

**Pro gradu -tutkielma**

**Metallijätteen murskauksesta syntyvät ilmapäästöt  
ja niiden hallinta**

**Eveliina Kyllönen**



**Jyväskylän yliopisto**

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

28.10.2022

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta  
Bio- ja ympäristötieteiden laitos  
Tutkinto-ohjelma: Ympäristötieteen maisteriohjelma, Master's Degree  
Programme in Biological and Environmental Science

Kyllönen Eveliina Metallijätteen murskauksesta syntyvät ilmapäästöt  
ja niiden hallinta

Pro gradu tutkielma: 68 s., 13 liitettä (24 s.)

Työn ohjaajat: Prof. Tuula Tuhkanen ja QEHS-asiantuntija Arto  
Arvola

Tarkastajat: Prof. Tuula Tuhkanen ja ympäristöpäällikkö Maija  
Oravala

Lokakuu 2022

---

Hakusanat: BAT-päätelmät, hajapäästö, päästöinventaario, metallien kierrätys,  
metallien murskaus

Metallijätteiden kierrättäminen on tärkeää, sillä se korvaa neitseellisten raaka-aineiden käyttöä ja vähentää ympäristöhaittoja. Jätteiden käsittelyyn liittyvät BAT-päätelmät (Best available techniques) ohjaavat jätehuoltoalan direktiivilaitosten ympäristöluvitusta edellyttäen jätehuoltoalan yrityksiltä ilmapäästöselvityksien tekemistä. Tutkielman toimeksiantajan, erityisesti metallien kierrätysliiketoimintaan keskittyneen Kuusakoski Oy:n tuli tehdä ympäristölupapäätöksen edellyttämä päästöinventaario ja hajapäästöselvitys Uudenmaan ELY-keskukselle. Nämä ilmapäästöselvitykset tehtiin Vantaalla sijaitsevan palvelupisteen metallijätteiden murskauslaitoksesta. Ilmapäästömittauksia varten tutkimuksessa kartoitettiin ja valittiin sopivat konsulttiyritykset. Päästömittausten avulla saatiin selville, mistä kohti ja miten paljon murskausprosessin eri vaiheista muodostui mitattavana olleita päästöjä ja mihin asti ne levisivät. Eniten päästöjä muodostui murskauksesta, jonka päästöt myös levisivät pisimmälle ympäristöön. Suurimmat pitoisuudet mitattiin haihtuville orgaanisille yhdisteille (VOC), joita tullaan paremmin tarkkailemaan tulevaisuudessa ilmapäästömittauksissa. Kuitenkin kaikki päästöinventaariorissa ja hajapäästöselvityksessä mitattujen yhdisteiden pitoisuudet jäivät verrattavana olleiden raja-arvojen alle. Päästöjen jäätyä selvästi alle asetettujen raja-arvojen, ei välitöntä päästöjenhallinnan kehittämistarvetta ole. Tutkielman laajempi merkitys ja tarpeellisuus pohjautui teollisuuspäästädirektiivin tavoitteisiin ympäristön ja terveyden suojelemiseen.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science  
Department of Biological and Environmental Science  
Master's Degree Programme in Environmental Science

Kyllönen Eveliina                      Air emissions and their control from the crushing of  
scrap metal

MSci Thesis:                              68 p., 13 appendices (24 p.)

Supervisors:                              Prof. Tuula Tuhkanen and QEHS-specialist Arto  
Arvola

Reviewers:                                Prof. Tuula Tuhkanen and environmental manager  
Maija Oravala

October 2022

---

Keywords: BAT conclusions, fugitive emissions, emission inventory, metal  
recycling, metal crushing

It is important to recycle scrap metal as it replaces the use of virgin raw materials and reduces environmental harm. The BAT (Best available techniques) guides the environmental permits of waste management directive institutes and requires waste management companies to compile air emission surveys. The client of this thesis Kuusakoski Oy is mainly focused on metal recycling. Required by the environmental permit to the Uusimaa ELY Center, Kuusakoski Oy had to perform the emission inventory and fugitive emission study. Air emission studies were performed at the metal waste crushing plant at the shredder yard in Vantaa. The suitable consulting companies were selected for the air emission measurements. By analyzing the emission measurements, information was collected from where and how much emissions were generated from the crushing process and how far they spread. Shredding caused the most emissions, and the emissions from shredding also spread the farthest into the environment. The highest concentrations were measured for volatile organic compounds (VOC), and they will be monitored better in future air emission measurements. However, all the concentrations of the compounds measured in the emissions inventory and the diffuse emission survey were below the comparable limit values. Since the emissions were minor, there was no need to develop emissions management. The wider significance and necessity of the thesis is based on the objectives of the industrial emissions directive to protect the environment and health.

# SISÄLLYSLUETTELO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>JOHDANTO.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>PALVELUPISTEEN JA MURSKAUSPROSESSIN ILMAPÄÄSTÖT JA NIIDEN HALLINTA.....</b> | <b>4</b>  |
| 2.1      | Vantaan palvelupiste, murskausprosessi sekä siitä muodostuvat ilmapäästöt..... | 4         |
| 2.2      | Palvelupisteen ja murskausprosessin muut ilmapäästöt ja niiden lähteet .....   | 5         |
| 2.3      | Ilmapäästöjen tarkkailu ja edellytykset ympäristölupapäätöksessä...            | 7         |
| 2.4      | Muut ilmapäästötutkimukset Vantaan ja Kuopion murskauslaitoksilta .....        | 7         |
| 2.5      | Ilmapäästöjen vähentäminen ja hallinta.....                                    | 10        |
| <b>3</b> | <b>ILMAPÄÄSTÖJEN TUTKIMUSMENETELMÄT.....</b>                                   | <b>13</b> |
| 3.1      | Yleistä mittauksista.....  | 13        |
| 3.2      | Mittausmenetelmät.....   | 14        |
| 3.2.1    | Päästöinventaario.....   | 14        |
| 3.2.2    | Hajapäästöselvitys .....   | 16        |
| <b>4</b> | <b>TULOKSET ILMAPÄÄSTÖMITTAUKSISTA.....</b>                                    | <b>21</b> |
| 4.1      | Päästöinventaario .....  | 21        |
| 4.1.1    | Päästöraja-arvot.....  | 21        |
| 4.1.2    | Päästöinventaarionmittauksen tulokset.....                                     | 21        |
| 4.2      | Hajapäästöselvitys .....   | 23        |
| <b>5</b> | <b>TULOSTEN TARKASTELU .....</b>   | <b>32</b> |
| 5.1      | Päästöinventaario .....  | 32        |
| 5.2      | Hajapäästöselvitys .....   | 33        |
| 5.3      | Ilmapäästöjen hallinta .....   | 36        |
| <b>6</b> | <b>PÄÄTELMÄT.....</b>  | <b>39</b> |
|          | <b>KIITOKSET .....</b>   | <b>40</b> |
|          | <b>KIRJALLISUUSLUETTELO.....</b>   | <b>41</b> |
|          | <b>LIITE 1. PÄÄSTÖINVENTAARION HIUKKASPÄÄSTÖT .....</b>                        | <b>44</b> |
|          | <b>LIITE 2. PÄÄSTÖINVENTAARION METALLI- JA ELOHOPEAPÄÄSTÖT</b>                 | <b>45</b> |
|          | <b>LIITE 3 PÄÄSTÖINVENTAARION KROMI-(VI)-PÄÄSTÖ.....</b>                       | <b>46</b> |
|          | <b>LIITE 4 PÄÄSTÖINVENTAARION TVOC-PÄÄSTÖ .....</b>                            | <b>47</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>LIITE 5 LIITE 6 PÄÄSTÖINVENTAARION PCDD/F-PÄÄSTÖ .....</b>                         | <b>49</b> |
| <b>LIITE 6 PÄÄSTÖINVENTAARION DIOKSIINIEN KALTAISTEN PCB-YHDISTEIDEN PÄÄSTÖ .....</b> | <b>51</b> |
| <b>LIITE 7 PÄÄSTÖINVENTAARION PBDE-PÄÄSTÖ .....</b>                                   | <b>53</b> |
| <b>LIITE 8 PÄÄSTÖINVENTAARION PBB-PÄÄSTÖ .....</b>                                    | <b>55</b> |
| <b>LIITE 9 PÄÄSTÖINVENTAARION HBCD-PÄÄSTÖ .....</b>                                   | <b>56</b> |
| <b>LIITE 10 PÄÄSTÖINVENTAARION MITTAUSLAITTEISTO .....</b>                            | <b>57</b> |
| <b>LIITE 11 HAJAPÄÄSTÖSELVITYKSEN VOC-ANALYYSI PM4 .....</b>                          | <b>59</b> |
| <b>LIITE 12 HAJAPÄÄSTÖSELVITYKSEN VOC-ANALYYSI PM2 .....</b>                          | <b>63</b> |
| <b>LIITE 13 HAJAPÄÄSTÖSELVITYKSEN VOC-ANALYYSI PM1 (B) .....</b>                      | <b>66</b> |

## SANASTO JA LYHENTEET

### Sanasto

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>BAT-päätelmä</b>         | Alojen direktiivilaitosten ympäristöluvitusta ohjaava päätelmä   |
| <b>Hajapäästö</b>           | Päästö, joka on yleensä lähtöisin tunnistamattomasta lähteestä tai laajalta alueelta                     |
| <b>Kanavoitu päästö</b>     | Piippujen, putkien ja hormien kautta johdettu päästö   |
| <b>Päästöinventaariorio</b> | Inventaario, jonka tarkoituksena on tunnistaa jätteenkäsittelytoiminnan ilmaan aiheuttamat päästölähteet |

### Lyhenteet

|               |  |
|---------------|--|
| <b>BAT</b>    | Paras käytettävissä oleva tekniikka (eng. <i>Best available techniques</i> )   |
| <b>BREF</b>   | Vertailuasiakirjat (eng. <i>BAT reference documents</i> )  |
| <b>HBCD</b>   | Heksabromisyklododekaani<br>(eng. <i>Hexabromocyclododecane</i> )  |
| <b>PBB</b>    | Polybromattu bifenyyl<br>(eng. <i>Polybrominated biphenyls</i> )   |
| <b>PBDE</b>   | Polybromatut difenyylieetterit (eng. <i>Polybrominated diphenyl ethers</i> )   |
| <b>PCB</b>    | Polykloorattu bifenyyl (eng. <i>Polychlorinated biphenyl</i> )   |
| <b>PCDD/F</b> | Polyklooratut dibentso-para-dioksiinit ja polyklooratut dibentsofuraanit (eng. <i>Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans.</i> ) |
| <b>VOC</b>    | Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (eng. <i>Volatile organic compounds</i> )   |

# 1 JOHDANTO

Kierrätysliiketoimintaan keskittyneen Kuusakoski Oy:n toiminnan ydinosaamisaluetta on metallien kierrättäminen. Pääosin Kuusakoski Oy:llä käsitellään erilaisia metallijätteitä, jalometallipitoista jätettä, ajoneuvoja ja akkuja. Kaikista käsitellyistä materiaaleista yli 90 prosenttia päätyy kierrätykseen tai muulla tavalla hyötykäyttöön. Kuusakoski Oy:lle tulevien metallijätteiden kierrättämisprosessi alkaa jätteen toimituksesta ja vastaanottotarkastuksesta. Sen jälkeen jätteelle tehdään tarvittaessa esilajittelu ja esikäsitely, jonka jälkeen jäte murskataan. Kuusakoski Oy:llä on kolme metallijätteen murskauslaitosta Suomessa, joista tässä tutkimuksessa oleva murskauslaitos sijaitsee Vantaalla. (Oravala 2022.)

Murskauksen jälkeen jäte jatkaa erilaisiin erotteluprosesseihin, joissa eri materiaalit saadaan eroteltua toisistaan. Murskaus on oleellinen osa kierrättämistä, jotta metallijätteestä saataisiin mahdollisimman paljon hyödyntämiskelpoista materiaalia talteen ja tehtyä siitä uusiomateriaaleja. (Canova, Zerger, Roth, Pinasseau & Roudier 2018.) Metallia on mahdollista jatkojalostaa silloin, kun se murskataan pienempään partikkelikokoon. Tärkeän uusiomateriaalien käyttämisestä tekee se, että uusiomateriaalit muun muassa korvaavat neitseellisten raaka-aineiden käyttämistä, vähentävät merkittävästi kaivostoimintaa ja säästävät energiaa (Suomen uusioraaka-aineliitto ry 2022).

Metallijätteen murskauksesta, kuten teollisuuden toiminnoista yleensäkin syntyy ympäristöhaittoja. Metallijätteen murskauslaitokset luokitellaan direktiivilaitoksiksi silloin, kun niiden kapasiteetti on yli 75 tonnia vuorokaudessa. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014.) Direktiivilaitosten ympäristöhaittoja pyritään vähentämään ympäristönsuojelulain 527/2014 (YSL 5 §) mukaan käyttämällä parhaita käyttökelpoisia menetelmiä BAT (Best available techniques). BAT tarkoittaa uutta ja kehittynyttä tekniikkaa, jolla voidaan ehkäistä tai vähentää tehokkaasti erilaisten toimintojen aiheuttamaa ympäristön pilaantumista. Parhaalla käyttökelpoisella tekniikalla tarkoitetaan pääosin kehittyneitä, tehokkaita, taloudellisesti sekä teknisesti toteutettavia menetelmiä liittyen tuotantoon, tapoihin, suunnitteluun, käyttöön, ylläpitoon ja rakentamiseen. Nämä menetelmät pienentävät päästöjä sekä tehostavat energian tehokkaampaa käyttöä. (Ympäristöhallinto 2016.)

BAT-päätelmien ja niiden soveltamisen taustalla on teollisuuspäästädirektiivi. Teollisuuspäästädirektiivi on Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2010/75/EU) teollisuudesta tulevista päästöistä. Se on EU:n tärkein säädös, jolla säännellään teollisuuslaitosten epäpuhtauspäästöjä. (European Commission 2021.) Monet aiemmat teollisuuden päästöjä säätelevät direktiivit yhdistyvät teollisuuspäästädirektiivissä yhdeksi isoksi kokonaisuudeksi, jonka tavoitteena on ympäristön ja terveyden suojeleminen. Teollisuuspäästädirektiivi säätelee myös teollisuudesta tulevia ympäristövaikutuksia ympäristöluvituksen kautta. (Ympäristöhallinto 2013.)

Parasta käyttökelpoista tekniikkaa sisältävät tiedot julkaistaan BREF-dokumentteina (Reference Document) (European Commission 2021). BREF-dokumentit ovat BAT-vertailuasiakirjoja ja oleellimmat tiedot BREF-dokumenteista löytyvät tiivistetysti BAT-päätelmistä (Fjäder, Kauppi & Räsänen 2020). BREF-dokumentit sisältävät teollisia toimintoja, joita EU:n IPCC-direktiivin (Intergovernmental Panel on Climate Change) liite 1 käsittää. IPCC on hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli, joka tarjoaa poliittisille päättäjille päätöksentekoa tukevia tieteeseen perustuvia arvioita ilmastonmuutoksesta (Intergovernmental Panel on Climate Change 2022). BREF-dokumenteissa kuvataan useita teollisia prosesseja sekä näitä prosesseja vastaavia päästömääriä ja käyttöolosuhteita. EU:n jäsenvaltioiden tulee huomioida BREF asiakirjoja määrittäessään parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa direktiivin mukaisesti. (European Commission 2021.)

BAT-päätelmät vaativat toiminnanharjoittajalta jätevesiä ja jätokaasuja koskevan päästöinventaarion tekemistä. Päästöinventaarior sisältää tietoa ominaisuuksista, jotka liittyvät jätteenkäsittelyprosessiin. (Forsius, Jouttijärvi & Vähä 2021.) Päästöinventaarior tunnistaa mahdollisia päästölähteitä liittyen jätevesi- ja jätokaasuvirtoihin sekä näiden päästölähteiden sisältämät pitoisuudet (Ympäristöministeriö 2018). Hyvin tehtyjen päästöinventarioiden tarkoituksena on myös sisältää tietoa päästöjen hallitsemisesta (Forsius ym. 2021).

Ympäristönsuojelulain (527/2014) 7 § edellyttää toiminnanharjoittajan toimimaan ympäristöä pilaamatta ja siten, että ympäristön pilaantuminen on ennalta ehkäistävissä. Jos pilaantumista ei pystytä ehkäisemään kokonaan, on huolehdittava pilaantumisen olevan mahdollisimman vähäistä. Ympäristönsuojelulaki siten edellyttää, että toiminnanharjoittajan tulee tarkkailla toiminnastaan syntyviä vaikutuksia ja päästöjä. Toiminnanharjoittajan tulee toimittaa viranomaiselle tietoja tarkkailuista päästöistä ja vaikutuksista sekä muun muassa toiminnassa käytetyistä polttoaineista, kemikaaleista ja syntyvistä jätteistä. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014.) Forsiuksen ym. (2021) mukaan päästöinventaarion tarkoitus on olla tukemassa näiden ympäristönsuojelulain edellyttämien velvoitteiden toteutumista.

Metallijätteen murskauksen ympäristöhaittoihin kuuluu tässä tutkielmassa tutkitut ilmapäästöt. Ilman epäpuhtauksiin kuuluvat hiukkaset, happamoittavat yhdisteet, raskasmetallit sekä hitaasti hajoavat orgaaniset yhdisteet. (Ympäristöhallinto 2020.) Päästöjä pyritään rajoittamaan lainsäädännön avulla ja epäpuhtauksille on laadittu omat päästötasot sekä ilmanlaadunohjearvot (Ilmanlaadun säädökset ja ohjeet 2021). Ilmapäästöihin kuuluviin ja tässä tutkimuksessa tutkittuihin hajapäästöihin kuuluu suuri määrä päästöjä, jotka ovat kanavoituja päästöjä vaikeammin hallittavissa. Kanavoidut päästöt ovat pääosin piipuista tulevia päästöjä, joita johdetaan ympäristöön piippujen, putkien ja hormien kautta (EUR-Lex 2018). Tällaisia ovat pääasiassa tahattomat ja hajanaiset päästöt. Hajapäästöjä voi syntyä muun muassa erilaisista tuotannoista ja käsittelyistä ja hajapäästöt voivat vaikuttaa VOC-yhdisteiden ja hiukkasten kokonaispäästöihin. (Hietämäki, Lammi, Saarinen & Silvo 2004.)



Tämän tutkimuksen tutkimuskysymyksenä oli, miten tutkimuskohteena olevan murskauslaitoksen päästöinventaario ja hajapäästöselvitys toteutetaan ja mitä päästöjä niillä halutaan mitata sekä, miten ilmapäästöjä voidaan kartoittaa ja saada tietoa niiden syntymisestä sekä vaihtelusta. Muihin tutkimuskysymyksiin kuului selvittää etenkin hajapäästöjen suuruus siten, että voidaan vetää johtopäätökset päästöjen vähentämistarpeesta ja prosessikohdista, joissa päästöjen vähentäminen olisi tehokkainta kokonaispäästöjen kannalta.

Tutkimuksen hypoteeseiksi oli asetettu, että päästöinventaarion ja hajapäästöselvityksen avulla saadaan päästölähteet selville ja, kun merkittävimmät hajapäästölähteet ovat tiedossa, voidaan tarvittaessa määrittää teknisiä toimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi. Toiseksi hypoteesiksi oli asetettu, että hajapäästöt ovat kanavoituja päästöjä merkittävämpiä murskauksen kokonaispäästöjen kannalta. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi käytettiin kokeellista työtä, jonka avulla saatiin selvitettyä päästöinventaarion ja hajapäästöselvityksen edellyttämät pitoisuudet, päästöjen leviäminen sekä vertailtua pitoisuuksia raja-arvoihin.

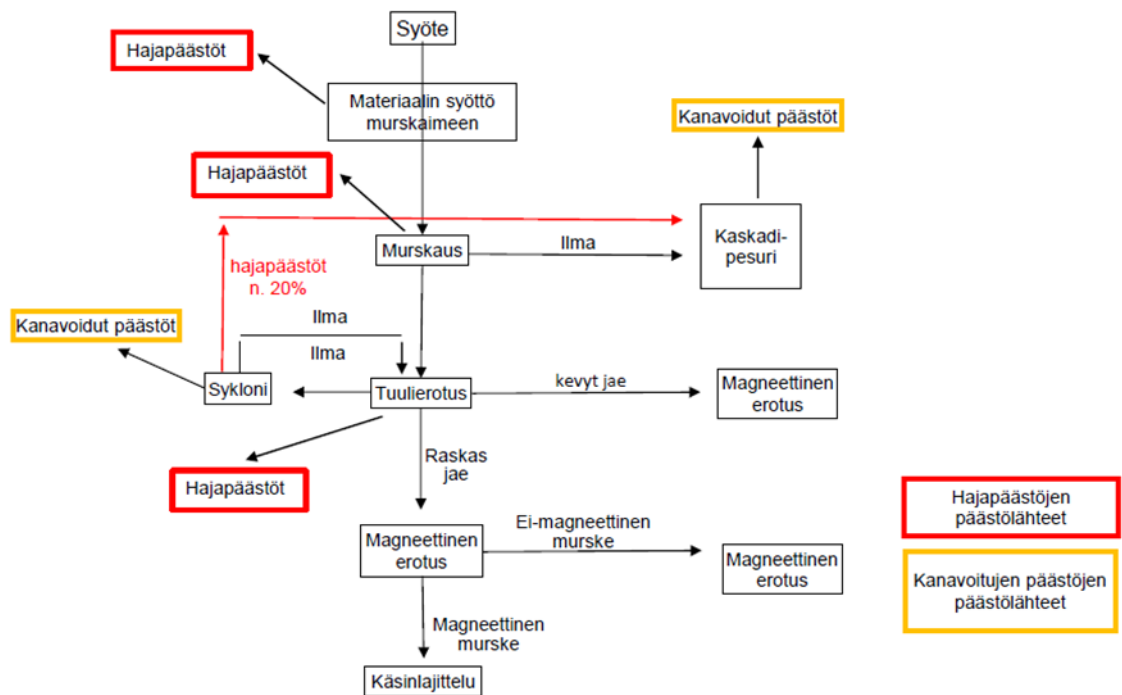
## 2 PALVELUPISTEEN JA MURSKAUSPROSESSIN ILMAPÄÄSTÖT JA NIIDEN HALLINTA

### 2.1 Vantaan palvelupiste, murskausprosessi sekä siitä muodostuvat ilmapäästöt

Kuusakoski Oy:n Vantaalla oleva palvelupiste sijaitsee Helsinki-Vantaan lentokentän läheisyydessä Kiilan kaupunginosassa. Lähin asutusalue palvelupisteeltä sijaitsee noin 600–800 metrin päässä, mutta joitakin yksittäisiä asuinrakennuksia sijaitsee vielä lähempänä palvelupistettä. Vantaan palvelupiste vastaanottaa pääosin kierrätysmetallia ja muita metallipitoisia materiaaleja. Muita vastaanotettavia jätteitä ovat sähkö- ja elektroniikkajätteet, autot, renkaat, pienet erät vaarallista jätettä, muuntajat sekä rakennusjäte. (Pöyry 2018.)

Murskauslaitoksella jätteet syötetään kahmarilla lamellikuljettimelle, jota pitkin jäte päätyy murskaimelle. Vantaan murskain toimii sähköllä ja sen käyttövoima on 1600kW. Murskattu materiaali jatkaa tärykuljettimen kautta tuulierottimelle. (Pöyry 2018). Kantolan (2022) mukaan tuulierottimen tarkoituksena on erottaa kevyt ja raskas materiaali toisistaan tuulierottimeen painettua ilmavirtaa apuna käyttäen. Tuulierottimen jälkeen kevyt jätemateriaali jatkaa magneettiseen erotukseen, jossa siitä saadaan magneettinen jäte erilleen. Raskas jätemateriaali jatkaa tuulierottimen jälkeen toiselle magneettierottimelle, joka erottelee magneettisen ja ei magneettisen jätteen toisistaan. Raskaan jätemateriaalin magneettinen jäte jatkaa käsinlajitteluun, jossa poistetaan käsin sinne joutuneita ei-magneettisia materiaaleja. Ei-magneettinen jäte jatkaa vielä uudestaan magneettiseen erotukseen, jolloin ei-magneettinen jäte saadaan paremmin erilleen. (Kuva 1.) (Pöyry 2018.)

Murskaustoiminnoista aiheutuvia hajapäästöjä syntyy materiaalin syötöstä murskaukseen, murskauksesta, tuulierottimesta sekä syklonilta. Materiaalin siirtäminen kuljettimelle aiheuttaa pölyisyyttä materiaalista riippuen. Murskaus ei ole kokonaan katettu, niin sanottu murskaimen nielu on avoin, joten murskauksesta pääsee sitä kautta hajapäästöjä ilmaan. Murskauksen ilmasta noin 80 % imetään kaskadipesurille. Kaskadipesurin tarkoitus on puhdistaa pölyistä ilmaa ennen, kuin ilma johdetaan kaskadipesurin poistopiipun kautta ulos. Kaikkea ilmaa murskauksesta ei pystytä imemään muun muassa tiiviyden ja räjähdysvaaran takia. Murskauksesta ja tuulierotuksesta tulee hajapäästöjä, koska prosessiin ei saada syötettyä koko ajan stabiilia määrää jätettä. Tuulierotin poistaa raskaan jakeen kevyestä ja kevyt pölyinen ilma johdetaan syklonille. Syklonin ilmasta 10–20 % johdetaan puhdistettavaksi kaskadipesurille. Hajapäästöjä aiheutuu jonkin verran kuljettimien risteyskohdista, mutta ne ovat kuitenkin hyvin vähäisiä. Kanavoituja päästöjä syntyy kaskadipesurin ja syklonin poistopiipuista. (Kuva 1.) (Kantola 2022.)



Kuva 1. Prosessikaavio murskausprosessista ja sen ilmapäästölähteistä. Punainen väri kuvaa prosessista syntyviä hajapäästölähteitä ja keltainen väri kanavoituja päästölähteitä. ©Eveliina Kyllönen

## 2.2 Palvelupisteen ja murskausprosessin muut ilmapäästöt ja niiden lähteet

Ilmapäästöt, joita palvelupisteen toiminnasta syntyy, rajoittuu pääosin palvelupisteen alueelle ja sen läheisyyteen (Pöyry 2018). Piha-alueella pölyämistä aiheuttavat liikenne, varastokasojen siirteleminen ja kierrätykseen tulevien materiaalien esikäsittelytoiminnot. Pölyämistä estetään tarpeen mukaan käsittelemällä pölyäviä materiaaleja halleissa tai katetuissa tiloissa, sumuttamalla vettä ja puhdistamalla piha-alueita. (Päätös nro 218/2019.)

Ilmapäästöjen käsittelylaitteiston toimintahäiriöiden takia murskauslaitoksen hiukkaspäästöt kohosivat vuosina 2013–2015. Tämän takia lähinnä kaskadipesurille tehtiin mittavat huolto- ja kunnostustyöt, joiden ansiosta päästöt laskivat selvästi. (Taulukko 1.) Yleisesti ottaen hiukkasista määritettyjen metallien pitoisuudet ovat olleet hyvin pieniä (Päätös nro 218/2019).

Taulukko 1. Kanavoitujen päästöjen ilmapäästömittaukset murskauslaitokselta vuosien 2013–2017 ajalta. Vuonna 2015 on tehty kaksi mittausta johtuen hiukkas-  
ten raja-arvon ylityksestä. (Ilmapäästöraportit 2013–2017.)

|              | Hiukkaset          | As                 | Cd                 | Cr                 | Cu                 | Pb                 | Ni                 | Zn                 |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Mittausvuosi | mg/Nm <sup>3</sup> | mg/Nm <sup>3</sup> | mg/Nm <sup>3</sup> | mg/Nm <sup>3</sup> | mg/Nm <sup>3</sup> | mg/Nm <sup>3</sup> | mg/Nm <sup>3</sup> | mg/Nm <sup>3</sup> |
| 2013         | 20,7               | 0,0002             | 0,0001             | 0,002              | 0,005              | 0,004              | 0,019              | 0,064              |
| 2014         | 24                 | 0,0005             | 0,0009             | 0,017              | 0,037              | 0,049              | 0,027              | 0,39               |
| 11/2015*     | 34,2               | <0,003             | 0,001              | 0,01               | 0,01               | 0,02               | <0,01              | 0,15               |
| 12/2015*     | 1,4                | <0,01              | <0,001             | 0,01               | <0,01              | <0,01              | <0,01              | <0,01              |
| 2016         | 0,68               | <0,01              | <0,001             | <0,01              | <0,01              | <0,01              | <0,01              | <0,01              |
| 2017         | 4,6                | <0,003             | <0,0003            | <0,003             | <0,004             | <0,003             | <0,01              | 0,12               |

Murskausprosessista syntyvät päästöt ilmaan ovat pääasiassa hiukkaspölypäästöjä, jotka syntyvät murskausprosessista sekä pölymäisistä syöttömateriaalikomponenteista, joita vastaanotetaan laitokselle. Mineraalipölyhiukkapäästöjen lisäksi murskausprosessi aiheuttaa hiukkasmaisia raskasmetallipäästöjä, jotka aiheutuvat erilaisten metallien syöttömateriaaleihin kohdistuvasta voimakkaasta mekaanisesta rasituksesta murskausprosessin aikana. Etenkin syöttömateriaalin sisältäessä väärin lajiteltuja materiaaleja, kuten akkuja, tämä voi johtaa vakavaan lyhytaikaiseen terveydelle haitallisten raskasmetallipäästöjen lisääntymiseen. (Karpf & Kreuz 2022.)

Murskausprosessin tuottama pöly sisältää epäpuhtauksia, kuten raskasmetalleja, PCDD/F-yhdisteitä (Polyklooratut dibentso-para-dioksiinit ja polyklooratut dibentsofuraanit) ja PCB:tä (Polyklooratut bifenyylit), jotka ovat erittäin herkkiä leviämään ympäristöön (Canova ym. 2018). Murskausprosessin suuret nopeudet voivat aiheuttaa murskausprosessiin korkeita lämpötiloja. Samanaikaisesti syöttömateriaali, varsinkin eri muovimateriaaleja sisältävien komposiittimateriaalien lisääntyessä, sisältää erilaisia orgaanisia yhdisteitä, jotka lämpötilan nousun seurauksena voivat karata prosessista hiukkas- ja

kaasupäästöjen muodossa ilmaan. Tässä yhteydessä tulee huomioida dioksiinin kaltaiset polyklooratut bifenyylit (PCB), joita esiintyy erityisesti komposiittimateriaaleissa pehmittimien, eristysnesteiden, hydraulinesteiden tai kyllästysaineiden muodossa, sekä polybromidifenyylieetterit (PBDE), joita käytetään palonestoaineina muovikomposiittimateriaaleissa. (Karpf & Kreuz 2022.)

Nuutisen (2022) mukaan metallijätteiden murskaaminen aiheuttaa yleensä suurimmat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöt. Yleisesti suurimmat VOC-pitoisuudet liittyvät bensiiniin ja dieselpolttoaineisiin liittyviin yhdisteisiin. Näitä ovat esimerkiksi ksyleenin isomeerit, tolueni ja kevyet hiilivedyt. Romuajoneuvoja koskeva direktiivi (2000/53/EY) sisältää vaatimuksia, joiden mukaan ajoneuvoista on poistettava polttoaineet ja öljyt ennen niiden syöttämistä murskaimeen. Tämä tarkoittaa, että murskaimiin syötettävä materiaali ei tavallisesti sisältäisi merkittäviä määriä polttoaineita ja näin ollen VOC-päästöjä syntyisi murskauksessa vähemmän. (Canova ym. 2018).

### **2.3 Ilmapäästöjen tarkkailu ja edellytykset ympäristölupapäätöksessä**

Vantaan palvelupisteen ympäristölupapäätöksen (Päätös nro 218/2019) lupamääräyksissä 37 ja 37a on määrätty tekemään päästöinventaarion murskaimesta tulevista ilmaan johdetuista päästöistä. Samaan selvitykseen on sisällytettävä murskaimen hajapäästöistä tehty selvitys. Vantaan palvelupisteen ympäristölupapäätöksen (Päätös nro 218/2019) lupamääräyksissä on määrätty, että päästöinventariossa tulee määritellä pitoisuudet hiukkasista, arseenista, antimonista, kromista, elohopeasta, kadmiumista, lyijystä, kuparista, sinkistä, nikkelistä, bromatuista palonestoaineista, PCDD/F, TVOC sekä dioksiinin kaltaisista PCB-yhdisteistä. Toiminnasta aiheutuvia pölypäästöjä tulee seurata tarkkailuohjelman mukaisesti. (Päätös nro 218/2019.)

### **2.4 Muut ilmapäästötutkimukset Vantaan ja Kuopion murskauslaitoksilta**

Vantaan palvelupisteellä tehtiin ilmapäästömittaukset 18.12.2019 ympäristölupapäätöksen (Dnro UUS-2008-Y-697-111) mukaisesti. Mitattaviin parametreihin sisältyivät hiukkaset, metallit sekä PCDD/F-, PCB-, BDE- ja TVOC-päästöjen mittaaminen. (Taulukko 2.) Mittaukset toteutettiin mittaamalla murskaimen syklonin ja pesurin jälkeistä poistoilmaa ja mittaukset tehtiin laitoksen ollessa normaalissa ajossa. (Vantaan palvelupisteen murskan päästömittaus 2019.)

Taulukko 2. Ympäristölupapäätöksen (Dnro UUS-2008-Y-697-111) mukaiset murskaimen ilmapäästömittausten tulokset vuonna 2019. (Vantaan palvelupisteen murskan päästömittaus 2019.)

| Mitattava komponentti                     | Hiukkaset               | Metallit   | TVOC                     | PCDD/F-yhdisteet                 | Dioksiinien kaltaiset PCB-yhdisteet | BDE-yhdisteet              |
|---|-------------------------|--|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <b>Pitoisuus keskiarvona</b>              | 0,73 mg/Nm <sup>3</sup> | Hiukkasnäytteestä analysoidut metallipitoisuudet olivat alhaisia | 14,3 mgC/Nm <sup>3</sup> | 0,001-0,01 ngTEQ/Nm <sup>3</sup> | 20,7-20,8 ng/Nm <sup>3</sup>        | 237-250 ng/Nm <sup>3</sup> |
| <b>Ympäristöluvassa annettu raja-arvo</b> | 10 mg/Nm <sup>3</sup>   | -  | -                        | -                                | -                                   | -                          |

Seuraavan vuoden mittaukset tehtiin myös normaalissa tuotantotilanteessa ja tällöin murskattava materiaali oli valimomursketta. Näytejaksoja otettiin yhteensä kuusi ja toinen näytejakso jouduttiin keskeyttämään murskan mentyä jumiin. Kolmannen ja neljännen näytejakson aikana murskattava materiaali loppui välillä kesken ja viimeisten kahden näytejakson pituutta lyhennettiin aikataulullisista syistä. (Taulukko 3.) (Murskan poistokaasujen hiukkasmittaukset 2020.)

Taulukko 3. Ympäristölupapäätöksen (Dnro UUS-2008-Y-697-111) mukaiset murskaimen ilmapäästömittausten tulokset vuonna 2020. (Murskan poistokaasujen hiukkasmittaukset 2020.)

| Mitattava komponentti                     | Hiukkaset                 | Metallit   |
|---|---------------------------|--|
| <b>Pitoisuus</b>                          | 4 ± 2 mg/m <sup>3</sup> n | Hiukkasnäytteestä analysoidut metallipitoisuudet olivat alhaisia |
| <b>Ympäristöluvassa annettu raja-arvo</b> | 10 mg/Nm <sup>3</sup>     | -  |

Vuonna 2021 ilmapäästömittauksissa mitattiin hiukkaset ja metallit. Nämäkin mittaukset pyrittiin tekemään laitoksen ollessa normaalissa ajossa ja samasta mittauspaikasta kuin edellisvuosina. (Taulukko 4.) Kaikissa vuosien 2019-2021 aikana tehdyissä mittauksissa mitattu kohde alitti ympäristöluvan hiukaspitoisuudelle asetetun raja-arvon 10 mg/m<sup>3</sup>. Muille mitattaville pitoisuuksille ympäristöluvassa ei ollut määritelty raja-arvoja. (Murskan poistokaasujen hiukkasmittaukset 2021.)

Taulukko 4. Ympäristölupapäätöksen (Dnro UUS-2008-Y-697-111) mukaiset murskaimen ilmapäästömittausten tulokset. (Murskan poistokaasujen hiukkasmaat-  
taukset 2021.)

| Mitattava komponentti                     | Hiukkaset                  | Metallit  |
|---|----------------------------|---|
| <b>Pitoisuus</b>                          | 0,77<br>mg/Nm <sup>3</sup> | Analysoidut metallipitoisuudet<br>olivat alhaisia                                     |
| <b>Ympäristöluvassa annettu raja-arvo</b> | 10 mg/Nm <sup>3</sup>      | Murskauskäytöksen poistoilman<br>metallipitoisuudelle ei ole an-<br>nettu raja-arvoa. |

### Sammalpallo tutkimukset

Vantaan palvelupisteellä on tehty myös sammalpallomittauksia. Sammalpaloilla tehtäviä tutkimuksia käytetään ilmanladun tutkimuksissa, joissa sammalpallo toimivat aktiivisina keräjinä keräten erilaisia ilmansaasteita. Niiden avulla voidaan seurata myös, miten ilmansaasteet leviävät. (Salo & Vahtovuori 2013). Lupamääräyksen mukaan sammalpallomittauksissa määritettiin arseeni-, kadmium-, kromi-, kupari-, rauta-, elohopea-, nikkeli-, lyijy- ja sinkkipitoisuus. Vuonna 2021 teetetyssä tutkimuksessa oli käytetty standardin SFS 5794 mukaista menetelmää. Sammalpalloja oli sijoitettu joka näytepisteeseen viisi kappaletta. Palvelupisteen yhteydessä oli yhteensä 18 näytepistettä, joista kaksi oli taustapisteitä. (Vantaan palvelupisteen sammalpallo selvitys 2021.)

Tuloksista havaittiin, että määritysrajan ylittäviä pitoisuuksia oli kromin, lyijyn, sinkin ja raudan osalta. Raskasmetalleista sammalpallo sisälsivät eniten kromia, kuparia, lyijyä, nikkeliä, sinkkiä ja rautaa. Muiden tutkittujen metallien keskiarvopitoisuudet olivat alle 0,5 mg/kg/30d. Suurimmat metallikertymät mitattiin mittauspisteessä, joka sijaitsi 25 metrin etäisyydellä alueen itä-koillispuolella. Mittauspaikka oli mittausten aikaisen vallitsevan tuulensuunnan alapuolella. Metallipitoisuudet olivat korkeampia lähellä aluetta ja laimenivat kauemmas mentäessä. Mittauspisteessä 6, joka sijaitsi vallitsevan tuulensuunnan alapuolella koillisessa, noin 1500 m etäällä palvelupisteestä, kromin, kuparin, nikkelin ja raudan osalta metallikertymät olivat korkeammat kuin muissa ilmansuunnissa. (Vantaan palvelupisteen sammalpallo selvitys 2021.)

## **Kuusakoski Oy:n Kuopion murskauslaitoksen ilmapäästömittaukset**

Kuusakoski Oy:n Kuopiossa sijaitsevassa murskauslaitoksessa on tehty hajapäästöselvitys vuonna 2020 sekä murskaimen tuuliseulan ilmapäästömittaus vuonna 2019. Hajapäästöselvityksessä mitattiin pienhiukkaspäästöt PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub> sekä haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Murskaimen päästöjä oli kartoitettu ilma-aluksen ja Aeromon BH-12 mittalaitteen avulla 16 metrin korkeudesta suoraan murskausprosessin päältä. Tulokset oli ilmoitettu 14 m x 14 m ruudukolla, joissa jokaisessa ruudussa oli mitattu vähintään 10 mittauspistettä. Tämän lisäksi tehtiin pistemittaus, jossa valitusta pisteestä mitattiin 90 sekunnin ajan. Kohdekaasujen merkittävät pitoisuudet oli esitetty pitoisuuksien mukaan kartoissa viiden eri värin avulla. (Mittausraportti 2020.)

PM<sub>1</sub> korkeimmat pitoisuudet havaittiin murskaimen keski- ja eteläosista (367 µg/m<sup>3</sup> ja 103 µg/m<sup>3</sup>). PM<sub>2,5</sub> suurimmat pitoisuudet havaittiin nekin murskaimen keski- ja eteläosissa (626 µg/m<sup>3</sup> ja 116 µg/m<sup>3</sup>). PM<sub>10</sub> suurimmat pitoisuudet (624 µg/m<sup>3</sup> ja 222 µg/m<sup>3</sup>) mitattiin murskaimen keski- ja pohjoisosissa. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) havaittiin eniten alueen eteläosista ollen korkeimmillaan 0,61 ppm, 0,40 ppm ja 0,52 ppm. Alueella havaittiin WHO:n 24 tunnin suosituspitoisuuden ylittäviä PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub> pitoisuuksia. Pitoisuudet olivat suhteellisen matalia ja niiden oletettiin laimenevan mittausolosuhteissa suositusrajojen alapuolelle alueen ulkopuolelle mentäessä. (Mittausraportti 2020.)

Murskaimen tuuliseulan ilmapäästömittaukset oli tehty murskaimen tuuliseulan suodattimen jälkeisestä poistoilmasta silloin, kun laitos toimi normaalin tuotannon mukaisesti. Ilmapäästöistä tutkittiin hiukkaset, metallit, haihtuvat orgaaniset yhdisteet sekä PCDD/F, PCB ja BDE. Hiukkasia mitattiin manuaalisella gravimetrisellä menetelmällä standardia SFS-EN 13284-1 mittauspaikan olosuhteisiin soveltaen. (Murskan tuuliseulan päästömittaus 2019.)

Mittaustuloksista selvisi, että mitatut hiukkaspitoisuudet sekä hiukkasnäytteistä analysoidut kaikkien määriteltävien metallien metallipitoisuudet, olivat hyvin alhaisia ja alle analyysin määrittämissä rajojen. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden TVOC-pitoisuus poistoilmasuodattimen jälkeen oli noin 23 mgC/Nm<sup>3</sup>. PCDD/F-summapitoisuus oli 0-0,004 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> sekä kaikkien yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet olivat alle analyysin määrittämissä rajojen. PCB-summapitoisuus oli 2,0-2,1 ng/Nm<sup>3</sup> ja BDE-summapitoisuus oli 5,4-16,6 ng/Nm<sup>3</sup>. (Murskan tuuliseulan päästömittaus 2019.)

## **2.5 Ilmapäästöjen vähentäminen ja hallinta**

Vantaan palvelupisteen ympäristölupapäätöksessä (Päätös nro 218/2019) Vantaan kaupungin ympäristönsuojelu- ja terveydensuojeluviranomaisen lausunnon mukaan ympäristönsuojelulain 6 §:ssä on määrätty, että toiminnanharjoittajan tulee tietää toiminnastaan aiheutuvista ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja niiden hallinnasta.



Toiminnanharjoittajan on oltava selvillä myös siitä, millaisia vähentämismahdollisuuksista toiminnastaan aiheutuville haitallisille vaikutuksille on olemassa. (Päätös nro 218/2019.).

Oravalan (2022) mukaan murskausprosessista tulevat pölypäästöt vaihtelevat vuodenajan, syötemateriaalin ja sään mukaan. Nämä huomioiden päästömittauksista saadut tulokset kuvaavat vain juuri sitä tilannetta, joka mittaushetkellä vallitsee. Tästä syystä yksittäisestä mittaustuloksesta ei voi vetää kovin pitkälle vietäviä johtopäätöksiä prosessin päästöistä, vaan päästöjen selvittäminen vaatii aina pidempiaikaista seuranta. (Päätös nro 218/2019.)

Ympäristöluvan yleisten BAT-päätelmien BAT Nro 14:ssa kerrotaan BAT-tekniikoista, joilla ilmaan pääseviä hajapäästöjä ehkäistään ja vähennetään. Näissä keinoissa on mainittu ensinnäkin mahdollisten hajapäästölähteiden määrän rajoittaminen. Laitteet, jotka pölyävät kaikista eniten on varustettava pölypoistolla ja pölyävät materiaalit tulee varastoida katetussa tilassa. Pölyämistä ja sen leviämisen ehkäisemistä kehoitetaan miettimään jo laitteita valittaessa ja niiden käytössä, jotta laitteet olisivat riittävän tiiviitä eikä pöly pääsisi leviämään. (Päätös nro 218/2019.)

Murskausprosessiin tehtäviä huolto- ja korjaustoimenpiteitä tulee tehdä säännöllisesti ja niistä tulee tehdä kirjaukset kunnossapitojärjestelmään. BAT Nro 25:ssä on mainittu, että päästöjen vähentämisestä ja ehkäisemisestä pölyn lisäksi myös hiukkasiin kiinnittyneiden metallien, PCPP/F:n ja dioksiinin kaltaisten PCB yhdisteiden ilmaan vapautuvien päästöjen vähentämiseen sovelletaan vähintään BAT 14 - tekniikkaa. (Canova ym. 2018.)

Hajapölypäästöjen pitoisuuksiin teollisuusalueilla vaikuttavat suurelta osin toiminnan laatu ja aktiivisuus sekä niiden mukaan vaihtelevat lyhytkestoiset muutamien tuntien pituiset ja korkeat pitoisuushuiput sekä pidempiaikaiset päästöttömät tilanteet. Pitoisuudet siten vaihtelevat vuorokeskariarvopitoisuuksien, keskimääräisten pitoisuuksien ja lyhytaikaisten maksimipitoisuuksien välillä hyvin paljon. Talvella lumipeite rajaa toiminnoista aiheutuvia hajapäästöjä pienemmälle alueelle ja kuivempina ajanjaksoina päästöt pääsevät levittäytymään paljon laajemmalle. Korkeimmat pitoisuushuiput esiintyvät varhain aamulla ja myöhään illalla, jolloin olosuhteet ovat yleensä neutraalimmat ja stabiilimmat. Silloin tuulen nopeus on yleensä kova tai taivas on täysin pilvessä. (Nuutinen 2022.) Sademäärä, tuulen suunta ja voimakkuus vaikuttavat hiukkaspäästöjen leviämiseen säätekijöistä eniten. Sääolosuhteiden lisäksi ympäristön pinnanmuodoilla on vaikutusta siihen, miten pölypäästöt leviävät ympäristöön (Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa 2010.)

Vantaan palvelupisteellä on tehty jo aikaisemmin hajapäästöjen vähentämissuunnitelma ja toteutettu prosessiin seuraavia muutoksia vuonna 2004. Kuljetin murskaimelta tuuliseulalle ja tuuliseulan risteyskohdasta on poistettu yksi pölyävä kohde. Tuuliseulan ja lajitteluhuoneen väliltä on poistettu ylimääräinen kuljetin, jolloin materiaalin yksi tiputuskohta on poistunut kokonaan ja putoavat materiaalit eivät synnytä pölyämistä. Ilmastointia on parannettu jätteiden lajitteluhuoneessa ja vuonna 2005 hajapäästöjä on pyritty vähentämään pesurinpumpun uusintainvestoinnilla. Sykloni on

peruskunnostettu sisältäen syklonin imuputkiston uudistuksen. Alueen harjaus otettiin jokapäiväiseksi toimeksi sekä kohdennettuja puhdistustoimenpiteitä tehdään aina tarpeen mukaan. (Kantola 2022.)

Poikkeustilanteiden aikana teollisuuslaitoksilta tulevat päästöt voivat olla merkittävämpiä kuin normaalisti toimivan teollisuuslaitoksen päästöt. Näitä erityistilanteita voivat olla esimerkiksi hiukkaspäästöt suodattimien huonon kunnan takia. Poikkeukselliseksi päästötilanteeksi kutsutaan tilannetta, joka voi syntyä esimerkiksi laitteiston toimintahäiriöstä tai jostakin virheestä. Poikkeuksellisten päästötilanteiden takia päästöt vaihtelevat aina piipunpää- ja hajapäästöjen osalta. (Hietamäki ym. 2004.)

Puhdistustekniikoiden teknistaloudellista arviointia varten on laadittu BREF-asiakirja (Economics and Cross-media Effects), jossa puhdistustekniikoiden päästöjen vähentäminen on suhteutettu investointi- ja käyttökustannuksiin sekä annettu ohjelukuja indikaattorille. BREF-asiakirjassa käsitellään tekniikan rajakustannustehokkuutta. Rajavaikutuksia määritellään nykyisen toimenpiteen korvaamisen tai parantamisen kustannusten ja nykyisen toimenpiteen vaikutuksen välillä. Taulukossa 2 on lueteltuna rajakustannustehokkuuden ala- ja ylärajaviitearvot. Olemassa olevassa laitoksessa, jossa olemassa olevia puhdistustekniikoita parannetaan tai uusitaan, on arvioitava sekä kokonais- että rajakustannustehokkuus. (Integrated Pollution Prevention and Control 2006.) (Taulukko 5.)

Taulukko 5. Kokonaiskustannustehokkuuden ohjeelliset viitearvot. (Integrated Pollution Prevention and Control 2006.)

| Komponentit     | Ohjeellinen viitearvo (euroa/kg päästövähennys) |
|-----------------|---|
| VOC             | 5 <sup>a</sup>                                  |
| hiukkaset       | 2.5 <sup>b</sup>                                |
| NO <sub>x</sub> | 5   |
| SO <sub>2</sub> | 2.5   |

<sup>a</sup> Lukuun ottamatta yhdistettyjä toimenpiteitä ja tapauksia, joissa vapautuu haitallisia VOC-yhdisteitä, kuten bentseeniä. <sup>b</sup> Lukuun ottamatta hiukkasten tiettyjen komponenttien, kuten raskasmetallien vähentämistä. Tämä voi oikeuttaa huomattavasti alhaisempiin arvoihin hyväksyttävälle kustannustehokkuudelle.

Valtioneuvoston asetuksessa eräiden orgaanisia liuottimia käyttävien toimintojen ja laitosten ilmaan johdettavien päästöjen rajoittamisesta 3 § sanotaan, että luvanvaraisessa toiminnassa hajapäästöille asetettuja raja-arvoja, joita liitteessä 1 on nähtävillä, voidaan olla noudattamatta sellaisessa tapauksessa, jossa raja-arvon noudattaminen ei ole mahdollista taloudellisesti ja teknisesti. Tässä tapauksessa toiminnanharjoittajan tulee osoittaa, että toiminnassa käytetään jo parasta käyttökelpoista tekniikkaa. (Valtioneuvoston asetus eräiden orgaanisia liuottimia käyttävien toimintojen ja laitosten ilmaan johdettavien päästöjen rajoittamisesta 64/2015.)

## 3 ILMAPÄÄSTÖJEN TUTKIMUSMENETELMÄT

### 3.1 Yleistä mittauksista

Tutkimuksen alussa tutustuttiin Vantaan palvelupisteen murskauslaitokseen, jotta voitiin päätellä, miten murskauslaitos toimii käytännössä ja millaisia päästöjä siitä muodostuu. Päästömittaukset suunniteltiin ympäristöviranomaisten vaatimusten mukaisesti, jotta voitiin vastata ympäristöviranomaisten asettamiin tarkennuksiin. Mittausmenetelmät valittiin standardien mukaisesti. Tuloksina haluttiin pitoisuusarvoja, joita voitiin verrata raja-arvoihin. Mittausalueet haluttiin niin laajoiksi, jotta tuloksista nähdään selvästi, mihin asti päästöt ulottuvat murskauslaitokselta ja kuinka suuria ne ovat. Tuloksista haluttiin myös nähdä selvästi, mistä murskausprosessin kohdista päästöjä muodostuu ja minkä verran, jotta voitiin pohtia, kuinka päästöjä voidaan tarvittaessa hallita.

Päästöinventaario- ja hajapäästömittauksia varten kartoitettiin konsulttiyrityksiä. Neljälle mittauksiin soveltuvalla konsulttiyritykselle lähetettiin tarjouspyynnöt. Ympäristölupapäätös ei edellyttänyt mittaamaan mitään tiettyjä yhdisteitä hajapäästöistä, joten mitattaviksi hajapäästöiksi valittiin hiukkaset (PM<sub>1</sub>-PM<sub>10</sub> sekä TSP), hiukkasnäytteistä määritettävät metallit; (arseeni-, elohopea-, kadmium-, kupari-, kromi-, lyijy-, nikkeli, rauta- ja sinkkipitoisuudet) sekä VOC. Canova ym. (2018) olivat todenneet, että murskauslaitoksen päästöt ilmaan ovat todennäköisesti pölyä, raskasmetallihiukkasia, VOC-yhdisteitä ja vesihöyryä, jonka takia nämä yhdisteet valikoituivat mitattaviksi hajapäästöiksi. Kuusakoski Oy:llä pääsääntöisesti murskataan metalleja ja ne ovat Kuusakoski Oy:n merkkiaine, joten siksi metallit haluttiin mukaan määritettäviksi komponenteiksi. Oravalan (2022) mukaan hiukkasia ja VOC-pitoisuuksia on mitattu aikaisemmin Kuusakoski Oy:n Kuopion palvelupisteen murskauslaitokselta, joten ne koettiin luontevaksi mitata myös Vantaan palvelusteeltä.

Tutkimuksen seuraavassa vaiheessa käytiin konsulttiyritysten kanssa tarjousten hyväksymisen jälkeen paremmin läpi mittausajankohdat sekä muita mittauksiin liittyviä asioita. Kuusakoski Oy:n ympäristöpäällikön ja Vantaan palvelupisteen päällikön kanssa sovittiin, että murskaimeen syötettävä materiaali on mittausajankohtana sellaista, jota syötettäisiin murskaimeen sen normaaliolosuhteissa, ympäristöluvan edellytysten mukaisesti. Murskaimeen epänormaaleja toimintatilanteita ovat murskaimeen käynnistys ja sulkeminen ja puhdistuslaitteiston käynnistys ja sulkeminen. Myös murskaimella tapahtuvat räjähdykset tai tulipalot sekä ilmapäästöjen puhdistuslaitteiden epänormaali toiminta ovat murskaimeen epänormaaleja toimintatilanteita. (Päätös nro 218/2019.)

Päästöinventaarimittaukset suoritettiin 4.5.2022 ja hajapäästömittaukset suoritettiin 11.5.2022. Mittausraportin valmistuttua päästöinventaarimittauksen tuloksia verrattiin BAT BREF dokumenteissa määritettyihin pitoisuusrajoihin. Hajapäästöselvityksen tuloksia verrattiin ilmanlaadun raja-arvoihin. Molempien mittausten tuloksia verrattiin Kuusakoski Oy:n muiden samanlaisten murskaimien päästömittausten tuloksiin. Mittausten avulla selvinneiden päästölähteiden ja niistä tulevien päästöjen hallintakeinoja oli tarkoitus lähteä kartoittamaan tarvittaessa mittausten jälkeen.

## 3.2 Mittausmenetelmät

### 3.2.1 Päästöinventaariorio

Seuraavat menetelmäkuvaukset on saatu konsulttiyrityksen mittausraportista. Mittaukset tehtiin laitoksen ollessa normaalissa ajossa murskaimen syklonin ja pesurin jälkeisestä poistoilmasta. (Kuva 2.) Päästöinventaariorion parempi mittauslaitteiston kuvaus on esitetty liitteessä 10.



Kuva 2. Päästöinventaarioriomittausten mittauskohde pesurin päällä olevasta poistoilmaputkesta. ©Eveliina Kyllönen

## Hiukkaset

Hiukkasmittaus suoritettiin manuaalisella gravimetrisellä menetelmällä soveltaen standardia SFS-EN 13284-1 mittauspaikan olosuhteisiin. Hiukkasnäytteitä otettiin kolme kappaletta halkaisijaltaan 47 mm kvartsikuitusuodattimelle out-stack menetelmällä. Kvartsikuitusuodattimet punnittiin ennen ja jälkeen mittausta. Ennen punnitusta suodattimet esikäsiteltiin uunissa (1 h, 180 °C) ja eksikaattorissa (>4 h).

## Metallit ja elohopea

Metallit mitattiin standardin SFS-EN 14385 mukaan, jossa hiukkaset erotettiin suodattimella ja kaasu pestiin HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O-liuoksella kaasunpesupulloissa. Elohopea mitattiin standardin SFS-EN 13211 mukaan, jossa hiukkaset erotettiin suodattimella ja kaasu pestiin K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/HNO<sub>3</sub>-liuoksella kaasunpesupulloissa. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi Eurofins Environment Testing Finland laboratorioon Lahteen.

## Kromi-(VI)

Kromi-(VI)-pitoisuus mitattiin standardin SFS-EN 14385 mukaan, jossa hiukkaset erotettiin suodattimella ja kaasu pestiin absorptioliuoksella kaasunpesupulloissa. Näytteet analysoitiin Eurofins Environment Testing Finland Lahdessa.

## Haihtuva orgaaninen kokonaishiili

TVOC-pitoisuus mitattiin ottamalla näyte adsorptioputkeen, josta kokonaishiilivetyypitoisuus analysoitiin kaasukromatografisesti ja laskettiin edelleen kokonaishiilipitoisuudeksi. Mittaus tehtiin teknistä spesifikaatiota CEN/TS 13649 soveltaen. Adsorptionnäytteet lähetettiin analysoitavaksi Työterveyslaitoksen Helsingin laboratorioon.

## PCDD/F, PCB, PBDE, PBB ja HBCD

PCDD/F-, PCB-, PBDE-, PBB- ja HBCD-pitoisuus mitattiin standardin SFS-EN 1948 mukaan ottamalla yksi noin kuuden tunnin kestoinen näyte. Menetelmässä hiukkaset erotettiin kvartsisuodattimelle, vesi kondensoitiin ja höyryfaasi ja yhdisteet adsorboitiin XAD-2 hartsiin. Analyysivaiheessa nämä kolme näytejaetta yhdistettiin. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi Eurofinsin Saksan laboratorioon Eurofins GFA Lab Service GmbH (Hamburg, Germany).

Tilavuusvirta ja kaasun tila

Poistokaasun virtausnopeus mitattiin pitot-putkella ja mikromanometrillä standardin ISO 10780 mukaan. Poistokaasun lämpötila mitattiin K-tyypin termoelementillä ja lämpömittarilla. Poistokaasun kosteus määritettiin näytekaasun lauhdutukseen ja silikageeliabsorptioon perustuvalla menetelmällä standardin SFS-EN 14790 mukaan ja kuiva-/märkälämpötilamittauksella.

Mittaustulosten epävarmuus

Mittaustulokset on käsitelty mittaasepävarmuuden selvittämiseksi seuraavien julkaisujen mukaan laadituilla laskentaohjelmilla:

- Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100/2008 (Hiukkaset)
- SFS-EN 1911:2010 (Absorptioon ja adsorptioon perustuvat menetelmät) Kokonaisepävarmuudet 95 %:n luottamustasolla ( $k=2$ ) on esitetty mittaustulosten yhteydessä.

Tulosten tulkinnessa noudatettiin ILAC-oppaan (ILAC-G8:03/2009 Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification) ohjeistusta:

- 1) mitattu pitoisuus alittaa ympäristöluvan raja-arvon mittaasepävarmuus huomioiden (mittaustulos + epävarmuus < raja-arvo)
- 2) mitattu pitoisuus ylittää raja-arvon mittaasepävarmuus huomioiden (mittaustulos - epävarmuus > raja-arvo)
- 3) mitattu pitoisuus on raja-arvossa, mutta täyttymiselle raja-arvoon nähden ei oteta kantaa (mittaustulos < raja-arvo, mutta mittaustulos + epävarmuus > raja-arvo tai mittaustulos > raja-arvo, mutta mittaustulos - epävarmuus < raja-arvo).

### 3.2.2 Hajapäästöselvitys

Seuraavat mittausmenetelmät on saatu konsulttiyrityksen mittausraportista. Hiukkasmittauksissa murskauslaitoksen eri prosessinvaiheiden aiheuttama pölypitoisuus mitattiin tuulen alapuolelta. Hiukkasmittauksissa hiukkasmittalaitteet asetettiin tuulen suuntaisesti yhteen linjaan. Hiukkaspitoisuutta mitattiin 10 minuutin keskiarvoina yhden tunnin ajan. Näytteenottopisteitä oli viisi, joissa kaikissa mitattiin kahdelta eri etäisyydeltä, kauempaa ja lähempää murskausprosessia tuulen alapuolelta. Taustapitoisuutta mitattiin alueen lounaispuolelta tuulen yläpuolelta (Kuva 3).



Kuva 3. Hajapölypäästömittauksen näytteenottopisteet murskauslaitoksen koillisosassa. Näytteenottopisteet on kuvattu keltaisilla pisteillä sekä hajapäästökertoimien määrittämisessä käytetyt päästölähteet punaisina pisteviivoina. ©Envineer Oy

Hiukkaspitoisuuksia mitattiin mittalaitteella (Optical Particle Sizer, model 3330), joka pystyi mittaamaan hiukkaskokojakauman (0,3–10 mikrometriä). Kokonaispölypitoisuus saatiin mitattua suodattimilta gravimetrisesti. Näytteitä kerättiin yhden tunnin jaksoina neljällä mittalaitteella samanaikaisesti eri näytteenottopisteistä. Hiukkaspitoisuuksien taustamittaus suoritettiin keräämällä alueen lounaispuolelta hiukkasia suodattimelle kahden tunnin ajan. Suodattimen näytetilavuuden ja massan muutoksen perusteilla saatiin määritettyä pölypitoisuus gravimetrisesti.

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) määritettiin keräämällä ilmanäytteitä tuulen alapuolelta kolmesta näytteenottopisteestä. Ilmanäytteitä kerättiin Tenax TA -adsorbenttiin ja niistä tehtiin analyysit standardin ISO 16000-6 mukaisesti kaasukromatografi-massaspektrometrilaitteistolla. Yhdisteitä tunnistettiin retentioaikojen ja kirjastohaun NIST11 perusteella. Tunnistettujen yhdisteiden pitoisuudet laskettiin tolueeniekvivalentteina (tolueenivasteina). Kun laskettiin yhteen kaikkien yhdisteiden tolueeniekvivalentteina määritetyt pitoisuudet n-heksaanin ja heksadekaanin väliltä, saatiin määritettyä TVOC-pitoisuus.

Hajapäästön suuruutta arvioitiin käänteisellä leviämismallinnuksella, jossa mitatulle hajapäästölähteelle luotiin oma leviämismalli, jossa säätietoina käytettiin mittausajankohtaa vastaavia säätietoja (7.8.2020). Päästömäärää muuttamalla saatiin mallinnetut pitoisuudet vastaamaan mitattuja pitoisuuksia eri mittauspisteissä. Leviämismallilaskennat suoritettiin AERMOD-

leviämismallilla, josta saatiin murskaustoiminnoille määritetyt hajapäästökertoimet. ( $\text{g/s} \times \text{m}^2$ ). (Taulukko 6.)

Taulukko 6. Hajapäästökertoimet murskaustoiminnan eri toiminnoille.

| Numero | Päästölähde            | Hajapäästökerroin ( $\text{g/s} \times \text{m}^2$ ) |
|--------|------------------------|--|
| 1      | Materiaalin syöttö     | 0,00011  |
| 2      | Murskaus               | 0,00042  |
| 3      | NFR-kuljetin           | 0,00015  |
| 4      | Lajittelukuljetin      | 0,00015  |
| 5      | Lopputuotteen kuljetin | 0,00009  |

Ilmanlaadun raja-arvot on asetettu terveyden suojelemiseksi rikkidioksidille ( $\text{SO}_2$ ), typpidioksidille ( $\text{NO}_2$ ), hiukkasille ( $\text{PM}_{10}$ ), lyijylle (Pb), hiilimonoksidille (CO) sekä bentseenille ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ). Murskaustoimintojen merkittävimmät ilmanlaatuvaikutukset muodostuivat pölypäästöistä, joten hengitettävien hiukkasten ( $\text{PM}_{10}$ ) VNa 79/2017 mukaiset raja-arvot näkyvät taulukossa 7. (Valtioneuvoston asetusilmanlaadusta 79/2017.)

Taulukko 7. Ilman hengitettävien hiukkasten pitoisuudelle annetut raja-arvot ilmoitettuna ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

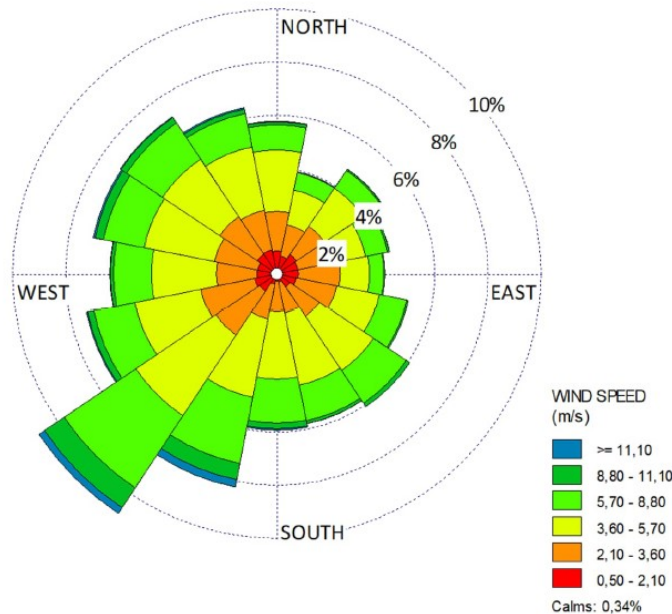
| Laskenta-aika | Hengitettävät hiukkaset ( $\text{PM}_{10}$ ) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Sallitut ylitykset      |
|---------------|---|-------------------------|
| Vuorokausi    | 50  | 35 kpl / kalenterivuosi |
| Vuosi         | 40  |                         |

Päästöjen leviämisen mallinnuksessa käytettyihin leviämislaskelmiin käytettiin AERMOD-mallia. AERMOD on mallinnusjärjestelmä, joka sisältää planeettarajakerroksen turbulenssirakenteeseen ja skaalauskonsepteihin perustuvan ilman hajaantumisen (United States Environmental Protection Agency 2022). AERMOD-malli soveltui hiukkasmaisten ja kaasumaisten poistokaasujen komponenttien ( $\text{PM}_{10}$  ja  $\text{PM}_{2,5}$ ), leijuvan pölyn (TSP) ja laskeumien leviämiseen. Hajapäästöselvityksen mallinnuksien kokoluokan alue oli  $4 \times 4$  km. Laskentapistet murskauslaitoksen läheisyydessä oli sijoitettu 20 m välein ja päästölähteitä lähimpänä tiheämmin, 500–1000 m etäisyydellä 50–100 m välein ja laskenta-alueen laidoilla 200 m välein.

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa käytettiin maastomallin mallinnusalueen muodostamiseksi. Mallinnuksessa huomioitiin murskauslaitosalueella olevat rakennukset, joiden korkeuksia arvioitiin Google Mapsin 3D:n avulla. Ympäristönkuormittumista arvioitiin leviämislaskelmien



avulla ja ihmisten altistumista murskausprosessista tuleville pölypäästöille. PM<sub>10</sub> hiukkasten leviämismallinnukset laadittiin vuorokausitasolla ja verrattiin tuloksia ilmanlaadun raja-arvoon. Leviämismallin ideana oli arvioida, kuinka pitkälle päästöt leviävät. Pitoisuudet ilmoitettiin ulkoilman paineessa ja lämpötilassa ja ilmatieteenlaitosta hyödynnettiin laskennoissa siten, että saatiin paikallisten olosuhteiden sääaineisto kolmen vuoden ajalta 2019–2021. Palvelupisteellä vallitseva tuulensuunta on lounaasta (Kuva 4).



Kuva 4. Palvelupisteen alueella vallinneet tuuliolosuhteet vuosina 2019–2021. Sektorit kuvaavat tuulen suuntaa, joka on ollut lounaasta. ©Envineer Oy

Päästöjen leviämistä tarkasteltiin mallinnuksen avulla touko-elokuussa vuosien 2019–2021 aikana murskauslaitoksen ympäristössä. Murskauksen oletettiin olevan normaalisti käynnissä arkisin klo 7–20 ympäristöluvan mukaisesti. Päästökertoimien laadinnassa oletettiin, että murskauslaitoksen päästökorkeus on 6 m ja materiaalin syötön sekä kuljettimen päästökorkeus on 4 m. Näiden lisäksi hajapäästölähteet mallinnettiin viivalähteinä sekä pistemäisenä päästölähteenä toimi murskauksen poistokaasujen piippu. Murskauksen poistokaasujen lähtötiedot saatiin 19.10.2020 palvelupisteelle tehtyjen aikaisempien hiukkasmittausten mukaan. (Taulukko 8.)

Taulukko 8. Päästölähteiden lähtötiedot pistemäiseksi mallinnettuna. (Envineer Oy).

| Päästölähde                             | Hiukkaspäästö<br>(mg/m <sup>3</sup> n) | Hiukkaspäästö<br>(g/s) | Tilavuusvirta<br>(m <sup>3</sup> n/s) | Piipun<br>halkaisija<br>(m) | Piipun<br>korkeus<br>(m) |
|---|--|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Murskauksen<br>poistokaasujen<br>piippu | 4                                      | 0,051                  | 12,5                                  | 1,47                        | 10                       |

### Mallinnuksen tulokset

Pölymallinnuksen tuloksia on tarkasteltu vuorokausitasolla. Koska mallinnettiin touko-elokuun hiukkaspitoisuuksia, ei ollut mahdollista tarkastella vuosikeskiarvopitoisuuksia. Vuorokausipitoisuuksilla saatiin arvioitua koko murskausprosessin hajapäästöjen vaikutusalueiden laajuus sekä niiden keskinäisiä eroja. Tulokset ovat verrattavissa terveyshaittojen ehkäisemiseksi annettuihin ilmanlaadun raja-arvoihin (79/2017). Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) pitoisuuden vuorokausiraja-arvon (50 µg/m<sup>3</sup>) katsotaan ylittävän, kun ylityksiä tulee kalenterivuodessa yli 35 kpl. Tulokset kartoilla ovat vuorokausiraja-arvoon verrannollisia pitoisuuksia

### Pitempiaikaiset pitoisuudet

Mallinnuksissa selvitettiin palvelupistettä lähimmän asuinkiinteistön kohdalla mallinnusjakson keskimääräisiä pitoisuuksia. Tulosten avulla saatiin arvioitua pitoisuuksien pitempiaikaisia vaikutuksia ja jatkoselvitystarvetta. Mallinnusjakso on toukokuusta elokuun loppuun (1.5.-31.8.), jossa näkyvät hengitettävän pölyn (PM<sub>10</sub>) keskimääräiset pitoisuudet asuinalueella (ng/m<sup>3</sup>). (Taulukko 14.)

## 4 TULOKSET ILMAPÄÄSTÖMITTAUKSISTA

### 4.1 Päästöinventaario

#### 4.1.1 Päästöraja-arvot

Vantaan palvelupisteen ympäristölupapäätöksessä (Päätös nro 218/2019) oli määrätty hiukkaspitoisuuden enimmäisraja-arvoksi 10 mg/Nm<sup>3</sup> murskauslaitoksen poistoilmassa. BAT-päätelmissä on esitetty BAT-päästötasot ilmaan kanavoiduille päästöille lämpöarvoa omaavan jätteen mekaanisessa käsittelyssä. BAT-päästötasot löytyvät jätteenkäsittelyn BAT-päätelmistä hiukkasille, TVOC:ille ja elohopealle. (Päätös nro 218/2019.)

BAT:n mukaiset päästöraja-arvot TVOC:lle ja Hg:lle eivät koske Vantaan murskauslaitosta, koska: TVOC: VFC (Haihtuvat fluorihilivedyt) - ja/tai VHC (Haihtuvat hiilivedyt) -yhdisteistä sisältävää sähkö- ja elektroniikkaromua tai lämpöarvoa omaavaa jätettä ei käsitellä Vantaan murskaimella. Vaikka varsinaisesti lämpöarvoa omaavaa jätettä ei käsitellä, sisältää osa murskattavasta materiaalista myös ei-metallista, orgaanista jätettä, joka ohjautuu prosessissa kevyeen jakeeseen. Vantaan murskaimella ei käsitellä elohopeaa sisältävää sähkö- ja elektroniikkaromua ja elohopea poistetaan esikäsittelyssä, joten tällaista sähkö- ja elektroniikkaromua ei Vantaalla murskata. Tämän takia tässä tutkimuksessa mitattuja TVOC- ja Hg-päästöjä ei voi soveltaa suoraan päästöraja-arvoihin, mutta päästörajoja voi kuitenkin käyttää suuntaa antavina arvoina. (Oravala 2022.)

#### 4.1.2 Päästöinventariomittauksen tulokset

Seuraavat tulokset on saatu konsulttiyrityksen mittausraportista.

Hiukkaset

Keskiarvo hiukkaspitoisuuksille mitattausjakson aikana oli 1,1 mg/Nm<sup>3</sup> (Liite 1). Pitoisuus alittaa ympäristölupapäätöksessä annetun enimmäisraja-arvon sekä BAT-päästötason alarajan. (Taulukko 9).

Taulukko 9. Jätteenkäsittelyn BAT-päätelmien sisältämät jätteiden BAT-päästötasot. <sup>1</sup>Vaihteluvälin yläraja on 10 mg/Nm<sup>3</sup>, kun kuitusuodattimia ei pysty käyttämään.

| Yhdiste   | Yksikkö             | BAT-päästötasot  | BAT-päätelmien kohta |
|-----------|---------------------|------------------|----------------------|
| Hiukkaset | mg/Nm <sup>3</sup>  | 2-5 <sup>1</sup> | Taulukko 6.3         |
| TVOC      | mgC/Nm <sup>3</sup> | 10-30            | Taulukko 6.5         |
| Elohopea  | µg/Nm <sup>3</sup>  | 2-7              | Taulukko 6.6         |

## Metallit

Analysoidut metallipitoisuudet (Sb, As, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Ni, Zn, V) olivat alhaisia. Pitoisuudet vaihtelivat välillä <0,0003–0,06 mg/Nm<sup>3</sup>. BAT-päätelmissä ei ole raja-arvoja metallipitoisuuksille. Valtioneuvoston asetuksessa jätteiden polttamisesta 151/2013 on raja-arvot Cd+Tl 0,05 mg/Nm<sup>3</sup>, Cr+Cu+Ni+Pb+Co+Mn+Sb+As+V 0,5 mg/Nm<sup>3</sup> ja Hg 0,05 mg/Nm<sup>3</sup> (Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 151/2013). Näihin raja-arvoihin verrattuna mitatut pitoisuudet olivat alhaisia. (Liite 2.)

## Elohopea

Mitatun elohopeapitoisuuden keskiarvo mittausjakson ajalta oli 0,01 mg/Nm<sup>3</sup>. Elohopeapitoisuutta ei voi soveltaa suoraan BAT-päätelmien raja-arvoon, vaikka päästötasot jäivät selvästi alle BAT-raja-arvon. (Liite 2.)

## Kromi-(VI)-yhdisteet

Mitatun kromi-(VI)-pitoisuuden keskiarvo mittausjakson ajalta oli <0,002 mg/Nm<sup>3</sup>. Kromi-(VI)-pitoisuudelle ei ole annettu raja-arvoa BAT-päätelmissä. (Liite 3.)

## Haihtuva orgaaninen kokonaishiili (TVOC)

Mitatun TVOC-pitoisuuden keskiarvo mittausjakson ajalta oli 58,3 mgC/Nm<sup>3</sup>. Pitoisuutta ei voi soveltaa BAT-päätelmien päästötasoon, vaikka päästötasot ylittivät BAT-raja-arvon. (Liite 4.)

## Dioksiinit ja furaanit (PCDD/F)

Mitatun PCDD/F-summapitoisuus mittausjakson ajalta oli 0,0003–0,003 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> (alaraja-yläraja). PCDD/F-pitoisuudelle ei ole BAT-päätelmissä annettu raja-arvoa. (Liite 5.)

#### Dioksiinien kaltaiset PCB-yhdisteet

Mitattujen PCB-yhdisteiden summapitoisuus mittausjakson ajalta oli 1,0 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> (alaraja-yläraja). PCB-pitoisuudelle ei ole BAT-päätelmissä annettu raja-arvoa. (Liite 6.)

#### Bromatut difenyylietterit (PBDE)

Mitattujen PBDE-yhdisteiden summapitoisuus mittausjakson ajalta oli 33,2–42,1 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> (alaraja-yläraja). PBDE-pitoisuudelle ei ole annettu BAT-päätelmissä raja-arvoa. (Liite 7.)

#### Bromatut bifenyylit (PBB)

Mitattujen PBB-yhdisteiden summapitoisuus mittausjakson ajalta oli 0–5,4 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> (alaraja-yläraja). PBB-pitoisuudelle ei ole BAT-päätelmissä annettu raja-arvoa. (Liite 8.)

#### Heksabromisyklododekaani (HBCD)

Mitattu HBCD-summapitoisuus mittausjakson ajalta oli 16,4 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> (alaraja-yläraja). HBCD-pitoisuudelle ei ole annettu BAT-päätelmissä raja-arvoa. (Liite 9.)

## 4.2 Hajapäästöselvitys

Tulokset on saatu konsulttiyrityksen mittausraportista. Mitatut tuntikeskiarvopitoisuudet (PM<sub>10</sub>) vaihtelivat välillä 8,6–49,5 µg/m<sup>3</sup>. Korkeimmat hiukkaspitoisuudet mitattiin näytteenottopisteessä 4, joka oli lähimpänä murskausta. Matalin pitoisuus 8,6 µg/m<sup>3</sup> mitattiin lajittelukuljettimen lähellä mittauspisteessä 2b. Missään muissa näytteenottopisteissä ei mitattu yhtä korkeita pitoisuuksia kuin näytteenotto paikassa 4. Tuulen yläpuolelta mitatun taustapitoisuuden keskiarvo oli alle 10 µg/m<sup>3</sup>. (Taulukko 10 ja Kuva 5.)

Taulukko 10. Yhden tunnin keskiarvotulokset kokonaispölypitoisuusmittauksista eri mitauspisteissä.

| Näytteenotto-<br>paikka | Päästölähde            | Etäisyys<br>(m) | Hiukkaspitoisuus<br>(PM <sub>10</sub> ) (µg/m <sup>3</sup> ) | Tuulen<br>nopeus<br>(m/s) |
|-------------------------|------------------------|-----------------|--|---------------------------|
| 1                       | Lopputuotteen kuljetin | 52              | 11,3   | 1                         |
| 1b                      | Lopputuotteen kuljetin | 43              | 10,7   | 2                         |
| 2                       | Lajittelukuljetin      | 49              | 10,9   | 2                         |
| 2b                      | Lajittelukuljetin      | 37              | 8,6  | 2                         |
| 3                       | NFR-Kuljetin           | 86              | 25,3   | 2                         |
| 3b                      | NFR-Kuljetin           | 50              | 16,7   | 2-3                       |
| 4                       | Murskaus               | 25              | 49,5   | 1                         |
| 4b                      | Murskaus               | 46              | 28,2   | 1                         |
| 5                       | Materiaalin syöttö     | 40              | 13,7   | 1-2                       |
| 5b                      | Materiaalin syöttö     | 36              | 27,4   | 1-2                       |



Kuva 5. Mittauspisteet ja niiden hiukkasmittausten tulokset pitoisuusluokittain. Punaiset pisteiviivat kuvaavat hajapäästöjen lähteitä. ©Envineer Oy

### Hiukkasten metallipitoisuudet

Päästömittausten yhteydessä analysoitujen metallien osuus pesurin jälkeisessä poistokaasussa oli pieni, joten voidaan todeta myös hajapäästöjen sisältämän metallipitoisuuden olevan pieni. Koska hiukkaspitoisuudet jäivät hajapäästöselvityksessä hyvin vähäisiksi, voidaan olettaa pölyn sisältävien metallien vaikutuksen asuinalueiden ilmanlaatuun olevan hyvin pieni. Murskattava aines sisälsi lukuisia metalleja, joista osalle on annettu ulkoilmassa seuraavat vuotuiset tavoitearvot: Arseni: 6 ng/m<sup>3</sup>, Kadmium: 5 ng/m<sup>3</sup> ja Nikkeli: 20 ng/m<sup>3</sup> (Ympäristöhallinto 2013). Mitkään ulkoilman vuotuiset tavoitearvot eivät ylittyneet mittauksissa. Metallien massaosuus hiukkaspitoisuudesta oli 2 %. (Taulukko 11.)

Taulukko 11. Murskan piipun kautta ulkoilmaan johdetun poistokaasun metallien osuudet massa%.

| Päästölähde                       | Arseni | Kromi | Kupari | Lyijy | Nikkeli | Sinkki |
|-----------------------------------|--------|-------|--------|-------|---------|--------|
| Murskauksen poistokaasujen piippu | 0,007  | 0,1   | 0,1    | 0,1   | 0,4     | 1,3    |

## VOC-pitoisuudet

VOC-mittauksissa suurin TVOC summapitoisuus havaittiin kaikista lähimpänä murskausta olevassa näytteenottopisteessä 4, jossa TVOC summapitoisuus oli 750 µg/m<sup>3</sup>. Pienin TVOC summapitoisuus 230 µg/m<sup>3</sup> mitattiin mittauspisteessä 1b, joka oli kauimpana murskaimesta. (Taulukko 12.) Mittauspisteinä toimi kolme samaa pistettä, joista mitattiin hiukkasia. (Liitteet 11, 12 ja 13).

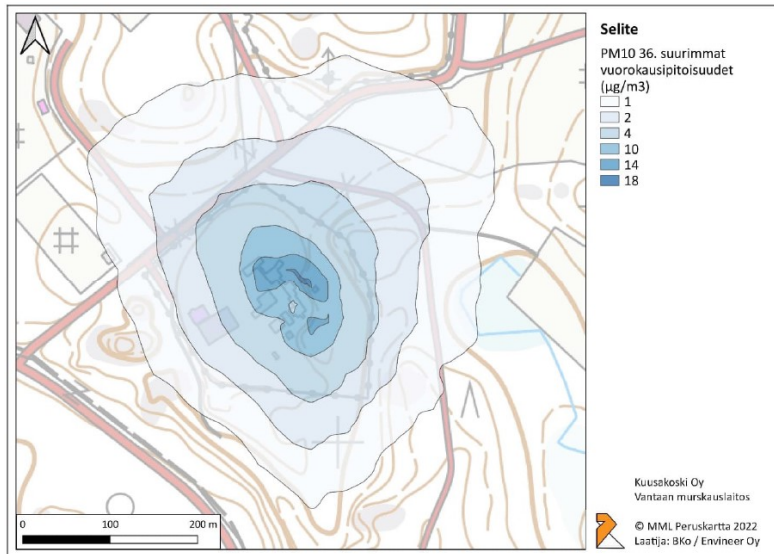
Taulukko 12. Kolmen eri näytteenottoaikan VOC-mittausten tulokset. TVOC=summapitoisuus näytteestä löytyneistä aromaattisista hiilivedyistä. VVOC=hyvin haihtuvat orgaaniset yhdisteet, TVOC-alueen ulkopuoliset, heksaania helpommin haihtuvat yhdisteet, joita ei ole laskettu TVOC-tulokseen.

| Näytteenottoaika | TVOC<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | VVOC<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Tolueeni<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Muut<br>aromaattiset<br>hiilivedyt<br>yhteensä (µg/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---|
| 1b               | 230                          | 2                            | 20                               | 101   |
| 2                | 320                          | 5                            | 31                               | 128   |
| 4                | 750                          | 54                           | 110                              | 285   |

## Mallinnuksen tulokset

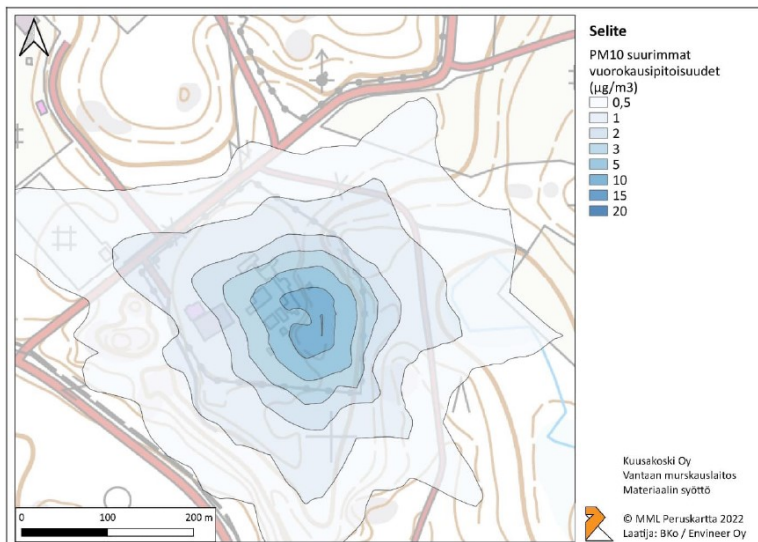
Mallinnuksen perusteella toiminnasta ei aiheutunut vuorokausiraja-arvon (50 µg/m<sup>3</sup>) ylittymistä missään mittauspisteessä. Korkeimmillaan raja-arvoon verrannollinen vuorokausipitoisuus oli murskauslaitoksen alueella 19 µg/m<sup>3</sup>. Palvelupisteen alueen ulkopuolella vuorokausipitoisuus oli alle 5 µg/m<sup>3</sup>. Mallinnusten tuloksia ja leviämisalueita tarkasteltaessa oli huomioitava, että pitoisuuskäyrästöt eivät edustaneet koko tarkastelualueella samanaikaisesti vallitsevaa tilannetta, vaan pitoisuuksien suurimmat arvot esiintyivät eri laskentapisteissä eri ajankohtina. (Kuva 6.)





Kuva 6. Kaikkien päästölähteiden aiheuttamat hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet murskauslaitoksella. ©Envineer Oy

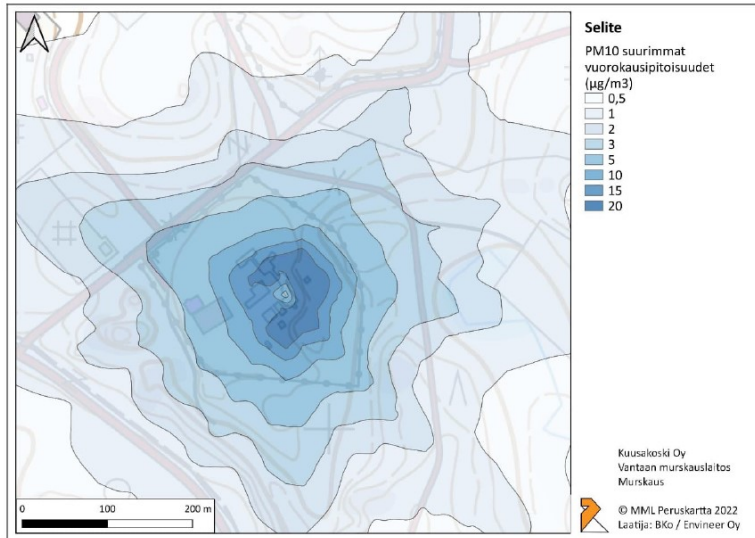
Kuvissa 7-12 on esitetty murskauslaitoksen yksittäisten päästölähteiden vaikutus hiukkasten suurimpiin vuorokausipitoisuuksiin. Materiaalin syötöstä aiheutuvat päästöt olivat pieniä <20 µg/m<sup>3</sup> ja ne levisivät suurimpina pitoisuuksina murskauslaitoksen läheisyyteen. Palvelupisteen alueen ulkopuolella pitoisuudet ovat hyvin pieniä <2 µg/m<sup>3</sup>. (Kuva 7.)



Kuva 7. Materiaalin syötöstä aiheutuvat suurimmat hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausipitoisuudet. ©Envineer Oy

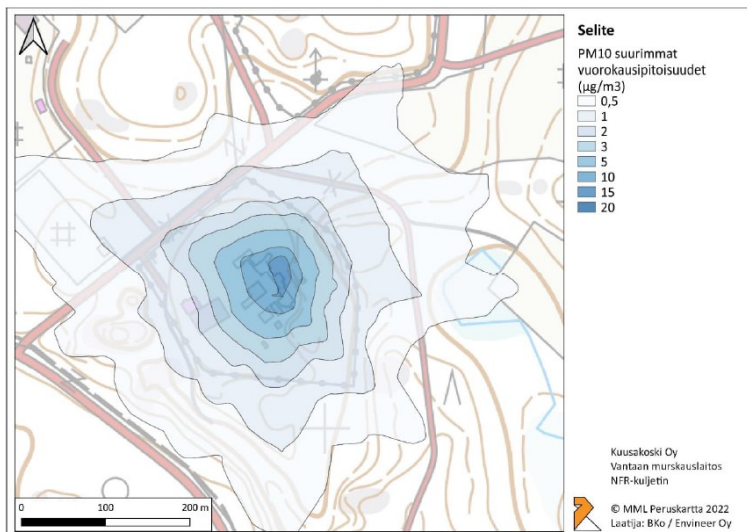
Murskauksesta aiheutui suurimmat PM<sub>10</sub> vuorokausipitoisuudet, jotka olivat suurimmillaan murskauslaitoksen läheisyydessä 15 µg/m<sup>3</sup>. Murskauksesta aiheutuneet PM<sub>10</sub> vuorokausipitoisuudet ulottuivat kaikista laajimmalle ja pitoisuudet olivat kaikista korkeimpia palvelupisteen alueen

ulkopuolella. Korkeimmillaan pitoisuudet olivat palvelupisteen ulkopuolella noin  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vaikka murskaus aiheutti suurimmat vuorokausipitoisuudet, ei vuorokausiraja-arvo ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ylittynyt. (Kuva 8.)



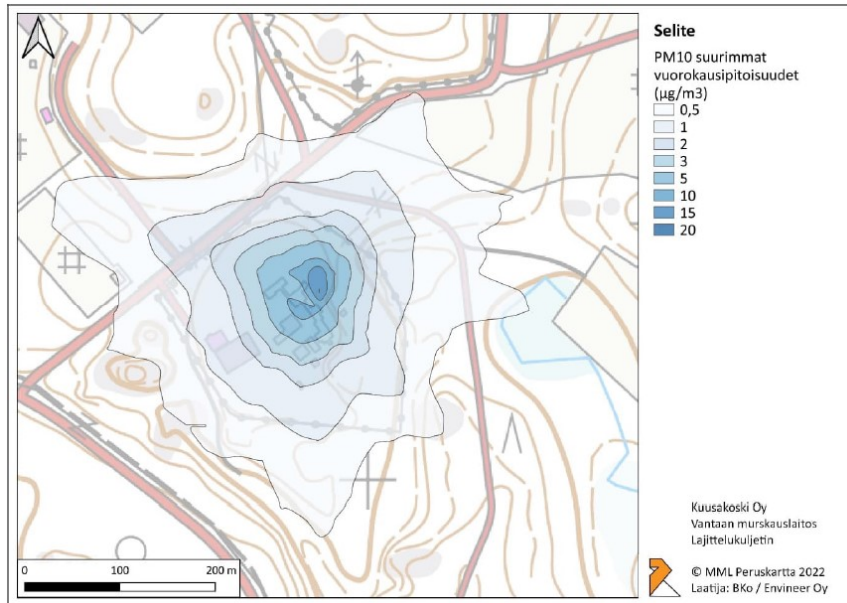
Kuva 8. Jätteen murskauksesta aiheutuvat suurimmat hiukkasten ( $\text{PM}_{10}$ ) vuorokausipitoisuudet. ©Envineer Oy

NFR-Kuljettimen aiheuttamat  $\text{PM}_{10}$  vuorokausipitoisuudet olivat suurimpia kuljettimen kohdalla ollen  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pitoisuudet olivat palvelupisteen alueen ulkopuolella suurimmillaan  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eli hyvin pieniä verrattuna vuorokausiraja-arvoon ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). (Kuva 9.)

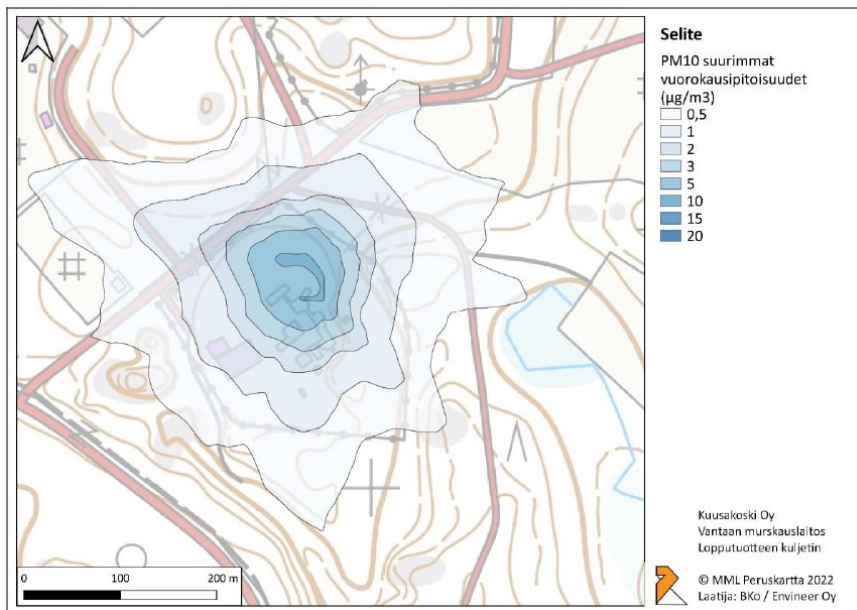


Kuva 9. NFR-Kuljettimesta aiheutuvat suurimmat hiukkasten ( $\text{PM}_{10}$ ) vuorokausipitoisuudet. ©Envineer Oy

Lajittelukuljettimesta aiheutuvat pitoisuudet olivat lopputuotteenkuljettimen kanssa hyvin samansuuruisia, eivätkä niiden vuorokausipitoisuudet olleet merkittäviä kuljettimien läheisyydessä eikä palvelupisteen ulkopuolella. Vuorokausipitoisuudet keskittyivät alueen pohjoisosaan ja laimenivat palvelupisteen alueen ulkopuolella ollen lajittelukuljettimella ja lopputuotteen kuljettimella suurimmillaan  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Kuvat 10 ja 11.)

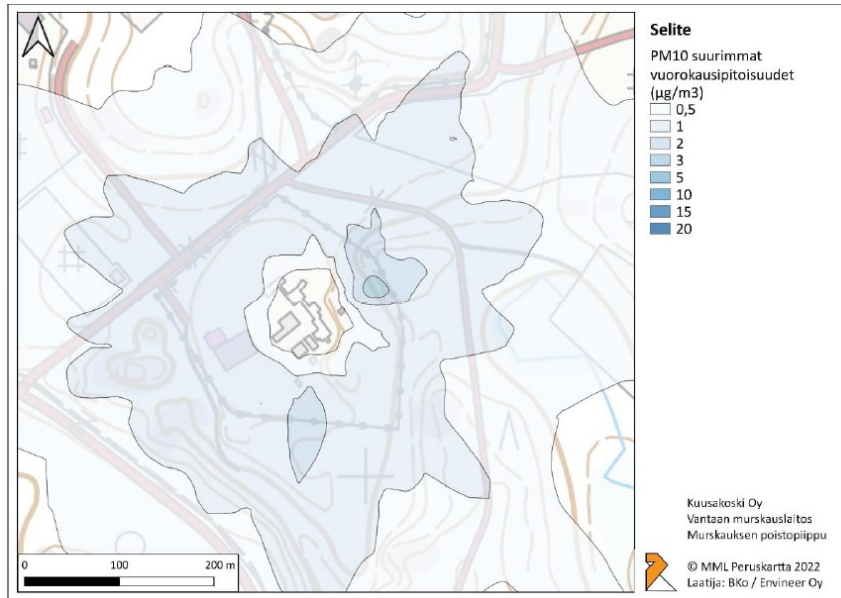


Kuva 10. Lajittelukuljettimesta aiheutuvat suurimmat hiukkasten ( $\text{PM}_{10}$ ) vuorokausipitoisuudet. ©Envineer Oy



Kuva 11. Lopputuotteen kuljettimesta aiheutuvat suurimmat hiukkasten ( $\text{PM}_{10}$ ) vuorokausipitoisuudet. ©Envineer Oy

Poistokaasujen piipun vuorokausikeskiarvopitoisuudet olivat kaikista pienimpiä mitatuista kohteista. Pitoisuudet olivat pieniä piipun kohdalla ja suurimmillaan palvelupisteen alueen Länsi- ja Lounaisosissa, ollen kuitenkin niissäkin suurimmillaan 3 µg/m<sup>3</sup>. Pitoisuudet levisivät laajalti palvelupisteen alueen ulkopuolelle, mutta olivat kuitenkin hyvin pieniä pitoisuuksia eikä siten merkittäviä. (Kuva 12.)



Kuva 12. Murskauksen poistokaasujen piipusta aiheutuvat suurimmat hiukkasten vuorokausipitoisuudet. ©Envineer Oy

Taulukkoon 13 kootut suurimmat (PM<sub>10</sub>) ja 36. suurimmat vuorokausipitoisuudet olivat pieniä eikä 36. suurin vuorokausipitoisuus ylittynyt minkään päästölähteen kohdalla. Suurin PM<sub>10</sub> hiukkaspitoisuuden päästölähde oli murskain ja pienin murskauksen poistopiippu. (Taulukko 13.)

Taulukko 13. Eri päästölähteiden aiheuttamat hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) suurimmat ja 36. suurimmat vuorokausipitoisuudet.

| Päästölähde              | PM <sub>10</sub> suurimmat hiukkaspitoisuudet (µg/m <sup>3</sup> ) toiminta-alueella | PM <sub>10</sub> 36. suurimmat hiukkaspitoisuudet toiminta-alueella |
|--------------------------|--|---|
| Syöttö                   | 15   | 7   |
| Murskain                 | 38   | 13  |
| NFR-Kuljetin             | 19   | 7   |
| Lopputuotteen kuljetin   | 12   | 5   |
| Murskauksen poistopiippu | 4  | 1   |
| <b>Kaikki yhteensä</b>   | <b>52</b>  | <b>19</b>   |

## Pitempiaikaiset pitoisuudet

Jatkoselvitystarvetta ja pitempiaikaisia keskimääräisen hengitettävän pölyn (PM<sub>10</sub>) pitoisuuksia ja vaikutuksia selvitettiin palvelupistettä lähimpänä olevan asuinkiinteistön kohdalla pituusyksikössä ng/m<sup>3</sup>. Keskimääräiset PM<sub>10</sub> pitoisuudet jäivät pieniksi, joten murskauksesta ei aiheutunut suurta haittaa lähimpänä palvelupistettä asuville. (Taulukko 14.)

Taulukko 14. Mallinnusjakson (1.5.-31.8.) aikana päästölähteiden aiheuttamat hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) keskimääräiset pitoisuudet lähimmällä asuinalueella.

| <b>Päästölähde</b>       | <b>PM<sub>10</sub> keskimääräiset hiukkaspitoisuudet (ng/m<sup>3</sup>)<br/>asuinalueella</b> |
|--------------------------|---|
| Materiaalin syöttö       | 6   |
| Murskaus                 | 24  |
| NFR-kuljetin             | 6   |
| Lajittelukuljetin        | 4   |
| Lopputuotteen kuljetin   | 4   |
| Murskauksen poistopiippu | 18  |
| <b>Kaikki yhteensä</b>   | <b>65</b>   |

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Päästöinventaario

Päästöinventariomittausten avulla tutkittiin murskaimesta tulevia ilmaan johdettuja päästöjä viranomaisen edellytysten mukaisesti. Mittaustuloksista selvisi, että mitatuista pitoisuuksista hiukkaspitoisuus ei ylittänyt ympäristöluvan tai BAT-päätelmien raja-arvoja. Hiukkaspitoisuuden osalta pitoisuudet alittivat ympäristölupapäätöksessä annetun enimmäisraja-arvon sekä BAT-päästötason alarajan. Analysoitujen metallipitoisuuksien voidaan sanoa olevan alhaisia, kun niitä verrattiin Valtioneuvoston asetukseen jätteiden polttamisesta, jossa oli annettu metallipitoisuuksille raja-arvot. BAT-päätelmissä ei ollut raja-arvoja metallipitoisuuksille. Valtioneuvoston asetuksessa jätteiden polttamisesta 151/2013 raja-arvoihin  $Cd+Tl = 0,05 \text{ mg/Nm}^3$ ,  $Cr+Cu+Ni+Pb+Co+Mn+Sb+As+V = 0,5 \text{ mg/Nm}^3$  ja  $Hg = 0,05 \text{ mg/Nm}^3$  verratessa mitatut metallipitoisuudet alittivat nämä raja-arvot ja pitoisuuksien voi siten todeta olevan alhaisia ja merkityksettömiä.

TVOC-pitoisuus oli suhteellisen korkea, mutta koska kyseessä oli vain yksittäinen mittausta ja pitoisuuteen vaikuttaa muun muassa säätila ja syötteen laatu, ei yhden mittauksen perusteella voida tehdä kattavia johtopäätelmiä mittaustuloksesta. TVOC ja elohopean BAT-päästötasoon ei näiden mittausten tuloksia voinut verrata, koska ne eivät koskeneet Vantaan murskauslaitosta, koska VFC-yhdisteistä (Haihtuvat fluorihilivedyt) ja VHC-yhdisteistä (Haihtuvat hiilivedyt) sisältävää sähkö- ja elektroniikkaromua tai lämpöarvoa omaavaa jätettä ei käsitellä Vantaan murskaimella. Vantaan murskaimella ei käsitellä myöskään elohopeaa sisältävää sähkö- ja elektroniikkaromua. BAT-päästötasoon vertaaminen näiden pitoisuuksien osalta olisi siis vain suuntaa antavaa.

Kuusakoski Oy:n Kuopion murskauslaitoksella vuonna 2019 tehdyssä murskaimen tuuliseulan ilmapäästömittauksessa mitattiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden TVOC-pitoisuudeksi poistoilmasuodattimen jälkeen  $23 \text{ mgC/Nm}^3$ . Vantaan Ympäristölupapäätöksen (Dnro UUS-2008-Y-697-111) mukaisissa murskaimen ilmapäästömittauksissa vuonna 2019 TVOC-pitoisuudeksi mitattiin  $14,3 \text{ mgC/Nm}^3$ . Näihin kahteen päästötulokseen verrattuna tämän tutkimuksen päästöinventariomittauksissa TVOC-pitoisuuden keskiarvo mittaustuloksen ajalta ( $58,3 \text{ mgC/Nm}^3$ ) oli edellä mainittuja mittauksia selvästi korkeampi. Sää oli Vantaalla mittaushetkellä poutainen ja aurinkoinen, joten sään ei uskota vaikuttavan mittaustuloksiin. Murskausprosessi toimi normaalisti ja murskaimen syötettävä materiaali oli sekapeltiä. Materiaalin ei uskota vaikuttavan tuloksiin niitä nostavasti. Kuopiossa suodattimen jälkeinen poistoilma johdetaan hallin sisälle sisäilman

lämmittämiseksi, joten kyseessä ei ole varsinainen päästökohde, joka voi vaikuttaa siihen, että Kuopiossa pitoisuus ei ole yhtä suuri kuin Vantaalla.

Kuusakoski Oy:n Heinolassa sijaitsevassa samantyyppisessä murskauslaitoksessa, kuin Vantaalla, on tehty useampia TVOC-mittauksia, joissa pitoisuudet ovat vaihdelleet paljon mittauskertojen välillä. TVOC-pitoisuudet olivat Vantaalla mittausten perusteella sillä tasolla, että päästöjen ei voida todeta olevan merkityksellisiä. Koska kyseinen mittaustulos kuvaa vain päästöjen hetkittäistä pitoisuutta, tarvitaan päästötasoista tarkempaa tietoa, jotta puhdistustarvetta voitaisiin määrittää. Tästä johtuen TVOC-pitoisuuksien mittauksia jatketaan BAT-päätelmien mukaisesti puolen vuoden välein.

Muiden tässä tutkimuksessa mitattujen yhdisteiden pitoisuudet olivat alhaisia, joten niitä ei pidetä merkityksellisinä päästöinventaarion perusteella. Summapitoisuus dioksiineille ja furaaneille (PCDD/F) oli 0,0003–0,003 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> (alaraja - yläraja), dioksiinien kaltaisille PCB-yhdisteille 1,0 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> (alaraja - yläraja), bromatuille difenyylieettereille (PBDE) 33,2–42,1 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> (alaraja-yläraja), bromatuille bifenyyleille (PBB) 0–5,4 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> (alaraja-yläraja) sekä heksabromisyklododekaanille (HBCD) 16,4 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> (alaraja-yläraja). Näille yhdisteille ei ollut annettu BAT-päätelmissä raja-arvoja.

Vuonna 2019 Ympäristölupapäätöksen (Dnro UUS-2008-Y-697-111) mukaisissa Vantaan murskaimen ilmapäästämittauksissa PCDD/F-yhdisteille mitattiin pitoisuudeksi 0,001–0,01 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> ja dioksiinien kaltaisille PCB-yhdisteille 20,7–20,8 ng/Nm<sup>3</sup>. Kuusakoski Oy:n Kuopion palvelupisteen murskauslaitoksen ilmapäästämittauksissa vuonna 2020 PCDD/F-summapitoisuus oli 0–0,004 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> sekä kaikkien yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet olivat alle analyysin määrittämissä rajojen. PCB-summapitoisuus oli 2,0–2,1 ng/Nm<sup>3</sup>. (Oravala 2022.) Verratessa tässä tutkimuksessa tehtyjä päästöinventaarion PCDD/F ja PCB-pitoisuuksien tuloksia muihin tutkimuksiin, pitoisuudet olivat aika lailla samaa luokkaa.

Tuloksien epävarmuuteen vaikutti mittauspaikan ulkoinen sijainti ilman säänsuojaa (kuva 2) sekä epätasainen virtausprofiili. Näillä ei kuitenkaan uskottu olevan merkittävää vaikutusta mitattuihin pitoisuuksiin, koska pitoisuudet olivat alhaisia. Mittauspäivän sää oli hieman tuulinen, mutta muuten aurinkoinen, jolloin mittauspaikan ulkoisen sijainnin ei oletettu vaikuttavan senkään takia merkittävästi tuloksiin. Päästöinventaarionmittauksia pidettiin luotettavina, koska ne oli toteutettu BAT-päätelmien mukaisesti.

## 5.2 Hajapäästöselvitys

Hajapäästöselvityksessä tutkittiin murskauksesta aiheutuvia hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) pitoisuuksia, joiden halkaisija on alle 10 µm (hiukkaskokoluokka 0,3–10 µm). Mittauspäivänä sääolosuhde oli kuiva, joten sääolosuhteen ei oletettu vaikuttavan mittaustuloksiin merkittävästi. Mittauksia edeltävänä yönä oli satanut vettä, joten alueella tapahtuva pölyn muodostuminen oli siten vähäistä ja mittaustulokset edustivat hyvin murskauksesta aiheutuvia hajapäästöjä. Mittausta edeltävällä sateella on voinut

olla sellainen vaikutus selvityksen päästöihin, että murskaimen syötemateriaali oli ainakin osittain kostea, jolloin pölyäminen on vähäisempää.

Suurin PM<sub>10</sub> keskiarvopitoisuus mitattiin näytteenottoaikaissa 4, joka oli lähinnä murskausta. Toisessa murskauksen mittauspisteessä 4b etäisyys oli melkein puolet kauempana itse murskauksesta ja keskiarvopitoisuuskin on senkin takia pienempi. Hiukkaspitoisuuden huomattiin laimenevan näytteenottoaikojen välillä aina etäisyyden kasvaessa. Tämä huomattiin esimerkiksi näytteenottoaikojen 3 ja 3b välillä. Näytteenottoaikojen 1 ja 1b läheisyydessä mittauksen aikana oltiin lastaamassa kuormaa, joka aiheutti jonkin verran ylimääräistä pölyisyyttä näytteenottoaikan läheisyyteen. Tämän ei kuitenkaan oleteta vaikuttavan oleellisesti mittauksiloksiin, koska keskiarvopitoisuudet jäivät silti pieniksi kyseisillä mittauspisteillä ollen 11,3 µg/m<sup>3</sup> ja 10,7 µg/m<sup>3</sup>. (Taulukko 10.)

Näytteenottoaikan 2b läheisyydessä kasvoi joitakin puita murskauslaitoksen ja näytteenottoaikan välillä, joka voi osaltaan selittää sen, miksi hiukkaspitoisuus on siinä kohti pienempi, kuin esimerkiksi näytteenottoaikaissa 1b. Puuston ei kuitenkaan arveltu vaikuttavan mittauksiloksiin oleellisesti, koska pitoisuudet eivät eronneet huomattavasti toisistaan mittauspaikkojen välillä. Materiaalien syöttö aiheutti silmin nähden hieman pölyisyyttä, mikä voi osaltaan selittää näytteenottoaika 5b:n korkeamman hiukkaspitoisuuden verrattuna muihin kuljettimien näytteenotuspisteisiin. (Taulukko 10.)

Mallinnuksen tuloksista nähtiin vuorokausikeskiarvopitoisuuksien olevan pieniä verrattessa ilmanlaadun raja-arvoon, jossa hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) kohdalla vuorokausi raja-arvo on 50 µg/m<sup>3</sup> (Ilmanlaadun säädökset ja ohjeet 2021). Vuorokausiraja-arvo ei ylittynyt yhdessäkään mittauspaikassa. (Taulukko 13). Vuorokausikeskiarvopitoisuudet olivat suurimmillaan palvelupisteen alueella eivätkä leviämismallinnuksen perusteella levinneet suurina pitoisuuksina alueen ulkopuolelle. Keskiarvopitoisuudet eivät silti ylittäneet vuorokausiraja-arvoa, eivätkä siten aiheuttaneet merkittävää terveydellistä tai ympäristöllistä haittaa. (Kuva 6.)

Murskauksesta aiheutuu yleensä suurimmat hajapäästöt, joiden syntymiseen vaikuttaa moni asia (Nuutinen 2022). Murskaimen hiukkaspäästöjä oli aikaisempina vuosina lähdetty vähentämään tekemällä pesurille huolto- ja kunnostustöitä, joiden uskotaan vaikuttaneen siihen, että tämän tutkimuksen mittauksilokset alittivat ympäristöluvassa asetetun raja-arvon sekä hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausi raja-arvon.

Mitatut TVOC-summapitoisuudet olivat 230–750 µg/m<sup>3</sup>. TVOC-pitoisuudet olivat jokaisessa kolmessa näytteenotuspisteessä alhaisia, jos niitä verrataan Sisäilmayhdistys ry:n sivuilta löytyvään lukuun, jossa silmien, kurkun ja nenän ärsytystä alkaa esiintyä, kun TVOC-pitoisuus on 5 mg/m<sup>3</sup> (=5 000 µg/m<sup>3</sup>). Terveyden kannalta turvallisena tasona sisäilmassa VOC-pitoisuus on 200 µg/m<sup>3</sup>. (Sisäilmayhdistys ry 2008.) Ulkoilmalle ei ole annettu terveyden kannalta turvallista tasoa. Hajapäästöselvityksen TVOC-summapitoisuudet alittivat Sisäilmayhdistys ry:n TVOC-pitoisuuden, jolloin ärsytysoireita alkaa



esiintyä. Tämän tutkimuksen tuloksia ei voi verrata suoraan sisäilmassa pidettyyn VOC-pitoisuuden turvalliseen tasoon, koska mittaukset suoritettiin ulkoilmassa. Pitoisuustasoja voidaan pitää kuitenkin alhaisina, koska sisäilmapitoisuuden raja-arvo ei ylity.

Päästömittausten yhteydessä analysoitujen metallien osuus pesurin jälkeisessä poistokaasussa oli pieni. Pölyn sisältävien metallien vaikutus asuinalueiden ilmanlaatuun oletettiin siten olevan merkityksetön. Murskattava aines sisälsi lukuisia metalleja, joista osalle annetut ulkoilman vuotuiset tavoitearvot (Arseeni: 6 ng/m<sup>3</sup>, Kadmium: 5 ng/m<sup>3</sup> ja Nikkeli: 20 ng/m<sup>3</sup>) eivät ylittyneet näissä mittauksissa ja metallien massaosuus hiukkaspitoisuudesta oli vain 2 %. (Taulukko 11.)

Hajapäästömittauksissa aiheutui ongelmia, jotka vaikuttivat oleellisesti tuloksiin. Hajapäästöselvityksen tuli sisältää kokonaishiukkaspitoisuus ja hiukkasten sisältämät metallipitoisuudet, mutta näitä asioita ei kuitenkaan ollut mittausraportissa, joten työ ei vastannut kaikilta osin tarjoutua eikä hajapäästöselvityksestä siten saatu haluttuja tuloksia. Hajapäästöselvityksen sisältövaatimuksia ympäristölupapäätöksessä ei ole määritetty, joten myös valvovalla viranomaisella oli mahdollisuus määrätä sisällöstä tarkemmin. Näiltä osin ei voitu olla varmoja, edellyttääkö viranomainen kokonaishiukkaspitoisuuksien tai metallipitoisuuksien määrittämistä. Ennakkoon tätä pidettiin todennäköisenä ja tämä oli myös syy sille, miksi kyseisten pitoisuuksien mittaukset haluttiin hajapäästöselvitykseen mukaan. Viranomainen ei kuitenkaan mittaustulosten valmistuttua edellyttänyt lisämittauksia, joten siltä osin hajapäästöselvityksen mittaustulokset olivat riittäviä.

Kun kokonaishiukkaspitoisuuden määrittäminen jäi kokonaan tekemättä, saadut tulokset pelkästään hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) pitoisuuksista kertovat vain osittain murskauksesta aiheutuvista hajapäästöistä. Tästä johtuen tuloksista ei voida vetää tarkkoja johtopäätöksiä esimerkiksi hiukkaskokojakaumasta, jolla olisi saatu paremmin tietää myös PM<sub>10</sub> pienempien hiukkasten tarkempi osuus. Tuloksien osalta olisi ollut siten tärkeää tietää kokonaishiukkaspitoisuus, joka olisi sisältänyt kaikenkokoiset hiukkaset. Pitoisuuksien oletettiin ennen mittauksia olevan korkeampia, jolloin päästöjen hallintakeinoja olisi tarvinnut alkaa miettimään. Tämän työn yksi keskeinen elementti olisi ollut juuri päästöjen hallintatoimien kehittäminen, joka jäi nyt kokonaan pois, koska tulokset eivät niitä edellyttäneetkään.

VOC-pitoisuuksia piti mitata murskaimen välittömästä läheisyydestä. Mittauksissa kävi niin, että haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) mitattiin kolmesta mittauspisteestä, joista vain yksi sijaitti murskauksen välittömässä läheisyydessä ja kaksi muuta olivat kaukana murskaimesta sijaiten toiminta-alueen reunalla. Tämän takia kahdesta kauimmaisesta pisteestä mitattujen pitoisuuksien perusteella päästöjen leviämisestä ei saatu luotettavaa kuvaa, eivätkä ne tuoneet tutkimukselle lisäarvoa VOC-päästöistä. Mittaustulosten perusteella voi myös vetää sen johtopäätöksen, että pitoisuudet laimenevat jo toiminta-alueella niin pieniksi, etteivät ne ole toiminta-alueen ulkopuolelle

merkittäviä. Mittauspisteiden 1b ja 2 TVOC summapitoisuudet olivat muutenkin paljon pienempiä, kuin murskaimen lähellä sijaitsevassa mittauspisteessä 4. (Taulukko 12.)

Sää oli mittausten aikana aurinkoinen eikä tuulennopeus ollut suuri, joten mittausajankohdan säällä ei oletettu olevan vaikutusta tuloksiin. Mittaukset suoritettiin keväällä, jolloin lumi oli jo sulanut, eikä senkään pitäisi vaikuttaa päästöjen leviämiseen. Mittausten ajan syötemateriaalina toimi esikäsitellyt autot. Esikäsitellyistä autoista on poistettu polttoaineet ja öljyt esikäsitelyvaiheessa. Murskauksen VOC-päästöjä aiheuttaa polttoaineista ja öljystä, mutta kun mittausajankohtana murskattiin vain autoja, voidaan olettaa VOC-päästöjä syntyvän vähän tavallista enemmän ja siten olevan mittaustuloksia nostattava vaikutus.

Kuopion hajapäästöselvityksessä mitatut  $PM_{10}$  ja sitä pienempien pienhiukkasten yksittäiset pitoisuudet olivat aika suuria. Pitoisuuksiin vaikuttaa muun muassa se, että Kuopion murskauslaitos toimii dieselmoottorilla, jolla on pitoisuuksia nostattava vaikutus. Kuopiossa mitattuja pitoisuuksia ei voi kuitenkaan verrata suoraan tämän tutkimuksen tuloksiin, koska tässä tutkimuksessa on laskettu jokaiselta mittauspisteeltä yksittäisten mittaustulosten keskiarvo. Voitiin kuitenkin todeta, että hiukkaspitoisuudet olivat suurimmillaan Kuopiossakin hajapäästömittauksessa juuri murskaimen läheisyydessä mitatuissa mittauspisteissä. Tämän perusteella todettiin, että murskauksesta aiheutuneet Vantaan palvelupisteen hajapäästöselvityksen hiukkaspitoisuudet eivät olleet poikkeuksellisia.

Suurimmat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) pitoisuudet mitattiin Kuopiossa juuri murskauksesta. Jos Kuopiossa mitattuja pitoisuuksia vertaa Vantaan palvelupisteellä mitattuun luotettavimpaan tulokseen mittauspisteessä 4 ( $750 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 7,50 \text{ ppm}$ ), Kuopiossa mitatuilla haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksilla 0,61 ppm, 0,40 ppm ja 0,52 ppm on jonkin verran eroa Vantaalla mitattuun pitoisuuteen. Mittauspisteet tosin erosivat myös Kuopion ja Vantaan välillä siten, että Kuopiossa mittauspisteet olivat ilmasta mitattuja pisteitä ja Vantaalla maasta mitattuja. Kuopiossa mittausten ajan yhdestä piipusta tuli silmin nähtävästi dieselpakokaasua, joka voi nostaa pitoisuuksia. Säätila oli Kuopion mittauksissa aurinkoinen ja poutainen eikä tuulen nopeus ollut kova, joten sään ei uskottu vaikuttavan tuloksiin. Kuitenkin, jos Kuopiossa dieselmoottorin päästöt vaikuttivat nostavasti päästöihin, eikä murskauksesta aiheudu siten niin suuria pitoisuuksia, on Vantaalla mitattu tulos suuri Kuopion tuloksiin verrattuna.

### 5.3 Ilmapäästöjen hallinta

Kaikki päästöinventaariossa mitatut pitoisuudet jäivät tässä työssä kerrottujen raja-arvojen ja BAT-päästötasojen alle tai niitä ei voinut suoraan verrata BAT-päästötasoihin. Hajapäästöselvitys jäi osittain vajavaiseksi, eivätkä tässä työssä mainitut ilmanlaadun ohjearvot ja ulkoilman vuotuiset tavoitearvot ylittyneet. Hiukkaspitoisuudet alittivat ilmanlaadun ohjearvot jo toiminta-alueella, joten

vähentämistarvetta ei niiden perusteella ole. TVOC-pitoisuudet taas olivat yksittäinen mittausta ja muiden mittaustulosten perusteella pitoisuudet voivat vaihdella, joten pitoisuustasosta tarvitaan lisätietoja, ennen kuin voidaan määrittää vähennystarpeet.

Kuusakoski Oy:n omien murskauslaitoksien prosesseja oli tarkoitus verrata toisiinsa, jos Vantaalla olisi tarvittu päästöjen hallintatoimia. Murskausprosesseja oli tarkoitus verrata toisiinsa siten, olisiko esimerkiksi jokin prosessin kohta suojattu paremmin, kuin Vantaalla, joka vähentäisi päästöjä oleellisesti tai onko jätteen pudotuskohtia vähennetty, jotka olisivat auttaneet päästöjen hallinnassa. Kantolan (2022) mukaan päästöjen hallinnassa kannattaa aina ensin miettiä, olisiko päästöjen syntyminen mahdollista ehkäistä ensin prosessimuutoksilla ja sitten vasta lähteä miettimään puhdistamista.

Tehdyistä päästöjen hallintatoimenpiteistä varsinkin seuraavien oletetaan vaikuttaneen eniten päästöjen vähenemiseen. Tuuliseulan ja lajitteluhuoneen väliltä poistettu toinen magneettirumpu on poistanut materiaalin yhden tiputuskohtaan, jonka avulla materiaalin tippumisesta aiheutuvaa pölyämistä on saatu hallittua. Syklonin peruskunnostus sisältäen syklonin imuputkiston uudistuksen sekä kaskadipesurille menevän pölyputkiston uusimisen avulla on saatu imettyä pölyä paremmin puhdistettavaksi kaskadipesurille. Kevyen jakeen käsittelyn muuttaminen yksinkertaisemmaksi poistamalla yksi magneetti sekä kaksi eri kuljetinyksikköä ja niiden pudotuskohtaa ovat saaneet aikaan sen, että jäte tulee suoraan yhteen kasaan. Kasassa on vielä siihen kohdistettu vesisumu, jolla pöly saadaan sidottua jätteeseen. Vettä sumutetaan myös heti murskauksessa, joka on auttanut siinä, että murskaimeen syötettävässä raaka-aineessa oleva pöly on saatu paremmin sidottua. (Kantola 2022.)

Olemassa olevien laitteistojen ja prosessien hajapäästöjen hallinta on vaikeampi toteuttaa, kuin uusia laitteistoja hankittaessa. Esimerkiksi laitteistojen huolto- ja kunnossapitotyöt voivat estää koteloiteja, jotka vähentäisivät hajapäästöjä. Tekniikan uudistamisen suhteen ei kuitenkaan voitaisi vetää aivan yksioikoisia johtopäätöksiä, koska teknistaloudellinen arviointi vaatii aina tarkastelua hinnasta, vaikuttaako se haitallisesti varsinaiseen tuotantoon ja mikä olisi saavutettu päästövähennys. Päästötasojen ollessa jo nykyisellään pieniä, tulee uusia päästövähennystoimenpiteitä harkita tarkkaan, jotta niillä ei aiheuteta erittäin pienen päästövähennyksen takia haittaa tuotannolliseen prosessiin (Oravala 2022.)

Muiden yritysten metallijätteen murskauslaitoksien päästöinventaariota ja hajapäästöselvityksiä koskevia mittaustuloksia ei ole lähtökohtaisesti julkisesti nähtävillä, joten niiden tuloksiin ei voinut lähteä tämän tutkimuksen tuloksia vertaamaan. Muiden murskauslaitosten tuloksista olisi saanut osviittaa siitä, millaisia muiden murskauslaitosten päästöt ovat ja mistä prosessien kohdista niitä muodostuu eniten. Onneksi Kuusakoski Oy on toteuttanut omien murskauslaitostensa päästömittauksia ja tuloksia pystyi osittain vertaamaan niihin.

Tässä pro gradu - työssä oli asetettu tavoitteeksi selvittää, miten päästöinventaario ja hajapäästöselvitys toteutetaan, mitä päästöjä niissä halutaan

mitata, miten hajapäästöjä voidaan kartoittaa ja millaisilla toimenpiteillä murskausprosessin päästöjä voitaisiin tarvittaessa vähentää. Kaikki työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Työn hypoteesi ilmapäästöjen paremmasta hallitsemisesta teknisillä toimenpiteillä toteutui niin, että huomattiin päästöjen olevan niin merkityksettömiä terveydelle ja ympäristölle, ettei ilmapäästöjen hallintaa tarvinnut lähteä erikseen toteuttamaan. Toiseksi hypoteesiksi oli asetettu hajapäästöjen olevan kanavoituja päästöjä merkittävämpiä murskauksen kokonaispäästöjen kannalta. Tutkimuksen edetessä huomattiin, että hajapäästöjä muodostuu monesta murskausprosessin kohdasta, kun taas kanavoituja päästöjä muodostuu vain kaskadipesurin sekä syklonin poistopiipusta, jolloin niiden hallinta on hajapäästöjä helpompaa eivätkä ne ole sen takia niin merkittäviä kokonaispäästöjä ajatellen.

Metallijätteiden murskaamiseen liittyviä päästöjä on tutkittu viranomaisen edellytysten mukaisesti jo pitkällä aikavälillä, mutta harvemmin tulokset ovat päätyneet julkisesti nähtäville. Näiltä osin tämä tutkimus toi murskaamiseen liittyviä päästöjä ja niiden tutkimista entistä paremmin esille. Hajapäästöjen selvittäminen on Kuusakoski Oy:llä suhteellisen uutta, eikä viranomaisena antanut sen suhteen erityisiä ohjeistuksia. Tämän tutkimuksen avulla saatiin tutkittua sitä, millaisia yhdisteitä varsinkin hajapäästöselvityksessä kannattaa mitata sekä uutta tietoa siitä, kuinka laajalle alueelle päästöt leviävät palvelupisteen alueen ulkopuolelle. Näiltä osin tämä tutkimus oli Kuusakoski Oy:lle hyödyllinen.

## 6 PÄÄTELMÄT

BAT-päätelmän ja viranomaisen edellytysten mukaan direktiivilaitosten ilmapäästöjä tulee tutkia säännöllisesti. Päästötutkimusten tarkoituksena on saada tietoa laitosten päästömääristä sekä tarvittaessa pyrkiä estämään ja rajoittamaan niitä. Ilmapäästöihin vaikuttaa aina useampi eri tekijä eikä johtopäätöksiä voi vetää yhden mittauksen perusteella, vaan mittausdataa tarvitaan pidemmältä ajalta. Ilmapäästömittauksissa ja tulosten tulkinnassa on aina otettava huomioon monta asiaa. Vallitseva sääolosuhde, syötemateriaali, vuodenaika, mittaustilanteet ja päästöjen vaihtelu voivat aiheuttaa mittauksien välille suuriakin vaihteluita, jotka peilautuvat mittaustuloksiin. Tutkimus herättikin paljon kysymyksiä siitä, millaisilla mittauksilla saataisiin juuri tämän tutkimuksen tarpeita tyydyttäviä tuloksia ja millaisten tulosten perusteella olisi helppo lähteä pohtimaan mahdollisia jatkotoimia.

Tutkimusten tulosten avulla Kuusakoski Oy voi todeta, että Vantaan palvelupisteen murskauslaitoksen ilmapäästöjen hallinta on hyvällä tasolla ja edellisvuosina tehdyt ilmapäästöjen vähentämistoimet ovat olleet riittäviä. Tutkimuksen tuloksien avulla voidaan todeta myös, että TVOC-päästöistä tarvitaan kattavampaa tietoa ja se tulee sisällyttää säännöllisesti tarkkailtaviin parametreihin hiukkasten ja metallien lisäksi. Tämän tutkimuksen mittaukset on toteutettu BAT päätelmien edellytysten ja ympäristölupapäätöksen lupamääräyksien 37 ja 37a mukaisesti, joten tutkimuksen tuloksia pidetään luotettavina ja ne ovat vaatimusten mukaisia. Tutkimukselle asetetut tavoitteet toteutuivat näiltä osin toivotulla tavalla.

Lisätutkimusta tarvittaisiin olemassa oleville prosesseille ja niiden päästöjen hallinnalle, koska esimerkiksi prosessien kotelointi päästöjen hallinnan osalta jälkikäteen on hankalampaa. Nykymurskaimet ovat yleensä paremmin koteloituja, jolloin päästöjen hallinta on suunniteltu jo osaksi murskausprosessia. Päästöjen hallitsemisen osalta itse murskausprosessi ei ole muuttunut vuosien saatossa juuri miksikään, jolloin ei ole teknis-taloudellisesti tai edes ympäristömielessä järkevää korjata toimivia laitteistoja kokonaan uusilla, vaikka niissä päästöjen hallinta olisikin huomioitu vanhoja paremmin. Ennemmin siis tarvittaisiin kustannustehokkaita ja käytännössä toimivia hajapäästöjen hallintakeinoja olemassa oleviin prosesseihin.

Kanavoitujen päästöjen käsittely ja mittaaminen on nykytekniikalla suhteellisen helppoa. Hajapäästöjen mittaamisesta ja standardoimisesta tarvitsisi kuitenkin enemmän tietoa tulevaisuutta ajatellen, koska ilmanlaadun ohjearvot ovat ainoita, joita voidaan jollain tasolla verrata hajapäästämittausten tuloksiin, mutta niitäkään ei ole annettu kuin hiukkasille. Hajapäästöjen hallinnalle ja mittauksille olisi siten kehitettävää tulevaisuudessa. Toisaalta, jos päästöt rajoittuvat toiminta-alueelle, niin kuin tässäkin tutkimuksessa todettiin, niin onko niiden vähentäminen edes tarpeen.

## **KIITOKSET**

Kiitos ohjaajalleni Tuula Tuhkaselle kaikesta avusta ja ohjauksesta. Kiitos Kuusakoski Oy:n ohjaajalleni Maija Oravalalle mahdollisuudesta toteuttaa gradu Kuusakoski Oy:lle ja neuvoista sekä avusta graduprojektiin liittyen silloinkin, kun kaikki ei sujunut ihan odotusten mukaan. Kiitos Jarkko Lahdelle tsempeistä ja siitä, että tarjosit mahdollisuuden ja aikaa gradun konkreettiseen tekemiseen.

Sysmässä 28.10.2022

Eveliina Kyllönen

## KIRJALLISUUSLUETTELO

- Canova M., Zerger B., Roth J., Pinasseau A. & Roudier S. 2018. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment. European commission. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control) [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC113018\\_WT\\_Bref.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC113018_WT_Bref.pdf) (Luettu 30.10.2021).
- EUR-Lex. 2018. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2010/75/EU mukaisten parhaita käytettävissä olevia tekniikoita (BAT) koskevien päätelmien vahvistamisesta jätteenkäsittelyä varten. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32018D1147> (Luettu 16.5.2022.)
- European Commission. 2021. Industrial Emissions Directive. <https://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/legislation.htm> (Luettu 4.10.2021).
- Fjäder S., Kauppi P. & Räisänen M. 2020. Suomen ympäristökeskus. Pysyvät orgaaniset yhdisteet jätteenkäsittelylaitosten ympäristöluvuissa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 36 | 2020. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/318292> ISBN 978-952-11-5205-4 (Luettu 11.11.2021).
- Forsius K., Jouttijärvi T. & Vähä E. 2021. Teollisuuspäästädirektiivin mukaisen jätteenkäsittelytoiminnon BAT-inventaario (BAT 3) - vaarallisten aineiden tunnistaminen. Suomen ympäristökeskus. <https://ym.fi/documents/1410903/38678498/Raportti+J%C3%A4tteenk%C3%A4sittelytoiminnon+BAT-inventaario+BAT+3%2C+vaarallisten+aineiden+tunnistaminen.pdf/b790753d-0c9a-eb43-d12d-4b1c588c5640/Raportti+J%C3%A4tteenk%C3%A4sittelytoiminnon+BAT-inventaario+BAT+3%2C+vaarallisten+aineiden+tunnistaminen.pdf?t=1621330979709> (Luettu 12.10.2021).
- Hietamäki M., Saarinen K., Lammi R., Silvo K. 2004. Päästöjen tuottamismenetelmät. Ympäristöhallinto.
- Ilmanlaadun säädökset ja ohjeet. 2021. Ilmatieteen laitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/saadokset-ja-ohjeet> (Luettu 7.11.2021).
- Ilmapäästöraportit 2013–2017. Kuusakoski Oy sisäisiä raportteja.
- Integrated Pollution Prevention and Control. 2006. European commission. Reference Document on Economics and Cross-Media Effects. [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/ecm\\_bref\\_0706.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/ecm_bref_0706.pdf) (Luettu 18.9.2021).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. IPCC. <https://www.ipcc.ch/>
- Kantola M. 2022. Tapaaminen 19.10.2021.
- Karppinen R. & Kreuz S. 2022. Emissions by the operation of metal shredders – Is it possible to reduce it? Wissensforum. <https://www.ete->

- a.de/img/Vortraege/56\_Emissions\_by\_the\_operation\_of\_metal\_shredder  
s-Is\_it\_possible\_to\_reduce\_it.pdf (Luettu 9.4.2022).
- Mittausraportti 2020. Kuusakoski Oy sisäisiä raportteja.
- Murskan tuuliseulan päästömittaus 2019. Kuusakoski Oy sisäisiä raportteja.
- Murskan poistokaasujen hiukkasmittaukset 2020. Kuusakoski Oy sisäisiä raportteja.
- Murskan poistokaasujen hiukkasmittaukset 2021. Kuusakoski Oy sisäisiä raportteja.
- Nuutinen J. 2022. Sähköpostikeskustelu 2.3.2022.
- Oravala M. 2022. Sähköpostikeskustelu 21.2.2022.
- Päätös Nro 218/2019. Dnro:t 1) ESAVI/4294/2018 2) ESAVI/25945/2018.  
Vantaan palvelupisteen toiminnan ja ympäristöluvan muuttaminen.
- Pöyry. 2018. Kuusakoski Oy Ympäristölupahakemus Vantaan palvelupiste.  
Lupahakemus. <https://docplayer.fi/111121752-Kuusakoski-oy-ymparistolupahakemus-vantaan-palvelupiste.html> (Luettu 6.10.2021).
- Salo H. & Vaahtovuo E. 2013. Ympäristömagneettiset menetelmät ja niiden käyttö ympäristön ilmaperäisen kuormituksen spatiaalisten ja ajallisten muutosten tutkimuksessa sammalpallotekniikan avulla. ResearchGate. Terra (Helsinki, Finland) 125(4):191-206
- Sisäilmayhdistys ry. 2008. Kemialliset epäpuhtaudet. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhtaudet>
- Suomen uusioraaka-aineliitto ry. 2022. Kiertohelmiä. [https://uusioraaka-aineliitto.fi/wp-content/uploads/2021/09/Kiertohelmia\\_opetusmateriaali\\_26.8\\_High\\_Quality.pdf](https://uusioraaka-aineliitto.fi/wp-content/uploads/2021/09/Kiertohelmia_opetusmateriaali_26.8_High_Quality.pdf) (Luettu 3.6.2022).
- United States Environmental Protection Agency. 2022. Air Quality Dispersion Modeling - Preferred and Recommended Models. LAST UPDATED ON AUGUST 9, 2022. <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models#aermod> (Luettu 17.9.2022).
- Valtioneuvoston asetus eräiden orgaanisia liuottimia käyttävien toimintojen ja laitosten ilmaan johdettavien päästöjen rajoittamisesta 64/2015.
- Valtioneuvoston asetusilmanlaadusta 79/2017.
- Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 151/2013. 14.2.2013/151.
- Vantaan palvelupisteen murskan päästömittaus 2019. Kuusakoski Oy sisäisiä raportteja.
- Vantaan palvelupisteen sammalpallo selvitys 2021. Kuusakoski Oy sisäisiä raportteja.
- Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa. 2010. Suomen ympäristökeskus. ISBN 978-952-11-3810-2.
- Ympäristöhallinto. 2020. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. Päivitetty 24.3.2022. Julkaistu 17.11.2020 klo 10.58, päivitetty 19.9.2022 klo 10.10. [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat\\_ja\\_tilastot/ilman\\_epapuhtauksien\\_paastot](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/ilman_epapuhtauksien_paastot) (Luettu 3.10.2021).



- Ympäristöhallinto. 2013. Ilmanlaatua koskeva säätely. Julkaistu 11.7.2013 klo 11.08, päivitetty 20.4.2018 klo 13.22. [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/ilmasto\\_ja\\_ilma/ilmansuojelu/ilmansuojelun\\_raja\\_ja\\_ohjeavot](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/ilmasto_ja_ilma/ilmansuojelu/ilmansuojelun_raja_ja_ohjeavot) (Luettu 14.5.2022).
- Ympäristöhallinto. 2016. Paras käyttökelpoinen tekniikka BAT. 2013. Julkaistu 22.6.2016 klo 10.40, päivitetty 3.6.2022 klo 11.49. <https://www.ymparisto.fi/bat> (Luettu 23.2.2022).
- Ympäristöministeriö. 2018. Ohje jätteenkäsittelyn (WT) parhaita käyttökelpoisia tekniikoita (BAT) koskevien päätelmien soveltamiseen.
- Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527.

## LIITE 1. PÄÄSTÖINVENTAARION HIUKKASPÄÄSTÖT

| Näyte                     |               | 1           |      | 2          |      | 3          |      | keskiarvo  |      |
|---------------------------|---------------|-------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|
| Päivä                     |               | 4.5.22      | Epä- | 4.5.22     | Epä- | 4.5.22     | Epä- | 4.5.22     | Epä- |
| Aloitus                   | <i>klo</i>    | 8:56        | var- | 10:39      | var- | 13:59      | var- |            | var- |
| Lopetus                   | <i>klo</i>    | 10:16       |      | 12:08      |      | 15:03      |      |            |      |
| Kesto                     | <i>h</i>      | 1:20        | %    | 1:29       | %    | 1:04       | %    |            | %    |
| Lämpötila                 | <i>°C</i>     | 5,9         | ±1   | 5,9        | ±1   | 5,9        | ±1   | 5,9        | ±1   |
| Kosteus                   | <i>til.-%</i> | 1,1         | ±41  | 0,7        | ±72  | 0,7        | ±72  | 0,8        | ±62  |
| Nopeus, tositila          | <i>m/s</i>    | 12,5        | ±4   | 12,5       | ±4   | 12,5       | ±4   | 12,5       | ±4   |
| Tilavuusvirta, tositila   | <i>m³/s</i>   | 20,9        | ±4   | 20,9       | ±4   | 20,9       | ±4   | 20,9       | ±4   |
| Tilavuusvirta, NTP, kuiva | <i>Nm³/s</i>  | 20,2        | ±5   | 20,2       | ±5   | 20,2       | ±5   | 20,2       | ±5   |
| Pitoisuus, NTP, kuiva     | <i>mg/Nm³</i> | <b>0,53</b> | ±100 | <b>1,2</b> | ±77  | <b>1,6</b> | ±60  | <b>1,1</b> | ±79  |
| Päästömassavirta          | <i>g/h</i>    | 38,6        | ±100 | 90,3       | ±78  | 116        | ±60  | 81,5       | ±79  |

## LIITE 2. PÄÄSTÖINVENTAARION METALLI- JA ELOHOPEAPÄÄSTÖT

| Mittauspiste             | Murskain                 |                         |            |            |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------|------------|
| Päivä                    | 4.5.2022                 |                         |            |            |
| Aloitus                  | 10:39                    |                         |            |            |
| Lopetus                  | 12:08                    |                         |            |            |
| Metalli                  | Pitoisuus yhteensä       | Epävarmuus              | Päästö     | Epävarmuus |
|                          | <i>mg/Nm<sup>3</sup></i> | %                       | <i>g/h</i> | %          |
| As                       | <0,001                   | ±23                     | <0,04      | ±24        |
| Cd                       | <0,0001                  | ±27                     | <0,01      | ±28        |
| Co                       | <0,0003                  | ±24                     | <0,02      | ±24        |
| Cr                       | 0,002                    | ±25                     | 0,15       | ±25        |
| Cu                       | 0,01                     | ±27                     | 0,80       | ±27        |
| Ni                       | 0,002                    | ±27                     | 0,11       | ±28        |
| Pb                       | 0,002                    | ±26                     | 0,17       | ±26        |
| Sb                       | <0,0003                  | ±27                     | <0,02      | ±27        |
| V                        | <0,0005                  | ±23                     | <0,04      | ±23        |
| Zn                       | 0,06                     | ±28                     | 4,1        | ±28        |
| Hg                       | 0,01                     | ±27                     | 0,70       | ±27        |
| <b>Summa<sup>1</sup></b> |                          |                         | <b>6,1</b> | <b>±28</b> |
| Tilavuusvirta            |                          | <i>Nm<sup>3</sup>/s</i> | 20,2       | ±5         |

### LIITE 3 PÄÄSTÖINVENTAARION KROMI-(VI)-PÄÄSTÖ

| Mittauspiste | Aloitus               | Lopetus    | Pitoisuus                | Lämpö-tila | Kosteus       | Tilavuusvirta           | Päästö     |
|--------------|-----------------------|------------|--------------------------|------------|---------------|-------------------------|------------|
|              | <i>klo</i>            | <i>klo</i> | <i>mg/Nm<sup>3</sup></i> | °C         | <i>til.-%</i> | <i>Nm<sup>3</sup>/s</i> | <i>g/h</i> |
| Murskain     | 8:56                  | 10:16      | <b>&lt;0,002</b>         | 5,9        | 1,1           | 20,2                    | <0,15      |
|              | Kokonaispävarmuus (%) |            | ±100                     | ±1         | ±41           | ±5                      | ±100       |

## LIITE 4 PÄÄSTÖINVENTAARION TVOC-PÄÄSTÖ

|                                  |            |                          |
|----------------------------------|------------|--------------------------|
| <b>Mittauspiste</b>              |            | Murskain                 |
| Aloitus                          |            | 12:30:00                 |
| Lopetus                          |            | 15:03:00                 |
| <b>VOC-pitoisuus</b>             | CAS-numero | <i>mg/Nm<sup>3</sup></i> |
| Asetoni                          | 67-64-1    | 1,7                      |
| n-Butyyliasetaatti               | 123-86-4   | 3,3                      |
| Dekaani                          | 124-18-5   | 1,1                      |
| Etyylibentseeni                  | 100-41-4   | 1,7                      |
| Ksyleeni                         | 1330-20-7  | 8,4                      |
| 5-Metyyli-2-heksanoni            | 110-12-3   | 1,1                      |
| Tolueeni                         | 108-88-3   | 3,3                      |
| 1,3,5-Trimetyylibentseeni        | 108-67-8   | 0,22                     |
| Undekaani                        | 1120-21-4  | 0,50                     |
| Muut VOC:it                      | -          | 48,5                     |
| summa                            |            | 69,8                     |
| Kokonaispävarmuus mittausarvosta |            | ±17                      |
| <b>Yhdisteen osuus</b>           | CAS-numero | %                        |
| Asetoni                          | 67-64-1    | 2,4                      |
| n-Butyyliasetaatti               | 123-86-4   | 4,8                      |
| Dekaani                          | 124-18-5   | 1,6                      |
| Etyylibentseeni                  | 100-41-4   | 2,4                      |
| Ksyleeni                         | 1330-20-7  | 12,0                     |
| 5-Metyyli-2-heksanoni            | 110-12-3   | 1,6                      |
| Tolueeni                         | 108-88-3   | 4,8                      |

|                           |            |                           |
|---------------------------|------------|---------------------------|
| 1,3,5-Trimetyylibentseeni | 108-67-8   | 0,32                      |
| Undekaani                 | 1120-21-4  | 0,72                      |
| Muut VOC:it               | -          | 69,4                      |
| summa                     |            | 100,0                     |
| <b>VOC-pitoisuus</b>      | CAS-numero | <i>mgC/Nm<sup>3</sup></i> |
| Asetoni                   | 67-64-1    | 1,0                       |
| n-Butyyliasetaatti        | 123-86-4   | 2,1                       |
| Dekaani                   | 124-18-5   | 0,94                      |
| Etyylibentseeni           | 100-41-4   | 1,5                       |
| Ksyleeni                  | 1330-20-7  | 7,6                       |
| 5-Metyyli-2-heksanoni     | 110-12-3   | 0,82                      |
| Toluenei                  | 108-88-3   | 3,0                       |
| 1,3,5-Trimetyylibentseeni | 108-67-8   | 0,20                      |
| Undekaani                 | 1120-21-4  | 0,42                      |
| Muut VOC:it               | -          | 40,7                      |
| <b>summa (TVOC)</b>       |            | <b>58,3</b>               |
| Keskimääräinen            |            | %                         |
| hiiliosuus                |            | 83,5                      |

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| Tilavuusvirta (Nm <sup>3</sup> /s)   | 20,2 |
| Kokonaispävarmuus mittausravosta (%) | ±5   |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| Päästö (kg/h)                        | 4,2 |
| Kokonaispävarmuus mittausravosta (%) | ±21 |

## LIITE 5 LIITE 6 PÄÄSTÖINVENTAARION PCDD/F-PÄÄSTÖ

| Mittauspiste           |            | Murskain                 |  |                             |                 |
|------------------------|------------|--------------------------|--|-----------------------------|-----------------|
| Päivä                  |            | 4.5.2022                 |  |                             |                 |
| Aloitus                |            | 8:55                     |  |                             |                 |
| Lopetus                |            | 15:04                    |  |                             |                 |
| Yhdiste                | CAS-numero | Pitoisuus                | Toksisuus-<br>ekvivalentti-<br>kerroin | Painotettu<br>pitoisuus     | Epä-<br>varmuus |
|                        |            | <i>ng/Nm<sup>3</sup></i> | <i>I-TEF</i>                           | <i>ngTEQ/Nm<sup>3</sup></i> | %               |
| 2,3,7,8-TetraCDD       | 1746-01-6  | <0,001                   | 1                                      | <0,001                      | ±27             |
| 1,2,3,7,8-PentaCDD     | 40321-76-4 | <0,001                   | 0,5                                    | <0,0004                     | ±23             |
| 1,2,3,4,7,8-HeksaCDD   | 39227-28-6 | <0,002                   | 0,1                                    | <0,0002                     | ±24             |
| 1,2,3,6,7,8-HeksaCDD   | 57653-85-7 | <0,002                   | 0,1                                    | <0,0002                     | ±25             |
| 1,2,3,7,8,9-HeksaCDD   | 19408-74-3 | <0,002                   | 0,1                                    | <0,0002                     | ±25             |
| 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD | 35822-46-9 | 0,02                     | 0,01                                   | 0,0002                      | ±25             |
| OktaCDD                | 3268-87-9  | 0,07                     | 0,001                                  | 0,0001                      | ±20             |
| 2,3,7,8-TetraCDF       | 51207-31-9 | <0,001                   | 0,1                                    | <0,0001                     | ±20             |
| 1,2,3,7,8-PentaCDF     | 57117-41-6 | <0,001                   | 0,05                                   | <0,0001                     | ±18             |
| 2,3,4,7,8-PentaCDF     | 57117-31-4 | <0,001                   | 0,5                                    | <0,001                      | ±19             |
| 1,2,3,4,7,8-HeksaCDF   | 70648-26-9 | <0,001                   | 0,1                                    | <0,0001                     | ±18             |
| 1,2,3,6,7,8-HeksaCDF   | 57117-44-9 | <0,001                   | 0,1                                    | <0,0001                     | ±18             |
| 1,2,3,7,8,9-HeksaCDF   | 72918-21-9 | <0,001                   | 0,1                                    | <0,0001                     | ±24             |
| 2,3,4,6,7,8-HeksaCDF   | 60851-34-5 | <0,001                   | 0,1                                    | <0,0001                     | ±20             |

|                                   |            |        |       |          |     |
|-----------------------------------|------------|--------|-------|----------|-----|
| 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF            | 67562-39-4 | 0,005  | 0,01  | 0,00005  | ±24 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF            | 55673-89-7 | <0,001 | 0,01  | <0,00001 | ±25 |
| OktaCDF                           | 39001-02-0 | <0,01  | 0,001 | <0,00001 | ±20 |
| <b>Summa, alaraja (excl. LOQ)</b> |            | 0,09   |       | 0,0003   | ±24 |
| <b>Summa, yläraja (incl. LOQ)</b> |            | 0,12   |       | 0,003    | ±22 |

Alarajan summaan ei sisälly alle määrittäysrajan olevat pitoisuudet.  
Ylärajan summaan sisältyy alle määrittäysrajan olevat pitoisuudet.

|                            |           |      |       |
|----------------------------|-----------|------|-------|
| Tilavuusvirta              | $Nm^3/s$  | 20,2 | ±5 %  |
| Päästömässavirta (yläraja) | $\mu g/h$ | 0,23 | ±23 % |



## LIITE 6 PÄÄSTÖINVENTAARION DIOKSIINIEN KALTAISTEN PCB-YHDISTEIDEN PÄÄSTÖ

| Mittauspiste                      |            | Murskain           |            |
|-----------------------------------|------------|--------------------|------------|
| Päivä                             |            | 4.5.2022           |            |
| Aloitus                           |            | 8:55               |            |
| Lopetus                           |            | 15:04              |            |
| Yhdiste                           | CAS-numero | Pitoisuus          | Epävarmuus |
|                                   |            | ng/Nm <sup>3</sup> | %          |
| 3,3',4,4'-TCB (77)                | 32598-13-3 | 0,15               | ±31        |
| 3,4,4',5-TCB (81)                 | 70362-50-4 | 0,01               | ±31        |
| 2,3,3',4,4' PeCB (105)            | 32598-14-4 | 0,25               | ±31        |
| 2,3,4,4',5-PeCB (114)             | 74472-37-0 | 0,02               | ±31        |
| 2,3',4,4',5-PeCB (118)            | 31508-00-6 | 0,47               | ±31        |
| 2',3,4,4',5-PeCB (123)            | 65510-44-3 | 0,01               | ±31        |
| 3,3',4,4',5-PeCB (126)            | 57465-28-8 | <0,003             | ±31        |
| 2,3,3',4,4',5-HxCB (156)          | 38380-08-4 | 0,06               | ±31        |
| 2,3,3',4,4',5'-HxCB (157)         | 69782-90-7 | 0,01               | ±31        |
| 2,3',4,4',5,5'-HxCB (167)         | 52663-72-6 | 0,02               | ±31        |
| 3,3',4,4',5,5'-HxCB (169)         | 32774-16-6 | <0,01              | ±31        |
| 2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (189)       | 39635-31-9 | 0,02               | ±31        |
| <b>Summa, alaraja (excl. LOQ)</b> |            | 1,0                | ±31        |
| <b>Summa, yläraja (incl. LOQ)</b> |            | 1,0                | ±31        |

Alarajan summaan ei sisälly alle määrittämissrajat olevat pitoisuudet.  
Ylärajan summaan sisältyy alle määrittämissrajat olevat pitoisuudet.

|                            |                         |      |       |
|----------------------------|-------------------------|------|-------|
| Tilavuusvirta              | <i>Nm<sup>3</sup>/s</i> | 20,2 | ±5 %  |
| Päästömassavirta (yläraja) | <i>µg/h</i>             | 74,8 | ±31 % |

## LIITE 7 PÄÄSTÖINVENTAARION PBDE-PÄÄSTÖ

| Mittauspiste                      |             | Murskain                 |            |
|-----------------------------------|-------------|--------------------------|------------|
| Päivä                             |             | 4.5.2022                 |            |
| Aloitus                           |             | 8:55                     |            |
| Lopetus                           |             | 15:04                    |            |
| Yhdiste                           | CAS-numero  | Pitoisuus                | Epävarmuus |
|                                   |             | <i>ng/Nm<sup>3</sup></i> | %          |
| 2,2',4-TriBDE (BDE-17)            | 147217-75-2 | <0,04                    | ±31        |
| 2,4,4'-TriBDE (BDE-28)            | 41318-75-6  | <0,04                    | ±31        |
| 2,2',4,4'-TetraBDE (BDE-47)       | 5436-43-1   | 0,91                     | ±31        |
| 2,2',4,5-TetraBDE (BDE-49)        | 243982-82-3 | <0,09                    | ±31        |
| 2,3',4,4'-TetraBDE (BDE-66)       | 189084-61-5 | <0,09                    | ±31        |
| 2,3',4,6-TetraBDE (BDE-71)        | 189084-62-6 | <0,09                    | ±31        |
| 3,3',4,4'-TetraBDE (BDE-77)       | 93703-48-1  | <0,09                    | ±31        |
| 2,2',3,4,4'-PentaBDE (BDE-85)     | 182346-21-0 | <0,18                    | ±31        |
| 2,2',4,4',5-PentaBDE (BDE-99)     | 60348-60-9  | 3,0                      | ±31        |
| 2,2',4,4',6-PentaBDE (BDE-100)    | 189084-64-8 | 0,39                     | ±31        |
| 2,3',4,4',6-PentaBDE (BDE-119)    | 189084-66-0 | <0,18                    | ±31        |
| 3,3',4,4',5-PentaPDE (BDE-126)    | 366791-32-4 | <0,18                    | ±31        |
| 2,2',3,4,4',5'-HeksaBDE (BDE-138) | 182677-30-1 | <0,27                    | ±31        |
| 2,2',4,4',5,5'-HeksaBDE (BDE-153) | 68631-49-2  | <0,27                    | ±31        |
| 2,2',4,4',5,6'-HeksaBDE (BDE-154) | 207122-15-4 | <0,27                    | ±31        |
| 2,3,3',4,4',5-HeksaBDE (BDE-156)  | 405237-85-6 | <0,27                    | ±31        |

|   |             |       |     |
|---|-------------|-------|-----|
| 2,2',3',4,4',6',6-HeptaBDE (BDE-183)    | 207122-16-5 | <0,46 | ±31 |
| 2,2',3,4,4',6,6'-HeptaBDE (BDE-184)     | 117948-63-7 | <0,46 | ±31 |
| 2,3,3',4,4',5,6-HeptaBDE (BDE-191)      | 189084-68-2 | <0,46 | ±31 |
| 2,2',3,3',4,4',5,6-OktaBDE (BDE-196)    | 446255-39-6 | <0,91 | ±31 |
| 2,2',3,3',4,4',6,6'-OktaBDE (BDE-197)   | 117964-21-3 | <0,91 | ±31 |
| 2,2',3,3',4,4',5,5',6-NonaBDE (BDE-206) | 63387-28-0  | <1,8  | ±31 |
| 2,2',3,3',4,4',5,6,6'-NonaBDE (BDE-207) | 437701-79-6 | <1,8  | ±31 |
| DekaBDE (BDE-209)                       | 1163-19-5   | 28,9  | ±31 |
| <b>Summa, alaraja (excl. LOQ)</b>       |             | 33,2  | ±31 |
| <b>Summa, yläraja (incl. LOQ)</b>       |             | 42,1  | ±31 |

Alarajan summaan ei sisälly alle määrittäysrajan olevat pitoisuudet.  
Ylärajan summaan sisältyy alle määrittäysrajan olevat pitoisuudet.

|                            |                         |       |       |
|----------------------------|-------------------------|-------|-------|
| Tilavuusvirta              | <i>Nm<sup>3</sup>/s</i> | 20,2  | ±5 %  |
| Päästömassavirta (yläraja) | <i>µg/h</i>             | 3 065 | ±31 % |

## LIITE 8 PÄÄSTÖINVENTAARION PBB-PÄÄSTÖ

| Mittauspiste  | Murskain   |                          |            |
|---|------------|--------------------------|------------|
| Päivä   | 4.5.2022   |                          |            |
| Aloitus   | 8:55       |                          |            |
| Lopetus   | 15:04      |                          |            |
| Yhdiste   | CAS-numero | Pitoisuus                | Epävarmuus |
|   |            | <i>ng/Nm<sup>3</sup></i> | %          |
| 2,2',5,5'-TetraBB (BB-52)                             | 59080-37-4 | <0,04                    | ±31        |
| 2,2',4,5,5'-PentaBB (BB-101)                          | 67888-96-4 | <0,08                    | ±31        |
| 2,2',4,4',5,5'-HeksaBB (BB-153) (Heksabromibifenyyli) | 59080-40-9 | <0,16                    | ±31        |
| 2,2',3,4,4',5,5'-HeptaBB (BB-180)                     | 67733-52-2 | <0,39                    | ±31        |
| 2,2',3,3',4,4',5,5'-OktaBB (BB-194)                   | 67889-00-3 | <0,78                    | ±31        |
| 2,2',3,3',4,4',5,5',6-NonaBB (BB-206)                 | 69278-62-2 | <1,6                     | ±31        |
| DekaBB (BB-209)                                       | 13654-09-6 | <2,3                     | ±31        |
| <b>Summa, alaraja (excl. LOQ)</b>                     |            | 0                        |            |
| <b>Summa, yläraja (incl. LOQ)</b>                     |            | 5,4                      | ±31        |

Alarajan summaan ei sisälly alle määrittäysrajan olevat pitoisuudet.

Ylärajan summaan sisältyy alle määrittäysrajan olevat pitoisuudet.

|                            |                         |      |       |
|----------------------------|-------------------------|------|-------|
| Tilavuusvirta              | <i>Nm<sup>3</sup>/s</i> | 20,2 | ±5 %  |
| Päästömässavirta (yläraja) | <i>µg/h</i>             | 389  | ±31 % |

## LIITE 9 PÄÄSTÖINVENTAARION HBCD-PÄÄSTÖ

| Mittauspiste                      |             | Murskain                 |                 |
|-----------------------------------|-------------|--------------------------|-----------------|
| Päivä                             |             | 4.5.2022                 |                 |
| Aloitus                           |             | 8:55                     |                 |
| Lopetus                           |             | 15:04                    |                 |
| Yhdiste                           | CAS-numero  | Pitoisuus                | Epä-<br>varmuus |
|                                   |             | <i>ng/Nm<sup>3</sup></i> | %               |
| alfa-HBCD                         | 134237-50-6 | 8,4                      | ±31             |
| beeta-HBCD                        | 134237-51-7 | 2,7                      | ±31             |
| gamma-HBCD                        | 134237-52-8 | 5,4                      | ±31             |
| <b>Summa, alaraja (excl. LOQ)</b> |             | 16,4                     | ±31             |
| <b>Summa, yläraja (incl. LOQ)</b> |             | 16,4                     | ±31             |

Alarajan summaan ei sisälly alle määrittämissrajaa olevat pitoisuudet. Ylärajan summaan sisältyy alle määrittämissrajaa olevat pitoisuudet.

|                            |                         |       |       |
|----------------------------|-------------------------|-------|-------|
| Tilavuusvirta              | <i>Nm<sup>3</sup>/s</i> | 20,2  | ±5 %  |
| Päästömassavirta (yläraja) | <i>µg/h</i>             | 1 196 | ±31 % |

## LIITE 10 PÄÄSTÖINVENTAARION MITTAUSLAITTEISTO

| Komponentti                          | Mittausperiaate                         | Laitemerkki   | Laite             | Mittaus-<br>alue | Mene-<br>telmä-<br>ohje | Standardi                    |
|--------------------------------------|---|---|-------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|
| Hiukkaset                            | Gravimetrinen                           | Out-stack-lasisondi<br>Kvartsikuitusuodatin<br>Näytteenottopumppu                       | A011-11           |                  | MEN 011                 | SFS-EN 13284-1               |
| TVOC                                 | Adsorptio                               | Aktiivihiiliputki<br>SKC-222 näytteenotto-<br>pumppu                                    | pskc-4            |                  |                         | CEN/TS 13649                 |
| PCDD/F<br>PCB<br>PBDE<br>PBB<br>HBCD | Suodatin+<br>kondensointi+<br>adsorptio | Out-stack-lasisondi<br>Kvartsikuitusuodatin<br>XAD-hartsipatruuna<br>Näytteenottopumppu | A011-14           |                  | MEN 111                 | SFS-EN 1948-1                |
| Metallit<br>Elohopea                 | Absorptio                               | Out-stack-lasisondi<br>Kvartsikuitusuodatin<br>Kaasunpesupullot<br>Näytteenottopumppu   | A011-4<br>A011-11 |                  | MEN 112                 | SFS-EN 14385<br>SFS-EN 13211 |
|                                      |   | DP Measurement-<br>mikromanometri   | A021-10           | 0-100 m/s        | MEN 021                 | ISO 10780                    |
|                                      |   | S-pitot-putki   | L080-1            |                  | MEN 022                 | SFS-EN 14790                 |

|                              |                                  |         |         |
|------------------------------|----------------------------------|---------|---------|
| Tilavuusvirta ja kaasun tila |                                  |         | MEN 023 |
|                              | Testo 511-ilmanpaine-<br>mittari | L121-2  |         |
|                              | Fluke 52-2 lämpömit-<br>tari     | A025-16 |         |
|                              | K-tyypin termoele-<br>mentti     | L095-57 |         |



## LIITE 11 HAJAPÄÄSTÖSELVITYKSEN VOC-ANALYYSI PM4

| Näyte                      | Näytteenottoaika (min)    | Näyttilavuus (l)  |           |
|----------------------------|---------------------------|---|-----------|
| PM4                        | 32                        | 4,3   |           |
| Ryhmä                      | Yhdiste                   | Pitoisuus<br>tolueeniekvivalenttina<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Oma vaste |
| TVOC                       | -                         | 750   |           |
| VVOC                       | 2-Metyylipentaani         | 38  |           |
|                            | 3-Metyylipentaani         | 16  |           |
| PIIYHDISTEET               | Dimetoksidimetyylisilaani | 2   |           |
| AROMAATTISET<br>HIILIVEDYT | Tolueeni                  | 110   | 130       |
|                            | m-Ksyleeni                | 60  |           |
|                            | 1,2,4-Trimetyylibentseeni | 34  |           |
|                            | o-Ksyleeni                | 28  |           |
|                            | p-Ksyleeni                | 27  |           |

|                                |                             |    |   |
|--------------------------------|-----------------------------|----|---|
|                                | Etylibentseeni              | 25 |   |
|                                |                             |    |   |
|                                | 1-Etyyli-3-metylibentseeni  | 9  |   |
|                                |                             |    |   |
|                                | Isopropylibentseeni         | 3  |   |
|                                |                             |    |   |
|                                | Styreeni                    | 1  | 2 |
|                                |                             |    |   |
| <b>MUUT YHDISTEET</b>          | Aromaattisia hiilivetyjä    | 98 |   |
|                                |                             |    |   |
| <b>ALIFAATTISET HIILIVEDYT</b> | 2-Metyyliheksaani           | 21 |   |
|                                |                             |    |   |
|                                | 3-Metyyliheksaani           | 17 |   |
|                                |                             |    |   |
|                                | 2,2,3,3-Tetrametyylibutaani | 17 |   |
|                                |                             |    |   |
|                                | Heptaani                    | 15 |   |
|                                | Heksaani                    | 12 |   |
|                                |                             |    |   |
|                                | Metyylisyklopentaani        | 10 |   |
|                                |                             |    |   |
|                                | Metyylisykloheksaani        | 9  |   |
|                                |                             |    |   |
|                                | 3-Metyyliheptaani           | 7  |   |

|  |                            |   |  |
|--|----------------------------|---|--|
|  |                            |   |  |
|  | Oktaani                    | 7 |  |
|  |                            |   |  |
|  | 2,3-Dimetyylipentaani      | 6 |  |
|  |                            |   |  |
|  | 2,3,4-Trimetyylipentaani   | 6 |  |
|  |                            |   |  |
|  | Dodekaani                  | 5 |  |
|  |                            |   |  |
|  | 2,3,3-Trimetyylipentaani   | 4 |  |
|  |                            |   |  |
|  | Dekaani                    | 4 |  |
|  |                            |   |  |
|  | 1,3-Dimetyylisyklopentaani | 3 |  |
|  |                            |   |  |
|  | 2,4-Dimetyyliheptaani      | 3 |  |
|  |                            |   |  |
|  | Nonaani                    | 3 |  |
|  |                            |   |  |
|  | Undekaani                  | 3 |  |
|  |                            |   |  |
|  | 3-Metyleenipentaani        | 2 |  |
|  |                            |   |  |
|  | 2,5-Dimetyyliheksaani      | 2 |  |
|  |                            |   |  |
|  | Tridekaani                 | 2 |  |

|                                   |                      |            |   |
|-----------------------------------|----------------------|------------|---|
|                                   |                      |            |   |
| <b>YKSIARVOISET AL-KOHOLIT</b>    | 2-Etyyli-1-heksanoli | 2          | 2 |
|                                   |                      |            |   |
| <b>TUNNISTAMATTOMAT YHDISTEET</b> |                      | 186 (25 %) |   |

**Näytekommentit:**

Aromaattisia hiilivetyjä = näytteestä löytyneiden aromaattisten hiilivetyjen summapitoisuus.

VVOC = hyvin haihtuvat orgaaniset yhdisteet. TVOC-alueen ulkopuoliset, heksaania helpommin haihtuvat yhdisteet.

Pitoisuus suuntaa antava, koska yhdisteet läpäisevät keräimen helposti. Pitoisuutta ei ole laskettu TVOC-tulokseen.

## LIITE 12 HAJAPÄÄSTÖSELVITYKSEN VOC-ANALYYSI PM2

| Näyte                      | Näytteenottoaika (min)   | Näyttilavuus (l)  |           |  |
|----------------------------|--------------------------|---|-----------|--|
| PM2                        | 27                       | 3,6   |           |  |
| Ryhmä                      | Yhdiste                  | Pitoisuus<br>tolueeniekvivalenttina<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Oma vaste |  |
| TVOC                       | -                        | 320   |           |  |
| VVOC                       | 2-Metyylipentaani        | 5   |           |  |
| AROMAATTISET<br>HIILIVEDYT | Tolueeni                 | 31  | 30        |  |
|                            | m-Ksyleeni               | 20  |           |  |
|                            | 1,2,4-Trimetylibentseeni | 13  |           |  |
|                            | o-Ksyleeni               | 12  |           |  |
|                            | p-Ksyleeni               | 10  |           |  |
|                            | Etylibentseeni           | 8   |           |  |
|                            | MUUT YHDISTEET           | Aromaattisia hiilivetyjä                                    | 65        |  |

|                                   |                      |            |   |
|-----------------------------------|----------------------|------------|---|
| <b>ALIFAATTISET HIILIVEDYT</b>    | Dekaani              | 6          |   |
|                                   |                      |            |   |
|                                   | Undekaani            | 6          |   |
|                                   |                      |            |   |
|                                   | Heksaani             | 4          |   |
|                                   |                      |            |   |
|                                   | 2-Metyyliheksaani    | 4          |   |
|                                   |                      |            |   |
|                                   | 3-Metyyliheksaani    | 4          |   |
|                                   |                      |            |   |
|                                   | Heptaani             | 4          |   |
|                                   |                      |            |   |
|                                   | Oktaani              | 3          |   |
|                                   |                      |            |   |
|                                   | Nonaani              | 3          |   |
|                                   |                      |            |   |
|                                   | Tridekaani           | 3          |   |
|                                   |                      |            |   |
|                                   | 3-Metyyliheptaani    | 2          |   |
|                                   |                      |            |   |
| <b>ALDEHYDIT</b>                  | Nonanaali            | 1          |   |
| <b>YKSIARVOISET ALKOHOLIT</b>     | 2-Etyyli-1-heksanoli | 2          | 4 |
|                                   |                      |            |   |
| <b>TUNNISTAMATTOMAT YHDISTEET</b> |                      | 126 (38 %) |   |

**Näytekommentit:**

Aromaattisia hiilivetyjä = näytteestä löytyneiden aromaattisten hiilivetyjen summapitoisuus.

VVOC = hyvin haihtuvat orgaaniset yhdisteet. TVOC-alueen ulkopuoliset, heksaania helpommin haihtuvat yhdisteet.

Pitoisuus suuntaa antava, koska yhdisteet läpäisevät keräimen helposti. Pitoisuutta ei ole laskettu TVOC-tulokseen.

Näyte sisälsi paljon erilaisia yhdisteitä pienellä pitoisuustasolla, jonka vuoksi kaikkien tunnistaminen riittävällä varmuudella

on vaikeaa. Tämän takia tunnistamattomien yhdisteiden suhteellinen osuus on suuri.

## LIITE 13 HAJAPÄÄSTÖSELVITYKSEN VOC-ANALYYSI PM1 (B)

| Näyte                      | Näytteenottoaika  | Näytteenottoaika (min)                                      | Näytetilavuus (l) |
|----------------------------|-------------------|---|-------------------|
| PM1 (b)                    | PM1 (b)           | 30  | 4                 |
| Ryhmä                      | Yhdiste           | Pitoisuus<br>tolueeniekvivalenttina<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Oma vaste         |
| TVOC                       | -                 | 230   |                   |
| VVOC                       | 3-Metyylipentaani | 2   |                   |
| AROMAATTISET<br>HIILIVEDYT | Tolueeni          | 20  | 19                |
|                            | m-Ksyleeni        | 17  |                   |
|                            | o-Ksyleeni        | 10  |                   |
|                            | p-Ksyleeni        | 8   |                   |
|                            | Etylibentseeni    | 7   |                   |
|                            | MUUT YHDISTEET    | Aromaattisia hiilivetyjä                                    | 59                |
| ALIFAATTISET HIILIVEDYT    | Dekaani           | 4   |                   |



|                                   |                      |              |   |
|-----------------------------------|----------------------|--------------|---|
|                                   |                      |              |   |
|                                   | Heksaani             | 3            |   |
|                                   |                      |              |   |
|                                   | Dodekaani            | 3            |   |
|                                   |                      |              |   |
|                                   | 3-Metyyliheksaani    | 2            |   |
|                                   |                      |              |   |
|                                   | Heptaani             | 2            |   |
|                                   |                      |              |   |
|                                   | Tridekaani           | 2            |   |
|                                   |                      |              |   |
|                                   | Metyylisyklopentaani | 1            |   |
|                                   |                      |              |   |
|                                   | 2-Metyyliheksaani    | 1            |   |
|                                   |                      |              |   |
|                                   | Oktaani              | 1            |   |
|                                   |                      |              |   |
|                                   | Nonaani              | 1            |   |
|                                   |                      |              |   |
| <b>YKSIARVOISET AL-KOHOLIT</b>    | 2-Etyyli-1-heksanoli | 2            | 4 |
|                                   |                      |              |   |
| <b>TUNNISTAMATTOMAT YHDISTEET</b> |                      | 83<br>(37 %) |   |

Näytekommentit:

Aromaattisia hiilivetyjä = näytteestä löytyneiden aromaattisten hiilivetyjen summapitoisuus.

VVOC = hyvin haihtuvat orgaaniset yhdisteet. TVOC-alueen ulkopuoliset, heksaania helpommin haihtuvat yhdisteet.

Pitoisuus suuntaa antava, koska yhdisteet läpäisevät keräimen helposti. Pitoisuutta ei ole laskettu TVOC-tulokseen.

Näyte sisälsi paljon erilaisia yhdisteitä pienellä pitoisuustasolla, jonka vuoksi kaikkien tunnistaminen riittäväällä varmuudella

on vaikeaa. Tämän takia tunnistamattomien yhdisteiden suhteellinen osuus on suuri.