



TEKNIikka JA LIIKENNE

Konetekniikka

Energia- ja ympäristötekniikka

OPINNÄYTETYÖ

PÄÄSTÖJEN HALLINTA JA SÄÄDÖT NESTE OILIN ENERGIALAITOKSESSA

**Työn tekijä: Toni Åkerfelt
Työn valvoja: Markku Jantunen
Työn ohjaaja: Mika Repka**

Työ hyväksytty: __. __. 2010

**Markku Jantunen
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Neste Oilin Porvoon jalostamon energialaitokselle. Haluan kiittää energialaitoksen käyttöinsinööri Mika Repkaa, joka antoi vinkkejä ja lisäajatuksia työn tekemiseen. Lisäksi haluan kiittää Energia- ja ympäristötekniikan opettajia Markku Jantusta ja Markku Laukkaa heidän antamistaan materiaaleista ja halusta auttaa työn valmistamisessa.

Helsingissä 25.01.2010

Toni Åkerfelt

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Toni Åkerfelt	
Työn nimi: Päästöjen hallinta ja säädöt Neste Oilin energialaitoksessa	
Päivämäärä: 25.01.2010	Sivumäärä: 27
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	Ammatillinen suuntautuminen: Energia- ja ympäristötekniikka
Työn valvoja: DI Markku Jantunen	
Työn ohjaaja: DI Mika Repka Neste Oil Oyj	
<p>Insinööriyön tavoitteena oli tehdä selvitys päästöjen synnystä ja niiden hallinnasta Neste Oilin Porvoon jalostamon energialaitoksessa. Pääpaino oli rikkioksidipäästöissä sekä hiukkaspäästöissä. Näiden määrille, mittaustavoille ja mittausten luotettavuudelle viranomaiset asettivat rajoituksia vuonna 2002 voimaan tullessa asetuksessa, jossa rajoitetaan polttolaitosten päästöjä. Tarkoituksena oli myös pohtia mahdollisia uusia päästöjen vähentämiseen vaikuttavia teknisiä menetelmiä, jotka soveltuisivat energialaitoksen käyttöön.</p> <p>Työssä tarkasteltiin rikkioksidipäästöjen sekä hiukkaspäästöjen aiheuttamia ympäristövaikutuksia, sekä niiden muodostusmekanismeja ja vähentämismenetelmiä. Työ käsitteli päästöjä myös öljyn ja maakaasun osalta, joita poltetaan energialaitoksen kattiloissa ja kaasuturbiineissa.</p> <p>Energialaitoksen päästöjen alentamiseksi, työssä selvitettiin nykyisten teknisten järjestelmien avulla tapahtuvat vähentämiskeinot, sekä mahdolliset uudet järjestelmät. Energialaitoksella syntyviä rikkioksidipäästöjä alennettaisiin, lisäämällä kattiloissa maakaasun polttoa ja vähentämällä etenkin raskaanöljyn polttoa. Typenoksideja pystyttäisiin vähentämään hyödyntämällä paremmin kattiloille tarkoitettua savukaasujen takaisinkierrätystä. Uusista teknisistä järjestelmistä märkä tai puolikuiva rikinpoistomenetelmä soveltuisi parhaiten laitoksen käyttöön. Märällä menetelmällä päästään hyvään erotuskykyyn ja sillä vähennetään myös hiukkasten määrää saavukaasuissa. Puolikuivalla rikinpoistomenetelmällä ei päästä yhtä hyvään erotuskykyyn, mutta sen kustannukset ovat pienemmät ja se soveltuu paremmin voimalaitoksen uudistamiseen.</p> <p>Mahdollisia uudistuksia pohdittaessa on kuitenkin hyvä huomioida, että laitoksella sijaitsevat kattilat on rakennettu vuonna 1971, joten ne alkavat jo olla käyttöikänsä loppupäässä.</p>	
Avainsanat: maakaasun- ja öljynpoltto, rikkioksidit, typenoksidit, hiukkaset	

ABSTRACT

Name: Toni Åkerfelt	
Title: Emission Controls and Settings at Neste Oil's Process Power Plant	
Date: 25.01.2010	Number of pages: 27
Department: Mechanical Engineering	Study Programme: Energy Engineering and Environmental Technology
Instructor: Markku Jantunen M.Sc.	
Supervisor: Mika Repka M.Sc	
<p>The purpose of this graduate project was to study the origins of the emissions and how to control the emissions at the power plant of Neste Oil's refinery at Porvoo. The main emphasis was on the sulphur and nitrogen oxide emissions and on particle emissions. Limits were set on the amounts of these emissions, on measuring methods and on measurement reliability by the authorities in 2002 restricting the emissions of the incinerator.</p> <p>The graduate project also aimed to survey new technical methods which would be suitable for emission reduction at the process power plant.</p> <p>The study focused on the effects of sulphur and nitrogen oxide emissions and of particle emissions on the environment as well as on their formation mechanism and reduction methods. The study also discussed the emissions from oil and natural gas, which are burned in the plant boilers and gas turbines.</p> <p>To reduce emissions at the power plant, it was studied how it is possible to decrease emissions with the existing technical systems and what new systems could be considered. By increasing natural gas as a fuel in the boiler and in particular by reducing the heavy oil combustion, the sulphur and particle emissions would be cut. Nitrogen oxides could be reduced by making better use of the flue gas recirculation in the boilers.</p> <p>As for new technical systems, the wet or semi-dry desulphurisation method would be the most suitable for the power plant use. Wet desulphurisation can achieve a good separation capacity and it will also reduce the quantity of particles in the flue gas. Semi-dry desulphurisation cannot reach as good a separating capability, but its costs are lower and it is more suitable for a power plant reform. When considering a possible reform, it is good to take into account that the boilers, built in 1971, are already beginning to be at the end of their lifespan.</p>	
Keywords: natural gas and oil combustion, sulphur oxides, nitrogen oxides, particles	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	TIETOA ENERGIALAITOKSESTA	2
2.1	Kattilat 1 ja 2	2
2.2	Kattila 5	2
2.3	Kaasuturbiinivoimalaitos 3	2
2.4	Kaasuturbiinivoimalaitos 2	3
3	PÄÄSTÖT ENERGIAN TUOTANNOSSA	4
3.1	Öljynpolton päästöt	4
3.2	Maakaasunpolton päästöt	5
4	RIKKIOKSIDIT	6
4.1	Rikkioksidien muodostuminen poltossa	6
4.1.1	<i>Rikkidioksidien muodostuminen</i>	6
4.1.2	<i>Rikkiatrioksidin muodostuminen</i>	6
4.2	Rikkioksidipäästöjen vähentäminen poltinpoltoissa	7
4.2.1	<i>Märkämenetelmä</i>	7
4.2.2	<i>Puolikuivamenetelmä</i>	8
4.2.3	<i>Regeneroiva menetelmä</i>	8
4.2.4	<i>Yhdistetty rikki- ja typpiyhdisteiden poisto</i>	9
5	TYPENOKSIDIT	10
5.1	Typenoksidien muodostuminen poltossa	10
5.2	Typpioksidipäästöjen vähentäminen poltinpoltoissa	11
5.2.1	<i>Ilmavaiheistus</i>	12
5.2.2	<i>Savukaasujen kierrätys</i>	12
5.2.3	<i>Polttoainevaiheistus</i>	12
5.3	Typpioksidipäästöjen vähentäminen kaasuturbiinissa	13

6	HIUKKASPÄÄSTÖT	15
6.1	Hiukkaspäästöjen muodostuminen öljykattilassa	15
6.2	Hiukkaspäästöjen vähentäminen öljykattilassa	16
6.2.1	<i>Sykloni</i>	16
6.2.2	<i>Sähkösuodatin</i>	17
7	PÄÄSTÖRAJOITUKSET	19
7.1	Raja-arvot	19
7.2	Raja-arvojen noudattaminen	19
7.3	Mittauksien luotettavuusvaatimukset	20
7.4	Päästömittauslaskelmat	21
7.4.1	<i>Rikkidioksi</i>	21
7.4.2	<i>Typenoksidit</i>	22
7.4.3	<i>Hiukkaset</i>	23
8	PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN ENERGILAITOKSESSA	24
9	YHTEENVETO	26
	VIITELUETTELO	27

1 JOHDANTO

Työ on tehty Neste Oilin Porvoon jalostamon energialaitokselle. Neste Oililla on Suomessa kaksi öljynjalostamoa, yksi Porvoossa ja yksi Naantalissa. Porvoon jalostamon jalostuskapasiteetti on noin 11 miljoonaa tonnia raakaöljyä vuodessa, kun Naantalissa jalostuskapasiteetti on noin 3 miljoonaa tonnia. Porvoon jalostamo on erikoistunut puhtaiden polttoaineiden valmistukseen sekä voiteluaineiden raaka-aineena käytettävien perusöljyjen valmistukseen. Porvoon jalostamo toimii Kilpilahden teollisuusalueella, joka sijaitsee noin 20 kilometriä Porvoosta Helsinkiin päin. Kilpilahden teollisuusalueella on Pohjoismaiden suurin prosessiteollisuuden keskittymä, ja alueella toimii Neste Oilin lisäksi useita kemianteollisuuden alan yrityksiä. Kilpilahdessa sijaitsee myös rahdinäärässä laskettuna Suomen suurin satama. Yhteensä Neste Oililla on alueella noin 2200 työntekijää. [1.]

Energialaitos sijaitsee jalostamon alueella, ja sen tehtävänä on tuottaa sekä toimittaa sähköä ja höyryä teollisuusalueella toimiville yrityksille sekä sähköä Naantalin jalostamolle. Energialaitoksella valmistetaan myös muita käyttöhyödykkeitä muille alueella toimiville toimialoille, kuten syöttövettä ja suola-poistettua lisävettä höyryn ja vedyn tuotannon käyttöön sekä paineilmaa prosessien ja työkoneiden ja toimilaitteiden käyttöön. Energialaitos koostuu vuonna 1971 rakennetusta kahden kattilan höyryvoimalaitoksesta, 1989 ja 1997 rakennetuista kaasuturbiinivoimalaitoksista, sekä 1988 rakennetusta höyrykattilasta. Pääasialliset polttoaineet ovat jalostamon pohjaöljy ja maa-kaasu, sekä varapolttoaineina kevyt polttoöljy, pyrolyysibensiini ja jalostamokaasut. [2.]

Tässä työssä selvitetään mahdollisuuksia päästöjen hallintaan ja säätöihin energialaitoksella käyttämällä jo olemassaolevia menetelmiä ja tekniikoita. Lisäksi työssä selvitetään eri oksidien ja hiukkasten muodostusmekanismeja poltinpoltossa ja niiden vähentämismenetelmiä eri tekniikoiden avulla. Työn tarkoituksena on myös opastaa energialaitoksen käyttöhenkilökuntaa päästöihin liittyvissä asioissa.

2 TIETOA ENERGIALAITOKSESTA

Energialaitoksen päätehtävänä on turvata öljytuotteiden jalostukselle tärkeimmät käyttöhyödykkeet, kuten höyry, vesi, sähkö ja paineilma. Kilpilahden teollisuusalue on kytketty valtakunnan verkkoon, joten sähkön tuottaminen ei ole kriittistä. Sähköä voidaan joko ostaa korvaamaan omaa tuotantoa tai vaihtoehtoisesti myydä, mikäli energialaitos tuottaa sitä ylitse teollisuusalueen tarpeiden.

Energialaitokseen kuuluu voimalaitoksella sijaitsevat kaksi samanlaista vuodelta 1972 olevaa höyrykattilaa (K1 ja K2) ja vuodelta 1997 oleva kaasuturbiinivoimalaitos 3 (KTVL3), sekä jalostamo-alueella olevat keskipainehöyrykattila vuodelta 1988 (JK5) ja kaasuturbiinivoimalaitos 2 (KTVL2) vuodelta 1989. [2.]

2.1 Kattilat 1 ja 2

Suurpainehöyrykattiloiden K1 ja K2 lämpötehot ovat 160 MW, 200 t/h, 100 bar, 525 C. Kattiloissa käytetään polttoaineena raskasta ja kevyttä polttoöljyä, pyrolyysiöljyä, maakaasua ja jalostamokaasua. Kattiloiden vesihöyrypiirit ovat rakenteeltaan luonnonkierrolla toimivia tulistetun höyryn kattiloita. [3.]

2.2 Kattila 5

Keskipainehöyrykattilan JK5 lämpöteho on 113,7 MW, 150 t/h, 16 bar, 350 C. Polttoaineena kattilassa käytetään maakaasua sekä jalostamolta saatavaa polttokaasua. [3.]

2.3 Kaasuturbiinivoimalaitos 3

Kaasuturbiinivoimalaitos 3 sisältää kaasuturbiinin, jonka sähköteho on 72,6 MW (5 C) ja polttoaineteho 211 MW. Kaasuturbiini on tyypiltään Frame 6FA. Pääpolttoaineena toimii maakaasu ja varapoltttoaineena voidaan käyttää kevyttä polttoöljyä. Turbiinin jälkeiset kuumat savukaasut johdetaan kattilaan, jonka lämpöteho on 104 MW, jossa kahdessa painetasossa höyrystetään syöttövettä 100 bar, 110 t/h, 530 C ja 5 bar, 17 t/h, 204 C. Lisäksi kattila on varustettu lisäpoltolla, jonka nimellislämpöteho on 57 MW. Kattila on kytketty nk. kombi-kytkentänä voimalaitoksen höyryturbiineihin. Menetelmällä pääs-

tään korkeaan energiatuotannon ja sähköntuotannon kokonaishyötysuhteeseen. Vedenkierroltaan kattila on mallia alta tuettu luonnonkiertokattila. [3.]

2.4 Kaasuturbiinivoimalaitos 2

Kaasuturbiinivoimalaitos 2 sisältää kaasuturbiinin, joka on tyypiltään Frame 6B. Turbiinin sähköteho on 40 MW (15 C) ja polttoaineteho 115 MW. Polttoaineena käytetään maakaasua ja varapolttaineena kevyttä polttoöljyä. Turbiinista kuumat savukaasut johdetaan lämmöntalteenottokattilaan, jonka lämpöteho on 91 MW. Syöttövettä höyrystetään 16 bar paineessa 320 C. Kattila on myös varustettu lisäpoltolla, jonka nimellislämpöteho on 40 MW. [3.]

3 PÄÄSTÖT ENERGIANTUOTANNOSSA

Energian tuotannosta ja sen siirrosta syntyy monenlaisia ympäristövaikutuksia. Teollisuusmaiden energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset liittyvät suurelta osin kivihiilen, öljyn ja maakaasun polttoon. Suomen energiantensiivisen teollisuuden sekä vaihtelevien ilmasto-olosuhteiden vuoksi sähkö- ja lämpöenergiaa tarvitaan maassamme runsaasti. Puhtaan energiantuotannon (sähkö- ja kaukolämpölaitokset) ja teollisuuden päästöjä on kuitenkin vaikea erottaa toisistaan, sillä teollisuus tarvitsee usein suuria energiamääriä ja käyttää runsaasti fossiilisia polttoaineita kuten edellämainittuja öljyä, maakaasua ja kivihiiltä.

Ympäristövaikutuksia pyritään vähentämään energiantuotannossa teknologian kehityksen avulla sekä rakenteellisilla muutoksilla. Vuonna 2000 voimaan tullut Ympäristönsuojelulaki ja asetus pyrkii ohjaamaan energiantuotantoa kohti kestäväää kehitystä. Sen tavoitteena on torjua ilmastonmuutosta vähentämällä ympäristön pilaantumisesta aiheutuvia vahinkoja sekä edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä. Asetus polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta astui voimaan vuonna 2002 (N:o 1017) ja se muun muassa tiukensi (rinnakkais) polttolaitosten savukaasujen päästö-arvoja ja asetti velvoitteen mitata ja seurata savukaasupäästöjä jatkuvatoimisesti. Sen pyrkimyksenä on vähentää laitosten rikkioksidi-, typpioksidi- ja hiukkaspäästöjä. [4.]

3.1 Öljynpolton päästöt

Polttinpoltoissa tapahtuvaan öljynpolton kiintoainepäästöjen suuruuteen vaikuttavat useat eri tekijät kuten öljynlaatu, polttimen tyyppi, ilmakerroin, sekä tulipesän mitoitus ja ajoparametri. Samat tekijät vaikuttavat myös öljynpolton kaasumaisiin päästöihin, joista merkittävimmät ovat rikinyhdisteet, typenoksidit sekä hiilidioksidi ja hiilivedyt.

Suurin osa polttoaineen sisältämästä rikistä hapettuu rikkidioksidiksi (SO_2) ja muutama prosentti rikkitrioksidiksi (SO_3). Öljyn ja ilman vaiheistuksista, ilmakertoimesta ja laitteistosta riippumatta kaikki öljyn rikki joutuu ilmaan, joten öljynpolton rikkipäästöt ovat suoraan verrannollisia öljyn rikkipitoisuuteen. [5.]

Öljyn normaalipaineisessa poltossa syntyy typen oksideja pääasiassa kolmella eri mekanismilla, jotka ovat polttoaine-, terminen ja nk. nopea mekanismi. Suurin osa syntyvistä NO_x -päästöistä on typpimonoksidia (NO) typpi-dioksidin (NO_2) osuuden ollessa vähäinen johtuen korkeasta palamislämpötilasta. [5.]

Savukaasujen CO-pitoisuus on hyvin säädetyssä kevytöljypoltossa suuruusluokkaa alle 30 ppm ja vastaavasti raskasöljypoltossa alle 80 ppm. CO-pitoisuuden kasvu, joka johtuu paikallisesta happivajauksesta, ts. huonosta sekoittumisesta, indikoi myös hiilivetyjen ja kiintoaineksen pitoisuuden nousua. Hiilivetypäästöjen syynä on usein myös matalan tulipesälämpötilan ja lyhyen viiveajan yhteisvaikutus. Tämän vuoksi pienten kattiloiden hiilivetypäästöt ovat huomattavasti suuremmat kuin suurten kattiloiden. [5.]

3.2 Maakaasunpolton päästöt

Maakaasun poltossa ainoa merkittävä savukaasupäästö on typen oksidit, sillä sen poltosta ei aiheudu rikkidioksidipäästöjä ja kaasumaisesta olomuodosta johtuen myös hiukkas- ja raskasmetallipäästöt ovat vähäiset. Myös hiilidioksidipäästöt ovat hieman pienemmät verrattuna esim. raskaanöljyn polttoon. Typen oksideja muodostuu lähinnä palamisilman sisältämästä tpeestä, sillä maakaasu ei sisällä orgaanisesti sitoutunutta tpeä. Hyvin suunnitellulla polttojärjestelmällä maakaasun polton NO_x -päästöt voidaan kuitenkin rajoittaa hyvin alhaiselle tasolle. [5.]

4 RIKKIOKSIDIT

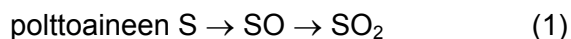
Rikinoksidit rikkioksidi (SO_2) ja rikkiatrioksidi (SO_3) ovat haitallisia sekä ympäristölle että ihmisten terveydelle. Ympäristölle rikinoksidit ovat haitallisia niin sanottujen happosateiden muodossa, jotka vahingoittavat elollista luontoa sekä aiheuttavat metallien korroosiota ja kipsimateriaalien rapautumista. Ihmisellä kohonneet rikkioksidipitoisuudet lisäävät mm. hengityselinten sairauksia. Ongelmana on myös rikkioksidien, kuten muidenkin kaasumaisten ilmansaasteiden kulkeutuminen ilmapirtojen mukana kauas lähteestään, joten paikallinen päästöjen vähentäminen ei yksin poista haittoja. Rikkioksidi ja rikkiatrioksidi ovat ympäristön kaukovaikutuksen kannalta samanarvoisia. Voimalaitoksen välittömässä läheisyydessä, rikkiatrioksidi saattaa kuitenkin aiheuttaa suurempia haittoja (mm. korroosiota) kuin jos päästö olisi yksinomaan rikkidioksidia. [5.]

4.1 Rikkioksidien muodostuminen poltossa

Lähes kaikki polttoaineen rikistä siirtyy poltossa polttotilaan. Pieniä määriä saattaa sitoutua tuhkaan, mutta loput muodostavat haitallisia rikin oksideita ja päätyvät ilmakehään, mikäli laitoksessa ei ole erillisiä rikinpoistomenetelmiä. Suurin osa rikin oksideista on rikkidioksidia ja yleensä vain muutama prosentti rikkiatrioksidia. Mikäli voimalaitoksessa ei ole rikinpoistomenetelmää, voidaan olettaa kaiken polttoaineen rikin muodostavan rikkidioksidia. [5.]

4.1.1 Rikkidioksidien muodostuminen

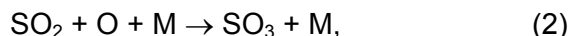
Rikin vapautuminen polttotilaan riippuu paljon siitä, mikä rikkiyhdiste on kyseessä. Pienet molekyylit kuten rikkivety (H_2S) ja karbonyylisulfidi (COS), pilkkoutuvat rikkiyhdisteistä ja hapettuvat nopeasti rikkidioksidiksi. Rikki-monoksidi (SO) on välituote rikkiyhdisteiden ja rikkidioksidin välillä. [5.]



4.1.2 Rikkiatrioksidin muodostuminen

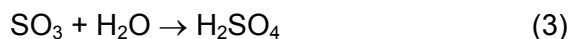
Osa poltossa syntyneestä rikkidioksidista reagoi edelleen rikkiatrioksidiksi. Muodostuneen rikkiatrioksidin määrä on kuitenkin vähäinen osa koko polttoaineen rikistä. Rikkiatrioksidia muodostuu poltossa pääasiassa kahden mekanismin kautta; termisesti korkeissa lämpötiloissa ($> 1100 \text{ C}$) ja katalyyttisesti

matalissa lämpötiloissa (500 C - 800 C). Rikkidioksidi voi reagoida korkeissa lämpötiloissa happiatomien kanssa kolmimolekyylisessä reaktiossa [5.]



jossa M viittaa mihin tahansa kaasuatomiin tai –molekyyliin.

Katalyyttisesti rikkitrioksidia syntyy lähinnä tulistinvyöhykkeellä, jossa lämpötila on reaktiolle sopiva ja tulistinputkien kerrostumat toimivat katalyytteina. Raskas polttoöljy sisältää vanadiinia, joka vauhdittaa rikkidioksidin hapettumista rikkitrioksidiksi. Matalissa lämpötiloissa rikkitrioksidi muodostuu nopeasti kaasumaiseksi rikkihapoksi. [5.]



Mikäli metallipintojen lämpötila alittaa seoksen kastepisteen, voi muodostunut rikkihappo tiivistyä vesi-rikkihapposeokseksi, joka aiheuttaa metallipintojen korroosiota. Rikkitrioksidin määrää vähentämällä ei voida juurikaan vaikuttaa kastepisteeseen, joten paras tapa välttää korroosiota onkin varmistaa, ettei kattilassa ole kastepisteen lämpötilaa alittavia pintoja. Alhaisella rikkitrioksidipitoisuudella on kuitenkin vaikutusta, sillä se hidastaa korroosionopeutta. [5]

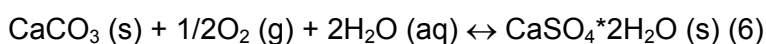
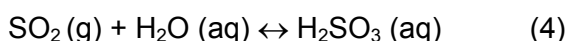
4.2 Rikkioksidipäästöjen vähentäminen poltinpoltossa

Pelkin polttoteknisin keinoin ei voida vaikuttaa rikkioksidipäästöihin. Parhaisiin tuloksiin poltinpoltossa päästään, kun käytetään vähärikkisiä tai rikkittömiä polttoaineita (esim. maakaasu), sekä savukaasujen eri rikinpoistomenetelmiä. Menetelmät, joissa rikinpoisto savukaasuista tapahtuu tulipesän jälkeen, voidaan jakaa prosessien fysikaalisten ominaisuuksien perusteella märkiin ja puolikuiviin menetelmiin. Näiden lisäksi on kehitetty muitakin rikinpoistomenetelmiä, kuten regeneroiva menetelmä ja yhdistetty rikki- ja typpiyhdisteiden poisto. [5]

4.2.1 Märkämenetelmä

Märässä rikinpoistomenetelmässä pesuriin johdettujen savukaasujen sekaan syötetään rikkioksideja sitovaa lietettä. Lietteenä käytetään yleensä kalsiumpohjaista ainetta, esim. kalkkikiveä (CaCO_3) tai kalsiumhydroksidia (Ca(OH)_2). Märkämenetelmä koostuu kolmesta eri vaiheesta, jotka ovat rik-

kidioksidin (SO₂) erotus absorptiotornissa, pesuliuoksen käsittely ja lopputuotteen käsittely. Kattilasta tulevat savukaasut johdetaan esipuhdistuksen (yleensä sähkösuodattimen) kautta absorptiotorniin, jossa niiden joukkoon ruiskutetaan kalsiumpohjaista pesunestettä. Rikinpoiston yhteydessä muodostuu kalsiumsulfiittia (CaSO₃). Jotta kalsiumsulfiitti voidaan käyttää hyödyksi, se hapetetaan kalsiumsulfaatiksi (CaSO₄) eli kipsiksi, jota voidaan käyttää esimerkiksi kipsilevyjen valmistukseen. Avainreaktiot rikinpoistoon ovat yksikertaistettuna seuraavat kun käytetään kalsiumkarbonaattia (kalkkikiveä):



Nämä rikinpoistomenetelmät ovat hyvin tehokkaita ja yli 95 %:n rikinpoistotehokkuus on helposti saavutettavissa. Menetelmät ovat kuitenkin melko kalliita ja suuret laitteet vaativat tilaa, huoltoa ja sähköä. Märkäpesurin ja kalsiumlietteen yhdistelmä on tällä hetkellä tunnetuin ja taloudellisin menetelmä, mutta on olemassa myös muita sovelluksia rikin poistamiseen. Jotkut niistä käyttävät natriumkarbonaattia (Na₂CO₃), merivettä (luonnollinen alkali), magnesiumhydroksidia tai ammoniakkioliousta. [5.]

4.2.2 Puolikuivamenetelmä

Puolikuivassa menetelmässä rikkidioksidit reagoivat savukaasujen joukkoon lisätyn kalkkilietteen kanssa, joka sumutetaan rikinpoistokammioon pieninä pisaroina. Nämä kuivuvat kammiossa ja rikinpoistotuotteena saadaan kuivaa kalsiumsulfiittia. Menetelmällä päästään n. 85 %:n erotusasteeseen, joten se ei ole yhtä tehokas kuin märkä, mutta sen etuna on laitteiston yksinkertaisuus sekä kuiva lopputuote. Puolikuivaa rikinpoistomenetelmää ei käytetä juurikaan polttinpoltoissa vaan usein pienemmissä voimalaitoksissa, joissa poltetaan vähärikkistä hiiltä. [5.]

4.2.3 Regeneroiva menetelmä

Regeneroiva menetelmä perustuu sovellukseen, jossa kalsiumyhdisteisiin pohjautuvissa rikinpoistomenetelmissä syntyvä sorbentti voidaan käyttää uudelleen rikinpoistoon. Wellman-Lord prosessissa rikkioksidit sidotaan nat-

riumsulfiittiin (Na_2SO_3), jolloin muodostuu natriumbisulfiittia (NaHSO_3). Magnesiumoksidiprosessissa käytetään nimen mukaisesti magnesiumoksidia, joka muodostaa rikkioksidin kanssa magnesiumisulfiittia. Molemissa prosesseissa syntynyt jälkituote kuumennetaan, jolloin vapautuu rikkioksidia ja regeneroitu sorbentti voidaan kierrättää uudestaan rikinpoistoon. Menetelmien etuna on, että ne vaativat ainoastaan pieniä määriä rikkisorbenttia ja eivät tuota juuri ollenkaan jätettä. Haittana voidaan pitää korkeita investointikustannuksia sekä korkeaa sähkötarvetta. [5.]

4.2.4 Yhdistetty rikki- ja typpiyhdisteiden poisto

On kehitetty myös eri tapoja sekä rikkidioksidi- että typpioksidipäästöjen vähentämiseen. Yksi tällainen on ns. Shell-prosessi, jossa rikin poistoon käytetään kuparioksidia (CuO). Prosessi on luonteeltaan regeneratiivinen. Menetelmässä kuparioksidi sitoo rikkioksidin kuparisulfaatiksi (CuSO_4) ja rikinpoisto tapahtuu noin 400 C:n lämpötilassa. Typpioksidin pelkistämiseen käytetään ammoniakkia (NH_3), jota on lisätään savukaasuihin. Kuparioksidi vauhdittaa ammoniakkin ja typpioksidin välistä reaktiota, jossa lopputuotteena muodostuu alkuainetyyppiä. Lopuksi kuparisulfaatti pelkistetään ensin vedyn avulla ja muodostunut kupari hapetetaan edelleen kuparioksidiksi. [5.]

Shell-prosessi on esimerkki kuivasta yhdistetystä poistomenetelmästä, mutta on kehitetty myös märkiä menetelmiä, joiden avulla voidaan vähentää sekä rikki- että typpioksidien päästöjä. Ennen märkää rikinpoistoa on mahdollista hapettaa typpimonoksidi (NO) typpidioksidiksi (NO_2), jolloin hapettimena voidaan käyttää esimerkiksi otsonia (O_3) tai klooridioksidia (ClO_2). Kalsiumyhdisteet reagoivat typpidioksidien kanssa muodostaen nitraatteja, joista osa pelkistyy alkuainetyypeksi sulfiitti-ionin vaikutuksesta. Prosessilla on kerrottu päästävän 90 % poistoon sekä typpi- että rikkioksidien osalta, mutta haittapuolena on hapettimien kalleus. [5.]

5 TYPENOKSIDIT

Typpimonoksidi (NO) ja typpidioksidi (NO₂), joita kutsutaan yhteisnimellä NO_x ovat polton yhteydessä muodostuvista haitallisista typpiyhdisteistä tärkeimmät. Typpimonoksidin osuus NO_x-päästöistä on noin 95 %, mutta koska ilmakehässä suurin osa hapettuu typpidioksidiksi ovat NO- ja NO₂-päästöt ympäristövaikutuksiltaan pitkälti samanlaisia. Typenoksidien ympäristövaikutukset ovat paljolti samanlaisia kuin rikinoksidien, mutta niiden yhteisvaikutus vielä tehostaa happamoitumis- ja korroosiovaikutuksia. Typpioksidi sellaisenaan on myös haitallista kaupunki-ilmassa, sillä suurten kaupunkien katujen varrella saattaa typpioksidipitoisuus nousta tarpeeksi suureksi vaurioittamaan keuhkojen toimintaa. Typenoksidit ovat tutkimuskohteena selvästi nuorempi kuin rikinoksidit, ja suurempaa huomiota typen oksideihin on alettu kiinnittää vasta 1970-luvulla.

5.1 Typenoksidien muodostuminen poltossa

Typpimonoksidia syntyy polttotapahtumassa eri muodostusmekanismien kautta, joita ovat termisen NO, nopea NO, NO:n muodostus N₂O-väliuotteen kautta sekä polttoaine-NO. Termisen NO:n muodostumiseen vaikuttaa voimakkaasti lämpötila, koska molekyylylitypen (N₂) vahvan sidoksen rikkomiseksi vaaditaan paljon energiaa. Typpimonoksidin syntyminen tapahtuu seuraavien reaktioyhtälöiden mukaisesti:



Ilmaylimäärän pienetessä sekä kokonaan ali-ilmaisissa pelkistäväissä olosuhteissa O₂:n merkitys N-atomien hapettajana vähenee (reaktio R2). Reaktiossa R1 syntyneet N-atomit hapettuvat näin ollen typpimonoksidiksi pääasiasa hydroksyyli-radikaalin avulla:



Reaktiomekanismi R1+R2+R3 tunnetaan myös nimellä laajenettu Zeldovichin mekanismi. Termisen NO:n muodostusnopeus on käytännössä merkityksetöntä, kun polttolämpötila on alle 1400 C, koska tällöin savukaasuissa

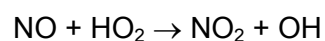
ei ole riittävästi happiatomeja. Toisaalta jos lämpötila nousee yli 1600 C:n termisen NO:n muodostuminen kiihtyy entisestään. [5.]

Nopea NO on suhteellisen lievästi riippuvainen lämpötilasta verrattuna termiseen typpimonoksidiin. Nopean NO:n osuus on suurin kylmissä ali-ilmaisissa olosuhteissa lyhyillä viiveajoilla. Nopean typpimonoksidin osuus NO-päästöstä käytännön polttinpoltoissa arvioidaan kuitenkin yleensä vähäiseksi, alle 5 %. [5.]

NO:n muodostusta N₂O-väliuotteen kautta voidaan pitää myös NO-päästöjen kannalta vähäisenä, mahdollisesti jonkin verran nopean NO:n osuutta suurempana. Jos kuitenkin polttolaitteissa ilmakerroin on korkea, mekanismeilla on merkittävä osuus NO-päästöön. [5.]

Polttoaine-NO muodostuu nimensä mukaisesti polttoaineen mukana tulleesta typestä. Polttoaine-NO muodostaa vain murto-osan muodostuvista typenoksideista verrattuna polttoilman mukana tulevaan typeen, mutta se on kuitenkin huomattavasti reaktiivisempaa. Öljy sisältää tyyppiä alle 0,7 % ja maakaasu noin 0,5 - 5,0 %. Maakaasun sisältämä tyyppi on kuitenkin molekyylytympeä (N₂), joten se käyttäytyy samoin kuin polttoilman tyyppi. [5.]

Typpidioksidia muodostuu polton yhteydessä typpimonoksidista. Tärkein reaktio on:



Typpidioksidille on ominaista hyvin nopea hajoaminen, joten sen joutuessa liekin kuumiin alueisiin kaikki alemmissa lämpötiloissa mahdollisesti muodostunut NO₂ hajoaa yleensä takaisin NO:ksi. Jos kuumat ja kylmät virtaukset sekoittuvat hyvin nopeasti, saattaa esiintyä hajoamisreaktioiden vähentymistä voimakkaasti alentuneiden O- ja H-pitoisuuksien vuoksi. Tämä lisää typpidioksidin määriä savukaasuissa. [5.]

5.2 Typpioksidipäästöjen vähentäminen polttinpoltoissa

Teknisiä menetelmiä, joilla voidaan käytännössä vähentää typenoksidien päästöjä polttinpoltoissa on useita, mm. ns. low-NO_x -polttimet, savukaasujen takaisinkierrätys, polttoilman esilämmityksen vähentäminen sekä palamisilman ja polttoaineen tulipesävaiheistus.

5.2.1 Ilmavaiheistus

Palamisilmanvaiheistuksessa vain osa polttoilmasta syötetään liekin juureen, johon muodostuu ali-ilmainen alue. Loppu ilma syötetään myöhemmin liekin reunoilta ja näin vähennetään typpimonoksidin muodostusta. Tällaisissa low- NO_x –polttimissa liekin huippulämpötilat jäävät myös matalammaksi kuin perinteisessä polttimissa, mikä vähentää myös termisen NO :n muodostusta. Ilmavaiheistusta voidaan myös soveltaa koko tulipesään. Tällöin kattilan alimmat poltinrivit ajetaan kauttaaltaan ali-ilmaisina ja loppu ilma syötetään vasta ylimmän poltinrivin jälkeen kattilan keski- tai yläosaan. Raskasta öljyä poltettaessa tulipesävaiheistus ei kuitenkaan näytä kovin lupaavalta menetelmältä. [5.]

5.2.2 Savukaasujenkierrätys

Ilmanvaiheistuspolttimeen voidaan lisätä myös savukaasujen kierrätys käyttämällä joko ulkoista tai sisäistä kierrätystä. Ulkoisessa kierrätyksessä kierrätyskaasu otetaan ilman esilämmittimen tai ekonomaiserin jälkeen ja sisäisessä kierrätyksessä savukaasu kierretään aerodynaamisesti takaisin liekin tyveen suoraan tulipesästä. Ulkoinen kierrätys on kuitenkin hankalampi toteuttaa jo olemassa olevissa kattiloissa kuin sisäinen kierrätys, sillä kattilan lämmönsiirto muuttuu kasvaneen kaasumäärän takia. Savukaasujen kierrätys on etenkin kevyen öljyn ja maakaasun poltossa tehokas menetelmä termisen NO_x :n vähentämiseksi. [5.]

5.2.3 Polttoainevaiheistus

NO -päästöjä pystytään vähentämään myös pelkistämällä jo muodostunut typpimonoksidi molekyylitypeksi. On havaittu, että eräät polttoaineet kuten maakaasu ovat itsessään tehokkaita typpimonoksidin pelkistäjiä. Polttoaineen käyttö typpimonoksidin pelkistämiseksi voidaan toteuttaa ns. polttoainevaiheistuksella. Polttoainevaiheistuksen menetelmä koostuu kolmesta vaiheesta; pääpalamisvaihe, vaiheistusvaihe ja loppupalamisvaihe. Pääpalamisvaiheessa primääripolttoainetta kuten öljyä poltetaan ilmaylimäärällä. Vaiheistusvaiheessa sekundääripolttoainetta tavallisesti maakaasua lisätään noin 10 – 20 % primääripolttoaineen energiamäärästä. Syntyneessä ali-ilmaisessa pelkistävässä vyöhykkeessä pääpalamisvaiheessa muodostunut typpimonoksidi pelkistyy molekyylitypeksi sekundääripolttoaineen avulla. Menetelmä vaatii vaiheistuspolttoaineen hyvää sekoittumista savukaasujen kanssa, sekä tarpeeksi kuumaa vaiheistusvyöhykettä (>1000 C). Loppupa-

lomisvaiheessa ilmaa lisätään sekundääripolttoaineen loppuun polttamiseksi. Toisin kuin vaiheistusvaiheessa, alhainen lämpötila (<1000 C) on edullinen molekyylyityksen muodostumiselle loppupalamisvaiheessa. Polttoainevaiheistusta voidaan käyttää sekä itse polttimessa (low NO_x-poltin) että koko tulipesässä, jolloin käytetään yleensä samaa polttoainetta pää- ja vaiheistusvaiheessa. Polttoainevaiheistuksella päästään noin 30 - 70 % NO_x-vähennykseen, mutta haittavaikutuksia ovat mm. palamattomien molekyyli määrän lisääntyminen sekä tulipesän seinien helpompi likaantuminen ja korrosio. [5.]

Parhaaseen tulokseen päästään usein esimerkkikeinojen yhdistelmällä ja oikein suunnitellulla polttojärjestelmällä päästäänkin hyvin alhaiselle tasolle NO_x-päästöissä. Uusimilla low-NO_x-polttimilla NO_x-päästöt isoissa maakaasukattiloissa voidaan rajoittaa 40 - 50 mg/MJ tasolle ja vanhoissa höyrykattiloissa, joissa palamisilma on varustettu esilämmityksellä, on päästy poltto-tekniisten muutosten jälkeen alle 80 mg/MJ päästöön. Joissakin vanhoissa kattiloissa tämä vastaa 80 % vähennystä lähtötasosta. Raskasöljykattiloissa on uusimmilla low-NO_x-polttimilla päästy tavallisesti 100-150 mg/MJ tasolle NO_x-päästöissä. Menetelmien tehokkuus on kuitenkin hyvin tapauskohtainen, sillä saavutettava NO_x-vähennys on usein optimointiongelma huonontuvan kokonaishyötysuhteen ja lisääntyvien palamattomien komponenttien päästöjen kanssa. [5.]

5.3 Typpioksidipäästöjen vähentäminen kaasuturbiinissa

Verrattuna atmosfääriseen polttoon kaasuturbiinin palamisolosuhteet ovat huomattavasti vaativammat. Sallittu viipymäaika on lyhyt ja alhaisten NO_x päästöjen tavoittelussa lisähaasteita aiheuttaa pyrkimys kasvattaa turbiinin sisäänmenolämpötilaa paremman hyötysuhteen saamiseksi. Konventionaalisissa diffuusiopolttimissa ilma ja polttoaine sekoitetaan polttimella ja poltetaan yhdessä tai useassa polttokammiossa, josta kuuma savukaasu johdetaan kaasuturbiiniin. Näissä polttimissa ongelmana on ollut epätäydellinen sekoittuminen ja paikallisten lämpötilahuippujen syntyminen, jolloin on otolliset olosuhteet NO_x-päästöjen muodostumiselle. Tämän tyyppisissä menetelmissä NO_x-päästöjä vähennetään parhaiten vesi- tai höyryruiskutuksella. [5.]

Tavallisemmin Low-NO_x polttoratkaisua on haettu esisekoituspoltoista. Esisekoituspoltoissa polttoaine ja osa palamisilmasta sekoitetaan keskenään ennen polttokammioon syöttöä. Näitä järjestelmiä kutsutaan yleisesti premix- tai dry-low-NO_x-poltoksi. Esisekoitettu seos tarvitsee palamisen stabiloimiseksi osassa polttimia pienen pilotliekin, joka saadaan aikaan perinteisellä diffuusioperiaatteella. Esisekoituspoltoa ei voida kuitenkaan käyttää enää tapauksessa, jossa kuorma pienenee. Tilanteessa joudutaan siirtymään kokonaan diffuusiopoltoon, josta aiheutuu NO_x-päästöjen kasvu. Ongelmaan on kuitenkin kehitetty järjestelmä, jossa polttokammion runkoon on asennettu hyvin monta pientä poltinta useaan ryhmään, jolloin perusideana on ajaa osa polttimista esisekoituspoltoilla ja osa sulkea kokonaan. Näin päästään pieniin NO_x-päästöihin myös osakuormalla. Kevyttä polttoöljyä käytettäessä esisekoitusperiaatetta ei voida käyttää, joten NO_x-päästöjä on tällöin tarvittaessa vähennettävä vesi- tai höyryinjeksiolla. Esisekoituspoltoissa tyypillinen NO_x-päästöarvo on luokkaa 45 - 50 mg/MJ. [5.]

6 HIUKKASPÄÄSTÖT

Hiukkaspäästö on tietyn pistemäisen päästölähteen aiheuttama kiintoainemäärä, joka leviää ympäröivään ilmaan. Pienhiukkasista puhuttaessa käytetään yleisesti nimitystä aerosolihiuksaset, joilla tarkoitetaan aerosolin sisältämiä kiinteitä ja nestemäisiä hiukkasia. Aerosoli on perusmääritelmän mukaan kaasumaisen väliaineen ja siinä leijuvan kiinteän nestemäisen aineen muodostama seos. Aerosoleista puhuttaessa tärkeä ominaisuus on hiukkaskoko, tavallisimmin hiukkasen halkaisija. Hiuksaset ovat kooltaan suurempia kuin noin 1 nanometri (nm), kun taas kaasumolekyylin koko on luokkaa 0,2 – 0,6 nm. Käytännöllinen ero kaasumolekyylin ja hyvin pienen aerosolihiuksasen välillä on se, että kaasumolekyylin törmäykset (esim. lämmönvaihtimeen) ovat kimmoisia eli molekyylit pomppaavat takaisin kaasuvirtaukseen, kun taas hiuksaset tarttuvat törmätessään kiinni pintaan. [5.]

Pienhiuksaset kulkeutuvat ihmisten hengityselimistöön ja pienimmät hiuksaset voivat kulkeutua aina verenkiertoon asti. Polttoprosesseissa pienhiukkasien pinnalle voi tiivistyä runsaasti haitallisia aineita, kuten kattilassa polttoaineesta höyrystyneitä raskasmetalleja, ja näiden aineiden kertyminen elimistöön aiheuttaa oireita ja sairauksia. Ilmassa leijuvilla hiukkasilla on terveydellisten näkökohtien ohella myös muita haittavaikutuksia, kuten materiaali-vaikutusten aiheuttaminen (esim. korroosio ja syöpyminen).

6.1 Hiukkaspäästöjen muodostuminen öljykattilassa

Kevytöljyn poltossa syntyvät hiukkaspitoisuudet ovat huomattavasti pienemmät kuin raskasöljyn poltossa syntyvät (noin kymmenesosa). Tästä johtuen on syytä keskittyä nimenomaan raskasöljypolttoon, kun taas kevytöljyn poltossa hiukkaspäästöjen rajoittamiseen riittävät säännölliset polttinhuollot. Öljykattilan kiintoainepäästöt muodostavat öljyn tuhkasta sekä palamattomasta noesta ja öljykoksista. Palamattomien osuus on yleensä 70 - 90 %. Osittain tästä johtuen käynnistys- ja kuormanmuutosjaksojen aikaiset hiukkaspäästöt ovat moninkertaisia jatkuvan käynnin arvioihin verrattuna, koska kattilan nuohousten välillä jopa 30 % öljynpolton tuhkasta saattaa varastoitua lämpöpinnoille. [7.]

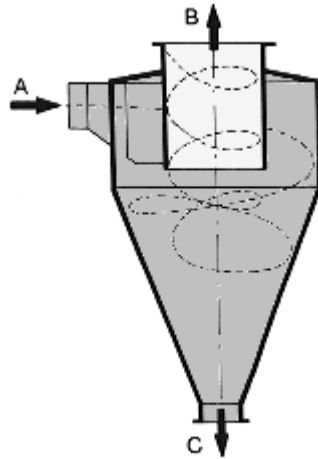
6.2 Hiukkaspäästöjen vähentäminen öljykattilassa

Hiukkasten pieni koko ja palamattomien suuri osuus tekevät öljykattilan savukaasusta vaikean puhdistettavan. Suurimmassa osassa uusista kattiloista on kuitenkin käytössä vesiemulsiotekniikka, jolla tehostetaan palamista ja vähennetään kiintoainepäästöjä. Vesiemulsiopoltossa suihkutetaan vettä (4 - 10 %) öljyn sekaan, jonka jälkeen seos homogenisoidaan sekoittimessa (pumppu tai sekoituslaite) ja saatavaa polttoöljyn vesiemulsiota poltetaan öljypolttimella. Tekniikalla voidaan vähentää poltossa syntyviä hiukkasia n. 50 %. [7.]

6.2.1 Sykloni

Syklonit hyödyntävät keskipakovoimaa saattamalla savukaasun pyörivään liikkeeseen (kuva 1). Keskipakovoima ja hitausvoimat aiheuttavat sen, että hiukkaset ajautuvat virtauksen ulkoreunalle, törmäävät syklonin seinämiin ja liukuvat painovoiman vaikutuksesta syklonin alaosan kapenevia seinämiä myöten pohjan aukosta ulos ilmatilaviiseen keräyssäiliöön. Yleisimmät syklonityypit ovat vastavirtasyklonit ja läpivirtaussyklonit, joista molemmat erottavat kaasusta myös pienhiukkasia. [7.]

Syklonin tehokkuutta parantavat keskipakovoimaa ja kierrosten lukumäärää kasvattavat tekijät, mutta myös syklonin seinien sileys, joka auttaa hiukkasten liukumista säiliöön. Syklonin erotuskyky pienenee huomattavasti, jos alaosaan imeytyy ilmaa. Myös osakuormalla ajo pienentää erotuskykyä huomattavasti. Paremmat erotusasteet johtavat kuitenkin suurempiin painehäviöihin ja suurempiin korkeuksiin, joten syklonin suunnittelussa on usein tehtävä kompromissi erotusasteen, painehäviön ja koon välillä. Koska syklonin erotuskyky heikkenee halkaisijan kasvaessa, voidaan samaan savukaasun tulo- ja poistoyhteeseen laittaa useita pieniä sykloneja, joilla on myös yhteinen pölynkeruusäiliö. Saatua syklonia sanotaan multisykloniksi, mutta pienen syklonin halkaisijan takia niiden tukkeutumisriski on suuri. Syklonien erotusaste öljynpoltossa voi jäädä noin 50 - 60 % tasolle, mutta niissä ei ole liikkuvia osia, joten ne ovat halpoja, kestäviä, helppokäyttöisiä ja huoltovapaita. [7.]



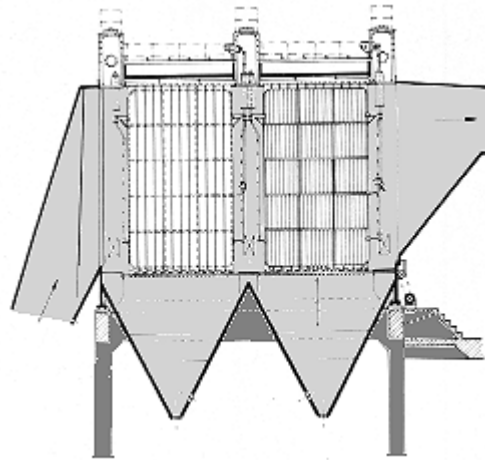
Kuva 1. Sykloni [6]

6.2.2 Sähkösuodatin

Erona mekaanisiin erotinlaitteisiin (esim. sykloni), sähkösuodattimessa käytetään sähköistä voimaa hiukkasten erottamiseksi (kuva 2). Perusperiaate on hiukkasten varaaminen sähköisesti koronavaraajalla, minkä jälkeen ne johdetaan sähkökenttään, jossa ne kerääntyvät vastakkaisella varauksella varatulle keräinlevylle (elektrodille). Keräinlevyt puhdistetaan aika ajoin mekaanisesti esim. ravistinvasaroiden avulla. Toimenpiteellä ehkäistään hiukkasten kerrostumista levyjen pinoille, jolloin vähennetään sähkökentän vaimenemista ja erotuskyvyn heikkenemistä. Sähkösuodattimella pystytään poistamaan myös märkiä pisaroita (ns. märkä sähkösuodatin), joilloin erottunut neste valuu painovoiman vaikutuksesta suodattimen pohjalle, josta se poistetaan. [7.]

Sähkösuodatin koostuu yleensä kolmesta erillisestä kentästä, jossa kaksi ensimmäistä kenttää poistavat n. 95 - 98 % savukaasun sisältämästä hiukkasmassasta ja viimeinen kenttä yli 99 %. Suodattimen koolla on merkitystä, sillä keräystehokkuus paranee savukaasun viipymääjan (yleensä n. 10 s) lisääntyessä tai virtausnopeuden pienentyessä. Myös sähkökentän voimakkuudella on vaikutusta erotusasteeseen, etenkin pienten hiukkasten osalta. Lentotuhkan ominaisvastus eli resistiivisyys on yksi tärkein sähkösuodattimen mitoittamiseen vaikuttavista tekijöistä. Ominaisvastuksen ollessa liian pieni hiukkanen menettää keräinlevyn saavutettuaan sähköisen varauksensa nopeasti, jolloin se saattaa irtautua takaisin kaasuvirtaan. Tällöin on käytettävä märkää sähkösuodatinta, jolloin keräinelektrodin pintaa jatkuvasti

huuhdeltaessa hiukkanen tarttuu vesikalvoon ja huuhtoutuu pölyn keruu-
altaaseen. Jos taas ominaisvastus on liian suuri, saattaa keräinlevylle kertyä
pölykerros ja suodattimen toiminta häiriintyy. Ominaisvastuksen pienentämi-
seksi on kokeiltu mm. veden ja vesihöyryn, rikkiatrioksidin, rikkihapon ja am-
moniakin ruiskuttamista kaasuvirtaan. Sähkösuodattimen hyvinä puolina
voidaan pitää hyvää erotustehokkuutta (yli 99 %), yksinkertaista tekniikkaa,
alhaista painehäviötä ja sähkönkulutusta sekä, erotustehokkuutta myös pie-
nille hiukkasille (alle 1 nm). Huonoina puolina on sähkösuodattimen kallis in-
vestointi sekä suuri tilantarve. [7.]



Kuva 2. Sähkösuodatin [6]

7 PÄÄSTÖRAJOITUKSET

Vuonna 2002 voimaan tullessa asetuksessa (N:o 1017) viranomaiset asettivat ympäristöluvassa kattiloille rajoituksia ja vaatimuksia päästöjen määrittämiseksi, mittaustavoille ja mittausten luotettavuudelle. Asetuksen tavoitteena on vähentää polttolaitoksista ja kaasuturbiineista ilmaan tulevia happamoittavia päästöjä ja hiukkaspäästöjä. Neste Oilin Porvoon energialaitoksella päästövaatimukset kattiloille ja kaasuturbiineille on seuraavanlaiset.

7.1 Raja-arvot

Nestemäisten polttoaineiden energiasisällön osuuden ollessa vähintään 50 % jalostamon voimalaitoksen kattiloissa K1 ja K2 käytettävien kaikkien polttoaineiden energiasisällöstä, saavat kattiloiden K1 ja K2 ilmaan johdettavien savukaasujen epäpuhtauspitoisuudet muunnettuna 3 %:n happipitoisuuteen kuivaa savukaasua olla enintään:

- Rikkidioksidi (SO₂) 1700 mg/m³ (n)
- Typenoksidit (NO_x) typpioksidina (NO₂) 450 mg/m³ (n)
- Hiukkaset 50 mg/m³ (n)

Jalostamon kattilan JK5 ilmaan johdettavien savukaasujen epäpuhtauspitoisuudet muunnettuna 3 % happipitoisuuteen kuivaa savukaasua saavat olla enintään:

- Rikkidioksidi (SO₂) 35 mg/m³ (n)
- Typenoksidit (NO_x) typpioksidina (NO₂) 300 mg/m³ (n)
- Hiukkaset 5 mg/m³ (n)

Kaasuturbiinivoimalaitoksen 2 ilmaan johdettavien savukaasujen typenoksidien pitoisuus muunnettuna 15 %:n happipitoisuuteen kuivaa savukaasua saa olla enintään 150 mg/m³ (n) typpioksidina (NO₂). [8.]

Kaasuturbiinivoimalaitoksen 3 ilmaan johdettavien savukaasujen typenoksidien pitoisuus muunnettuna 15 %:n happipitoisuuteen kuivaa savukaasua saa olla enintään 100 mg/m³ (n) typpioksidina (NO₂). [8.]

7.2 Raja-arvojen noudattaminen

Raja-arvoja katsotaan jatkuvissa mittauksissa noudatetun kattiloilla K1 ja K2, jos

- Kalenterivuoden yhdenkään kalenterikuukauden keskiarvo ei ylitä raja-arvoja, keskiarvo lasketaan päiväkeskiarvoista.

Kohdassa 7.1 mainittuja raja-arvoja katsotaan noudatetun kattila 5, jos

- Kalenterivuoden yhdenkään kalenterikuukauden keskiarvo ei ylitä raja-arvoja.
- Rikkidioksidin ja hiukkasten kertamittauksissa minkään mittasarjan tulos ei ylitä raja-arvoa.
- Typenoksidien jatkuvissa mittauksissa kaikista kalenterivuoden minkä tahansa kahden peräkkäisen kalenterivuorokauden keskiarvosta 95 % ei ylitä 110 % raja-arvoista.

Kohdassa 7.1 mainittuja raja-arvoja katsotaan jatkuvissa mittauksissa noudatetun kaasuturbiinivoimalaitos 2 ja 3:lla, jos

- Kalenterivuoden yhdenkään kalenterikuukauden keskiarvo ei ylitä raja-arvoja.
- Rikkidioksidin ja hiukkasten kaikista kalenterivuoden minkä tahansa kahden peräkkäisen kalenterivuorokauden keskiarvoista 97 % ei ylitä 110 % raja-arvoista.
- Typenoksidien kaikista kalenterivuoden minkä tahansa kahden peräkkäisen kalenterivuorokauden keskiarvoista 95 % ei ylitä 110 % raja-arvoista.

Polttolaitoksen ja kaasuturbiinin käynnistys- ja alasajotilanteita sekä puhdistinlaitteiden häiriötilanteita ei oteta huomioon päästöraja-arvojen noudattamisen tarkastelussa. [8.]

7.3 Mittauksien luotettavuusvaatimukset

Tuntikeskiarvo katsotaan hylätyksi, mikäli mittauksen tuntikeskiarvon laskentaan käytettävistä hetkittäisarvoista hylätään (mittaus on viallinen tai huollossa) enemmän kuin 20 minuuttia. Apusuureiden mittaushäiriöistä ei aiheudu tuntikeskiarvojen hylkäämistä. Vuorokauden mittaukset mitätöidään, jos mittauksen tuntikeskiarvoja hylätään jonain vuorokautena enemmän kuin kolme tuntikeskiarvoa toimintahäiriön tai huollon vuoksi. [8.]

7.4 Päästömittauslaskelmat

Varsinaiset päästömittaukset ja niiden käsittely suoritetaan automaatiojärjestelmässä. Näihin käsittelyihin kuuluvat mittauksen kalibrointi, kelvollisuustarkastelu mittalaitteiden ja automaatiojärjestelmän antamien tietojen perusteella, sekä mittaustulosten muuntaminen ympäristöluvan määrittelemään happipitoisuuteen normaalitilassa ja kuivassa savukaasussa. [8.]

7.4.1 Rikkidioksi

Rikkidioksidin päästömittaus lasketaan kahdessa vaiheessa. Ensiksi analysaattorilta tuleva raakamittaus kalibroidaan akkreditoitujen päästömittaajien tekemien mittausten perusteella lasketuilla kalibrointi-arvoilla. [8.]

$$SO_2_K = b + c * SO_2 \text{ [vol-ppm]},$$

jossa b ja c ovat akkreditoitujen päästömittaajien laskemat kalibrointi-arvot.

Tämän jälkeen tehdään munnos standarditilaan kuivassa savukaasussa 3 % jäännöshappipitoisuudessa.

$$SO_2_S = SO_2_K * d * g * j \text{ [mg/m}^3 \text{ (n)]},$$

jossa:

$$d = SO_2 \text{ kaasun moolitiheys}$$

$$= \text{moolimassa } SO_2 / \text{ kaasun moolitilavuus}$$

$$= 64 \text{ [g/mol]} / 22,4 \text{ [g/dm}^3 \text{]} = 2,8571 \text{ mol/dm}^3$$

$$g = \text{savukaasun kuivaustermi}$$

$$= 100 / (100 - \text{kosteus \%})$$

$$n = \text{happipitoisuus kuivassa savukaasussa}$$

$$= O_2 \% / (1 - (\text{kosteus \%} / 100))$$

$$j = 3 \% \text{ happipitoisuuteen redusointi (kuiva savukaasu)}$$

$$= (21 \% - 3 \%) / (21 \% - n) \text{ [8.]}$$

7.4.2 Typenoksidit

Päästöarvo raja-arvoon muodostetaan analysaattorilta tulevan raakamittauksen avulla (NO_x), joka on summa NO - ja NO_2 -mittauksista. Vertailuarvo on ilmaistu NO_2 :na ja päästömittaus lasketaan kahdessa vaiheessa. Ensiksi analysaattorilta tuleva raakamittaus kalibroidaan vertailumittaustulosten perusteella lasketuilla kalibrointiarvoilla. [8.]

$$\text{NO}_{x_K} = b + c * \text{NO}_x \text{ [vol-ppm]},$$

jossa b ja c ovat akkreditoitujen päästömittaajien laskemat kalibrointiarvot.

Tämän jälkeen tehdään muunnos standarditilaan kuivassa savukaasussa halutussa jäännöshappipitoisuudessa. Kattiloilla tämä on 3 % happipitoisuudessa ja kaasuturbiineilla 15 % happipitoisuudessa. [8.]

$$\text{NO}_{x_S} = \text{NO}_{x_K} * d * g * j \text{ [mg/m}^3 \text{ (n)]},$$

jossa:

$d = \text{NO}_2$ kaasun moolitiheys

$$= \text{NO}_2 \text{ moolimassa} / \text{kaasun moolitilavuus}$$

$$= 46 \text{ [g/mol]} / 22,4 \text{ [g/dm}^3\text{]} = 2,0536 \text{ mol/dm}^3$$

$g = \text{savukaasun kuivaustermi}$

$$= 100 / (100 - \text{kosteus \%})$$

$n = \text{happipitoisuus kuivassa savukaasussa}$

$$= \text{O}_2 \% / (1 - (\text{kosteus \%} / 100))$$

$j = 3 \% \text{ happipitoisuuteen redusointi (kuiva savukaasu) kattiloilla}$

$$= (21 \% - 3 \%) / (21 \% - n)$$

$j = 15 \% \text{ happipitoisuuteen redusointi (kuiva savukaasu) kaasuturbiineilla}$

$$= (21 \% - 15 \%) / (21 \% - n) \text{ [8.]}$$

7.4.3 Hiukkaset

Päästömittaus lasketaan kahdessa vaiheessa siten, että ensin analysaattorilta tuleva raakamittaus kalibroidaan akkreditoitujen päästömittaajien tekemien mittausten perusteella lasketuilla kalibrointiarvoilla. [8.]

$$\text{HIU}_K = b + c * \text{HIU} [\text{vol-ppm}],$$

jossa b ja c ovat akkreditoitujen päästömittaajien laskemat kalibrointiarvot.

Seuraavaksi suoritetaan muunnos standarditilaan kuivassa savukaasussa 3 % jäännöshappipitoisuudessa. [8.]

$$\text{HIU}_S = \text{HIU}_K * c * f * g * j [\text{mg/m}^3 (n)],$$

jossa:

c = lämpötilan normalisointi

$$= (273,15 + T) / 273,15$$

f = paineen normalisointi

$$= 1013 / (1013 + \Delta P)$$

g = savukaasun kuivaustermi

$$= 100 / (100 - \text{kosteus } \%)$$

n = happipitoisuus kuivassa savukaasussa

$$= \text{O}_2 \% / (1 - (\text{kosteus } \% / 100))$$

j = 3 % happipitoisuuteen redusointi (kuiva savukaasu)

$$= (21 \% - 3 \%) / (21 \% - n) [8.]$$

8 PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN ENERGILAITOKSESSA

Energialaitoksen päästöjen vähentämiskeinoja tarkasteltaessa on hyvä huomioida se seikka, että jo olemassa olevaan laitokseen on hankalaa toteuttaa uusia päästöjenrajoitusmenetelmiä. Investointikulujen lisäksi uudet tekniset järjestelmät voivat mm. huonontaa laitoksen hyötysuhdetta, lisätä kemikaalien käyttöä, aiheuttaa työvoimakustannuksia sekä lisätä kustannuksia puhdistusjätteistä. Tästä syystä on hyvä selvittää jo olemassa olevan tekniikan avulla parhaat keinot päästä alhaisiin päästöarvoihin. Lisäämällä maakasun käyttöä, sekä vähentämällä raskaan polttoöljyn määrää voidaan etenkin rikkioksidien syntyä vähentää kattiloissa. Kattiloiden (K1 ja K2) typpioksidipäästöjen vähentämiseksi on mahdollisuus käyttää savukaasujen takaisinkierrätystä, mutta sen käytössä on kuitenkin ilmennyt ongelmia. Myös kattiloiden low- No_x -polttimien mahdollinen parempi hyödyntäminen päästöjen vähentämiseksi olisi hyvä selvittää. Kaasuturbiinin (KTVL3) päästöt ovat varsin alhaisella tasolla nykyisillä menetelmillä, joten lisäinvestoinnit päästöjen alentamiseen olisivat toistaiseksi melko turhia suhteessa hyötyyn.

Mikäli lisäinvestointeja tehtäisiin rikkioksidipäästöjen vähentämiseksi, järkevimmäksi ratkaisuksi muodostuisi märkä- tai puolikuivamenetelmä. Märkämenetelmällä päästään korkeaan erotuskykyyn (yli 95 %) ja lopputuotteena syntynyttä kipsiä pystytään hyödyntämään rakennuslevyjien raaka-aineena. Haittapuolina voidaan pitää investointi- ja käyttökustannuksia, sekä menetelmässä syntyvää hapanta pesuvettä, joka on puhdistettava ennen ympäristöön päästämistä kalkkikivijauheen tai sammutetun kalkin avulla. Puolikuivamenetelmällä on alhaisempi erotusaste (n. 85 %) kuin märällä menetelmällä, mutta puolikuivamenetelmä soveltuu paremmin voimalaitosten uudistamiseen ja sen pääomakustannukset ovat pienemmät. Puolikuivan menetelmän lopputuotetta pystytään hyödyntämään kaivos- ja luolatäyttömateriaalina sekä tie- ja kenttärakenteissa. Typpioksidipäästöjen vähentämiseksi olisi hyvä selvittää mahdollisuutta käyttää paremmin savukaasun takaisinkierrätystä. Nykyisellään sen käyttö on vähäistä ilmaantuneista ongelmista johtuen, mutta toisaalta low- No_x -polttimilla päästään jo melko alhaiselle typpioksidipäästötasolle.

Hiukkaspäästöjä tarkasteltaessa olisi hyvä selvittää nuohousten vaikutus syntyviin päästöihin, sillä usein käynnistys- ja kuormanmuutosjaksojen aikai-

set hiukkaspäästöt ovat huomattavasti suuremmat jatkuvan käynnin arvoihin verrattuna. Uutena teknisenä ratkaisuna sähkösuodatin voisi olla tehokas hiukkastenerottajamenetelmä. Hyvän hiukkasten erotuskyvyn lisäksi sähkösuodatin sopii myös märän rikinpoiston puhdistusjärjestelmään. Ongelmaksi saattaisi kuitenkin muodostua sähkösuodattimen vaatima suuri tilantarve ja investointikulut.

9 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää Neste Oilin energilaitoksen päästöt ja niihin vaikuttavat tekijät, sekä kertoa mahdollisista uusista teknisistä menetelmistä joita energialaitoksessa voitaisiin hyödyntää pienempien päästöjen saavuttamiseksi. Energialaitoksella olevilla nykyisillä menetelmillä ei juuri merkittävästi alhaisempiin päästöihin ole mahdollista päästä. Öljynpolton vähentämisellä ja vastaavasti maakaasun lisäämisellä olisi myönteinen vaikutus päästöihin. Kattiloilla (1 ja 2) polttoaineen energiasisällön osuuden on kuitenkin oltava keskiarvona mittattuna vähintään 50 % nestemäistä ainetta, joten suurempi maakaasun käyttö johtaisi laitoksen luokituksen muuttumiseen maakaasulaitukseksi ja näin ollen myös päästörajoitukset muuttuisivat.

Mahdollisia uusia päästöjen vähennysmenetelmiä mietittäessä olisi hyvä myös huomioida, että energialaitoksen kattilat (1 ja 2) on rakennettu vuonna 1971. Yleisesti arvioidaan, että voimalaitosten käyttöikä on n. 30 - 40 vuotta, joten molemmat kattilat alkavat olla jo elinkaarensa loppupäässä. Tästä johtuen uusien menetelmien rakentaminen ei välttämättä olisi kovinkaan hyvä ratkaisu, ainakaan ilman, että tehtäisiin selvitystä kattiloiden käyttöiästä. Toisaalta nykyisten päästönormien tiukentuminen johtaisi väistämättä jossain vaiheessa uudistustarpeisiin päästöjen hallitsemiseksi.

Työn aihe oli varsin ajankohtainen, sillä nykyään puhutaan paljon ilmastonmuutoksesta, sekä yhteiskunnan päästöjen alentamistalkoista. Työn tekeminen antoi minulle hyvän yleiskuvan voimalaitoksen eri päästöistä, sekä niiden vähentämiskeinoista. Tämän lisäksi aihe antoi käsityksen tekniikan kehityksestä päästöjen alentamisen suhteen, sekä vanhojen laitosten uudistamistarpeista kohti pienempiä päästöjä.

VIITELUETTELO

- [1] Neste Oil Oyj. Neste Oil > Liiketoiminnot > Öljynjalostus > Porvoon jalostamo [verkkodokumentti, viitattu 12.9.2009]. Saatavissa: <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,109,186,363>
- [2] Neste Oil Oyj. Neste Oil > Yritysinfo > Toimipaikat ja konttorit > Porvoon jalostamo > Lisätietoa Porvoon öljyjälöstamosta > Tuotannon energian käyttö [verkkodokumentti, viitattu 12.9.2009]. Saatavissa: <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,109,186,363,531,1283>
- [3] Repka, Mika, Porvoon jalostamon energiantuotantoyksiköiden käyttö- ja päästötarkkailu. Neste Oil Oyj. 2008.
- [4] Energiateollisuus > Ympäristö [verkkodokumentti, viitattu 11.9.2009]. Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/ymparisto>
- [5] Poltto ja palaminen, toinen täydennetty painos. Helsinki: Teknillistieteellisetakatemiati 2003.
- [6] Prosessitekniikka > Yksikköprosessit > Kuvagalleria > Pölynerotus [verkkodokumentti, viitattu 10.9.2009]. Saatavissa: <http://prosessitekniikka.kpedu.fi/kg/gallery/polynerotus.htm>
- [7] Ohlström, Mikael, Energiantuotannon pienhiukkaspäästöt Suomessa. VTT Energia. 1998.
- [8] Ojala, M, Energiantuotantoyksiköiden päästömittaussovelluksen kuvaus. Neste Oil Oyj. 2008.

