zabírá hodně místa a má vyšší investiční náklady, za to ale bude splňovat nastávající limity.

V případně celkové přestavby TOT a. s., by se mohla ještě použít metoda CFB, která je nenáročná na provoz, protože neobsahuje některé zařízení jako ostatní metody, za to její účinnost je vysoká.

## ZÁVĚR

V této práci jsem se snažila nastínit problematiku s odstraňováním oxidu siřičitého. Je potřeba si uvědomit, že se jedná o velmi náročnou problematiku, která se neustále řeší, z důvodu zpřísnování emisních limitů. Tyto emisní limity jsou zpracovány podle nejlepších dostupných technik (BAT), které jsou v dnešní době na trhu. Z těchto technik jsem nadále vycházela při popisu metod odsíření.

Z důvodu správného pochopení tohoto tématu, nejprve uvádím zákon o ochraně ovzduší č. 201/ 2012 Sb., ve kterém jsou stanoveny podmínky pro provozovatele stacionárního zdroje, pod které spadá i TOT a. s. V další části popisují současné emisní limity SO<sub>2</sub>, které jsou závazné pro TOT a. s. a následně emisní limity, jenž musí dodržet od roku 2016.

V praktické části popisují jednotlivé metody, princip odstranění SO<sub>2</sub>, látky, které používají na jeho odstranění, v neposlední řadě jejich výhody, nevýhody a na závěr vhodnost využití dané metody v TOT a. s.

Pro správný návrh nového opatření pro TOT a. s., bylo nutné zjistit jejich dosavadní využívané technologie, které v práci popisují. Na tomto základě jsem učinila návrh, který zahrnuje využití nízkosírného paliva, jako bezzásahová úprava do stávajícího provozu. Jako nízkosírné palivo jsem vybrala extra lehký topný olej nebo hnědé a černé uhlí s nízkým obsahem síry. TOT a. s. využívá černé uhlí s obsahem síry 0,55 %, pokud by, ale chtěli splňovat nové emisní limity, musel by být obsah síry o cca 92 % nižší, toho lze dosáhnout právě využitím nízkosírného paliva.

Když by muselo dojít k zásahu do provozu, vypsal jsem některé z popisovaných metod, které by mohly být taktéž využity. Mezi těmito metodami jsou např. metoda vápno – vápencová, je např. uplatňována v Elektrárně Opatovice, a. s.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Zákon č. 201 ze dne 2. května 2012 o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2012. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [2] Nařízení vlády č. 354 ze dne 3. července 2002, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2002. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-354>
- [3] Vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2012. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-415>
- [4] Aplikace nejlepších dostupných technik. *Ippc* [online]. 2009 [cit. 2015-03-22]. Dostupné z: <http://www.ippc.cz/obsah/nejlepsi-dostupne-techniky/aplikace-bat/>
- [5] *Odsiřování fluidních kotlů*. Praha, 2009. Dostupné z: [http://tresen.vscht.cz/kap/data/studentska\\_cinnost/obhajoba\\_semestrálního\\_projektu\\_2009/46\\_odsirovani\\_fluidnich\\_kotlu\\_soubor.pdf](http://tresen.vscht.cz/kap/data/studentska_cinnost/obhajoba_semestrálního_projektu_2009/46_odsirovani_fluidnich_kotlu_soubor.pdf). Semestrální projekt. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- [6] *Odsiření spalin fluidního kotle*. Brno, 2009. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=15575](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15575). Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [7] *Národní program snižování emisí* [online]. 2007 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/narodni\\_program\\_s nizovani\\_emisi](http://www.mzp.cz/cz/narodni_program_s nizovani_emisi)
- [8] Ložiska ČR. 2008. *Geologie* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: [http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska\\_cr.html#V%C3%81PENCE%20A%20CEMENT%C3%81%C5%98SK%C3%89%20SUROVINY](http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska_cr.html#V%C3%81PENCE%20A%20CEMENT%C3%81%C5%98SK%C3%89%20SUROVINY)
- [9] *OHLÁŠENÍ PLÁNOVANÉ ZMĚNY V PROVOZU ZAŘÍZENÍ*. 2013. Otrokovice.
- [10] *Místní provozní předpis*. 2002. Otrokovice.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

TOT a. s.	Teplárna Otrokovice a. s.
ŽP	Životní prostředí
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
PM <sup>2,5</sup>	Polétavý prach o velikosti 2,5 $\mu$ m
PM <sup>10</sup>	Polétavý prach o velikosti 10 $\mu$ m
EU	Evropská unie
TZL	Tuhé znečišťující látky
SWTP	Úprava mořské vody
CFB	Suchá pračka s cirkulujícím fluidním ložem
EDTA	Kyselina etylendiamintetraoctová
BAT	Nejlepší dostupná technika

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Sprchová věž s rozstříkem [4] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 2 Věž s výplní [4] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3 Reaktor s probubláváním [4] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 4 Věž s dvojitým okruhem [4] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 5 Princip procesu vypírání mořskou vodou [4] .....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 6 Princip pračky mokré čpavkové metody [4] .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 7 Schéma rozprašovací sušárny [4] .....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 8 Princip injektáže sorbentu do topeniště [4] .....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 9 Princip injektáže sorbentu do kouřovodu [4] .....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 10 Schéma kombinované injektáže sorbentu [6] .....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 11 Naleziště černého uhlí v ČR [8] .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 12 Naleziště hnědého uhlí v ČR [8] .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 13 Zdroje vápence v ČR [8] .....</i>	<i>54</i>

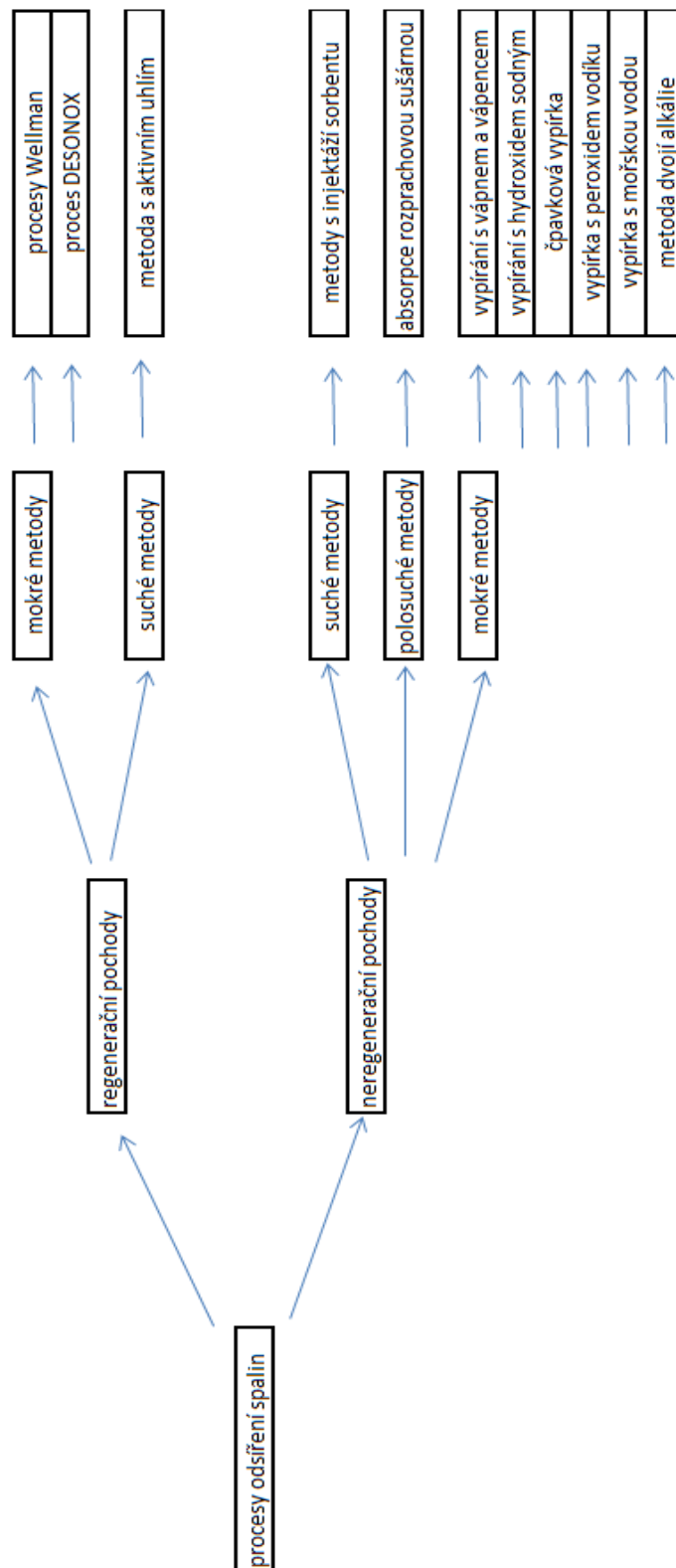
## **SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Srovnání emisních limitů podle období trvání.....</i>	20
<i>Tab. 2 Shrnutí technik odsíření.....</i>	42

## **SEZNAM PŘÍLOH**

<i>Příloha: 1 Rozdělení technologických procesů odsíření spalin [4] .....</i>	<i>62</i>
<i>Příloha: 2 Různá uspořádání mokrých vápno – vápencových metod [4].....</i>	<i>63</i>

## PŘÍLOHA PI: ROZDĚLENÍ TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ ODSÍŘENÍ SPALIN [4]



## PŘÍLOHA P II: RŮZNÁ USPOŘÁDÁNÍ MOKRÝCH VÁPNO – VÁPENCOVÝCH METOD [4]

