



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Nasim Ali

Fysikaalis-kemiallisen jätteiden käsitte- lylaitoksen poistokaasujen pesu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

22.11.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Nasim Ali Fysikaalis-kemiallisen jätteiden käsittelylaitoksen poistokaasujen pesu 43 sivua 22.11.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Kemiantekniikka
Ohjaajat	Lehtori Arto Yli-Pentti Tuotantopäällikkö Tommi Koljonen
<p>Insinööriyössä tutkittiin jätteiden käsittelyssä muodostuvien poistokaasujen puhdistusta. Kierro Ympäristöpalvelut Oy:n laitoksella asennettiin hiljattain aktiivihiilisuodatin. Se puhdisti tehokkaasti fysikaalis-kemiallisissa prosesseissa muodostuvia kaasuja. Ympäristölainsäädännössä määrättiin, ettei laitoksen toiminnasta saa aiheutua haittoja ympäristölle. Ympäristöluvassa määrättiin toimenpiteitä laitoksen päästöjen hillitsemiseksi. Yksi toimenpiteistä oli VOC-pitoisuustasojen tarkkailu ja mittaus. Toiminnanharjoittajan vastuulla oli tehdä päästömittaus standardien ja direktiivien mukaisesti.</p> <p>Työn tarkoituksena oli perehtyä pitoisuustasojen mittaus- ja näytteenottomenelmiin. Työssä esiteltiin VOC-yhdisteiden mittausmenetelmiä. Toimeksiantajan mittauskohteeseen soveltuva mittausmekaniikka valittiin standardien mukaisesti. Kierro Ympäristöpalvelut Oy:n laitoksella VOC-yhdisteiden mittauksessa näytteet kerättäisiin kertaluonteisesti ja näytteen analyysi tapahtuisi FTIR-laitteella laboratorioissa. Tämä menetelmä soveltuisi laitoksen prosessiolosuhteisiin, ja mittaus tuloksista eliminoitaisiin satunnaiset ja systemaattiset epävarmuudet. Mittausepävarmuuksien määrittäminen antaa tuloksille arvoa.</p> <p>Työssä perehdyttiin myös ympäristölainsäädäntöön, BAT-tekniikkaan, poistokaasujen puhdistusmekaniikkaan ja päästöjenmittaukseen. Työ oli kirjallisuuspainotteinen, ja tarkoituksena oli tutustuttaa lukijaa ilmanlaadun ylläpidon vaatimuksiin teollisuudessa.</p>	
Avainsanat	VOC, ympäristöluva, BAT, aktiivihiilisuodatin, päästöjen mittaus

Author Title	Nasim Ali Exhaust Gas Treatment of Physico-Chemical Waste Treatment Plant
Number of Pages Date	43 pages 22 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Chemical Engineering
Instructors	Arto Yli-Pentti, Senior Lecturer Tommi Koljonen, Production manager
<p>This thesis investigates the purification of waste gases at waste treatment. Recently, an activated carbon filter was installed at the plant (Kierto Ympäristöpalvelut Oy). It effectively cleans the gases formed in the physico-chemical processes. The Environmental law stipulates that the operation of the plant must not cause any harm to the environment. The environmental permit prescribes measures to control the emissions of the plant. One of the measures is to monitor and measure VOC levels. It is the responsibility of the operator to carry out the emission measurement in accordance with the standards and directives.</p> <p>The purpose of this thesis was to get acquainted with the methods of measuring and sampling the concentration levels. Suitable measurement methods for VOCs were compiled for the thesis. On the basis of the standards, the measurement technique suitable for the customer's measurement object was determined. The conclusion was a one-time collection and analysis of VOC samples by FTIR. These methods would produce valid results, taking into account random and systematic uncertainties. Reporting measurement uncertainties gives value to the results.</p> <p>The thesis also covers environmental legislation, BAT, exhaust gas cleaning technology and emissions measurement. It is literature-based and aims to introduce the reader to the requirements of maintaining air quality in the industry.</p>	
Keywords	BAT, activated carbon filter, emission measurement, VOC

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ympäristönsuojelulainsäädäntö	2
2.1	Lainsäädännölliset velvollisuudet	3
2.2	Viranomaisten toimivalta	4
2.3	Ympäristöluvan tarve ja käsittelyvaiheet	5
2.4	BAT-tekniikka	6
2.5	BAT-päätelmät	9
3	Ympäristöpäästöt	10
3.1	Fysikaalis-kemiallinen jätteenkäsittely	12
3.2	Hajupäästö	14
3.3	Leviämismallinnus	16
3.4	Kemialliset analyysit	18
4	Poistokaasujen käsittely	20
4.1	Märkäpesuri	23
4.2	Ilmakuivain	25
4.3	Aktiivihilisuodatin	26
5	Päästöjen mittaustekniikka	29
5.1	Poistokaasun mittaustekniikat	30
5.2	Poistokaasun tilavuusvirran määrittäminen ja virtausnopeuden mittaaminen	31
5.3	Kaasujen yleiset näytteenottotekniikat	32
5.4	Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittaustekniikat	35
5.5	Mittaustulosten laskenta ja mittausepävarmuudet	37
6	Yhteenveto	39
	Lähteet	41

Lyhenteet

BAT	Best available technology. Paras käyttökelpoinen tekniikka.
BEP	Best environmental practice. Ympäristön kannalta parhaan käytännön periaatteet.
BREF	BAT reference document. Yleiseurooppalainen BAT-vertailuasiakirja.
CEN	European committee for standardization. Eurooppalainen standardointiorganisaatio.
HY	Hajuyksikkö (HY/m ³). Käytetään määrittämään hajun voimakkuutta.
IPPC	Integrated pollution prevention and control. EU-direktiivi ympäristön pilaantumisen ehkäisemisestä ja vähentämisestä.
ISO	International Organization for standardization. Kansainvälinen standardointiorganisaatio.
VOC	Volatile organic compound. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet.

1 Johdanto

Insinööriyössä tarkastellaan fysikaaliskemiallisten poistokaasujen puhdistusta. Työn tiilajana on jäteterminaalina toimiva Kierto Ympäristöpalvelut Oy. Terminaalissa kierrätetään ja hyötykäytetään vaarallisia jätteitä. Jätteenkäsittelyn oheistuotteina muodostuvat haitallisia kaasuja ja hajupäästöjä. Hajut syntyvät prosessien poistokaasujen ja reaktoreiden hönkäkaasujen seurauksena. Päästöjä käsitellään ennen ulkoilmaan vapauttamista parhaalla käyttökelpoisella tekniikalla. Kyseisen tekniikan on oltava riittävän tehokas ja kunnostettava säännöllisesti. Jäteterminaalin ympäristöluvassa on määrätty poistokaasujen puhdistukseen suorituskykyisempiä laitteita, päästöjen tarkkailuvelvoitteita ja raja-arvoja. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

Kierto Ympäristöpalvelut Oy:llä poistokaasuja puhdistetaan ensin neutraloimalla kaasupesurissa. Tämän jälkeen kostea kaasu johdetaan ilmakeivaimeseen, missä vähennetään kaasunvirran kosteuspitoisuutta ennen aktiivihillisuodattimeen menoa. Aktiivihillisuodatin on puhdistusprosessin viimeinen vaihe, missä absorboidaan pitoisuudeltaan hyvin pieniä haitallisia hiukkasia ja hajua aiheuttavia komponentteja. Mittauksilla seurataan haitallisten aineiden määriä poistoilmassa ja aktiivihillisuodattimen tehoa. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

Päästömittauksilla saadaan arvokkaita tietoja prosessien tilasta. Tämän vuoksi on erityisen tärkeää perehtyä mittaustekniikoihin. Mittauksilla voidaan seurata aktiivihillen puhdistuskapasiteettia ja tutkia pysyvätkö pitoisuustasot viranomaisten määräämissä raja-arvoissa. Mittauksilla voidaan tunnistaa mitä kemiallisia yhdisteitä aktiivihillisuodatin suodattaa ja kuinka tehokkaasti. Luotettavia mittaustuloksia saadaan huolellisella suunnitellulla, standardoiduilla menetelmillä ja eliminoimalla mittausepävarmuudet. Työssä esitellään, kuinka pitoisuustasoja mitataan ja mittaustuloksien käsittelymenetelmiä. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

2 Ympäristönsuojelulainsäädäntö

Suomessa teollisuuspäästöjen rajoittaminen on näkynyt vuosikymmenten saatossa ilmanlaadun kohentumisena. Ilmanlaatuun vaikuttaa paikalliset sääolosuhteet ja vuodenaajat. Erityisesti talvisin ja keväisin ilmansaastepitoisuudet nousevat reippaasti. Saasteita kertyy erityisesti liikenteestä, teollisuudesta ja energiatuotannosta. Ympäristöviranomaiset valvovat ja seuraavat teollisuuden päästöjä. Alan toimijoilla on velvollisuus ilmoittaa viranomaisille toiminnasta aiheutuvista päästöistä. (Suomen kasvihuonepäästöt 1990–2017.)

Ympäristönsuojelulaki uudistettiin vuonna 2014, koska tarkoituksena oli yhdenmukaistaa kyseistä lainsäädäntöä ja EU:n direktiiviä (2010/75EU). Laissa tavoitellaan kokonaisvaltaista ja ennalta ehkäisevää ympäristön suojelutoimia. Se kohdistuu toimintaan, jossa syntyy jätettä ja jätteen käsittelylle on tarvetta. Tarkoituksena on torjua ympäristöä pilaaavia tekijöitä ja lisäksi taata ihmisille suotuisa elinympäristö. Lainsäädännön avulla kansalaiset voivat vaikuttaa ja osallistua ympäristöön liittyvään päätöksentekoon yhteiskunnassa. (Suomen kasvihuonepäästöt 1990–2017.)

Ympäristönsuojelulakia (527/2014) ei sovelleta niihin yritysten ja laitosten toimintoihin, joissa käsitellään ydinsäteileviä aineita. Ydinenergialle ja merenkululle on olemassa omat lakipykälänsä. Myöskään puolustusvoimat ja rajavartiolaitos eivät kuulu ympäristönsuojelulain piiriin, koska valtakunnanturvallisuus on valtiolle ensisijainen päämäärä. Päästöksi määritellään lainsäädännössä mm. melun, värinän, hajun ja aineen päästämistä maaperään, ilmaan, pinta- tai pohjaveteen. Päästöt voivat päätyä luontoon myös epäsuorasti, mutta toiminnanharjoittajalla on silti vastuu. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014.)

Laitosten toimiminen ja rakentaminen ovat suuria päästöjen pistelähteitä. Päästöille määrättyillä raja-arvoilla tarkoitetaan päästöjen laimentamatonta mittausarvoa. Mittausarvo ei voi ylittää määrättyä raja-arvoa missään ajanjaksonaikana. Tuloksia voidaan ilmaista, esimerkiksi kokonaismäärinä, pitoisuutena tai prosentteina. Luonnonkiertokulun takia päästöt leviävät herkästi yli kansallisia rajoja. Saasteiden haittavaikutukset heijastuvat myös kansanterveyteen ja luonnonvarojen pilaantumiseen. Sen takia ympäristön suojeluun on panostettu ja asetettu tavoitteita myös Euroopan unionin tasolla. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014.)

2.1 Lainsäädännölliset velvollisuudet

Toiminnanharjoittajan on oltava tietoinen liiketoimintansa ympäristövaikutuksista sekä tehtävä kartoitus sen laajuudesta ja tyypistä. Velvollisuutena on ryhtyä ennalta ehkäisemään päästöjen ja jätteiden syntymistä. Jos niiden syntymistä ei voida estää kokonaan niin, ne on vähennettävä ja käsiteltävä mahdollisimman tehokkaasti. Erityisesti ilmaan tai viemäriin päätyvien haitallisten aineiden määriä ja ominaisuuksia täytyy seurata. Myös eri raaka-aineiden ja kemikaalien käytön seurauksena muodostuvia jätteitä seurataan sekä hankitaan niihin tarvittavat luvat. Kaikki tämä vaatii toiminnanharjoittajalta asianmukaista ammattitaitoa ja tuntemusta. (Ympäristösuojelulaki 527/2014.)

Päästöjen ja onnettomuuksien ehkäiseminen sekä energiatehokas toiminta saavutetaan tekniikalla, laitteistolla ja rakennelmilla. On hyvä luoda toimiva kunnossapito, jätehuolto ja suunnitelma laitoksen sulkemisen varalta. Päästöjen ennalta ehkäisemisen valtioneuvoston asetuksessa on lueteltu säännöstä koskevat toimialat kuten polttoaineiden jakeluasemat, jätteiden käsittelylaitokset ja maatalouden toimialat. Toiminnan sijainnillakin on väliä, ja alueen alttius ympäristön pilaantumiselle arvioidaan huolella. Tämän takia alueen kaavoituksella on merkitystä ja sen soveltuminen käyttötarkoitukseen selvitetään ennen laitoksen perustamista. Alue saattaa olla luonnonsuojeltu tai pohjavesialue, missä arvokas luontokohde voi pilaantua. (Ympäristösuojelulaki 527/2014.)

Toiminnan harjoittaja on ryhdyttävä välittömästi toimenpiteisiin, kun havaitaan menettelytavan tai onnettomuuden sattumisen aiheuttavan vahinkoa. Syntynyttä vahinkoa rajataan mahdollisimman nopeasti lisävahingon ehkäisemiseksi. Tarkastetaan, onko noudeettu määräyksiä asianmukaisesti ja onko tarvetta tehdä muutoksia. Poikkeuksellisiin ja yllättäviin tilanteisiin on aina varauduttava. Viranomaisille valmistellaan varautumissuunnitelma, jossa laaditaan toimintaohje ja tarvittavat laitteistot vaaratilanteita varten. Suojellaan ympäristön lisäksi ihmiset. Mahdolliset henkilövahingot vältetään eri keinoin, esimerkiksi työkohteeseen soveltuvilla suojaruuvareilla. Varautumissuunnitelmaa ei tarvita, mikäli lupaviranomainen on niin arvioinut tai vastaavanlainen on jo tehty, esimerkiksi kemikaalilainsäädännön osalta. (Ympäristösuojelulaki 527/2014.)

Ympäristön pilaamiskielto tarkoittaa, ettei maastoon saa päätyä jätteitä tai muita saastuttavia aineita, mistä voi aiheutua välittömästi tai viiveellä ympäristön pilaantumista vastoin yleistä etuja ja hyviä naapurisuhteita. Tämän perusteella ainetta, energiaa tai eliöitä

ei saa joutua paikkaan, missä se vaarantaa pohjavesien ja merten laatua. Vesistöjen ja merten suojelua koskee erillinen vesilainsäädäntö. Viemäriin johdettavat prosessivedet esikäsitellään, suojellen jätevedenpuhdistamon toimintakykyä. (Ympäristösuojelulaki 527/2014.)

Aineiden turvallisesta käsittelystä ja varastoinnissa on olemassa säädös, jossa edellytetään huolellisuutta ja noudatetaan turvallisuuskäytäntöjä. Laitoksella on oltava ympäristölupa, johon haetaan tarvittaessa muutosta, jos toiminta muuttuu merkittävästi riskien hallinnan ja päästöjen määrien osalta. Ympäristöluvassa on usein määritelty kohteeseen soveltuvat päästöjen raja-arvot, joita toiminnanharjoittaja tulee seurata. Luvassa määrätään päästöjen seurantamenetelmät ja mittausstiheydet. Mittaukset tehdään päästötaasoja vastaaville ajanjaksoille ja olosuhteille. (Ympäristösuojelulaki 527/2014.)

2.2 Viranomaisten toimivalta

Ympäristöministeriön toimivaltaan kuuluu lainsäädännön ohjaus ja sen kehittäminen ajan tasalle. Valtion eri virastot edistävät ja ohjaavat ympäristösäädöksiä toimialueillaan. Esimerkiksi elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksella on lakisäätteisiä tehtäviä ja käyttää puhevaltaansa osa-alueellaan valvoen ympäristösuojelun etuja. ELY-keskus tekee tiivistä yhteistyötä kuntatason ympäristösuojeluviranomaisten kanssa. Toimialueensa asiantuntijana ELY-keskus tukee muita viranomaisia päätöksenteossa ja antaa lausuntoja, esimerkiksi ympäristölupiin. (Ympäristösuojelulaki 527/2014.)

Aluehallintovirasto on ympäristölupaviranomainen, ja sen toimivalta on säädetty laissa (896/2009). Se hoitaa ja palvelee, esimerkiksi ympäristösuojelun- ja vesilainsäädännön luvanvaraisien toimintojen hakemusasioissa. Lisäksi se tukee kuntatason viranomaisia toimialansa asiantuntijuuden osalta. (Ympäristösuojelulaki 527/2014.)

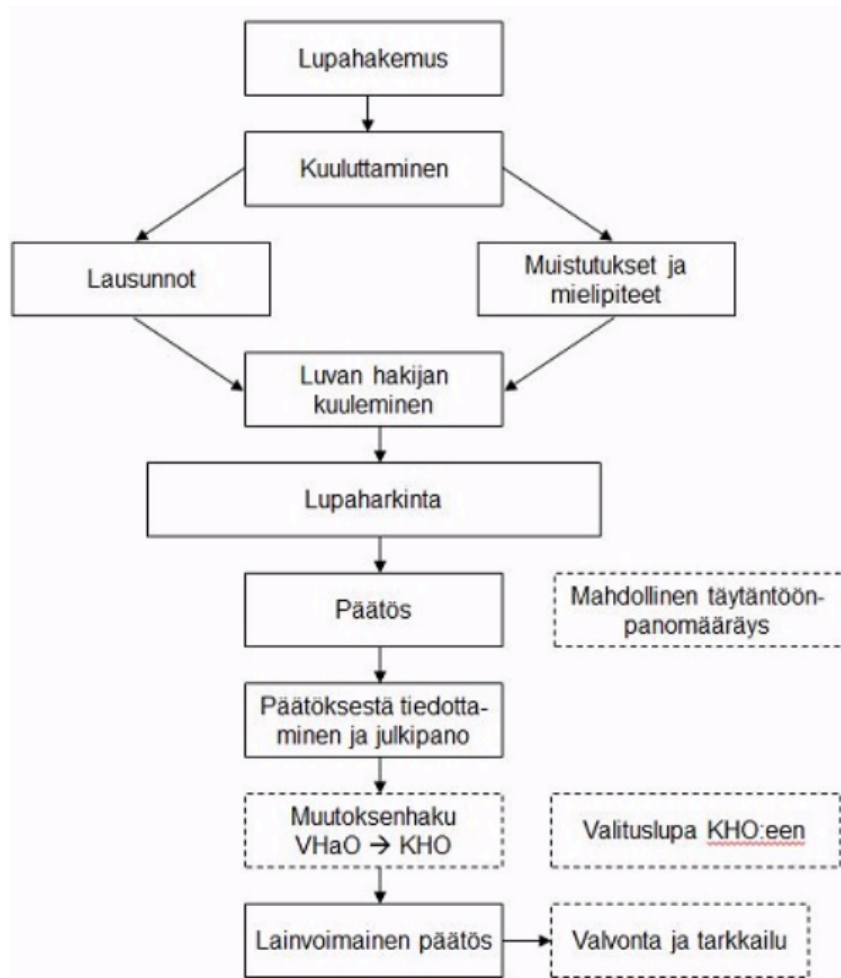
Suomen ympäristökeskus (SYKE) on viranomainen, joka on erikoistunut otsonikerrosta heikentäviin aineisiin ja kasvihuonekaasuihin. SYKE toimii Euroopan unionin asetuksen alaisuudessa, missä sen tarkoitus on hallinnoida ja tilastoida, esimerkiksi maakohtaista

ilmanpäästöjen kehitystä. Monialaisena tutkimuslaitoksena SYKE tuottaa olennaista tutkimustietoa yhteiskunnalle. Lisäksi SYKE:n velvollisuutena on huolehtia BAT-tekniikan tiedonvaihdosta ja ylläpidosta. (Ympäristösuojelulaki 527/2014.)

2.3 Ympäristöluvan tarve ja käsittelyvaiheet

Ympäristön pilaantumista aiheuttavat toiminnot ovat usein luvanvaraisia ja säädetty ympäristösuojelulakiin. Luvanvaraisiin toimintoihin kuuluvat mm. kemian-, metsä ja energia-teollisuus. Luissa on tietoa toiminnan laajuudesta, sallituista päästötasoista ja päästöjen rajoitusmenetelmistä. Tavoitteena on välttää vakavat terveys- ja ympäristöhaitat, esimerkiksi jäteveden johtamista viemäriin virheellisesti. Toiminnanharjoittaja hakee lupaa kirjallisesti toimivaltaiselta viranomaiselta, kuten aluehallintovirastosta tai kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselta. Hakemukseen liitetään luvan kannalta merkittäviä tietoja toiminnasta sekä arviointiselvityksen sen ympäristövaikutuksesta. Hakija osoittaa hakemuksessa asiantuntemustaan ja ammattitaitoaan toiminnassaan. Lisäksi selostetaan selkeästi, mihin aineistoon tai laskentamenetelmään tiedot pohjautuvat. (Ympäristöluvat 2019.)

Viranomaiset tiedottavat lupahakemuksesta ensin kuuluttamalla, sen jälkeen hakemuksen käsittelystä annetaan lausuntoja, muistutuksia sekä kuullaan naapureita. Viranomaiset tekevät päätöksen, kun myös hakijaa on kuultu ja antanut lausuntonsa. Jos hakija ei ole tyytyväinen päätökseen, siihen voi hakea muutoksen ja tehdä valituksen Vaasan hallinto-oikeuteen. Tarvittaessa asian voi viedä korkeimpaan hallinto-oikeuteen, jos on oikeutettu valituslupa. Kuvassa 1 esitetään yksinkertaisesti ja kaaviomaisesti hakemusprosessin vaiheet. Hakemusprosessia nopeuttavat ja keventävät ennakkoneuvottelut, luvan hakeminen ennen aikaisesti ja hyvin laadittu hakemus. (Ympäristöluvat 2019.)



Kuva 1. Ympäristölupahakemuksen käsittelyvaiheet (Ympäristöluvut 2019).

Laitoksen luvallisen toiminnan muuttuessa olennaisesti ympäristölupaa haetaan uudelleen, mikäli muutoksesta aiheutuu lisää haittoja tai päästöjä ympäristöön. Aluehallintovirasto oli aikaisemmin määrännyt Kierto Ympäristöpalvelut Oy:n toimittamaan hakemuksen kaasupesurin käyttöönotolle.

2.4 BAT-tekniikka

BAT-tekniikka tulee englanninkielisestä Best Available Technology -termistä. Suomen lainsäädännössä BAT-tekniikka määritellään parhaalla käytökelpoisella tekniikalla. Se tarkoittaa viimeisintä tekniikkaa tai menetelmää, mikä soveltuu muun muassa teollisuusjätteiden ja päästöjen rajoittamiseen. Suunniteltaessa laitokselle parasta käytännössä

toimivaa prosessia tai laitteita huomioidaan myös ympäristönsuojelu ja taloudelliset näkökulmat. Lisäksi selvitetään viimeisiä parhaaksi todettuja laitetekniikoita, tuoreinta teollista tutkimusaineistoa ja tekniikan osaamisen kehitystä lähitulevaisuudessa. Tämä on oleellista tietoa, koska näin pystytään kehittämään liiketoimintaa ja ennakoimaan ympäristölupaviranomaisten tiukentuvia määräyksiä. Kierto Ympäristöpalvelut Oy:llä käsitellään vaarallisia jätteitä ja BAT-periaate on vaikuttanut, esimerkiksi poistoilman puhdistusprosessin laitevalintoihin. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

Jätteiden käsittelyssä BAT-tekniikan reunaehtoja ovat mahdollisimman vähän jätteitä tuottava tekniikka, mikä soveltuu kohteen päästöjen laatuun ja määrään. Uusien BAT-päätelmien astuessa voimaan tietyille tekniikalle tai menetelmälle voi olla aikaraja sen käyttöönotolle. Aikataulutuksella halutaan nopeasti eroon vanhentuneista ja tehottomista prosessimenetelmistä, jotka eivät edistä ympäristönsuojelua. Toiminnanharjoittajat saavat tarpeeksi aikaa toimintansa sopeuttamiseen uusiin ympäristölupamääräyksiin. Viranomaisten tehtävänä on valvoa päätelmien toteutumista määräaikaan mennessä. (Pietilä 2011: 180–182.)

Best Environmental Practice eli BEP tarkoittaa suomeksi ympäristön kannalta parhaan käytännön periaatteita. Se on ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseen tarkoitettujen kustannustehokkaiden toimintojen yhdistelmiä, valitsemalla tehokkaita työmenetelmiä, raaka- ja polttoaineita. Periaatetta käytetään myös hajupäästöjen ja prosessien ulkopuolisen toimintojen säätelyyn. BAT-tekniikkaa soveltaessa pohditaan edellä mainitun periaatteen (BEP) ja muiden osatekijöiden, kuten kustannuksien yhteisvaikutusta. Lisäksi tiedostetaan ja tarkastellaan ympäristöhaittoja kokonaisvaltaisesti toiminta-alueella. Arvioidaan ilmaan, maaperään ja vesistöihin päätyvien saasteiden ja jätteiden määriä. Näitä ympäristöä kuormittavia tekijöitä rajoitetaan puhdistusteknologian kehittymisellä ja ympäristöpoliittisilla toimilla valtakunnan tasolla. (Pietilä 2011:180–182.)

Teollisuudessa käytetään suorituskyvyltään mahdollisimman tehokasta tekniikkaa, jonka avulla saavutetaan ympäristölupamääräysten tavoitteet. Yleensä se merkitsee investointeja puhdistustekniikkaan ja laitteistoihin. BAT-tekniikka vaikuttaa myös tuotannon suunnitteluun, rakentamiseen ja kunnossapitoon. Jos menettelytapa on teknisesti toteutettavissa, se on mahdollista ottaa käyttöön kohtuullisin kustannuksin. Kehittyneemmällä ja tehokkaammalla tekniikalla pyritään saavuttamaan parempia tuloksia päästöjen hillitsemiseksi. BAT-tekniikan toteutuksessa huomioidaan

- hävitettävien jätteiden määriä ja kierrätettävyys
- prosesseissa käytettävien raaka-aineiden ja lisäaineiden uusiokäyttö
- prosessissa käytettävien vaarallisten aineiden korvaus vaihtoehdoilla
- päästöjen rajoitusmenetelmät
- päästöjen vaarallisuus, hallinta ja määrä
- energian ja raaka-aineiden käyttötehokkuus
- onnettomuuksien ja riskien ennaltaehkäiseminen
- BAT-tekniikan hyödyt, kustannukset ja toteutuksen kesto
- Euroopan komission viimeisin tiedotus BAT-tekniikasta. (Ympäristösuojelulaki 527/2014.)

Parhaan käyttökelpoisen tekniikan soveltamisen taustalla on EU:n teollisuuspäästädirektiivi. Direktiiviin on koottu yhteen aikaisempia teollisuutta koskevia säädöksiä ja ohjeistuksia. Sen päätehtävänä on suojata ympäristöä teollisuuden haittavaikutuksilta ja hallita päästöjä ympäristölupien avulla. Suomessa päästädirektiivi on osana ympäristösuojelulakia. Viranomaiset määrittävät parasta käyttökelpoista tekniikkaa yksilöidyissä ympäristöluvista. Määräykset voivat olla tiukempia kuin ympäristönsuojelulaissa, jos viranomaiset katsovat sen olevan tarpeellinen. Teollisuuspäästädirektiivin (2010/75/EU) mukaan ympäristölupa on asiakirja, jossa esitellään käytössä olevan tekniikan kuvaus, tiedot ja laitoksen muutostoimenpiteet BAT-päätelmien toteuttamiseksi. (Ympäristösuojelulaki 527/2014.)

2.5 BAT-päätelmät

Viranomaiset tiedottavat parhaasta käyttökelpoisesta tekniikasta, koska tekniikan kehityksessä jatkuvasti päätelmät tarvitsevat aika ajoin päivitystä. Helpottaakseen tiedonvaihtoa on perustettu yleiseurooppalainen BAT-vertailuasiakirja (BREF). Useiden teollisuusalojen, tutkimuslaitosten ja EU:n jäsenmaiden yhteistyöllä määritettiin ja koottiin yhteen eri toimialojen parhaat käyttökelpoiset tekniikat. Paikalliset viranomaiset ja toiminnanharjoittajat pääsevät kätevästi tarkistamaan toimintansa BAT-kelpoisuuden. Toisaalta asiakirjojen tietoihin ei ole otettu huomioon paikallisia eroavaisuuksia. Asiakirjoissa esitellään parhaat tekniikan ratkaisut, menetelmät ja päästötasot. Lisäksi asiakirjoissa esitellään keinoja alan päästöjen vähentämiseksi ja riittävästä ympäristösuojelutoimista. On olemassa yleisiä vertailuasiakirjoja, jotka käsittelevät päästöjen tarkkailuja, jätteenkäsittelyä sekä energiantehokkuutta. Asiakirjat ovat eräällä tavalla tekniikka-alojen laatumittari ja vertailukelpoinen aineisto ympäristölupapäätösten tueksi. (Pihkala 2011:182.)

Ympäristöluvat pohjautuvat BAT-päätelmiin. Esimerkiksi luvassa katsotaan, etteivät päästötasot ylitä määrättyjä raja-arvoja normaaleissa toimintaolosuhteissa. Toiminnanharjoittaja ilmoittaa päästöseurannan tuloksista ja muista oleellisista tiedoista. Ne vertailaan BAT-asiakirjoissa kuvattuun tekniikkaan ja sen ohjeellisiin päästötasoihin. (Paraskäyttökelpoinen tekniikka BAT 2018.)

Päätelmät koskevat aloja, joissa käsitellään vaarallisia ja vaarattomia jätteitä, joiden toimintamenetelmät liittyvät, esimerkiksi fysikaaliskemialliseen tai biologiseen jätteenkäsittelyyn. Kaikki menetelmät, jotka kuuluvat päätelmän piiriin löytyvät lueteltuna BAT-vertailuasiakirjoissa (2010/75/EU). Lisäksi toiminnanharjoittaja voi tarkistaa, onko laitoksen tietty toimintaosa BAT-päätelmien mukainen. Kierro Ympäristöpalvelut Oy:n poistoilman käsittelyprosessissa on käytössä suhteellisen yleisiä laitteita. Ne on todettu ympäristöluvassa BAT-päätelmien mukaiseksi ja vaaralliset aineet on käsitelty parhailla menetelmillä. Aikaisemmin voimassa oli BREF 2006 -vertailuasiakirja nestemäisten jätteiden ja kierrätyspolttoaineiden sekä muiden yleisien toimintojen osalta. Uusi vertailuasiakirja astui voimaan syksyllä 2018. (Paraskäyttökelpoinen tekniikka BAT 2018.)

3 Ympäristöpäästöt

Suomi on sitoutunut YK:n ilmastopöytäkirjaan, jossa veloitetaan tarkkailemaan ja ilmoittamaan tuotetun kasvihuonepäästöjen määrää. Teollisuusmaat sitoutuivat raportoi-
maan vuosittain teollisuuden ja kotitalouksien päästöjä. Siinä keskitytään seuraamaan
fluorattuja kaasuja, hiilidioksidia, typpioksideja ja metaania. Vuosien saatossa on kerty-
nyt runsaasti tilastollista aineistoa, jonka avulla päätellään ilmanpäästöjen kehitys ja nii-
den hillitsemistoimenpiteiden riittävyys. (Suomen kasvihuonepäästöt 1990–2017.)

Pariisin ilmastopöytäkirja astui voimaan vuonna 2016 ja se sisälsi toimenpiteitä päästöjen
hillitsemiseksi ja tavoitteiden sopeuttamisesta sekä rahoituksesta. Osallistuvat maat
päättivät omasta kansallisesta panostuksestaan, mikä kirjattiin sopimukseen. Sopimuk-
sen toteutumista valvonnalla halutaan tukea ja edistää tavoitteiden saavuttamista. Eu-
roopan unioni on yhteisesti päättänyt ilmastotavoitteekseen, että vuoteen 2030 men-
nessä päästöjä on rajoitettu 40 prosenttia nykyisestä tasosta. Tämän takia EU:n lainsää-
dännössä tullaan pian määrittämään maakohtaiset päästötasot. (Suomen kasvihuone-
päästöt 1990–2017.)

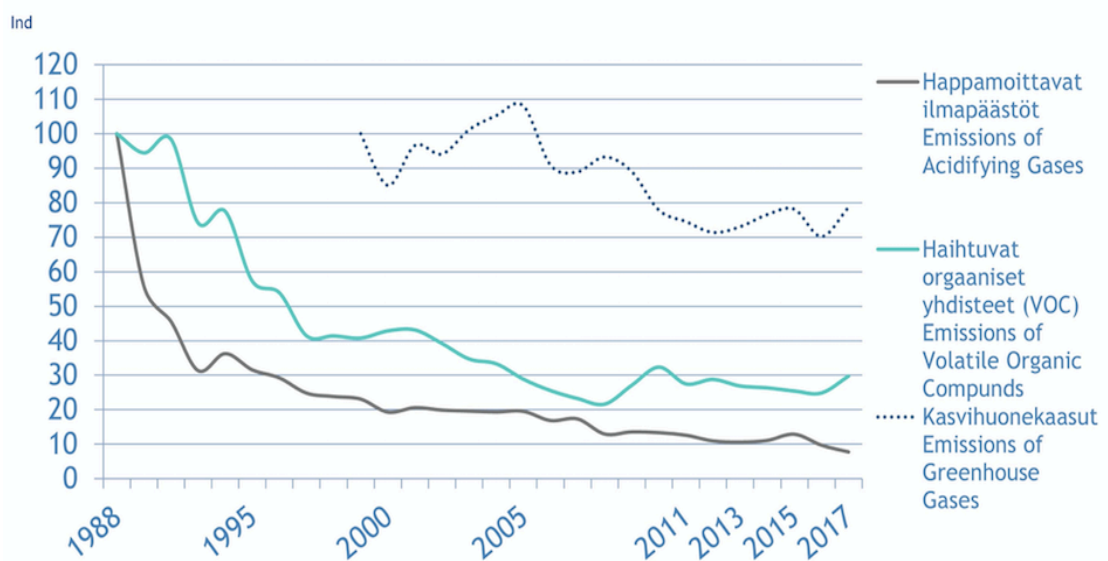
Teollisuuden toimialat siirtyvät koko ajan yhä tehokkaampaan ja suorituskykyisemmän
tekniikan pariin. Lainsäädännöt ja direktiivit edistävät epäsuorasti resurssien järkevää
käyttöä ja kiertotaloutta, mikä myös mahdollistaa uusien liikeideoiden syntymistä. Esi-
merkiksi prosessivirtojen jatkokäsittely tai sen myyminen tuo yrityksille lisäarvoa. Tämä
edistää yritysten kasvua ja toiminnan kannattavuutta. Kilpailukykyyn säilyttämiseksi toi-
minnanharjoittajalla on tarve kehittää keinoja turvata liiketoimintojensa tulevaisuudessa-
kin. (Suomen kasvihuonepäästöt 1990–2017.)

Suomessa toimitetaan vuosittain raportti ilmanpäästöjen seurannasta EU:lle. Raportti on
selvitys ilmanlaadun tilasta ja mittauksista, kuten päästölaskelmista. Raportissa on tie-
toja myös erilaisista ympäristölle haitallisista aineista, esimerkiksi hiilimonoksidista,
VOC-yhdisteistä, happamoitavista aineista ja raskasmetalleista. Happamoitavia aineita
ovat tyypillisesti rikki-, typpi- ja ammoniakkiyhdisteet. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet
(VOC) ovat aineita, joiden höyrypaine on vähintään 0,01 kPa 20° C:n lämpötilassa. VOC-
yhdisteet muodostuvat useimmiten epätäydellisestä palamisreaktiosta prosessin aikana.
Kemianteollisuus ry:n teettämän tutkimuksen mukaan happamoituvien ja haihtuvien or-

gaanisten yhdisteiden ilmapäästöt ovat laskeneet hyvin paljon 1980-luvun lopulta. Kyseisen Ilmapäästö-tilastoindeksin mukaan happamoitava aineet ovat laskeneet 90 prosenttia ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet noin 70 prosenttia (kuva 2). Aineiden tiukoilla rajoituksilla on ollut valtaisa vaikutus näiden teollisuuspäästöjen vähenemiseen. Kasvihuonekaasut ovat vähentyneet parikymmentä prosenttia ja niitä tullaan hillitsemään lisää vuoden 2030 ilmastotavoitteen mukaisesti. Tutkimukseen oli osallistunut kansainväliseen Responsible Care -ohjelmaan sitoutuneet yritykset, jotka edistävät liiketoiminnassaan omatoimisesti ympäristönsuojelua. (Responsible Care 2018.)

Ilmapäästöjen kehitystä kuvaava indeksi

Air Emission Index



Kuva 2. Tilaston indeksi on suhteutettuna tuotannon tonnimäärään. (Responsible Care 2018).

Kuvan 2 tilastoindeksissä esitetty happamoitavien aineiden ja VOC-yhdisteiden seuranta alkoi vuonna 1988, kun taas kasvihuonekaasujen vasta 1999. Kokonaisuudessaan teollisuuspäästöjen trendi on ollut laskeva ja päästöjä tullaan rajoittamaan entistä enemmän. (Responsible Care 2018.)

3.1 Fysikaalis-kemiallinen jätteenkäsittely

Kierto Ympäristöpalvelut Oy:n jäteterminalissa käsitellään ja loppusijoitetaan fysikaalis-kemiallisia jätteitä. Siellä käsitellään myös terveydelle ja ympäristölle vaarallisia raskasmetalliliukoisia nesteitä. Fysikaalis-kemiallisten jätteiden käsittelyssä on monenlaisia riskejä, joita aiheuttavat kemialliset reaktiot, laiteviat ja inhimilliset virheet. Kemikaalivuotoja syntyy, esimerkiksi venttiili- ja letkurikkojen seurauksena, jolloin haihtuu myrkyllisiä kaasuja ilmaan. Poistoilman ja jäteveden puutteelliset puhdistuslaitteet levittävät haitallisia aineita ympäristöön ja aiheuttavat vaaroja. (Paraskäyttökelpoinen tekniikka BAT 2018.)

Jäteterminalin poistoilman puhdistusprosessiin kuuluu neutralointilinjasto, missä oheistuotteina on herkästi syttyviä kemikaaleja. Kemikaalit poistetaan tilasta tai altaasta kohdepoistolla. Linjaston lämpötilanmuutoksia tarkkaillaan, sillä riskitilanteissa lämpötila voi nousta liian korkeaksi ja kaasua muodostua liikaa. Prosessia valvotaan, sillä poikkeustilanteet vaativat ripeää toimintaa. (Paraskäyttökelpoinen tekniikka BAT 2018.)

Vaarallisten aineiden päätymistä ilmaan tai viemäriverkkoon estetään puhdistamalla laitoksen prosessivirrat, esimerkiksi jätenesteet sisältävät raskasmetalleja ja ne poistetaan lisäaineiden avulla. Lisäaineet ovat välttämättömiä sakkautumisen aikaansaamiseksi. Ilman sakkautumismekanismia on vaikeaa poistaa raskasmetalleja vedestä. (Paraskäyttökelpoinen tekniikka BAT 2018.)

Jäteterminalin reaktoreista ja erilaisista säiliöistä poistuva ilma puhdistetaan ja neutraloidaan kaasupesurilla. Pesurilla tehdään poistoilmasta mahdollisimman vaaratonta terveydelle ja ympäristölle. Säiliöihin asetetaan ilmapuhaltimia, jotka johdattavat prosessissa muodostuneet kemialliset höyryt kaasupesuriin. Pesurissa on nestepatja, jonka läpi puhdistettava ilma kulkee ja neutralisoituu. Kaasu käy läpi vielä ilmakeiväin- ja aktiivihiihiisuodatusvaiheen läpi ennen kuin kaasu vapautetaan ympäristöön. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

Kierto Ympäristöpalvelut Oy:llä poistokaasun puhdistuksella tavoitellaan hajuttomuutta ja haitta-aineiden tehokasta poistamista, koska viranomaiset ovat määränneet päästöille raja-arvoja (taulukko 1). (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

Taulukko 1. Poistoilmalle määrättyt raja-arvot ympäristöluvassa. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1).

Poistoilma	Raja-arvot
Hajupitoisuus	2500 HY/m ³
TVOC-pitoisuus	45 mgC/Nm ³ (kokonaispäästö 27 gC/h)
HCl-pitoisuus (Cl ⁻ -ionit)	5 mg/m ³
H ₂ SO ₄ -pitoisuus (SO ₄ ²⁻ -ionit)	3 mg/m ³
HNO ₃ -pitoisuus (NO ₃ ⁻ -ionit)	8 mg/m ³
TRS-pitoisuus	0,18 mg/m ³
NH ₃ -pitoisuus	3 mg/m ³

Toiminnanharjoittaja ei saa ylittää laitokselle määrättyjä raja-arvoja päivittäisissä toimintaolosuhteissa. Päästötasoilla tarkoitetaan päästöjen keskimääräistä vaihteluväliä normaaliolosuhteissa käyttäessään BAT-tekniikkaa. Toisin sanoen, se on tietyn aikavälin päästömäärien keskiarvo vertailuolosuhteissa. Täten raja-arvot määritetään samoille aikaväleille ja toimintaolosuhteissa kuin BAT-päästötasot. Muussa tapauksessa viranomaisilta voi hakea poikkeuslupaa raja-arvoihin ja tarkkailuun päästöjen luonteen vuoksi. (Ohje jätteenkäsittelyn (WT) parhaita käyttökelpoisia tekniikoita (BAT) koskevien päätelmien soveltamiseen 2018.)

Toiminnanharjoittajan vastuulle jää vuosittainen selonteko päästötasoista viranomaisille. Ympäristöluvan raja-arvoja ei noudateta pelkästään normaaleissa prosessiolosuhteissa, vaan ne koskevat myös poikkeustilanteistakin aiheutuneita päästöjä. Poistoilman BAT-päästötasojen seuranta alkaa, kun se lähtee poistoputkesta ympäristöön kuten pintaveisiin tai puhdistamolle. Päästötasoja asetetaan suorille ja epäsuorille päästölähteille. (Ohje jätteenkäsittelyn (WT) parhaita käyttökelpoisia tekniikoita (BAT) koskevien päätelmien soveltamiseen 2018.)

Laitoksessa vastaanotetaan ja kierrätetään vaarallisia aineita, jotka on luokiteltu jätteiksi, esimerkiksi polttoaineeksi kelpaavia sekajätteitä käsitellään pellettoimalla. Fysikaalis-keemillisistä jätteistä erotellaan tavanomaisesti öljy, raskasmetallit ja liuottimet, jotka päättyvät uusiokäyttöön tai kierrätykseen. Kierto Ympäristöpalvelut Oy:llä erotusmenetelminä ovat saostus, linkous, elektrokoagulaatio, haihdutus ja happotislauus. Saostusvaiheessa prosessoidaan pääasiassa raskasmetalli-, happo- ja emäsluokset. Liuokset käsitellään saostamalla haitta-aineet ja säätelemällä pH:ta. Jossain tapauksissa pelkkä saostus ei riitä, jolloin turvaudutaan lingon mekaaniseen erotteluun. Näin saadaan raskasmetallit ja

haitalliset aineet tehokkaasti talteenottoon. Liuosten esikäsittely emäksellä mahdollistaa metalli-ionien saostumisen liuoksessa, jolloin sakka ja neste alkavat erottua tehokkaammin. (Aluehallintovirasto päätös 54/2017/1.)

Haihdutus on liuoksien väkevöintiä, joka soveltuu erottelemaan molekyylejä, jotka eivät saostu edes lisäaineilla, kuten kalkilla. Metallirikas liuos haihdutetaan alipaineessa tiettyyn lämpötilaan, jolloin vesihöyry kondensoituu liuksesta ja alkaa muodostaa vesipisaroita jäähtyessä ilmiin. Jäähdytynyt vesi puhdistetaan aktiivihiilisuodattimella ja johdetaan jätevesipuhdistamolle. (Aluehallintovirasto päätös 54/2017/1.)

Happotislauksessa metallipitoiset hapot, esimerkiksi typpihappo syötetään tislaukskoloniin, missä se reagoi prosessihappona toimivan rikkihapon kanssa. Metallit reagoivat rikkihapon kanssa muodostaen suoloja (sulfaattit) ja syötehappo tislautuu erilliseen astiaan. Elektrokoagulaatio on liuotukseen perustuva anodielektrolyysi. Menetelmässä käytetään rauta- ja alumiinianodeja, jotka liukenevat kationeiksi, jolloin syntyy alkalimetallihydroksideja, jotka keräävät absorboimalla kuona-aineet, esimerkiksi sinkkiä ja kuparia. Menetelmä soveltuu erityisesti rasvaisten ja öljymäisten jätenesteiden käsittelyyn. (Aluehallintovirasto päätös 54/2017/1.)

3.2 Hajupäästö

Jäteterminaalin ympäristössä on havaittu hajupäästöjä, jotka ovat tulleet laitoksen neutralointilinjastosta ja reaktoreiden hönkäkaasuista. Hajuja pyritään vähentämään parhaalla käyttökelpoisella tekniikalla. Laitoksella käytetään hajujen puhdistukseen kaasupesuria ja aktiivihiilisuodatinta. Hajujen muodostumista ehkäistään kehittämällä tuotannon toimintatapoja. Käsitellään hajuttomat jätteet ulkotiloissa ja sisätiloihin asennetaan tehokkaat ilmanvaihtokanavat. Toiminnanharjoittajan vastuulla on mitata hajulähteiden hajupitoisuutta ja selvittää sen levinneisyyttä ympäristössä. Viranomaiset määräävät tarvittavat toimenpiteet hajupäästöille. (Aluehallintovirasto päätös 54/2017/1.)

Yleensä hajupäästöjä mitataan hajuyksikköinä (HY/m^3), joka perustuu ihmisen hajuaistin herkkyyteen. Yksi hajuyksikkö vastaa näytteen laimennuskertojen lukumäärää, kunnes

näyte on hajuton. Hajun epämiellyttävyyteen vaikuttaa sen laatu ja esiintymistiheys. Hajuminaisuus syntyy, kun hajua muodostavat kemialliset komponentit sekoittuvat ilmaan. Ne muodostavat seoksissa eri hajuyhdistelmiä, jotka ovat yksittäisinä komponentteina vaikeasti havaittavissa empiirisesti. (Lauri ym. 2017: 4; Tammisto 2014: 11–13.)

Hajukuormitus (HY/s.) tarkoittaa laskennallisesti poistoilman määrän (m^3/s) ja hajupitoisuuden tuloa. Hajupitoisuus määritetään ottamalla pussinäytteitä ja suorittamalla olfaktometrinen analyysi. Suomen lainsäädännössä ei ole säädetty rajoja hajupäästöille. Ympäristöluvissa hajupäästöille määrätään raja-arvoja naapurisuhtelakiin vedoten, koska hajupäästöt voivat olla hyvin häiritseviä. (Aluehallintovirasto päätös 54/2017/1; Lauri ym. 2017: 4.)

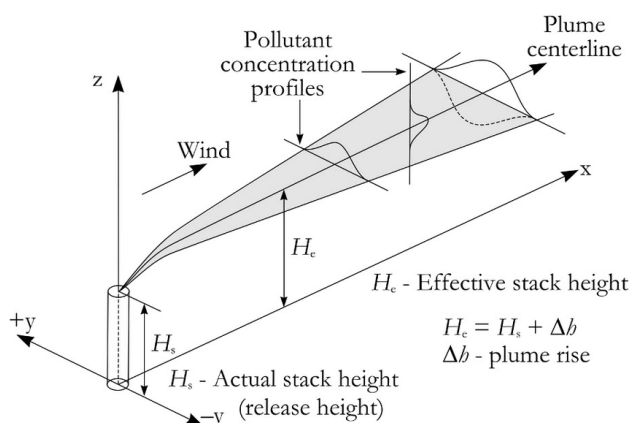
Laitoksen toiminnassa panostetaan hajupäästöjen ennalta ehkäisemiseen. Viranomaiset vaativat, esimerkiksi pinta-, jäte- ja pohjavesien sekä poistoilman säännöllisestä tarkkailusta. Lisäksi ohjeistetaan puhdistettavien prosessivirtojen käsittelyssä sekä seuraamaan laitoksen yleisiä siisteys- ja järjestyksikäytäntöjä. Esimerkiksi peitetään jätteiden keräysastiat ja prosessialueen poistoilman tarpeenmukainen puhdistus. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

Kierto Ympäristöpalvelut Oy:llä on tehty laitehankintoja kaasupesurin tueksi. Aktiivihillisuodattimella epäpuhtaudet ja hajut puhdistuvat tehokkaammin ilmasta. Nopea tapa reagoida satunnaisiin hajuhaittoihin on kehittää reaaliaikainen seuranta järjestelmä, johon voi tehdä ilmoitus hajuhavainnoista lähialueilta. Tällä tavalla pystytään reagoimaan havaintoihin suhteellisen nopeasti. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

3.3 Leviämismallinnus

Päästöjen kulkeutumiseen ympäristöön vaikuttaa sääolosuhteet. Tuulen nopeus ja ilmansuunta ovat tärkeitä tekijöitä hajupäästöjen levinneisyydessä. Levinneisyyden laajuutta selvitetään leviämismallinnuksen avulla. Mallinnuksella visualisoidaan epäpuhtauksien liikkeitä ja pitoisuuksia rajatulla alueella. Se on yksinkertaistus todellisesta levinneisyydestä ja sitä käytetään sekä toiminnassa että suunnitteilla olevalle laitokselle. Saadulla informaatiolla arvioidaan riittävä ympäristön suojelun taso ja BAT-tekniikka. Mallinnus helpottaa laitoksen suunnittelua ja poikkeustilanteisiin varautumista, kun tunnetaan päästöjen käyttäytymistä alueella. Esimerkiksi savupiippua voidaan rakentaa tiettyyn korkeuteen, jotta päästöt eivät laskeutuisi asuinalueen ylle. Leviämismallinnuksia on useita erilaisia. Yksi tunnettu malli on gaussilainen leviämisyhtälö. Se on tyypiltään stationaarinen ja siinä oletetaan laskentamuuttujien pysyvän vakiona ajan eri hetkinä. Tämän vuoksi malli ei sovellu suurien päästöluokkien mallinnukseen. (Lappalainen 2013: 12–16.)

Gaussin matemaattisessa mallissa päästöjen oletetaan leviävän ympäristöön pysty- ja vaakasuunnassa tuulen mukana. Näissä suunnissa epäpuhtauksien vaihtelut ja laimentuminen noudattavat gaussin normaalijakaumaa (Kuva 3). Kuvassa 3 lähtöpiste sijaitsee savupiipun alaosassa ja se on myös xzy-akselien origo. Koska hyvin tarkan mittausdatan saaminen on haasteellista, niin mittauksessa päästömäärät vastaavat päästöjen keskimääräistä vaihtelua. Näin matemaattinen malli yksinkertaistuu, vaikuttaen tulosten laatuun ja epävarmuustekijöihin. (Lappalainen 2013: 26–27.)



Kuva 3. Päästöjen leviäminen pituus- ja vaakasuunnassa normaalijakauman mukaisesti. (Leelossy 2014).

Leviämismallituksen laskennassa käytetään tilastollisia hajontaparametreja, jotka ovat riippuvaisia etäisyydestä. Mitä kauemmas siirrytään lähtöpisteestä, sitä suuremmaksi kasvavat standardipoikkeamat pysty- ja vaakasuunnassa. Laskennassa selvitetään päästökorkeutta eli savupiipunkorkeutta (H_s), virtausnopeutta sekä lämpösisältöä suhteessa päästövanan korkeuteen. (Leviämismallinnus 2019; Ramboll 2018.)

Tuuliolosuhteet vaikuttavat merkittävästi laskelmiin, joten oletetaan nopeuden vastaavan päästövanan kulkunopeutta. Kulkunopeudella saadaan laskettua vanan keskiaskelin korkeutta, joka vastaa efektiivisen piipunkorkeutta (H_e) (Kuva 3). Todellisen savupiipun ja efektiivisen piipunkorkeuden summaa kutsutaan piippulisäksi (Δh). Gaussin leviämismallinnus soveltuu hyvin taajama-alueiden ilmanlaatututkimuksiin. Mallia voidaan jakaa pienempiin osamalleihin ottaen huomioon pienetkin häiriötekijät. (Leviämismallinnus 2019; Ramboll 2018.)

Leviämismallinnuksessa käytetään alueen säädataa, jossa edetään graafisesti tuntiaika-akseleilla. Meteorologiset muutokset, kuten tuulen suunta, pilvisuus ja ilman lämpötilat näkyvät säädatassa. Mallinnuksessa lasketaan päästöjen leviämistä tunneittain, ja huippupitoisuudet ovat lähempänä todellista pitoisuutta. Mallinnuksen toimivuuden ja laadun varmistamiseksi säädatan ja sen oleellisten päästötietojen ovat oltava puutteettomia. (Leviämismallinnus 2019; Lappalainen 2013: 26–27.)

3.4 Kemialliset analyysit

Kemiallisilla analyyseillä määritetään eri kaasukomponenttien pitoisuuksia seoksissa. Mittausmenetelmiä valitaan tarkoituksen mukaan, halutaanko tunnistaa näytteen aine vai selvittää eri aineiden pitoisuudet kohteessa. Mittaukset perustuvat yleensä kemiallisiin reaktioihin ja fysikaalisiin suureisiin. Myös näytteenottoaikalla, mittaustiheydellä ja päästöjen luonteella on merkitystä. Analyyttisiin mittausmenetelmiin kuuluu näytteenotto ja näyteanalyysi. Analyysi määrittää eri yhdisteiden pitoisuuksia näytteessä. Muutamia kemiallisia analyysimenetelmiä ovat esitelty alla (Laboratorioanalyysit 2019; Tammisto 2014: 11–13):

- ainespesifiset märkäkemian menetelmät
- kaasukromatografia
- massaspektrometria.

Märkäkemian menetelmät ovat standardoituja tekniikoita. Esimerkiksi ammoniakkin määrittäminen ilmanäytteestä, kun vedetään näytekäasua rikkihappoliuoksen läpi, jolloin ammoniakkin pitoisuus selviää titraamalla Kjeldahlin tislauksen jälkeen. Kjeldahlin tislauksella on ammoniakkin määrittämiseen tarkoitettua ainespesifinen märkäkemian analyysimenetelmä. (Kaasuhälyttimet 2019.)

Kaasukromatografiassa tunnistetaan ja erotellaan faasiseoksia yksittäisiin aineisiin. Lisäksi se ilmoittaa aineosien määrää. Laitteessa höyrystetty näyte sekoittuu inerttiin kaasuun ja kuljettaa näytteen komponentteja kolonna pitkin. Komponentit liikkuvat eri nopeudella kolonnin pinnalla, jolloin ne saavuttavat detektorin eri aikoina. Tätä kutsutaan retentioajaksi, sillä komponentteja tunnistetaan aineille yksilöllisillä retentioajoilla. (Laboratorioanalyysi 2019; Nicolay 2006: 41–45.)

Massaspektrometriassa komponentteja erotellaan sähkö- ja magneettikentillä. Jos hiukkasen massa ja varaus ovat yhtä suuri, niin hiukkanen osuu magneettikentän avulla detektoriin samaan pisteeseen. Laite ilmoittaa ionien lukumäärän ja massan. Sen avulla tiedetään hiukkasen rakenne ja siten tunnistetaan kyseinen yhdiste. Tämä menetelmä sopii erityisesti orgaanisille molekyyliyhdisteille. (Laboratorioanalyysi 2019; Nicolay 2006: 41–45.)

Instrumentaalimenetelmä lukee suoraan näytteestä antaen tietoa tiettyjen kemiallisten yhdisteiden tai konsentraatioiden pitoisuudesta suhteessa toisiinsa. Tällaiseen menetelmään kuuluu kolorimetriset putket ja PID-kaasumittarit. Haihtuvia orgaanisista yhdisteistä voidaan mitata PID-kaasumittarilla. Haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin kuuluvat alkoholit, aldehydit, esterit, aromaattiset hiilivedyt ja halogeenit. Kaasumittari hajottaa ultraviolettivalolla kaasuyhdisteet ioneiksi. Ionit ovat varaukseltaan negatiivisia tai positiivisia. Mitattu varaus vastaa ilmassa olevan haihtuvan orgaanisen yhdisteen pitoisuutta. Säättämällä ultraviolettivaloa voidaan suodattaa PID-kaasumittarin mittaamasta ilman suuria taustapitoisuuksia, kuten hiilidioksidia ja vesihöyryä. (Kaasuhälyttimet 2019; Laboratorioanalyysit 2019; Nicolay 2006: 27–29.)

Hajuaistianalyysimenetelmä liittyy ihmisen fysiologiseen kykyyn erottaa hajuja ja arvioida sen vahvuutta. Kokeet suoritetaan laboratorioissa tai kentällä. Olfaktrometria on aistinvarainen analyysimenetelmä, jossa hajupäästöistä otetaan pussinäytteitä ja tietokone laimentaa näytteet useita kertoja steriilillä ilmalla. Olfaktrometri on standardoitu työmenetelmä, jossa sertifioidut henkilöt pyrkivät havaitsemaan hajuja laimennetuista näytteistä. Tavoitteena on saavuttaa laimennuskerta, jossa puolet koehenkilöistä eivät havaitse hajuja. Tämä on näytteen kynnyksarvo, jossa hajuyksikkö vastaa tehtyjen laimennoskertojen lukumäärää. (Tammisto 2014: 11–13; Tittonen 2012: 8.)

Olfaktrometri soveltuu pitoisuudeltaan alhaisien hajukomponenttien mittaamiseen. Koehenkilöiden hajuaistit on testattu, koska hajuerokkyys on jossain määrin yksilöllistä. Kokeeseen osallistuvien henkilöiden on kyettävä havaitsemaan n-butanoli määrättyissä pitoisuuksissa. Olfaktrometrin lisäksi voidaan tehdä asukaspaneelitutkimus. Siinä lähiympäristön asukkaat tekevät tarkkaa kirjanpitoa hajuhavainnoistaan tietyn ajanjakson aikana. Näin saadaan alustavaa tietoa hajupäästöjen levinneisyydestä ja vaikutuksesta ympäristöön. (Tittonen 2012: 8.)

4 Poistokaasujen käsittely

Poistokaasujen käsittelyssä sovelletaan fysikaaliskemiallisia ominaisuuksia. Kaasussa läsnä olevat epäpuhtaudet poistetaan tai käsitellään vaarattomaksi. Käsittelymenetelmät perustuvat aineidenliukoisuuteen, sähkökemialliseen ja katalyyttiseen tekniikkaan. Myös kemialliset ominaisuudet, kuten happoemäs ja hapetus-pelkistysreaktiot kuuluvat näihin menetelmiin. Yksi tapa hallita ilmapäästöjä on ennakointi suunnitteluvaiheessa, kuten valitsemalla olosuhteisiin soveltuvat päästöjen käsittelymenetelmät. (Luokkala 2012: 33—39.)

Kierto Ympäristöpalvelut Oy:llä poistoilman puhdistusprosessi muodostuu kaasupesurista, ilmakeivaimesta ja aktiivihiilisuodattimesta. Kyseisillä laitteilla tuotetaan mahdollisimman puhdasta ja hajutonta ilmaa. Lisäksi ympäristöluvassa vaaditaan parasta käytökelpoista tekniikkaa. Laitteiden valintaan vaikutti fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet kuten syövyttävyys, myrkyllisyys, paine, lämpötila ja virtanopeus. (Luokkala 2012: 33—39.)

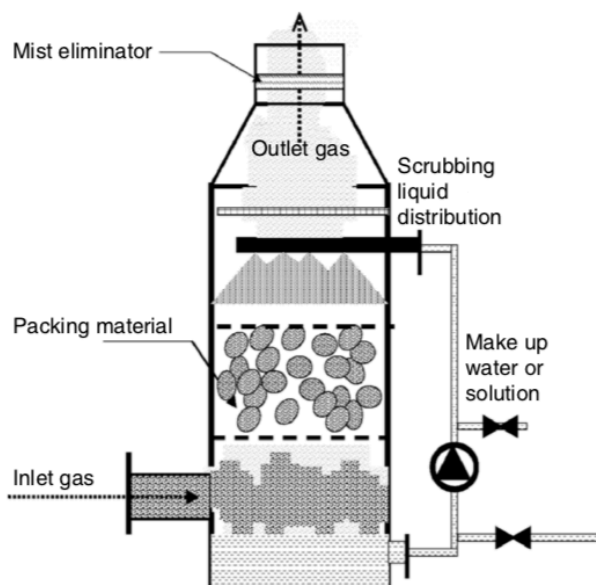
Kaasupesureita on markkinoilla useita eri tyyppisiä höyryjen, pölyjen ja kaasujen poistoon. Ne valitaan käyttökohteeseen pesutehon ja energiantarpeen mukaan. Energiankulutus määritetään pesurin painehäviöllä tai yhtä kulutettua kilowattia puhdistettavaa kaasukuutiota kohden (kW/m³). (Luokkala 2012: 33—39.)

Märkäpesuri on yksi pesuryyppi, jonka toiminta perustuu nestemäiseen pesukemikaaliin. Se toimii puhdistavana elementtinä laitteen sisällä. Likainen kaasu puhalletaan laitteen läpi, kunnes se on kontaktissa pesukemikaaliin. Neste- ja kaasumolekyylit reagoivat ja sen seurauksena tapahtuu aineensiirtoa. Aineensiirron aikana kaasun epäpuhtaudet siirtyvät pesukemikaaliin ja kaasu puhdistautuu. Teollisuudessa pesukemikaalina käytetään yleensä vettä, happoa tai emästä. (Luokkala 2012: 33—39.)

Suihkutilapesuri on pesuri, jossa kaasu puhalletaan vasten pesusuihkua. Siten eri faasit törmäävät muodostaen pisaroita, joiden pinnalla tapahtuu aineensiirtoa. Pisaroiden koko vaikuttavat pesutehoon, joka määritetään puhdistettavan kaasun mukaan. Pisarakoko toimii parametrina, jolla säädellään prosessia. (Luokkala 2012: 33—39; Nicolay 2006: 109–111.)

Kaasupesureissa voidaan soveltaa täytekappaleita. Ne muodostavat pesurin sisällä massakerroksen ja kaasu virtaa sen läpi. Täytekappaleet kasvattavat aineensiirron pinta-alaa kaasun ja nestefaasin välillä, jolloin kaasunpuhdistus tehostuu laajemman kontaktipinnan vuoksi. (Luukkala 2012: 33—39.)

Kuvassa 4 esitellään tyypillistä täytekappalepesuria, jossa kaasu tulee sisään pesurin alaosaan ja kulkee täytekappalemassan sekä pesusuihkuvaiheen läpi. Kosteaa kaasua päätyy pisaraerottimelle, joka poistaa kaasusta ylimääräisen kosteuden. Tämän jälkeen kaasu poistuu pesurista. Täytekappalepesurin ohjausjärjestelmä eroaa jonkin verran muista pesurityypeistä, mutta tässäkin menetelmässä on mahdollista ottaa talteen ja kierrättää arvokkaita aineita. Täytekappaleiden materiaaliksi on olemassa useita vaihtoehtoja, kuten muovia ja keraamia. Materiaalin on kestävä prosessissa käytettäviä kemikaaleja ja olosuhteita. (Luukkala 2012: 33—39; Nicolay 2006: 109–111.)



Kuva 4. Täytekappalepesurin toimintakaavio. (Nicolay 2006: 111).

Venturipesurin toimintaperiaate on kaasun ja nestefaasin kiihdytys. Laitteessa kiihdytetään sisään syötetyn kaasun ja pesuaineen seosta niin kovaa, että virtauksesta tulee turbulenttinen. Kiihdytys on venturipesurin puhdistusmekanismi, jossa kaasun epäpuhtaudet tarttuvat turbulenssissa pisaroihin. Tämä hyvin yksinkertainen ja helppokäyttöinen

puhdistuslaite sopii prosesseihin, joissa suodatusmenetelmät eivät sovellu kaasuvirtauksen suuren kiintoainepitoisuuden vuoksi. Huonona puolena on venturipesurin suhteellisen korkea sähkön kulutus, mikä lisää kustannuksia. (Luokkala 2012: 33–39.)

Kaasupesureiden toimintaan vaikuttaa laitteen geometrinen muoto, kaasun viipymäaika, nopeus ja pesunesteen suihkutuksen paikkojen sijainti, mukaan lukien kaasun ja nesteen lämpötilat, paineen lasku, virtaussuhde sekä ilman virtausnopeus. Näiden parametrien avulla lasketaan ja määritetään pesurin energiantarve. (Nicolay 2006: 109–111.)

Lisäksi määritetään laitteen puhdistuskapasiteetti, joka tarkoittaa maksimiepäpuhtauksia sisään syötetyssä kaasussa ja sen kokonaispoistotehokkuutta. Ilmanopeus vaihtelee merkittävästi puhdistuslaitetyypin mukaan. Kirjallisuudessa on saatavilla muutaman kaasunpuhdistuslaitteiden ilman nopeusarvoja, jotka on esitetty taulukossa 2. Vertailun vuoksi esitetään myös aktiivihiielijärjestelmän ja biofiltterin teoreettiset nopeudet. (Nicolay 2006: 109–111.)

Taulukko 2. Poistoilma puhdistuslaitteiden ilmanopeus kirjallisuusarvoja. (Nicolay 2006: 111.)

Kaasupesuri tyyppi	Nopeus (m/s)
Kemiallinen märkäpesuri	2 - 3
Venturipesuri	45 - 120
Aktiivihiielijärjestelmä	0,25 - 0,5
Biofiltri	0,025

Kaasupesurit soveltuvat prosessien välivaiheiksi arvokkaiden raaka-aineiden regenerointiin tai kaasujen puhdistukseen. Suurissa polttolaitoksissa rikkiä ja amiinia otetaan talteen tuotannon kaasuvirroista. Elintarviketeollisuudessa pesureita käytetään valmistushajujen poistossa, jotta tuotteet eivät pilaantuisi. (Nicolay 2006:109–111.)

4.1 Märkäpesuri

Kierto Ympäristöpalvelut Oy:n laitoksessa jätteiden käsittelystä syntyvä höyry käsitellään märkäpesurilla. Päämääränä on neutraloida reaktoreista muodostuva höyry. Höyry kulkeutuu reaktoreista ilmanvaihtokanavan kautta pesuriin. Märkäpesurin jälkeen höyry ei ole riittävän puhdas, ja sen takia asennettiin ilmakeivain ja aktiivihilisuodatusjärjestelmä haluttujen puhdistustavoitteiden saavuttamiseksi. (Aluehallintovirasto päätös 54/2017/.)

Märkäpesurissa höyryvirta puhalletaan happo tai emäs nestepatjan läpi, jossa tapahtuu neutraloituminen. Emäsnestepatjan liuksena käytetään esimerkiksi natriumhydroksidia. Patjan pH:n tarkkailulla seurataan laitteentoimintaa ja sen liuos vaihdetaan säännöllisesti, esimerkiksi pH:n laskiessa alle kymmeneen emäsnestepatjan tapauksessa. Vaihdettu liuos kerätään IBC-pakkauksiin uudelleen käsiteltäväksi myöhemmin. (Aluehallintovirasto päätös 54/2017/.)

Märkäpesureiden puhdistusmekanismi perustuu absorptioon. Puhdistettava ilmavirta ja vesiliukoinen pesuaine ovat kontaktissa, jolloin tietyt komponentit siirtyvät nestefaasiin. Pesuliuos absorboi vain haitallisia kaasukomponentteja, kuten ammoniakkia, rikkiä ja asetaatteja. Pesuliuos on räätälöity poistoilman aineominaisuuksien mukaan saavuttaen jopa 70–90 prosentin puhdistustehon. (Jortikka 2018: 6.)

Märkäpesurit soveltuvat hyvin myös hajupäästöjen vähentämiseen. Yleensä pesurin ylläpitokustannukset ovat alhaiset, mutta olosuhteet ja materiaalivirrasta johtuva korrosio sekä likaantuminen saattavat nostaa kustannuksia. Pesurit vievät vain vähän tilaa laitospäristössä ja voivat olla panos- tai jatkuvatoimisia. Jatkuvatoimisessa tyypissä poistoilma syötetään jatkuvalla syötöllä pesuriin ja panoksessa puhdistetaan panos kerrallaan. (Jortikka 2018:6.)

Yksikköprosesseissa aineensiirtoa ajavana voimana ovat yleensä paine-erot, virtaukset, konsentraatio- ja lämpötilamuutokset. Kyseisiä voimia hyödynnetään laajasti erilaisissa prosesseissa. Absorption prosessiin vaikuttavia tekijöitä ovat faasien rajapinnat, olosuhteet ja kemikaalien aineominaisuudet. Märkäpesurin pesuliuos voi olla liuotin tai vesiliukoinen kemikaali, riippuen kaasukomponenttien liukoisuudesta. Tehoa voidaan säädellä pH:lla tai johtavuudella. Näiden parametrien väliltä sovelluskohteeseen valitsemi-

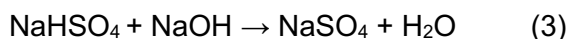
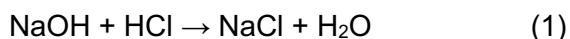
nen riippuu kaasun ja pesunesteen koostumuksen muutoksista prosessin aikana. Tämän vuoksi oikean pesuliuoksen valinta on merkittävä asia optimoidessa pesurin tehokkuutta. (Jortikka 2018: 6; Wetscrubbers 2018.)

Kierto ympäristöpalvelut Oy:llä käytetään poistoilman puhdistuksessa kaksivaiheista happoemäspesuria, jossa syötetty kaasu neutralisoidaan happo- ja emästankeissa. Erillisillä tankeilla kaasun pH:ta ei tarvitse säädellä ennen pesuria, vaan se johdetaan suoraan tankeihin neutraloitavaksi. Reaktion aikana hajuyhdisteet ja epäpuhtaudet siirtyvät pesunesteeseen, mikä perustuu happaman pesuliuoksen kykyyn absorboida emäksisiä yhdisteitä ja päinvastoin. (Tittonen 2012: 13.)

Hapon ja emäksen kemiallista reaktiota kutsutaan neutraloinniksi. Siinä hapot luovuttavat ja emäkset vastaanottavat protoneja. Protoneja kutsutaan myös vetyioneiksi (H^+). Vesiliuoksissa hapon vetyionit ja emäksen hydroksidi-ionit (OH^-) reagoivat tuottaen suolaa ja vettä. Neutralointi heikentää liuoksen happamuutta tai emäksisyyttä, koska vetyionit ja hydroksidi-ionit ovat saavuttaneet yhtä suuret konsentraatiot. Täydellistä neutraloitumista voidaan tunnistaa mittaamalla pH:ta ja tulokseksi saadaan noin 7. Liuos on hapan, jos se on pH asteikoilla alle 7 ja emäksinen yli 7. (Pihkala 2011: 162–164.)

Natriumhydroksidin ja suolahapon täydellinen neutralointireaktio esitetään reaktioyhtälössä (1), jossa reagoivat vahva emäs ja heikko happo. Teollisuudessa neutraloituminen on suurelta osin epätäydellistä neutraloitumista. Se tarkoittaa, etteivät aineet neutraloidu kokonaan vaan ne heikkenevät, esimerkiksi alussa liuoksen pH-arvo on kolmetoista ja reaktion jälkeen se laskee yhdeksään. Täten neutraloinnista huolimatta liuos on pysynyt lopulta emäksisenä. (Pihkala 2011: 162–164.)

Rikkihapon (H_2SO_4) ja natriumhydroksidin ($NaOH$) reaktio on epätäydellinen neutralointiyhtälö, jossa reagoi kahdenarvoinen happo ja yhdenarvoinen emäs. Reaktiossa syntyvät hapansuolaa ($NaHSO_4$) ja vettä (2). Kun suola reagoi natriumhydroksidin kanssa, se tuottaa natriumsulfaattia (3). Tällaisia useamman vaiheen neutralointeja sovelletaan, esimerkiksi prosessivesien saostuksissa, missä poistetaan haitallisista partikkeleista. (Pihkala 2011: 162–164.)



Epätäydellisellä neutraloinnilla säädellään prosesseja, sillä osa prosesseista vaatii tietyn pH:n toimiakseen optimaalisesti. Menetelmää sovelletaan, esimerkiksi jätevesien käsittelyssä. Jäteveden liian korkea tai alhainen pH olisi haitallinen viemäriverkostoille ja puhdistamoiden toiminnalle. Neutraloinnilla suojataan haittavaikutuksilta, kuten putkien syöpymiseltä tai puhdistuslaitoksen toimintahäiriöiltä. (Pihkala 2011: 162–164.)

4.2 Ilmakuivain

Ilmakuivaimella vähennetään aktiivihilisuodattimelle kulkeutuvien kosteuspisaroiden ja haitallisten hiukkasten määrää. Kierro Ympäristöpalvelut Oy:n laitoksessa käytetään TPC-ilmakuivainlaitetta, jonka runko on rakennettu lujarakenteisesta ja korroosiota kestävästä teräksestä. Kuivainlaitteessa on kaksiportainen kemiallinen suodatinjärjestelmä, mikä puhdistaa syötetyn kaasun. Syötetty kaasu käy läpi neljää vaihetta, jotka koostuvat esisuodattimesta, kahdesta kemiallisesta suodattimesta ja jälkisuodattimesta. Kemiallinen osan tarkoitus on suodattaa höyryjä, hajuja ja ilman suuria taustapitoisuuksia. Valmistajan mukaan lopputulos pitäisi saavuttaa yli 99 %:n erotusasteen oikeanlaisella mitoituksella. (TPC-ilmanpuhdistin: 2018.)

Teollisuudessa moniportaisia suodatinjärjestelmiä käytetään parantamaan laitteiden hyötysuhdetta, erotuskykyä ja käyttöikää. Ilmansuodatuksella estetään epäpuhtauksien ja likakerroksien kertymistä, esimerkiksi kaasuturbiineihin. Silloin vältetään laiterikoilta, tuotantoseisokeilta ja säästetään huoltokustannuksissa. Suodattimen toimintamekanismin vaikuttavia tekijöitä ovat kemialliset vuorovaikutusvoimat, staattinen sähkö, diffuusio ja suodatinmateriaali. (Tuotantotehokkuuden kehittäminen: 2013.)

Märkäpesurin jäljiltä poistoilman kosteusprosentti on yleensä suhteellisen korkea ja sillä on merkittävä vaikutus aktiivihilisuodattimen käyttöikänsä. Liiallisen kosteuden kertymi-

nen vaikuttaa aktiivihiilen pesutehoon heikentävästi. Ilman ilmakeivainta aktiivihiilisuodatin tukkiutuu suhteellisen nopeasti ja suodatinta joudutaan vaihtamaan useammin. Tämä haittaisi tuotannon sujuvuutta, koska suodatinvaihdon ajankohtaan olisi hankala vakiinnuttaa säännölliseksi ja kustannukset kasvavat huoltoseisokkien vuoksi. (Tuotantotehokkuuden kehittäminen: 2013.)

Kostea ilmaa käsitellään märkäpesurin pisaraerottimella ja ilmakeivaimella. Pisaraerotin on jo valmiiksi asennettuna märkäpesuriin. Ilman pisaraerotinta pesuneste ja kaasu eivät erotu tehokkaasti ja kosteus heikentäisi ilmakeivaimen sekä aktiivihiilen suorituskykyä. Erillisellä ilmakeivain laitteella vältytään hiilen aktiivisuuden heikentämiseltä. Lisäksi saadaan poistettua mahdollisimman tehokkaasti vähäinenkin määrä kemikaaleja ja epäpuhtautta, jotka ovat lienneet poistoilmaan. (Luokkala 2012: 33—39.)

4.3 Aktiivihiilisuodatin

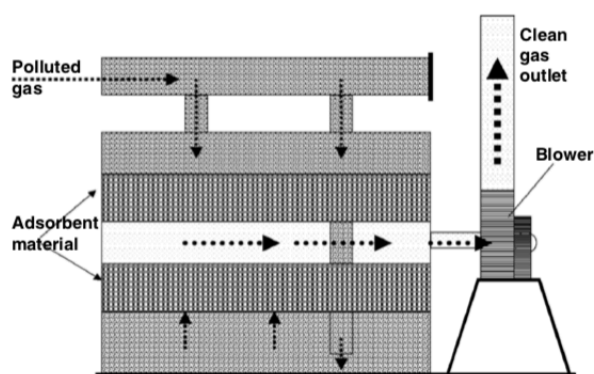
Aktiivihiilisuodatin on adsorptioprosessi, jossa poistokaasun epäpuhtaudet tarttuvat vetovoimilla aktiivihiilen huokoiseen pintaan. Huokoinen rakenne mahdollistaa hiilelle suuren ominaispinta-alan, mihin yhdisteet tarttuvat tehokkaasti pienissäkin pitoisuuksissa. Adsorptio on kiinteällä pinnalla olevien molekyylien kyky kiinnittää itseensä muita aineita neste- tai kaasufaasista. Aktiivihiili toimii tässä tapauksessa kiinteänä pintana eli adsorbenttina ja kaasun puhdistettavia aineita adsorbaatteina. Tämä aineensiirron suodatusprosessi soveltuu sekä orgaanisille että epäorgaanisille yhdisteille (Tittonen 2012: 12.).

Adsorptio ilmiöitä voidaan karkeasti jakaa kolmeen ryhmään: fysikaalisiin, kemiallisiin ja selektiivisiin menetelmiin. Fysikaalisessa adsorptiossa aineiden kiinnittyminen adsorbenttiin tapahtuvat molekyylien välisen heikkojen eli Van der Waals voimien seurauksena. Kemiallisessa adsorptiossa molekyylit muodostavat vahvoja kemiallisia vetovoimia ja kykenevät muodostamaan vain yhden kerroksen haitallisia molekyylejä aktiivihiilen pintaan. Sen päälle voi kuitenkin muodostua useamman molekyylikerroksen haitta-aineita fysikaalisen adsorption avulla. Aktiivihiilisuodatin kykenee puhdistamaan fysikaalisella adsorptiolla enemmän epäpuhtauksia kaasusta. Haitalliset komponentit kiinnittyvät adsorbentin ulkopintaan. Komponenttien siirtyminen sisälle adsorbentin huokoiseen ra-

kenteeseen tapahtuu diffuusiolla. Hiilen sisärakenteissa on valtaosa adsorption aktiivisista kohdista. Adsorptionopeuteen vaikuttaa aktiivihiihi rakeen koko, kaasun virtausnopeus ja aineominaisuudet. (Jortikka 2018: 9; Nicolay 2006: 112–114.)

Selektiivisellä adsorptiolla tarkoitetaan kiinteän aineen kykyä adsorboida valikoivasti molekyyliä. Valitaan adsorboivaksi aineeksi materiaali, jolla on taipumus absorboida vain tiettyjä yhdisteitä. Näitä materiaaleja ovat muun muassa alumiinioksidi, silikageeli ja aktiivihiihi. Aktiivihiihi suodatin huolletaan vaihtamalla hiilimassa säännöllisen väliajoin. Sen jälkeen, kun suodatin on kyllästynyt kemikaaleista ja puhdistuskapasiteetti on heikentynyt merkittävästi. Aktiivihiihi tehokkuutta ylläpidetään pitämällä ilmavirran kosteuspitoisuutta alhaisena. Muuten vesimolekyylit vievät pinta-alaa aktiivihiihi rakenteissa. Aktiivihiihi on erittäin tehokas poistamaan hajupäästöjä ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. (Jortikka 2018: 9; Nicolay 2006: 112–114.)

Myös adsorbenttien pH vaikuttaa adsorptiotehoon ja aineiden liukoisuuteen. Se vaihtelee raaka-ainekohtaisesti, esimerkiksi kivihiihestä valmistettu materiaali on neutraali ja puusta valmistettu emäksinen. On tärkeää valita oikea raaka-aine adsorbentiksi, jotta prosessi toimisi optimaalisesti. Aktiivihiihi suodatusjärjestelmä on laitoksen poistoilman puhtautta viimeistelevä vaihe. Kirjallisuudesta löytyy useita esimerkkejä sovelletuista aktiivihiihi järjestelmistä. Kuvassa 5 on esitetty kaavio yksinkertaisesta aktiivihiihi suodattimesta, jossa sisään syötetty ilmamassa kulkee adsorbentti materiaalin läpi puhdistuen ja poistuu järjestelmästä poistoputkea pitkin ulos. Aktiivihiihi massan on kestettävä rasi- tusta, joka aiheutuu sen omasta painosta ja läpi virtaavasta kaasusta. (Pulkinen 2010: 14–15.)



Kuva 5. Yksinkertaisen aktiivihiihi järjestelmän toimintaperiaate. (Nicolay 2006: 114).

Aktiivihiihijärjestelmät ovat toiminnaltaan yksinkertaisia ja tarvitsevat vähän huoltotoimenpiteitä. Järjestelmät eivät tarvitse toimiakseen vaarallisia aineita, ja ne soveltuvat moneen eri käyttötarkoitukseen. Hiilirakeet ovat ominaisuudeltaan kovia ja kulutusta sietäviä rakeita, koska laite on jatkuvasti käytössä tuotannossa. (TPC-ilmanpuhdistin 2018; Pulkkinen 2010:15.)

Pienet raekoot ovat ihanteellisimpia kuin suuremmat, koska adsorptio on sitä tehokkaampi mitä pienempi raekoko. Suodatus nopeutuu vielä ja aktiivihiihisuodatin toimii ohuemmalla massalla. Lisäksi hienorakenteiset rakeet pakkautuvat suodattimeen tiiviisti, seurauksena puhdistuskapasiteetti tehostuu entisestään. Edellä mainittujen ominaisuuksien vuoksi aktiivihiihi on teollisuudessa hyvin yleinen adsorbentti. (Pulkkinen 2010: 15.)

Vertailtaessa (taulukossa 3) aktiivihiihen, silikageeliin ja alumiinioksidin ominaisuuksiin nähdään, että aktiivihiihen raekoko on pienempi ja ominaispinta-ala suurempi. Huokoisuus on kuitenkin suurin piirtein samaa luokkaa. Markkinoilla on saatavilla myös seoksia, joissa on yhdistelty eri materiaaleja ja on saatu aikaiseksi suorituskykyisempiä materiaaleja. Esimerkiksi Puracarb-tuotteessa materiaalina on valmistajan mukaan aktiivihiihtä ja alumiinioksidia sekä kyllästeaineena kaliumhydroksidia. (TPC-ilmanpuhdistin 2018.)

Taulukko 3. Eri adsorbenttimateriaalien ominaisuuksia kirjallisuudesta. (Pihkala 2011: 139–140).

Materiaali	Aktiivihiihi	Silikageeli	Alumiinioksidi
Raekoko (mm)	1-4	2-8	2-8
Huokoisuus (%)	52-75	50-65	50-60
Ominaispinta-ala $\times 10^5$ (m ² /kg)	6-10	3-6	3
Litrapaino	0,2-0,5	0,45-0,75	0,35-0,9

Materiaalin adsorptiopinta-ala selvitetään jodiluvulla, joka vastaa sitä jodin määrää, missä gramma aktiivihiihtä kykenee adsorboimaan (m²/g). Aktiivihiihen ominaispinta-ala on kirjallisuudessa 500–1 500 m²/g. Tiheys määritetään huokoisen rakenteiden pinta-ala suhteessa hiilen ulkorakenteen pinta-alaan. Materiaalin rakenteella sekä huokoskoon jakaumalla on vaikutusta suorituskykyyn. Mitä korkeampi tiheys, sitä tehokkaampi on aktiivihiihen suodatuskyky. (Pulkkinen 2010: 17.)

5 Päästöjen mittaustekniikka

Ympäristöluvut ja EU-direktiivit velvoittavat toiminnanharjoittajia tarkkailemaan prosesseissa syntyvien päästöjen määriä. Teollisuuden pitoisuustasot ovat viranomaisten keino hillitä päästöjä ja ohjata toimialoja parhaan käytössä olevan tekniikan pariin. Pitoisuustasot määritetään yksilöidyissä ympäristöluvuissa. Luviissa esitetään ilmanlaadun ylläpito määräykset ja ympäristön pilaantumista ennaltaehkäisevät toimenpiteet, esimerkiksi VOC-yhdisteiden tarkkailua. Päästöjen mittausten menetelmiä ohjaa myös kansainväliset standardisointiorganisaatiot, kuten CEN (European committee for standardization). (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 24.)

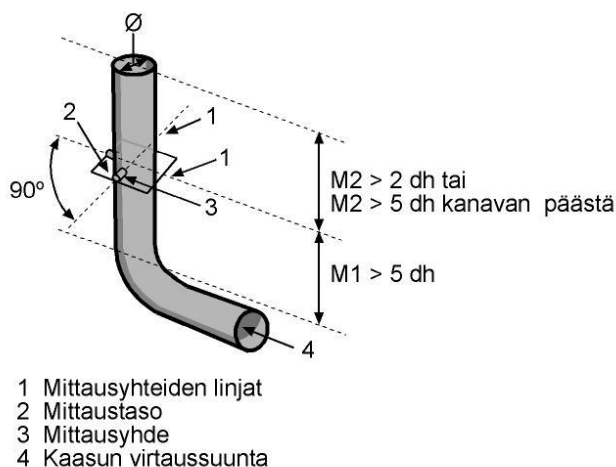
Päästöjen mittaustyö aloitetaan suunnittelemalla mahdollisimman yksityiskohtaisesti ja riittävällä valmisteluilla. Tämä on mittaustyön kriittisin vaihe, sillä huolimaton valmistelu aiheuttaa tuloksiin erilaisia vääristymiä ja epävarmuustekijöitä, jotka sitten heijastuvat lopullisiin johtopäätöksiin. Ensimmäinen määritetään mittausten tarkoitus ja tavoitteet, sekä mitä halutaan mitata. Päätetään myös kyseisen mittauksen varsinainen toteutustapa. Selvitetään prosessin ominaispiirre ja muutokset, jotka vaikuttavat mittausten menetelmän valintaan ja toteutukseen. Päätetään mittauspisteiden sijainti, varustus ja merkitään tarvittavat prosessitiedot. Mittauksen toteutustapa tulee noudattaa päästömittauksen standardeja, esimerkiksi ISO-standardiin on suotavaa perehtyä. Jos käytetään muita menetelmiä, niin toteutustapa dokumentoidaan tarkasti ja työohje on saatavilla. Näin varmistetaan menetelmän toteutuskelpoisuus ja mahdollisuutta toistaa mittaus. Sen jälkeen, kun sopiva mittausten menetelmä on tiedossa, niin mittaustyötä voi alkaa rakentaa, esimerkiksi seuraavasti (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 6–9):

- Valitaan mittaustaso ja -yhteen sijainti tasossa.
- Mittaukseen käytettävien laitteiden kalibrointi ja asennus.
- Määritetään mittauspisteet ja niiden lukumäärä.
- Määritetään tarvittaessa kaasun tilavuusvirta ja virtausnopeus.
- Valitaan näytteenottomittaus tai jatkuvatoiminen mittaus.
- Näytteet käsitellään ja loppukalibroidaan mittaustulokset.
- Mittaustulokset lasketaan, raportoidaan ja tehdään johtopäätökset.

5.1 Poistokaasun mittaustekniikat

Mittaustasoksi valitaan kohta kanavassa, jossa kaasuvirtaus on lähes häiriötön. Tämä kaasuvirtauksen häiriöttömälle etäisyydelle on määrätty standardeissa minimietäisyys. Ennen mittaustasoa häiriötön välimatka vastaa kaksinkertaista kanavan hydraulista halkaisijaa. Mittaustason jälkeen etäisyys on 0,5-kertainen hydraulisesta halkaisijasta (kuva 6). (Aunela-Tapola ym. 1996: 44–45.)

Kaikissa mittaustilanteissa ei ole mahdollista pitää yllä standardietäisyyttä, esimerkiksi syklonit aiheuttavat tavallista pidemmälle häiriötä virtaukseen. Päästömittauksissa mittauksen voi tehdä lähelle häiriövyöhykettä, jos kaasu on homogeeninen. Mittaustason valinnan jälkeen voidaan asentaa mittaussyhde mittamaan kanavan ilmavirtaa ja paineeroa. Hyvä sijainti mittaussyhteelle on pystysuorassa kanavassa mutkan tai puhaltimen jälkeen. Jos kanava on vaakasuorassa, niin mittaustaso ja mittaussyhde ei voi olla itse kanavaa korkeammalla tasolla (kuva 6). Muuten mittaussyhde ei pääse mittaamaan kaikkea, esimerkiksi kanavan pohjaan kerääntyneitä hiukkasia, se voi vääristää mittaustuloksia. (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 7; Aunela-Tapola ym. 1996: 44–45.)



Kuva 6. Kaavio standardinmukaisesta mittaustason valinnasta ja sijainnista pystysuorassa kanavassa. (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007:7).

Mittauspiste voi sijaita keskellä kanavaa tai kanavan sisäseinässä. Kanavan poikkileikkaus jaetaan saman suuruisiin osa-alueisiin. Mittauspiste sijaitsee näiden osa-alueiden

painopisteessä. Painopisteen paikka vaihtelee kanavan muodon mukaan ja edellä kuvattu mittauspiste liittyy pyöreän kanavan tapaukseen. Pisteitä voi olla parillinen tai pariton määrä. Niiden lukumäärään ja etäisyyteen vaikuttaa kanavan halkaisija. (Karhukorpi 2018: 28–29; Päästömittausten käsikirja osa 1 2007:10.)

Mittauspaikan valmistelutarve vaihtelee prosessiteollisuudessa tapauskohtaisesti. Yleisesti ottaen mittauspaikan täytyy olla riittävän tilava työskentelyyn ja varusteille. On noudatettava työturvallisuuskäytäntöjä, esimerkiksi suojalasien käyttöä, asentaa toimiva ilmanvaihtojärjestelmää ja tarvittaessa kaasuhälyttimet myrkyllisten kaasuvuotojen varalta. (Karhukorpi 2018: 28–29; Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 10.)

5.2 Poistokaasun tilavuusvirran määrittäminen ja virtausnopeuden mittaus

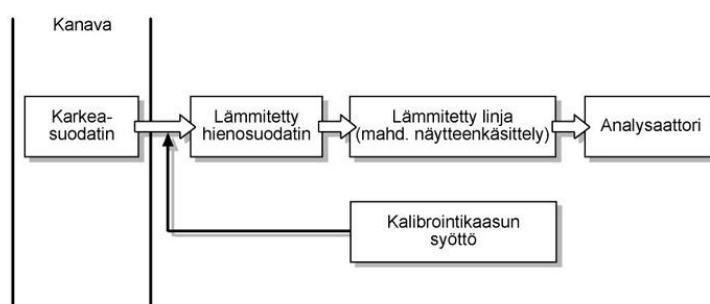
Tilavuusvirran määrittämisen avulla saadaan selville myös poistokaasun massavirta. Tilavuusvirta lasketaan, esimerkiksi mittaamalla kaasuvirran nopeus ja kanavan halkaisija. Kanavan poikkipinta-ala saadaan laskemalla sisähalkaisija. Kaasuvirtauksen nopeus kanavassa voidaan määrittää, esimerkiksi Pitot-putki mittauksen ja paine-eromittarin avulla. Putken toiminta perustuu dynaamisen paineen ja kostean kaasun tiheyden määrittämiseen. Virtausnopeutta laskiessa dynaamisen paineen mittausarvosta otetaan neliöjuuri ja näiden mittausarvojen summasta lasketaan keskimääräinen virtausnopeus. (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 1; Aunela-Tapola ym. 1996: 44–45.)

Pitot-putki mittaa kanavan dynaamista painetta ja putkia on kahden mallisina (S- ja L-tyyppi). S-tyyppi soveltuu kosteisiin kaasuihin, jossa hiukkasten määrä on suhteellisen suuri ja mittaus suoritetaan hieman etäämpänä kanavan seinistä. Seinämät aiheuttavat häiriöitä ja epävarmuuksia mittauksiin. L-tyyppiä käytetään kuivien kaasujen tapauksessa, jossa hiukkasten määrä on hyvin niukkaa. Tämä tyyppi tukkeutuu herkästi hiukkasten liiallisesta määrästä. Mittauksessa putken kärki asetellaan virtausta vastaan. Molemmat tyypit vaativat säännöllistä huoltoa ja kalibrointia. Paine-erojen arvot saattavat vaihdella paljon mittauksissa. Sen takia paine-eroa mitataan tarpeeksi kauan, jotta saadaan selville sen keskimääräinen arvo ja vaihteluväli. Standardissa SFS-EN ISO 16911-1 määritetään kaasun tilavuusvirtaa ja virtausnopeutta tarkemmin. (Karhukorpi 2018: 28–29; Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 13.)

Kosteiden kaasujen näytteistä määritetään tarvittaessa vesisisältö, esimerkiksi lauhduttamalla gravimetrisesti. Vesisisällön määrittäminen tapahtuu ottamalla näytteitä kaasusta, jolloin kosteutta alkaa kondensoitua keräyslinjaan, josta se siirretään viileään astiaan. Astia ja absorptiopatruuna punnitaan ennen ja jälkeen mittausta. Näytettä kerätään riittävän pitkään, jotta saadaan riittävästi kondensoitunutta nestettä punnittavaksi. Jäljelle jäänyt kosteus absorboidaan vaikkapa silikageelin. On huomioitava, esimerkiksi savukaasussa vesipisarot saattavat käyttäytyä kuin hiukkaset. Tiheyttä voidaan määrittää myös Pitot-tutkimuksien yhteydessä. Määrittämiseen tarvitaan lämpötilat, kaasun vesisisältö ja kaasukomponenttien pitoisuudet, jotka ovat vähintään kaksi prosenttia. Lisäksi on tunnettava ulkoilman ja kanavan paine-erot sekä paineet. (Karhukorpi 2018: 28–29; Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 15.)

5.3 Kaasujen yleiset näytteenottotekniikat

Kaasumittaustekniikat jaetaan kahteen pääryhmään eli jatkuvatoimisiin ja kertaluontoisiin menetelmiin. Jatkuvatoimisiin menetelmiin kuuluvat kaukoilmamittaukset, ekstraktiiviset ja In-situ-menetelmät. Ne eroavat toisistaan tavoista suorittaa näytteenottoja, esimerkiksi ekstraktiivinen ottaa näytteen suoraan kaasusta. Alla oleva kuva 7 esittää, kuinka ekstraktiivinen mittaussuunnitelma toimii yksinkertaistettuna. (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 24–25.)



Kuva 7. Yksinkertaistettu toimintakaavio ekstraktiivisesta mittaussuunnitelmasta. (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 24).

Ekstraktiivisessä mittauksessa kosteasta kaasusta otettu näyte suodatetaan epäpuhtauksista karkealla suodattimella ja lämmitetään linjalla, koska vesi alkaa kondensoitua näytteenottolinjoihin. Ekstraktiivisessä näytteenotto tekniikassa huomioidaan sondin ja suodattimen rakenne, materiaali, suodattimen painehäviö. Näytteenottolinjassa katsotaan myös linjan pituus ja halkaisija. Painemittareiden ja kalibrointikaasujen lukematarkkuus on oltava kohdillaan. Tässä tapauksessa yleisin näytteenkäsittely metodi on näytteen johtaminen suoraan analysaattoriin, jolloin kondensaatio ei verota analysoitavia yhdisteitä merkittävästi. (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 24–25.)

Kertaluonteinen mittaus on näytteen keräämistä ja sen analysoimista erikseen laboratoriossa. Näytteitä otetaan riittävän paljon, jotta komponentin pitoisuusvaihtelut selviävät luotettavasti. Yksi näytemittaus vastaa kaasuvirran hetkellistä pitoisuutta. Absorptiomenetelmä on kertaluonteinen mittaustekniikka. Sen toimintaperiaate pohjautuu aineen kykyyn liueta absorptioliuokseen. Liuos valitaan tutkittavan komponentin liukenemisominaisuuksien mukaan. Liuos voi olla orgaaninen, esimerkiksi etanoli, tai epäorgaaninen, esimerkiksi vesi. Alla esitetään joitain absorptiomenetelmiä ja analyysimenetelmiä joillekin tutkittaville komponenteille (Taulukko 4). (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 41.)

Taulukko 4. Alla esitetään muutamia standardeihin tai menetelmäohjeisiin perustuvia absorptiönäytteenottomenetelmiä, -liuoksia ja -analyysijä. (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 44).

Komponenttiyhdiste	Absorptioliuos	Analyysimenetelmä
Ammoniakki	Rikkihappo	Ammoniumspesifinen elektrodi
Rikkioksidi	Vetyperoksidiliuos	Gravimetria
Pelkistyneet rikkiyhdisteet	Vetyperoksidiliuos	Titraus
Kaasumaiset fluoriyhdisteet	NaOH-liuos	Ioniselektiivinen elektrodi
Etanoli	Metyylidiglykoli	Kaasukromatografia
Raskasmetallit	Typpihapon ja vetyperoksidin seos	ICP-AES

Absorptiomenetelmässä on tärkeää katsoa, ettei menetelmä häiritse analyysin toimintaa. Tutkittava komponentti voi olla kemiallisesti sitoutunut näytteen muihin komponentteihin. Esimerkiksi, raskasmetallit ovat sitoutuneena poistokaasun muihin komponentteihin, niin on käytettävä isokineettistä näytteenottoa. Se auttaa erottamaan sitoutunut komponentti ennen absorptiota ja näyteanalyysia. Isokineettisyys tarkoittaa, että näytteenoton aikana näytekäasun nopeus tulosuuttimessa on saman suuruinen, kuin kaasun nopeus kana-

van mittauskohdassa. Menetelmällä saadaan suhteellisen tarkat lukemat hiukkasten jakaumasta ja pitoisuuksista. Ei-isokineettisyyttä sovelletaan tapauksissa, jossa tutkittava komponentti ei ole sitoutuneena eikä ole pisaroita läsnä kaasussa. (Pietilä 2012: 40–41; Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 45–46.)

Adsorptiomenetelmän periaate on tutkittavan komponentin tarttuminen kiinteän ja huokoisen materiaalin pintaan. Materiaali valitaan tutkittavan komponentin mukaan, joita on monenlaisia. Aktiivihili on usein käytetty adsorptiomateriaali. Komponentti vapautetaan adsorptiomateriaalista kuumennuksella tai uuttamalla. Näyte sitten analysoidaan sopivalla analyysillä. (Pietilä 2012 :40–41; Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 45–46.)

Päästöjen mittaamiseen on useita standardeja, jotka ohjaavat validoitujen mittaustekniikoiden pariin. Ilman laadun kansalliseksi standardiksi hyväksyttiin SFS-EN 15259. Se määrittelee laatu edellytykset päästömittauksille, kuten kuinka varmistaa edustavat näytteenotot ja vertailukelpoiset mittaustulokset. Alla olevassa taulukossa 5 esitellään muutamia ilman laadun ylläpitoon ja päästömittauksiin liittyviä standardeja. (SFS-EN 15259.)

Taulukko 5. Ilman laadun standardit. (SFS-EN 15259, SFS-EN /IEC 17025, SFS-EN ISO 20988, SFS-EN ISO 16911-1).

Standardi	Aihe
SFS-EN 15259	Kiinteiden lähteiden päästöjen mittaaminen: vaatimukset mittaustasolle ja -yhteisölle sekä mittaustavoitteelle, suunnitelmalle ja raportille
SFS-EN /IEC 17025	Testaus- ja kalibrointilaboratorioiden pätevyys
SFS-EN ISO 16911-1	Kiinteiden lähteiden päästöt: kanavien nopeuden ja tilavuuden virtausnopeuden manuaalinen ja automaattinen määrittäminen.
SFS-EN ISO 20988	Ohjeet mittausepävarmuuden arvioimiseksi

5.4 Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittaustekniikat

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) mittausten menetelmille on useita standardoituja analyysilaitteita ja mittareita. Näiden tavoitteena on saada mahdollisimman tarkka kuva VOC-pitoisuuksien vaihteluista poistokaasussa. Yleisimpiä menetelmiä ovat liekki-ionisaattoridetektorit, infrapuna- ja FTIR-analyysilaitteet, kaasukromatografia sekä kertanäytteenottoanalyysit. (Antson ym. 2008: 105–106.)

Liekki-ionisaattoridetektorit (FID, flame ionization detector) perustuu hiiliatomien kemialliseen palamisreaktioon, jossa palavat kaasunäytteen hiiliatomit. Palamisreaktion seurauksena ionisoituneet hiilet synnyttävät sähkövirran, jonka laite pystyy mittaamaan. Liekki-ionisaattorilla on nopea vaste ja laaja mittausalue. Vasteen herkkyys orgaanisille yhdisteille saattaa vaihdella yhdisteen tai yksittäisen laitteen mukaan. Yksittäisellä komponentilla voi olla merkittävä osuus poistokaasussa, ja sen vaste saattaa olla suurempi kuin FID-analyysilaitteella. Silloin tutkittavan komponentin pitoisuus määritellään toisella analyysilaitteella, kuten kertanäytteenottomenetelmällä tai FTIR-analyysilaitteella. (Antson ym. 2008: 105–106.)

Vasteen vuoksi FID-analyysilaitteelle ei pystytä määrittämään laskennallisesti tutkittavan komponentin absoluuttista pitoisuutta, jos komponentin, esimerkiksi propaani vaste on suurempi. Tällöin absoluuttisen pitoisuuden määrittäminen propaanille tapahtuu, esimerkiksi kertanäytteenottomenetelmällä. Tuloksissa ilmoitetaan komponentin vastekerroin, mitaustulokset korjauskertoimilla ja ilman korjauksia sekä kuinka korjaukset tehtiin. Saatujen tietojen avulla kalibroidaan FID-analyysilaitteen vaste, mikä vähentää systemaattisen mittausvirheiden todennäköisyyttä jatkossa. (Antson ym. 2008: 105–106.)

Infrapuna-analyysilaitteet perustuu kaasujen kykyyn absorboida infrapunasäteilyä, joka on yhdisteelle spesifinen ominaisuus. Laite soveltuu yksittäisten kaasuyhdisteiden, kuten VOC-yhdisteiden mittauksiin. Toisaalta seokset eivät sovellu infrapuna-analyysilaitteelle, koska kaasujen suuret taustapitoisuudet kuten hiilimonoksidit ja vesihöyryt aiheuttavat häiriöitä mittauksiin. Ne voivat absorboida infrapunasäteilyä samalla aallonpituudella tutkittavan yhdisteen kanssa, jolloin tulokset vääristyvät. Validien mittauksien edellytyksenä ovat tunnettujen häiriöiden eliminoiminen jo ennalta. (Antson ym. 2008: 105–106; Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 28.)

FTIR-analysaattori on Fourier-muunnosinfrapunaspektrometri, joka mittaa useampia molekyyliyhdisteitä samaan aikaan ja jatkuvatoimisesti. Se tunnistaa erityisesti yhdisteet, joita ei havaita tavallisessa infrapunaspektrissä. Analysaattorin toiminta perustuu siihen, että se havaitsee molekyyleissä atomien värähtelyjä ja funktionaalisten ryhmien avulla tunnistetaan yhdiste. Värähtelyjen aallonpituudet ovat kullekin yhdisteelle spesifinen. Molekyyliarakenteeltaan symmetrisin ja kaksiatomisia komponentteja ei havaita analysaattorin spektrissä, koska atomien välistä varauksien muutosta ei tapahdu värähtelyjen aikana. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi kloori ja happi. (Ihmisen ja elinympäristön kemia 2019; Nikula 2016: 5–6.)

FTIR-analyysin hyvänä puolena on sen soveltuvuus kosteille kaasuille, jolloin näytteitä ei tarvitse kuivata ja vesimolekyylit kuuluvat mitattaviin komponentteihin. Lisäksi prosessien päästöseurannassa on mahdollista siirtyä kertanäytteenotoista jatkuvatoimisiin menetelmiin. (Nikula 2016: 5–6; Antson ym. 2008: 105–106.)

Kertanäytteenottomenetelmä on analyysi, jossa näytekäasu kerätään suoraan poistokaasuvirrasta väliainekappaleeseen ja näyte toimitetaan analysoitavaksi laboratorioon. Väliainekappaleena voi toimia esimerkiksi näytteenottopussit tai aktiivihili. Näytteen kerääminen tapahtuu muun muassa absorptio- tai adsorptiomenetelmillä. Absorptio perustuu aineiden liukoisuuteen, minkä mukaan absorptioliuos valitaan. Adsorptio on aineen kyky kiinnittyä kiinteään ja huokoiseen materiaaliin. Absorptioliuos ja adsorptiomateriaali valitaan tutkittavan aineen ominaisuuksien mukaan. VOC-pitoisuuksien mittauksiin soveltuvat sekä jatkuvatoimiset instrumentit että kertaluonteiset näytteenottomenetelmät. Valinta näiden väliltä riippuu mittauskohteesta ja -olosuhteista. (Ihmisen ja elinympäristön kemia 2019; Nikula 2016: 5–6; Antson ym. 2008: 105–106.)

Päästöjen mittauksissa on tarkoitus saada mahdollisimman edustavat otokset pitoisuuksien vaihteluista, koska VOC-yhdisteet ovat usein hyvin pieninä määrinä poistokaasussa. Esimerkiksi Kierto Ympäristöpalvelut Oy:n ympäristöluvassa on määrätty TVOC-yhdisteiden raja-arvoksi 45 mgC/Nm^3 , jota ei saa ylittää normaaleissa tuotanto-olosuhteissa. Päästöille määrättyillä raja-arvoilla tarkoitetaan päästöjen laimentamatonta mittausarvoa. Mittausarvo ei voi ylittää määrättyä raja-arvoa missään ajanjakson aikana ja tuloksia voidaan ilmaista esimerkiksi kokonaismäärinä, pitoisuutena tai prosentteina. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

Onnistunut mittaus vaatii, että tunnetaan mitattavien yhdisteiden fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia ja poistokaasun lämpötiloja. Näiden pohjalta voidaan valita kohteeseen soveltuvat mittausmenetelmät ja laitteet. Mittaushetken prosessiolosuhteet ja prosessin sisällä tapahtuva toiminta ovat tärkeitä tietoja tallennettavaksi. Näistä tiedoista nähdään prosesseissa tapahtuneet muutokset pitkien aikojen aikana, esimerkiksi vuoden ajan. (Antson ym. 2008: 105–106.)

Kierto ympäristö palvelut Oy:llä mittauksia suoritetaan kertanäytteenottomenetelmällä. VOC-pitoisuustasojen mittaus suoritetaan ottamalla kertaluontoisia näytteitä puhtaasta ja likaisesta ilmapirrasta absorptiolla näytepussiin. Laboratorioanalyysin jälkeen tuloksista nähdään, miten VOC-pitoisuudet muuttuvat aktiivihilisuodattimen yli. Suodatin on laitoksen poistoilman viimeinen puhdistusvaihe ennen ympäristöön vapauttamista, ja tuloksista nähdään, onko puhdistuksen kapasiteetti ollut riittävän tehokas. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

5.5 Mittaustulosten laskenta ja mittausepävarmuudet

Mittaustulosten käsittelyssä määritetään mittausepävarmuutta, joka tarkoittaa mittaustuloksen oletettua vaihtelua. Mittausepävarmuus esitetään muun muassa kaasun pitoisuuksille ja tilavuusvirralle. Epävarmuutta aiheuttavat tekijät kartoitetaan ja arvioidaan niiden merkittävyys tutkittavan komponentin suhteen. Mittauksissa on aina tietty virhetodennäköisyys, joka esiintyy satunnaisina ja systemaattisina. Systemaattinen virhe esiintyy muuttumattomana vakio-olosuhteissa eikä poistu mittauskertojen suurella määrällä. Esimerkiksi systemaattinen virhe mittauslaitteissa voidaan yleensä korjata kalibroinnilla ja korjauskertoimilla. Kalibroimalla mittalaitteet säännöllisesti vähennetään systemaattisten virheiden todennäköisyyttä. (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 53.)

Satunnaisvirheet ovat tekijöitä tai muutoksia, joihin ei voi varautua ennalta, esimerkiksi näytekontaminaatiot ja kirjausvirheet. Niiden todennäköisyyttä voidaan vähentää riittäväällä määrällä rinnakkaismittauksilla. (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 53.)

Mittausepävarmuuksien kokonaismääritys perustuu laskentaan tai mittauslaitteistoon. Käsitellään tulokset kriittisesti ilmoittamalla epävarmuustekijät, koska prosessiolosuhteet ja mittaustapahtumat vaikuttavat näytteiden edustavuuteen vaihtelevasti. Mittaustyön aikana toimitaan niin että näytteenoton ympäristöstä ja välineistä aiheutuvat mahdollisimman vähän häiriötä. Tehdessään arvion näytteiden edustavuudesta mittaustason on oltava standardin mukainen (SFS-EN ISO 20988) ja häiriöttömillä virtausetäisyyksillä. (Päästömittausten käsikirja osa 1 2007: 53.)

Mittausepävarmuuden määritysmenetelmiin kuuluvat esimerkiksi kokonaisvirheet, suhteelliset kokonaisvirheet, suhteellinen maksimivirheet ja mittaajan oma virhearvio. Yksinkertainen tapa laskea yksittäisten mittaussuureiden epävarmuuksia on seuraavasti (Aunela-Tapola ym. 1996: 44–45.):

$$U = \sqrt{u_1^2 + u^2 + \dots + u_n^2}, \quad (1)$$

u_i = yksittäisen mittaussuuren epävarmuus.

Tuloskäsittelyssä kokonaismittausepävarmuuksien esittäminen nostaa mittauksien arvoa. Mittaus on vertailukelpoinen, kun mittaustekniikka ja epävarmuuden määrittäminen ovat yhtenäisiä. Näin voidaan tehdä johtopäätöksiä mittauksien onnistumisesta, näyteottojen edustavuudesta ja mittauskohteen tilasta. Lisäksi tutkitaan tulosten suhdetta, esimerkiksi ympäristöluvan raja-arvoihin. (Aunela-Tapola ym. 1996: 44–45.)

Analysaattoreihin vaikuttavat epävarmuustekijät ovat esimerkiksi mittausten toistettavuus, lineaarisuus, kohina ja likaantuminen. Aina ei tunneta kaikkia virhettä aiheuttavia tekijöitä ja siten on hankalaa luoda yhtenäinen menetelmä epävarmuuden laskentaan. Kokenut mittaaja kykenee osaamisellaan tunnistamaan ja poistamaan joitain satunnaisia epävarmuustekijöitä. Vertailumittaukset ja eri henkilöiden suorittamat mittaukset auttavat havaitsemaan tuntemattomia epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat tuloksiin merkittävästi. (Aunela-Tapola ym. 1996: 44–45.)

6 Yhteenveto

Kierto Ympäristöpalvelut Oy:llä haluttiin käyttää suorituskykyisempiä laitteita ja prosesseja, joilla vähennetään päästöjä. Näihin toimenpiteisiin kannustivat taloudellinen hyöty, kilpailuetu, ympäristöluvut ja lainsäädäntö. EU:n teollisuuspäästädirektiivissä ympäristölupa määriteltiin asiakirjaksi, jossa oli käytössä olevan tekniikan kuvaus, tiedot ja laitoksen muutostoimenpiteet BAT-päätelmien toteuttamiseksi. Suomen lainsäädännössä BAT-tekniikalla tarkoitettiin parhaalla käyttökelpoisella tekniikalla (2010/75/EU). Prosesseista syntyvien jätteiden käsittely oli ensisijaisesti toiminnanharjoittajan vastuulla ja jätteet vähennettiin kierrättämällä, uusiokäyttämällä tai hävittämällä kokonaan. Syntyvistä jätteistä tehtiin selvitys ympäristölupaviranomaisille ja esiteltiin toimet, joilla ennalta ehkäistiin ympäristön pilaantumista. Toimien oli perustuttava BAT-tekniikan periaatteisiin, ja viranomaiset valvoivat sen toteutumista säännöllisesti. (Ympäristösuojelulaki 527/2014.)

Työn tilaajana oli Kierto Ympäristöpalvelut Oy, jonka jäteterminaalissa käsitellään ja lopuksi sijoitetaan fysikaaliskemiallisia jätteitä. Viranomaiset määräävät laitoksen poistokaasulle raja-arvoja. Prosesseista muodostunut likainen ilma käsitellään mahdollisimman vaarattomaksi erilaisilla kaasun puhdistustekniikoilla. Laitoksessa käytössä olevat tekniikat olivat märkäpesuri, ilmakeivain ja aktiivihiilisuodatin. Ne olivat suorituskyvyltään BAT-periaatteiden mukaisia. Ympäristöluvassa veloitettiin seuraamaan päästöjen koostumuksia ja määriä mittauksilla. Laitoksen poistokaasut neutraloitiin märkäpesurissa ja kaasujen kosteuspitoisuutta vähennettiin ilmakeivaimella. Aktiivihiilisuodatin oli poistokaasujen viimeinen puhdistusvaihe, jossa absorboitiin pitoisuudeltaan hyvin pieniä epäpuhtauksia ja hajua aiheuttavia komponentteja, joita olivat esimerkiksi ammoniakki, rikki ja VOC-yhdisteet. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

Työn tarkoituksena oli perehtyä pitoisuustasojen mittausmenetelmiin teoreettisesti. Vastikään asennetun aktiivihiilisuodattimen puhdistuskapasiteettia haluttaisiin seurata ja kerätä tietoja hoito-ohjelman suunnittelua varten. Seuranta tapahtuisi päästömittauksilla ja mittausmenetelmän tulisi olla pätevä, jotta johtopäätökset perustuisivat prosessin todelliseen tilaan.

Työssä esiteltiin VOC-yhdisteille sopivia mittausmenetelmiä. Määrittämällä VOC -yhdisteiden pitoisuuksia voidaan selvittää uuden aktiivihiilisuodattimen tehot. Lisäksi voidaan

määrittää suodattimen hiilimassan kulumisaste ja huollontarve. Jatkuvasti käytössä oleva suodatin tukkiutuu ajoittain kemikaaleista, jolloin suodattimen suorituskyky heikenee ja haitalliset yhdisteet pääsevät läpi. Välttääkseen tämän on luotava säännöllinen hoito-ohjelma suodattimelle. Oikealla mittausmenetelmällä määritetään luotettavasti, kuinka nopeasti suodatin tukkiutuu ja aikataulutetaan suodatinvaihdon ajankohta säännölliseksi. (Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1.)

Mittausmenetelmille on useita standardoituja tekniikoita (ISO), jotka ryhmitellään jatkuvatoimisiin- ja kerta-näytteenottomenetelmiin. Kerta-näytteenottomenetelmä soveltuu VOC-yhdisteiden mittaukseen, koska kaasu on kosteaa ja sisältää hiilidioksidia. Lisäksi se on yksikertainen tapa kerätä näytteitä kaasuvirrasta eikä vaadi paljoa mittauspaikan järjestelyyn. FTIR-analysaattorilla näyte ei vaadi esikäsitteilyä, kuten kuivausta tai suodatusta, jolloin tietty määrä tutkittavaa komponenttia mahdollisesti häviäisi tai näyte kontaminoituisi. Seurauksena mittaustulosten epävarmuudet ja virhetodennäköisyydet kasvaisivat, koska haihtuvia orgaanisia yhdisteitä on poistokaasussa hyvin pieninä määrinä.

Kertaluonteisessa menetelmässä näyte kerätään steriiliin näytepussiin ja lähetetään laboratorioon, missä näyte analysoidaan, esimerkiksi FTIR-analysaattorilla. Analysaattori pystyy tunnistamaan ja määrittämään myös muiden osakomponenttien pitoisuuksia. FTIR-analysaattori soveltuu kosteisiin kaasuihin, sillä vesimolekyylit eivät pysty häiritsemään mittauksia, sillä ne ovat myös mitattavissa. Myöskään näytteen kuivausta ei tarvita, ja satunnaisia epävarmuuksia olisi tuloksissa vähemmän.

Teollisuudessa mitataan poistokaasujen pitoisuustasoja, koska halutaan tutkia haitallisia yhdisteitä ja niiden osuuksia kokonaismäärissä. Ympäristönsuojelulainsäädäntö velvoittaa säännöllistä päästöjen mittausta. Laadukas päästömittaus ja mittalaitteen validointi vaativat mittaajalta vankkaa kokemusta. Suomessa toimii useita laboratorioita ja laitteiden valmistajia, mitkä tekevät teollisuuden päästömittauksia ja maahantuovat analyyttoreita.

Lähteet

Aluehallintovirasto päätös 119/2018/1. Kierto Ympäristöpalvelut Oy:n Ympäristöluvan lupamääräyksen suunnitelma. Helsinki.

Aluehallintovirasto päätös 54/2017/1. Kierto Ympäristöpalvelut Oy:n ympäristöluvan muutos. Helsinki.

Antson, Heli; Hakala, Irina; Karjalainen, Anneli & Koivula, Krister. 2008. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) liuottimia käyttävässä pintakäsittelyssä, s. 105–106. Suomen ympäristökeskus. Verkkoaineisto.

<https://helda.helsinki.fi/bitstream/hadle/10138/38357/SY_23_2008.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Luettu 19.10.2019.

Aunela-Tapola, Leena; Jormanainen, Pauli; Laukkarinen, Anja; Mehtonen, Arvo; Puustinen, Harri; Salmikangas, Tuomo; Tolvanen, Merja & Vahlman, Tuula. 1996. Päästömittausten laadunvarmistus: päästöjen määrityksen epävarmuuteen vaikuttavat tekijät, s. 44–45. VTT Kemiantelekniikka. Verkkoaineisto. <<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1996/T1799.pdf>>. Luettu 28.10.2019.

Ihmisen ja elinympäristön kemia. Funktionaaliset ryhmät. Verkkoaineisto.

<https://peda.net/sievi/sievin-lukio/oppiaineet2/kemia/kemia2/tkapp/luku-2-3:file/download/db9a793bc1a07cbdf923351b68f4858d5f58d556/ihmisen_ja_elinympariston_kemiaa_KE2_LUKU_2.3.pdf>. Luettu 20.10.2019.

Jortikka, Mikko. 2018. Amiiniabsorptio Naantalın öljynjalostamossa, s. 6–9. Insinööri-työ. Turun Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Kaasuhälyttimet. Beup Automation Oy. Verkkoaineisto. <<https://www.beup.fi/pid-voc-kaasuhalyttimet/>>. Luettu 6.1.2019.

Karhukorpi, Tomi. 2018. Metalli-ilmapäästömittaukset prosessiteollisuudessa, s. 28–29. Insinööri-työ. Centria-ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Laboratorioanalyysit. Opetushallitus. Verkkoaineisto. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_1_johdanto.html>. Luettu 6.1.2019.

Lappalainen, Jukka. 2013. Savubluumien 3D-visualisointi, s. 12–27. Insinööri-työ. Savonia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Lauri, Hannu; Vepsä, Heimo & Anttila, Titta. 2017. Hyväristömaän suunnitellun jätevesipuhdistamon haju päästöjen leviämismallinnus, s.4. Verkkoaineisto. Lappeenrannan Energia Oy. <[https://www.lappeenrannanenergia.fi/ajankohtaista/Documents/Hyväristömäki_Hajumallinnus%20raportti%204.5.2017.pdf](https://www.lappeenrannanenergia.fi/ajankohtaista/Documents/Hyvaristomaki_Hajumallinnus%20raportti%204.5.2017.pdf)>. Luettu 1.12.2018.

Leelossy, Adam; Molnár, Ferenc; Izsák, Ferenc & Havasi, Ágnes. 2014. Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere. Verkkoaineisto. <https://www.researchgate.net/publication/269105054_Dispersion_modeling_of_air_pollutants_in_the_atmosphere_a_review>. Luettu 10.2.2019.

Leviämismallinnus. LCA Consulting. Verkkoaineisto. <<https://lca-consulting.fi/leviamismallinnus/>>. Luettu 10.2.2019.

Luokkala, Markku. 2012. Peittauksen poistoilman puhdistuskäsittely, s. 33—39. Insinööriö. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Nicolay, Xavier. 2006. Odors in the food industry. Integrating safety and environment knowledge into foods studies, s. 27–114. E-kirja. Springer Link.

Nikula, Miia. 2016. Päästömittaus gasmet ftir kaasuanalysaattorilla, s.5–6. Insinööriö. Centria- ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Ohje jätteenkäsittelyn (WT) parhaita käyttökelpoisia tekniikoita (BAT) koskevien päätelmien soveltamiseen. 2018. Ympäristöministeriö. Verkkoaineisto. <<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B9AF9541A-63C7-4C79-A4D3-3486E6D38601%7D/141191>>. Luettu 5.2.2019.

Paras käyttökelpoinen tekniikka BAT. Ympäristöhallinto. Verkkoaineisto. <<https://www.ymparisto.fi/bat>>. Päivitetty 31.10.2018. Luettu 7.2.2019.

Pietilä, Keijo. 2012. Hiukkaspitoisuuden määrittäminen savukaasuista ISO 23210 mukaisesti, s. 40–41. Insinööriö. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Pihkala, Juhani. 2011. Prosessitekniikka prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit, s. 139–182. Tampere. Juvenes Print.

Pulkkinen, Matti. 2010. Aktiivihiihden aktivointi, regenerointi ja käyttö. Insinööriö, s. 14–17. Keski-pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Päästömittausten käsikirja osa 1. 2007, s.6–53. Verkkoaineisto. <<https://ilmansuojeluyhdistys.files.wordpress.com/2015/05/osa1.pdf>>. Luettu 19.10.2019.

Ramboll. 2018. Rikki- ja typpihapon raja-arvojen terveysperusteinen määrittäminen. Yrityksen sisäinen dokumentti. Kierto Ympäristöpalvelut Oy.

Responsible Care. Kemiateollisuus ry. Verkkoaineisto. <<https://www.kemiateollisuus.fi/fi/tietoa-alasta/ala-numeroin-graafit/responsible-care/#turvallisuus-ja-hyvinvointi-kemiateollisuudessa>>. Luettu 31.12.2018.

SFS-EN /IEC 17025. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. 2005. Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 15259. Air quality. Measurement of stationary source emissions. Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report. 2008. Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 16911-1. Stationary source emissions. Manual and automatic determination of velocity and volume flow rate in ducts. 2013. Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 20988. Air quality. Guidelines for estimating measurement uncertainty. 2007. Suomen standardoimisliitto SFS.

Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2017. 2018. Tilastokeskus. Verkkoaineisto. <http://www.tilastokeskus.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/yymp_kahup_1990-2017_2018_19735_net.pdf>. Luettu 31.12.2018.

Tammisto, Sari. 2014. Biokaasulaitosten hajupäästö, s. 11–13. Insinööriyö. Hämeen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Tittonen, Jaska. 2012. Asfalttitehtaan bitumisäiliöiden hönkäkaasuista syntyvän hajuhaitan käsittely, s. 8–13. Insinööriyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

TPC-ilmanpuhdistin. Climecon. Verkkoaineisto. <<https://www.climecon.fi/tuotteet.php?k=616253>>. Luettu 19.12.2018.

Tuotantotehokkuuden kehittäminen. 2013. Verkkoaineisto. Promaintlehti. <<https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Tehokkaampi-ilmansuodatus-parantaa-hyotysuhdetta>>. Julkaistu 21.11.2013. Luettu 19.02.2019.

Wetscrubbers. Sensorex. Verkkoaineisto. <<https://sensorex.com/wet-scrubbers/#parameters>>. Luettu 15.12.2018.

Ympäristöluvut. 2019. Suomen ympäristökeskus. Verkkoaineisto. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa>. Päivitetty 22.1.2019. Luettu 12.2.2019.

Ympäristösuojelulaki. 2014. 527/2014.