

Jesse Tynkkynen

SELVITYS NMVOC-PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEKSI TEHTAAN POISTOKAASUISTA

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Energiatekniikan koulutus

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Jesse Tynkkynen
Työn nimi	Selvitys NMVOC-päästöjen vähentämiseksi tehtaan poistokaasuista
Toimeksiantaja	Ahlstrom-Munksjö Glassfibre Oy
Vuosi	2022
Sivut	40 sivua
Työn ohjaajat	Anne Gango, Mikko Ahonen

TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena oli kartoittaa toimeksiantajalle ratkaisuja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden vähentämiseksi tehtaan poistokaasuista. Työssä selvitettiin mitä NMVOC-yhdisteillä eli haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä tarkoitetaan ja miksi niitä halutaan vähentää. Tehtaalla selvitettiin, mistä yhdisteitä syntyy ja ilmaan poistuvien yhdisteiden määriä tarkasteltiin ympäristöluvan edellyttämien kahden vuoden välein suoritettujen vuodesta 2013 eteenpäin löytyvien, päästömittauksissa raportoitujen VOC-yhdisteiden pitoisuuksien ja ilmavirtojen perusteella. Selvityksessä tarkasteltiin myös erilaisia olemassa olevia VOC-yhdisteiden käsittelymenetelmiä.

VOC-päästöt syntyvät lasihuovan valmistuksessa käytettävän sideaineseoksen kuivauksessa tehtaan kolmessa kuivaimessa. Päästömittausten tietojen perusteella todettiin, että päästöt ovat olleet vuodesta 2015 eteenpäin huomattavasti aiempaa matalammalla tasolla. Sideaineseoksen koostumuksesta keskusteltiin raaka-aineen valmistajan kanssa ja tietojen todettiin pitävän paikkansa. Tietojen perusteella pystyttiin toteamaan, että kuivauslämpötiloilla on vaikutusta muodostuviin yhdisteisiin.

Työn aikana laitevalmistajien kanssa keskusteltiin mahdollisuuksista yhdisteiden käsittelemiseksi aktiivihiihijärjestelmällä ja katalyyttisellä poltolla. Johtuen suurista ilmavirroista ja yhdisteiden alhaisista pitoisuuksista, katalyyttinen polttolaitos ei olisi taloudellinen menetelmä yhdisteiden käsittelyyn. Aktiivihiihijärjestelmä pystyisi käsittelemään suuria ilmavirtoja ja alhaisia yhdisteiden pitoisuuksia, mutta rajoitteena järjestelmän toimimiseksi on poistokaasujen liian korkeat lämpötilat. Poistokaasut pitäisi jäähdyttää aktiivihiihijärjestelmän toimimiseksi.

Asiasanat: NMVOC, VOC, haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Jesse Tynkkynen
Thesis title	Reduction of volatile organic compounds in the exhaust gases of a factory
Commissioned by	Ahlstrom-Munksjö Glassfibre Oy
Time	2022
Pages	40 pages
Supervisor	Anne Gango, Mikko Ahonen

ABSTRACT

The purpose of the thesis was to find a solution for the commissioner to reduce the emission of volatile organic compounds at their factory. The study explored the concept of volatile organic compounds and the hazards they present if not reduced and defined the locations where VOCs are formed in the factory. The quantities of the compounds were inspected based on emission measurement reports. The study also examined in general terms the different existing methods for the treatment of VOC.

This study revealed that VOC emissions are generated in the three dryers that are used in the manufacturing process of glass fiber matt when binder mixture is drying. Based on the emission measurement reports it was determined that emissions of compounds have been at a lower level than before. The composition of the main raw material of the mixture that the factory uses, was verified with the manufacturer. Based on this data, it was possible to determine that drying temperatures affect the formation of compounds.

During the study, were discussions with equipment manufacturers for the possibilities of recovering the compounds with an activated carbon filtration system or removing them with a catalytic combustion plant. Due to the high air flow and low concentration of compounds, a catalytic combustion plant was found an economically unviable method in this case. The activated carbon system could control high air flows and low concentrations, but the system's functionality in the factory would be limited by high exhaust temperatures. In conclusion the activated carbon system was found a viable solution, but the exhaust gases need to be cooled.

Keywords: NMVOC, VOC, volatile organic compounds

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	AHLSTROM-MUNKSJÖ GLASSFIBRE OY	6
3	VOC-YHDISTEET.....	8
4	TEHTAAN NMVOC PÄÄSTÖT	10
4.1	Muodostuvat NMVOC-yhdisteet	12
4.1.1	NMVOC-yhdisteet vanhalla kuivaimella.....	13
4.1.2	NMVOC-yhdisteet uudella kuivaimella.....	18
4.2	Yhdisteiden sisältö.....	22
4.3	Johtopäätökset	22
5	VOC-PÄÄSTÖJEN HALLINTA	24
5.1	Käsittelyteknologian valinta	24
5.2	Yhdisteiden käsittelyteknologiat.....	25
5.2.1	Kondensointi.....	26
5.2.2	Biologinen käsittely	27
5.2.3	Terminen hapetus.....	28
5.2.4	Absorptio.....	31
5.2.5	Adsorptio.....	32
5.3	Johtopäätökset	35
6	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET.....	39

1 JOHDANTO

Selvitys tehtiin Ahlstrom-Munksjö Glassfibre OY:n Karhulan tehtaalle ja työn tarkoituksena on kartoittaa toimeksiantajalle ratkaisuja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden vähentämiseksi tehtaan poistokaasuista. Tehtaan ympäristöluvassa vaaditaan selvitystä, mikä kuuluu näin: ”Luvanhaltijan on 31.12.2022 mennessä toimitettava toimivaltaiselle valvontaviranomaiselle selvitys tehtaan poistokaasujen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (NMVOC) vähentämiseksi. Selvityksessä tulee erityisesti tarkastella (esim. teknis-taloudellisesti) eri teknisiä ratkaisuja ja niiden soveltuvuutta haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sitomiseksi tai poistamiseksi tehtaan poistokaasuista”. Luvassa mainitaan myös, että tehtaan NMVOC-päästöt ovat olleet 8 % kaikkien Kotkan lupavelvollisten laitosten kokonaispäästöistä vuonna 2013 ja vuosien 2011–2015 yhdisteiden raportoitu kokonaismäärä on vaihdellut merkittävästi välillä 1,8–18,2 tonnia vuodessa ja ollut keskiarvoisesti noin 11 tonnia.

Tällä hetkellä tehtaan kuivatusprosessin poistokaasuja ei käsitellä, lukuun ottamatta ensimmäistä poistoa kuudesta, jossa on vuonna 2014 asennettu lämmöntalteenotto. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet syntyvät kuivatusprosessissa sideaineseoksen kuivaessa ja työssä selvitetään mitä VOC-yhdisteillä tarkoitetaan ja miksi niitä halutaan vähentää. Muodostuvien yhdisteiden sisältöä selvitetään keskustelemalla niistä tehtaalla käytettävän pääraaka-aineen valmistajan kanssa. Tehtaan kuivaimien kuudesta poistoputkesta ilmaan poistuvien VOC-yhdisteiden pitoisuuksia ja määriä selvitetään päästömittausraporttien perusteella ja tarkastellaan mahdollisuuksia yhdisteiden vähentämiseksi tai poistamiseksi käsittelyteknologian avulla.

2 AHLSTROM-MUNKSJÖ GLASSFIBRE OY

Karhulan tehtaalla valmistetaan eri paksuisia ja kuitukoollisia lasihuopia esimerkiksi lattia- ja tapettiteollisuuden raaka-aineeksi, tuomaan mittapysyvyyttä ja lujuutta. Taulukossa 1 on esimerkkeinä muutamia tuote-esitteessä esitettyjä lasikuituhuopia. Huopia on saatavilla 20–130 g/m² neliöpainoisina ja 10–20 mm kuidun pituuksilla halkaisijaltaan 10–16 mikrometrin kokoisina. Huoparullia voidaan tuottaa suurimmillaan 4,2 m levyisenä, halkaisijaltaan 1,2 m rullana. (Ahlstrom 2020.)

Taulukko 1. Tehtaalla esimerkiksi tuotettavia lasikuituhuopia lattiateollisuuden ominaisuuksiin (Ahlstrom 2020)

Laatu	Kuvaus	Neliö-paino [g/m ²]	Paksuus [mm]	Ilman läpäisykyky [l/m ² s]
GFT-93G10-25	Lasikuituhuopa lattiateollisuuden G = 10 mikrometrin lasikuitu	25	0,24	7700
GFT-93K13-30	Lasikuituhuopa lattiateollisuuden K = 13 mikrometrin lasikuitu	30	0,32	8800
GFT-93M18-50	Lasikuituhuopa lattiateollisuuden M = 16 mikrometrin lasikuitu	50	0,50	7400
GFT93K13-30	Lasikuituhuopa kalanterointiin K = 13 mikrometrin lasikuitu	30	0,32	8800
GFT-773K13-35	Lasikuituhuopa kalanterointiin K = 13 mikrometrin lasikuitu	35	0,37	7800

Lasihuovan valmistukseen käytetään sideaineseosta ja lasikuitua. Sideaineseos koostuu pääasiassa pääraaka-aineesta ja lisäksi vähissä määrin lisäaineista ja käytettävässä muodossa seos sisältää noin 50 % vettä. Yleisin tuotannossa käytettävä sideaineseos on "seos93" ja tehtaan mukaan vuosittaisesta tuotannosta on noin 80 % sideaineseoksella "93" valmistettuja huopia.

Huovan valmistuksessa muodostetaan rata lasikuidusta ja sideaineseoksesta viirapöydälle, mitä kuivataan viirakuivaimilla ja leijukuivaimella. Ensin kuidut eritellään ja niistä muodostetaan tasainen rata viirapöydän päälle ja radan päälle levitetään sideaineseosta tasaisesti verholevittimellä, sideainepitoisuutta säädettäessä alipaineen avulla. Muodostettu rata kuivatetaan uuneissa, halutuissa lämpötiloissa, maakaasupolttimilla lämmitetyllä ilmalla tuotekohtaisilla ratanopeuksilla. Tuote voidaan tuplapinnoittaa levittämällä toinen kerros sideaineseosta kuivaimien välissä olevalla levittimellä ensimmäisen jo kuivateen pinnoituksen lisäksi, tuotteen ominaisuuksien parantamiseksi.

Kuivatus

Kuivatusprosessi koostuu kahdesta peräkkäisestä viirakuivaimesta ja niitä seuraavasta leijukuivaimesta. Ensimmäinen viirakuivain eli 1. kuivain on noin 18 metriä pitkä viirakuivain, jossa rata kulkee teräsverkon päällä, lämmeten maakaasupolttimilla kuumennetun ilmavirtauksen avulla. Kuivain on jaettu kolmeen lämmityslohkoon, joissa jokaisessa on oma poltin ja jokaiselle poltinlohkolle oma poistoputki puhaltimiseen. Kuvassa 1 näkyvistä 1. kuivaimen kolmesta poistoista, ensimmäinen on halkaisijaltaan 630 millimetriä, toinen 500 millimetriä ja kolmas 600 millimetriä. Kuivain on uusittu joulukuussa vuonna 2017 jolloin polttimien määrä on vähentynyt viidestä kolmeen. Toinen viirakuivain eli 2. kuivain on noin 9 metriä pitkä ja toimii niin kuin edellä mainittu 1. kuivain, mutta koostuu kahdesta lohokosta, joilla on yhteinen 300 x 800 millimetrinen poistokanava ja yksittäinen poistopuhallin.



Kuva 1. 1. kuivaimen kolme poistoputkea rakennuksen itäpuolella katolta kuvattuna

Leijukuivain on noin 21 metrin mittainen maakaasupolttimilla lämmitetty kuivain, jossa kuumaa ilmaa puhalletaan suuttimilla rataa vasten. Jos tuotteeseen levitetään toinen sideainekerros, se kuivatetaan leijukuivaimella. Kuivain koostuu neljästä leijulaatikkoparista, joista ensimmäisessä on oma poistoputki ja poistopuhallin ja loppuilla kolmella yhteinen poistoputki ja yhteinen puhallin. Molemmat poistoputket ovat halkaisijaltaan 800 millimetriä. Kuivaimessa on

lisäksi käryn poisto, mikä imee ylimääräiset kuivauskaasut kuivaimen ympäriltä ja ne johdetaan omaa halkaisijaltaan 315 millimetrin poistoputkea pitkin rakennuksen katolle. Kuvassa 2 näkyy 2. kuivaimen poisto, leijun molemmat poistot ja käryn poisto.

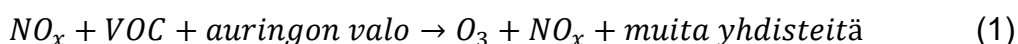


Kuva 2. 2. kuivaimen ja leijukuivaimen poistoputket

3 VOC-YHDISTEET

Haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä eli VOC-yhdisteillä (volatile organic compounds) tarkoitetaan orgaanisia kemiallisia yhdisteitä, joilla on alhainen kiehumispiste ja korkea haihtuvuus. Kaikki orgaaniset yhdisteet, joiden höyrinpaine on yli 0,01 kilopascalia lämpötilassa 293,15 kelviniä, eli 20 °C lämpötilassa yli 10 pascalia, määritellään VOC-yhdisteiksi. Yhdisteiden kokonaismäärä raportoidaan NMVOC:na (non methane volatile organic compounds) käsittäen siis kaikki haihtuvat orgaaniset yhdisteet lukuun ottamatta metaania, joka raportoidaan erikseen. Suomen ympäristökeskus on listannut NMVOC-yhdisteitä verkkosivuillaan. VOC-yhdisteiksi luetellaan puhtaat hiilivedyt, aldehydit, alkoholit, fenolit, eetterit, esterit, ketonit ja orgaaniset hapot. Yhdisteitä syntyy esimerkiksi liikenteessä, epätäydellisessä palamisessa, teollisuuden prosesseissa ja eri liuottimien ja maalien käytössä, mutta myös luonnossa esimerkiksi metsäpalojen yhteydessä. (Peluso, ym. 2011, 163–164; Ympäristökeskus 2022.)

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä halutaan vähentää monestakin syystä. Niiden vähentämisellä suojellaan ekosysteemiä, hillitään ilmastonmuutosta estämällä alailmakehän otsonin muodostumista ja suojellaan ihmisten ja eliöiden terveyttä pitämällä ilma puhtaana. Riippuen yhdisteestä ne voivat osallistua yhtälön 1 mukaisiin monimutkaisiin reaktioihin ilmassa yhdessä typen oksidien ja auringon valon kanssa muodostaen alailmakehän otsonia ja karsinogeenistä savusumua. (Berenjian 2012, 1; Peluso, ym. 2011, 163–167.)

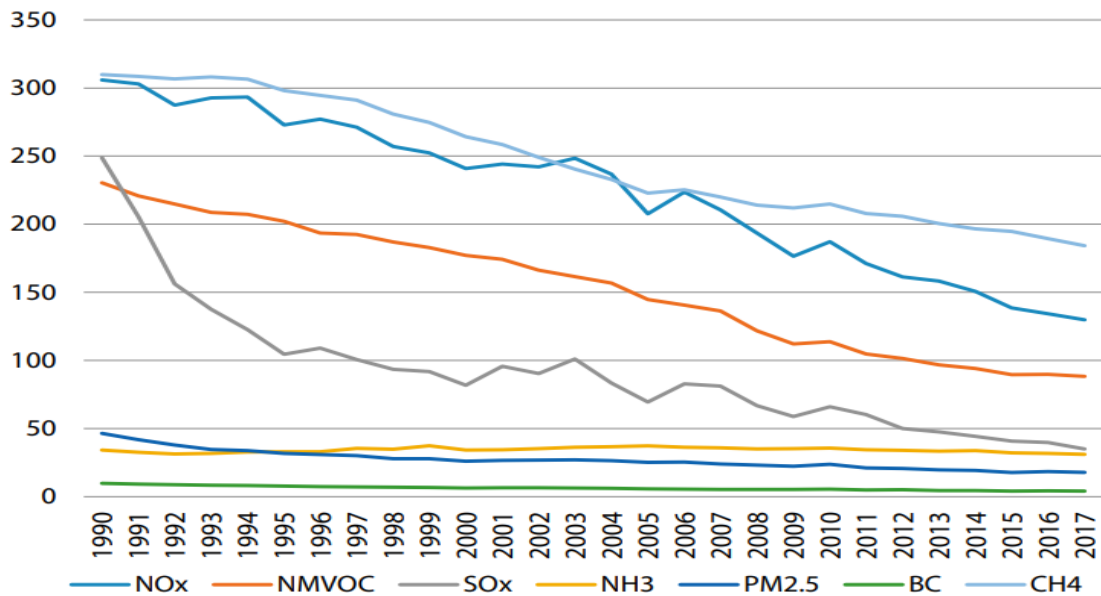


Kansallinen ilmastosuunnitelma

Taulukossa 2 on kansallisessa ilmansuojeluohjelmassa 2030 esitettyjä tietoja, Euroopan päästökattodirektiivin 2016/2284 mukaisista ilmanepäpuhtauksien päästövähennysvelvoitteista rikkidioksidin, typenoksidien, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pois lukien metaanin, ammoniakkin ja pienhiukkasten osalta. Kuvassa 3 on esitetty päästöjen kehitys Suomessa vuosien 1990 ja 2017 välillä kilotonneissa. (Ympäristöministeriö 2019, 19.)

Taulukko 2. Vanhat vuoden 2010 kansalliset päästövelvoitteet. Uudet velvoitteet vuosille 2020–2029 ja vuodesta 2030 alkaen ja uusien velvoitteiden perusteena olevat vuoden 2005 päästöt kilotonneissa. (Ympäristöministeriö 2019, 19)

Epäpuhtaus	Vanhat velvoitteet v.2010	Uusien velvoitteiden perusteena olevat v.2005 päästöt	Uudet velvoitteet v.2020–2029	Uudet velvoitteet v.2030 alkaen
SO_2	110 kt	70 kt	-30 % (49 kt)	-34 % (46,2 kt)
NO_x	170 kt	205 kt	-35 % (133,3 kt)	-47 % (108,7 kt)
NMVOC	130 kt	145 kt	-35 % (94,3 kt)	-48 % (75,2 kt)
NH_3	31 kt	37 kt	-20 % (31 kt)	-20 % (31 kt)
$PM_{2,5}$	-	28 kt	-30 % (19,6 kt)	-34 % (18,5 kt)



Kuva 3. Päästöjen kehitys Suomessa vuosien 1990-2017 välillä (Ympäristöministeriö 2019, 37)

Taulukossa on vanhat vuoden 2010 päästövähennysvelvoitteet, jotka ovat olleet NMVOC-yhdisteiden osalta 130 kilotonnia ja uusien velvoitteiden perusteena olevat vuoden 2005 päästöt kilotonneina, jotka ovat olleet 145 kilotonnia. Velvoite on vähentää NMVOC-päästöjä vuosien 2020 ja 2029 välillä 35 % ja vuodesta 2030 alkaen 48 % verrattuna vuoden 2005 päästöihin. Suomi on siis veloitettu vähentämään NMVOC-päästöjä 50,8 kilotonnia vuosien 2020 ja 2029 välillä perusteena olevasta vuoden 2005 raportoidusta 145 kilotonnista. Vuonna 2020 Suomen raportoitu NMVOC-päästöjen kokonaismäärä on ollut 84 kilotonnia ja päästöt ovat koostuneet pääasiassa energiantuotannosta 38 kilotonnia 45 %, teollisuudesta ja tuotteiden käytöstä 31 kilotonnia 36 % ja maataloudesta 16 kilotonnia 19 % (Tilastokeskus 2022, 64–65).

4 TEHTAAN NMVOC PÄÄSTÖT

Tehtaalla on suoritettu kahden vuoden välein ympäristöluvan edellyttämät päästömittaukset. Päästömittauspöytäkirjoissa on eriteltynä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet jokaiselle poistoputkelle milligrammoina kuivassa ilmassa normitettua ilmaukuutiota kohden haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismääränä eli TVOC:na, mikä on laskettu hiilenä. Vertailukelpoisuuden takia savukaasupitoisuudet ilmoitetaan palamisprosesseissa myös tietyssä happipitoisuudessa ja tehtaan päästömittausraporteissa pitoisuudet on ilmoitettu normaalitilassa olevien lisäksi 8 % happipitoisuudessa (Päästömittausten käsikirja 2007, 46).

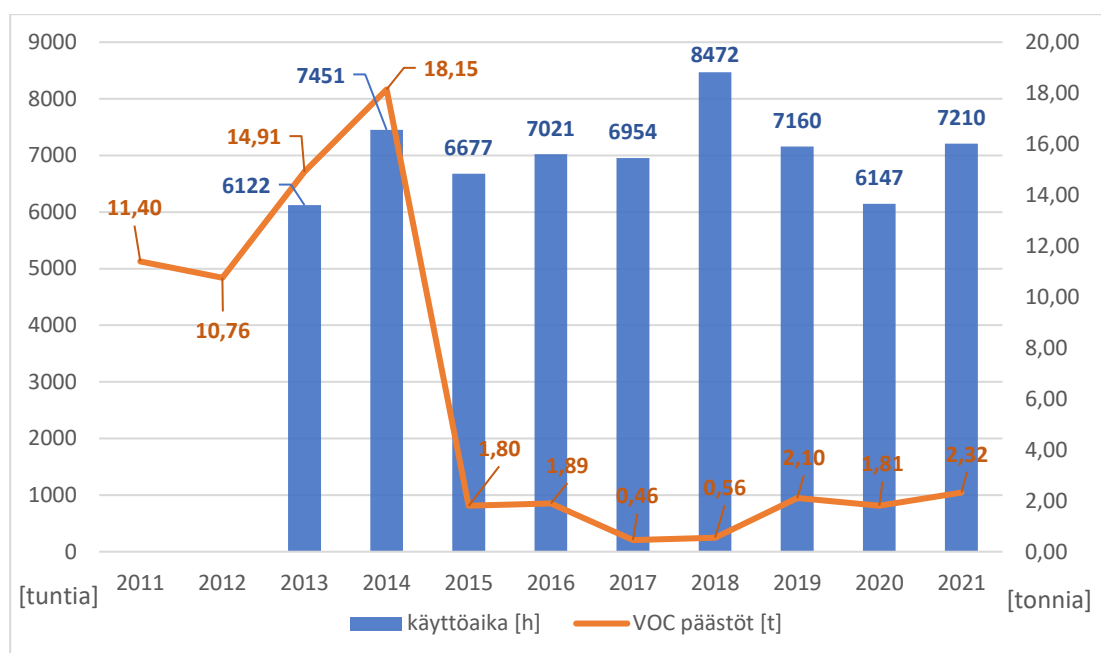
Yhdisteiden raportoitu kokonaisvuosipäästö määrä riippuu yksittäisen mittauksen edustavuudesta ja kokonaisvuosipäästö määrä on laskettu kahdelle vuodelle päästömittauksista saatujen normaalitilassa olevien poistokaasujen VOC-pitoisuuksien ja ilmavirtojen mukaan yhdisteiden massavirtana kaavalla 2 poistokohtaisesti. Laskettujen poistokohtaisten massavirtojen perusteella on laskettu kokonaismassavirta ja kokonaispäästö määrä vuosittaisten käyttötuntien mukaan.

Hyvän VOC-päästö seurannan yhteydessä seurataan ja tilastoidaan prosessin toimintaa niin, että mittauksen aikaista tilannetta voidaan verrata pidemmän ajan tuotantoon. Käytetyllä päästömittausmenetelmällä tai niiden yhdistelmällä ja mittaajan ammattitaidolla on myös oleellinen vaikutus päästömittauksen edustavuuteen. (Ympäristökeskus 2008, 74.)

$$q_m = q_v * \rho \quad (2)$$

jossa	q_m	massavirta	$[\frac{mg}{s}]$
	q_v	tilavuusvirta	$[\frac{m^3}{s}]$
	ρ	tiheys	$[\frac{mg}{m^3}]$

Kuvassa 4 on esitetty laitoksen käyttöaika tunteina ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden vuosittainen laskennallinen kokonaismäärä tonneina, yksittäisten kahden vuoden välein tehtyjen päästömittauksien ja vuosittaisten käyttötuntien perusteella. Mittauksettoman vuoden laskennassa on käytetty viimeisimmän mittausvuoden arvoja. Päästömittaustulokset ja käyttötuntimäärät löytyvät vuodesta 2013 eteenpäin ja näitä edeltäviltä vuosilta 2011 ja 2012 tiedossa on vain kirjattu yhdisteiden kokonaismäärä tonneissa.



Kuva 4. Laskennalliset tehtaan vuosittaiset NMVOC-yhdisteiden kokonaispäästömäärät ja vuosittaiset käyttötunnit vuosien 2011 ja 2021 välillä

Ympäristöluvassa mainittujen vuosien 2011 ja 2015 välillä NMVOC-yhdisteiden laskennallinen kokonaismäärä on ollut keskimäärin 11 tonnia, joista suurimmillaan vuonna 2014 18,15 tonnia ja pienimmillään vuonna 2015 1,8 tonnia. Seuraavina vuosina 2016–2021 kokonaismäärä on ollut suurimmillaan vuonna 2021 2,3 tonnia ja pienimmillään 2017 0,46 tonnia, ollen keskimääräisesti 1,6 tonnia. Päästöt ovat olleet vuodesta 2015 eteenpäin huomattavasti alhaisempia verrattuna ympäristöluvassa mainittuun vuosien 2011–2015 keskiarvoon 11 tonniin. Mittauskohtaisten tulosten perusteella tehtyä laskentaa tarkastellaan tarkemmin seuraavassa luvussa.

4.1 Muodostuvat NMVOC-yhdisteet

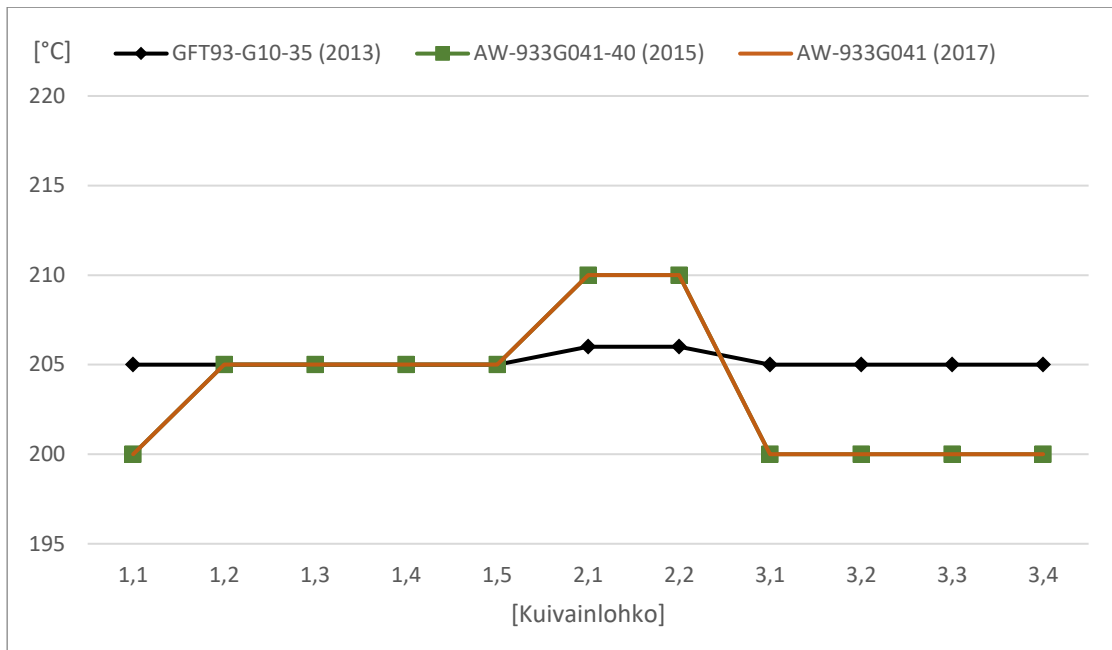
NMVOC-päästöt syntyvät sideaineseoksen kuivatuksessa tapahtuvassa lämpöreaktiossa sideaineen kuivuessa. Ensin tuotteessa oleva vesi höyrystyy pois 1. kuivaimen alkuosassa ja sen jälkeen sideaine kypsyy. Riippuen ratanopeudesta sideaine kuivuu 1. ja 2. kuivaimissa yhteensä noin 9–13 sekuntia 200–215 °C lämpötiloissa ja leijukuivaimessa noin 6–9 sekuntia 200–215 °C lämpötiloissa. Sideaine kypsyy pääasiassa 1. ja 2. kuivaimissa ja leijukuivaimessa kuivuu toinen sideainekerros, jos sellaista käytetään. Joulukuussa 2017 uusitun 1. kuivaimen takia mitattuja yhdisteiden pitoisuuksia tarkastellaan seuraavissa luvuissa päästömittausraporttien perusteella erikseen uuden ja vanhan kuivaimen osalta.

4.1.1 NMVOC-yhdisteet vanhalla kuivaimella

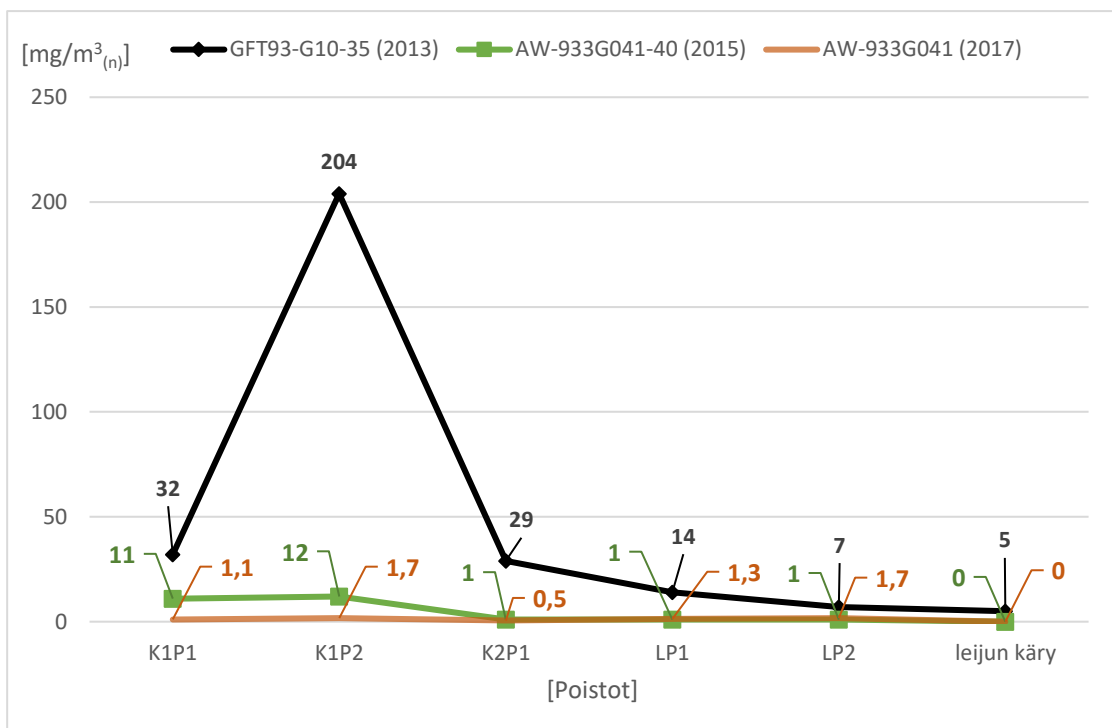
Luvussa tarkastellaan vuosien 2013, 2015 ja 2017 päästömittauspöytäkirjojen perusteella kerättyjä tietoja muodostuneista VOC-yhdisteistä ja mittausten aikana kuivauksessa olleiden tuotteiden ominaisuuksista. Kuvassa 5 on esitetty tehtaalta saadut kyseisten vuosien mittausten aikaiset tuotekohtaiset kuivauslämpötilat kuivainlohkoittain. Vanhassa 1. kuivaimessa on ollut uudesta poiketen viisi lohkoa ja viisi poltinta. Kuvassa 6 on esitetty mittauspöytäkirjojen perusteella tiedot mitattujen yhdisteiden pitoisuuksista poistokohtaisesti kaikilta mittausvuosilta ja kuvassa 7 poistokaasujen lämpötilat.

28.8.2013 suoritettuna päästömittauksen aikana tuotannossa on ollut GFT93-G10-35, jossa käytetty sideaineseos on ollut "93" ja neliöpaino 35 g/m². Kuidun koko on ollut 10 mikrometriä ja pituus 10 mm. Mittausjakson aikana on vaihdettu tuotetta tuplapinnoitetuksi tuotteeksi AW96-G010-40, minkä neliöpaino on 40 g/m² ja käytetty sideaineseos on ollut hieman edellisestä poikkeava seos "96". Molempia on ajettu noin 140 m/min ratanopeudella ja samoissa kuivauslämpötiloissa.

Vuoden 2015 mittaukset on suoritettu ensimmäisen ja toisen kuivaimen poistojen osalta 25.8.2015. Mittausten aikana tuotannossa on ollut tuplapinnoitettu noin 140 m/min ratanopeudella ajettu AW-933G041-40, jonka neliöpaino on 40 g/m² ja käytetty sideaineseos "93". Leijukuivaimen poistojen osalta mittaukset on suoritettu 31.8.2015, kun tuotannossa on ollut samalla ratanopeudella ajettava tuplapinnoitettu AW-96GH004-39, jossa merkittävimpana erona on ollut käytetty sideaineseos "96". 30.8.2017 suoritettuna mittauksen aikana tuotannossa on ollut noin 140 m/min ratanopeudella ajettava AW-933G041, jossa käytetty sideaineseos on ollut seos "93".



Kuva 5. Päästömittausten aikaiset kuivauslämpötilat kuivainlohkoittain

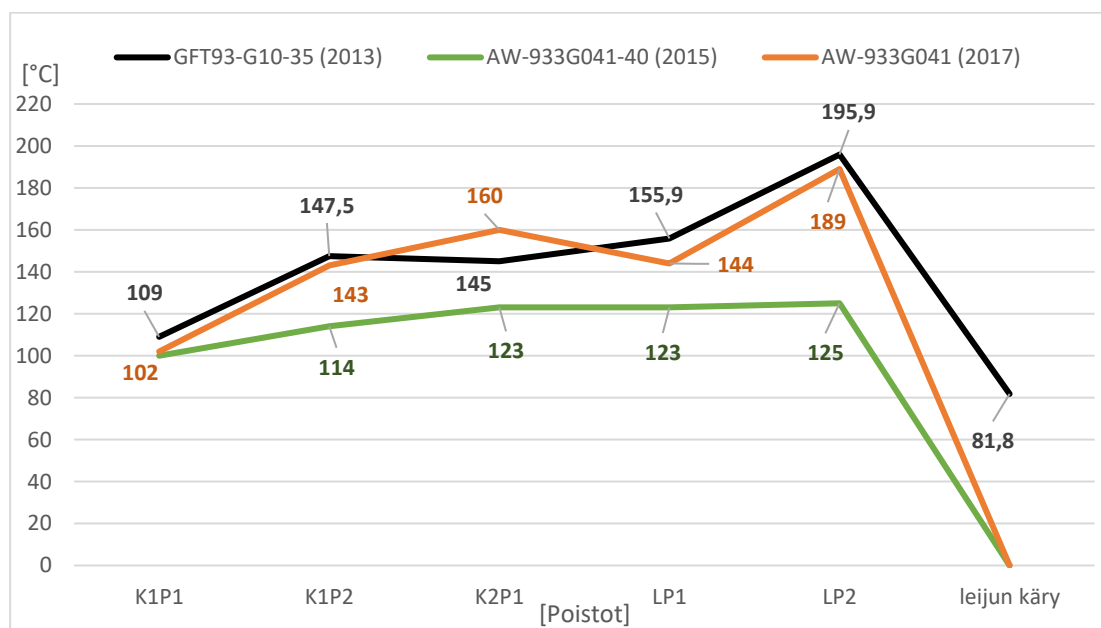


Kuva 6. 2013, 2015 ja 2017 päästömittauksissa raportoidut VOC-yhdisteiden pitoisuudet poistoittain

Mittauksien aikaisia tuotteita on kuivattu enintään 210 °C lämpötilassa ja vähintään 200 °C lämpötilassa. Kokonaisuudessaan vuoden 2013 mittauksessa VOC-yhdisteiden pitoisuudet ovat olleet kaikissa poistoissa suuremmat verrattuna vuosien 2015 ja 2017 mittauksiin. 1. kuivaimen toisessa poistossa on ollut muista poikkeava huomattavasti suurempi pitoisuus 204 mg/m³(n). Mittauk-

sen aikana tuotantoon vaihdetussa tuotteessa AW96-G010-40 on ollut erilainen sideaineseos ”96”, mutta tehtaan mukaan ero seoksien välillä on niin pieni, että se ei selittäisi VOC-yhdisteiden huomattavan suurta pitoisuutta 1. kuivaimen toisessa poistossa.

Vuosien 2015 ja 2017 mittauksien aikana tuotannossa on ollut toisistaan hyvin samalaiset tuplapinnoitetut tuotteet, joissa toinen levitetty sideainekerros on kuivunut leijukuivaimessa. Tuote eroaa vuoden 2015 mittauksen osalta vain leijukuivaimen mittauksessa, jossa käytettävänä sideaineseoksena on ollut seos ”96”, mutta mitatut yhdisteiden pitoisuudet ovat olleet leijukuivaimen poistoissa hyvin pieniä välillä 1,3–1,7 mg/m³(n). Mittauksien välillä on kuitenkin huomattava ero 1. kuivaimen poistojen pitoisuuksissa. Vuonna 2015 pitoisuudet ovat olleet 1. kuivaimen kahdessa ensimmäisessä poistossa 11–12 mg/m³(n), kun tekeillä on ollut AW-933G041-40 ja vuonna 2017 kun tekeillä on ollut AW-933G041 pitoisuudet ovat olleet vain 1,1–1,7 mg/m³(n).



Kuva 7. 2013, 2015 ja 2017 päästömittauksissa mitatut poistokaasujen lämpötilat

Poistoilmojen lämpötilojen mittaustiedoissa ei ole havaittavissa merkittäviä poikkeamia mittausten välillä, lukuun ottamatta vuoden 2015 mittauksen aikaisia matalimpia lämpötiloja kaikkien poistojen osalta. Tehtaan mukaan tuotteiden kuivauslämpötiloissa ei pitäisi olla eroa, mutta kuivaimien ilmavirroilla voi olla tähän myös vaikutusta. Poistokaasujen lämpötila on ollut joka mittauksessa suurimmillaan leijukuivaimen toisessa poistossa.

Taulukoissa 3–5 on esitetty päästömittausraporteista kerättyjen tietojen perusteella mittauskohtaiset poistoilmojen lämpötilat, tilavuusvirrat ja yhdisteiden pitoisuudet poistoittain. VOC-yhdisteiden poistokohtaiset massavirrat on laskettu kertomalla tilavuusvirta yhdisteiden pitoisuudella kaavalla 2.

Taulukko 3. Tietoja vuoden 2013 päästömittausraportista ja lasketut yhdisteiden massavirrat

GFT93-G10-35 / AW96-G010-40, mittauspäivä: 28.8.2013						
Poisto	lämpötila	tilavuusvirta	tilavuusvirta	TVOC	yhdisteiden massavirta	yhdisteiden massavirta
K1P1	109	3,7	13320	32	118,4	426,2
K1P2	147,5	2,2	7920	204	448,8	1615,7
K2P1	145	0,9	3240	29	26,1	94,0
LP1	155,9	4,4	15840	14	61,6	221,8
LP2	195,9	2,3	8280	7	16,1	58,0
leijun käry	81,8	1,1	3960	5	5,5	19,8
Yhteensä	-	14,6	52560	-	676,5	2435,4
	°C	m ³ _(n) /s _(kuiva)	m ³ _(n) /h _(kuiva)	mg/m ³ _(n)	mg/s	g/h

Kaikkien poistojen mitattujen VOC-pitoisuuksien yhteinen keskiarvo on ollut vuoden 2013 mittauksen aikana 48,5 mg/m³_(n). Pitoisuus on ollut suurimmillaan 1. kuivaimen toisessa poistossa 204 mg/m³_(n) ja pienimmillään leijukuivaimen toisessa poistossa 7 mg/m³_(n). Poistoilmojen lämpötila on ollut pienimmillään 109 °C 1. kuivaimen ensimmäisessä poistossa ja suurimmillaan 196 °C leijun toisessa poistossa. Kokonaisuudessaan kaikkien poistojen kokonaisilmavirraksi mukaan lukien käryn poisto, saadaan summana 14,6 m³_(n)/s ja yhdisteiden massavirraksi 676,5 mg/s. Virtauksien perusteella kuivauksesta on poistunut ilmaa 52 560 m³_(n)/h ja VOC-yhdisteitä 2 435,4 g/h. Huomattavan suuri hetkittäinen VOC-yhdisteiden pitoisuus 204 mg/m³_(n) 1. kuivaimen toisessa poistossa on vaikuttanut laskennalliseen kokonaismassavirtaan huomattavasti. Kuvassa 4 esitetyt vuosien 2013 ja 2014 kokonaisvuosipäästömäärät on laskettu massavirran ja käyttötuntien perusteella ja vuosipäästömääräksi saadaan vuodelle 2013 14,9 tonnia ja vuodelle 2014 18,1 tonnia.

Taulukko 4. Tietoja vuoden 2015 päästömittausraportista ja lasketut yhdisteiden massavirrat

AW-933G041-40 / AW-96GH004-39, mittauspäivät: 25 ja 31.8.2015						
Poisto	Lämpötila	Tilavuusvirta	Tilavuusvirta	TVOC	Yhdisteiden-massavirta	Yhdisteiden-massavirta
K1P1	100	3,9	14 040	11	42,9	154,4
K1P2	114	2,2	7 920	12	26,4	95,0
K2P1	123	1,6	5 760	1	1,6	5,8
LP1	123	1,5	5 400	1	1,5	5,4
LP2	125	2,5	9 000	1	2,5	9,0
leijun käry	-	-	-	-	-	-
Yhteensä	-	11,7	42 120	-	74,9	269,6
	°C	m ³ _(n) /s _(kuiva)	m ³ _(n) /h _(kuiva)	mg/m ³ _(n)	mg/s	g/h

Vuoden 2015 mittauksen aikaisten tietojen perusteella yhdisteiden pitoisuus on ollut keskiarvoisesti 5,2 mg/m³_(n). Pitoisuus on ollut suurimmillaan 1. kuivaimen toisessa poistossa 12 mg/m³_(n) ja pienimmillään 1 mg/m³_(n) 2. kuivaimen ja leijukuivaimen poistoissa. Poistojen virtauksien summana saadaan kokonaisilmavirraksi 11,7 m³/s eli 42 120 m³/h ja yhdisteiden massavirraksi 74,9 mg/s eli 269,6 g/h. Poistoilmojen lämpötila on ollut suurimmillaan 125 °C leijun toisessa poistossa ja pienimmillään 100 °C 1. kuivaimen ensimmäisessä poistossa. Leijun käry tarkoittaa ylimääräisten kaasujen poistoa leijukuivaimen ympäristöstä ja sen pitoisuutta ei ole kaikilla päästömittauskerroilla mitattu. Vuosien 2015 ja 2016 yhdisteiden vuosipäästömääräksi saadaan massavirran ja käyttötuntien perusteella vuodelle 2015 1,8 tonnia ja vuodelle 2016 1,89 tonnia (kuva 4).

Taulukko 5. Tietoja vuoden 2017 päästömittausraportista ja lasketut yhdisteiden massavirrat

AW-933G041, mittauspäivä: 30.8.2017						
Poistot	lämpötila	tilavuusvirta	tilavuusvirta	TVOC	Yhdisteiden-massavirta	Yhdisteiden-massavirta
K1P1	102	4,1	14 760	1,1	4,5	16,2
K1P2	143	2,4	8 640	1,7	4,1	14,7
K2P1	160	1,7	6 120	0,5	0,9	3,1
LP1	144	4	14 400	1,3	5,2	18,7
LP2	189	2,1	7 560	1,7	3,6	12,9
leijun käry	-	-	-	-	-	-
Yhteensä	-	14,3	51 480	-	18,2	65,6
	°C	m ³ _(n) /s _(kuiva)	m ³ _(n) /h _(kuiva)	mg/m ³ _(n)	mg/s	g/h

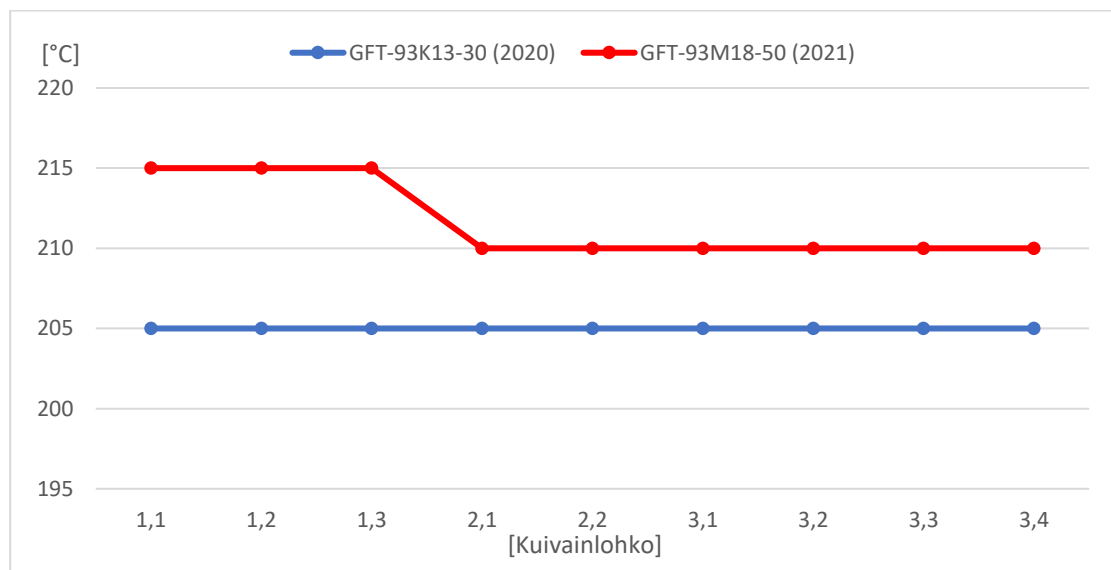
Vuoden 2017 mittauksen aikana tekeillä olleen tuotteen AW-933G041, mitattujen tietojen perusteella yhdisteiden pitoisuus on ollut keskiarvoisesti 1,3 mg/m³_(n). Kokonaisilmavirta on ollut 14,3 m³/s eli 51 480 m³/h ja yhdisteiden

kokonaismassavirta 18,2 mg/s eli 66 g/h. Poistoilmojen lämpötila suurimmillaan 189 °C leijun toisessa poistossa ja pienimmillään 102 °C 1. kuivaimen ensimmäisessä poistossa. Vuosien 2016 ja 2017 kokonaisvuosipäästömääräksi saadaan vuodelle 2017 0,46 tonnia ja vuodelle 2018 0,56 tonnia (kuva 4).

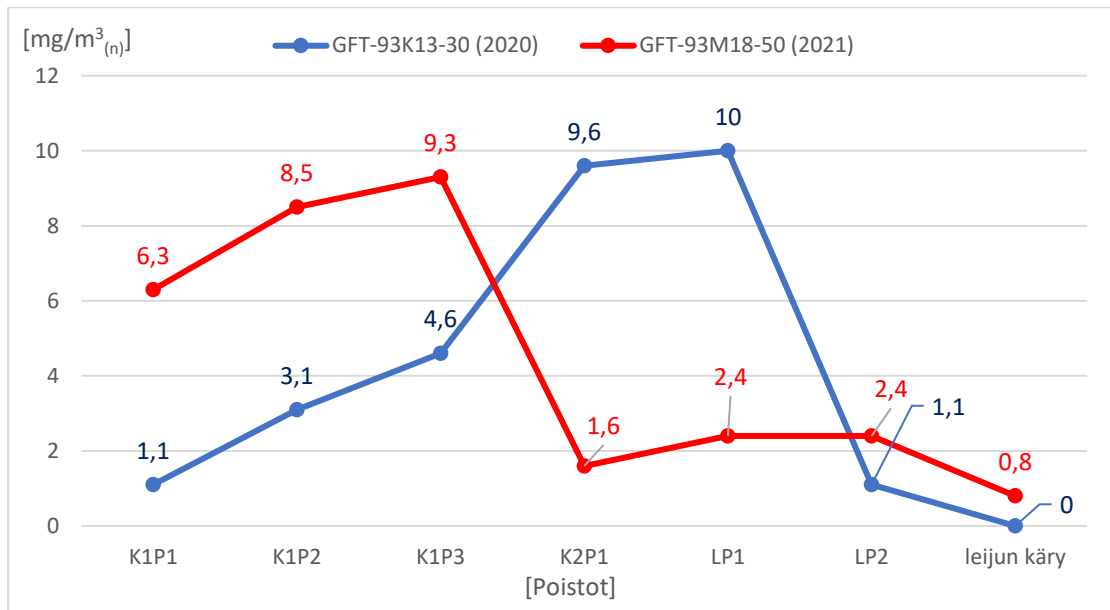
4.1.2 NMVOC-yhdisteet uudella kuivaimella

Luvussa tarkastellaan vuosien 2020 ja 2021 päästömittauspöytäkirjojen perusteella muodostuvia NMVOC-yhdisteitä ja mittauksen aikana kuivauksessa olleiden tuotteiden kuivauslämpötiloja uusitulla 1. kuivaimella. Kuvassa 8 on esitetty kyseisten vuosien mittauksen aikaiset tuotekohtaisten kuivauslämpötilat kuivainlohkoittain. Kuvassa 9 on esitetty mittauspöytäkirjojen perusteella tiedot mitattujen yhdisteiden pitoisuuksista poistokohtaisesti molemmilta mittausvuosilta ja kuvassa 10 päästömittauksissa mitatut poistojen lämpötilat.

29.4.2020 tehdyn mittauksen aikana tuotannossa on ollut GFT-93K13-30, jota on ajettu noin 180 m/min ratanopeudella. Kuidun paksuus on ollut 13 mikrometriä ja pituus 13 mm. Tuotteen neliöpaino on 30 g/m² ja käytetty sideaineseos "93". 14.9.2021 tehdyssä mittauksessa tuotannossa on ollut noin 180 m/min ratanopeudella ajettu 93 sideaineseoksella tuotettu GFT-93M18-50, minkä neliöpaino on 50 g/m² ja kuidun paksuus 18 mikrometriä ja pituus 18 mm.

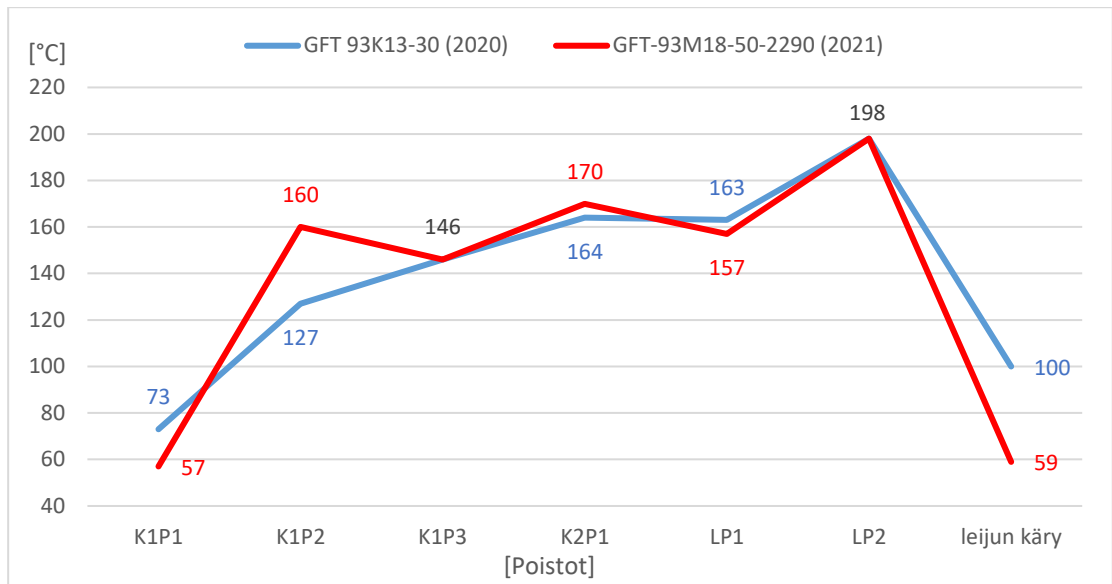


Kuva 8. Mittauksen aikaiset tuotekohtaiset kuivauslämpötilat kuivainlohkoittain



Kuva 9. 2020 ja 2021 päästömittauksissa mitatut VOC-yhdisteiden pitoisuudet poistoittain

Mittausten aikaisia tekeillä olleita tuotteita on kuivattu vähintään 205 °C ja enintään 215 °C lämpötiloissa (kuva 8.). Pitoisuuksista muodostetun kuvaajan (kuva 9) perusteella näkyy selvästi, että vuoden 2020 mittauksen aikana valmistuksessa olleen tuotteen GFT93K13-30, mitatut VOC-yhdisteiden pitoisuudet ovat olleet suurimmillaan 2. kuivaimen poistossa ja leijukuivaimen ensimmäisessä poistossa 9,6–10 mg/m³(n). Vuonna 2021 tekeillä olleen tuotteen GFT-93M18-50 aikana pitoisuus on ollut selvästi suurimmillaan jo 1. kuivaimen kaikissa kolmessa poistossa välillä 6,3–9,3 mg/m³(n), mikä voisi selittyä kuvassa 8 esitellyistä vuoden 2021 korkeammista 1. kuivaimen lämpötiloista. Kuivauslämpötilojen ja pitoisuuksien perusteella sideaineseos on reagoinut aikaisemmin ja yhdisteitä on poistunut pääasiassa 1. kuivaimen poistoista, mutta muissa poistoissa on kuitenkin havaittavissa pieniä pitoisuuksia.



Kuva 10. 2020 ja 2021 päästömittauksissa mitatut poistokaasujen lämpötilat

Poistoilmojen lämpötilat ovat olleet vuosien 2020 ja 2021 mittauksien aikaisten tuotannossa olleiden tuotteiden välillä hyvin samansuuruiset. Poikkeuksena 1. kuivaimen toinen poisto, jossa lämpötila on ollut vuoden 2020 mittauksessa 33 °C pienempi, mutta hieman pienempi on kuvassa 8 esitetty kuivauslämpötilakin.

Taulukoissa 6 ja 7 on esitetty mittausten aikaisten tuotekohtaiset poistoilmojen lämpötilat, tilavuusvirrat ja yhdisteiden kokonaispitoisuudet päästömittausraporteista poistoittain ja kaavalla 2 lasketut VOC-yhdisteiden massavirrat. Mittausraportissa on maininta, että 1. kuivaimen toisen poiston ilmavirtaa ei ole voitu mitata luotettavasti vuoden 2021 mittauksessa, joten ilmavirtana on käytetty vuoden 2020 mittauksen tulosta.

Taulukko 6. Tietoja vuoden 2020 päästömittausraportista ja lasketut yhdisteiden massavirrat

GFT-93K13-30, mittauspäivä: 29.4.2020						
Poistot	Lämpötila	Tilavuusvirta	Tilavuusvirta	TVOC	Yhdisteiden massavirta	Yhdisteiden massavirta
K1P1	73	2,2	7 920	1,1	2,4	8,7
K1P2	127	3,9	14 040	3,1	12,1	43,5
K1P3	146	2,6	9 360	4,6	12,0	43,1
K2P1	164	3,1	11 160	9,6	29,8	107,1
LP1	163	2,3	8 280	10	23,0	82,8
LP2	198	2,2	7 920	1,1	2,4	8,7
leijun käry	100	2	7 200	0	0,0	0,0
Yhteensä	-	18,3	65 880	-	81,7	293,9
	C	m ³ _(n) /S _(kuiva)	m ³ _(n) /h _(kuiva)	mg/m ³ _(n)	mg/s	g/h

Vuoden 2020 mittauksen aikaisten tietojen perusteella, kun tuotannossa on ollut GFT-93K13-30, yhdisteiden pitoisuus on ollut pienimmillään 1,1 mg/m³(n) 1. kuivaimen ensimmäisessä poistossa ja leijukuivaimen toisessa poistossa ja suurimmillaan leijukuivaimen ensimmäisessä poistossa 10 mg/m³(n). Pitoisuus on ollut keskiarvoisesti kaikkien poistojen osalta 4,2 mg/m³(n). Virtauksien summana saadaan kokonaisilmavirraksi 18,3 m³/s eli 65 880 m³/h ja ilman käryn poistoa 58 680 m³(n)/h ja yhdisteiden kokonaismassavirraksi saadaan 81,7 mg/s eli 293,9 g/h. Poistoilmojen lämpötila on ollut suurimmillaan 198 °C leijun toisessa poistossa ja pienimmillään 73 °C 1. kuivaimen ensimmäisessä poistossa. Vuosien 2019 ja 2020 yhdisteiden vuosipäästömääräksi saadaan massavirran ja käyttötuntien perusteella vuodelle 2019 2,1 tonnia ja 2020 1,81 tonnia (kuva 4).

Taulukko 7. Tietoja vuoden 2021 päästömittausraportista ja lasketut yhdisteiden massavirrat

GFT-93M18-50, mittauspäivä: 14.9.2021						
Poistot	Lämpötila	Tilavuusvirta	Tilavuusvirta	TVOC	Yhdisteidenmassavirta	yhdisteidenmassavirta
K1P1	57	2,3	8280	6,3	14,5	52,2
K1P2	160	3,9	14 040	8,5	33,2	119,3
K1P3	146	2,4	8 640	9,3	22,3	80,4
K2P1	170	3,3	11 880	1,6	5,3	19,0
LP1	157	2,6	9 360	2,4	6,2	22,5
LP2	198	2,6	9 360	2,4	6,2	22,5
leijun käry	59	2,2	7 920	0,8	1,8	6,3
Yhteensä	-	19,3	69 480	-	89,5	322,1
	C	m ³ (n)/s(kuiva)	m ³ (n)/h(kuiva)	mg/m ³ (n)	mg/s	g/h

Vuoden 2021 päästömittauksen aikana, kun tuotannossa on ollut GFT-93M18-50, yhdisteiden pitoisuus on ollut pienimmillään 2. kuivaimen poistossa 1,1 mg/m³(n) ja suurimmillaan 1. kuivaimen kolmannessa poistossa 9,3 mg/m³(n). Kaikkien poistojen osalta pitoisuus on ollut keskiarvoisesti 4,5 mg/m³(n). Virtauksien summina saadaan kokonaisilmavirraksi 19,3 m³/s eli 69 480 m³/h ja ilman kärynpoistoa 61 560 m³/h. Yhdisteiden kokonaismassavirraksi saadaan 89,5 mg/s eli 322,1 g/h. Poistoilmojen lämpötila on ollut pienimmillään 57 °C 1. kuivaimen ensimmäisessä poistossa ja suurimmillaan 198 °C leijukuivaimen toisessa poistossa. Vuoden 2021 yhdisteiden vuosipäästömääräksi saadaan massavirran ja käyttötuntien perusteella 2,32 tonnia (kuva 4).

Vuoden 2021 mittauksen aikaisessa tuotteessa on ollut suurempi neliömassa verrattuna vuoden 2020 mittauksen aikaiseen. 1. kuivaimessa on ollut 215 °C kuivauslämpötilat verrattuna vuoden 2020 mittauksen aikaiseen 205 °C lämpötilaan. Yhdisteiden kokonaismassavirrassa ei ole suurta eroa, vaan yhdisteitä on muodostunut eri osioissa kuivausta.

4.2 Yhdisteiden sisältö

Päästömittauksissa on mitattu haihtuvien organisten yhdisteiden kokonaispitoisuuksia ja ne on laskettu milligrammoiksi kuutiossa normaalitilassa olevaa kuivaa ilmaa. Tuloksien perusteella ei pysty määrittelemään poistokaasuissa olevien yhdisteiden sisältöä. Sideaineseosten pääraaka-aineesta löytyi tehtaalta luottamuksellista tietoa yhdisteiden sisällöstä ja niiden muodostumisesta kuivauslämpötiloissa. Tiedoista keskusteltiin pääraaka-aineen valmistajan kanssa ja heidän mukaansa tiedot pitää paikkansa, koska raaka-aineen valmistuksessa ei ole tapahtunut muutoksia. Valmistajan mukaan raaka-aine puhdistetaan tuotannon yhteydessä.

Tietojen mukaan normaalissa kuivauksessa 180–220 °C lämpötiloissa kuivumisessa syntyy pääasiassa vesihöyryä ja mainittuja yhdisteitä, jotka kaikki löytyvät Suomen Ympäristökeskuksen listaamasta NMVOC-yhdisteluettelosta. Mainittu on myös, että yhdisteitä alkaa vapautumaan huomattavia määriä kuivauslämpötilojen noustessa suuremmaksi kuin 220 °C. Valmistaja ilmoitti tiedoissa, että hajoamisyhdisteiden muodostumissuhteet on annettu kuivattua lopputuotteessa olevaa raaka-ainetta kohden, eikä käyttömuodossa olevana liuksena. Sideaineseosten koostuessa pääosin raaka-aineesta, voidaan olettaa muodostuvien yhdisteiden sisällön olevan pääasiassa saatujen tietojen mukainen, kuitenkin sulkematta pois mahdollista lisäaineiden vaikutusta sisältöön.

4.3 Johtopäätökset

Tarkasteltujen päästömittausraporttien tietojen perusteella laskettujen yhdisteiden massavirtojen ja kuvan 4 perusteella voidaan todeta, että NMVOC-päästöt ovat olleet laskennallisesti huomattavasti matalammalla tasolla 0,46–

2,32 tonnia vuosien 2015–2021 aikana, verrattuna vuosien 2011–2014 päästöihin 10,76–18,15 tonniin. Luvussa 4.1.1 esitetystä vuoden 2013 päästömittauksessa raportoitu yhdisteiden pitoisuus 204 mg/m³(n) 1. kuivaimen toisessa poistossa on poikkeavan suuri verrattuna muihin mittauksiin ja poistoihin. Suuri pitoisuus on vaikuttanut yhdisteiden laskennallisiin vuosien 2013 ja 2014 kokonaisvuosipäästömmäriin 14,91–18,15 tonniin merkittävästi.

Tuloksien perusteella yleisimmin käytetyllä sideaineseoksella ”93” valmistettavan tuotannon aikana, muodostuvien yhdisteiden pitoisuudet ovat olleet alhaiset. Koska tehtaalla mukana 80 % tuotannosta on sideaineseoksella ”93” tuotettavia tuotteita, voidaan olettaa NMVOC-vuosipäästömmärien pysyvän lähellä vuosien 2020 ja 2021 tasoa 1,8–2,3 tonnia. Yhdisteiden kokonaisvuosipäästömmäärät ovat siis olleet huomattavasti alhaisemmalla tasolla verrattuna ympäristöluvassa mainittuihin vuosien 2011–2015 päästömmäriin, kun tehtaalla NMVOC-yhdisteiden raportoitujen vuosipäästöjen keskiarvo on ollut noin 11 tonnia ja vuosipäästöt välillä 1,8–18,2 tonnia vuodessa.

Pääraaka-aineen valmistajan asiantuntijan mukaan sideaineseoksen pääasiallisesta koostavasta pääraaka-aineesta muodostuvien NMVOC-yhdisteiden sisältö on tehtaalla löytyvien tietojen mukainen. Tietojen perusteella haitallisia yhdisteitä alkaa muodostua huomattavia määriä kuivauslämpötilan noustessa korkeammaksi kuin 220 °C. Kaikki tiedoissa mainitut pääraaka-aineen sisältämät haihtuvat orgaaniset yhdisteet löytyvät Suomen Ympäristökeskuksen liitteenä NMVOC-luettelosta. Lisättävillä lisäaineilla voi kuitenkin olla vaikutusta muodostuvien yhdisteiden sisältöön ja pitoisuuksiin.

Vuoden 2021 päästölaskennassa on käytetty 1. kuivaimen toisen poiston osalta vuoden 2020 päästömittauksessa ilmoitettua tilavuusvirtausta. Päästömittausraportissa on maininta huonosta mittauspisteestä ja ilmavirtausta ei ole mitattu. Mittauspiste olisi tulosten tarkastelun kannalta hyvä muuttaa mittauksien kannalta suotuisaksi. Mittauksien ajalta olisi hyvä kirjata tarkkoja prosessitietoja yhdisteiden muodostumisen kartoittamiseksi tulevaisuudessa.

5 VOC-PÄÄSTÖJEN HALLINTA

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden vähennystä voidaan toteuttaa tapauskohtaisesti esimerkiksi raaka-aineen vaihdolla tai prosessin muutoksilla. Jos prosessin muutokset tai raaka-aineen vaihto eivät ole mahdollisia, voidaan yhdisteitä käsitellä tuhoamalla tai talteenottamalla, yleensä poistoputken päähän asennettavalla laitteistolla. Yhdisteiden käsittelyyn käytettäviä menetelmiä voi olla muun muassa terminen- tai katalyyttinen poltto ja biosuodatus, sekä talteenottoon absorptio, adsorptio, kondensointi ja kalvoerotus (Peluso, ym. 2011. 169.)

Tehtaalla NMVOC-päästöt syntyvät sideaineseoksen kuivatuksessa ja käytettävä pääraaka-aine on valmistajan mukaan puhdistettu tuotannon yhteydessä. Kuivauslämpötilat on säädetty tuotteiden laadun kannalta optimaalisiksi valmistajalta saatujen kuivaussuositusten mukaan. Tehtaalla löytyneiden tietojen mukaan yhdisteitä alkaa muodostumaan huomattavasti kuivauslämpötilojen noustessa suuremmaksi kuin 220 °C, jolloin sideaine alkaa hajota ja menettää ominaisuuksiaan. Huopaa kuivataan enintään 215 °C lämpötilassa ja luvussa 4.1 käsiteltyjen päästömittausten aikana poistokaasujen lämpötiloissa tai kuivauslämpötiloissa ei ole huomattavissa poikkeamia.

Luvussa 4.1 tarkasteltujen päästömittausraporttien tietojen perusteella tuotteiden välillä on vaihtelua yhdisteiden pitoisuuksissa poistoputkien välillä. Poistokohtaiset pitoisuudet ovat riippuvaista tekeillä olevasta tuotteesta. Minkään yksittäisen poistoputken käsittelyllä ei saavutettaisi merkittävää vähennystä päästöissä. Tehtaan tapauksessa haluttaessa lopuistakin kuivaimien poistokaasujen sisältämistä haihtuvista orgaanisista yhdisteistä eroon, olisi kaikkien kuivaimien poistokaasut tarpeellista käsitellä.

5.1 Käsittelyteknologian valinta

Yhdisteiden käsittelyteknologioita on olemassa monenlaisia ja menetelmä on valittava oikein riittävän puhdistusasteen ja energiatehokkuuden takaamiseksi, väärin valitun tekniikan kuluttaessa turhaa energiaa ja aiheuttaen lisäkustannuksia. Tekniikoiden ollessa kalliita, puhdistinlaitoskoon optimointi on suunnittelussa tärkeää. Sillä tarkoitetaan mahdollisia toimenpiteitä, millä prosessin il-mavirrat saataisiin mahdollisimman pieneksi ja tietyissä tapauksissa samalla

yhdisteiden pitoisuudet korkeammaksi. Toimenpiteillä voidaan pienentää laitekokoa ja siten investointi- ja ylläpitokustannuksia. Tarvittaessa eri käsittelymenetelmiä voidaan myös käyttää peräkkäin. (Suomen ympäristö 2008, 37–38.)

Teknologian valinnassa olisi hyvä selvittää jätekaasuvirran ominaisuudet määrittävät rajaolosuhteet, joita putken loppupään laitteistolta vaaditaan. Valinnassa on merkittävässä roolissa puhdistettavan kaasuvirtauksen ilmamäärä, lämpötila, paine, kosteus, VOC-yhdiste sisältö ja niiden vaihtelut. Toiseksi olisi hyvä tarkastella eri tekniikoiden toimintaominaisuuksien perusteella laitteistojen tapauskohtaista soveltuvuutta, tehokkuuden, luotettavuuden ja toteuttamismahdollisuuksien perusteella. (Auweraert 2022, 11–12.)

Taulukko 8. Poistojen koot ja vuosien 2020 ja 2021 päästömittauksissa mitatut poistoilmojen lämpötilat, ilmavirrat ja yhdisteiden pitoisuudet. Kosteusmittauksissa ilmoitetut massavirrat ja kosteuspitoisuudet, ja laskettuja keskiarvoja ja summia.

Poisto	Koko	Päästömittaus 2020, GFT-93K13-30			Päästömittaus 2021, GFT-93M18-50			Kosteusmittaus	
		Lämpötila	Tilavuusvirta	Pitoisuus	Lämpötila	Tilavuusvirta	Pitoisuus	Massavirta	Kosteus
K1P1	630	73	7 920	1,1	57	8 280	6,3	2,9	147
K1P2	500	127	14 040	3,1	160	14 040	8,5	2,2	108
K1P3	600	146	9 360	4,6	146	8 640	9,3	2,1	43
K2P1	300x800	164	11 160	9,6	170	11 880	1,6	1,8	28
LP1	800	163	8 280	10	157	9 360	2,4	3,4	61
LP2	800	198	7 920	1,1	198	9 360	2,4	2,1	37
käryn poisto	315	100	7 200	0	59	7 920	0,8	0,9	12
Yhteensä	-	-	65 880	-	-	69 480	-	15,4	-
Keskiarvo	-	139	9 411	4,2	135	9 926	4,5	2	62,3
	mm	°C	m ³ _(n) /h	mg/m ³ _(n)	°C	m ³ _(n) /h	mg/m ³ _(n)	kg/s	g/kg

Taulukkoon 8 on koottu poistojen koot ja luvussa 4.1.2 tarkasteltujen vuosien 2020 ja 2021 päästömittauksissa mitatut poistokaasujen lämpötilat, ilmavirrat ja TVOC-pitoisuudet. Tehtaalla on mitattu poistoilmojen kosteuksia 28. ja 29.8.2019. Taulukossa on esitetty kosteusmittauksissa mitatut massavirrat ja kosteuspitoisuudet poistoittain. Lisäksi on laskettu tulosten keskiarvoja ja kokonaistunti-ilmavirrat.

5.2 Yhdisteiden käsittelyteknologiat

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan eri olemassa olevia teknologioita haihtuvien orgaanisten yhdisteiden käsittelyyn ja yleisesti niiden soveltuvuutta yhdisteiden käsittelyyn tehtaan poistokaasuista. Suuntaa antavia investointikustannuksien hinta-arvioita on esitetty lähteen perusteella muodossa €/1 000 m³_(n)/h

ja käyttökustannuksia €/1 000 m³(n)/h/a (Auweraert 2022). Taulukkoon 9 on koottu käsittelymenetelmiä, joilla on mahdollista käsitellä VOC-yhdisteitä ja mitä muita päästöjä milläkin menetelmällä voidaan puhdistaa. Lisäksi on lisätty eri menetelmillä käsiteltäviä ilmamääriä.

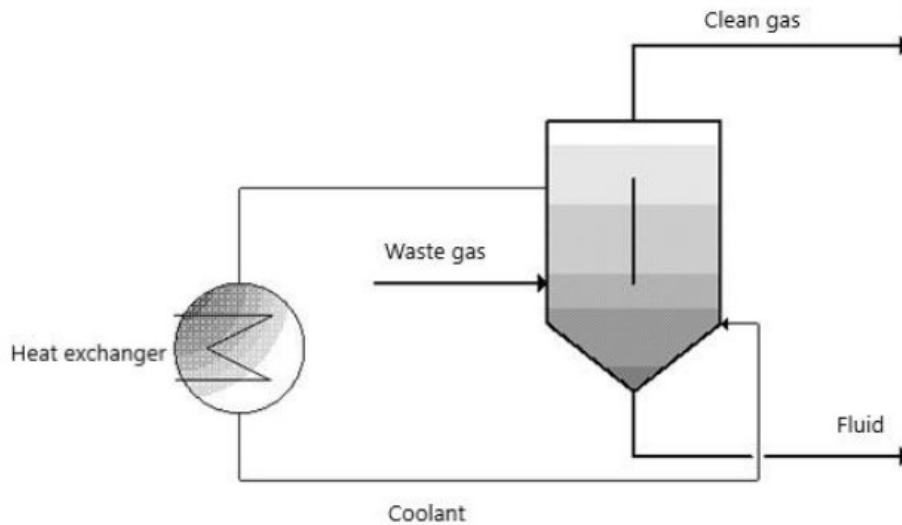
Taulukko 9. VOC-yhdisteiden käsittelyyn soveltuvia käsittelymenetelmiä ja muita niillä puhdistettavia päästöjä. Lisäksi tilavuusvirtauksia, joita niillä käsitellään. (●: soveltuu ○: saattaa puhdistaa pienissä määrin muun käytön sivussa). (Auweraert 2022, 17–18; EIPPCB 2019, 51, 207, 230, 234.)

Käsittelymenetelmä	Hiuk- kaset	VOC	NH ₃	HCl	HF	SO _x	Haju- kaasut	Epäor- gaaniset kaasut	Tilavuus virtauksia [m ³ (n)/h]
Kalvoerottelu		●							< 3 000
Kondensointi		●	○				●	○	< 5 000
Absorptio	○	●	●	●	●	●	●	●	1–500 000
Biologinen käsittely		●	●				●		100–500 000
Terminen polttolaitos	○	●							90–190 000
Katalyyttinen polttolaitos		●							90–100 000
Adsorptio		●	●	●		●	●	●	1–1 000 000

Kuten taulukosta voi huomata, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden käsittelyyn on olemassa useita menetelmiä. Yhdisteiden käsittelemiseksi, olisi ensin hyvä soveltaa jotain talteenottomenetelmistä. Talteenottomenetelmänä voidaan käyttää kalvoerottelua, kondensointia, absorptiota tai adsorptiota. Tarvittaessa olisi hyvä myös miettiä yhdistelmämenetelmää, kuten esimerkiksi kondensaa-tion ja adsorption yhdistämistä. Jos mikään talteenottomenetelmä ei ole talou-dellisesti tai teknisesti toteuttamiskelpoinen, voidaan miettiä yhdisteiden tu-hoamista biologisella käsittelyllä. Viimeisenä vaihtoehtona tulisi miettiä termi-sen hapetuksen käyttöä yhdisteiden käsittelyssä. (Auweraert 2022, 13.)

5.2.1 Kondensointi

Kondensaatiossa saastunutta kaasuvirtausta jäähdytetään esimerkiksi kuvan 11 mukaisella kondensointijärjestelmällä niin, että puhdistettavan liuottimen kastepiste saavutetaan (Suomen ympäristö 2008, 46). Menetelmä toimii parhaiten yhdisteiden pitoisuuden ollessa suuri ja sitä käytetään pääasiassa, kun puhdistettavan virtauksen VOC-yhdisteiden pitoisuus on yli 50 g/m³(n). Kon-densointia käytetään usein käsittelymenetelmänä toisen menetelmän yhtey-dessä. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi ennen putken loppupään teknologiaa parantamaan virtauksen ominaisuuksia, laitteiston toiminnan parantamiseksi ja mahdollisesti käyttöiän pidentämiseksi. Jäähdytyksessä käytettäessä vettä, sivutuotteena syntyy jätevettä, mikä on käsiteltävä. (Auweraert 2022, 76.)



Kuva 11. Kondensointijärjestelmä (Auweraert 2022, 76)

VOC-yhdisteiden talteenotossa kondensoimalla, kaasuvirtausta jäähdytetään usein nestemäisellä tyypellä. Tarvittaessa nestemäinen tyyppi mahdollistaa virtauksen sisältämien yhdisteiden riittävän jäähtymisen. Jäähdytyksessä käytettävässä nestemäisessä tyypessä, käsiteltävän kaasuvirtauksen tulisi olla virtaukseltaan pienempi, kuin $5\,000\text{ m}^3_{(n)}/\text{h}$ ja lämpötilan alle 80 °C . Investointikustannuksiksi on arvioitu käsiteltävän virtauksen tunti-ilmamäärän mukaan $7\,500\text{--}15\,000\text{ €/}1\,000\text{ m}^3_{(n)}/\text{h}$, kun jäähdytyksessä on käytössä vesi. Käytettäessä nestemäistä tyyppiä virtauksen jäähdytykseen, investointikustannus voi olla kokonaisuudessaan $400\,000\text{ €/}1\,000\text{ m}^3_{(n)}/\text{h}$. (Auweraert 2022, 77–80.)

5.2.2 Biologinen käsittely

Biosuodattimessa käsiteltävä kaasu kulkee tapauskohtaisesti kasvatettavia mikro-organismeja sisältävän kiinteän petin läpi (Suomen ympäristö 2008, 46). Menetelmä perustuu orgaanisten aineiden ja ilman sisältämän hapen biologiseen muuntamiseen biomassaksi, vedeksi ja hiilidioksidiksi. Peti koostuu orgaanisesta kantoaineesta, kuten esimerkiksi turpeesta tai puulastuista tai epäorgaanisesta aineksesta, kuten savesta tai aktiivihielestä, joiden avulla mikro-organismit hapettavat puhdistettavia kaasuja. Tarvittaessa mikro-organismien kasvun ylläpitämiseksi ja suodatuksen toiminnan aktiivisena pitämiseksi, siihen on lisättävä ravinteita ja kosteutta, sekä happamuutta on säädettävä. (Auweraert 2022, 49.)

Menetelmä jakautuu erilaisiin teknologioihin, joita voi olla esimerkiksi biosuodatin ja biologinen pesuri. Yleisesti voidaan käsitellä suuria ilmamääriä, mutta kaasun lämpötilan tulisi olla alhainen ja se vaatii paljon tilaa. Biologista suodatinta käytetään hajukaasujen käsittelyyn, mutta myös pienissä pitoisuuksissa olevien vesiliukoisten päästöjen käsittelyyn viileissä virtauksissa. Yleisesti biologisella suodatuksella on mahdollista saavuttaa 75–95 % puhdistusaste VOC-yhdisteiden käsittelyssä. (Auweraert 2022, 49–67.)

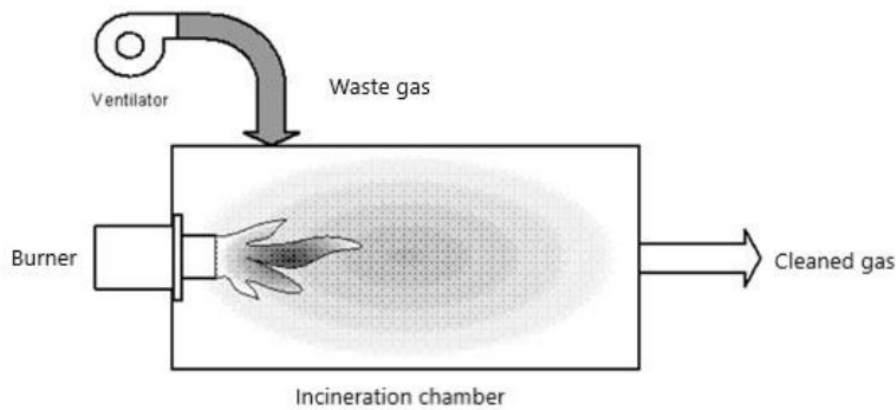
Biosuodattimen investointikustannusten on arvioitu olevan käsiteltävän ilmamäärän mukaan välillä 8 000–14 000 €/1 000 m³(n)/h. Vuosittaisiksi käyttökustannuksiksi on arvioitu 10 000–20 000 €/1 000 m³(n)/h/a. Kustannukset riippuvat puhdistettavan virtauksen ominaisuuksista, yhdisteiden sisällöstä ja suodatinmateriaalista (Auweraert 2022, 54.)

5.2.3 Terminen hapetus

Yhdisteitä voidaan tuhota lämpökäsittelyllä, hapettamalla VOC-yhdisteet termisesti tai katalyytin avulla vähemmän haitalliseksi hiilidioksidiksi ja vedeksi. Turvallisuussyistä puhdistettavan virtauksen VOC-pitoisuuden ja sisällön perusteella selvitetään kaasun alempi räjähdysraja LEL (Lower Explosive Limit) seoksen räjähdysherkkyyden määrittämiseksi (Peluso 2011, 169). Jos VOC-yhdisteiden pitoisuus on tarpeeksi suuri, sopivalla polttomenetelmällä on mahdollista saavuttaa niin sanottu autoterminen poltto. Silloin polttolaitos toimii ilman lisälämmitystä autotermisesti, saaden polttoon tarvittavan energian yhdisteiden energiasisällöstä ja lisäpolttoainetta käytetään vain hapetuksen ylläpitoon. Hapetusreaktion loppuunsaattamiseksi, käsiteltävän kaasun viipymisaajan hapetuksessa tulee myös olla riittävä. (Auweraert 2022, 129; Suomen ympäristö 2008, 41.)

Terminen polttolaitos

Termisessä polttolaitoksessa jätekaasuja poltetaan kammiossa korkeassa lämpötilassa noin 2–3 sekuntia, kuumentamalla ne esimerkiksi kaasupolttimella välille 750–1 200 °C. Kuvassa 12 on esitetty esimerkki termisestä polttolaitoksesta. Käsiteltävä kaasuvirtaus voi olla välillä 90–190 000 m³(n)/h. (Auweraert 2022, 18, 129; EIPPCB 2019, 234.)



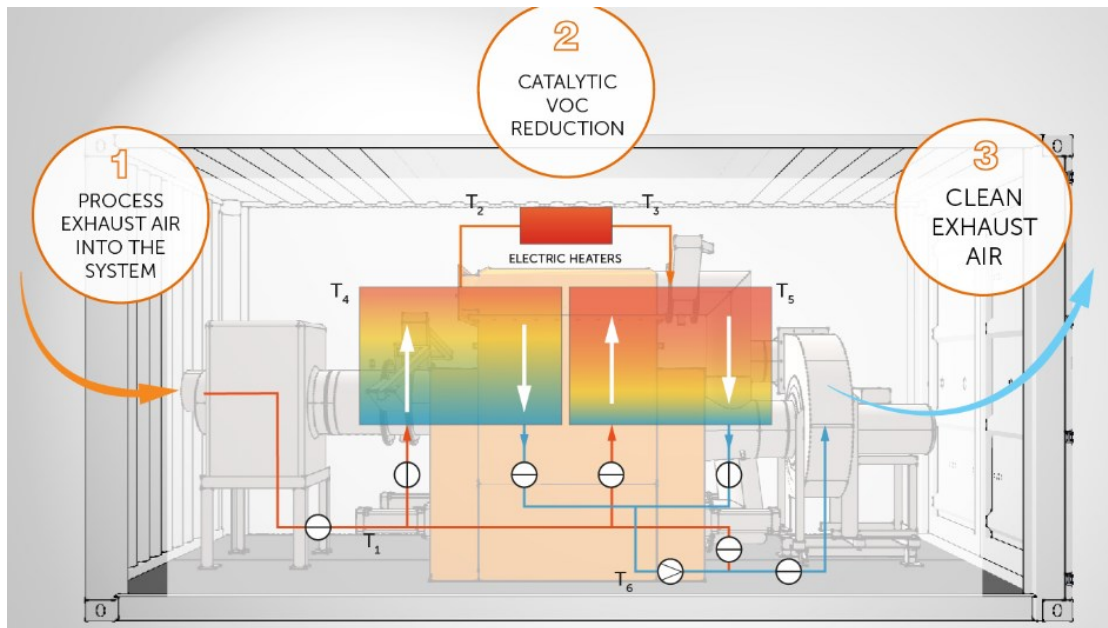
Kuva 12. Termisen polttolaitos (Auweraert 2022, 129)

Teknologia voi olla rekuperatiivinen tai regeneratiivinen. Rekuperatiivisessa voidaan saavuttaa lämmönsiirtimillä 60–80 % hyötysuhde lämpöenergian hyödyksi saamisessa, käyttämällä polttokammion jälkeen lämmöntalteenottoa lämmittämään polttokammioon tulevan jätekaasun lämpötilaa. Regeneratiivisessa termisessä hapetuksessa voidaan saavuttaa yli 90 % hyötysuhde lämpöenergian hyödyntämisessä jätekaasujen lämmittämiseksi. Lämpöä varastoidaan savukaasuista erillisissä kammioissa olevien lämmönvaraajien avulla, vaihtelemalla kaasun virtaussuuntaa venttiileillä. (Silvonen s.a.)

Katalyyttinen polttolaitos

Katalyyttisessä hapetuksessa puhdistettava kaasuvirtaus lämmitetään tarpeen mukaan 200–600 °C ja viedään katalysaattorin läpi, esimerkiksi kuvassa 13 esitetyn mukaisella laitteistolla (EIPPCB 2019, 230). Katalyytti kiihdyttää kemiallista reaktiota yhdisteiden hajottamiseksi ja pienentää hapetukseen tarvittavaa reaktiolämpötilaa. Tekniikalla käsiteltävä ilmavirta voi olla välillä 90–100 000 m³(n)/h (Auweraert 2022, 18; EIPPCB 2019, 230).

Katalyyttisen polttolaitoksen etuna verrattuna termiseen on pienempi käyttölämpötila. Riippuen laitteesta, siitä ei synny palamisen sivutuotteita. Katalyyttistä polttolaitosta voidaan käyttää myös pienille pitoisuuksille autotermisen pisteen ollessa alhaisempi. Niin kuin termisiäkin polttolaitoksia, on katalyyttisiäkin polttolaitoksia saatavilla regeneratiivisina ja rekuperatiivisina. (Silvonen, s.a.) Katalyytti kuitenkin kuluu ja joudutaan uusimaan aikanaan, aiheuttaen jätettä ja lisäkäyttökustannuksia (Auweraert 2022, 135).



Kuva 13. Kaksipetinen regeneratiivinen katalyyttinen polttolaitos (Genano s.a.)

Erään laitevalmistajan 2-petisellä katalyyttisellä polttolaitoksella voidaan käsitellä, ilmamääriä väliltä 500–18 000 m³(n)/h. Myös muita laitekokoja ja useampi petisiä malleja on saatavilla. Yhdisteet hapetetaan noin 350 °C lämpötilassa katalysaattorien avulla ja niiden pitoisuuden ollessa tarpeeksi suuri, laitteisto toimii itsestään autotermisesti ilman lisälämmitystä, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ylläpitäessä hapetusta. Laitteiston itsenäinen eli autoterminen toiminta vaatii yhdisteiden pitoisuudeksi vähintään 0,6 g/m³(n) eli 600 mg/m³(n) ja pitoisuuden ollessa pienempi, poistoilmaa joudutaan lämmittämään erikseen sähköllä aiheuttaen lisäkustannuksia. (Genano, s.a.)

Katalyyttisen polttolaitoksen autoterminen toimintapiste vaatii yhdisteiden pitoisuudeksi vähintään 600 mg/m³(n). Tehtaalla pitoisuus on ollut esimerkiksi vuosien 2020 ja 2021 mittauksissa suurimmillaan 10 mg/m³(n) (taulukko 8, s. 25). Pitoisuudet ovat siis olleet huomattavasti autoterminen toimintapisteen vaatimaa pienempiä. Poistokaasujen ilmavirtojen ollessa suuria ja yhdisteiden pitoisuuksien pieniä, käsiteltäviä poistokaasuja jouduttaisiin lämmittämään sähköllä hapetusreaktion ylläpitämiseksi, aiheuttaen lisäkustannuksia. Poistokaasujen käsittely katalyyttisellä polttolaitoksella ei olisi kannattavaa.

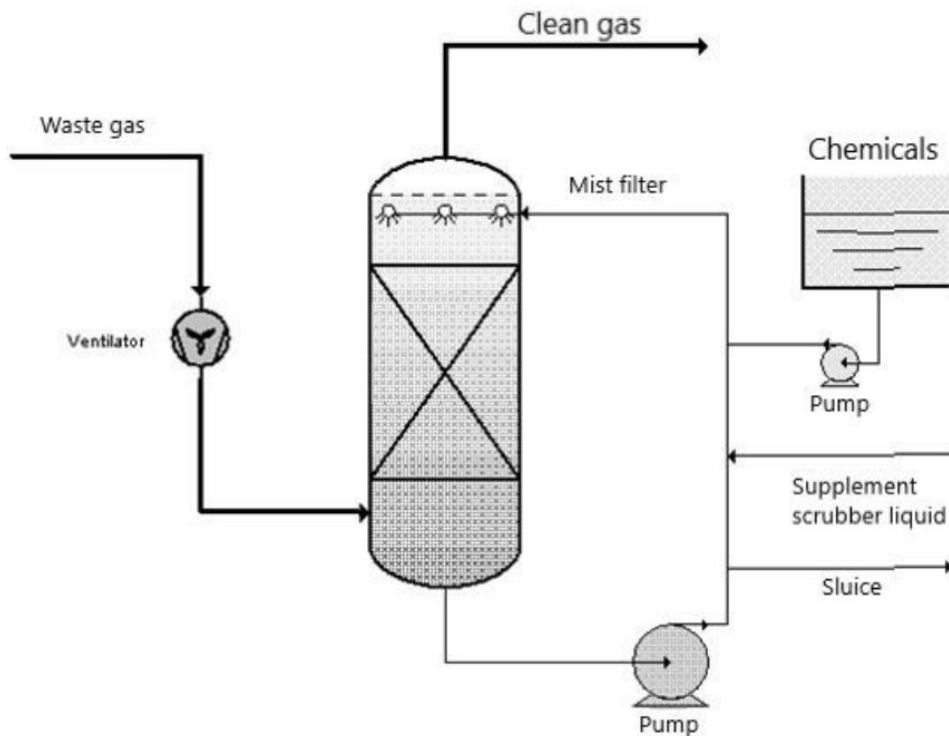
Tehtaan tapauksessa tarkasteltujen päästömittaustietojen perusteella (taulukko 8, s.25). Ilmamäärien ollessa suuria ja yhdisteiden pitoisuuksien pieniä,

laitteisto ei toimisi autotermisesti ja käsiteltävät kaasut vaatisivat jatkuvaa lisälämmitystä. Kokonaisuudessaan katalyyttisen polttolaitoksen käyttö ei olisi kannattava menetelmä yhdisteiden käsittelyyn kyseisessä tapauksessa.

5.2.4 Absorptio

Absorptiolla tarkoitetaan jonkun aineen imeytymistä kaasusta nesteeseen. Ainesosa siirtyy kaasufaasista nestefaasiin. Yleensä absorptioprosessit tapahtuvat hitaasti ja riippuu puhdistettavan virtauksen ominaisuuksista ja sen sisältämien yhdisteiden aineominaisuuksista. (Pihkala 2011, 135.) Absorptio voi olla kemiallinen käsittelymenetelmä, jossa puhdistettava kaasu reagoi nesteen kanssa ja yhdisteet hajoavat tai fyysinen talteenottomenetelmä, jossa yhdiste liukenee pesussa käytettävään nesteeseen ja yhdisteet otetaan siitä talteen. Toimivuus riippuu sopivasta absorbentista ja yhdisteen liukenemisestä siihen. (Suomen ympäristö 2008, 44.) Kemiallista käsittelymenetelmää käytetään yhdisteiden käsittelyssä kaasumaisissa virtauksissa (Ojala ym. 2015, 212).

Absorptioon voi olla laitteita, joissa kaasu nousee nesteessä kuplina tai kuvassa 14 esitetty helppoliukoisten kaasujen absorboimiseksi soveltuva laite, jossa neste laskeutuu kaasussa alaspäin pisaroina. Laite voi olla myös täytekappalekolonni, jossa kaasu virtaa ohuena kerroksena virtaavaa, täytekappaleita pitkin valuvaa nestettä vastaan. Täytekappalekolonni voi olla teollisuudessa jopa 30 metriä korkea ja halkaisijaltaan 10 metriä oleva pystyyn asetettu torni. Tarvittaessa absorptio voidaan, myös tehdä monivaiheisesti. (Pihkala 2011, 136–138.)



Kuva 14. Absorptiolaitte, jossa nestettä suihkutetaan ylhäältä ja kaasua syötetään alhaalta (Auweraert 2022, 25)

Pesurissa yhdisteet liukenevat nesteeseen ja absorboituneet yhdisteet jatko käsitellään. Pesuritekniikalla voidaan saavuttaa 50–99 % tehokkuus VOC-yhdisteiden talteenotossa veteen ja ehtona yhdisteiden talteen ottamiseksi on, että puhdistettavat yhdisteet, ovat helposti veteen liukenevia. Puhdistettavan kaasun virtaus voi olla välillä 50–500 000 m³(n)/h ja lämpötilan tulisi olla välillä 5–80 °C. Huonona puolena menetelmässä on, että sivutuotteena syntyy saastunutta vettä. (Auweraert 2022, 28–31.)

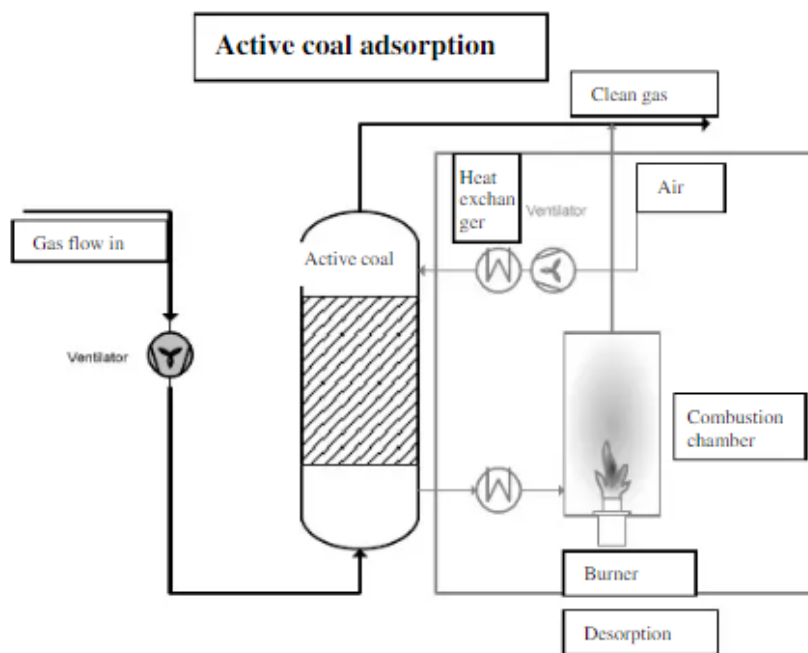
Laitteiston kustannuksiin vaikuttavat esimerkiksi ilmamäärät ja jäteveden käsittelystä aiheutuvat kulut. Investointikustannuksien on arvioitu olevan käsiteltävän ilmamäärän mukaan normaaliversioissa välillä 7 500–25 000 €/1 000 m³(n)/h ja edistyneisemmissä 10 000–50 000 €/1 000 m³(n)/h. Käyttökustannusten on arvioitu olevan välillä 1 000–30 000 €/1 000 m³(n)/h/a. (Auweraert 2022, 32.)

5.2.5 Adsorptio

Järjestelmä perustuu adsorptioon eli aineensiirtoprosessiin, jossa erotetaan kiinteään aineen pinnassa olevien molekyylien tai atomien vetovoimien avulla

kaasu- tai nestekomponentteja toisistaan fysikaalisesti tai kemiallisesti. Adsorptiolla voidaan myös erottaa selektiivisesti vain tiettyjä aineita. (Pihkala 2011, 139–140.) Periaatteessa adsorptiossa yhdisteiden ja adsorbenttien eli aktiivihiilen välille syntyy fyysinen side. Aktiivihiili voidaan kuitenkin käsitellä kemikaaleilla ja käsittely mahdollistaa kemiallisen sidoksen muodostumisen poistettavan aineen ja aktiivihiilen välille. (Auweraert 2022, 41.)

Aktiivihiilisuodatusjärjestelmä toimii niin, että käsiteltävä virtaus johdetaan horisontaalisen tai vertikaalisen aktiivihiilisuodatusjärjestelmän läpi. Kaasun sisältämät yhdisteet adsorboituvat eli kiinnittyvät suodattimessa toimivaan adsorbenttiin, eli yhdisteitä sitovaan aineeseen aktiivihiileen. Adsorptio voi olla myös käänteinen prosessi, eli kun yhdisteitä on tarttunut adsorbenttiin, ne voidaan poistaa siitä desorption avulla. Sillä tarkoitetaan adsorboivan aineen regenerointia, jolloin se voidaan käyttää uudestaan. Kuvassa 15 on havainnollistettu kuva aktiivihiili adsorptiosta ja desorptiosta. (Auweraert 2022, 41.)



Kuva 15. Aktiivihiili adsorptio- ja desorptioprosessit (Schenk, ym. 2009. 65)

Aktiivihiilen laajan mikrohuokosen rakenteen ja suuren mikrohuokosten määrän takia sen ominaispinta-ala voi olla 700–1 500 m²/g. Menetelmällä voidaan käsitellä pieniä tai suuria kaasuvirtauksia, mitkä ovat VOC-pitoisuudeltaan vähintään 10 mg/m³(n) ja enintään 25 % seoksen alemmasta räjähdysrajasta (LEL). (Schenk, ym. 2009. 64–67.) Kaasun lämpötilan tulisi olla välillä 5–80

°C, ollen ihanteellisimmillaan noin 20 °C. Kosteus ei saa kondensoitua aktiivihiileen ja puhdistettavan kaasun kosteuden olisi hyvä olla alle 70 %. Hiukkasilla on myös merkitystä, koska ne voivat alkaa tukkia aktiivihiilen huokosia. Yleisesti aktiivihiilellä voidaan saavuttaa 90–99 % puhdistusaste haihtuvien orgaanisten yhdisteiden talteenotossa. (Auweraert 2022, 43–44.) Ajan kuluessa aktiivihiili täyttyy yhdisteistä ja alkaa menettää adsorptiokykyään. Tämän tarkoittaa sitä, että suodattimen sisältämä aktiivihiili pitää uusia ja siitä aiheutuu ylläpitokustannuksia. Suodattimien käyttöaika riippuu sen sisältämän aktiivihiilen määrästä ja kaasusta puhdistettavien yhdisteiden pitoisuuksista ja virtauksen muista ominaisuuksista.

Adsorptioon sitovaksi aineeksi on olemassa myös zeoliitteja. Ne toimivat niin sanottuina molekyyliseuloina. Zeoliitit voivat olla esimerkiksi luonnossa esiintyviä maa-alumiinisilikaatteja tai synteettisesti halutulla huokoskoolla valmistettuja. (Pihkala 2011, 140.) Etuna zeoliittien käytössä on, että käsiteltävän kaasuvirtauksen lämpötila voi olla suurimmillaan 250 °C (Auweraert 2022, 44).

Erään laitevalmistajan aktiivihiilisuodatusjärjestelmä pystyy käsittelemään yhden suodattimen osalta ilmamääriä väliltä 5 500–55 000 m³(n)/h, ja rinnakkaisilla suodattimilla suurempiakin. Aktiivihiilisuodatusjärjestelmä asennettaisiin tehtaan pihaan niin, että suodatussäiliö voitaisiin vaihtaa uuteen sen adsorptiokyvyn heiketessä ja täyttyessä yhdisteistä. Suodatin voidaan vaihtaa tuomalla uusi suodatinkontti kuorma-autolla ja vaihtamalla se vanhan tilalle. Käytetty aktiivihiili ja sen sisältämät yhdisteet käsitellään toimittajan puolesta. (Desotec s.a.)

Poistoputket tulisi yhdistää yhdeksi kokonaisuudeksi tai hajauttaa pienemmiksi kokonaisuuksiksi ja putkittaa suodatusjärjestelmälle niin, että suodattimien vaihto on mahdollista. Uusitun kuivaimen päästömittausten aikaisten tunti-ilmamäärien perusteella yhdistettäessä putket, yksittäinen suodatin ei riittäisi käsittelemään virtausmäärää. Yhdistetyn suuren ilmavirran takia tarvittaisiin mahdollisesti rinnakkaiset suodattimet asennettuna niin, että poistoilma jakautuu niihin. Putket pystyttäisiin myös jakamaan usealle erilliselle suodattimelle. Yhdisteiden poistokohtaisissa pitoisuuksissa on hieman vaihtelua tuotekohtaisesti, joten yhdistämällä voisi olla etuna suodattimien tasainen täyttyminen pitoisuuksien vaihdellessa poistojen välillä.

Poistokaasujen lämpötilojen perusteella suodatusjärjestelmän toimintalämpötiloja ajatellen, kaikista kuivaimien poistoputkista tulee liian kuumaa ilmaa lukuun ottamatta 1. kuivaimen ensimmäistä poistoa, missä on lämmöntalteenotto jäähdyttämässä poistokaasuja. Poistokaasut tulisi jäähdyttää niiden käsittelemiseksi aktiivihillijärjestelmällä. Jäähdytys voitaisiin toteuttaa, esimerkiksi laajentamalla lämmöntalteenottoa kaikille poistoputkille niin, että poistokaasut jäähtyvät suodattimen toimintaraja-arvojen mukaisiksi eli enintään 80 °C.

Laitteiston investointikustannuksiin ja käyttökustannuksiin vaikuttavat, puhdistettavien yhdisteiden pitoisuudet ja virtauksen ilmamäärät sekä adsorbenttina toimivan materiaalin elinikä. Tunti-ilmamäärien perusteella on arvioitu investointikustannuksien olevan käsiteltävän ilmamäärän mukaan välillä 10 000–50 000 €/1 000 m³(n)/h ja käyttökustannuksien 2 500 €/1 000 m³(n)/h/a. Kustannukset riippuvat puhdistettavan virtauksen ominaisuuksista, yhdisteiden sisälöstä ja aktiivihillen määrästä. Adsorptiomateriaali maksaa noin 0,8–6 e/kg. (Auweraert 2022, 48.)

5.3 Johtopäätökset

Tehtaalla on säädetty kuivauslämpötilat tuotteiden laadun kannalta optimaaliksi valmistajalta saatujen kuivaussuosituksen mukaisesti. Tehtaalta löytyneiden tietojen mukaan NMVOC-yhdisteitä alkaa muodostumaan suurempia määriä kuivauslämpötilojen noustessa suuremmaksi kuin 220 °C, jolloin sideaine alkaa hajota ja menettää ominaisuuksiaan. Mainittujen tietojen perusteella voidaan todeta, että kuivauslämpötiloilla voidaan vaikuttaa muodostuviin yhdisteisiin. Huopaa kuivataan enintään 215 °C lämpötilassa ja luvussa 4 käsiteltyjen tietojen perusteella poistokaasujen lämpötiloissa tai kuivauslämpötiloissa ei ole huomattavissa poikkeamia.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden käsittelemiseksi teknologian avulla, tulisi käsittelyteknologialta vaadittavat reunaehdot eli ääriolosuhteet määrittää. Reunaehdot pitäisi määrittää sellaisen tuotannon mukaan, jossa yhdisteitä muodostuisi eniten. Tarkemman selvityksen tekemiseksi eri teknologioiden soveltuvuuksista NMVOC-yhdisteiden käsittelyyn tehtaan poistokaasuista tulisi si-

deaineseoksille tulisi tehdä testauksia tai ottaa näytteitä poistokaasuista, pääraaka-aineeseen vähissä määrin lisättävien lisäaineiden vaikutuksen selvittämiseksi yhdisteiden sisältöön ja pitoisuuksiin.

Aktiivihillijärjestelmällä pystyy puhdistamaan pieniä pitoisuuksia ja suuria ilmavirtoja. Rajoitteena aktiivihillisuodatusjärjestelmän käytölle yhdisteiden tehokkaaksi sitomiseksi on poistoilman lämpötila, minkä tulisi olla enintään 80 °C aktiivihillen adsorptiokyvyn säilyttämiseksi. Tarkasteltujen poistokaasujen lämpötilojen perusteella voidaan todeta, että poistokaasut tulisi jäähdyttää esimerkiksi lämmöntalteenottojärjestelmällä. Lämmöntalteenotolle putkistoineen tulisi tehdä mitoitukset tarpeeksi suuren poistokaasujen jäähdytyksen saavuttamiseksi aktiivihillisuodattimen toiminnan edellytyksenä. Lämpöä olisi mahdollista saada suuria määriä talteen, mutta vaatisi mittavat laiteinvestoinnit ja putkistosuunnittelut. Molemmissa vuosien 2020 ja 2021 päästömittauksissa 1. kuivaimen ensimmäisen poiston lämpötila on ollut riittävän alhainen. Kuvissa 2 ja 3 esitetyt poistoputket ovat enimmillään noin 70 metriä erillään toisistaan, joten poistoputkien yhdistäminen yhdeksi tai useammaksi kokonaisuudeksi ja niiden vieminen lämmöntalteenoton läpi maantasolle vaatisi mittavat putkitustyöt.

6 YHTEENVETO

Haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä eli VOC-yhdisteillä tarkoitetaan orgaanisia kemiallisia yhdisteitä, jotka omaavat alhaisen kiehumispisteen ja korkean haihtuvuuden. NMVOC-yhdisteillä tarkoitetaan kaikkia VOC-yhdisteitä paitsi metaania. Päästöt syntyvät tehtaalla lasihuovan valmistuksessa käytettävän sideaineseoksen kuivuessa tehtaan kolmessa kuivaimessa ja poistuvat ilmaan kuudesta poistoputkesta ja lisäksi vähissä määrin käryn poistosta.

Tehtaalla on suoritettu kahden vuoden välein ympäristöluvan edellyttämät päästömittaukset. Raportoitu NMVOC-kokonaisvuosipäästömäärä riippuu yksittäisen mittauksen edustavuudesta. Työssä laskettiin yhdisteiden poistokohdaisia massavirtoja vuosien 2013–2021 päästömittauksissa raportoitujen tietojen perusteella ja niitä tarkasteltiin erikseen vanhan ja uusitun 1. kuivaimen osalta. Vuosipäästömäärät laskettiin massavirtojen ja laitoksen käyttötuntien perusteella.

Laskettujen NMVOC-yhdisteiden vuosipäästömäärien perusteella pystyttiin toteamaan, että päästömäärät ovat olleet laskennallisesti huomattavasti matalammalla tasolla vuosien 2015–2021 aikana, verrattuna vuosien 2011–2014 päästöihin (kuva 4, s. 12). Vuoden 2013 päästömittauksessa on ollut 1. kuivaimen toisessa poistossa suuri muista poikkeava pitoisuus (taulukko 3, s. 16), joka on vaikuttanut yhdisteiden laskennallisiin vuosien 2013 ja 2014 kokonaisvuosipäästömääriin merkittävästi.

Tarkasteltujen yhdisteiden pitoisuuksien ja massavirtojen perusteella pystyttiin toteamaan, että yleisimmin käytetyllä sideaineseoksella ”93” tehtävän tuotannon aikana yhdisteiden pitoisuudet ovat olleet alhaisia. Tehtaan mukaan 80 % tuotannosta on sideaineseoksella ”93” tuotettavia tuotteita. Tuotannon koostuksessa pääasiassa edellä mainitusti sideaineseoksella ”93” valmistettavista tuotteista, voidaan olettaa NMVOC-päästöjen pysyvän lähellä vuosien 2020 ja 2021 päästömittauksien tasoa.

Sideaineseoksen pääasiassa koostavasta pääraaka-aineesta löytyi tehtaalta tietoa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sisällöstä. Tiedoista keskusteltiin raaka-aineen valmistajan kanssa ja tietojen todettiin pitävän paikkansa. Niiden perusteella pystyttiin todeta, että kuivauslämpötiloilla on vaikutusta muodostuviin yhdisteisiin.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden käsittelyyn olemassa olevia käsittelymenetelmiä ja niillä käsiteltäviä ilmamääriä tarkasteltiin yleisesti. Lisäksi listattiin muita niillä käsiteltäviä päästöjä (taulukko 9, s. 26). Lähteen perusteella kirjattiin joidenkin käsittelymenetelmien suuntaa antavia kustannusarvioita investointikustannuksien osalta muodossa €/1 000 m³_(n)/h ja käyttökustannuksien osalta €/1 000 m³_(n)/h/a.

Yhdisteiden pitoisuudet ovat olleet alhaisia ja ilmavirrat suuria (taulukko 8, s. 25). Yhdisteiden käsittely hajottamalla niitä katalyyttisellä polttolaitoksella ei olisi taloudellisesti kannattavaa, koska pitoisuudet ovat olleet tarkasteltujen päästömittauksien tietojen mukaisesti huomattavasti laitteiston autotermisen toiminnan vaatimaa pitoisuutta alhaisemmat. Laitteisto joutuisi lämmittämään poistokaasuja ja aiheuttaisi lisäkustannuksia.

Aktiivihiihisuodatusjärjestelmällä olisi mahdollista käsitellä alhaisia VOC-pitoisuuksia ja suuria ilmavirtoja. Suodatin voitaisiin vaihtaa sen täytyessä yhdisteistä. Poistoputkia pitäisi putkittaa niin, että suodattimen vaihto olisi mahdollista tehdä kuorma-autolla. Suodatusjärjestelmän toiminnan kannalta kuivaimien poistokaasujen lämpötilat ovat olleet liian suuret viiden poiston osalta ja tulisi jäähdyttää aktiivihiihisuodatusjärjestelmän toiminnan edellytyksenä. Poistokaasut ovat olleet tarpeeksi viileitä ainoastaan 1. kuivaimen ensimmäisessä poistoputkessa, jossa on lämmöntalteenotto jäähdyttämässä poistokaasuja. Poistokaasuja pystyttäisiin käsitellä aktiivihiihisuodatusjärjestelmällä, mutta poistokaasuja tulisi jäähdyttää järjestelmän toimiseksi.

Lähteet

Ahlstrom-Munksjö. 2020. Solutions for luxury vinyl tiles (LVT). PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.ahlstrom-munksjo.com/globalassets/products/construction-and-furniture-materials/performance-materials-for-durable-construction/fibroc_flooring_sell_sheet_lvt_a4_web.pdf [viitattu 20.11.2022].

Antson, A., Hakala, I., Karjalainen, A., Koivula, K., Gyllenberg, P., Hirvikallio, H., Lahti, J., Soljamo, K., Silvo, K., Silander, S., Tikkanen, S. & Villikka, J. 2008. Suomen ympäristökeskus. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) liuottimia käyttävässä pintakäsittelyssä. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38357/SY_23_2008.pdf?sequence=3&isAllowed=y [Viitattu 20.11.2022].

Auwerart, R. & Brouwer, A. 2022. Air pollution control technologies. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.infomil.nl/publish/pages/196013/air-pollution-control-technologies_fact-sheets_april-2022.pdf [Viitattu 20.11.2022]

Berenjian, A., Chan, N. & Malmiri, H. 2012. Volatile Organic Compounds Removal Methods: A Review. American journal of biochemistry and biotechnology. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://thescipub.com/pdf/ajbbsp.2012.220.229.pdf> [Viitattu 20.11.2022].

Desotec. Activated carbon. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.desotec.com/en/solutions/activated-carbon-properties> [Viitattu 20.11.2022].

Desotec. s.a. Industrial activated carbon filter. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.desotec.com/en/solutions/filter-solutions> [Viitattu 20.11.2022].

Desotec. s.a. Recycling and reactivation of activated carbon. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.desotec.com/en/solutions/recycling-and-activation-activated-carbon> [Viitattu 20.11.2022].

European IPPC Bureau. 2019. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-12/WGC_D1.pdf [viitattu 20.11.2022].

Genano. s.a. VOC-yhdisteiden puhdistusteknologia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.genano.com/fi/voc/teknologia?hsLang=fi> [Viitattu 20.11.2022].

Genano. s.a. VOC-kaasujen katalyyttinen polttolaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.genano.com/fi/tuotteet/voc?hsLang=fi> [Viitattu 20.11.2022].

Ilmansuojeluyhdistys ry & VTT Prosessit. 2007. Päästömittausten käsikirja: osa 1 päästömittaustekniikan perusteet. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://ilmansuojeluyhdistys.files.wordpress.com/2015/05/osa1.pdf> Viitattu [20.11.2022].

Ojala, S., Koivikko N., Laitinen, T., Mouammine, A., Seelam, P., Laassiri, S., Ainassaari, K., Brahmi, R. & Keiski, R. 2015. Utilization of volatile organic

compounds as an alternative for destructive abatement. Teoksessa Lamonier, J. Catalytic removal of volatile organic compounds, 190–258. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/Search/Results?lookfor=Catalytic+removal+of+volatile+organic+compounds&type=AllFields> Viitattu [20.11.2022].

Pihkala, J. 2011. Prosessiteknikka: prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotanto-prosessit. Tampere: Opetushallitus. [Viitattu 20.11.2022].

Peluso, M., Thomas, H. & Sambeth, J. 2011. Sources and elimination of volatile organic compounds. Teoksessa Hanks, J. & Louglin, S. Volatile Organic Compounds. E-kirja. Saatavissa: https://kaakkuri.finna.fi/Record/nelli29_mamk.2550000001043353 [viitattu 20.11.2022].

Schenk, E., Mieog, J. & Evers, D. 2009. Fact Sheets on Air Emission Abatement Techniques; DHVB.V.: Amersfoort, The Netherlands. Saatavissa: <https://www.scribd.com/document/430388541/fact-sheets-on-air-emission-abatement-techniques-final-2009-02-20-pdf> [Viitattu 20.11.2022].

Silvonen, V. Genano. s.a. VOC-päästöjen vähentäminen onnistuu erilaisia teknologioita käyttäen. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.genano.com/fi/tietopankki/voc-paastojen-vahentaminen-onnistuu-erilaisia-teknologioita-kayttaen> [viitattu 20.11.2022].

Suomen Ympäristökeskus SYKE. 2014. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (NMVOC). Ympäristö.fi. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.6.2022. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu/Ilman_epapuhtaudet_Suomessa/Haihtuvat_organiset_yhdisteet [viitattu 20.11.2022].

Suomen Ympäristökeskus SYKE. 2014. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (NMVOC)-luettelo. Ympäristö.fi. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/download/NMVOCluettelo_englantisuomipdf/%7B1B21E47B-C3F2-45A0-B0E5-9A2748B99B07%7D/99664 [Viitattu 20.11.2022].

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2020. Taustatietoa ilman epäpuhtauksien päästöistä. Ympäristö.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot/Taustatietoa_ilman_epapuhtauksien_paasto\(59118\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot/Taustatietoa_ilman_epapuhtauksien_paasto(59118)) [Viitattu 20.11.2022].

Tilastokeskus. 2022. Greenhouse gas emissions in Finland, National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/fi_nir_eu_2020_2022-03-15.pdf [viitattu 20.11.2022].

Ympäristöministeriö. 2019. Kansallinen ilmansuojeluohjelma 2030. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161467/Kansallinen%20ilmansuojeluohjelma%202030.pdf?sequence=4&isAllowed=y> [Viitattu 20.11.2022].