



Terminaaliyrityksen varastosäiliöiden emissiot

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

25.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Pekka Mikonmäki
Otsikko:	
Sivumäärä:	30 sivua
Aika:	25.3.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Kemiantekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Timo Seuranen

Tämän insinöörityön tarkoituksena oli selvittää kemikaalien varastoinnista aiheutuvia hajapäästöjä terminaaliyrityksessä. Työn tilasi teollisuuden venttiili- ja energiaratkaisuja edustava Oy Konwell Ab. Päästöjen kartoitus toteutettiin Oiltanking Finland Oy:n kotkan terminaalilla ja mittauksen alueella suoritti Aeromon Oy.

Työ koostuu teoria osiosta ja käytännön päästökartoituksesta. Teoriaosion alussa selvitettiin hajapäästöjen seurantaan liittyvää lainsäädäntöä ja parhaita käytäntöjä. Tämän jälkeen tutustuttiin varastosäiliöiden rakenteeseen ja niiden laskennallisiin päästövaikutuksiin. Kolmannessa osiossa tutustutaan päästöjen hallinta menetelmiin ja mittaukstopoihin. Käytännön osuudessa kerrotaan mittauksen suorittamisesta ja pohditaan mittauksen tuloksia.

Työ antaa lukijalle hyvän kuvan uusimmista hajapäästöjen hallinta menetelmistä teollisuudessa. Toinen työn tavoite oli tuottaa LDAR-ohjelman mukainen hajapäästöjen kartoitus alueella, joka onnistui suunnitelman mukaisesti.

Avainsanat: Hajapäästöt, VOC-päästö

Abstract

Author: Pekka Mikonmäki
Title: Emissions from the terminal company's storage tanks
Number of Pages: 30 pages
Date: 25.3.2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Chemical engineering
Professional Major: Timo Seuranen

The aim of this thesis was to discover where the purpose of this engineering work was to determine the fugitive emissions from the storage of chemicals at the terminal company. This thesis was commissioned by Oy Konwell Ab, which represents industrial valves and energy solutions. The survey of emissions was conducted at Oiltanking Oy's Kotka terminal and the measurement in the area was performed by Aeromon Oy.

This thesis consists of a theory section and a practical emission survey. The first section of theoretical part studies presents, the legislation and best practices related to the monitoring of fugitive emissions. In the second part the focus is on examining the structure of storage tanks and on calculating emission effects. The third section explains emission control methods and measurement techniques. The practical part describes how to perform the measurement and discusses the results of the measurement.

This thesis gives the reader a good idea of the latest fugitive emission control methods in the industry. Another goal of the thesis was to produce a survey of fugitive emissions in the terminal area according to the LDAR-program and it was successfully achieved.

Keywords: Fugitive emissions, VOC-emission

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	VOC päästöt	2
2.1	VOC päästöjen seuranta	3
2.2	Päästöjen raportoiminen	4
3	Pistepäästöt	6
3.1	Varastosäiliöt	6
3.2	Varastosäiliöön liittyvä laitteisto	9
3.3	Laskennalliset päästöt	11
4	Hajapäästöt	12
4.1	Hajapäästöjen hallintamenetelmät	13
4.2	Mittaustavat	15
4.2.1	Vuodonmittausmenetelmät	16
4.2.2	Optiset kuvantamismenetelmät	19
5	Mittauksen suorittaminen	22
5.1	Mittauksen suorittaminen	24
5.2	Tulosten tulkinta	25
6	Jatkotoimenpiteet alueella	27
6.1	Päästöjen vähentäminen	27
6.2	Yhteenveto	29
	Lähteet	30

Lyhenteet

- VOC: (Volatile Organic Compounds) Tarkoittaa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joiden kiehumispiste on alle 250 °C
- NM VOC: (Non Methane Volatile Organic Compounds) Tarkoittaa haihtuvia orgaanisia VOC yhdisteitä, joiden laskusta on poistettu metaani.
- EEA: (Europa Economic Area) On yhteismarkkina-alue, jolla toteutetaan tavaroiden, palveluiden ja työvoiman liikkuvuutta.
- BAT: (Best Available Techniques) on tekniikka, jota käytetään puhuttaessa tekniikasta, joka minimoi tuotantolaitoksen ympäristövaikutuksia.
- BREF: (Best Available Techniques Reference Documents) On dokumentti, johon kootaan parhaan käytössä olevan menetelmän tekniikat eu vertailua varten.
- EPA: (Environmental Protection Agency) Yhdysvaltain ympäristösuojelu virasto on terveydestä ja ympäristöstä vastaava virasto yhdysvalloissa.
- SYKE: (Suomen Ympäristö Keskus) Valtion tutkimus- ja asiantuntijalaitos, joka tarjoaa yhteiskunnan kestäväen kehityksen kannalta tarpeellista tietoa.
- IPPC: (Intergovernmental Panel on Climate Change) On perustettu ratkaisemaan hallitustenvälisen ilmastonmuutos kysymyksiä.
- LDAR: (Leak Detection and Repair) On U.S Environmental Protection Agencyyn kehittämä ohjelma, jonka avulla voidaan tunnistaa laitteista vuotavia hajapäästöjä.

1 Johdanto

Teollisessa toiminnassa hahtuvien yhdisteiden hallinta on tärkeässä roolissa. Kemikaalit voivat olla myrkyllisiä, aiheuttaa räjähdysvaaran tai olla ympäristölle haitallisia. Tämän takia on tärkeää varmistaa, ettei hallitsemattomia vuotoja pääse tapahtumaan.

Työ tehdään yhteistyössä laiteratkaisuja tarjoavan Oy Konwell Ab:n ja terminaali- ja palveluita tuottavan Oiltanking Finland Oy:n kanssa. Terminaali-alueelle tehdään haihtuvien hiilivetyjen kartoitus. Työ lähti Konwellin kiinnostuksesta kartoittaa varastosäiliöiden aiheuttamia emissioita. Työssä perehdytään tämän lisäksi varastosäiliön toimilaitteisiin ja selvitetään, voidaanko sopivalla laitevalinnalla vaikuttaa päästöjen määrään.

Mittauksen alueella suoritti Aeromon Oy, joka on kehittänyt mittausjärjestelmän, jonka avulla voidaan havaita jopa 70 erityyppistä teollisuuden ympäristöpäästöä. Mittausjärjestelmä on myös mahdollista kiinnittää droneen, jolloin isoja alueita voidaan kartoittaa tehokkaasti. Tällä tavalla päästään sellaisiin kohteisiin, joita muuten ei olisi mahdollista mitata. Alueella on tarkoitus kartoittaa yli 10 varastosäiliötä. Näiden säiliöiden kartoitus käsin, vaatisi huomattavasti suuremman työpanoksen.

Tässä työssä päästöjen hallintaa käsitellään ensisijaisesti teollisuuslaitoksen näkökulmasta. VOC päästöjen kartoitus tullaan tekemään terminaaliyritykselle, joka hoitaa kemikaalien siirtoa maa- ja meriliikenteen välillä. Osa kemikaaleista on öljyjalostuksessa käytettäviä tuotteita ja osa muun teollisuuden raaka-aineita. Lastauksien välissä tuotteita säilötään isoissa terminaalisäiliöissä, joiden päästöt ovat tämän työn kiinnostuksen kohteena.

Alueelle tullaan tekemään hajapäästökartoitus, joten työssä keskitytään ensisijaisesti hajapäästöjen kartoitusmenetelmiin. Kartoituksen tavoitteena on löytää

mahdollisia vuotokohteita, jotka johtuvat vuotavasta laitteesta. Toinen työn tavoite on tutustua eri venttiilityyppeihin ja selvittää niiden vaikutusta hajapäästöihin. Tämän johdosta työssä käsitellään myös jonkin verran pistepäästöjä ja laskennallisia päästöjä.

Päästöjen hallintaan käytetään uusimpia saatavilla olevia ohjeistuksia, joita tarjoaa Euroopan ympäristökeskus (EEA) ja Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto (EPA). Uusin hajapäästöjen hallintaan liittyvä dokumentti, joka on vuodelta 2019 selvittää uusinta saatavilla olevaa mittaustekniikkaa ja päästöjenhallinta menettelyä.

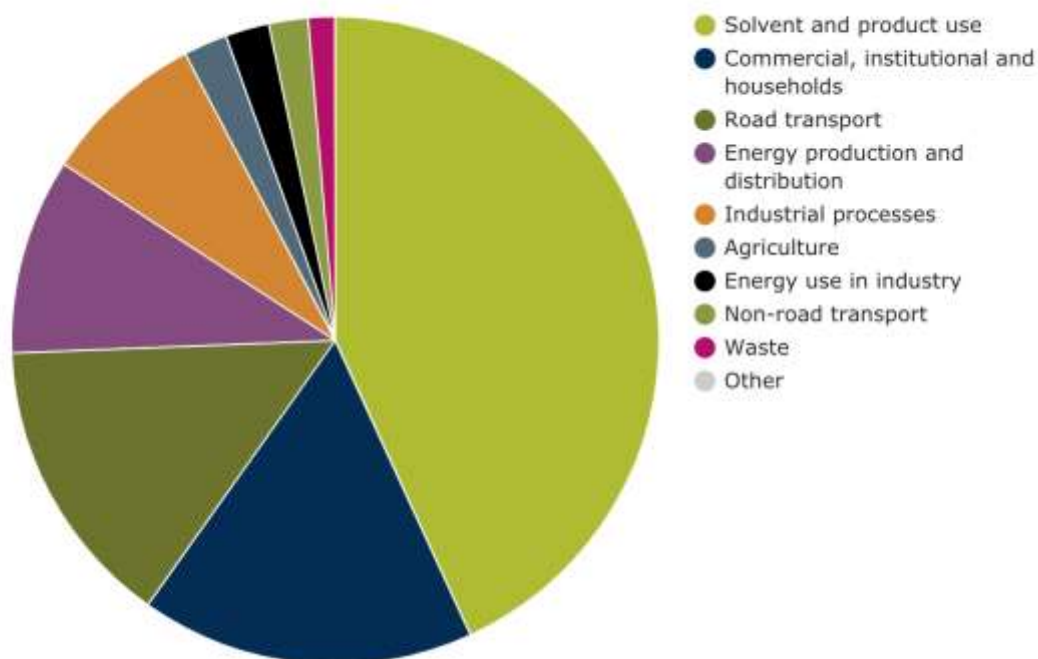
2 VOC päästöt

Haihtuvat hiilivedyt, eli VOC (Volatile Organic Compounds) -yhdisteet ovat orgaanisia hiilivetyjä, joiden höyrynpaine on yli 10 pascalia, 20 °C:n lämpötilassa. Toinen tapa määritellä haihtuvat hiilivedyt on poistaa laskelmista metaani. Tällöin yhdisteitä kutsutaan NMVOC-päästöiksi (Non Methane Volatile Organic Compounds) [1].

Haihtuvia yhdisteitä syntyy monesta eri yhteiskunnan toiminnoista, kuten liikenteestä, energiatuotannosta, maataloudesta, teollisuudesta ja myös luonnosta. Teollinentuotanto ja hyödykkeiden kuluttaminen yhteensä vastaa EEA-selvityksen mukaan puolta Euroopan alueen VOC-päästöistä.

Suurin yksittäinen NMVOC-päästöjä aiheuttava toiminta liuottimet ja tuotteiden kuluttaminen. Muita tärkeitä päästöjen aiheuttajia ovat asuntojen lämmittäminen ja logistiikka. Suoraan öljy- ja kemiantuotteiden varastoinnista johtuvat päästöt selittävät noin 10 % kokonaispäästöistä [2].

Chart – Sector share of non-methane volatile organic compounds emissions



Kuva 1. NMVOC-päästöjen jakautuminen eri sektoreiden kesken [2].

2.1 VOC päästöjen seuranta

Teollisen toiminnan päästöjä seurataan niin kansallisella kuin kansainvälisellä tasolla. Kemianteollisuuden harjoittaminen suomessa on luvallista toimintaa, johon on haettava aluehallintovirastolta ympäristölupa. Luvassa annetaan määräyksiä toiminnan laajuudesta, päästöistä ja niiden vähentämisestä. Luvan myönnön yhteydessä tarkistetaan, että toiminta täyttää ympäristösuojelulain pykälät (527/2014).[3] Toiminnan harjoittajan vastuulla on olla selvillä päästöjen määristä ja noudatettava luvassa annettuja määräyksiä ja raportoitava niistä ELY-keskukselle.

Ympäristösuojelulaki uudistui 2014, kun EU:n uusi teollisuuden päästädirektiivi (2010/75/EU) otettiin käyttöön. Samalla otettiin käyttöön parhaan käyttökelpoisen teknologian menettely, eli BAT-menettely. Menetelmän tarkoituksena on päivittää päästörajoja aina parhaan käytössä olevan menetelmän mukaan toimiala kohtaisesti. EU päästädirektiivi vaatii jäsenmaitaan keräämään tietoja

päästöistä, uusista tekniikoista ja kulutuksesta. Tiedoista tehdään BREF-asiakirjoja (Best Available Techniques Reference Document), joita tämän jälkeen vertaillaan EU:n kanssa IPPC-paneelin toimesta. Saatujen tulosten perusteella muutetaan kansallista ympäristölainsäädäntöä vastaamaan kansainvälistä tasoa. Toiminnanharjoittajalle tämä näkyy suoraan ympäristöluvassa kiristyvine vaatimuksineen. Suomessa tätä prosessia organisoii Suomen ympäristökeskus (SYKE) [4].

Toinen merkittävä uudistus päästöjen tarkkailussa tuli, kun EU otti päästörekisterit käyttöön vuonna 2006 (166/2006). Direktiivissä jokainen jäsenmaa veloitetaan tekemään päästöinventaario ja raportoimaan niistä EU:lle. Tiedot kerätään yhteiseen E-PRTR-rekisteriin, jota ylläpitää Euroopan ympäristökeskus. Rekistereitä on myös kansallisia ja alueellisia. Suomen kansallisena päästörekisterinä toimii VAHTI. Suomi tuottaa joka vuosi yhteenvedon päästöistä ja toimittaa sen eteenpäin E-PRTR rekisteriin. Rekisterien on oltava julkisesti saatavilla, ja niistä on käytävä ilmi laitos ja siitä aiheutuvat päästöt. [5]

Teollisuuden VOC-päästöjä on rajoitettu EU-tasolla direktiivillä (1994/63/EC). Direktiivi koskee polttoaineen varastointia ja jakelua harjoittavia toimijoita ja siinä annetaan teknisiä määräyksiä varastosäiliöiden suunnittelua ja operointia varten. Tätä direktiiviä on päivitetty tekniikan ja mittausmenetelmien kehittymisen myötä vuosina 2013 ja 2014 [6].

Ympäristöluvan asettamiin VOC päästöarvoihin vaikuttaa myös asetuksen 64/2015 mukainen toimiala ja tuoreimmat BREF-asiakirjat. Neste ja kaasumaisien aineiden varastoinnista viimeisin BREF on vuodelta 2005, mutta uusi asiakirja on valmisteilla. [7, 8]

2.2 Päästöjen raportoiminen

Euroopassa päästöjen arvioinnissa luotetaan melko paljon toiminnanharjoittajan kykyyn arvioida omia päästöjään. Toimijan on käytettävä laitoksen päästöjen mittaamiseen ajankohtaisia ja standardoituja mittaustapoja, jotka viranomaisen

hyväksyy. Yksi paljon käytetty standardi on EN 15446:2008, jossa määritellään prosessiteollisuuden mittaustapoja. Tarkkailuasiakirja JRC (Reference Report on Monitoring) vuodelta 2018 kuvaa ilmaan ja veteen aiheutuvien päästöjen seurantaa.

Ympäristöluvassa määritellään aina kokonaispäästöarvo, jota laitos ei saa ylittää normaaliolosuhteissa. Kokonaispäästöarvo määritetään uusimman teknologian mukaan, jotka ovat kuvailtu BAT asiakirjassa toimialakohtaisesti. BAT asiakirjassa on kuvattu uusin tehokkain ja taloudellisesti kilpailukykyisin teknologia. Jos uusien menetelmien soveltaminen tulee kohtuuttoman kalliiksi, on toiminnanharjoittajalla oikeus hakea alempia päästörajoja määrääjäksi. Tällöin on hakemukseen perusteltava hyvin, miten tulevaisuudessa päästörajoihin tullaan pääsemään. [9, s. 15]

Suoraan terminaaliyrityksen päästöjä määrittäviä BREF asiakirjoja ei ole, mutta varastointia ja kemikaalien käsittelyä sivuavia asiakirjoja on useampia. Varastojen päästöt EFS (Emission From Storage) kuvailee säiliöiden teknisiä ominaisuuksia, kemikaalien varastointi- ja siirtokeinoja sekä onnettomuuksien ehkäisyä. Asiakirja on vuodelta 2006 ja odottaa tällä hetkellä uuden raportin aloittamista. Ehkä tuorein kuvaus emissiopäästöjen tarkkailusta on kemikaaliteollisuuden jätekaasujen käsittely BREF (Common Waste Gas Treatment in the Chemical Sector WGS), jossa kuvataan uusimpia mittaustapoja ja menetelmiä hallita ilmaan aiheutuvia VOC päästöjä. [4]

Yhdysvaltojen ympäristösuojeluvirasto (EPA) on tuottanut hyviä protokollia laitteiden päästöjen mittausta varten. Alkuperäinen raportti on vuodelta 1995 (EPA-453/R-95-017), jossa kuvataan tarkasti eri laitteiden mittaamista öljyteollisuudessa. Uusin versio raportista on tuotettu vuonna 2015, ja siinä on kattava kooste eri laitteiden aiheuttamista keskiarvopäästöistä.

3 Pistepäästöt

Teollisuuden VOC-päästöjä käsitellään yleisesti piste- ja hajapäästöinä. Päästölähteet luetaan pistepäästöiksi, jos ne voidaan kanavoida yksittäisen prosessin osaan tai laitteeseen. Hajapäästöt muodostuvat monesta eri yksittäisestä laitteesta, jotka vuotavat joko tahattomasti.

Jako kahteen eri päästöluokkiin tehdään, koska erilaisia päästötyyppejä mitataan ja hallitaan eri tavalla. Pistepäästöjä vähennetään usein korjaamalla rikkinäiset laitteet tai lisäämällä uutta parempaa tekniikkaa. Hajapäästöjä hallitaan tarkkailemalla useammin laitteita ja käyttämällä prosessissa vuotamattomia laitteita.

Pistemäisiä päästöjä hallitaan uuden laitoksen paremmalla suunnittelulla tai optimoimalla laitoksen jo olemassa olevia prosesseja paremmaksi. Käytetyin prosessin parannusmenetelmä on lisätä adsorptio tai suodatus ennen johtamista ympäristöön. Se kuinka paljon pistepäästöjä lopulta saa prosessista syntyä, määritellään usein prosessi- ja kemikaalikohtaisesti. [10]

3.1 Varastosäiliöt

Terminaaliyrityksessä kemikaalien varastoiminen ja siirtäminen on keskeinen osa tuotannon toimintaa. Suurin osa kemikaaleista saapuu säiliöaluksella satamaan, josta tuotteet sitten siirretään putkiston avulla varastosäiliöihin odottamaan jatkokuljetusta. Pääsääntöisesti siirrettävät kemikaalit ovat nestemäisessä tai kaasumaisessa muodossa ja niiden varastointiin käytetään maanpäällisiä varastosäiliöitä.

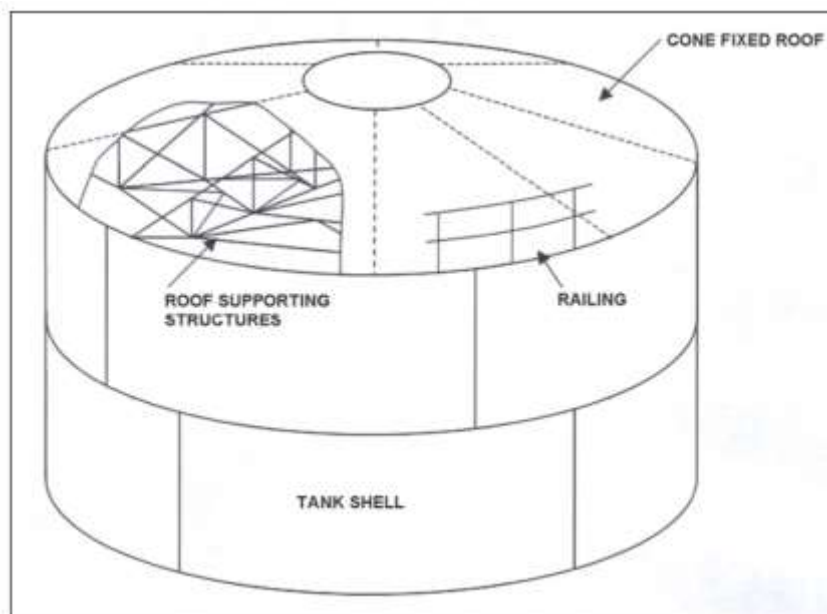
Tuotteiden lastauksen ja purkamisen yhteydessä aiheutuu aina hieman hallittuja VOC päästöjä. Kemikaalin siirrossa käytettävät laitteet ja liittimet eivät ole täysin tiiviitä ja päästävät kaasuja aina hieman ympäristöönsä. Kemikaalin lastauksen aikana varastosäiliön ilmatila pienenee ja kaasut on johdettava pois säiliöstä.

Monesti kaasujen poisto tapahtuu ulkoilmaan, jos erillistä keräilyjärjestelmää ei ole käytössä [16].

Pienempiä päästöpurkauksia aiheuttaa monet eri tekijät, kuten nesteen lämpötilan muutokset, neste pintojen heiluminen, näytteiden ottamiset ja puhdistusoperaatiot. Näitä päästöjä voidaan vähentää käyttämällä kemikaalille sopivia säiliöitä ja huomioimalla suunnittelussa paremmin päästöjä aiheuttavat ilmiöt. Jos säilöttävä kemikaali on helposti haihtuvaa ja säiliö on aurinkoisella paikalla, voidaan säiliön värivalinnalla vaikuttaa paljon päästöjen määrään. On hyvä muistaa, että päästöt ympäristöön eivät ole ainoastaan kasvuhuonekaasujen kannalta huono asia, vaan aiheuttavat usein myös merkittävää rahallista menetyksiä. [16]

Yleisimmät isojen kemikaalimäärien varastointiin käytetyt maanpäälliset säiliöt ovat pystylieriömäisiä, paikalleen rakennettavia säiliöitä. Säiliöt hitsataan tasaiselle pohjalle paikalleen teräslevyistä yleensä SFS-EN 14015 standardin mukaisesti käyttämällä SFS 2679-standardin mukaista perustamistapaa. Säiliöt ovat tyypillisesti avoimia, kiinteäkattoisia tai kelluvakattoisia. Avomallisia säiliöitä voidaan käyttää vähän haihtuvien yhdisteiden kanssa, kuten lieteen tai kemikaalipitoisen jäteveden kanssa. Avomalliset säiliöt ovat kuitenkin päästöjen kannalta epäedullisia, joten niitä tulisi välttää aina kun mahdollista. [16]

Yleisin varastosäiliötyyppi terminaaliyrityksessä on kiinteäkattoinen pystylieriösäiliö. Säiliö koostuu tasaisesta pohjasta, tankin kuoresta, ulkoisista toimilaitteista ja tukirakenteista. Kiinteäkattoisia säiliöitä on kolmea eri tyyppiä: avoimet kiinteäkattoiset säiliöt, matalapaine säiliöt (2,5–20 mbar) ja korkeapainesäiliöt (2,5–56 mbar). Matala- ja korkeapaineiset säiliöt on varustettu lähes aina ”hengitysventtiilistä”, joka säätelee säiliön painetta. Avoimissa kiinteäkattoisissa säiliössä voidaan käyttää myös suoran putkea, jonka kautta säiliö pääsee vapaasti hengittämään. [16] Monesti viranomaisten silmissä ilman hengitysventtiiliä varustettu kiinteäkattoinen säiliö vastaa päästöiltään avointa säiliötä ja näin kaikki säiliöstä aiheutuvat päästöt tulee laskea pistemäisiksi ”suunnitelluiksi” päästöiksi.



Kuva 2. Pystylieriömäinen kiinteäkattoinen varastosäiliö, joka on hitsattu teräslevyistä paikan päällä [16].

Paras tapa säilöä nestemäisiä kemikaaleja, etenkin helposti haihtuvia yhdisteitä on käyttää kelluvakattoisia säiliöitä. Kiinteän katon lisäksi säiliöön asennetaan kevyt välikatto, joka kelluu suoraan nestepinnan päällä pienentäen kaasutilaa. Välikatto on rakennettu yleensä 20–25 % säiliön pinta-alasta koostuvasta ponttonirakenteesta. Katosta voidaan tehdä myös hieman kalteva, jolloin kelluvan katon päälle kertyvä vesi saadaan johdettua pois. Kelluvan välikaton asentaminen kiinteäkattoiseen säiliöön vähentää hajapäästöjä vähintään 97 % ilman merkittäviä toimenpiteitä. [16, s.288]

Toisinaan kelluvaa kattoa ei ole mahdollista asentaa kemikaalien ominaisuuksista johtuen. Esimerkkinä Oiltankingilla käytetyt monomeerit ja akrylaatit, jotka stabiloidaan inhibiitin avulla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että säiliössä on oltava riittävästi happea, jollei polymeroitumista pääse tapahtumaan varastoinnin aikana. Tämän tyyppisissä tapauksissa joudutaan käyttämään muita päästöjenvähennysmenetelmiä.

3.2 Varastosäiliöön liittyvä laitteisto

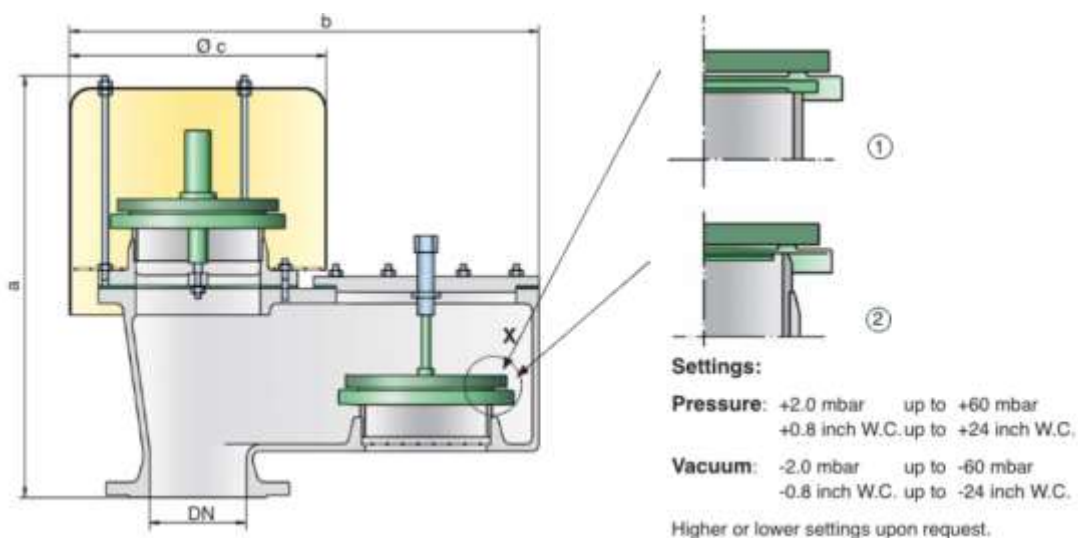
Varastosäiliön toimilaitteilla voi olla merkittävä vaikutus hajapäästöjen määrään. Nykyaikaisessa varastosäiliössä koostuu useista toimilaitteista, joiden tehtävä on huolehtia säiliön painetasosta, lämpötilasta, pinnan tasosta ja tuotteiden siirtämisestä. Yleisin toimilaitteiden liittämistapa säiliöön on laippaliitos. Laippaliitos koostuu kahdesta toisiinsa liitetystä metallisesta laipasta, joiden väliin on asennettu yleensä monikerrostiiviste. Tiiviste saattaa alkaa ajan saatossa vuotamaan. Näitä paikkoja olisi hyvä säännöllisesti seurata ja jos mahdollista käyttää hitsattavaa liitostapaa. Yleisesti toimilaitteiden huoltaminen tulisi olla säännöllistä, jotteivat vikaantuneet laitteet ala vuotamaan kaasuja ympäristöön.

Toisinaan varastoitava kemikaali on ympäristölle erittäin haitallista tai päästöt ilmaan halutaan minimoida ja tällöin käytetään yleensä säiliössä kaasujen keräilyjärjestelmää. Keräilyjärjestelmä imee vakuumin avulla ylimeneviä kaasuja talteen varastointisäiliöön tai erilliseen polttolaitteeseen. Lisäksi toimilaitteiden osalta voidaan käyttää ”vuotamattomia” kaksoistiivisteellä varustettuja laitteita, jotka usein on valmistettu paremmin korroosiota kestävästä teräksestä. Pumpuja on myös saatavilla koteloituina versioina, joissa pumpun poksiiviste on koteloitu tai pumppu on muuten täysin hermeettinen.



Kuva 3. Keräilyjärjestelmä imee säiliöstä höyrystyvän kaasun talteen. Punainen nuoli osoittaa ylimeno putkea, jonka kautta höyrystyneet hiilivedyt kerätään talteen [19].

Myös toimilaitteiden tiiveydellä ja niiden toimintakunnolla on merkitystä päästöjen määrään. Kiinteäkattoisissa säiliöissä hengitysventtiilin rakenteeseen ja oikeaan tyyppiin on tärkeä kiinnittää huomiota. Venttiilin tiivisteiden tulisi olla aina hyvät ja puhtaat, jottei ohivuotoa pääse tapahtumaan. Lisäksi säätörajat tulisi asettaa niin, ettei venttiili pääse avautumaan turhaan. Jos säiliön ilmatilaa säädetään esimerkiksi typen avulla, on venttiilin säätörajojen tarkkuudella suuri merkitys.



Kuva 4. Hengitysventtiili koostuu kahdesta eri lautasventtiilistä, joiden kautta venttiiliin ”hengittäminen” tapahtuu [20].

Yleisesti hengitysventtiileiden mitoituksia ja kyvykkyyttä säädetään API2000 ja ISO28300-standardeissa. Standardi antaa laskentaperusteet sille, miten venttiili tulisi mitoittaa ja valmistaa. API 2000:n mukaan hengitysventtiiliin tiiveys tulisi testata 75 %:n avautumispainetta käyttäen. Konwellin edustama Protego-venttiilivalmistaja on todennut rajan liian löyhäksi ja luonut oman PS-001 standardin, jossa tiiveys mitataan 90 %:lla avautumispaineesta. API 2521-standardin mukaan korkeapainesäiliössä avautumispaineen tarkkuuden säädöllä on iso merkitys kokonaispäästöjen määrään. Protego on tehnyt vertailu laskelman, jossa kahta eri tiiveysvaatimuksella varustettua venttiiliä verrataan keskenään. Vertailun mukaan 300m³:n kokoisessa säiliössä PS-001-standardilla varustettu venttiili voi vähentää 44 % päästöjä. [20]

3.3 Laskennalliset päästöt

Jos päästöjä ei ole mahdollista suoraan mitata, tulee niitä arvioida laskennallisesti. Monesti varastosäiliöön on asennettu jo lähtökohtaisesti riittävä määrä mittalaitteita, joiden avulla arvio päästöistä voidaan laskea. EPA on tehnyt kattavan selvityksen varastosäiliöiden laskennasta AP 47-dokumentissa, jota on päi-

vitetty alkuperäisestä julkaisusta useamman kerran. Laskennassa tulisi huomioida eri asioita kuten säiliön rakenne, täyttöjen määrä, varastoitavan aineen ominaisuudet ja vallitsevat ilmasto-olosuhteet. EPA on tuottanut laskennan helpottamista varten TANKS-sovelluksen, jolla laskenta voidaan suorittaa. Vaikka EPA itse mainitsee, että ohjelmisto on jo hieman vanhentunut, saadaan sillä silti vielä melko hyvä käsitys eri säiliöiden aiheuttamista päästöistä. [25]

Taulukko 1. EPA jakaa varastosäiliön päästöjen arviointi menetelmät kolmeen eri tasoon [24].

Taso	Menetelmän kuvaus	Sovellus kohde	Vaatimukset tiedolle
1	Suora mittaus	Katettu ja hengitysventtiilillä varustettu säiliö	Ainesosan konsentraatio ja virtausnopeus(EPA:n 21 menetelmä)
2	Tankkikohtainen mallinnus	Kaikki polttoaine varastosäiliöt	Tankin tyyppi, tankin mitat, säilötyn nesteen ominaisuudet, ainesosan konsentraatio, tankin kunto tieto ja käyttöaste
3	Perus tankin malli	Ei koske jalostamon ICR päästöarviota	

Säiliöön kuuluvien toimilaitteiden päästöjä on hieman haastavampi arvioida, koska vuotopäästöjä ei usein voida mitata jatkuvatoimisesti. Tällöin toimilaitteille tulisi tehdä suora mittaus EPA 21-menetelmää käyttäen. Mittausmenetelmän tuloksena toimilaitteelle voidaan määrittää päästökerroin, jota voidaan käyttää laskennallisten päästöjen tukena. Jos mittausta ei ole järkevää tai mahdollista tehdä, voidaan arvoina käyttää EPA:n vuonna 1995 tekemiä päästökerroin-arvioita eri toimilaitteille.

4 Hajapäästöt

Hajapäästöt ovat päästöjä, jotka syntyvät monesta pienestä päästölähteestä. Tyypillisiä hajapäästölähteitä ovat eristämättömät laipat ja venttiilit, jotka ”hengittävät” kaasuja ympäristöönsä. Päästöt ovat vaikeasti hallittavia, koska niiden ne ovat usein melko pieniä ja niiden mittaaminen ei ole jatkuvatoimista. Niistä muodostuu kuitenkin merkittävä osa tuotantolaitoksen VOC päästöistä. EPA on arvioinut, että tyypillinen öljyjalostamo päästää vuodessa keskimäärin 600–700

tonnia VOC päästöjä. [11] Jos tämän tonnimäärän kertoo valmiiden tuotteiden hinnalla voi kuvitella, miten iso rahallinen menetys on päästää tuotteet taivaalle.

Koska hajapäästöjä ei voida mitata jatkuvatoimisesti, voidaan niiden määrää kartoittaa ainoastaan laitekohtaisten päästökertoimien avulla. Päästökertoimet saadaan tekemällä eri toimilaitteille mittaus, jossa laitteen vuoto nopeus saadaan määritettyä kemikaalin pitoisuuden ja ajan suhteen. Jos laitos ei ole suuri tai karkeampi arvio laitoksen keskimääräisille hajapäästöille riittää, voidaan lukuina käyttää valmiita kirjallisuudesta saatavia päästökertoimia.

On kuitenkin huomattu, että suurin osa hajapäästöistä syntyy itse asiassa tiivistevuodoista tai vikaantuneista toimilaitteista. Tästä syystä käytännössä hajapäästöjen hallinta perustuu säännöllisen hallintamenetelmän käyttöön. Laitoksella tehdään säännöllisin väliajoin mittauskierros, jossa vikaantuneet laitteet paikannetaan. Tämän jälkeen laitteet korjataan ja kirjataan huolellisesti ylös.

4.1 Hajapäästöjen hallintamenetelmät

Hajapäästöjen tarkkailua varten olisi hyvä luoda suunnitelma, jota toteutetaan systemaattisesti tietyn väliajoin. Monesti tuotantolaitoksessa on jonkinlainen käytäntö jo valmiiksi, koska vuotojen seuraaminen on tärkeää osa henkilöstöturvallisuutta ja laitoksen käytettävyyttä.

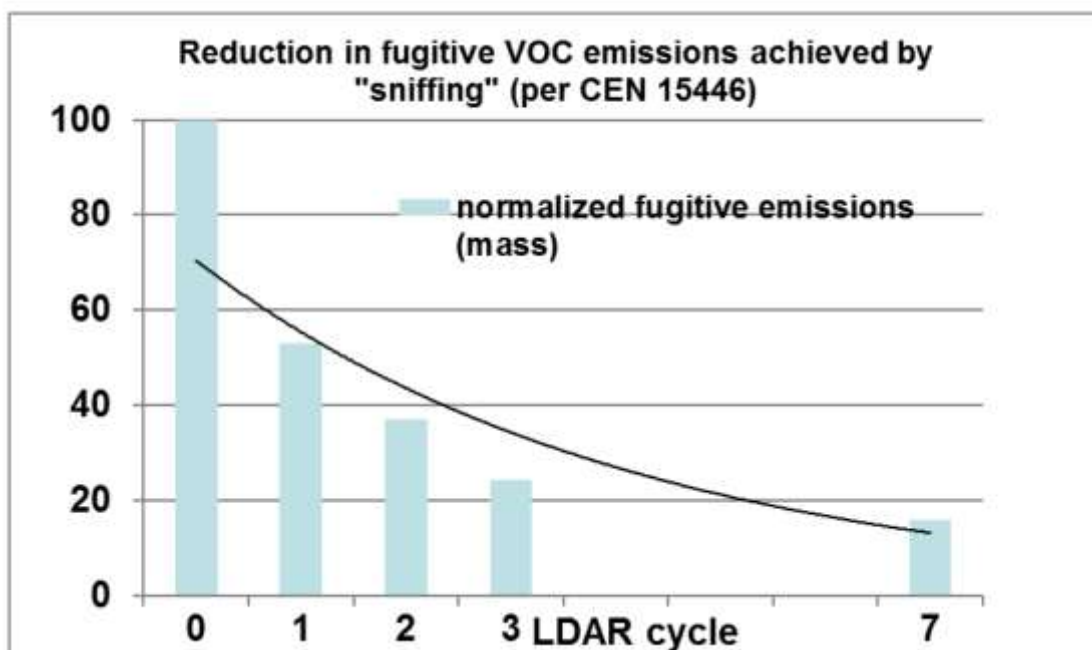
Laitevuotoja varten tulisi luoda vuotojen havaitsemis- ja korjaamisohjelma eli LDAR-menettely. Ohjelman käyttö määritellään aina tietylle jaksolle, joka kestää tyypillisesti 1–5 vuotta. Laitoksesta tulisi tunnistaa kriittisimmät laitteet, jossa vuoto olisi kaikkein vakavinta, ja priorisoida huollot näiden taulukoiden avulla.

Ohjelma koostuu viidestä eri perusosasta:

1. Laitteiden tunnistaminen: määritellään laitteet PI-kaaviosta tai muulla tavalla.

2. Vuodon määrittely: vuotorajan määrittäminen olemassa olevan standardirajan mukaan.
3. Kemikaalien mittaaminen: mitataan tietyin väliajoin oikeilla standardeilla kohteet.
4. Korjataan vuoto: vuoto korjataan mahdollisimman nopeasti, mielellään 5 päivän aikana nopea korjaus ja 15 päivän aikana lopullinen korjaus.
5. Mittausten tallessa pitäminen: pidetään tallessa mittaukset ja päivitetään puuttuvat laitteet PI-kaavioihin ja osataulukoihin. [11]

EPA arvioi, että tämän tyyppisen ohjelman käyttöönotolla saavutetaan keskimäärin 63 %:n hajapäästöjen vähennys. Joissain yksittäisissä tapauksissa päästöjä on saatu vähennettyä jopa 90 % [11].



Kuva 5. Yhden eurooppalaisen teollisuusyrityksen toteuttama LDAR ohjelmien sarja, jossa päästöt VOC päästöt ovat vähentyneet merkittävästi. [15]

Uusimpien menetelmien raportit korostavat, että mittaukset kohteista tulee tehdä aina tunnetun standardin mukaisesti. Toisin sanoen mittaukset tarkkailua varten tulee tehdä ”haistelumenetelmällä”, joka on kuvattu standardina EN 15446 tai vaihtoehtoisesti ”EPA Method 21”-metodin mukaan.

Raporteissa on puhuttu paljon optisten menetelmien mahdollisuuksista. Optisilla kuvantamismenetelmillä on mahdollista kuvata laajoja alueita kerrallaan, ja seuranta voidaan tehdä jatkuvatoimisesti. Haasteina ovat kuitenkin laitteiston melko kallis hinta ja määrällisten mittausten epätarkkuus [10, 11].

4.2 Mittaustavat

Käytettävä mittaussuunnitelma tulisi valita aina halutun tulostarkkuuden ja mitattavan päästölähteen mukaan. Alueen hajapäästökartoitus, jossa etsitään mahdollisia vuotavia laitteita tai laitteen osia, voidaan tehdä monella eri menetelmällä. Määrällisiä analyysejä voidaan tehdä tällä hetkellä käytännössä ainoastaan laboratoriossa ottamalla yksittäisistä laitteista näyte. Toisinaan paras tapa arvioida päästöjä on lähestyä asiaa laitoksen taseiden ja laitevalmistajan standardien kautta.

Yleisin tapa tehdä hajapäästöjen kartoitus on ”haistelumenetelmä”. Menetelmä on standardoitu ja hyvin tunnettu, joten mittausten toistettavuus on hyvä. [10] Toisinaan laitoksissa mahdollisia vuotokohteita voi olla tuhansia. Tällöin käsin mittaaminen voi viedä kohtuuttoman paljon aikaa. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää droneja, joihin tarvittava mittalaitteisto on kiinnitetty. Juuri tämän tyyppisiä palveluita tarjoaa mittauksen suorittava Aeromon oy.

Jos päästölähteitä halutaan tarkkailla jatkuvatoimisesti, voidaan siihen käyttää optisia mittaussuunnitelmia. Kuva voidaan välittää suoraan operointihenkilökunnan saataville ja tämän avulla reagoida vuotoihin välittömästi. Tämän tyyppisiin menetelmiin päädytään usein, jos prosessissa käsitellään vaarallisia kemikalleja. Jatkuvatoimista mittausta voidaan toteuttaa tietyissä kohteissa jatkuvatoimi-

misella akulla toimivalla kaasumittarilla, joka jätetään mahdolliseen vuotokoh- teeseen. Jos mittari ottaa tietyin välein mittauksia ja jos se havaitsee raja-arvon ylittävän pitoisuuden, se hälyttää.

4.2.1 Vuodonmittausmenetelmät

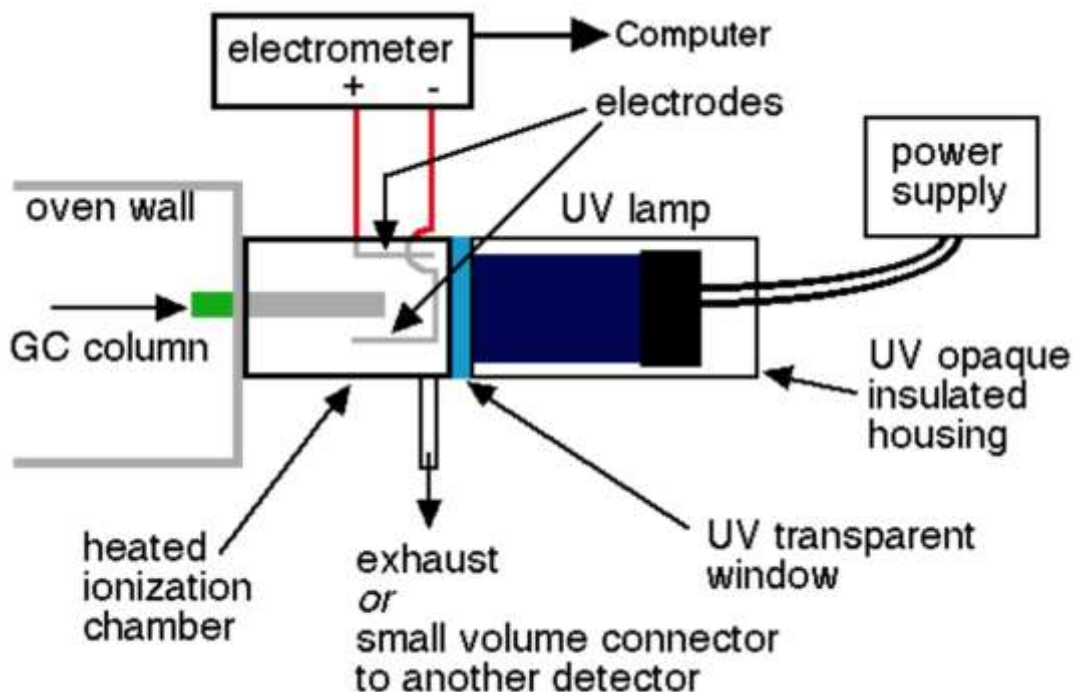
Suurin osa hajapäästöjen seurannasta tehdään kannettavilla näytteenottolait- teilla, jotka analysoivat kaasun koostumuksen heti. Laite kertoo näytteen pitoi- suuden ja erottelee havaitut kemikaalit digitaalisella näytöllään. Tämän tyyppi- sien laitteiden hinta on tullut viime vuosina niin edulliseksi, että laitteita voidaan hankkia jokaiselle työntekijälle erikseen. Laitteen suosio perustuukin varmasti osittain siihen, että sitä voidaan kuljettaa prosessialueella mukana ja tehdä hel- posti paikallinen mittaus, jos vuoto havaitaan.

Yleisimmät kannettavat laitteet perustuvat yhdisteen ionisointikykyyn. Yhdiste imetään putken avulla ionisaatiokammioon, jossa se altistetaan UV-valolle. Yh- diste ionisoituu ja muuttaa varaustilaansa, jonka muutoksen detektori kykenee havaitsemaan. Tämän tyyppistä mittausta kutsutaan ionisoitumisen mukaan PID (photoionization detector) -mittaukseksi. PID-mittauksella saadaan nopeasti kuva, jos laite vuotaa, mutta sen erottelukyky eri komponenttien välillä ei ole ko- vin hyvä. [12]

Toinen hyvin yleinen kannettava mittalaite on liekkiin perustuva FID (flamel- onizator detection). Laite voi näyttää fyysisesti samalta, mutta UV-valon altistuk- sen sijasta se polttaa komponentin vedyn avulla kammiossa sijaitsevassa ken- nossa. Polttoon perustuvalla mittauksella voidaan analysoida hieman laajempi skaala eri hiilivety-yhdisteitä.

Molemmilla edellä mainitut mittaustavat yltyvät kuitenkin vain 10–10 000 ppm tarkkuuksiin rajatuilla kemikaalikattavuudella. Laitteiden avulla voidaan paikan- taa vuotava kohde, mutta ei arvioida vuodon määrää. LDAR-käytäntö ohjeistaa

asettamaan vuodolle tietyn vuodon rajan, jonka ylittävät pitoisuudet tulkitaan vuotavaksi laitteeksi. Tyypillisimpiä rajoja venttiileille ja laipoille ovat 500 ppm ja 1000 ppm. [11]



Kuvassa PID mittauksen toimintaperiaate. Laitteistot mahtuvat pieneen tilaan ja ovat huoltovapaita. [11]

Jos halutaan analysoida tarkasti tietyn laitteen vuodon määrää, voidaan se tehdä pussittamalla laite. Laitteen ympärille kiedotaan tiiviisti materiaalia, joka ei läpäise tutkittavaa kemikaalia. Materiaalina voi olla esimerkiksi pussi, joka on kiinnitetty teipillä tiiviisti laitteen ympärille. Pussitukseen on mahdollista käyttää kolmea eri menetelmää.

Pussiin ajetaan tietty määrä inerttiä kaasua ja pussista ulostuleva virtaus mitataan tarkasti. Vuoto annetaan tasaantua, joka jälkeen pussin sisältä otetaan näyte. Näyte voidaan analysoida joko kannettavalla analysilaitteella tai laboratoriolaitteistolla. Laskentaa varten mittauksessa tulee seurata myös lämpötilaa

ja painetta. Jos näytettä vuotaa nestemäisenä pussiin, tulee se kerätä ja ottaa laskennassa huomioon. [13]



Kuva 6. Esimerkki pussitusmenetelmän järjestelystä. [13]

Aikaisemmin suosittu tapa kartoittaa päästöjä on tehdä mittaus merkkikaasumetelmällä. Inertiä SF₆-merkkikaasua vapautetaan tunnetulla päästönopeudella vuotokohteeseen nähden tuulen yläpuolelta. Saman aikaisesti näytteitä otetaan tasaisin välimatkoin astelluista näytteenotto paikoista tuulen alapuolelta. Näytteistä analysoidaan merkkikaasu, sekä vuotava komponentti. Merkkikaasun pitoisuuden perusteella voidaan määrittää vuodon suuruus. Mittausta varten tuulen pitäisi olla tasainen 4–8 m/s ja tuulen nopeuden tulisi olla tasainen. [15, s.8]

Merkkikaasumittaus on saanut kritiikkiä siitä, että merkkikaasuna käytetty rikkiheksafluoridi (SF₆) on itsessään erittäin voimakas kasvihuonekaasu. Näin ollen tämän menetelmän käyttöä ei enää suositella. Toinen kritiikki kohdistuu menetelmän laskentatapaan ja taustanäytteiden ottamiseen. Taustanäytteitä otetaan

kaksi ja niistä lasketaan keskiarvo. Jos toinen näyte eroaa huomattavasti toisesta, niiden keskiarvo myös heittää huomattavasti. Laskennassa näytteiden arvoista vähennetään taustanäytteiden keskiarvo, jolloin osa näytteistä saattaa muuttua nolla-arvoksi ja vääristää tuloksia. [15]

4.2.2 Optiset kuvantamismenetelmät

Mittatekniikan kehittyessä markkinoille on tullut laitteita, joilla voidaan havaita hiilivetyvuotoja infrapunavalon perusteella. Laitteet ovat normaalin videokameran kokoisia ja niillä on mahdollista havaita vuotoja turvallisen etäisyyden päästä. Kameroiden avulla pystytään valvomaan jatkuvatoimisesti paljon isompaa aluetta kuin perinteisillä näytteen ottoon perustuvilla mittauksilla.

OGI (Optical Gas Imaging) kamerat perustuvat infrapunavaloon, joka on rajattu suodattimen avulla vain tietylle aallonpituudelle. Haihtuvat hiilivedyt sisältävät useasti hiilivetyxidoksen, joka absorboi infrapunasäteilyä alueella 3,2–3,4 μm . Tämän tiedon perusteella laite muodostaa kuvan näytölle, jossa mahdollinen vuoto näyttää savulta.

Laitteita on otettu käyttöön useissa tehtaissa ja tutkimusta droneen kiinnitettävistä antureista on tehty. Tekniikan yleistymistä on toistaiseksi rajoittanut laitteiden melko kallis hankintahinta ja viranomaisten vaatimat raportointivaatimukset. OGI-kamera on luotettava käyttää, jos hajapäästö vuoto on suuruudeltaan 1–10 g/h. Laitteilla on saatu tuloksia myös pienemmistä pitoisuuksista, mutta toistettavuus tällä tasolla ei ole riittävän hyvä. [13]

Saksalainen tutkimusyhdistys tuotti selvityksen ”haistelumenetelmän” ja OGI-kameramittauksen käytöstä hajapäästökartoituksessa. Oppilasryhmät tekivät hajapäästömittauksia neljässä laitoksessa, useammassa eri yksiköissä. Eniten vuotohavaintoja tehtiin alle 1 g/h vuodoista ja mitatuin vuodon lähde oli venttiilin vuoto.

Tutkimuksessa havaittiin, että OGI-kuvaus on paras vaihtoehto isojen vuotojen kohdalla. Tutkimuksen mukaan kameralla saadaan jo melko luotettavia tuloksia yli 6 g/h vuotomäärillä, mutta tulosten luotettavuus vaihtelee paljon ympäristöolosuhteiden ja kemikaalin mukaan. Raportissa suositellaan, että kameramittaus otettaisiin osaksi sallittujen ”haistelumenetelmien” rinnalle, jota EN15446-standardissa kuvataan. [15]



Kuva 7. OGI kameralla kuvattu venttiili, jonka karan tiivisteestä vuotaa hiilivetyä [14].

Toinen tapa kartoittaa hajapäästöjen määrää on käyttää infrapunavaloon perustuvaa DIAL (Differential Absorption LIDAR) -menetelmää. Menetelmässä päästöjä mitataan lähettämällä lyhyitä laser- tai infrapunapulsseja päästöpilvää kohden. Päästöpilven eri komponentit heijastavat eri aallonpitoisuuksilla valoa takaisin, jonka avulla eri kemikaalit voidaan sitten tunnistaa. Kokonaispäästöt määritellään tuulen nopeuden ja esiintyvien pitoisuuksien perusteella. Mittauksia tehdään kerrallaan yhdelle tai kahdelle kemikaalille. Öljyteollisuudessa menetelmää käytetään usein alkeiden tunnistamiseen. Ultravioletin ja näkyvän valon alueella on mahdollista mitata muun muassa bentseeniä, tolueeniä ja ksyleenä. Menetelmällä on mahdollista tunnistaa päästölähteitä, jopa 800 metrin

etäisyydeltä. Tiettyjä kemikaaleja on mahdollista mitata jopa 10–50 ppb tasolla, jos olosuhteet ovat sopivat.

Mittaustuloksien luotettavuuteen vaikuttaa paljon ympäristön olosuhteet. Jos on sateita, sumuista tai näkyvyys muuten heikkoa, ei mittausta voida tehdä ollenkaan. Lisäksi mittauksen määrittystä varten ei saisi olla täysin tyyni keli, vaan tuulta pitäisi olla sopivasti. [15] EEA selvityksen mukaan tuulen nopeuden vaihtelu voi aiheuttaa jopa 30–50 % virhettä tulosten luotettavuuteen. Toinen selvityksen huomio oli, että monesti mittauksissa osa päästöpilvestä jää mittamatta, jolloin raportoidut tulokset ovat liian pieniä todelliseen vuotoon nähden [10].

Kolmas hieman samanlainen menetelmä on SOF (Solar Occulation Flux) menetelmä. Tässä menetelmässä ei käytetä erillistä valolähdettä vaan käytetään auringon valoa hyväksi mittauksessa. Laitteistolla mitataan auringon valon infrapunaspektriä ja muunnetaan se Fourierin-muunnoksen avulla taajuustasoon. Laite on kiinnitetty useimmiten autoon, jolla ajetaan päästöpilven ali ja kohdistetaan laite kohtisuoraan auringon valoon. Samalla mitataan tarkasti tuulen nopeutta ja auton paikkaa GPS:n avulla. Näiden tietojen perusteella ohjelma piirtää päästöpilven mallin kartalle. Samalla ohjelma hakee omasta tietokannasta erilaisia ilmakehän malleja, joilla se korjaa saatuja mittaustuloksia.

Tällä menetelmällä voidaan havaita olefiinejä ja alkaaneja, mutta sitä ei voida käyttää aromaattisiin yhdisteisiin. Mittaus tehdään useampana päivänä tyypillisesti 4–5 viikon sisällä. Mittauspäivät DIAL mittauksen tavoin tulee olla kirkkaita ja sateettomia. Myöskään tuulettomina tai sumuisina päivinä mittausta ei voida suorittaa. Toinen menetelmän heikkous on se, että mittauksen suorittajia ei ole kuin muutama maailmassa ja heidän tekemänsä mittaukset ovat melko kalliita [15]. Suurimmat epävarmuudet mittaukseen aiheuttaa tuulen nopeuden ja suunnan vaihtelut. EEA on arvioinut selvityksessään näiden olevan 35–40 %:n luokkaa [10].

5 Mittauksen suorittaminen

Insinööriyön aihe syntyi Konwellin tarpeesta selvittää mittausmenetelmiä, joiden avulla varastosäiliön emissiopäästöjä voitaisiin luotettavasti mitata. Mittausmenetelmien avulla tulisi pystyä kartoittamaan toimilaitteiden, kuten hengitysenttiileiden tiiveyttä ja kuntoa. Konwell myös edustaa ja jälleenmyy erästä saksalaista venttiilimerkkiä, joka lupaa tuotteiltaan parempaa tiiveyttä ja säädettävyyttä kuin kilpailijoillaan. Yksi kiinnostuksen kohde oli selvittää, voidaanko venttiilin parempi tiiveys havaita kenttäolosuhteissa käsimittauksin.

Oiltanking Finland Oy oli kiinnostunut projektista ja heillä oli tarvetta tehdä alueellaan hajapäästökartoitus. Alueella on kymmeniä kemikaalien varastointiin käytettäviä säiliöitä, jotka on varustettu hengitysenttiilillä. Venttiilit ovat eri-ikäisiä ja sisältävät monen eri valmistajan venttiileitä. Joitakin samaa kemikaalia sisältäviä säiliöitä oli myös useampia, joten vertailua säiliöiden kesken on mahdollista tehdä.

Ensin mittausmenetelmäksi ajateltiin optista kannettavaa FLIR GF620-mittauslaitetta, jolla vuoto voitaisiin tallentaa suoraan videotiedostoksi. Tämän tyyppistä kameraa on aikaisemmin käytetty hiilivetyjen havaitsemiseen Suomessa. Kameran vuokrausmahdollisuutta selvitettiin, mutta kameraa ei ollut mahdollista vuokrata. Laitteen hankinta olisi maksanut useita kymmeniä tuhansia, joten sitä ei ollut mahdollista tehdä.

Muita mahdollisia mittaustapoja pohdittiin ja mittauksen tekijäksi valikoitui Aeromon Oy. Yritys tekee hajapäästökartoituksia niin teollisuudessa, kuin myös muilla toimialoilla. Yritys suorittaa mittauksen ja tulosten analysoinnin valmiina palveluna. Mittauksen teettäminen ammattilaisella parantaa tulosten luotettavuutta ja selkeyttää tarvittavaa lupaprosessia ja logistiikkaa.



Kuva 8. Aeromonin mittausalusta on mahdollista kiinnittää kuvan mukaisesti droneen. [18].

Mittauksen toteutuksesta pidettiin kokous ja valittiin sopiva viikko, jolloin mittaus tulitisiin suorittamaan. Mittauksen onnistumisen kannalta sään tuli olla sateeton ja tuuli ei saisi olla puuskaista tai kovaa. Laitteiston kalibrointi tehdään paikan päällä ennen mittausta ja kartoitus tullaan tekemään yhden työpäivän aikana.

Yleisesti prosessialueella työskentely on riskialtista ja vaatii täten aina suunnitelman työtehtävistä ja niihin käytettävistä työvaiheista. Lisäksi alueella tulee olla tarvittava suojavarustus ja henkilöllä koulutus alueella toimimiseen. Ennen työn aloittamista työn valvoja myöntää luvan työn tekemiselle ja valvoo työn turvallista suorittamista. Dronen avulla tehtävästä mittauksesta tulee aina ilmoittaa ilmailulain (864/2014) mukaan viranomaiselle [17]. Kaikki osapuolet olivat hyvin tietoisia lupaprosesseista, ja niihin valmistuttiin asianmukaisesti.

Mittaus oli tarkoitus suorittaa säiliöiden päältä ja suoraan sen läheisyydestä lentämällä, josta mahdollinen vuoto pyritään havaitsemaan. Varastosäilöt sijaitsevat EX-alueen sisäpuolella aina muutaman säiliön joukkona. Työt, jotka tehdään

alueen sisäpuolella ja voivat aiheuttaa kipinä tai syttymävaaraa, tulee käsitellä aina erillisellä lupaprosessilla. Tässä tapauksessa työ katsottiin liian vaaralliseksi suorittaa dronella ja lentolupa evättiin. Tämän jälkeen pidettiin palaveri ja päätettiin suorittaa mittauksen turvallisemmin käsin kannettavalla mittauslaitteistolla.

5.1 Mittauksen suorittaminen

Mittaus suoritettiin kotkan terminaalilla aurinkoisena arkipäivänä. Mittauspäivänä tuulen nopeus oli 4–6 m/s ja tuuli tuli alueelle mantereen puolelta. Mittaus päätettiin tehdä pitkän näyteottosondin avulla erikseen säiliöiden ympäristöstä ja sitten hengitysventtiilien yli- ja alipainepuolelta. Mittaus haluttiin ottaa niin, että se on aina mahdollisimman läheltä mahdollista vuotokohdetta. Näin saataisiin alueella tehtyä LDAR-hajapäästökartoitus ja toisaalta selvitettyä hengitysventtiilien kunto. Mittausta ei tehdä niistä säiliöistä, joihin on päivän aikana tulossa lastausta tai purkua.

Ennen mittausta molemmat sensorit kalibroitiin kalibrointikaasulla. Kalibrointikaasuina käytettiin PID-mittarissa isobutyleeni ja NDIR-propaani. Nämä kalibrointikaasut ovat valmistajan suosittelemia, yleisesti tunnettuja kaasuja tämän tyyppisille sensoreille. Kalibroinnin pysyvyys tarkistettiin vielä toisen kerran mitaamisen jälkeen, jotta sensorit eivät ole kärsineet mittauksen aikana.

Mittaus suoritettiin säiliön päältä mukana kannettavan BH-12 mittalaitteen avulla. Näytesondi asetettiin ensin hengitysventtiiliin ylipainepuolelle ja odotettiin, että lukema mittauksessa pysyi vakaana. Sama toimenpide tehtiin alipainepuolelle, jonka jälkeen säiliö ”haisteltiin” mittasondilla muiden mahdollisten vuotojen varalta. Säiliöitä käytiin yhteensä läpi toistakymmentä usealla eri säiliöalueella.



Kuva 9. BH-12 mittausalusta, jonka avulla käsin mittaus suoritettiin [18].

Eräässä säiliöryhmässä päätettiin tehdä erikseen mittaus maasta käsin, koska havaitsimme viereisellä tieosuudella normaalista poikkeavan hajun. Säiliöiden ympärillä tehtiin kahdeksikon mukainen kierros, jonka aikana mittauksia otettiin. Vuotokohteeksi paljastui yksi huoltoluukku, joka vuosi tiivisteistään melko reilusti. Kuvaus saatiin suoritettua onnistuneesti yhden työpäivän aikana ja sovittussa aikataulussa pysyttiin kaikilta osin.

5.2 Tulosten tulkinta

Mittaus onnistui kokonaisuudessaan hyvin. Kemikaalipitoisuuksia havaittiin 0,1–1682 ppm väliltä ja kaiken kaikkiaan säiliöissä tiedettiin olevan yli 10 erilaista hiilivety-yhdistettä. Hengitysventtiileiden mittaukset otettiin hyvin läheltä mahdollisia vuotopaikkoja mittaussondin avulla. Venttiileissä, joissa kunto oletettiin olevan hyvä, havaitut pitoisuudet olivat luokkaa 0,1 – 5ppm. Tuloksista on nähtävissä, että jos pitoisuus ylittää rajan 100ppm, on vuoto ilmeinen. Myös LDAR-menetyksessä mainittu tyypillisin vuoto raja-arvo 500ppm ylittyi muutaman laitteen kohdalla. Saatujen tuloksien perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että jos

mittaus suoritetaan vastaavalla NDIR-tekniikalla, voidaan pitoisuudet yli 100ppm tulkita vuodoksi.

Tuloksien tulkinnessa on huomattava se, että nämä mittausteknologiat ovat indikaatiivisia ja kohdekaasujen täsmällinen tunnistaminen perustuu oletamaan siitä, mitä kohdekaasuja kussakin mittauspisteessä on läsnä. Säiliöt, joista mitaukset tehtiin, sisälsivät valmiita myyntikemikaaleja. Voidaan siis ajatella, että kemikaalien koostumukset ovat hyvin tunnettuja ja niiden laatu on varmistettu laboratoriossa ennen säiliöön lastaamista.

Suurin mittauksen epävarmuus tulee mittausolosuhteista, mitattavan kemikaalin oletuksesta ja mittauskohdasta. Näiden syiden takia määrälliset mitaukset eivät ole kovin luotettavia tehdä suoraan tämän tyyppisillä mittauksilla kohteesta. Jos tarkkaa laitteen vuotavuutta halutaan mitata, tulee kohde eristää ympäristöstä ”pussittamalla” niin, että vuodon keskimääräinen suuruus, ympäristön lämpötila ja kemikaalin tarkka koostumus on tiedossa. Mittaus tavat itsessään antavat kuitenkin suhteellisen luotettavia lukemia ja niitä voidaan EPA:n raportin mukaan käyttää laboratoriolaitteiden sijasta tulosten tarkasteluun, jos edellä mainitut parametrit ovat tiedossa. [13]

Mittalaitteiden itsensä epävarmuus voidaan jakaa kalibrointikaasun valmistustoleranssiin (10 %), sensorikohtaisiin havaintorajoihin, dynaamisiin mittausalueisiin sekä sensorikohtaisien ristivasteiden määrään. Sensorin havaitsema vaste muutetaan kohdekaasun pitoisuudeksi sensorinvalmistajan antamalla muutoskertoimella. Nämä ovat useasti oikeaa kertaluokkaa, mutta yleisesti suuntaa antavia. Mittaustuloksista on poistettu mitattujen komponenttien aiheuttamat ristivasteen. Sensoreiden ristivasteet eivät kuitenkaan välttämättä rajoitu näihin mitauksissa mukana oleviin komponentteihin. Tämä voi aiheuttaa pientä virhettä tuloksissa. [23]

6 Jatkotoimenpiteet alueella

Hajapäästökartoituksen avulla löydettiin muutama vuotava venttiili, jotka tulisi ottaa huoltoon mahdollisimman pian. EPA:n esittelemän LDAR hajapäästöhallinta ohjelman mukaan laitteiden korjaukselle tulisi asettaa selvä päivämäärä, jolloin korjaus tehdään. Yleensä korjaus tulisi aloittaa viiden päivän kuluttua vuodon havaitsemisesta ja lopullinen korjaus tehdä viimeistään 15 päivän kuluttua. Ensimmäisellä korjausyrityksellä voidaan yrittää pulttien kiristämistä tai muuta pientä toimenpidettä. Raportti myös mainitsee, että jos korjaus voidaan tehdä ”poraa ja napauta” -menetelmällä, kannattaa sitä yleensä kokeilla. Jos laitetta ei voida vaihtaa tai korjata ilman yksikön alasajoa, tulee se kirjata tehtaan järjestelmään niin, että laitteelle annetaan yksilöivä laite tunnus ja kirjoitetaan syy ja aikataulu, milloin laite korjataan. [11, s.13]

Toinen raportissa mainittava asia on, että hajapäästökartoitus tulisi suorittaa säännöllisin ajoin alueella perustuen laitteiden vuotomääriin. Tyypillinen kartoitus aikaväli on puolen vuoden välein. Kartoitus onnistuu esimerkiksi PID mitauksen avulla käymällä alue läpi vaikka operointihenkilön toimesta. Jos havaitaan yli 100 ppm pitoisuus, kirjataan laitevuoto ylös ja aloitetaan tarvittava korjausprosessi.

Jos alueella halutaan tehdä laitteiston vuotokartoitus, tulee se tehdä jotakin pussitusmenetelmää käyttäen. Tehdään pussitus riittävälle määrälle saman tyyppisiä laitteita ja lasketaan näille päästökerroin. Tämän tyyppistä kartoitusta ei ole tarvetta tehdä joka vuosi. Kertoimien käyttö ei poista hajapäästökartoituksen tarvetta, mutta on EPA:n ohjeistuksen mukaan tarkempi tapa mitata päästöjen suuruutta, kuin yleiset laitteiden päästökertoimet.

6.1 Päästöjen vähentäminen

Teollinen toiminta aiheuttaa aina päästöjä ympäristöönsä, ja laitoksesta löytyy aina kohteita, joita voidaan parantaa. Kemikaalien haihtuminen taivaan tuuliin aiheuttaa myös merkittäviä taloudellisia tappioita ei toivottujen päästöjen lisäksi.

Hajapäästöt ympäristöön on otettu viime vuosina paremmin tarkkailun alle ja aiheesta on tehty monta selvitystä viranomaisten toimesta. On odotettavaa, että VOC päästöihin puututaan tulevaisuudessa entistä hanakammin ja on järkevää suunnitella tulevat hankinnat niin, että ne täyttävät päästöstandardit myös tulevaisuudessa.

Näitä päästöjä voidaan parhaiten vähentää välttämällä ylimääräisiä pinnan ope-
rointeja ja ottamalla lastauksista aiheutuvat kaasut talteen. Kaikki säilöt tulisi
olla varustettu hengitysventtiilein ja käyttää aina mahdollisuuksien mukaan säili-
össä kelluvaa välikattoa. Mitä haihtuvampaa kemikaalia säilössä pidetään, sitä
isompi on kelluvan katon hyöty. Kelluvalla katolla varustettu säiliö vähentää ha-
japäästöjä kiinteäkattoiseen verrattuna vähintään 97 % [16, s.288]. Tietenkin
optimaalisin ratkaisu olisi rakentaa kaasujen keräilyjärjestelmä, mutta kustannus
sille saattaa olla mittava ja kaasujen käsittelyyn pitäisi rakentaa erillinen poltto-
uuni tai talteenottojärjestelmä.

Yksittäisten laitteiden tiiveydellä on myös suuri merkitys laitoksen kokonais-
päästöihin. Esimerkiksi keskimäärin öljyjalostamo päästää vuodessa 600–700
tonnia VOC päästöjä yksittäisinä hajapäästöinä [11]. Systemaattinen hajapääs-
töjen seuranta ja vuotavien laitteiden korjaaminen vähentää keskimäärin 63 %
hajapäästöjä [15]. Päästöt muodostuvat pääosin yksittäisistä vuotavista lait-
teista ja ne on helppo paikantaa kannettavan mittalaitteen avulla, jos alue käy-
dään systemaattisella tavalla läpi.

Myös yksittäisten laitteiden rakenteella on merkitystä. Monessa tapauksessa
laitteista on valittavana tuplatiivisteellä varustettu laite, jonka päästöt ovat huo-
mattavasti pienemmät. Esimerkiksi hengitysventtiileissä voidaan käyttää PS-
001-standardia API 2000-standardin sijasta. Tämän avulla päästövähennyksiä
voidaan saada 44 % tämän toimilaitteen osalta. Myös pienillä asioilla, kuten va-
rastosäiliöiden värillä on merkitystä. EPA:n teettämän tutkimuksen mukaan säi-
liön värin vaihtaminen harmaasta valkoiseksi vähensi päästöjä välillä 15–82 %
[16 s.126]. Säiliön värillä on enemmän merkitystä, jos laitos sijaitsee lämpimällä

vyöhykkeelle ja säilöttävä kemikaali on helposti haihtuvaa. Hajapäästöjen vähentäminen syntyy monesta pienestä toimenpiteestä, jonka yhteisvaikutuksena päästövähennyksiä saadaan aikaan.

6.2 Yhteenveto

Työn päätavoite oli selvittää mittaustapoja, joiden avulla hajapäästöjä voidaan kartoittaa. Toinen tavoite oli selvittää kuinka paljon säiliön suunnittelulla ja siihen liittyvillä toimilaitteilla on vaikutus päästöjen määrään. Hajapäästöjen kartoitus saatiin suoritettua alueella ja vuotavat venttiilit pystyttiin paikantamaan hyvin. Vuotojen kartoittamisessa pyrittiin käyttämään parasta saatavilla olevaa tekniikkaa.

Ensin suunniteltu lentolaitteen avulla tehtävä kuvaus olisi ollut mielenkiintoista toteuttaa, jotta olisimme kuvattua aluetta kattavammin. Tämän avulla olisimme voineet mallintaa muun muassa päästöjen liikkumista alueella. Onnistuimme kuitenkin tekemään käsin mittauksen avulla LDAR-menetelmän täyttävän hajapäästökartoituksen ja näin vioittuneet laitteet saatiin paikannettua.

Lähteet

1. Mitkä aineet luokitellaan NMVOC yhdisteiksi. Verkkoaineisto. Suomen Ympäristökeskus (SYKE). <<https://www.ymparisto.fi/download/no-name/%7BDDBC560C3-DE22-47B4-8D9A-AEEB0CEDF6C3%7D/99668>> Luettu 17.6.2021.
2. Air quality in Europe 2017 report. EEA Report No 13/2017. Verkkoaineisto. <<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>>. Luettu 17.6.2021.
3. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Verkkoaineisto. Ympäristölupa. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa>. Luettu 23.7.2021
4. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Verkkoaineisto. Ympäristölupa. <<https://www.ymparisto.fi/bat>>. Luettu 23.7.2021.
5. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Ympäristölupa. Verkkoaineisto. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Raportoinnit_ja_tietojen_ilmoittaminen/Paastotiedon_ilmoittaminen_paastorekistereihin_PRTR/Paastorekisterit>. Luettu 23.7.2021.
6. Petrol Storage & Distribution. Verkkoaineisto. <<https://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/petrol.htm>>. Luettu 23.7.2021.
7. Kuisma Jaakko. 8.6.2020. BAT-ajankohtaiskatsaus. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/emissions-storage>>. Luettu 27.7.2021.
8. Ympäristönsuojelulakin. 2015. 65/2015

9. BAT Reference Document for Common Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector. Verkkoaineisto. JRC
<https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-12/WGC_D1.pdf>
Luettu 26.9.2021.
10. Leak Detection and Repair. Verkkoaineisto. <<https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-02/documents/ldarguide.pdf>>. Luettu 26.9.2021.
11. RAE Systems 2013. The PID Handbook; Theory and Applications of Direct-Reading Photoionization Detectors (PIDs). Verkkoaineisto.
<https://www.raesystems.com/sites/default/files/content/resources/pid_handbook_1002-02.pdf>. Luettu 29.9.2021.
12. Protocol for Equipment Leak Emission Estimates. EPA-454/R-95-017. Verkkoaineisto. <<https://www3.epa.gov/ttnchie1/efdocs/equiplks.pdf>>. Luettu 29.9.2021.
13. Happonen Mikko. 15.04.2019. Selvitys VOC-hajapäästöjen monitoroinnista. Ramboll Oy.
14. Concawe. 2015. Techniques for detecting and quantifying fugitive emissions. Verkkoaineisto. <https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2017/01/rpt_15-6.pdf>. Luettu 6.10.2021.
15. Dr. Thomas G. Chasteen. Photoionization Detector (PID). Luentomoniste. Department of Chemistry, Sam Houston State University, Huntsville, Texas.
16. European Commission. 2006. Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage.
17. Fintraffic. Ohjeita dronen lennättäjälle. Verkkoaineisto. <<https://www.fintraffic.fi/fi/ans/ohjeita-dronen-lennattajille>>. Luettu 19.10.2021.
18. Aeromon. Kuvasto mediaa varten. <<https://www.aeromon.io/media.html>>. Luettu 20.10.2021.

19. Jeff Voorhis. Best Practices for Vapor Recovery Systems to Reduce Venting and Flaring. Verkkoaineisto. <<https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-04/documents/8voorhis.pdf>>. Luettu 25.10.2021.
20. Protego. Pressure/Vacuum Relief Valves. Verkkoaineisto. <https://www.protego.com/fileadmin/content/documents/downloads/englisch/p_pvr_valves_I_092011_gb.pdf>. Luettu 25.10.2021.
21. RTI International. 2015. Emissions Estimation Protocol for Petroleum Refineries. Loppuraportti. EPA protocol report.
22. Environmental Protection Agency. 2020. Liquid Storage Tanks. AP 42 Chapter 7.
23. Aeromon mittauraportti. Yrityksen sisäinen dokumentti. Oiltankin Oy

