



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Ngoc Chau

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajupäästöjen seurannan ja ennusta- misen kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

30.4.2020

Tekijä Otsikko	Ngoc Chau Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajupäästöjen seurannan ja ennustamisen kehittäminen
Sivumäärä Aika	47 sivua 30.4.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	ympäristötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Ismo Halonen Ympäristöinsinööri Sirkka Kuisma-Granvik Toimintovastaava Christoph Gareis Hankepäällikkö Aino Kainulainen
<p>Opinnäytetyö tehtiin Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän (HSY) toimeksiantosta. Työn tarkoituksena oli selvittää, miten Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa voitaisiin kehittää hajupäästöjen seurantaa ja ennustamista. Hajupäästöt voivat aiheuttaa ympäristön viihtyisyyden alenemista.</p> <p>Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa seurataan hajupäästöjä TRS-mittauksilla sekä kiinteiden hajupäästölähteiden hajupitoisuuksien säännöllisillä määrityksillä, joita toteutetaan olfaktometritutkimuksella standardin SFS-EN 13725 mukaisesti. Lisäksi hajulähteiden hajupäästöt mallinnetaan Enwin TOM -mallinnustyökalulla syöttämällä mallinnukseen olfaktometritutkimuksesta saatuja tietoja. Mallinnuksesta nähdään, miten hajupilvi leviää maastossa vaihtelevissa sääolosuhteissa.</p> <p>HSY pyrkii kehittämään jatkuvasti hajupäästöjen seurantaa ja ennustamista sekä saamaan selville, millä keinoin voidaan saada tarkempi kuva Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajutilanteesta. Tässä opinnäytetyössä käsitellään erilaisia hajupäästöjen tutkimusmenetelmiä. Menetelmiin sisältyy aistinvaraisia ja instrumentaalisia lähestymistapoja. Lisäksi opinnäytetyössä perehdytään erilaisiin leviämismalleihin.</p> <p>Opinnäytetyössä on esitetty kehitysideoita edistämään Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajupäästöjen seurantaa ja ennustamista. Eri hajulähteiden päästöjen koostumusta voitaisiin tutkia tarkemmin, jotta selviäisi, mitkä hajuyhdisteet ovat päävastuussa hajuhaitoista. Tämän tiedon pohjalta olisi helpompaa suunnitella mittausjärjestelmien kehittämistä. Hajun leviämismallinnuksissa suositaan CALPUFF-leviämismalleja. Markkinoilla on olemassa hajunhallintajärjestelmiä, jotka perustuvat CALPUFFiin. Niissä voidaan myös hyödyntää erilaisten mittausinstrumenttien, esimerkiksi elektronisten nenien dataa, josta saadaan dynaamisia syöttöarvoja mallinnukseen.</p>	
Avainsanat	hajun mittaus, hajupäästö, leviämismalli, elektroninen nenä, CALPUFF, Ämmässuon ekoteollisuuskeskus, HSY

Author Title	Ngoc Chau Development of Odour Pollution Monitoring and Forecasting of Ämmässuo Eco-industrial Centre
Number of Pages Date	47 pages 30 April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	Environmental Engineering
Instructors	Ismo Halonen, Principal Lecturer Sirikka Kuisma-Granvik, Environmental Engineer Christoph Gareis, Operational Manager Aino Kainulainen, Portfolio Manager
<p>This thesis was commissioned by Helsinki Region Environmental Services Authority (HSY) to examine how odour pollution monitoring and forecasting could be improved in Ämmässuo eco-industrial centre. Waste treatment processes produce odour pollution, which can cause odour annoyance and discomfort. Thus, the odour abatement work and odour measurements are necessary.</p> <p>Odour pollution in Ämmässuo eco-industrial centre is monitored by TRS measurements and the odour emission sources are characterized by dynamic olfactometry according to the SFS-EN 13725 standard. In addition, the results of dynamic olfactometry are used in Enwin TOM dispersion modeling software to simulate odour dispersion into the atmosphere.</p> <p>HSY continuously aims to develop the odour monitoring and forecasting in order to get a better understanding of the odour situation at Ämmässuo eco-industrial centre and the affected area. This thesis summarizes different odour measurement techniques presenting their applicability, advantages and disadvantages. In addition, different dispersion models are discussed. The techniques can be further divided into different approaches: sensorial, instrumental and mathematical methods.</p> <p>This thesis presents approaches for improving the odour pollution monitoring and forecasting of Ämmässuo eco-industrial centre. These approaches include characterizing the emission sources qualitatively and quantitatively by GC-MS-O to detect key compounds responsible for odour annoyance. This information aids in designing a more robust air quality monitoring system. Typically, CALPUFF dispersion models are preferred and CALPUFF-based air dispersion modeling software are currently available on the market. In addition, it is possible to implement an air quality monitoring network in the dispersion model software. The implementation of monitoring network provides dynamic inputs to the dispersion model which can enhance the performance of the dispersion model.</p>	
Keywords	odour measurement, odour pollution, dispersion model, electronic nose, CALPUFF, Ämmässuo eco-industrial centre, HSY

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Haju ja hajuhaitta	3
2.1	Hajujen aistimiseen vaikuttavat tekijät	4
2.2	Hajujen leviämiseen vaikuttavat tekijät	5
2.3	Hajuhaittaa aiheuttavat yhdisteet	6
2.3.1	Rikkiyhdisteet	6
2.3.2	Typpiyhdisteet	6
2.3.3	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	7
2.4	Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen toiminnoista syntyvät hajuyhdisteet	7
3	Hajuihin liittyvä lainsäädäntö ja ympäristöluvut	8
3.1	Hajuihin liittyvä lainsäädäntö Suomessa	8
3.2	Hajuihin liittyvät ohje- ja raja-arvot Suomessa	9
3.3	Hajuihin liittyvät raja- ja ohje-arvot muissa maissa	10
4	Ämmässuon ekoteollisuuskeskus	11
4.1	Hajuhaittoja aiheuttavat toiminnot	12
4.1.1	Biojätteen käsittely	12
4.1.2	Sekajätteen paalaus	13
4.1.3	Kaatopaikkakaasu ja kaasuvoimala	13
4.1.4	Tasausaltaat	14
4.2	Hajunehkäisytoimenpiteet	14
4.2.1	Hajunestoaineet	14
4.2.2	Mädätys- ja kompostointiprosessien pitkittäminen	14
4.2.3	Laitoksien poistoilman käsittely	15
4.3	Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen ympäristöluvut ja ympäristölupamääräykset	15
5	Hajupäästöjen tutkimusmenetelmät	16
5.1	Olfaktometri	17
5.1.1	Dynaaminen olfaktometri	17

5.1.2	Kenttäolfaktometri	18
5.2	Kenttähavainnointi	18
5.3	Asukaspaneelitutkimus	20
5.4	Kertakysely	21
5.5	Elektroninen nenä	21
5.5.1	Toimintaperiaate	21
5.5.2	Soveltaminen ja rajoitukset	24
5.6	Kaasukromatografia analyysimenetelmät	26
5.6.1	Kaasukromatografia-massaspektrometri (GC-MS)	26
5.6.2	Kaasukromatografia-massaspektrometri-olfaktometria (GC-MS-O)	27
5.7	Liekki-ionisaatio- ja fotoionisaatiodetektorit	28
5.8	Yhden kaasun mittarit	28
5.9	Leviämismallinnus	29
5.9.1	Leviämismallin validointi	32
5.9.2	Hajujen leviämisen mallinnusohjelmat	34
6	Ämmäsuon ekoteollisuuskeskuksen aikaisemmat hajuselvitykset ja mittaukset	36
6.1	Päästömittaukset	36
6.2	Hajupalautteet	38
6.3	Hajukartoitukset ja selvitykset	39
6.4	Enwin TOM -mallinnustyökalu	41
7	Kehitysehdotukset	43
7.1	Hajulähteiden päästöjen karakterisointi	43
7.2	Hajupäästöjen instrumentaalinen mittaaminen	43
7.3	Leviämismallinnusohjelma	44
8	Yhteenveto	45
	Lähteet	47

Lyhenteet

HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä
CFD	Virtausmalli (Computational Fluid Dynamics)
EPA	Yhdysvaltain ympäristösuojeluviranomainen (United States Environmental Protection Agency)
ppm	Miljoonasosa (parts per million)
ppb	Miljardiosa (parts per billion)
TRS	Pelkistyneet rikkiyhdisteet (Total Reduced Sulfur)
VOC	Haihtuvat organiset yhdisteet (Volatile Organic Compounds)
GC	Kaasukromatografia (Gas Chromatography)
MS	Massaspektrometri
GC-MS-O	Kaasukromatografia-massaspektrometri-olfaktometria
FID	Liekki-ionisaatiodektori (Flame Ionization Detector)
PID	Fotoionisaatiodektori (Photoionization Detector)
PM _{2,5}	Pienhiukkaset
PM ₁₀	Hengitettävät pienhiukkaset
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT

1 Johdanto

Hajupäästöihin alettiin kiinnittämään enemmän huomiota Suomessa 1960-luvulla teollistumisen ja kaupungistumisen myötä. Huomio kiinnittyi erityisesti suurten teollisuuslaitosten kaasu- ja jätevesipäästöihin. Ajan saatossa hajuja aiheuttavien toimintojen päästöjä on kuitenkin saatu vähennettyä merkittävästi. Nykyisin merkittävimmät hajupäästöt liittyvät hajua aiheuttavien toimintojen häiriö- tai poikkeustilanteisiin. [1, s. 23–24, 43.]

Antropogeeniset eli ihmisen toiminnoista aiheutuvat hajupäästöt ovat usein peräisin teollisuus- ja maataloustoiminnoista, kuten jätteenkäsittelykeskuksista, jätevedenpuhdistamoista, elintarviketeollisuudesta, metalliteollisuudesta, öljynjalostamoista, eläinsuojista, paperi- ja selluteollisuudesta [2, s. 1533].

Kaikkia toimintoja ei ole mahdollista saada täysin hajuttomiksi. Tästä syystä hajupäästöjen seuranta on tärkeää, jotta olisi mahdollista ymmärtää hajutilanteen kehitystä ja seurata, toimivatko prosessit tarkoituksen mukaisesti, sekä löytää ratkaisuja päästöjen minimoimiseksi. Hajupäästöjä kartoitetaan ympäristössä, jotta voidaan saada tietoa lähialueen asukkaiden altistumistasosta hajupäästöille. [3, s. 69.] Hajupäästöjen ja mahdollisten terveyshaittojen välinen yhteys on kiistanalaista. Selvää kuitenkin on, että hajupäästöt voivat aiheuttaa ympäristön viihtyisyyden alenemista, joten on tärkeää turvata ihmisille viihtyisät elinolot. [4, s. 164.]

Ihmiset pystyvät haistamaan monia yhdisteitä hyvin pieninä pitoisuuksina ennen kuin niiden pitoisuus hengitysilmassa on haitallinen terveydelle. Ihmiset havaitsevat esimerkiksi rikkiyhdisteet herkästi, ja sen vuoksi osataan välttää pilaantuneen ruoan syömistä. [1, s. 24.] Hajun kokeminen on hyvin yksilöllistä, sillä kaikki ihmiset eivät haista hajuja samalla tavalla. Lisäksi, sama henkilö voi aistia hajuja vaihtelevasti eri tilanteissa. [5, s. 12.] Tämä on osasy siihen, miksi hajuhaittojen määrittäminen ei ole yksiselitteistä.

Suomen lainsäädännössä ei ole säädetty tarkkoja ohje- tai raja-arvoja liittyen ulkoilman hajupitoisuuksiin. Hajuhaittoihin voidaan kuitenkin puuttua lain nojalla, sillä Suomen lainsäädännön mukaan hajupäästöt eivät saa aiheuttaa ympäristön pilaantumista, tervey-

dellistä haittaa tai kohtuutonta viihtyvyyshaittaa ihmisille. Sellaisille toiminnoille, jotka voivat aiheuttaa ympäristön pilaantumisen vaaraa, tarvitaan ympäristölupa. [6; 7; 8; 9.] Ympäristöluvan vaatimukset ovat hyvin tapauskohtaisia ja vaihtelevia [3, s. 68].

Tämä opinnäytetyö on tehty Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän Ämmässuolla sijaitsevalle ekoteollisuuskeskukselle. Opinnäytetyö käsittelee Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajua aiheuttavia toimintoja, hajuhallintaa sekä hajutarkkailua. Toiminnoista aiheutuvia hajupäästöjä seurataan ympäristölupamääräysten, tarkkailuohjelmien ja muiden viranomaispäätösten mukaisesti. Työn tarkoituksena on selvittää, miten Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa voidaan kehittää hajupäästöjen seuranta ja ennustamista tai mahdollisesti löytää uusia vaihtoehtoja, esimerkiksi hajupäästöjen eri mitaus- ja mallinnusmenetelmistä. Opinnäytetyössä selvitetään kirjallisuuskatsauksen avulla, millä tavoin hajupäästöjä voidaan mitata ympäristössä ja miten hajupäästöjen leviämistä ilmakehään voidaan mallintaa.

2 Haju ja hajuhaitta

Hajun esiintyminen on fysiologinen suure, mutta hajuhaitta riippuu sekä yksilöllisestä aistifysiologiasta että psykososiaalisista tekijöistä. Sen vuoksi hajun määrittely ei ole yksiselitteistä. [10, s. 9.]

Hajuaineet ovat joko haihtuvia kaasumaisia aineita tai pieniin ilmassa oleviin vesipisaroihin liuenneita aineita [11 s. 24]. Haju koostuu jopa kymmenien erilaisten yhdisteiden seoksesta. Ulkoilmassa hajujen sekoittuessa ja reagoidessa keskenään syntyy uusia yhdisteitä. Uudet muodostuneet yhdisteet voivat olla laimeampia tai jopa epämiellyttävämpiä. Tästä syystä hajupäästöjen alkuperäisen aiheuttajan tunnistaminen ei aina ole yksiselitteistä. Tunnistaminen voi vaikeutua myös etäisyyden kasvaessa hajukohteeseen nähden tai jos alueella on useita erilaisia hajulähteitä. [11, s. 67.]

Haiseva ilma koostuu usein hyvin monista eri epäpuhtauksista, joiden pitoisuudet ovat hyvin pienet ja pieniä pitoisuuksia on vaikea mitata. Lisäksi mittaamista vaikeuttaa hajun esiintymisen hetkellisyys. Ulkoilmassa esiintyvät tunnetut yhdisteet ilmaistaan massana tilavuusyksikköä kohti ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tai tilavuussuhteena (ppm tai ppb). Koska pieniä pitoisuuksia on vaikea mitata, mainitut tavat soveltuvat harvemmin käytettäväksi eikä eri yhdisteiden vaikutus kokonaishajuun ole tiedossa. Sen vuoksi hajupitoisuuden mittana käytetään hajuyksikköä kuutiometrissä (HY/m^3 , englanniksi odour unit OU/m^3). [10, s. 11.] Seuraavia hajukynnyksiä tyyppillisesti käytetään hajun määrittämisessä:

- Hajukynnyksellä $1 \text{ HY}/\text{m}^3$ 50 prosenttia normaalin hajuaistin omaavista ihmisistä aistii hajun, mutta ei välttämättä tunnista sitä.
- Hajukynnyksellä $3 \text{ HY}/\text{m}^3$ haju on tunnistettava ja selkeä.
- Hajukynnyksellä $5 \text{ HY}/\text{m}^3$ haju on tunnistettava ja melko voimakas, jopa epämiellyttävä haju. [12, s. 43.]

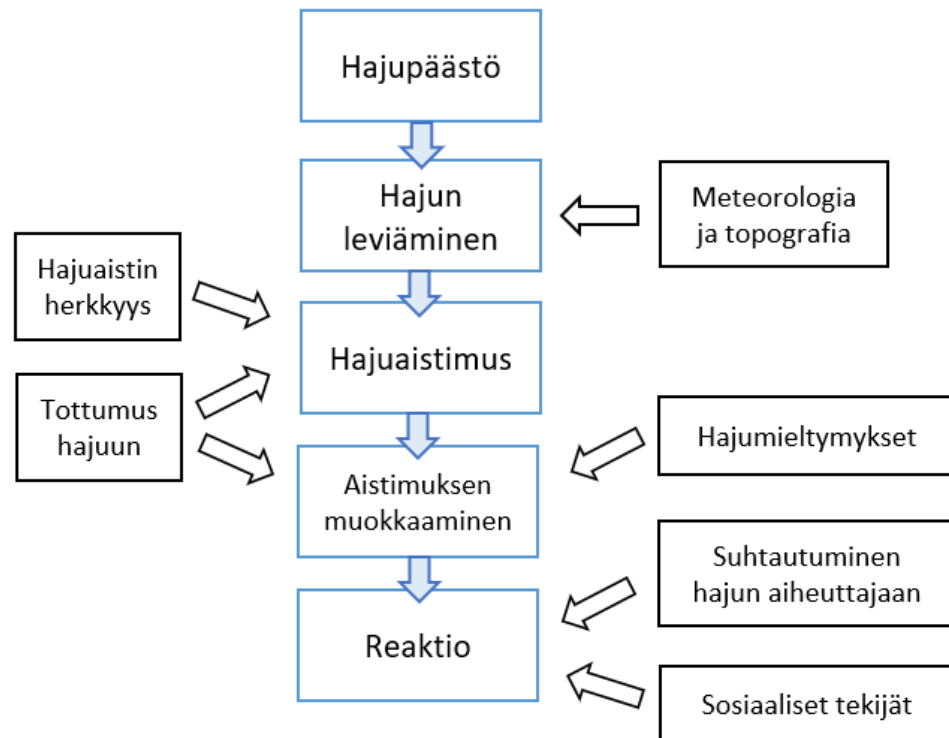
2.1 Hajujen aistimiseen vaikuttavat tekijät

Hajuyhdisteiden absoluuttisten pitoisuuksien lisäksi hajun kokemiseen vaikuttavat ns. FIDOL-tekijät eli

- F (frequency) = hajun esiintymistiheys
- I (intensity) = hajun voimakkuus
- D (duration) = kesto
- O (offensiveness) = hajun epämiellyttävyys
- L (location) = hajun esiintymispaikka [2, s. 1526].

Havainnoitsijan ikä, sukupuoli, terveys ja perimä vaikuttavat hajun aistimiseen. Lisäksi aistimiseen vaikuttavat myös havainnoitsijan mieliala, aiemmat kokemukset hajusta ja muistot. [2, s. 1563.] Tutkimuksissa on todettu, että ihmiset kestävät paremmin hetkelistä voimakkaampaa hajua kuin pitkäkestoista tasaista hajua [3, s. 67].

Myös ihmisten yksilölliset erot vaikuttavat hajun kokemiseen ja siten ihmisten kokemukset saman elinympäristön hajuihin voivat olla hyvin erilaisia. Ihmisten suhtautuminen hajun aiheuttajaan ja oma epätietoisuus hajuhaitan terveysvaikutuksista vaikuttavat hajun kokemiseen. [3 s. 67.] Hajuaistimus voi vähentyä aistien adaptaatiolla tai jos henkilöllä on mahdollisesti taloudellinen riippuvuus hajun aiheuttajaan [10, s. 10]. Hajua pidetään hajuhaittana, jos haju koetaan häiritseväksi tai siitä aiheutuu terveydellistä haittaa [3, s. 69]. Kuvassa 1 kuvataan hajun kokemiseen vaikuttavia tekijöitä.



Kuva 1. Hajupäästöstä aiheutuvan hajuhaitan kokemiseen vaikuttavat tekijät [10, s. 10].

2.2 Hajujen leviämiseen vaikuttavat tekijät

Tuuli, ilmanpaine ja maaston esteet vaikuttavan hajujen leviämiseen. Hajuyhdisteet leviävät ja hajaantuvat ilmakehässä siinä esiintyvien virtausten ja turbulenssin mukaan, kuten muutkin ilmapäästöt. [13, s. 12; 14, s. 6.] Hajuyhdisteistä ei välttämättä aiheudu laskeumaa, mutta ne voivat sitoutua vesipisaroihin ja liikkua kuten sumu tai sade. Maan pinnalla sijaitsevien hajulähteiden hajupäästöt eivät leviä yhtä laajalle alueelle kuin pii-pusta johdetut hajukaasut. Etelä-Suomessa vallitseva tuulen suunta on lounaasta. Suomessa kesät ovat selvästi vähätuulisempia kuin talvet. [11, s. 25.] Paikallisiin sääolosuhteisiin vaikuttavat maasto ja siihen liittyvät pintailmiöt [5, s. 18].

Empiirisen tiedon mukaan hajua havaitaan eniten stabiilissa ilmankehässä, jossa ilman sekoittuminen on heikkoa. Stabiileja olosuhteita esiintyy aikaisin aamulla ja illalla. Eniten hajua esiintyy silloin, kun tuulen nopeus on 1–1,5 m/s. [5, s. 18.] Lämpötilojen vaihtelu ja

stabiilit olosuhteet mahdollistavat inversiotilanteet, joissa kylmä pintailma ei pääse kohoamaan ja sekoittumaan lämpimään kerrokseen muodostuneen inversiokerroksen vuoksi. Tällöin myös ilmapäästöt jäävät päästölähteen lähelle hengityskorkeudelle. Hajupäästöjen kannalta tämä merkitsee sitä, että hajut eivät pääse laimenemaan kunnolla ja ihmiset voivat kokea enemmän hajuhaittaa. Inversiotilanteita esiintyy eritoten talvisin. [15.]

Maastonpinnanmuodot ja kasvillisuus vaikuttavat myös siihen, miten hajut kulkeutuvat. Metsäpeitteisessä maastossa hajua havaitaan harvemmin kuin avoimessa maastossa. [14, s. 6.]

2.3 Hajuhaittaa aiheuttavat yhdisteet

2.3.1 Rikkiyhdisteet

Haisevat rikkiyhdisteet (Total Reduced Sulfur eli TRS) koostuvat pääasiassa rikkivedystä (H_2S) sekä erilaisista orgaanisista rikkiyhdisteistä kuten metyylimerkaptaanista (CH_3SH), dimetyylisulfidista (C_2H_6S) ja dimetyylidisulfidista ($C_2H_6S_2$). Ihminen pystyy aistimaan kyseiset yhdisteet jo hyvin alhaisissa pitoisuuksissa. Rikkivedyn haju on huomattavasti vahvempi verrattuna ammoniakkiin. [16, s. 45.] Rikkiyhdisteiden hajukynnykset vaihtelevat lähteestä ja yhdisteestä riippuen [17]. Rikkivetyä muodostuu proteiinien anaerobisessa hajoamisessa ja orgaanisen aineksen anaerobisesta hajoamisessa sulfaatin läsnä ollessa [16, s. 16].

2.3.2 Typpiyhdisteet

Typpiyhdisteistä hajuhaittoja aiheuttavat ammoniakki ja amiinit, jotka syntyvät urean, proteiinien ja aminohappojen aerobisessa hajoamisessa. Haisevia typpiyhdisteitä pääsee syntymään, kun kompostoitava raaka-aine sisältää paljon typpeä, eli kun C/N-suhde on matala. Amiinien perushaju mielletään kalan hajuksi. Yleisimpiä amiiniyhdisteitä ovat metyyli-, etyyli-, dimetyyli- ja trietyliiniamiinit. Lisäksi on haisevia aromaattisia typpiyhdisteitä, kuten indoli (C_8H_7N) ja skatoli (C_9H_9N), jotka voivat syntyä puuperäisen materiaalin hajoamisessa. [16, s. 16.]

2.3.3 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Haihtuviksi orgaanisiksi yhdisteiksi eli VOC-yhdisteiksi kutsutaan niitä, joiden kiehumispiste on normaalissa ilmanpaineessa 50–260 °C [18]. VOC-yhdisteiden aiheuttamaan hajuun liitetään erilaisia kuvauksia, kuten hapan, voimainen, etikkamainen, makea, hedelmäinen ja sitrusmainen. VOC-yhdisteisiin kuuluvat aldehydit, esterit, ketonit, terpeenit, karboksyylihapot ja klooratut hiilivedyt. [19, s. 431.] Kompostoinnin aikana muodostuvia VOC-yhdisteitä ovat terpeenit, rasvahapot ja metyylietyyliketoni. Terpeenit, esimerkiksi α -pineeni ja limoneeni, muodostuvat erityisesti lignoselluloosan hajotessa. Rasvahapot, kuten voi-, etikka- ja propionihappo, muodostuvat orgaanisen aineksen aerobisesta hajoamisesta tai rasvojen kemiallisesta hydrolyysistä. Metyylietyyliketonia vapautuu kompostissa rasvoista, kun happea ei ole riittävästi. [16, s. 16.] Taulukossa 1 on listattu mainitut hajuyhdisteet ja niiden kuvaukset sekä hajukynnykset. Hajukynnys tarkoittaa aineen pienintä pitoisuutta, joka on ihmisen havaittavissa.

Taulukko 1. Hajukaasujen kuvaukset ja hajukynnykset [20, s. 94; 21, s. 979].

Hajuyhdisteen nimi	Hajukuvaus	Hajukynnys (ppm)
Ammoniakki	Pistävä	46,8
Dimetyyliamiini	Kalamainen, pistävä	0,047
Dimetyylidisulfidi	Mätä kaali	0,0001
Dimetyylisulfidi	Mätä vihannes	0,001
Etikkahappo	Hapan	1
Etyyliamiini	Ammoniakkia muistuttava	0,27
Indoli	Uloste, etova	0,0001
Metyyliamiini	Kalamainen, pistävä	0,021
Metyylietyyliketoni	Makea	10
Metyylimerkaptaani	Mätä kaali	0,0021
Rikkivety	Mätä kananmuna	0,00047
Skatoli	Uloste, etova	0,001
Trimetyyliamiini	Kalamainen, pistävä	0,00021
Voihappo	Hapan	0,001

2.4 Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen toiminnoista syntyvät hajuyhdisteet

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajut johtuvat pääasiallisesti biologisessa hajoamisessa vapautuneista kaasumaisista hajuyhdisteistä. Näitä hajuyhdisteitä ovat muun muassa VOC-, typpi- ja rikkiyhdisteet. [22.]

3 Hajuihin liittyvä lainsäädäntö ja ympäristöluvut

3.1 Hajuihin liittyvä lainsäädäntö Suomessa

Suomen lainsäädännössä ei ole säädetty ulkoilman hajupitoisuuksiin liittyviä ohje- tai raja-arvoja, joiden avulla olisi mahdollista tarkastella hajuhaittoja. Suomen lainsäädännön mukaan hajupäästöt eivät saa aiheuttaa terveydellistä haittaa tai kohtuutonta viihtyvyshaittaa ihmisille. Suomen lainsäädännössä käsitellään terveys- ja viihtyvyshaittoja seuraavasti:

- Ympäristönsuojelulain (527/2014, 141 §) periaatteena on ilman pilaantumisen ennaltaehkäisy ja haittojen minimointi [6].
- Jätelain (646/2011, 13 §) mukaan jätteestä ja jätehuollosta ei saa aiheutua ympäristön pilaantumisen vaaraa tai viihtyisyyden vähentymistä [7].
- Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999, 54 §) mukaan asemakaava on laadittava siten, että luodaan edellytykset terveelliselle ja viihtyisälle elinympäristölle [8].
- Naapuruussuhdelain (26/1920, 3 §) mukaan kiinteistöstä tai rakennuksesta ei saa aiheutua naapurille ilmeistä haittaa [9].

Viranomaiset soveltavat edellä mainittuja säädöksiä, kun he käsittelevät esimerkiksi ympäristölupia. Lainsäädäntöön voidaan nojata, jos toiminnoista aiheutuvat hajupäästöt aiheuttavat viihtyisyyden alenemista.

3.2 Hajuihin liittyvät ohje- ja raja-arvot Suomessa

Raja-arvojen määrittäminen terveys- ja viihtyvyyshaittojen ehkäisemiseksi on haastavaa, sillä terveys- ja hajuhaittojen arviointi ei ole selkeää. Haitan määrään vaikuttavat useat tekijät, kuten henkilökohtaiset tekijät, hajun miellyttävyys, hajun voimakkuus ja esiintymistiheys. [12, s. 44.] Suomessa ei ole annettu hajulle yksiselitteisiä ohje- tai raja-arvoja. Tästä syystä lupapäätösten vaatimukset ovat hyvin tapauskohtaisia ja vaihtelevia. [3, s. 67–68.]

Ympäristölupamääräykset hajulle perustuvat joko muissa maissa annettuihin arvoihin tai Suomessa hajuohje-arvoista tehtyyn tutkimukseen, jonka on julkaissut Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) vuonna 1995 [10; 3, s. 68]. Kyseisen tutkimuksen mukaan hajun aiheuttamaa viihtyvyyshaittaa voidaan pitää merkittävänä silloin, kun 25–50 prosenttia alueen väestöstä kokee hajun häiritseväksi. Tällöin havaitun hajun keskimääräinen esiintymistiheys olisi 3–9 prosenttia vuoden tunneista. Alaraja koskee hyvin epämiellyttäviä hajuja ja yläraja niitä hajuja, joiden miellyttävyytaso on vaihtelevampaa. [10, s. 75.] Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että esiintymistiheyden alarajan mukaan saisi haista vuodessa 264 tuntia ja ylärajan mukaan 788 tuntia.

Suomessa määritettiin ensimmäisenä maailmassa ohje-arvo haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudelle ulkoilmassa vuonna 1996 [1, s. 44]. Valtioneuvoston päätöksessä ilmanlaadun ohje-arvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista (VNP 480/1996) on ohje-arvoja terveydellisten haittojen ehkäisemiseksi. Kyseisessä päätöksessä on asetettu ohje-arvo pelkistyneille rikkiyhdisteille (TRS). TRS-pitoisuuden vuorokausiohje-arvo on $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joka määritetään kuukauden toiseksi suurimmalla vuorokausikeskiarvolla. Tätä ohje-arvoa voidaan soveltaa hajupäästöjen arvioinnissa. [23.] TRS-pitoisuuden tuntikeskiarvon ylittäessä $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ luokitellaan kyseinen tunti hajutunniksi [17].

3.3 Hajuihin liittyvät raja- ja ohjearvot muissa maissa

Maailmalla hajupäästöihin liittyvä lainsäädäntö sekä hajuarvosuositukset että raja-arvot vaihtelevat huomattavasti ja ne on määritetty vaihtelevin perustein. Eri maissa on säädetty enimmäishajupitoisuuksia tai hajun esiintymiselle rajoituksia hajutuntien määränä (% vuoden tunneista) vuodessa. Joissakin maissa viihtyvyshaitan ehkäisemiseksi on annettu ainoastaan yleisiä ohjeita, joiden perusteella viranomaiset voivat arvioida hajuhaittaa aiheuttavia toimintoja tapaus kerrallaan. [2, s. 1533.] Toisaalta, joissakin maissa annetut eri hajukriteerit ovat sidottuna eri hajulähteisiin, jolloin asetetuissa raja-arvoissa voidaan huomioida hajun laatu ja miellyttävyytaso paremmin [2, s. 1541].

Edellä mainittu käytäntö on esimerkiksi Alankomaissa. Alankomaissa hajuohjearvot uudelle kompostointilaitokselle ovat seuraavat:

- 1,5 OU_E/m^3 korkeintaan 2 prosenttia vuoden tunneista
- 3 OU_E/m^3 korkeintaan 0,5 prosenttia vuoden tunneista
- 6 OU_E/m^3 korkeintaan 0,1 prosenttia vuoden tunneista [2, s. 1548].

Saksassa on olemassa hajuohjeita, joiden mukaan selvää hajua saa esiintyä maksimissaan 10 prosenttia kokonaisajasta asutusalueilla ja 15 prosenttia ajasta teollisuusalueilla. Jos laitoksen hajukuorma ei ylitä 2 prosenttia vuoden tunneista, sitä ei pidetä alueen kokonaishajukuorman kannalta merkityksellisenä. Saksassa hajustandardit koskevat yleensä hajulähteiden päästöjä. [24, s. 7.]

Irlannissa on asetettu pitkäaikaiselle hajulle yleinen tavoitearvo, joka on $1,5 \text{ OU}/\text{m}^3$. Tavoitearvon ylittävää hajua saa esiintyä ympäristössä 2 prosenttia kokonaisajasta. Irlannissa on esimerkiksi erikseen raja-arvot asetettuna vanhoille ja uusille sikaloille. Uusille sikaloille raja-arvot ovat $<3 \text{ OU}/\text{m}^3$ ja vanhoille sikaloille $<6 \text{ OU}_E/\text{m}^3$ 2 prosenttia vuoden tunneista. [24, s. 7.]

Iso-Britanniassa yleiset tavoitetasot hajukuormalle teollisuudenlaitoksen rajalla ovat 2 prosenttia vuoden tunneista:

- 1,5 OU_E/m³ hyvin epämiellyttävälle hajulle
- 3 OU_E/m³ kohtalaisen epämiellyttävälle hajulle
- 6 OU_E/m³ vähemmän epämiellyttävälle hajulle [24, s. 8].

Toisistaan poikkeavia hajuohjearvoja on myös asetettu teollisuus- ja asuinalueille, jolloin raja-arvot ovat tiukemmat asuinalueilla. Näin on tehty esimerkiksi Alankomaissa, Saksassa ja Norjassa. [2, s. 1532.]

4 Ämmässuon ekoteollisuuskeskus

Ämmässuon ekoteollisuuskeskus sijaitsee Espoon länsiosassa osittain Kirkkonummen kunnan ja Espoon kaupungin alueella. Ekoteollisuuskeskuksen toiminta alkoi vuonna 1987 kaatopaikkana, ja toiminta on siitä lähtien kehittynyt huomattavasti eteenpäin. Kaatopaikkatoiminta väheni merkittävästi vuonna 2014 Vantaan Energia Oy:n jätevoimalan käyttöönoton jälkeen. Ekoteollisuuskeskuksen toimintaa on kehitetty voimakkaasti kiertotalouden suuntaan. Lisäksi ekoteollisuuskeskuksessa luodaan teollisia synergioita Ekomo-konseptin mukaisesti. [22.]

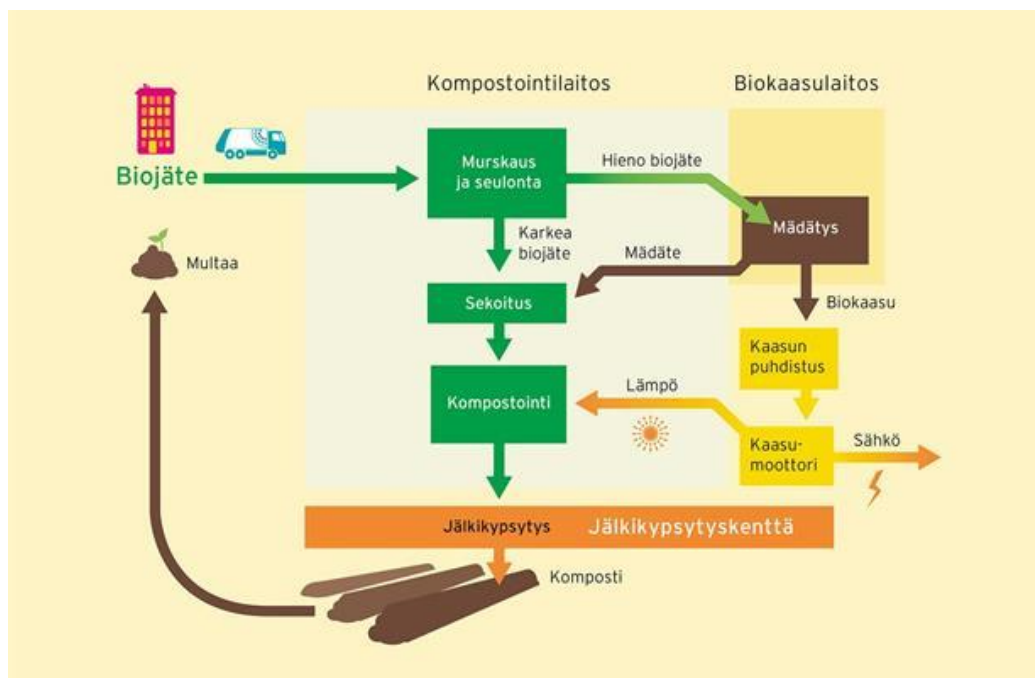
HSY huolehtii koko pääkaupunkiseudun sekä Kirkkonummen jätehuollosta. HSY:n ekoteollisuuskeskus kattaa noin 200 hehtaarin laajuisen alueen, jonka päätoimintoja ovat muun muassa jätteen vastaanotto, esikäsittelyn jätteen hyötykäyttö tai loppusijoitus, biojätteen laitospainainen käsittely, pilaantuneiden maiden sekä jätevoimalaitoksesta syntyvän tuhkan ja kuonan käsittely ja loppusijoittaminen. Alueella on myös Sortti-asema, jossa vastaanotetaan pienjätekuormia. Biojätteestä tuotettu biokaasu ja kaatopaikoista syntyvä kaasu kerätään ja hyödynnetään energiana. Ämmässuon toimintojen pääpaino on siirtynyt jätteen loppusijoittamisesta jätteen jalostamiseen kiertotalouden periaatteiden mukaisesti. [22.]

4.1 Hajuhaittoja aiheuttavat toiminnot

4.1.1 Biojätteen käsittely

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa käsitellään biojätettä, josta tuotetaan biokaasua ja kompostia. Toiminnassa syntyy hajua biokaasu- ja kompostointilaitoksen prosesseissa sekä kompostin kenttäkäsittelyssä. [22.]

Biojätteen käsittelyssä syntyy hajua käytännöstä jokaisen prosessin aikana. Hajumäärä kuitenkin vähenee prosessin edetessä. Käsittelyprosessi koostuu biojätteen esikäsittelystä, mädätyksestä, esikompostoinnista, hygienisoinnista, jälkikompostoinnista ja jälkikypsytyksestä (kuva 2). [22.]



Kuva 2. Biojätteen käsittelyn prosessit [25].

Kompostointilaitokseen vastaanotettu biojäte murskataan ja seulotaan. Hieno biojäte jae syötetään biokaasulaitoksen mädätysreaktoreihin. Mädätetty biojäte eli määdäte, seulonasta syntyynyt karkea biojäte sekä tukiaineet (risu, puu- ja kantomurske, kierrätyskomposti sekä kompostin seulontaylitteet) sekoitetaan keskenään, jonka jälkeen massa syö-

tetään kompostointitunneliin. Kompostia seulotaan ja osa kompostista palautetaan esikäsitteilyyn tukiaineeksi. Ensimmäisen kompostointivaiheen jälkeen kompostia seulotaan, ja hieno jae siirretään seuraavaan tunneliin, jossa varmistetaan panoksen hygieenisuus. Hygienisoitu komposti jälkikypsytetään vanhan kompostointilaitoksen kautta kentälle tai suoraan kentälle. [22.]

Kompostikentällä kompostia ilmastetaan kääntämällä aumoja, mistä voi aiheutua hajuhaittaa. Kompostiaumoja käännettiin yhteensä 16 kertaa vuonna 2019. Riippuen sääolosuhteista ja vuodenajasta kompostia kypsytetään aumoissa keskimäärin 6–12 kuukautta ennen kuin kompostin todetaan olevan tarpeeksi kypsää seulottavaksi. [22.]

4.1.2 Sekajätteen paalaus

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa otetaan sekajätettä vastaan Vantaan Energia Oy:n jätevoimalan huoltoseisokin aikana. Huoltojen vuoksi jätevoimala ei voi polttaa poltettavaksi tarkoitettua sekajätettä. Sekajätteen tuonti, käsittely, paalaus sekä paalivarastoinnin purku aiheuttaa hajuja. Jätevoimalan polttokapasiteetin salliessa paalit ajetaan jätevoimalaan. [22.]

4.1.3 Kaatopaikkakaasu ja kaasuvoimala

Ekoteollisuuskeskuksen muita hajunlähteitä ovat kaatopaikka, johon sijoitetaan nykyään esikäsitellyt ja hyödynnettäviksi kelpaamattomat jätteet ja maa-aineksia, sekä vanha kaatopaikka. Vanhan kaatopaikan jätteen sijoittaminen lopetettiin vuonna 2007. [22.] Kaikkea kaasua ei saada talteen ja sitä pääsee vuotamaan esimerkiksi jätetäytön halkeamista, vahingoittuneiden kaasukaivojen kautta ja keskeneräisten pintarakenteiden vuoksi. Vanhan kaatopaikan alueella on viimeistelyjä pintarakenteita, mutta myös alueita, joiden pintarakentaminen ei ole täysin valmis. Käytössä olevassa kaatopaikassa on enemmän vuotoja ja ero selittyy kaatopaikka-alueen toiminnalla sekä sillä, ettei alueella ole tiiviitä pintarakenteita kuin muutamassa kohdassa. Vuotokohdista purkautuu metaania ja lisäksi muun muassa haisevia rikkiyhdisteitä. [26.]

Kaatopaikkojen vuotokohtia ja kaasunkeräysjärjestelmän kuntoa seurataan säännöllisesti mittauksilla. Mittaustulosten perusteella tilanne pyritään korjaamaan esimerkiksi

kaasukaivojen korjauksella ja parantamalla pintarakenteita. Kaatopaikkojen merkitys hajulähteenä on laskenut merkittävästi orgaanisten jätteiden kaatopaikkakiellon ja jätteenpolttovoimalaitoksen sekä pintarakenteiden valmistumisen myötä. Hajuhaittoja voi syntyä, kun tehdään kaatopaikan rakennekunnostuksia. [22, 26.]

Kaasuvoimalassa kaatopaikkakaasusta poistetaan rikkivedyt ennen kaasun hyödyntämistä. Kaasuvoimala aiheuttaa hajuja päivittäin aamuisin ja iltaisin regeneroinnin yhteydessä. Regenerointi kestää noin 3,5 tuntia kerrallaan, ja haju on voimakkaimmillaan 2 tuntia jakson alussa. [27.]

4.1.4 Tasausaltaat

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen toiminnan vaikutuksia vesiin seurataan Ämmässuon ja Kulmakorven alueen vesien yhteistarkkailuohjelman mukaisesti. Alueella muodostuvat vedet johdetaan tasausaltaisiin (TAL1 ja TAL11), joista vedet johdetaan edelleen käsiteltäväksi Suomenojan jätevedenpuhdistamolle. Kompostikenttien tasausaltaiden (TAL2 ja TAL8) vedet voidaan käyttää myös kompostien kastelussa. Tasausaltaiden peseminen voi aiheuttaa hajuhaittaa. [22.]

4.2 Hajunehkäisytoimenpiteet

4.2.1 Hajunestoaineet

Kompostointiaumoihin ja tukiaineeseen ruiskutetaan maitohappoperusteista kompostointikiihdytintä minimoimaan kompostista aiheutuvaa hajupäästöä. Sekajätteeseen ruiskutetaan hajunsyöjänä käytettävää kemikaalia, joka poikkeaa kompostiaumoihin ja tukiaineeseen käytettävästä aineesta. Hajunestokemikaalia käytetään myös Suomenojan jätevedenpuhdistamolle johdettavaan jäteveeseen. Aine estää rikkivedyn muodostumista viemäriinjastossa. [22.]

4.2.2 Mädätys- ja kompostointiprosessien pitkittäminen

Viime vuosina Ämmässuon ekoteollisuuskeskukseen vastaanotetun biojätteen määrä on kasvanut, minkä seurauksena käsiteltävän biojätteen viipymäaika laitoksessa lyhenee.

Prosessin pitkittäminen sisätiloissa vähentää hajuhaittoja, kun komposti on maatonut hyvin ennen kentälle sijoittamista. Tästä syystä kompostia jälkikypsytetään vanhassa kompostointilaitoksessa ennen kentälle sijoittamista. [22.]

4.2.3 Laitoksien poistoilman käsittely

Biojätteen ja jätevesilietteen eniten hajuhaittaa aiheuttavat prosessivaiheet pidetään sisätiloissa. Biojätteen käsittelylaitoksilta syntyvä poistoilma käsitellään bio- tai happope-surilla. Poistoilma johdetaan edelleen pesureilta biosuodattimiin. Tukiainehalliin on asennettu poistoilmatalteenottojärjestelmä, kun on havaittu aiheuttavan hajuhaittaa. Tukiainehallin poistoilma johdetaan puhdistukseen vanhaan kompostointilaitokseen. [22.]

4.3 Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen ympäristöluvut ja ympäristölupamääräykset

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen toiminnalle on myönnetty erilaisia ympäristölupia. Ympäristöluvassa voidaan antaa määräyksiä esimerkiksi toiminnan laajuudesta, päästöistä ja niiden vähentämisestä sekä tarkkailusta.

Tämän työn kannalta olennaisimmat ympäristöluvut ovat seuraavat:

- Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen ympäristölupa 14.12.2012 (Dnro ESAVI/705/04.08/2010 ja Dnro ESAVI/510/04.08/2010)
- Biojätteen käsittelyn ympäristölupa 8.10.2014 (Dnro ESAVI/125/04.08.2011)
- Kaasuvoimalan ympäristölupa 19.2.2015 (Dnro ESAVI/362/04.08/2013).

Mainittujen ympäristölupien lupamääräyksissä käydään kokonaisuudessaan läpi Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen jätteiden käsittely, johon liittyy myös melun, vesien ja ilmanlaadun hallintaa. Ilmanlaadun hallintaan liittyen lupamääräyksissä on määritetty, että ekoteollisuuskeskuksen aiheuttamat hajuhaitat on selvitettävä vähintään kerran vuodessa asukaspaneelitutkimuksella, asiantuntijaneelin tekemin aistihavainnoin, haju-

mittauksilla tai muilla vastaavilla menetelmillä. Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen alueen ilman leijuvan pölyn hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) ja haisevien rikkiyhdisteiden määrää on seurattava jatkuvatoimisesti ilmanlaadun mittausasemalla. [28.]

Lupamääräyksissä on määritetty kompostointilaitoksille raja-arvoja ammoniakki- ja hajupitoisuudelle. Kompostilaitosten bio- ja happopesuri sekä biosuotimet on tarkkailtava luvan mukaisesti vähintään kerran vuodessa. [29.] Kaasuvoimalalle on myös asetettu raja-arvo typenoksidipitoisuudelle. Kaasumoottoreiden savukaasun typenoksidipitoisuus ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) kokonaispitoisuus on mitattava viiden vuoden välein. [30.]

5 Hajupäästöjen tutkimusmenetelmät

Vuosien aikana on kehitetty erilaisia menetelmiä ympäristöhajujen luonnehtimiseen, jotta voitaisiin arvioida teollisista toiminnoista syntyvää hajupäästöjen vaikutusta hajulähteitä ympäröivään alueeseen. Taulukossa 2 on esitelty eri hajuntutkimusmenetelmiä, jotka on jaoteltu eri lähestymistapojen mukaan. Eri tutkimusmenetelmät perustuvat ihmisenellä havainnointiin, instrumentaalisiin ja matemaattisiin menetelmiin. [31, s. 2.]

Taulukko 2. Hajupäästöjen tutkimusmenetelmät jaoteltuna tyypeittäin [31, s. 3].

	Emissio	Immissio
Aistinvarainen arviointi	Dynaaminen olfaktometria (EN13725:2003)	Kenttähavainnointi (EN16481:2016) Kenttäolfaktometria Asukaspaneeli- ja kertakysely
Instrumentaaliset menetelmät	Kemiallinen analyysi Elektroninen nenä	Kaasukromatografia-olfaktometria
Matemaattiset menetelmät	Hajuemissiofaktori (engl. OEF) Emissiotietokannat	Leviämismallit

Hajua määritetään kahdella tavalla, joko hajuhaitan tai hajun esiintymisen määrittämisen kautta. Hajuhaittaa kartoitetaan kyselyillä, joihin hajulähteen lähellä asuvat asukkaat

osallistuvat. Hajuvälitöksien lukumäärä voi antaa viitteitä hajuhaitasta. Kuitenkin on huomioitava, että hajuhaittatutkimuksissa on todettu perushaittatason olemassaolo, kun noin 5–10 prosenttia väestöstä kokee hajuhaittaa, vaikka alueella ei ole hajuyhdisteitä päästäviä lähteitä. Hajuvälitökset ovat liian epämääräisiä kuvaamaan väestön kokemaa hajuhaittaa. Ihmisten välillä voi olla suuria eroja valittamisen kynnyksessä ja haitan kokemisessa. Hajun esiintymisen mittana on ulkoilman hajupitoisuus (HY/m³) ja hajun esiintymistiheys (% vuoden tunneista). [10, s. 10–11.] Tässä työssä ei käydä tarkemmin läpi hajulähteiden päästöjen määrittämistä matemaattisilla keinoilla.

5.1 Olfaktometri

5.1.1 Dynaaminen olfaktometri

Dynaaminen olfaktometria on ihmisen hajuaistiin perustuva standardoitu menetelmä (EN 13725:2003). Menetelmällä määritetään hajupitoisuus ja hajukynnys hajupanelistien aistimusten pohjalta olfaktometrillä laboratoriossa. Hajupitoisuutta kuvataan hajuyksikköä kuutiometrissä HY/m³ (engl. odour unit per cubic meter, OU/m³). Hajuyksikkö ilmaisee, kuinka monta kertaa näytettä on laimennettava neutraalilla ilmalla, kunnes näyte on hajuton. Esimerkiksi, jos hajukaasunäytettä pitää laimentaa 10 kertaa, niin näytteen hajupitoisuus on 10 HY/m³.

Näytteen hajukynnys 1 HY/m³ määritetään (engl. odour detection threshold), kun panelisteista 50 % havaitsee hajun [32]. Analyysi toteutetaan niin, että panelisteille annostellaan hajunäytettä olfaktometrillä, joka laimentaa näytettä tietyssä suhteessa referenssiilmalla, joka on suodatettu aktiivihieillä tai silikageelillä hajuttomaksi ja kosteettomaksi. Standardissa SFS-EN 13725:2003 mainitaan, että paneeliin valitaan henkilöitä, jotka kykenevät määrittämään n-butanolin hajukynnyksen välille 20–80 ppb luotettavien ja toistettavien tulosten varmistamiseksi. [32.]

Dynaamista olfaktometriaa käytetään päästöjen luonnehdintaan hajulähteestä. Jossain tapauksissa dynaamista olfaktometriä on sovellettu myös ulkoilman hajun määrittämiseen. [33, s. 732.] Menetelmällä saadaan objektiivista tietoa hajupitoisuudesta. Se soveltuu esimerkiksi yksinään hajupäästöjen vähentämisen todentamiseen tai hyödyntämällä saatuja hajupäästötietoja leviämismallin lähtöarvoina arvioimaan hajupäästöjen

vaikutuksia ja niiden leviämistä ympäristössä, mikä puolestaan mahdollistaa hajupäästöjen virtausnopeuden arvioimisen hajulähteestä. [31, s. 3.]

Menetelmän huono puoli on se, että se ei ole jatkuvakestoista mittaamista, sillä näytteet otetaan hajulähteistä tiettyyn aikaan ja toimitetaan laboratorioon tutkittavaksi. Lisäksi menetelmää ei voi käyttää eri hajukaasujen tunnistamiseen tai erilaisten hajujen erottamiseen. [31, s. 4.]

5.1.2 Kenttäolfaktometri

Kenttäolfaktometrian toimintaperiaate on samankaltainen kuten edellä mainittu dynaaminen olfaktometria, mutta kenttäolfaktometri on kannettava sekä toimii nimensä mukaisesti kentällä eikä laboratoriossa. Laitteeseen virtaa kaksi erillistä ilmavirtaa sekoittuen. Hajuyhdisteitä sisältävä näyteilma sekoitetaan tietyssä suhteessa hajuttomaan ilmaan (D/T-suhde, engl. dilution-to-threshold ratio). [34, s. 2.] Kenttäolfaktometriä voidaan soveltaa antamaan viitteitä, kuinka monta kertaa ilmaa pitäisi laimentaa hajuttomaksi hajulähteen lähistöllä. Sillä ei voida kuitenkaan määrittää hajupitoisuutta hajuyksiköissä (HY/m^3), vaan voidaan määrittää ainoastaan referenssimenetelmällä (kuten dynaamisella olfaktometrialla). Menetelmän huono puoli on se, että tuloksissa on suurta vaihtelua useiden kontrolloimattomien tekijöiden takia, kuten esimerkiksi sääolosuhteiden vuoksi. Kuten dynaamisella olfaktometrillä, kenttäolfaktometrillä ei voida erottaa tutkittavaa hajupäästöä muusta taustahajusta eikä menetelmällä ole mahdollista seurata hajun esiintymistä jatkuvatoimisesti. Kenttäolfaktometrillä saatuja tuloksia hädin tuskin voidaan verrata muilla menetelmillä saatuihin tuloksiin. [31, s. 18.]

5.2 Kenttähavainnointi

Kenttähavainnointi on menetelmä, jolla voidaan määrittää suoraan hajun esiintyminen. Menetelmä perustuu koulutettuun hajupaneeliin, joka käy havainnoimassa aistinvaraisesti määritetyllä alueella. Hajupaneeli määrittää ulkoilman hajun miellyttävyyden ja voimakkuuden. Menetelmällä voidaan tutkia, miten pitkälle hajupäästöt leviävät tai mikä on alueen väestön altistumistaso. Kenttähavainnoinnilla voidaan saada objektiivista ja luotettavaa tietoa hajun esiintymisestä, mutta menetelmän huonot puolet ovat sen vaatima suuri työpanos, eikä menetelmällä voi määrittää hajupitoisuutta. [10, s. 17.]

Menetelmällä on olemassa kaksi standardisoitua suoritustapaa, jotka ovat grid method (EN 16841-1:2016) ja plume method (EN 16841-2:2016). Ensimmäisellä suoritustavalla selvitetään hajun esiintymistiheys ja toisella suoritustavalla hajun leviämistäisyys. [35; 36.]

Grid method -menetelmä on tilastollinen tutkimusmenetelmä, joka toteutetaan riittävän pitkällä ajanjaksolla, jotta tulokset altistumistasosta olisivat edustavat ottaen huomioon sääolosuhteiden vaihtelut. Menetelmällä arvioidaan hajun luonnetta ja hajuhaittoja hajutuntien lukumäärien avulla. Tutkittava alue muodostuu ruudukosta, ja jokaiselle tarkastettavan alueen ruuduille määritetään hajutuntien määrä (kuva 3). Mittauspisteellä panealisti kirjaa hajuhavaintonsa 10 sekunnin välein 10 minuutin ajan. Hajutuntien määrittely täyttyy, kun hajua siintyy 10 prosenttia tai enemmän. [31, s. 16.]

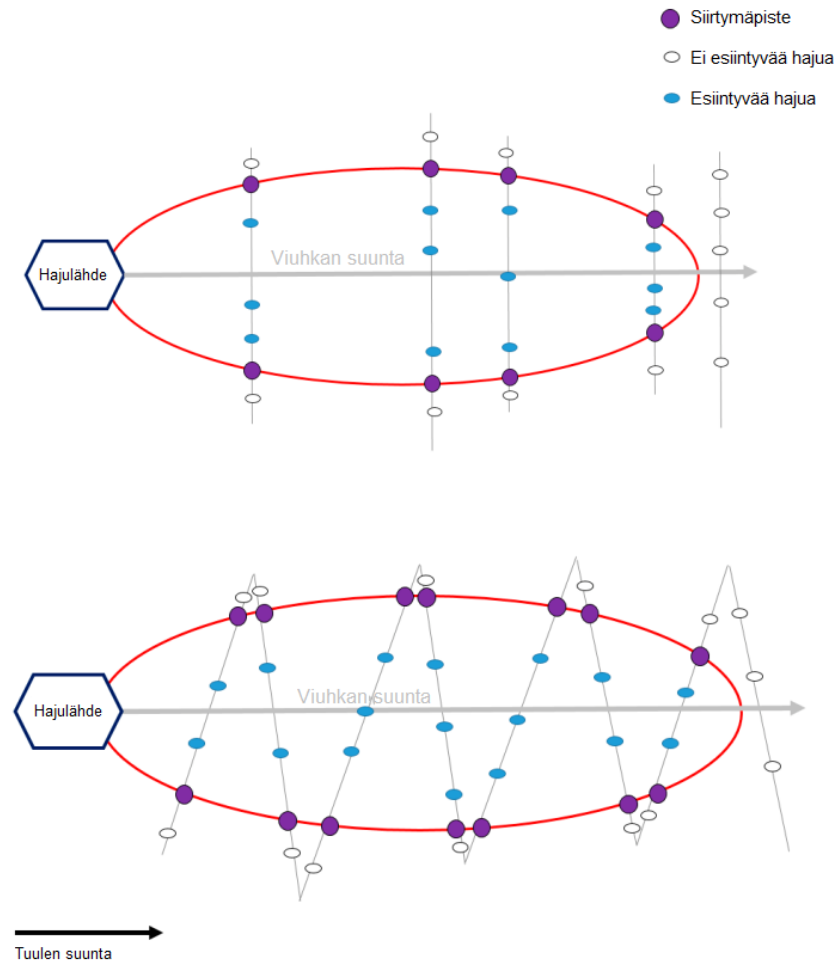
Ruudun kulmien mittauspisteiden hajuhavainnot lasketaan yhteen ja saadaan hajun esiintymistiheys. Esiintymistiheys esitetään prosentteina kokonaisajasta, jolloin voidaan arvioida asukkaiden pitkäaikainen altistumistaso. [31, s. 16.]



Kuva 3. Esimerkkikuva hajukartoituksen tutkimusalueen ruudukosta, hajulähteestä ja mittauspisteistä [31, s. 16].

Plume method -menetelmällä määritetään hajuviuhkan rajat. Muutoin hajujen havainnointi toimii samalla tavalla kuin edellisessä menetelmässä. Hajuviuhkan rajaamista voi

suorittaa kahdella menetelmällä: stationaarisella tai dynaamisella tavalla. Stationaarisessa menetelmässä hajupaneeli kulkee tietyistä kohdista kohtisuoraa tai dynaamisessa menetelmässä kulkemalla siksakkia (kuva 4). [31, s. 17.]



Kuva 4. Ylempänä kuvassa on staattinen hajuviuhka ja alempana dynaaminen hajuviuhka [31, s. 17].

5.3 Asukaspaneelitutkimus

Asukaspaneelitutkimuksessa asukkaat toimivat havainnoitsijoina ja kirjaavat ylös hajuhavainnot omassa kotiympäristössään. Tutkimus on pitkäkestoinen ja voi kestää 4–12 kuukautta. Menetelmällä on mahdollista selvittää havaintotietojen avulla hajun esiinty-

mistiheys ja luonne sekä hajupäästöjen aiheuttajan vaikutusalue. Asukaspaneelista saadut tulokset ovat aina sidottuna kyseiseen paikkaan, eikä saatuja tuloksia voi soveltaa toiseen tilanteeseen. [10, s. 14.]

Paneeliin valitaan yleensä satunnaisesti alueelta yli 16-vuotiaita, joilla on omasta mielestään normaali hajuaisti. Satunnaisella valinnalla pyritään saamaan otanta vastaamaan normaaliväestöä. Panelistien hajuaistia on mahdollista testata määrittämällä hajukynnys rikkivedylle tai butanolille, jolloin voidaan karsia liian hyvän tai huonon hajuaistin omaavat henkilöt paneelista, mutta se ei ole kuitenkaan aina välttämätöntä. Riippuen tutkittavan alueen koosta ja hajulähteiden määrästä paneeliin valitaan yleensä 25–50 henkilöä. [10, s. 14.]

5.4 Kertakysely

Kertakysely on periaatteeltaan samankaltainen kuin asukaspaneelitutkimus, mutta havaitsijoiden määrä on paljon suurempi ja tutkimuksen kertaluonteisuuden takia menetelmällä ei saada niin luotettavia tuloksia. Kertakysely toteutetaan sähköisesti tai puhelimitse, jolloin asukkaat arvioivat ympäristönsä hajun esiintymistä ja sitä miten vakavaksi viihtyisyshaitaksi haju koetaan. Tulokset perustuvat asukkaiden omaan muistikuvaan eikä esimerkiksi hajupäiväkirjaan. Menetelmän luotettavuutta voidaan parantaa huolehtimalla osanottajien riittävästä määrästä ja lisäämällä kyselyyn useampia hieman toisistaan poikkeavia kysymyksiä viihtyvyshaitasta, jolloin voidaan vertailla tilastollisesti. Kertakysely on käyttökelpoinen, kun halutaan selvittää esimerkiksi hajuvalitusten aiheellisuus tai hajupäästöjen vähentämisen tehoa tai tarpeellisuutta. [10, s. 18.]

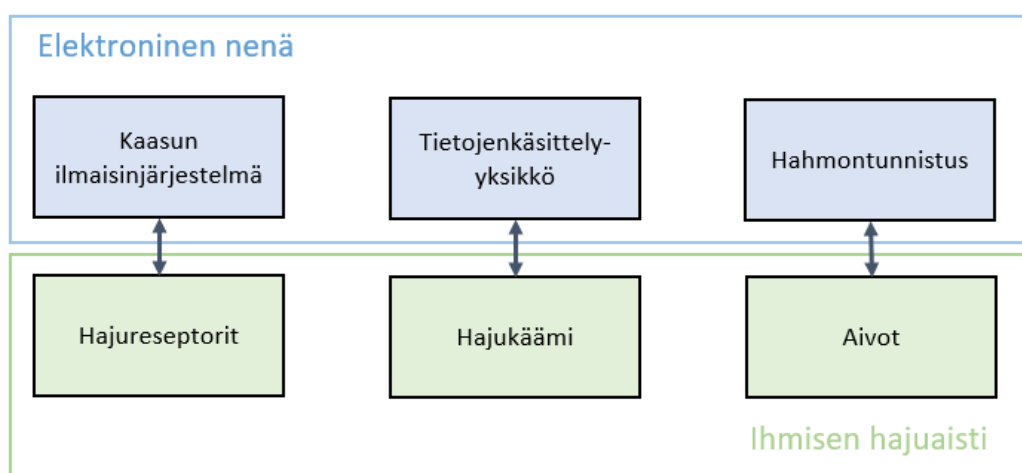
5.5 Elektroninen nenä

5.5.1 Toimintaperiaate

Elektroninen nenä on verrattain nuori menetelmä, mutta se on kehittynyt merkittävästi ja elektronisella nenällä on useita soveltamisaloja. Elektroninen nenä on herättänyt erityistä mielenkiintoa ympäristöalalla, sillä se edustaa tällä hetkellä ainoana instrumenttia, jolla pystyy seuraamaan jatkuvasti ja reaaliaikaisesti hajupäästöjä ulkoilmassa. [37, s. 2.]

Elektroninen nenä on laite, joka on suunniteltu jäljittelemään biologista nenää havaitsemaan sekä luonnehtimaan yksinkertaisia tai monimutkaisempia hajuja. Instrumentilla voi havaita ja tunnistaa tiettyjä hajuja analysoimalla läsnä olevia kemikaaleja ja vertaamalla niitä ennalta ohjelmoituun ”hajujäljen” tietokantaan. Elektroninen nenä soveltuu hajulähteiden ja alueen päästöjen jatkuvaan seurantaan. [38.]

Instrumentti mahdollistaa orgaanisten hajukaasuseosten tunnistamisen kokonaisuutena, ilman että tunnistaa yksittäiset hajua aiheuttavat yhdisteet, kuten ihmisenäkin. Elektronista nenää ei voida ottaa suoraan käyttöön mittaamaan hajupäästöjä vaan sitä ennen se on koulutettava. Instrumentin kouluttaminen tapahtuu analysoimalla hajunäytteitä, joiden ominaisuudet ovat etukäteen tiedossa eri hajupitoisuuksilla. [38.] Kun instrumentti analysoi hajunäytettä, se tuottaa hajuaineiden fysikaalis-kemiallisista ominaisuuksista riippuvan sähköisen vasteen, joka muodostaa hajusta profiilin eli hajujäljen. Näistä hajujäljistä syntyy tietokanta, johon instrumentti vertaa mittauksia. [39, s. 4.] Kuvassa 5 esitetään elektronisen nenän rakenne pääpiirteittäin.



Kuva 5. Elektronisen nenän rakenne [31, s. 13].

Elektronisen nenän rakenne voidaan jakaa seuraaviin kolmeen komponenttiin:

- Kaasunilmaisinjärjestelmä (engl. gas detection system): Kaasunilmaisinjärjestelmässä on n määrä kaasusensoreita. Tämä järjestelmä jäljittelee biologisen nenän hajureseptoreita.

- Tietojenkäsittely-yksikkö (engl. data processing unit): Tietojenkäsittely-yksikkö toimii elektronisen nenän hajukäminä, sillä se organisoii saatuja tietoja reseptoreista.
- Hahmontunnistus (engl. pattern recognition): Aineen ominaisuudet analysoidaan tietokoneen avulla algoritmilla, joka tunnistaa hajut perustuen aikaisempaan tallennettuun tietokantaan. [31, s. 13.]

Elektronisen nenän näytteenotto toimii vakuumpumpulla, joka jatkuvasti imee ilmaa putken kautta kemiallisesti inerttiin laatikkoon, jossa sensorit sijaitsevat. Haihtuvat hajuyhdisteet reagoivat sensorien aktiiviseen materiaaliin tuottaen transienttivasteen, joka saavuttaa vakaan tilan muutamassa minuutissa. Tämän ajan aikana sensorivasteet tallentuvat ja siirtyvät signaaliprosessoriin. [31, s. 13.]

Elektroninen nenä tunnistaa hajunäytteen tiedonkäsittelyllä, jonka vaiheet koostuvat seuraavasti:

- signaalin esikäsittely ja ominaisuuksien erottaminen
- dimensioiden vähentäminen
- luokittelu tai klusterointi.

Signaalin esikäsittely parantaa tuloksien luotettavuutta, ja ominaisuuksien erottamisen pyrkimyksenä on saada haluttuja tietoja hahmontunnistamiseen. Dimensioiden vähentämismenetelmän tarkoituksena on datan tutkimisen yksinkertaistaminen pienentämällä tietoaineiston ulottuvuutta niin, että olennaiset piirteet tietoaineistosta pysyvät muuttumattomina. Ominaisuuksien erottaminen voidaan suorittaa esimerkiksi pääkomponenttianalyysillä (engl. PCA, principal component analysis), lineaarisella diskriminanttiallyysillä tai Sammon-kuvauksella. Tämän jälkeen voidaan vertailla ja luokitella hajujälkiä tietokantaan, joka on koostettu instrumentin koulutusvaiheessa. Yleensä luokitteluun sovelletaan seuraavia algoritmeja: lähimmän naapurin menetelmä (engl. k-nearest neighbors, k-NNs), tukivektorikone (engl. support vector machine, SVM), satunnainen metsä

(engl. random forest, FR) ja keinotekoiset neuroverkot (engl. artificial neural networks (ANNs)). [31, s. 13–14.]

5.5.2 Soveltaminen ja rajoitukset

Elektronisen nenän suuri hyöty on se, että tekniikkaa voidaan käyttää alueen toimintojen hajupäästöjen pitoisuuksien ja laadun jatkuvatoimiseen seurantaan sekä lähiasuinalueiden seurantaan. Instrumentti pystyy erottelemaan hajulähteet, jotka ovat eniten vastuussa hajupäästöistä. Sitä voidaan myös soveltaa hajupäästöjen vähentämisen tehokkuuden seuraamiseen. Elektroniset nenät eivät kuitenkaan pysty antamaan tietoa hajujen voimakkuudesta eikä miellyttävyyssasteesta. [31, s. 14.] Elektronisen nenällä hajulähteistä kerättyä dataa voidaan käyttää hajunleviämismallinnuksissa syöttöarvoina [40, s. 19990].

Elektronisella nenällä ei voida kuitenkaan täysin korvata dynaamista olfaktometriä, sillä instrumentti vaatii ennen käyttöä kouluttamista alueen hajunäytteillä, joiden ominaisuudet selvitetään dynaamisella olfaktometrialla. Dynaamisen olfaktometrian tuloksien ja sensorivasteiden välille määritetyn korrelaation kautta elektroninen nenä kykenee mittaamaan tuntemattomia hajunäytteitä. Hahmontunnistamisen kehityksen ansiosta tuntemattomien näytteiden tunnistaminen on parantunut. Sironi ym. suorittivat kenttätutkimuksen, jossa seurattiin italialaisen kompostointilaitoksen hajupäästöjä neljällä instrumentilla. Kaksi instrumenttia asennettiin kompostointilaitokseen ja kaksi lähiasuinaluuelle. Instrumenttien optimoinnin jälkeen hajupäästöjen luokittelun tarkkuus oli 96,4 prosenttia ja hajupitoisuuden määrittämisen tarkkuus oli 90,2 prosenttia. Aluksi luokittelun tarkkuus oli 60,7 prosenttia, mutta kouluttamisen ja datan prosessoimisen kehittämisen ansiosta tarkkuus nousi huomattavasti. Tutkimuksen hajupäästöjen luokiteltavat luokat olivat: neutraali ilma, biojätekomposti ja biojäte. [41, s. 341–342]

Dentoni ym. (2012) tutkivat tutkimuksessaan uutta EOS 507 -elektronista nenää, jonka tarkoituksena on mitata ulkoilmassa hajupäästöjä vaihtelevissa sääolosuhteissa. Edellinen malli elektronisesta nenästä oli pääsääntöisesti tarkoitettu laboratoriokäyttöön. Instrumentissa on itsessään automaattinen näytteiden laimennus instrumentin kouluttamista varten. Tämä mahdollistaa sen, että alkuperäistä näytettä voidaan laimentaa tietyssä

suhteessa. Automaattisella laimennuksella saadaan alkuperäisestä näytteestä pitoisuuskaala 10 prosentista 100 prosenttiin ilman manuaalista laimentamista sekä useamman näytteen valmistamista. [14.]

Instrumentin kykyä tunnistaa näytteiden yhdisteet ja niiden pitoisuuksia tutkittiin laboratorio-olosuhteissa limoneenilla, etanolilla ja dimetyylisulfidilla, jotka olivat puhtaita yhdisteitä. Kokeessa todettiin, että EOS 507 kykeni erottamaan hyvin näytteet, jotka sisälsivät kolme eri yhdistettä. Yhdisteiden hajupitoisuus oli 50–360 OU/m³. Koe tosin rajoittui vain kahteen yhdisteeseen, sillä instrumentti ei ollut tarpeeksi herkkä mittaamaan dimetyylisulfidia. Laboratorioanalyysit olivat lupaavat, sillä korrelaatiokertoimet olivat molemmille yhdisteille 0,99. [14.]

Elektroniset EOS 507 -nenät sijoitettiin kenttätutkimuksessa kymmeneksi päiväksi kahdelle jätteenkäsittelykeskukselle ja yhdelle öljynpuristamolle, joita pidetään hajulähteinä. Lisäksi kaksi instrumenttia sijoitettiin asuinalueelle. Asuinalueen elektronisiin neniin rekisteröity harvoin jätteenkäsittelykeskusten ja öljynpuristamon hajupäästöjä. Elektroninen nenä havaitsi suurimmasta ajasta neutraalia ilmaa (noin 70 % ajasta) ja tunnistamaton ilmaa (noin 25 % ajasta). Elektroninen nenä luokitteli hajut tuntemattomiksi, kun hajuprofiili ei ollut yhteensopiva minkään tietokannassa olevan hajuprofiilin kanssa. Tämä voi indikoida alueen muun hajulähteen päästöä, jota ei ole huomioitu instrumentin koulutusvaiheessa. Instrumentista saadusta datasta voidaan piirtää kuvaaja, josta voidaan nähdä suoraan hajupiikkejä, jotka voivat vastata hajujaksoa. [14.]

Elektronisen nenän sensorit ovat herkkiä lämpötilan ja kosteuden vaihteluille, joten laitteella on oltava näiden säätöjärjestelmä, jolloin instrumenttia voidaan käyttää ulkoilmassa. Sensorit voidaan myös kapseloida [14]. Ilmiötä, jossa sensorien lähtösignaali alkaa hitaasti muuttumaan mitattavasta ominaisuudesta riippumatta, kutsutaan ajelehtimiseksi. Ajelehtiminen on sensoreille tyypillistä, mikä aiheuttaa epätarkkuutta. Romainin ym. kolmen vuoden kestäneessä tutkimuksessa havaittiin, että sensorien ajelehtimisen takia instrumentin hajujen luokittelun tarkkuus putosi 98 prosentista 20 prosenttiin. Tutkimuksen tulokset korostavat instrumentin toistuvaa kouluttamisen tärkeyttä sekä sensorien automaattista ajelehtimisen kompensoimista. [43, s. 271–277.] Esimerkiksi Capelli ym. kehittivät elektronisen nenän, jossa oli sisäinen kalibrointijärjestelmä, joka arvioi sensorin ajelehtimisen päivittäin, ja se kompensoitiin sopivalla algoritmilla [44, s. 309–314].

Elektroninen nenä ei korvaa muita kemiallisia analyysimenetelmiä, mutta se voi tarjota hyödyllistä tietoa, jota ei ole välttämättä mahdollista saada muilla menetelmillä. Verrattuna ihmisarvioijiin perustuviin menetelmiin elektroninen nenä tarjoaa halvempaa, reaaliaikaista ja jatkuvakestoista seuranta. [40, s. 19999.] Kuvassa 6 on esimerkkejä elektronisista nenistä. Oikeanpuolinen kuva on kuva elektroninen nenä -robotista, jota kehitettiin Gonzalez-Jimenezin ym. tutkimuksessa. Robotin haasteena oli sensorien pitkä palautumisaika, jonka vuoksi robotin pitää liikkua niin hitaasti, että sen käytännöllinen arvo jää pieneksi. Ongelma saatiin korjattua osittain koostamalla useampi identtinen sarja MOS-sensoreita neljään erilliseen kammioon eli monikammioinen elektroninen nenä (engl. multi-chamber electronic nose, MCE-nose). [45, s. 6162.]



Kuva 6. Esimerkkejä elektronisista nenistä: vasemmalla on EOS elektroninen nenä Capellin ym. [44] ja oikealla liikkuva MCE-nenä Gonzalez-Jimenezin ym. [45] tutkimuksessa.

5.6 Kaasukromatografia analyysimenetelmät

5.6.1 Kaasukromatografia-massaspektrometri (GC-MS)

Kaasukromatografia-massaspektrometri (GC-MS) on menetelmä, jonka avulla voidaan luonnehtia hajuja tunnistamalla ja kvantifioida kemiallisia yhdisteitä hajunäytteestä. Kaasukromatografia-massaspektrometrin yhdistelmässä hyödynnetään kaasukromatografian kykyä erottaa hajunäytteestä eri yhdisteet ja massaspektrometrillä identifioidaan kyseiset yhdisteet. [31, s. 5.]

GC-MS:llä voidaan saada hyvin olennaista tietoa kaasupäästöjen kemiallisesta koostumuksesta, jotta voitaisiin arvioida päästöjen vaikutuksia ympäristöön ja ihmisterveyteen sekä tarkkailla, että päästöt noudattavat raja-arvoja. [31, s. 5.]

Mainitulla analyysimenetelmällä ei saada suoraan tietoa hajupitoisuudesta. Hajupitoisuus voidaan kuitenkin arvioida kemiallisen koostumuksen perusteella laskemalla yhdisteen hajun aktiivisuusarvo (engl. odor activity value, OAV) laskentakaavalla seuraavasti [31, s. 5.]:

$$OAV = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{OT_i} \quad (1)$$

jossa OAV = hajun aktiivisuus arvo (HY m^{-3}), C_i = yhdisteen i pitoisuus (mg m^{-3}) ja OT_i = yhdisteen i hajukynnys (mg hy^{-1}).

Tämä menetelmä tarjoaa riittävän arvioinnin hajupitoisuudesta hajunäytteistä, jotka sisältävät muutaman yhdisteen. Menetelmässä tulee pian ongelmia vastaan hajupitoisuuden arvioinnissa, jos hajunäyte on monimutkaisempi seos. Esimerkiksi kompostointilaitoksen hajupäästöt ovat usein monimutkaisia seoksia ja niiden hajupitoisuuden määrittäminen laskentakaavan pohjalta on hyvin vaikeaa. Syyt tähän ovat, että luotettavien hajukynnysarvojen löytäminen on vaikeaa eikä menetelmä kykene huomioimaan hajuyhdisteiden yhteisvaikutuksia. [31, s. 5.]

5.6.2 Kaasukromatografia-massaspektrometri-olfaktometria (GC-MS-O)

Kaasukromatografia-massaspektrometri analyysimenetelmän voi yhdistää myös olfaktometriaan, jolla voidaan havaita kaasukromatografian erottamat yhdisteet ihmisen hajuaisilla. Hajunäyte menee ensin kaasukromatografian kautta, ja hajunäytettä jaetaan samansuuruisena annoksena massaspektrometriin sekä olfaktometriin. Koulutettu hajupanelisti haistaa hajukaasua olfaktometrissä ja määrittää hajun laadun sekä voimakkuuden. [31, s. 7.]

Menetelmää sovelletaan yleisesti määrittämään hajupäästöjen laatua ja määrää sekä määrittämään yhdisteet, jotka ovat päävastuullisia hajuhaitoista [31, s. 8].

5.7 Liekki-ionisaatio- ja fotoionisaatiodekton

Liekki-ionisaatio- ja fotoionisaatiodekton (FID ja PID) toimintamenetelmät ovat samankaltaiset, ne vain poikkeavat ionisaatiomekanismin kannalta. FID ja PID ovat ei-selektiivisiä ilmaisia, jotka pyrolysoivat näytteen, jotta saadaan ionisoitavien kemikaalien pitoisuus näytteestä. FID ionisoi liekillä ja PID ionisoi ultraviolettivalolla. Koska FID ionisoi liekillä, se vaatii vetypullon toisin kuin PID. PID:llä ei pysty havaitsemaan metaania. Nämä analysointorit pystyvät määrittämään kokonais-VOC-yhdisteiden pitoisuuden. Ei-selektiivinen kemiallinen analyysimenetelmä on hyvin hyödyllinen esimerkiksi kaatopaikkojen kaasuvuotojen havaitsemisessa. Vuotokohdista voi aiheutua hajupäästöjä. Kokonais-VOC-yhdisteistä ei voida kuitenkaan päätellä suoraan hajupitoisuutta. FID- ja PID-laitteet ovat helposti kannettavia analysointoreita, jotka lisäksi ovat suhteellisen halpoja työkaluja. [31, s. 10.]

5.8 Yhden kaasun mittarit

Harvinaisissa tapauksissa, joissa hajuhaittojen aiheuttama ongelma johtuu pääasiassa yksittäisestä yhdisteestä, voidaan saada luotettava määrittäminen määrittämällä nämä yksittäiset kaasut. Ympäristöseurannassa tyypillisesti mitataan ammoniakkia ja rikkivetyä. Näitä kaasuja voidaan kutsua merkkikaasuiksi, sillä ne antavat viitteitä hajupäästöistä. Yksittäisten kaasujen kemiallista analyysiä voidaan soveltaa hajukaasupäästöjen ja ulkoilman mittaamiseen. Esimerkiksi voidaan seurata niiden hajukaasujen pitoisuuksia, joille on määrätty raja-arvot. Jos hajupäästö on suoraan tietyn yhdisteen seurauksena, niin on mahdollista käyttää saatuja arvoja leviämismallintamiseen. Jotta voidaan käyttää saatuja arvoja leviämismallintamiseen, on määritettävä yhdisteen pitoisuuden korrelaatio hajupitoisuuteen. [31, s. 11–2.]

Elektrokemialliset ilmaisimet ovat helppokäyttöisiä ja suhteellisen halpoja. Ne sopivat korkeampien pitoisuuksien mittaamiseen (1–10 ppm). Anturin kemiallisesti selektiivinen kerros reagoi halutun kaasun kanssa tuottaen sähkövirtaa, jonka määrä on verrannollinen kaasun pitoisuuteen. Pienimmille pitoisuuksille (ppb) tarvitaan monimutkaisempi laite, joka on myös kalliimpi esimerkiksi kemiluminesenssitunnistin ammoniakkin tunnistamiseen ja kultakalvoanalysointori rikkivedyn tunnistamiseen. [31, s. 11.]

Kemiluminesenssitunnistimen toiminta perustuu nimensä mukaisesti kemiluminesenssi-reaktioon. Tunnistin muuttaa ammoniakkin typpioksidiksi ja hyödyntää reaktiota, joka säteilee valoa. Kemiluminesenssi on verrannollinen typpioksidin pitoisuuteen. Kultakalvoanalysointilaitteisto mittaa rikkivetyä kaasusta tarkkailemalla kultakalvolla tapahtuvaa resistanssin muutosta, joka aiheutuu rikkivedyn molekyylien adsorptiosta. [31, s. 11.]

5.9 Leviämismallinnus

Leviämismallinnus on matemaattinen tapa tutkia hajupäästöjen kulkeutumista ilmakehässä ja toiminnoista aiheutuvien päästöjen määrää ympäristössä. Hajujen leviämismallinnus on erityisen tärkeää, kun sijoitetaan hajua aiheuttavia toimintoja asuinalueiden läheisyyteen tai kun alueelle on suunnitteilla uusia asuinalueita. [39, s. 42–43.] Leviämismallilla voidaan siis matemaattisesti simuloida hajupitoisuuden alueelliset ja ajalliset vaihtelut nykyhetkessä ja tulevaisuudessa [33, s. 5].

Leviämismallinnus hyödyntää alueen todellisia sääolosuhteita kuvaamaan hajuyhdisteiden leviämistä ja laimenemista ilmakehässä. Meteorologisten tietojen lisäksi leviämismalli tarvitsee teknisiä tietoja hajupäästölähteestä ja hajupäästöjen määrästä sekä niiden ajallisesta vaihtelusta. Päästölähteiden hajuyksikkömääritys tehdään aikaisemmin mainitulla menetelmällä dynaamisella olfaktometrillä standardin mukaisesti. [39, s. 43.]

Tavanomaisilla leviämismalleilla lasketaan tunnin pitoisuuden keskiarvoajalla olettaen, että sääolosuhteet ja päästö pysyvät samana tunnin ajan. Hajun leviämistä arvioitaessa ei voida laskea tuntikeskiarvolla, sillä se aliarvioi hajujen esiintymistä. Keskiarvoaikana käytetään yleensä yhtä tuntia, jolloin saadaan yhden tunnin keskimääräinen hajupitoisuusarvo. Tuntikeskiarvo kuitenkin aliarvioi hajujen esiintymistä, sillä ihmiset pystyvät haistamaan hyvin lyhytaikaisia hajupitoisuuksiakin. Tuntikeskiarvon lisäksi voidaan arvioida jopa alle minuutin pitoisuudet. [12, s. 43.]

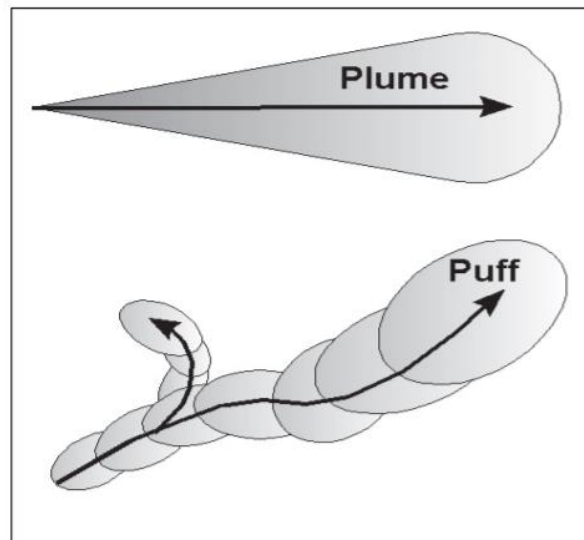
Hajuyhdisteiden leviämismallilla voidaan arvioida hajujen esiintymistä myös ilman, että hajupitoisuus olisi määritetty olfaktometrisesti. Hajupäästöjen koostumus voidaan selvittää kemiallisten analyysien avulla ja voidaan tehdä oletuksia hajun esiintymisestä haistavimman yhdisteen mukaan. Leviämismallista saadaan todenmukaisempaa tietoa hajun esiintymisestä, kun mallinnukseen sovelletaan päästöjen hajuyksikkömäärityksiä.

Leviämismallinnuksella kuvataan hajujen esiintymistä aluejakaumina hajulähteen ympäristössä. Hajun esiintyminen kuvataan prosentteina vuoden tunneista. Tuloksien avulla voidaan määrittää, aiheuttavatko hajua tuottavat toiminnot haittaa alueen asukkaille. [39, s. 43.]

Yleisesti monia erilaisia leviämismalleja voidaan käyttää simuloimaan hajun leviämistä ilmakehään [33, s. 732]. Yleisimmät ja yksinkertaisimmat leviämismallit ovat gaussilaisia malleja. Gaussilaiset mallit ovat stationaarisia malleja eli malleissa oletetaan, että meteorologiset olosuhteet sekä päästöt pysyvät ajan eri hetkillä vakioina. Gaussilaisessa mallissa hajuyhdisteiden leviäminen noudattaa normaalijakaumaa pysty- ja vaakasuunnassa. Ne soveltuvat hyvin avoimen ja tasaisen alueen leviämismallintamiseen. Gaussilaiset mallit eivät kykene simuloimaan luotettavasti alhaisilla tuulen nopeuksilla, ja siksi yleensä malleille määritetään minimi tuulen nopeus. [46, s. 5–7; 21.] Maanpinnan korkeuserot ja rakennukset vaikuttavat ilmapvirtauksiin ja nämä voidaan huomioida malleissa rosoisuusparametrilla tai 3D-maastomallin avulla, esimerkiksi uusissa AERMOD-mallin versioissa. Mallit eivät kuitenkaan sovi kovin hyvin sellaisiin kohteisiin, joissa rakennukset aiheuttavat kuilumaisia tai puolikuilumaisia esteitä katujen reunoille. [47.]

Päästöjen leviämiseen voivat vaikuttaa erilaiset esteet, kuten rakennukset. Tällöin päästöt voivat suuntautua alaspäin. Tästä ilmiöstä käytetään nimitystä *downwash*, jonka suomenkielinen vastine on savupainuma. Ilmiö voi syntyä myös päästölähteen ominaisuuksista tai lähirakennuksista. Savupainumatilanteissa päästöt eivät pääse laimentumaan riittävästi, ja alueen maantasolle voi muodostua korkeita pitoisuuksia. [48, s. 20, 46.] Useimmat leviämismallit pystyvät huomioimaan rakennusten vaikutukset asettamalla mallin syöttöarvoiksi rakennuksen sijainnin ja korkeuden [33, s. 734].

Puff-malli (engl. puff model) on dynaaminen leviämismalli, joka on kehittyneempi malli gaussilaisesta pluumimallista. Malli simuloi päästöt lähteestä erkanevina *puffeina* eli pieninä pilvinä, jotka liikkuvat meteorologisten olosuhteiden mukaan (kuva 7). [33, s. 733.]



Kuva 7. Laskentamallien erot päästön kulkeutumisessa pluumi- ja puff-mallissa [49, s. 5].

Euler- ja Lagrange-malleilla voidaan simuloida päästöjen leviämistä tasaisella ja vaihtelevissa maastonmuodoissa. Euler-mallissa on kiinteä kolmiulotteinen koordinaatisto ja Lagrange-mallissa on hajupäästöpluumin mukaan liikkuva koordinaatisto. Euler-malliin on mahdollista sisällyttää erilaisia leviämisen aikana tapahtuvia prosesseja, esimerkiksi ilmakemiallisia ja -fysikaalisia muutuntareaktioita sekä laskeumamekanismeja. [47.] Mallien rajoitteena on puutteellinen tieto turbulenssin mekanismeista, ja monimutkaiset simulaatiot vaativat hyvin korkeaa laskenta-aikaa [33, s. 733].

Monimutkaisimmat mallit ovat virtausmalleja (engl. Computational Fluid Dynamics, CFD). Mallien laskentayhtälöt perustuvat massan, liikemäärän ja energian säilymiseen. Virtausmalleilla voidaan simuloida erittäin tarkasti päästöjen leviämistä ja muutunutta. CFD-mallin soveltaminen vaatii paljon laskenta-aikaa simulaation toteuttamiseen. [47.]

Hajun leviämisen mallintamiseen käytetään usein gaussilaisia malleja (esimerkiksi AERMOD) ja CALPUFF-mallia, joka on tyypiltään lagrange-malli. Viimeaikaiset tutkimukset suosivat CALPUFF-mallia gaussilaisten mallien rajoittuneisuuden vuoksi. Lisäksi tutkimukset ovat todenneet, että AERMOD yliarvioi merkittävästi pitoisuuksia vakaisissa ilmakehän olosuhteissa. [33, s. 733.] CALPUFF-mallissa päästö voi kulkeutua mutkitellen ja jakaantua maastomuotojen mukaan toisin kuin AERMOD-mallissa, kuten kuvassa 1 näkyy. CALPUFF-malliin liittyy kiinteästi CALMET-säämalli, jolla lasketaan tuulten ja muiden sään parametrien sekä maaston vaikutus ennen CALPUFF-ajoa. CALPUFF-malli

vaatii myös enemmän laskentatehoa kuin AERMOD. [49, s. 4.] Taulukossa 3 esitetään muita leviämismalleja, joita on mahdollista soveltaa hajupäästöjen leviämisen mallintamiseen.

Taulukko 3. Hajupäästöjen leviämiseen sovellettavia malleja [46, s. 6–7].

Mallin nimi	Mallin kuvaus	Mallin tyyppi	Kehittäjä/Maa
AERMOD	Mahdollistaa ennustettujen ja mitattujen tietojen erilaisista lähteistä (piste, volume ja alue)	Gaussilainen pluumimalli	EPA, USA
LODM	Kehitetty karjatilojen hajupäästöjen esiintymisen mallintamiseen		University of Saskatchewan, Kanada
STINK	Laskee hajupäästöarvot maatason pintahajulähteistä	Gaussilainen malli	Queensland Department of Primary Industries, Australia
OdiGauss-ohjelma	Monikielinen ohjelmistosovellus useiden hajulähteiden leviämismallintamiseen ja karttojen luomiseen	Gaussilainen malli	Univesity of Udine, Italia
INPUFF-2	Mallilla voidaan simuloida ilman epäpuhtauksien leviäminen jatkuvasta pistelähteestä	Gaussilainen puffimalli	EPA, USA
CALPUFF	Yhdysvaltain ympäristöministeriön EPA:n suosittelema leviämismalli	Lagrange-malli	Sigma Research Corporation
CALGRID	Hyvin tarkka malli verrattuina muihin malleihin. Soveltuu laajasti eri mittakaavoihin.	Euler-malli	Yhdysvaltain ympäristöministeriön EPA:n hyväksymä leviämismalli

5.9.1 Leviämismallin validointi

Leviämismallin luotettavuuden ja toimivuuden varmistamiseksi on hyvin tärkeää validoida malli. Tällä hetkellä tutkimuselitykset kirjallisuudessa hajuleviämismallien validoinnista ovat rajalliset, vaikka kirjallisuudesta löytyy joitakin tutkimuksia leviämismallien validoimisesta merkkikaasututkimuksilla kenttäolosuhteissa ja tuulitunneleissa. Hajunleviämismallintamisen tapauksessa useamman merkkikaasun identifioiminen kompleksisesta lähteestä ei ole aina mahdollista ja yksittäinen hajuyhdiste ei riitä kuvaamaan hajuhavaintoa. Sen lisäksi analyysimenetelmällä saatu pitoisuus on vaikea yhdistää hajujominaisuuksiin. Näistä syistä ihmisen hajuaistiin perustuva havainnointi on hyvin olennainen asia hajuleviämismallien arvioinnissa. [33, s. 732.]

Hajujen esiintymistä voidaan arvioida kemiallisilla mittauksilla, jotka ovat helpompia toteuttaa verrattuna suoraan hajumäärittelyyn. Näiden menetelmien tuloksia ei ole tyypillisesti mahdollista vertailla keskenään. Kemiallisella analyysillä ei ole aina mahdollista tunnistaa hajulähteen päästön jokaista yhdistettä, minkä vuoksi sen soveltaminen leviämismallin validointiin on hankalaa. Joissakin tapauksissa on kuitenkin mahdollista määrittää hajulähteiden merkkikaasut, jotka voivat olla esimerkiksi rikkivety, rikkidioksidi tai ammoniakki. Toinen vaihtoehto on käyttää uutta merkkikaasua. Tyypillisesti leviämiskokeissa käytetään merkkikaasuna rikkiheksafluoridia (SF_6). Yhdiste sopii merkkikaasuksi hyvin, sillä se on reagoimaton, eikä sitä esiinny normaalisti ympäristössä. Lisäksi se on helppo havaita matalissa pitoisuuksissa ($\mu\text{g m}^{-3}$) optisilla mittausten menetelmillä. [33, s. 735.]

Hajulähteiden merkkikaasujen mitattuja pitoisuuksia voidaan käyttää leviämismallin syöttöarvoina, jolloin voidaan mallintaa merkkikaasun leviäminen. Tunnistettuja hajuyhdisteitä ei voida suoraan yhdistää hajuominaisuuksiin, mutta yhdisteille on mahdollista laskea hajuaktiivisuusarvo (ks. luku 5.1.6.), joka kertoo yhdisteiden hajupitoisuuden perustuen niiden hajukynnyksiin. [33, s. 735.]

Capellin ym. (2012) tutkimuksessa selvitettiin, miten mitattu hajupitoisuus korreloi kokonais-VOC-pitoisuuden ja VOC-yhdisteistä lasketun hajuaktiivisuusarvon kanssa. Lasketut hajuaktiivisuusarvot olivat monin kerroin pienemmät kuin mitatut hajupitoisuudet, mutta ne osoittivat kuitenkin huomattavasti suurempaa korrelaatiota ($R^2=0,836$) kuin kokonais-VOC-pitoisuudet ($R^2=0,393$). Lasketun hajuaktiivisuusarvon ja mitatun hajupitoisuuden merkittävä ero voi selittyä sillä, että on haastavaa määrittää hajukynnysarvoja luotettavasti. Kirjallisuudessa hajukynnysten arvot vaihtelevat suuresti. Capellin ym. (2012) tutkimuksen mukaan VOC-yhdisteiden hajuaktiivisuusarvo korreloi enemmän mitatun hajupitoisuuden kanssa, sillä hajuaktiivisuusarvossa huomioidaan eri yhdisteiden hajuominaisuudet. [50, s. 1402.]

Leviämismalli voidaan validoida mallintamalla merkkikaasujen leviämistä ja vertaamalla tuloksia esimerkiksi ilmanlaadun jatkuvatoimisiin mittaustuloksiin [51, s. 652]. Kentällä mitattujen yhdisteiden pitoisuuksien vertaaminen suoraan hajupitoisuuksien leviämismalliin ei ole suotavaa, sillä yhdisteiden pitoisuuksia on vaikea yhdistää hajuominaisuuksien kanssa.

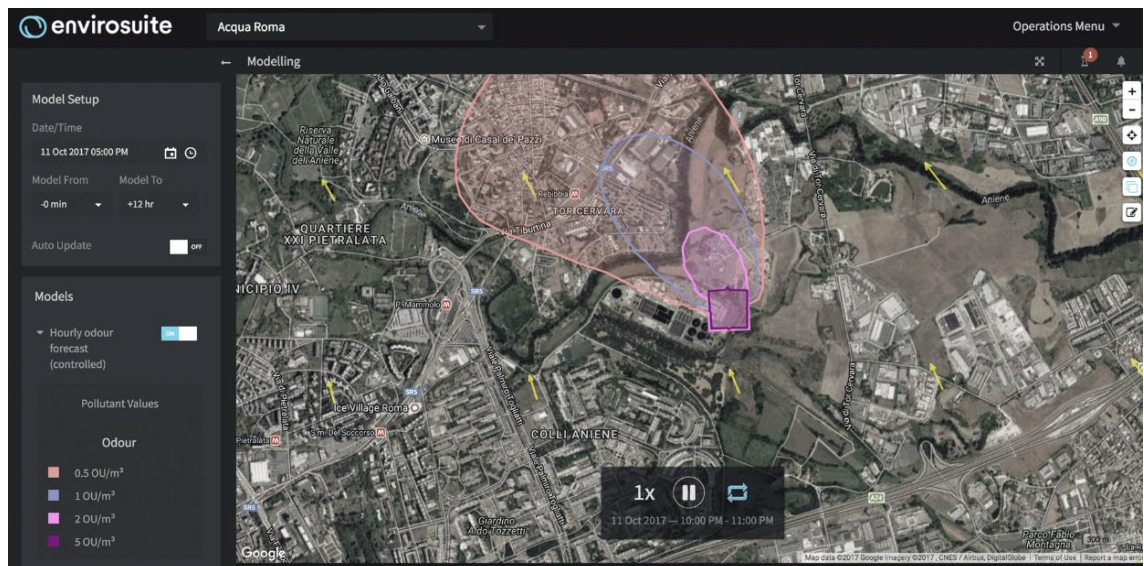
siin. Yhdisteille voidaan laskea hajuaktiivisuusarvo, jos halutaan verrata kentällä mitattujen yhdisteiden pitoisuuksia hajupitoisuuksien leviämismallin tuloksiin. Tällöin tulokset korreloivat paremmin hajupitoisuuden kanssa.

Leviämismallin validointi voidaan toteuttaa myös aistinvaraisesti. Sironi ym. (2010) selvittivät tutkimuksessaan asukaspaneelikyselyllä hajupäästöjen vaikutusten arviointia. Tarkasteltavalla alueella oli yhteensä neljä laitosta. Asukaspaneelikyselyn tuloksia sovellettiin käytetyn CALPUFF-leviämismallin arvioimiseen. Kyselyllä selvitettiin esiintyviä hajujaksoja (päivämäärä ja aika) tarkasteltavalta alueelta viiden kuukauden ajan. Kyselyt eivät olleet anonyymejä vaan nimi sekä koko osoite kirjattiin ylös. Asukkaiden ilmoittamia hajujaksoja verrattiin leviämismallin simulaation tuloksiin ajankohdan, keston ja havaintopisteen perusteella, jotta tiedettiin kuinka paljon ne vastaavat toisiaan. Kyselyn ja leviämismallin simulaation tulosten vertailulla päästiin 86,5 prosentin vastaavuuteen. Tutkimuksessa ei otettu kantaa hajun pitoisuuden simuloimisen tarkkuuteen vaan hajun havaitsemiseen, joka on 1 HY/m³. [52, s. 355–357, 360.]

5.9.2 Hajujen leviämisen mallinnusohjelmat

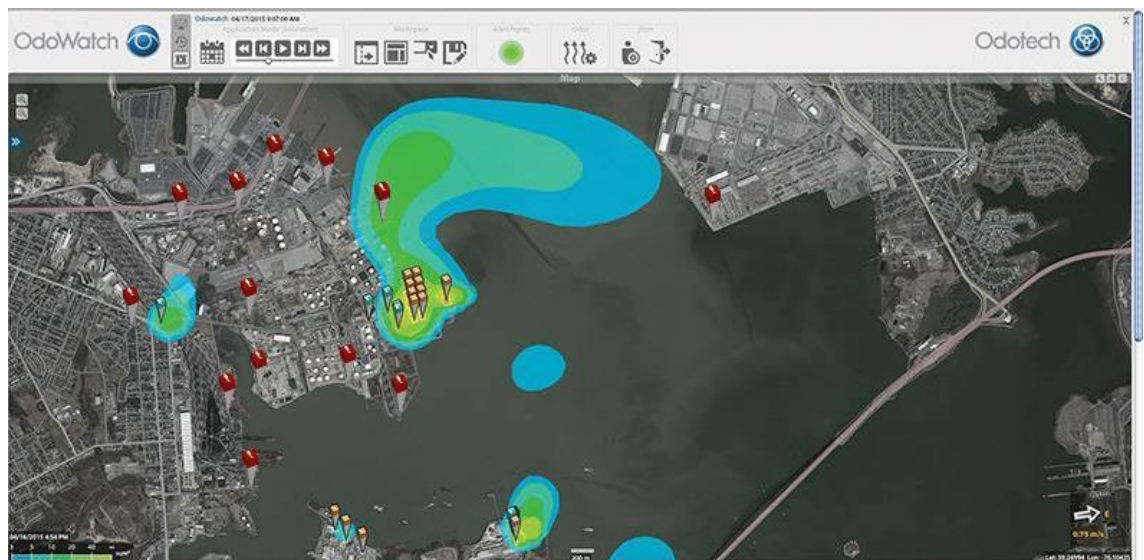
Markkinoilla on erilaisia ohjelmistoja, jotka tarjoavat työkaluja eri tahoille ilmapäästöjen seurantaan ja hallintaan. Tämänkaltaiset ohjelmat suorittavat jatkuvaa ilmapäästöjen leviämisen mallinnusta ja ohjelmiin on usein integroitu palautteiden hallinta, jotta nähdään suoraan ohjelmasta, milloin ja mistä palaute on tullut. [53; 54.]

Envirosuite tarjoaa selainpohjaista ohjelmistoa ilmapäästöjen hallintaan, joka perustuu CALPUFF-leviämismalliin (kuva 8). Reaaliaikaisia mittauksia voidaan hyödyntää mallinnuksessa ja ohjelmalla voidaan ennustaa hajuriskiä 72 tunnin päähän. [53.]



Kuva 8. EnviroSuite-hajunhallintajärjestelmä [53].

Odotecin hajunhallintaohjelmisto OdoWatch (kuva 9) on samantapainen toiminnoiltaan kuin EnviroSuite. Odotec tarjoaa ohjelmiston lisäksi mittauslaitteita, esimerkiksi elektronisia neniä. Mittauslaitteiden tuloksia voidaan hyödyntää reaaliaikaisesti suoraan ohjelmassa. [54.] EnviroSuite ja Odotec ovat käytännössä sama yritys, sillä EnviroSuite osti Odotecin vuonna 2017. Odotec omistaa patenteja ja laitteistoja, joihin kuuluu myös OdoWatch. [55.]



Kuva 9. OdoWatch-hajunhallintajärjestelmä [54].

6 Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen aikaisemmat hajuselvitykset ja mittaukset

6.1 Päästömittaukset

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa sijaitsee kompostointilaitos ja vanha kompostointilaitos, biokaasu- ja kaasuvoimala. Mainituista laitoksista tehdään tarkat päästöyhdistemittaukset. Vanhalla kompostointilaitoksella ja kompostointilaitoksella on määritetty piippujen ja muiden ulostulojen kautta hajupitoisuudet olfaktometrisesti standardin mukaan. Lisäksi olfaktometrisillä tutkimuksilla on selvitetty myös käännettyjen ja kääntämättömien kompostiaumojen sekä sekajätepaalivaraston aikana hajupitoisuuksia.

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa on myös kaksi kaatopaikkaa, joista suoritetaan vuosittain metaanimittauksia. Vanhan kaatopaikan jätteesijoittaminen on lopetettu. Metaanimittauksilla pyritään kartoittamaan kaasunkeräysjärjestelmän toimivuutta ja mahdollisia vuotokohtia. Metaani on hajuton eikä aiheuta itsessään hajuhaittaa, mutta metaanin mukana voi tavallisesti purkautua haisevia rikkiyhdisteitä. [26, s. 6.] Lisäksi kaatopaikkojen päästöjä on myös mitattu mikrometeorologisella mittausmenetelmällä yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen kanssa. Mittausmenetelmällä mitattiin metaanin ja hiilidioksidin päästöjä. [22.]

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen alueella on kaksi ilmanlaadun mittausasemaa. Mittausasemalla 1 (Äms1) mitataan pelkistyneiden rikkiyhdisteiden (TRS1) pitoisuuksia ja sääparametreja, kuten tuulen nopeutta ja suuntaa, lämpötilaa sekä sadantaa. Mittausasemalla 2 (Äms2) mitataan pelkistyneiden rikkiyhdisteiden (TRS2), hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ja pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) pitoisuuksia. [22.] Kuvassa 10 esitetään edellä mainittujen mittausasemien sijainnit.



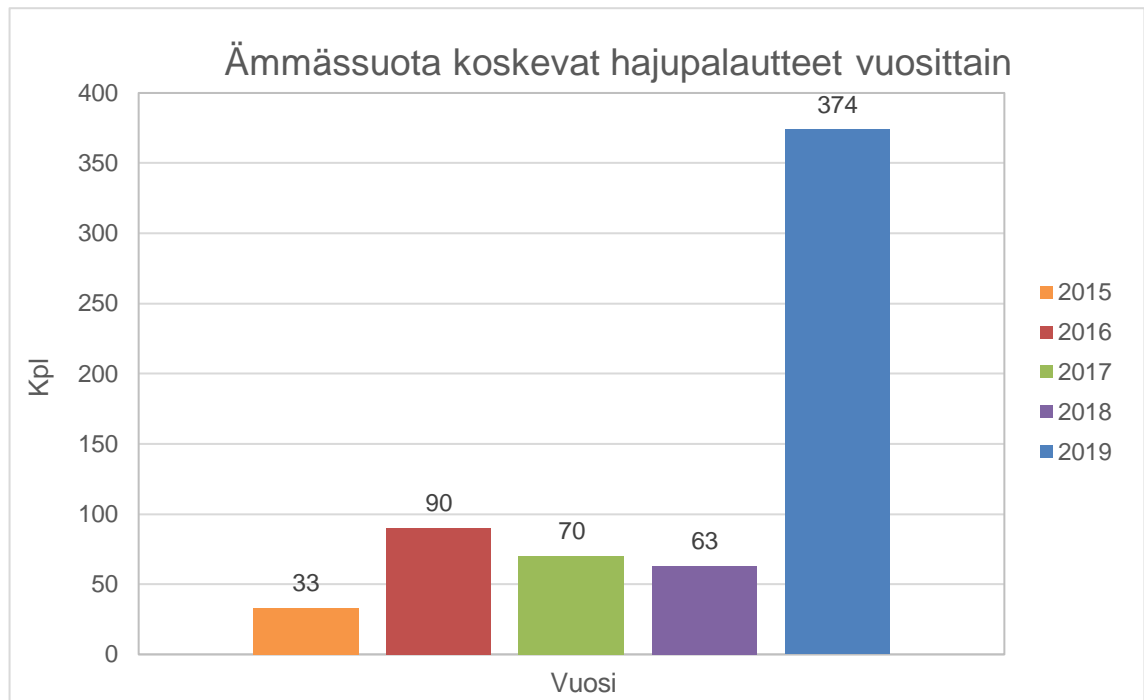
Kuva 10. Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen ilmanlaadun mittausasemien (Äms1 ja Äms2) sijainnit [17].

Lisäksi Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa on aloitettu kokeiluna ammoniakkimittaukset mittausasemalla 1 vuoden 2019 marraskuusta lähtien. Tänä vuonna on tarkoitus aloittaa ammoniakki- ja TRS-mittaukset kolmannella väliaikaisella asemalla. Asema sijoitetaan biojätteen käsittelyyn nähden itä- tai kaakkoispuolelle. Mittaustuloksilla pyritään saamaan enemmän ymmärrystä eri biojätteenkäsittelyprosesseista ja niiden yhteydestä aiheutuvaan päästöjen määrään. Tähän asti jatkuvatoimiset ammoniakkimittaukset eivät ole ylittäneet ammoniakin hajukynnystä, mutta ammoniakkimittaukset voivat mahdollisesti indikoida muiden hajuyhdisteiden leviämistä ympäristöön. Kokeilu suoritetaan yhteistyössä HSY:n seutu- ja ympäristötieto -osaston kanssa. [56.]

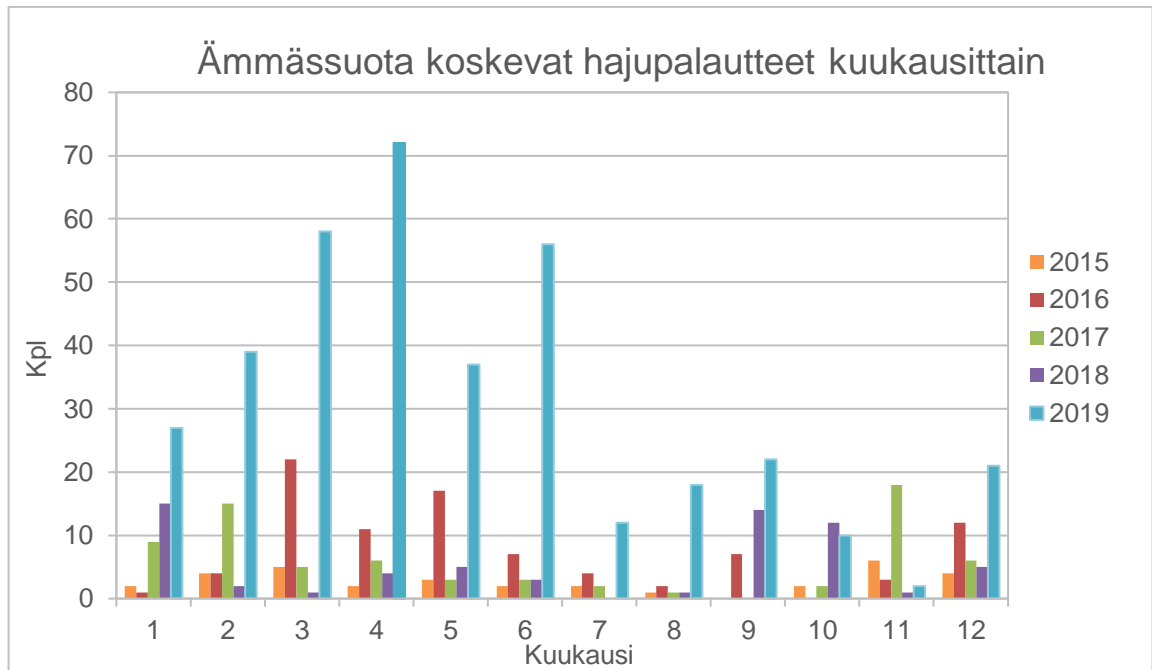
HSY:llä oli mittauspilotti Aeromon Oy:n kanssa 27.9.–11.10.2016, jossa selvitettiin, miten hyvin sensoreilla varustetulla dronella suoritettut päästömittaukset soveltuvat HSY:n toimintoihin Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa. Dronella kartoitettiin kaatopaikan metaanipitoisuuksia sekä erilaisia yhdisteitä kompostiaumoista sekä kompostointilaitoksesta. Kompostointilaitoksesta ja kompostiaumakentältä mitattiin ammoniakin, rikkivedyn, rikkidioksidin ja VOC-yhdisteiden pitoisuus. Pilotti oli onnistunut, ja se saavutti asetetut tavoitteet. Pilottiin ei kuulunut hajupitoisuuden mittaaminen. [57.]

6.2 Hajupalautteet

HSY on pitkään vastaanottanut hajupalautteita Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen lähialueiden asukkailta. HSY:n toimintajärjestelmään kirjattiin vuonna 2019 yhteensä 374 hajupalautteita, mikä ylittää selkeästi määrältään aikaisemmat vuodet (kuva 11). Ämmässuon ekoteollisuuskeskusta koskevien hajupalautteiden kuukausittainen lukumäärä eri vuosina on esitetty kuvassa 12. Hajupalautteen tehneille asukkaille pyritään selvittää hajuhaitan mahdollinen aiheuttaja. HSY on pyrkinyt palautteen saatuaan selvittämään ekoteollisuuskeskuksen hajutilannetta lähiympäristössä ja myös kohteessa, jossa hajupalautte on annettu. Hajupalautteet käsitellään yksitellen ja selvitetään hajua torjuvia toimenpiteitä. [22.]



Kuva 11. Ämmässuon toimintoja koskevia hajupalautteita vuosittain vuosina 2015–2019 [58].



Kuva 12. Ämmässuon toimintoja koskevia hajupalautteita kuukausittain vuosina 2015–2019 [58].

Hajupalautteita vastaanotetaan HSY:ssä puhelimitse, sähköpostitse ja tekstiviestin välityksellä. Palautteet kirjataan Exceliin ja HSY:n toimintajärjestelmään. HSY on kannustanut lähialueen asukkaita hajupalautteiden antamiseen, jotta saataisiin parempi kuva lähialueen hajutilanteesta sekä kehittääkseen toimintaansa. Hajupalautteiden pohjalta halutaan myös kehittää Enwin TOM -mallinnustyökalua. [22.] Vuonna 2019 kesällä toteutettiin projektiluontoinen työ liittyen Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen toiminnoista aiheutuvien hajujen kartoittamiseen, jolloin hajupalautteita pystyttiin käymään läpi paremmin havainnoimalla hajutilannetta paikan päällä työajan puitteissa. Hajupalautteen takia tehdystä tarkastuksesta kirjattiin ylös sääolosuhteet ja mahdollinen hajuhavainto. [59, s. 14.]

6.3 Hajukartoitukset ja selvitykset

HSY on tilannut ulkopuolisilta tahoilta erilaisia hajukartoituksia monen vuoden ajan. Hajukartoituksia ovat tehneet Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Nab Labs Oy ja Ramboll Finland Oy.

Tutkimukset ovat pääasiassa kenttähavainnointitutkimuksia. Tutkimukset on pyritty tekemään samalla tavalla eli samaa aluetta tutkien, ja hajun voimakkuutta arvioidaan neliasteisella arviointiskaalalla (0: ei hajua, 1: heikkohaju, 2: selvä hajua, 3: voimakas hajua). Havainnointipisteet valittiin satunnaisesti tuulen suunta, voimakkuus ja maaston muodot huomioiden. Tutkimusalue määritettiin 5 km:n etäisyyteen Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksesta sektoreihin jaettuna. Hajun esiintyminen kuvattiin hajutunteina. Kenttähavainnoitsijoina toimivat ulkopuolisten tahojen omat asiantuntijat.

VTT suoritti hajupaneelitutkimuksen, jossa koottiin asukaspaneeli ympäristön asukkaista. Asukkaista koottu paneeli seurasi 1.8.2004–31.3.2005, kuinka usein ja millaisia hajua esiintyy heidän kotiympäristönsä ulkoilmassa. Asukkaat täyttivät VTT:n laatiman kyselylomakkeen, johon kirjasivat esiintyvän hajun keston ja laadun. Kyselylomake palautettiin VTT:lle kuukausittain. [60.]

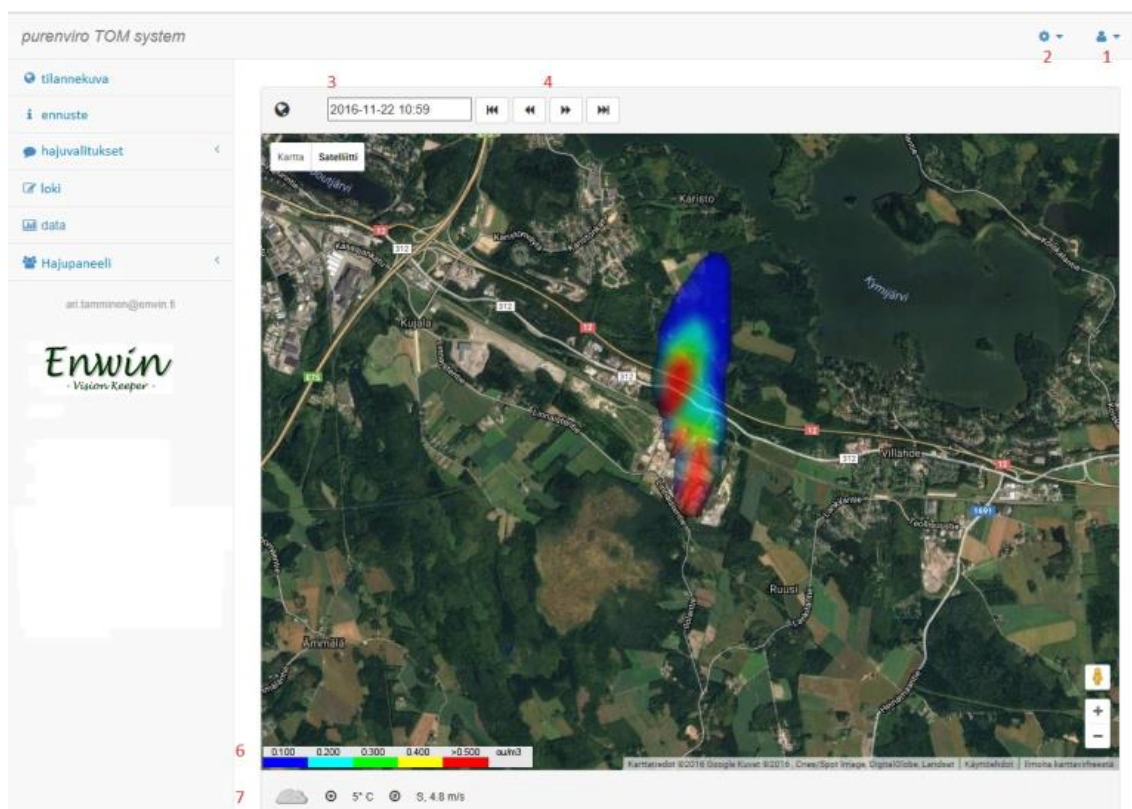
Ramboll Finland Oy:n kanssa suoritettiin hajutarkkailu 12.8.2019. Maastopaneeli oli viiden hengen kokoonpano, joka koostui Ramboll Finland Oy:n asiantuntijajäsenistä sekä HSY:n jätehuollon edustajista. Maastopaneelin yhteydessä Rambollin edustaja suoritti hajupitoisuuden määrittämisen kenttäolfaktometrillä. Maastopaneeli käytti samaa neliasteista arviointitapaa, kuten aiemmin mainituissa kenttähavainnointitutkimuksissa. [61.]

HSY suoritti oman hajuselvityksen kesällä vuonna 2019, jossa selvitettiin hajulähteiden leviämistä ympäristöön ja sen vaikutusta lähiasuinalueisiin. Tavoitteena oli ymmärtää paremmin Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajutilannetta ja löytää keinoja hajujen leviämisen estämiseen. Kartoituksen aikana käsiteltiin saatuja palautteita käymällä mahdollisuuksien mukaan paikan päällä havainnoimassa tilannetta ja sen lisäksi havainnointiin valituilla tarkastuspisteillä, jotka sijaitsivat Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa ja sen lähiasuinalueilla. Tuloksista selvisi, että biojäte (59 prosenttia) aiheutti eniten hajuhaittoja ja toiseksi eniten sekajäte (11 prosenttia). Kokonaisuudessaan hajukartoituksessa havaittiin hajua 34 prosenttia ajasta valituilla tarkastuspisteillä ja hajupalautteissa annetuissa kohteissa hajua havaittiin 61 prosenttia ajasta. [59.]

HSY:llä toteutettiin hiljattain opinnäytetyö, jossa selvitettiin biojätekompostin kypsyyden kehityksen vaikutusta kompostin hajupäästöihin. Tutkimuksessa mitattiin kompostin hiilidioksidintuotto, hajupitoisuutta olfaktometrisesti ja ammoniakkipitoisuutta. Tässä selvityksessä ei voitu osoittaa ammoniakki- ja hajupitoisuuden korrelaatiota. [62.]

6.4 Enwin TOM -mallinnustyökalu

Enwin TOM -mallinnustyökalu on Enwin Oy:n ja Purenviro AS:n yhteistyössä kehitetty ilmanpäästöjen leviämisen mallinnustyökalu. Enwin TOMilla on mahdollista mallintaa erilaisten hajujen, kaasujen, hiukkasten ja laskeuman leviämistä kartalle (kuva 13), mutta Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa ohjelmaa käytetään mallintamaan vain hajupitoisuuksien leviämistä. Enwin TOM käyttää ensisijaisesti Ämmässuon sääaseman paikallisia mittaustietoja. [63, s. 5.] Hajun esiintyvyys on laskettu mallintamalla kiinteiden hajupäästöjen leviämistä sääolosuhteissa. Hajulähteiden päästöt on määritetty dynaamisella olfaktometrisella tutkimuksella standardin SFS-EN 13725 mukaisesti. Olfaktometrisestä tutkimuksesta saatuja tuloksia käytetään siis mallinnuksen syöttöarvoina sääparametrien lisäksi. [64, s. 1.] Työkalun säätäminen on edelleen kesken, joten tällä hetkellä hajun leviämisen simulointi ei kuvaa hyvin todellisuutta.



Kuva 13. Kuvakaappaus Enwin TOM -mallinnustyökalusta [63].

Enwin TOM simuloi hajun leviämistä huomioon ottaen Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen alueen rakennukset sekä Maanmittauslaitoksen tietojen avulla maaston muodon.

Mallinnustyökalu käyttää mallintamiseen teknisiä tietoja hajupäästölähteistä eli purkautumispisteen pinta-alan ja korkeuden. Lisäksi se huomioi kaasun ominaisuudet, kuten kaasuvirtauksen, nopeuden, lämpötilan, kosteuden ja hajupitoisuuden. [59, s. 15.] Kompostointilaitoksen virtaustiedot ovat laskennalliset. Toiminnot voidaan säätää manuaalisesti mallinnustyökalussa hajulähteet voimakkaammiksi, esimerkiksi kun aumoja käännetään. Todellista aumojen käännöstä aiheutuvaa hajukuormaa on vaikea mitata. Mallinnuksesta ei olla varmoja, kuinka pitkälle malli ottaa huomioon maaston muodot ja päivittykö malliin uudet maaston muodot, sillä alueella maasto muuttuu maisemoinnin takia.

Enwin TOM -hajunhallintajärjestelmä otettiin käyttöön vuonna 2017. Enwin TOM -mallinushjelma, TRS- ja päästömittaukset korvasivat työlääät vuosittaiset hajupaneelitutkimukset, jotka eivät antaneet kovin tarkkaa kuvaa hajutilanteesta.

Enwin TOM -ohjelma ei ennusta hajun leviämistä, vaan se simuloi sääparametrien reaali-mittauksien avulla, jolloin saadaan sen hetken hajunleviämistilanne. Ohjelman hajuennuste antaa arviota tulevista päivistä ilmoittamalla, kuinka suuri valitusriski on. Valitusriskin arvioinnissa on kaksi vaihtoehtoa: matala ja korkea riski. Ohjelmalla voidaan tarkastella leviämismallinnuksia tilannekuvasivulla selaamalla ajassa eteen- tai taaksepäin 5 min, 15 min tai 1 h askelin. [63, s. 7, 13.] Mallinnustyökalun käytössä on huomattu, että leviämismallinnukset eivät ole niin luotettavia tyynissä sääolosuhteissa [59, s. 15].

Ohjelmalla on mahdollista käsitellä ja hallita hajupalautteita. Hajupalautteille on nettisivusto, johon hajuhaittaa kokevat henkilöt voivat kirjata hajupalautteet. Hajupalautteiden sijainnit ja muut tiedot voidaan esittää ohjelman kartalla. Työkalussa on hajupaneelikauppanja-toiminto, joka poikkeaa hajunpalautteiden antamisesta siten, että se on luonteeltaan sitovampaa. Vastaaminen on pakollista naapureille, vaikka hajua ei esiintyisi tai ei ole kotona. Kyselyssä yksinkertaisesti kysytään vain, esiintyykö hajua eri kellonaikoina, ja kysymykseen vastataan kyllä/ei tai poissa kotoa. [63, s. 8, 14.]

7 Kehitysehdotukset

7.1 Hajulähteiden päästöjen karakterisointi

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajulähteiden päästöjen karakterisointi on tärkeää hajupäästöjen ymmärtämisessä. GC-MS-O-menetelmällä voidaan määrittää hajupäästöistä yksittäisiä yhdisteitä ja niiden pitoisuutta ja voimakkuutta. Näin on mahdollista selvittää, mitkä yhdisteet ovat päävastuullisia hajuhaitan aiheuttajia. [31, s. 8.] Tämän tiedon pohjalta voidaan selvittää paremmin, millaisella mittausjärjestelmällä olisi kannattavinta monitoroida päästöjä.

7.2 Hajupäästöjen instrumentaalinen mittaaminen

Tällä hetkellä mitataan jatkuvatoimisesti hajuyhdisteitä TRS- ja ammoniakkimittauksella. Mittauksia voisi mahdollisesti täydentää VOC-yhdisteiden mittauksella. Aeromonin mittauspilotissa epäiltiin, että kompostointikentällä muutamasta aumasta aiheutuisi korkeampia VOC-yhdisteiden päästöjä. Esimerkiksi Odotecilla on tuote nimeltä MultiNose, jolla voi mitata VOC-yhdisteitä ja myös muitakin yhdisteitä. Nämä mittaukset eivät kerro suoraan päästöjen hajupitoisuutta, mutta voivat toimia hajun indikaattoreina.

Elektronisen nenän mahdollisuuksia Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajupäästöjen seurantaan olisi hyvä selvittää, sillä tällä hetkellä se on ainoa mittauslaite, jolla pystyy jatkuvatoimisesti mittaamaan hajupäästöjä kenttäolosuhteissa. Elektroniset nenät ovat kehittyneet vuosien varrella luotettavimmiksi laitteiksi. Koulutettu elektroninen nenä pystyy tunnistamaan hajuprofiilitietokannan avulla, mistä hajulähteestä haju on, ja arvioimaan sen pitoisuuden. Elektronisia neniä voisi sijoittaa Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajulähteille ja alueen rajoille sekä asuinalueiden läheisyyteen. Asuinalueen läheisyydessä elektroninen nenä voi antaa tietoa mahdollisista hajuvalituksien riskeistä. Lisäksi se voi auttaa tunnistamaan, mikä asukkaan havaitseman hajun aiheuttaa.

Jatkuvatoimiset mittaukset voisivat tarjota dynaamista tietoa reaaliaikaiseen hajupäästöjen leviämismallinnukseen, joka voi antaa todellisemman kuvan hajutilanteesta kuin staattiset syöttöarvot leviämismallinnuksessa.

7.3 Leviämismallinnusohjelma

Käytössä olevalla hajumallinnustyökalua voisi validoida Sironin ym. tekemän tutkimuksen tapaisesti, eli suorittamalla useamman kuukauden kestävästä asukaspaneelikyselystä, jonka tuloksia voitaisiin verrata Enwin TOM -ohjelman mallinnuksiin (ks. luku 6.4). Asukaspaneelikyselyn voisi mahdollisesti suorittaa ohjelman sisäisellä hajupaneelikampanja-ominaisuudella, johon asukkaat kertovat hajuhavaintonsa kyselyn avulla. Kyselyyn vastataan silloinkin, kun asukas ei ole kotona.

Leviämismallin validoinnissa voisi myös hyödyntää dronella tehtyjä mittauksia, sillä HSY:n ja Aeromonin mittauspilotti oli onnistunut ja vaikutti lupaavalta. Tällöin leviämismalliin laskelmiin pitäisi syöttää merkkikaasun tai merkkikaasujen pitoisuudet, jotta voitaisiin verrata dronemittauksia leviämismallin tuloksiin. Dronella tehtyjä mittauksia voisivat täydentää Ämmäsuon ekoteollisuuskeskuksen ilmanlaadun jatkuvatoimiset mittaukset. Vaihtoehtoisesti merkkikaasujen yhdisteiden pitoisuuksille voisi laskea hajuaktiivisuusarvot ja verrata niitä leviämismallin hajupitoisuuksien tuloksiin.

Hajumallinnustyökalun kyvystä mallintaa erityisesti tyynissä sääolosuhteissa ei olla varmoja. Palveluntarjoaja Enwin on maininnut, että mallinnustyökaluun ei ole mahdollista yhdistää erilaisia jatkuvatoimisia päästömittauksia. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että hajumallinnukseen ei ole mahdollista saada dynaamisia syöttöarvoja. Enwin on ehdottanut mallintamisen parantamiseksi uusien syöttöarvojen käyttämistä. Tällöin hajupäästöistä otettaisiin uudet hajupitoisuusmittaukset ja mittauksien tulokset ajettaisiin leviämismalliin. Olisi hyvä tarkastaa, onko Enwin TOM -leviämismallinnuksessa huomioitu kaikki Ämmäsuon ekoteollisuuskeskuksen rakennukset, sillä useimmissa leviämismalleissa on mahdollisuus huomioida rakennukset lisäämällä malliin rakennuksen sijainti ja korkeus.

HSY voisi kokeilla luvussa 5.9.2 esiteltyä Envirosuite-leviämismallinnusohjelmaa, joka perustuu CALPUFF-malliin, sillä kirjallisuudessa suositetaan CALPUFFin soveltamista hajun leviämisen mallintamiseen [33, s. 733]. Leviämismallinnuksessa seuraava kehitysaskele olisi dynaaminen leviämismalli, joka hyödyntää laskelmissa jatkuvatoimisia mittauksia. Ehdotettua leviämismallinnusohjelmaa voisi verrata nykyiseen, jotta saataisiin

selville, mikä työkaluista palvelee parhaiten Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen tarpeita.

8 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli selvittää, miten Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa voitaisiin kehittää hajupäästöjen seuranta ja ennustamista. Hajupäästöjen seuranta on tärkeää, sillä päästöt voivat aiheuttaa ympäristön viihtyisyyden alenemista. Hajupäästöjen seurannan tarkoituksena on saada parempi käsitys hajutilanteesta ja sen vaikutuksista sekä hajuhallinnan toimivuudesta.

Hajun määrittäminen ei ole yksiselitteistä, sillä hajun kokemiseen vaikuttavat monet eri tekijät, kuten yksilöllinen aistifysiologia ja psykososiaaliset tekijät. Lisäksi haju voi koostua kymmenien erilaisten yhdisteiden seoksesta, ja yhdisteet voivat reagoida keskenään muodostaen uusia yhdisteitä. Usein ilman hajuyhdisteiden pitoisuudet ovat hyvin alhaisia, mikä tekee niistä vaikeasti mitattavia. Hajupäästöjen mittaamisen haasteena on myös hajujen hetkellisyys.

Hajujen määrittämiseen on kehitetty erilaisia menetelmiä, joilla voidaan arvioida teollisista toiminnoista syntyvää hajupäästöjen vaikutusta hajulähteitä ympäröivään alueeseen. Hajupäästöjä voidaan määrittää aistinvaraisin, instrumentaalisin ja matemaattisin menetelmin. Ei ole olemassa yhtä ja ainoa parasta hajun määritysmenetelmää, vaan jokaisella menetelmällä on hyvät ja huonot puolensa. Erilaisilla menetelmillä saadaan erilaista tietoa, ja siksi sopiva menetelmä on valittava tilannekohtaisesti.

Tässä työssä on esitetty kehitysideoita edistämään Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajupäästöjen seuranta ja ennustamista. Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajulähteiden päästöjen koostumusta voitaisiin tutkia esimerkiksi GC-MS-O-menetelmällä, jotta selviäisi, mitkä hajuyhdisteet ovat päävastuussa hajuhaitoista. Tästä saadun tiedon perusteella voisi olla helpompaa suunnitella mittausjärjestelmän kehittämistä.

Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksessa mitataan tällä hetkellä jatkuvatoimisesti hajuyhdisteitä TRS- ja ammoniakkimittauksella. Nykyisiä mittauksia voisi mahdollisesti täyden-

tää VOC-yhdisteiden jatkuvatoimisilla mittauksilla, jotta voitaisiin saada useampi hajupäästöjen indikaattoreita. Tällä hetkellä elektroninen nenä on ainoa jatkuvatoiminen mitauslaite, jolla voidaan mitata hajupäästöjä kenttäolosuhteissa. Sen vuoksi olisi hyvä selvittää elektronisen nenän soveltamisen mahdollisuuksia Ämmäsuon ekoteollisuuskeskuksessa. Koulutettu elektroninen nenä voi tunnistaa hajun lähteen hajuprofiilitietokannan avulla, ja lisäksi se voi arvioida hajupitoisuuden. Jatkuvatoimisten mittausten tietoa voidaan hyödyntää syöttöarvoina reaaliaikaisen hajupäästöjen leviämismallinnuksessa. Dynaamiset syöttöarvot voivat antaa todellisemmän kuvan hajujen leviämisestä ympäristöön kuin staattiset arvot. Hajun leviämismallinnuksissa suositaan CALPUFF-leviämismallia, ja markkinoilla on hajun leviämisen mallinnusohjelmia, jotka perustuvat kyseiseen malliin. Soveltamalla erilaisia menetelmiä saadaan kokonaisvaltaisin kuva hajupäästöistä. Hajupäästöjen kattava ymmärtäminen mahdollistaa tehokkaamman hajuhallinnan.

Lähteet

- 1 Lyytimäki, Jari. 2006. Unohdetut ympäristöongelmat. Gaudeamus. Helsinki.
- 2 Brancher, Marlon; Griffiths, K., David; Franco Davide & Henrique de Melo Lisboa. 2017. A review of odour impact criteria in selected countries around the world. *Chemosphere* 168.
- 3 Tammivuori, Riikka. 2012. Hajujen hallinta ja vähentämisen haasteet. *Ympäristö ja terveys* 43(3), s. 66–74.
- 4 Aatamila, Marjaleena; Verkasalo, K., Pia; Korhonen, J., Maarit; Suominen, Liisa, Anna; Hirvonen, Maija-Riitta, Viluksela, K., Marja & Nevalainen, Aino. 2011. Odour annoyance and physical symptoms among residents living near waste treatment centres. University of Turku.
- 5 Arnold, Mona. 2002. Eläinsuojien hajuhaitat – ohjeistusmallit, arviointi ja vähentäminen sekä käytäntö eri maissa. Alueelliset ympäristöjulkaisut. Länsi-Suomen ympäristökeskus.
- 6 Ympäristönsuojelulaki. 2014. 527/27.6.2014.
- 7 Jätelaki. 2011. 646/17.6.2011.
- 8 Maankäyttö- ja rakennuslaki. 1999. 132/5.2.1999.
- 9 Laki eräistä naapuruussuhteista. 1920. 26/13.2.1920.
- 10 Arnold, Mona. 1995. Hajuoehjearvojen perusteet. VTT tiedotteita 1711. VTT Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo.
- 11 Pääkkönen, Rauno. 2015. Hajut ympäristöongelmana. *Ympäristö ja Terveys* 46(6), s. 22–26.
- 12 Lappi, Sari. 2010. Hajujen leviäminen ja hajuyhdisteiden leviämismallit. *Ympäristö ja Terveys* 41(4,) s. 42–47.
- 13 Rantakrans, Erkki & Savunen, Tarja. 1995. Hajuyhdisteiden leviämisen arviointi. Ilmansuojelun julkaisuja 21. Ilmatieteen laitos. Helsinki.
- 14 Makkonen, Teemu. 2008. Biovakka Oy:n biokaasulaitoksen hajujen leviämiselvitys hajupaneelin avulla. Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen julkaisuja. Turun yliopisto.

- 15 Talvinen inversiotilanne. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/talviset-inversiotilanteet>>. Luettu 28.4.2020.
- 16 Albers, Martin; Helle, Hannu; Varpula, Timo; Itävaara, Merja; Kapanen Anu & Vikman Minna. 2003. Kompostointiprosessin monitorointi ja ohjaus. VTT Tiedotteita 2207. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2003/T2207.pdf>>. Luettu 18.4.2020.
- 17 Mäkelä, Taneli. Ilmanlaatu Ämmässuolla 2019. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä.
- 18 Rundt, Anne-Rita; Backlund Peter & Paakkola, Katja. 2005. Sisäilman hajut ja orgaaniset epäpuhtaudet. Verkkoaineisto. Duodecim. <https://www.ebm-guidelines.com/dtk/shk/avaa?p_artikkeli=tll00208#s6>. Luettu 18.4.2020.
- 19 Tolvanen, Outi; Nykänen, Jenni; Nivukoski, Ulla; Himanen, Marina; Veijanen, Anja & Hänninen, Kari. 2005. Occupational hygiene in a Finnish drum composting plant. University of Jyväskylä.
- 20 Leonardos; Gregory; Kendall, David & Barnard Nancy. 1969. Odor Threshold Determinations of 53 Odorant Chemicals. Journal of the Air Pollution Control Association, 19(2).
- 21 Lasaridi, K.; Katsabanis, G.; Kyriacou, A.; Maggos, T.; Manios, T.; Fountoulakis, M.; Kalogerakis, N.; Karageorgos, P. & Stentiford, E., I. 2010. Assessing odour nuisance from wastewater treatment and composting facilities in Greece. Waste Management & Research, Vol.28(11): s. 977–984.
- 22 Uuksulainen, Juha; Korhonen, Tiila & Kuisma-Granvik, Sirkka. Ämmässuon jäteenkäsittelykeskuksen toiminta vuonna 2019. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä.
- 23 Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta. 1996. 480/19.6.1996.
- 24 Tamminen, Tarja & Tamminen, Ari. Hajujen leviämismallinnus, VE Sulkavuori. 2012. Enwin Oy.
- 25 Biojätteen käsittely. Verkkoaineisto. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. <<https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/jatehuolto/jatteenkasittelykeskus/biojate/Sivut/default.aspx>>. Päivitetty 13.11.2018. Luettu 28.4.2020.
- 26 Metaanimittaukset Ämmässuon vanhalla kaatopaikalla 2019. 2019. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä.

- 27 Kopalainen, Sauli. 2020. Toimintovastaava. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. Sähköposti 21.4.2020
- 28 Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen ympäristölupa. 14.12.2012. Dnro ESAVI/705/04.08/2010 & Dnro ESAVI/510/04.08/2010. 2012. Aluehallintovirasto.
- 29 Biojätteen käsittelyn ympäristölupa. 8.10.2011. Dnro ESAVI/125/04.08/2011.
- 30 Kaasuvoimalan ympäristölupa. 19.2.2015. Dnro ESAVI/362/04.08/2013. Aluehallintovirasto.
- 31 Bax, Carmen, Sironi, Selena & Capelli Laura. 2020. How Can Odors Be Measured? An Overview of Methods and Their Applications. *Atmosphere* 2020, 11(1), 92.
- 32 SFS-EN 13725. 2003. Air Quality-Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry. Brysseli: Euroopan standardointikomitea (CEN).
- 33 Capelli, Laura; Sironi, Selena; Del Rosso, Renato; Guillot & Jean-Michel. 2013. Measuring odours in the environment vs. dispersion modelling: A review. *Atmospheric Environment* 79.
- 34 Jyväskylän seudun puhdistamo Oy, Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon hajuselvitys. 2015. Ramboll Finland Oy. <http://js-puhdistamo.fi/wp-content/uploads/2015/08/1510016609_Nenainniemen_-hajuselvitysID12.pdf>. Luettu 23.4.2020.
- 35 SFS-EN 16481-2. 2016. Ambient Air-Determination of Odour in Ambient Air by Using Field Inspection, Part 2: Plume Method. Brysseli: Euroopan standardointikomitea (CEN).
- 36 SFS-EN 16481-1. 2016. Ambient Air-Determination of Odour in Ambient Air by Using Field Inspection, Part 1: Grid Method. Brysseli: Euroopan standardointikomitea (CEN).
- 37 Cipriano, Domenico & Capelli, Laura. 2019. Evolution of electronic noses from research objects to engineered environmental odour monitoring systems: A review of standardization approaches. *Biosensors* 2019, 9, 75.
- 38 Instrumental Monitoring. Odour Observatory. Verkkoaineisto. <<https://odourobservatory.org/measuring-odour/instrumental-monitoring/>>. Luettu 12.4.2020.
- 39 Cecilia Conti, Marcella Guarino, Jacopo Bacenetti. 2020. Measurements techniques and models to assess odor annoyance: A review. Università degli Studi di Milano.

- 40 Capelli, Laura & Sironi, Selena; Del Rosso, Renato. Electronic noses for environmental monitoring applications. *Sensors* 2014, 14(11), s. 19979–20007.
- 41 Sironi, Selena; Capelli, Laura; Céntola, Paolo, Del Rosso, Renato. 2006. Development of a system for the continuous monitoring of odours from a composting plant: Focus on training, data processing and results validation methods. *Sensors and Actuators B: Chemical*. Vol: 124, s. 336–346.
- 42 Dentoni, Licinia, Capelli, Laura, Sironi, Selena, Del Rosso, Renato, Zanetti, Sonia & Della Torre, Matteo. 2012. Development of an Electronic Nose for Environmental Odour Monitoring. *Sensors* 2012, 12(11), s. 14363–14381.
- 43 Romain, A.C.; Andre, P.; Nicolas, J. 2002. Three years experiment with the same tin oxide sensor arrays for the identification of malodorous sources in the environment. *Sensors and Actuators B: Chemical*. Vol: 84, s. 271–277.
- 44 Capelli, L.; Dentoni, L.; Sironi, S.; Del Rosso, R.; Centola, P.; Dematte, F.; Della Torre, M. & Ricco, I. 2010. An innovative system for the continuous monitoring of environmental odours: Results of laboratory and field tests. *Chem. Eng. Trans.* 2010, 23, s. 309–314.
- 45 Gonzalez-Jimenez, Javier; Monroy, Javier, G. & Blanco, Jose, Blanco. 2011. The Multi-Chamber Electronic—An Improved Olfaction Sensor for Mobile Robotics. *Sensors* 2011, 11(6), s. 6145–6164.
- 46 Conti, Cecilia; Guarino, Marcella; Bacenetti Jacopo. 2020. Measurements techniques and models to assess odor annoyance: A review. *Environment International*, Volume 134.
- 47 Leviämismallit kaupunkisuunnittelussa. 2015. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. Verkkoaineisto. <www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/ilmansuojelu/tietoa-kaupunkisuunnittelijoille/Leviamismallit-kaupunkisuunnittelussa/Sivut/Mallityypit.aspx>. Luettu 12.4.2020.
- 48 Alaviippola, Birgitta; Pietarila, Harri & Lappi, Sari. 2008. Pienten polttolaitosten (5–50 MW) piipun korkeuden mitoitus. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <http://expo.fmi.fi/aqes/public/Piipunkorkeuden_mitoitus_271108.pdf> Luettu 30.4.2020.
- 49 Hajun leviäminen ympäristöön Biovakka Suomi Oy:n Hyvinkään biokaasulaitoshankkeessa. 2011. Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti 114/2011.
- 50 Capelli, L; Sironi, S.; Del Rosso, R.; Bianchi, G & Davoli, E. 2012. Olfactory and toxic impact of industrial odour emissions. Politecnico di Milano.

- 51 Dresser, L., Alan & Huizer, D. Rober. 2011. CALPUFF and AERMOD Model Validation in the Near Field: Martins Creek Revisited. Journal of the Air & Waste Management Association, 61(6).
- 52 Sironi, Selena; Capelli, Laura; Céntola, Paola; Del Rosso, Renato & Pierucci, Sauro. 2010. Odour impact assessment by means of dynamic olfactometry, dispersion modelling and social participation. Atmospheric Environment 44.
- 53 Dispersion modelling. Verkkoaineisto. Envirosuite. <<https://support.envirosuite.com/v1/modelling/types-of-modelling/>> Luettu 21.4.2020.
- 54 OdoWatch. Verkkoaineisto. Odotech. <<http://www.odotech.com/en/odowatch/>>. Luettu 21.4.2020.
- 55 Odotech acquisition complete. 2017. Envirosuite. <<https://envirosuite.com/news/odotech-acquisition-complete>>. Luettu 23.4.2020.
- 56 Mäkelä, Taneli. 2020. Mittausinsinööri. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. Sähköposti 20.4.2020.
- 57 Measurements at the HSY Ämmässuo waste treatment centre, Finland, between September 27, 2016 and November 11, 2016. Aeromon. Sisäinen materiaali.
- 58 Jätteenkäsittelykeskuksen hajupalautteet. 2020. Sisäinen materiaali. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä.
- 59 Nurmi, Otto. 2019. Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen toiminnoista aiheutuvien hajujen kartoitus. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä.
- 60 Hajun ja hajuhaitan kartoittaminen YTV:n jätteenkäsittelykeskuksen ympäristössä asukaspaneelilla 2004–2005. 2005. Teknologia tutkimuskeskus VTT Oy.
- 61 Kiljunen, Anne. 2019. HSY Jätehuolto, Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen hajutarkkailu 12.8.2019. Ramboll Finland Oy.
- 62 Pirkola, Johanna. 2020. Biojätekompostin kypsyiden kehityksen vaikutus hajupäästöihin. Opinnäytetyö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.
- 63 Enwin TOM -hajunhallintajärjestelmä käyttöopas v.1.1. 2020. Enwin Oy. Sisäinen materiaali.
- 64 Hajuhavainnot ja hajufrekvenssit Ämmässuon ympäristössä 2019. 2019. Enwin Oy. Sisäinen materiaali.