

BIOMASSOJEN KÄSITTELYLAITOKSEN HAJUKAASUJEN HALLINTA



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Bio- ja elintarviketekniikka, Hämeenlinna

Syksy 2021

Susanna Takala

Tekijä Susanna Takala

Vuosi 2021

Työn nimi Biomassojen käsittelylaitoksen hajukaasujen hallinta

Ohjaaja Maritta Kymäläinen

TIIVISTELMÄ

Biomassoja käsittelevien laitosten raaka-aineista ja prosessivaiheista muodostuvien hajujen hallinta on osa nykyaikaista laitostoimintaa. Työssä tarkasteltiin rasva- ja öljypohjaisia sivuvirtoja käsittelevän laitoksen hajujen hallintaa. Työn tavoite oli tunnistaa hajun hajalähteet, prosessin hajulähteet sekä hajuhaittojen aiheuttajia. Tavoitteena oli myös koota kattavasti tietoa, miten hajukaasut leviävät ympäristöön sekä miten niitä voidaan käsitellä. Työhön sisältyi pienimuotoinen koe, jossa testattiin biohiilen käyttöä säiliökaasujen puhdistamisessa. Työssä tehtiin myös hajujen kenttähavainnointia sekä tarkasteltiin hajupäiväkirjan muodossa, miten hajuvalitukset riippuvat käsittelyprosessi- ja ympäristöolosuhteista.

Alustavien kokeiden perusteella biohiili osoittautui toimivaksi mäntyöljysäiliön kaasujen puhdistuksessa. Tarvitaan kuitenkin lisäkokeita ja suodattimen kehitystyötä käytännössä toimivan ratkaisun aikaansaamiseksi. Hajuhavaintojen ja valitusten syiden selvittäminen hajupäiväkirjan avulla osoittautui haastavaksi, sillä tuloksia väärästi yhden käsittelyprosessin hallitseva rooli, tässä mäntyöljyn lähes päivittäinen prosessointi. Hallitsevimpia hajuja luonteeltaan olivat mäntyöljy, liha, kala ja viemäri. Mäntyöljyn ja lihan hajut olivat selkeimpiä hajun lähteitä havainnoinnin aikana.

Kirjallisuusselvityksen perusteella hajujen hallintaa voisi kohdelaitoksessa parantaa tekemällä muutoksia hajukaasujen puhdistusjärjestelmään ja estämällä rikkivedyn vapautuminen jätevedestä. Suositeltavaa on myös biosuodattimen toiminnan tehostamismahdollisuuksien tarkempi tarkastelu.

Avainsanat Hajuhaitat, Hajun päästölähteet, Renderöinti, Hajun käsittelymenetelmät

Sivut 48 sivua ja liitteitä 2 sivua

Author Susanna Takala

Year 2021

Subject Management of odor gases from a biomass processing plant

Supervisor Maritta Kymäläinen

ABSTRACT

The management of odors emanating from raw materials and process steps in biomass plants is a part of modern plant operations. This thesis examines the odor control of a plant that processes fat- and oil-based by-products. The aim was to identify the diffuse sources of odor, the odor sources of the process and the causes of odor nuisances. The aim was also to gather comprehensive information on how odorous gases spread into the environment and how they can be treated. The thesis process included a small-scale experiment testing the application of biochar in the purification of tank gases. The study also includes field observations of odors in the form of an odor diary examining how odor complaints vary depending on the treatment process and environmental conditions.

Based on preliminary experiments, biochar proved to be effective in purifying pine oil tank gases. However, further testing and filter development work is needed to provide a workable solution. Determining the causes of odor observations and complaints using an odor log proved challenging, as the result were distorted by the dominant role of one of the treatment processes, the almost daily processing of pine oil. The predominant odors were pine oil, meat, fish, and sewer odor. Pine oil and meat were the clearest sources of odor during the observation.

Based on literature review, odor control in the target facility could be improved by making changes to the odor gas cleaning system and preventing the release of hydrogen sulfide from wastewater. It also recommended to look more closely at the possibilities of improving the performance of the biofilter.

Keywords Odor nuisances, Odor sources, Rendering, Odor treatment methods,
Pages 48 pages and appendices 2 pages

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Hajuhaitta	2
2.1	Lainsäädäntö ja hajun ohjeavot.....	3
2.2	Hajun ja sen aiheuttaman haitan tutkiminen ympäristössä.....	5
2.2.1	Leviämislaskelmat	5
2.2.2	Kenttähavainnointi.....	5
2.2.3	Asukaspaneeli.....	6
2.2.4	Asukaskysely.....	6
3	Kohdelaitoksen prosessit ja hajukaasujen käsittely	6
3.1	Märkärenderöintiprosessi.....	6
3.2	Mäntyöljyn kuivaus	7
3.3	Prosessivesien käsittely.....	8
3.4	Hajukaasujen käsittely	8
4	Hajun päästölähteitä	8
4.1	Renderöintiprosessi	8
4.2	Mäntyöljyn prosessointi.....	9
4.3	Hajalähteet.....	9
4.3.1	Viemäri	9
4.3.2	Säiliökaasut.....	10
4.3.3	Teollisuusrakennus.....	10
4.3.4	Laitevuodot	11
4.3.5	Seisova vesi	11
5	Hajukaasujen hallinta ja käsittely	12
5.1	Hajukaasujen käsittelymenetelmiä.....	12
5.1.1	Kaasupesuri	12
5.1.2	Otsonointi.....	15
5.1.3	Hajukaasujen terminen hapetus eli poltto	17
5.1.4	Prosessihöyryjen kondensointi	17
5.1.5	Aktiivihiili	18
5.1.6	Biosuodin.....	20
5.2	Hajapäästöjen hallinta ja käsittely	22
5.2.1	Viemärikaasut.....	22
5.2.2	Säiliökaasut.....	23

5.2.3	Laitevuodot	23
5.2.4	Teollisuusrakennuksen päästöt.....	23
5.2.5	Seisova vesi	24
5.3	Renderöintilaitoksilla käytössä olevat hajujen käsittelytavat	24
6	Hajukaasujen leviäminen ympäristöön	25
7	Biohiili ja sen mahdollisuudet kaasujen puhdistuksessa.....	27
7.1	Biohiilen valmistus ja ominaisuudet	27
7.2	Biohiili kaasujen puhdistuksessa.....	28
8	Työn kokeellinen osio	29
8.1	Säiliöhönkäkaasun käsittely biohiilisuodattimella	29
8.2	Hajuvalitukset – hajupäiväkirja	31
8.3	Omat hajuhavainnot	32
9	Tulokset ja niiden tarkastelu	32
9.1	Säiliöhönkäkaasun käsittely biohiilisuodattimella	32
9.2	Hajuvalitukset – hajupäiväkirja	34
9.3	Omat hajuhavainnot	41
10	Johtopäätökset	45
11	Pohdinta	47
	Lähteet.....	49

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1.	Kohdeyrityksen renderöintiprosessin prosessikaavio	7
Kuva 3.	Täytekappaleilla täytetty suihkutornipesuri. (Huotari, 2016, s. 26).....	13
Kuva 4.	Otsonin reaktio rikkivedyn ja VOC -yhdisteiden kanssa. (Ozonetech, n.d.)	15
Kuva 5.	Otsonin syntymekanismi. (Mukailtu lähteestä: Candi, 2014)	16
Kuva 6.	Pintakondensaattorin toimintaperiaate. (Strömmer, 2012, s. 21).....	18
Kuva 7.	Aktiivihiihen kyky absorboida suodatettavia komponentteja (Hannola, 2007, s. 27)	19
Kuva 8.	Suljettu biosuodatin. (Mukailtu lähteestä Shareefdeen & Singh, 2005, s. 126)	22
Kuva 9.	Säiliön hönkäputkeen yhdistetty biohiilisuodatin. Rikkivetymittarin suojana käytettiin muovisukkaa.....	31
Kuva 10.	Rikkivedyn poistuma [%] säiliöhönkäkaasun biohiilisuodatuksessa.	33

Kuva 11. Säiliöstä kanavapuhaltimeen johtavaan putkeen kondensioveden mukana kertynyttä ainetta.	34
Kuva 12. Hajuvalituspäivien jakaantuminen eri kuukausien välille.	35
Kuva 13. Tuotannossa olleet raaka-aineet kaikkina hajuvalituspäivinä, kun tuotannossa on ollut samaan aikaan eri raaka-aineita vs. raaka-aine on ollut yksin tuotannossa.	37
Kuva 14. Tuotannossa olleet raaka-aineet tuulensuuntien osuessa asutukseen, kun tuotannossa on ollut samaan aikaan eri raaka-aineita vs. raaka-aine on ollut yksin tuotannossa.	38
Kuva 15. Tuotannossa olleet raaka-aineet samaan aikaan muiden raaka-aineiden kanssa vs. tuotannossa yksin ollut raaka-aine hajuvallitusten tarkkojen kellonaikojen hetkellä.	39
Kuva 16. Tuotannossa olleet raaka-aineet hajuvallituspäivinä, jolloin vallituksen kellonaika ei osu tuotannon kanssa samaan aikaan. Päivän aikana tuotannossa oli eri raaka-aineita vs. raaka-aine oli yksin tuotannossa.	40
Kuva 17. Tuotannossa olleet raaka-aineet tiistaisin tuulen ollessa kohti pohjoista tai koillista, kun tuotannossa on ollut samaan aikaan eri raaka-aineita vs. raaka-aine on ollut yksin tuotannossa.	41
Kuva 18. Hajuhavaintojen määrä eri tuulennopeuksilla. (Ilmatieteenlaitos, n.d.)	41
Kuva 19. Hajun havaintopisteet ja niiden etäisyys tehdasrakennuksesta lukuun ottamatta aidan vieressä havaittua hajua.	42
Kuva 20. Hajuhavaintojen lukumäärä eri raaka-aineiden mukaan jaoteltuna.	43
Kuva 21. Hajuhavaintojen lukumäärä häiritsevyyden mukaan.	44
Kuva 22. Hajuhavaintojen lukumäärä eri raaka-aineiden ja hajun häiritsevyyden mukaan jaoteltuna.	44
Taulukko 1. Kaasupesurinesteiden eri käyttötarkoitukset ja toimintaperiaatteet (Laumola, 2020, s. 40).	14
Taulukko 2. Eri biohiilikokeiden H ₂ S poistuminen kaasusta tai absorboituminen biohiileen. (Mukailtu lähteestä Das ym., 2019; Shang ym., 2012; Sun ym., 2017).....	28
Taulukko 3. Hajuvallituksissa ilmoitettujen kellonaikojen jakaantuminen.	35
Taulukko 4. Hajuvallituspäivien ilmanpaineiden jakaantuminen	35
Taulukko 5. Hajuvallituspäivien tuulennopeuksien jakaantuminen.	36
Taulukko 6. Hajuvallituspäivien lämpötilajakauma.	36

Liitteet

Liite 1 Biohiilitestin lomake

Liite 2 Biohiilitestin mittausarvot

1 Johdanto

Hajuhaitat heikentävät ihmisten elämänlaatua ja voivat aiheuttaa terveyshaittoja. Haju voi aiheuttaa mm. silmien ja kurkun ärsytystä, päänsärkyä, pahoinvointia, yskää, väsymystä, hengitysvaikeuksia ja ärtyneisyyttä. Hajupäästöt voivat asutusalueilla laskea kiinteistöjen arvoa, mikä taas voi aiheuttaa ihmisille taloudellista stressiä. Huolestuessaan mahdollisista hajun aiheuttamista terveyshaitoista tai taloudellisesta haitasta, ihmiset voivat tehdä hajuvalituksia pyrkiessään vaikuttamaan toimijoiden toimintaan tai pyrkiessään estämään suunniteltua toimintaa. (Salonen, 2018, ss. 15–18)

Suomen laki velvoittaa toimijat poistamaan hajuhaitoista aiheutuvan kohtuuttoman rasituksen tai mikäli se ei ole mahdollista, laitoksen toiminta voidaan lopettaa kokonaan. Kuntien terveydensuojeluviranomaiset ovatkin velvoitettuja selvittämään yhdessä toimijoiden kanssa, mistä hajut aiheutuvat, jonka jälkeen viranomaiset voivat velvoittaa toimijat erilaisiin hajun vähennys toimenpiteisiin. Joskus hajuhaittojen ratkaiseminen on vaikeaa jopa viranomaisten toimesta, koska hajun lähteen löytämisessä voi kulua paljon aikaa. Joskus hajuhaittojen selvittämisen apuna voidaan käyttää ulkopuolisia konsultteja, jotka tarkastelevat hajuhaitan esiintymistä sekä voimakkuutta. (Salonen, 2018, s. 38–49)

Tämän opinnäytetyön kohdeyritys kierrättää ja jalostaa rasva- ja öljypohjaisista sivuvirroista lemmikkieläinravintoa sekä tuotteita, joita käytetään esimerkiksi voiteluaineina sekä uusiutuvandieselin ja biodieselin tuotannossa. Raaka-aineina ovat mm. Liha- ja kalateollisuudesta tulevat sivuvirrat, meijerirasvat ja käytetty paistoöljy. Työn tilaaja käsittelee myös raakamäntyöljyä jatkojalostuksen tarpeisiin. Yrityksellä on käytössään biosuodatin ja kaasupesuri hajukaasujen puhdistamiseksi, mutta hajunpoistomenetelmistä huolimatta hajuvalitukset alueen asukailta ovat viime aikoina lisääntyneet. Haasteena hajun lähteen paikantamisessa on, että alueella on muitakin teollisuusyrityksiä, joista voi aiheutua hajua.

Työn tavoite oli tunnistaa hajun hajalähteet, käsittelylaitosprosessien hajun lähteet sekä mahdolliset hajuhaittojen aiheuttajat. Työn tavoitteena oli koota myös kattavasti tietoa,

miten hajukaasut leviävät ympäristöön ja miten niitä voidaan hallita ja käsitellä. Työn tavoite oli myös selvittää soveltaisiko biohiili raakamäntyöljysäiliöstä tulevien säiliökaasujen puhdistukseen.

Tutkimuskysymyksiä olivat:

- mitä menetelmiä on hajujen hallinnan ja vähentämisen tehostamiseksi?
- mitkä ovat selkeimmät hajun lähteet?
- voidaanko hajuhaittojen syy tunnistaa hajupäiväkirjan avulla?
- sopisiko biohiili raakamäntyöljysäiliöstä tulevan säiliökaasun puhdistamiseen?

Osana opinnäytetyötä tehtiin hajupäiväkirja, jonka avulla yritettiin tunnistaa mahdolliset hajujen syyt. Hajuja myös havainnoitiin opinnäytetyöntekijän toimesta yritysalueella ja sen ulkopuolella. Myös biohiilen toimivuutta raakamäntyöljysäiliön kaasujen puhdistuksessa kokeiltiin.

2 Hajuhaitta

Jokainen ihminen kokee hajut eri tavalla. Jokin hajuhaittaa aiheuttava yhdiste saattaa olla miellyttävä, kun sitä on ilmassa vain vähän. Kun yhdisteen määrä ilmassa kasvaa, sen miellyttävyys laskee ja siitä tulee hajuhaitta. Hajuhaitta saattaa myös muodostua, jos kaksi eri hajua sekoittuvat toisiinsa. Hajuhaittaa aiheuttavat yhdisteet esiintyvät yleensä samanaikaisesti, joten yksittäistä hajua voi olla vaikea tunnistaa pelkän hajuaistin perusteella. (Chau, 2020, s. 3)

Hajuhaitat teollisuudessa liittyvät usein poikkeustilanteisiin, joissa hajukaasujen käsittelylaitteisto on epäkunnossa tai prosessissa syntyy tavanomaista enemmän haisevia yhdisteitä. Joskus taas hajukaasujen käsittelylaite ei ole ehtinyt saavuttaa riittävää tehoa esimerkiksi ylösajovaiheessa. (Tammivuori, 2012, s. 67)

Hajuhaittojen kokemiseen vaikuttaa hajun määrän lisäksi sen kesto, tyyppi, ajankohta, suhtautuminen hajun lähteeseen ja epätietoisuus hajun aiheuttamista terveysvaikutuksista. Suurempaa hajuhaittaa koetaan, jos haju jatkuu tasaisena pitkiä aikoja, kun taas lyhytkestoista intensiivisempää hajua kestäään paremmin. Hajuvalituksia tehdään

enemmän vapaa-ajalla viikonloppuisin ja iltaisin koska silloin halutaan elämänlaadun olevan parempi. (Tammivuori, 2012, s. 67)

Myllynen (2010) teki asukaskyselyn Puhoksen alueen hajuhaitoista. Puhoksen teollisuusalueella sijaitsee sahalaitos, liimatehdas, kaluste- ja rakennuslevytehdas ja pinnoitetehdas. Hän havaitsi omassa opinnäytetyössään tehdyssä asukaskyselyssä, että hajuhaittojen häiritsevyys riippui vastaajan etäisyydestä teollisuusalueeseen ja siitä, kuinka kauan vastaaja oli asunut alueella. Kyselyssä havaittiin hajuhaittojen olevan häiritsevempiä kolmen kilometrin säteellä teollisuusalueesta. Pitkään asuneet havaitsivat hajuhaitat häiritsevimmiksi kuin lyhyemmän aikaa asuneet. Kyselyssä havaittiin, että vuodenajan merkitys hajujen havaitsemisessa oli vähäinen. (Myllynen, 2010, ss. 22–23)

Hajuhaittaa aiheuttavia yhdisteitä ovat yleisesti rikkiyhdisteet, typpiyhdisteet ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Haisevia rikkiyhdisteitä ovat rikkivety, metyyliimerkaptaani, dimetyylisulfidi ja dimetyylidisulfidi. Haisevia typpiyhdisteitä, kuten ammoniakkaa ja amiineja, syntyvät proteiinien ja aminohappojen hajoamisesta. Haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin eli VOC-yhdisteisiin kuuluvat mm. aldehydit, esterit, ketonit, terpeenit, karboksyylihapot ja klooratut hiilivedyt. (Chau, 2020, ss. 6–7)

2.1 Lainsäädäntö ja hajun ohjearovot

Suomen lain mukaan: ”päästöllä tarkoitetaan ihmisen toiminnasta aiheutuvaa aineen, energian, melun, värinän, säteilyn, valon, lämmön tai hajun päästämistä, johtamista tai jättämistä yhdestä tai useammasta kohdasta suoraan tai epäsuorasti ilmaan, veteen tai maaperään” (Ympäristönsuojelulaki 527/2014 § 5).

”Ympäristön pilaantumisen tarkoitetaan sellaista päästöä, jonka seurauksena aiheutuu joko yksin tai yhdessä muiden päästöjen kanssa a) terveyshaittaa; b) haittaa luonnolle ja sen toiminnoille; c) luonnonvarojen käyttämisen estymistä tai melkoista vaikeutumista; d) ympäristön yleisen viihtyisyyden tai erityisten kulttuuriarvojen vähentymistä; e) ympäristön yleiseen virkistyskäyttöön soveltuvuuden vähentymistä; f) vahinkoa tai haittaa omaisuudelle taikka sen käytölle; tai g) muu näihin rinnastettava yleisen tai yksityisen edun loukkaus”. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014 § 5)

”Jos toiminnasta aiheutuu tai uhkaa välittömästi aiheutua terveyshaittaa tai merkittävää muuta 5 §:n 1 momentin 2 kohdassa tarkoitettua seurausta, toiminnanharjoittajan on viipymättä ryhdyttävä tarpeellisiin toimiin pilaantumisen tai sen vaaran ehkäisemiseksi tai jos pilaantumista on jo aiheutunut, sen rajoittamiseksi mahdollisimman vähäiseksi”. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014 § 14)

”Kiinteistöä, rakennusta tai huoneistoa ei saa käyttää siten, että naapurille, lähistöllä asuvalle tai kiinteistöä, rakennusta tai huoneistoa hallitsevalle aiheutuu kohtuutonta rasitusta ympäristölle haitallisista aineista, noesta, liasta, pölystä, hajusta, kosteudesta, melusta, tärinästä, säteilystä, valosta, lämmöstä tai muista vastaavista vaikutuksista”. (Laki eräistä naapuruussuhteista 26/1920 § 17)

”Se, jonka toiminnasta on aiheutunut kohtuutonta rasitusta, on velvollinen poistamaan rasituksen tai, jos rasituksen poistaminen ei muutoin ole mahdollista, lopettamaan toiminnan kokonaan ja korvaamaan rasituksesta aiheutuneen vahingon”. (Laki eräistä naapuruussuhteista 26/1920 § 18)

Vaikka suomen laissa ei ole määritelty raja-arvoa hajuhaitoille, niin valtioneuvoksen päätöksen mukaisesti haisevien rikkiyhdisteiden määrä tulee olla ulkoilmassa enintään $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alueilla, joissa asuu, oleskelee ihmisiä tai missä ihmiset saattavat altistua ilman epäpuhtauksille. (Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta 480/1996).

Suomessa hajuohjearvoista tehdyn tutkimuksen mukaan hajuhaittaa voidaan viihtyisyyden kannalta pitää merkittävä, mikäli 25–50 % alueen asukkaista kokee hajun olevan selvästi häiritsevä 3–9 % vuoden tunneista. Hyvin epämiellyttävien hajujen viihtyvyshaitan arvioinnissa käytetään 3 prosentin rajaa, kun taas 9 prosentin rajaa käytetään miellyttävyytasoltaan vaihtelevien hajujen viihtyvyshaitan arvioinnissa. (Chau, 2020, s. 9)

2.2 Hajun ja sen aiheuttaman haitan tutkiminen ympäristössä

Hajua tutkittaessa hajun määrä ilmoitetaan hajuyksiköinä (ou, odour unit) kuutiometriä kohden [OU/m³]. Hajuyksikkö ilmoittaa kuinka monta kertaa hajua on laimennettava, jotta se muuttuu hajuttomaksi. Yleensä hajut sisältävät monia eri yhdisteitä, jolloin hajua on vaikea mitata. Tällöin voidaan käyttää olfaktometriä määrittämään hajun pitoisuus. Olfaktometri laimentaa hajua niin monta kertaa, että puolet hajupanelisteista ei enää haista hajun pitoisuutta. Hajuhaittaa voidaan tutkia ympäristöstä leviämislaskelmien avulla, kenttä havainnoinnin avulla, asukaspaneelin tai asukaskyselyn avulla. (Arnold, 2002, ss. 12–14)

2.2.1 Leviämislaskelmat

Matemaattisten leviämislaskelmien avulla voidaan mallintaa hajuyhdisteiden leviämistä ja liikkumista ilmakehässä ja arvioida kuinka paljon hajua esiintyy ympäristössä tuntikeskiarvona. Leviämislaskelmissa käytetään erilaisia leviämismalleja, jotka voivat perustua matemaattiseen gaussilaiseen malliin, alueen säätietoihin ja maaston muotoihin sekä päästökohteen olfaktometriin mittauksiin. Laskelmissa käytetään päästömääritysten hajupitoisuuksia ja tilavuusvirtoja. Leviämislaskelmien oikeellisuus riippuu siitä, että hajun pitoisuus ja tilavuusvirta on arvioitu oikein. (Salonen, 2018, s.30; ks. myös Arnold, 2002, s. 14)

2.2.2 Kenttähavainnointi

Kenttähavainnoinnilla voidaan saada tietoa hajun esiintymistiheydestä, laadusta sekä voimakkuudesta. Hajupaneeli eli ryhmä koulutettuja havainnoitsijoita kirjaa havainnot tietyllä tavalla ylös. Tällä metodilla voidaan erotella eri hajulähteiden hajut toisistaan. Mikäli on tehty toimenpiteitä hajujen vähentämiseksi, voidaan kartoittaa toimenpiteiden vaikutus havainnoimalla hajuja ennen toimenpiteitä ja niiden jälkeen. Kenttähavainnointi vaatii suuren työpanoksen, mutta tulokset ovat tilastollisesti luotettavia. Kenttähavainnointia

toteutetaan useiden kuukausien ajan 2–3 kertaa viikossa, sillä tilastollisesti luotettavat tulokset vaativat useita havaintokertoja. (Arnold, 2002, ss. 14–15)

2.2.3 Asukaspaneeli

Asukaspaneelissa lähialueen asukkaat havainnoivat hajuja useiden kuukausien ajan. Asukaspaneelissa valitaan 25–75 yli 16-vuotiasta henkilöä, joilla on suhteellisen normaali hajuaisti. Paneeliin osallistujat pyritään valitsemaan siten, että panelisteja olisi tasaisesti eri etäisyyksiltä ja ilmansuunnilta hajulähteeseen nähden. Asukkaat merkitsevät hajun keston, laadun ja sen miten häiritsevä haju on. Tällä menetelmällä voidaan saada tietoa hajutilanteesta ja sen aiheuttamasta viihtyisyyshaitasta. (Arnold, 2002, s. 15)

2.2.4 Asukaskysely

Asukaskyselyssä hajun aiheuttamaa haittaa arvioidaan kertakyselyn avulla. Hajuhaittojen lisäksi kertakyselyssä kysytään myös muista ympäristöhaitoista, jotta vastaajan huomio ei keskittyisi liikaa hajuhaittoihin ja saataisiin mahdollisimman hyvin todellista tilannetta vastaava tulos. Viihtyisyyshaittaa arvioidessa esimerkiksi kertakysely tulee toteuttaa myös alueella, jossa ei ole selkeitä hajulähteitä. Tutkimuksissa 5–10 % on ilmoittanut kokevansa hajuhaittoja, vaikka alueella ei olisi selkeitä hajun lähteitä. Tämän vuoksi saatuja tuloksia pitäisi verrata ns. kontrollialueen tuloksiin. (Arnold, 2002, ss. 15–16)

3 Kohdelaitoksen prosessit ja hajukaasujen käsittely

3.1 Märkärenderöintiprosessi

Renderöinnillä tarkoitetaan prosessia, jossa massa sulatetaan. Rasva voidaan kuumentaa kahdella tavalla höyryn avulla. Märkäsulatukseksi kutsutaan menetelmää, jossa kuuma höyry on kosketuksissa massan kanssa. Kuivasulatukseksi kutsutaan menetelmää, jossa massa lämpenee erillisessä höyryvaipassa kiertävän höyryn avulla. (Mattila, 1986, s. 55; Työn tilaaja, henkilökohtainen tiedonanto, 23.4.2021)

Kohdelaitos on käytössä märkäsulatus tekniikka, joten prosessia kutsutaan märkärenderöinniksi. Renderöinnissä rasva sulatetaan ja siitä poistetaan vettä sekä muu kiintoaine, johon kuuluu esimerkiksi proteiinimassa. Ensin kiinteä materiaali jauhetaan sopivaan partikkelikokoon. Jauhamisen jälkeen massa kuumennetaan, jotta se voidaan pumpata sulatustankkiin. Valmiiksi nestemäiset ja juoksevat materiaalit pumpataan suoraan sulatustankkiin. Sulatustankissa massaa sulatetaan vesihöyryn avulla paineen alaisuudessa. (Työn tilaaja, henkilökohtainen tiedonanto, 8.1.2021)

Materiaalin ollessa sopivan lämpöistä, se pumpataan dekanttereille. Dekanttereilla massasta erotetaan proteiini pitoinen kiintoaine. Kiintoaineen erotuksen jälkeen massa pumpataan välitankkiin, jotta se voidaan kuumentaa separoinnin helpottamiseksi. Kolmivaiheisessa separoinnissa rasvasta tai öljystä erotetaan vesi sekä hienojakoiset kiintoaineet. Separoinnin jälkeen rasva/öljy varastoidaan säiliöön. Proteiinipitoinen kiintoaine jauhetaan ja kuivataan kuivalihaksi (Kuva 1). (Työn tilaaja, henkilökohtainen tiedonanto, 8.1.2021)

Kuva 1. Kohdeyrityksen renderöintiprosessin prosessikaavio



3.2 Mäntyöljyn kuivaus

Kohdelaitoksessa käsitellään myös raakamäntyöljyä jatkojalostuksen tarpeisiin. Raakamäntyöljystä poistetaan vettä. Ensin raakamäntyöljyä keitetään, jonka jälkeen mäntyöljyyn lisätään rikkihappoa veden ominaispainon kasvattamiseksi. Tämä tehostaa veden erottumista mäntyöljystä. Veden poiston yhteydessä saadaan talteen mäntyöljyä ja sivutuotteena mäntyöljysakkaa. Mäntyöljystä erotettu hapan vesi neutraloidaan natriumhydroksidilla ennen viemärointiä. (Työn tilaaja, henkilökohtainen tiedonanto, 8.1.2021)

3.3 Prosessivesien käsittely

Ennen viemäröintiä renderöintiprosessin separoinnissa separoinnissa erottuva ns. liimavesi johdetaan flotaatioaltaaseen, jossa pienet ilmakuplat nostavat liimaveden sisältämän rasvan ja muut hiukkaset pintaan. Pintaan nouseva aines imetään talteen. Flotaatiosta tuleva ilma imetään biosuodattimelle. Flotaation jälkeen jätevesi johdetaan rasvanerotuskaivon kautta viemäriin. Rasvanerotuskaivo tyhjennetään noin kolmen viikon välein. Rasvanerotuskaivosta otetaan rasva sekä proteiinipitoinen sakka talteen. (Työn tilaaja, henkilökohtainen tiedonanto, 8.1.2021)

3.4 Hajukaasujen käsittely

Yrityksellä on hajukaasujen puhdistamiseksi käytössään kaasupesuri sekä biosuodatin. Mäntyöljyn keittämisestä tulevat prosessikaasut puhdistetaan kaasupesurilla, jossa puhdistusnesteenä käytetään vettä ja emäskiviä. Erilaisten rasvojen sulatuksesta ja puhdistuksesta syntyvät prosessikaasut menevät biosuodattimen läpi. Flotaatiosta tulevan ilman lisäksi myös tehdashallin ilma imetään biosuodattimeen. Biosuodattimesta tuleva vesi menee putkea pitkin viemäriin. (Työn tilaaja, henkilökohtainen tiedonanto, 8.1.2021)

4 Hajun päästölähteitä

Tässä luvussa keskitytään kohdelaitoksen kannalta oleellisiin käsittelyprosesseihin ja teollisuuslaitoksen hajapäästölähteisiin.

4.1 Renderöintiprosessi

Teurasjätteiden käsittely on yksi pahimmista hajujen aiheuttajista, kun proteiinit ja rasvat hajoavat biologisesti ja termisesti. Hajuja syntyy mikrobiologisen toiminnan seurauksena, kuumennuksessa eläinsolujen rikkoutuessa, haihtuvien aineiden vapautuessa sekä makromolekyylien pilkkoutuessa. Keittämisen, haihdutuksen ja proteiinimassan kuivauksen aikana syntyvät intensiivisimmät hajut. (Lehtomäki, 1989, ss. 27–32)

Massan keitossa vapautuu mm. aldehydejä, amiineja, rasvahappoja, merkaptaaneja, sulfideja sekä haihtuvia rasvahappoja rasvan hydrolysoituessa lämmön ja vesihöyryn vaikutuksesta. Laitoksilla esiintyviä hajuyhdisteitä ovat mm. trimetyyliamiini, dimetyylipyratsiini, skatoli, ammoniakki sekä rikkivety. Esimerkiksi orgaaniset typpiyhdisteet kuten kadaveriini ja putreskiini aiheuttavat mädälle lihalle ominaisen hajun. Proteiinimassan kuivauksessa vapautuu pääasiassa typpiyhdisteitä kuten amiineja ja ammoniakkia sekä rikkiyhdisteitä, kuten merkaptaaneja ja rikkivetyä. (Lehtomäki, 1989, ss. 32–33)

Keiton aikana vapautuvien hajujen määrään vaikuttaa lämpötila ja keittoaika. Myös raaka-aineen tuoreus vaikuttaa prosessoinnin aikana syntyvien hajujen määrään. Mitä pidemmällä hajoamisprosessi on, sitä enemmän hajupäästöjä syntyy. (Lehtomäki, 1989, s. 31)

4.2 Mäntyöljyn prosessointi

Raakamäntyöljyssä on orgaanisten rikkiyhdisteiden lisäksi rikkivetyä. Haisevia rikkiyhdisteitä muodostuu mäntyöljyn keiton aikana. Näitä yhdisteitä kutsutaan yhteisnimityksellä TRS-yhdisteiksi ("total reduced sulfur") eli pelkistyneiksi rikkiyhdisteiksi. TRS-yhdisteitä ovat mm. rikkivety, metaanitioli, dimetyylisulfidi, dimetyylidisulfidi ja rikkihiili. TRS-yhdisteet hapettuvat ilmakehään joutuessaan muutamassa päivässä. (Mattila, 1986, s. 46; Opasnet, 2014)

4.3 Hajalähteet

4.3.1 Viemäri

Viemäröinnistä aiheutuvien haisevien yhdisteiden muodostumiseen vaikuttaa se mitä ainesosia jätevesi sisältää. Viemäristä tuleva haju voi johtua viemäriin joutuvista ainesosista, mikrobiologisesta toiminnasta tai prosessissa käytetyistä kemikaaleista. (Pulkkinen, 2014, ss. 2–3)

Viemäreiden pääasiallinen hajuhaittojen aiheuttaja on rikkivety. Muita haisevia yhdisteitä viemäreissä ovat mm. haihtuvat rasvahapot, amiinit ja ammoniakki. Niiden määrä viemärissä on kuitenkin rikkivetyyn verrattuna vähäinen. Rikkivedyn haju muistuttaa mätää kananmunaa ja sen hajukynnys on 0,008 ppm, mikä tarkoittaa ihmisen haistavan sen todella pieninä pitoisuuksina. (Pekkala, 2006, ss. 11–12; Pulkkinen, 2014, ss. 2–3)

Rikkivetyä syntyy, kun viemärin seinämän pinnalla olevat bakteerit käyttävät sulfaattiin sitoutunutta happea, samalla pelkistäen sulfaatin sulfidiksi, joka olosuhteista riippuen voi vapautua kaasumaisena vetysulfidina eli rikkivetyä. Sulfaatin pelkistymistä tapahtuu anaerobisissa olosuhteissa, kun jäteveden liuennut happi on mikrobien toimesta kulutettu loppuun. Rikkivetyä syntyy myös rikkipitoisten proteiinien anaerobisessa hajoamisessa. (Pulkkinen, 2014, ss. 2–3; Chau, 2020, s. 6)

Rikkivedyn lähteitä jätevedessä ovat orgaanisten yhdisteiden sisältämä rikki, talous ja teollisuusjätevesien sisältämä sulfaatti sekä sulfidit, joita esiintyy lähinnä teollisuusjätevesissä. Kotitalousvesissä orgaanisia rikkiyhdisteitä on yleensä noin 3–6 mg/l, mutta esimerkiksi lihanjalostusteollisuudesta peräisin olevissa jätevesissä niitä voi olla jopa satoja milligrammoja litrassa. (Pekkala, 2006, ss.9–15)

4.3.2 Säiliökaasut

Säiliöt ovat yksi kaasumaisten päästöjen lähde. Säiliöiden sisältöä voidaan lämmittää tai viilentää, jolloin tankkiin syntyy painetta. Kaasujen muodostus lisääntyy sitä mukaa, kun tankin sisältö lämpenee. Paine päästetään pois paineventtiilin kautta. Paineventtiili voidaan myös avata alipaineen poistamiseksi. Esimerkiksi mäntyöljyn varastoinnin aikana vapautuu erilaisia rikkiyhdisteitä. (Laumola, 2020, ss. 12–13; Mattila, 1986, s. 46)

4.3.3 Teollisuusrakennus

Teollisuusrakennuksen tasolta pääsevät hajuhaitat voivat muodostaa merkittävän osan hajuista. Päästöt, jotka pääsevät ulkoilmaan lähellä maanpintaa sekoittuvat huonommin ulkoilmaan kuin korkeasta piipusta tulevat päästöt. Tällöin hajuhaittaa voi aiheutua paljon, vaikka hajupäästö itsessään olisi pieni. (Tammivuori, 2012, s. 67)

Mikäli teollisuusrakennus on vanha tai prosessit ovat eristämättömiä, voi teollisuusrakennuksen ilmanvaihto olla todella suuri hajuhaittojen lähde. Ilmastoinnista lähtöisin olevan hajuhaitan suuruus riippuu siitä, miten tehokkaasti rakennuksen ilma imetään hajukaasun käsittelyyn. (Lehtomäki, 1989, s. 27; Australian Meat Processor Corporation, n.d., ss. 18–19)

4.3.4 Laitevuodot

Venttiilit, pumput, kompressorit ja laipat aiheuttavat hajapäästöjä usein-miten huonojen tiivisteiden vuoksi. Tiiviste voi olla rikkoutunut tai sillä voi olla huono tiivistyskyky johtuen esimerkiksi kulumisesta, huonosta asennuksesta, värähtelystä sekä suurista ja nopeista lämpötilan tai paineen vaihteluista. Venttiileissä ylös ja alas liikkuvat karat aiheuttavat enemmän hajapäästöjä kuin pyöriväkaralliset venttiilit. Edestakaisin liikkuvien venttiilin karojen mukana prosessoitavaa materiaalia menee tiivisteiden ohi ja niiden tiivisteet rasittuvat enemmän kuin pyöriväkarallisten venttiileiden. Laipoista voi aiheutua hajapäästöjä pulttien löystyessä lämpötilan vaihteluiden tai värähtelyn vuoksi. Huonosti toimivat pumput, joissa on mekaaninen tiiviste, voivat vuotaa huomattaviakin määriä. Putket ja laitteet voivat alkaa vuotamaan kulumisen vuoksi. Myös avoimet putkenpäät voivat olla hajapäästölähde. (Perttu, 1992, ss. 9–35; Saastamoinen, 2011, s. 20)

4.3.5 Seisova vesi

Joskus jätevettä voi syntyä niin paljon, että sitä on varastoitava teollisuusalueelle erilaisiin altaisiin. Elintarviketeollisuuden jätevedet ovat ravinnerikkaita ja siksi sopivia paikkoja biologiselle hajoamiselle. Varsinkin anaerobisen hajoamisen myötä muodostuvat yhdisteet ovat usein erittäin haisevia. Jätevesialtaisiin voi herkästi muodostua anaerobisia alueita esimerkiksi vuodenaikojen vaihtelun seurauksena. Myös teollisuusrakennuksen sisällä seisova vesi lattialla tai viemärikouruissa voi aiheuttaa hajuhaittoja, kun mikrobit käyttävät orgaanista materiaalia ravinnokseen. (Lehtomäki, ks. myös Goss ym., 2017, ss. 2-6–2-7)

5 Hajukaasujen hallinta ja käsittely

Hajukaasujen käsittelyyn on olemassa useita erilaisia laitteita ja menetelmiä, joiden valintaan vaikuttaa investointi- ja ylläpitokustannuksien lisäksi myös puhdistettavan kaasun ominaisuudet kuten kosteus, lämpötila ja hiukkasten määrä. Koska hajukaasujen käsittelylaitteet ovat hintavia, päädytään yleensä yhteen tai muutamaankin laiteratkaisuun, jolloin hajukaasut täytyy keräillä erillisen keräilyputkiston avulla hajunpoistolaitteisiin. Tällöinkin on huolehdittava, että imu keräilyputkistossa on riittävä. Jos keräilyputkistossa imu ei ole riittävä, hajut voivat päästä karkaamaan keräilyputkistosta, jolloin hajut eivät vähene toivotusti. (Tammivuori, 2012, s. 68)

Joskus keinoja hajujen vähentämiseksi voidaan löytää käymällä läpi kaikki hajun muodostumiseen liittyvät tekijät. Tällaisia voivat olla olosuhteiden lisäksi prosessiparametrit sekä käytetyt kemikaalit. Yleensä hajukaasujen synnyn ehkäisy tulee halvemmaksi kuin niiden käsittely. (Tammivuori, 2012, s. 68)

5.1 Hajukaasujen käsittelymenetelmiä

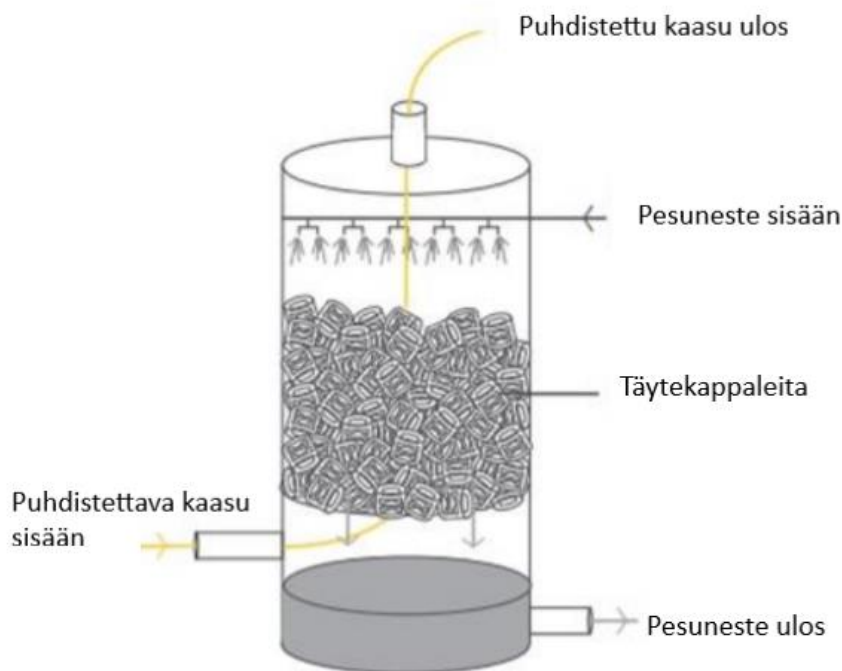
Hajukaasujen puhdistukseen voidaan käyttää mm. hajukaasujen polttamista, otsonointia, kaasupesuria, biosuodinta tai aktiivihiilisuodatinta. Eri hajunpoistomenetelmiä voidaan yhdistää toivotun hajunpoistotuloksen saavuttamiseksi. Esimerkiksi kaasupesurin jälkeen voidaan hajukaasut johtaa biosuotimeen, jonka jälkeen voidaan hajukaasut johtaa vielä aktiivihiilisuodattimeen riittävän alhaisen hajutason saavuttamiseksi. (Kymäläinen & Pakarinen, 2015, ss. 174–176)

5.1.1 Kaasupesuri

Kaasupesureissa kaasusta erotettavat komponentit absorboituvat pesunesteeseen, joka voidaan valita sen mukaan mitä yhdisteitä sen halutaan poistavan kaasuvirrasta. Jos vettä käytetään pesunesteena kaasupesurissa, vain vesiliukoiset yhdisteet poistuvat hajukaasusta. Vesipesuri voidaan yhdistää biologisen pesurin kanssa, jolloin pesuriin laitetaan keraamisia,

metallisia tai muovisia tätekappaleita, jotka sisältävät biofilmiä. Sen lisäksi että biofilmin sisältämät mikrobit hapettavat hajuyhdisteitä toisiksi yhdisteiksi, saadaan tehostettua kaasun ja nesteen kontakti aikaa pinta-alan lisääntymisen myötä. Kaasupesuriksi voidaan valita esimerkiksi tätekappalepesuri, suihkutornipesuri (Kuva 2) tai monivaihepesuri. (Krogerus & Hynninen, 1992, ss. 20–21; Huotari, 2016, ss. 25–31; Lehtomäki, 1989, s. 74)

Kuva 2. Tätekappaleilla täytetty suihkutornipesuri. (Huotari, 2016, s. 26)



Kaasupesureissa voi olla myös emäksistä tai hapanta pesunestettä, jolloin hajuyhdisteiden liukeneminen pesunesteeseen tehostuu riippuen niiden pH-käyttäytymisestä. Esimerkiksi rikkiyhdisteiden, orgaanisten happojen ja happoina toimivien yhdisteiden poistoon voidaan käyttää emäksistä natriumhydroksidia. Esimerkiksi rikkivetyä ja rikkioksidia saadaan poistettua puhdistettavasta kaasusta noin 85 % käyttämällä natriumhydroksidia pesuliuksena. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 1) on lueteltu erilaisia pesunesteitä, minkälaisiin yhdisteisiin ne tehoavat ja niiden toimintaperiaate. (Krogerus & Hynninen, 1992, ss. 20–21; Huotari, 2016, ss. 25–31)

Taulukko 1. Kaasupesurinesteiden eri käyttötarkoitukset ja toimintaperiaatteet (Laumola, 2020, s. 40).

Tyyppi	Adsorbentti	Vaikuttava aine	suunnattu	toimintaperiaate
Vesi-pohjainen	Vesi	H ₂ O	Vetyhalogenidit, NH ₃	Liukeneminen
	Alkalinen liuos	NaOH, Na ₂ CO ₃	Hapokkaat yhdisteet kuten vetyhalogenidit, H ₂ S, SO ₂ , fenolit ja kloori	Neutralointi
	Happo liuos	H ₂ SO ₄ , HNO ₃	Emäksiset yhdisteet kuten NH ₃ , amiinit, esterit	Neutralointi
	Hapettava liuos	H ₂ O ₂	NO _x päästöt	Liukeneminen ja hapettuminen typpihapoksi
	Alkalinen hapettava liuos	Perus liuos NaOCl, ClO ₂ , O ₃ tai H ₂ O ₂ kanssa	Haisevat yhdisteet	Liukeneminen ja hapettuminen
	Natriumbisulfiitti liuos	NaHSO ₃	Hajun poisto (aldehydit)	Reaktio aldehydinin ja bisulfiitti ionin välillä
	Monoetanoli-amiini ja dietanoli-amiini liuokset	Etanoli-amiini	H ₂ S	Liukeneminen ja reaktio amiinin kanssa
Orgaaninen	Orgaaniset liuottimet	Jäähdytetty nonaani (C ₉ H ₂₀)	kevyt VOC - yhdisteiden poisto	Liukeneminen

Mikäli kaasupesurin nesteenä käytetään vettä, happoa tai emästä, kaasupesurin nesteeseen dissosioituneet yhdisteet voivat olosuhteiden muuttuessa vapautua siitä kaasuna. Näin syntyy sekundäärinen hajuhaitta. Sekundäärinen hajuhaitta voidaan estää lisäämällä pesunesteeseen voimakkaasti hapettavaa kemikaalia, jolloin haisevat yhdisteet muuttuvat hajuttomiksi ja vesiliukoiksi. (Mattila, 1986, s. 66)

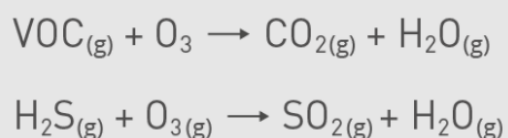
Kaasupesurit soveltuvat hyvin mm. rikkivedyn, merkaptaanien, ammoniakkin ja amiinien käsittelyyn. Kaasupesurit soveltuvat mm. selluteollisuudessa ja öljynjalostuksessa syntyvien rikkivetyä ja merkaptaaneja sisältävien kaasujen puhdistukseen sekä elintarviketeollisuudessa teurasjätteiden käsittelyssä syntyville kaasuille. (Mattila, 1986, s. 68)

Selluteollisuudessa TRS -päästöjä käsitellään yleisesti termisesti, mutta sen lisäksi myös täytekeppale- tai suihkumallisella kaasupesurilla, jossa pesunesteenä on emäksinen pesuneste tai hapettava klooridioksidi. Klooridioksidilla voidaan hapettaa kaikki TRS -yhdisteet, kun taas emäksisellä pesunesteellä kaasusta saadaan poistettua vain rikkivetyä ja metyylimerkaptaanina. (Lipponen, 2016, ss. 54–55).

5.1.2 Otsonointi

Otsonoinnissa otsoni hapettaa hajuyhdisteet toiseksi yhdisteiksi (Kuva 3). Otsoni soveltuu hyvin orgaanisten hajujen poistoon, kun taas epäorgaanisten hajujen poistoon se ei sovellu. Otsonointi on erityisen tehokas menetelmä ammoniakkin, trimetyyliamiinin, dimetyylisulfidin ja dimetyylidisulfidin poistossa, muttei yhtä hyvä ammoniumin tai haihtuvien rasvahappojen poistossa. Otsoni soveltuu hajujen poistoon sekä neste- että kaasufaaseista. Nestefaasissa otsoni reagoi nopeammin hajuhaittaa aiheuttavien yhdisteiden kanssa, joten sen tehokkuutta voidaan parantaa yhdistämällä otsonointilaitteisto nestepesuriin. Klooriin verrattuna otsoni on jopa 1300 kertaa tehokkaampi hapetin. (Huotari, 2016, ss. 35–37; Otsonaattori, n.d.)

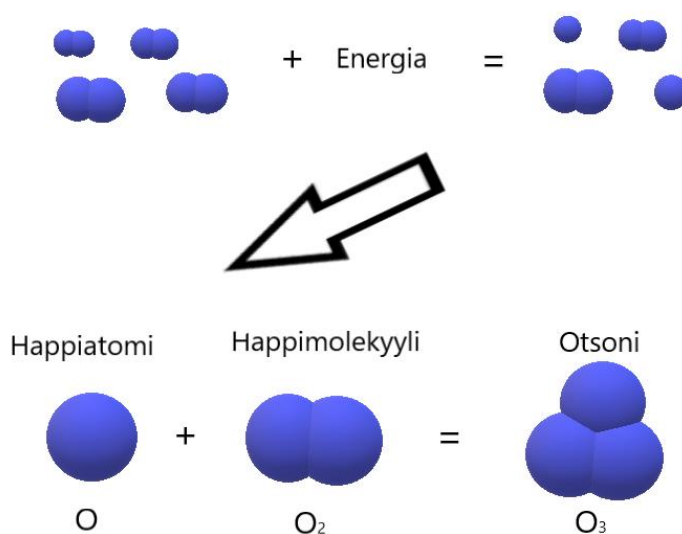
Kuva 3. Otsonin reaktio rikkivedyn ja VOC -yhdisteiden kanssa. (Ozonetech, n.d.)



Otsonia voidaan tuottaa kolmella eri menetelmällä kuten UV-valon avulla, pulssitetulla koronapurkausmenetelmällä ja kylmäplasmamenetelmällä. Kaikkien menetelmien toiminta perustuu siihen, että osa ilman happimolekyyleistä hajotetaan yksiatomisiksi ja yksiatomiset happiatomit reagoivat kaksiatomisten happimolekyylien kanssa muodostaen otsonia (Kuva 4). UV-valon avulla tuotettu otsonipitoisuus on vain 0,5 %, mutta sitä käytettäessä ei muodostu sekundäärisiä epäpuhtauksia. Pulssitetussa koronapurkausmenetelmässä käytetään voimakasta sähkökenttää otsonin muodostamiseksi. Menetelmän avulla ilmaan voidaan tuottaa 6–8 % otsonipitoisuus, mutta menetelmässä syntyy typpioksideoja. Kylmäplasmamenetelmässä puhdas ja ionisoitu happi johdetaan kahden eristetyn levyelektrodin väliin. Tällä menetelmällä voidaan otsonia tuottaa 5–20 %. (Leppänen ym., 2017, ss. 5–6)

Otsonilaitteistoon voidaan lisätä UV-valo, jolloin UV-valo ja otsoni reagoivat keskenään synnyttäen hydroksyyliiradikaaleja. Hydroksyyliiradikaalit reagoivat hajuhaittaa aiheuttavien yhdisteiden kanssa rajummin kuin otsoni. Yksi hydroksyyliiradikaali voi reagoida useiden hajumolekyylien kanssa, mikä pienentää otsonointilaitteiston käyttökustannuksia. Hydroksyyliiradikaalien reaktiivisuus nousee korkeammassa lämpötiloissa. (Ozonetech, n.d.)

Kuva 4. Otsonin syntymekanismi. (Mukailtu lähteestä: Candi, 2014)



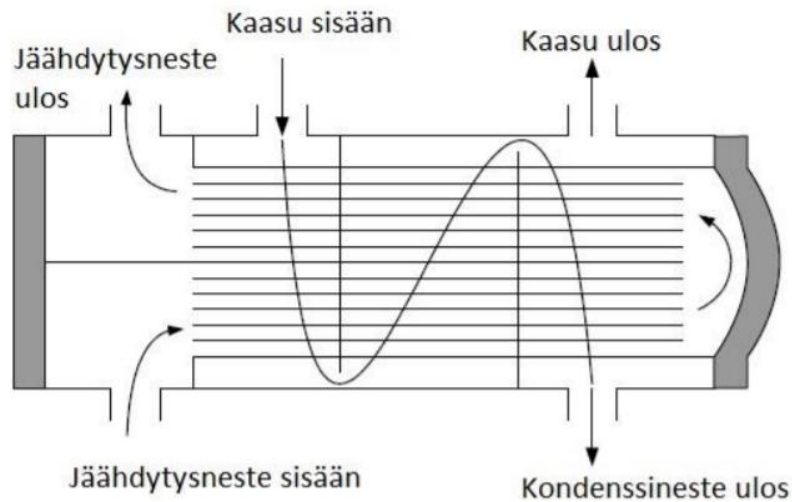
5.1.3 Hajukaasujen terminen hapetus eli poltto

Rikkipitoiset hajukaasut voidaan termisesti hapettaa eli polttaa. Polttaminen voi tapahtua erillisissä polttimissa tai jonkin muun polttoaineen polttamiseen tarkoitettussa laitteessa. Erillisissä polttimissa eli niin sanotuissa jälkipolttimissa, joissa hajukaasut hapettuvat erillisellä polttoaineella saadulla liekillä. Hajukaasujen polttimen yhteyteen voidaan sijoittaa lämpölaitos, jolloin hapetukseen käytetty energia voidaan ottaa talteen kuumana vetenä tai höyrynä. Polttaessa orgaanisia ja epäorgaanisia hajukaasuja, vapautuu haitallisia typen ja rikin oksideja. Hajukaasuja voidaan polttaa myös katalyyttisesti, jolloin kaasuvirta kulkee katalyyttipedin ohi ja palamisreaktio nopeutuu. Katalyyttisessä poltossa ei synny haitallisia yhdisteitä, kuten termisessä poltossa. Myös polttolämpötila on alhaisempi katalyyttisessä poltossa. Katalyyttinen poltto sopii hajuhaittaa aiheuttaville VOC-yhdisteille, jos niiden pitoisuus kaasuvirrassa on alhainen. Erään sellutehtaan kokemuksen mukaan rikkipitoisien hajukaasujen hapetusaste on termisessä poltossa ollut yli 99 %. (Krogerus & Hynninen, 1992, ss. 26–27; Huotari, 2016, ss. 23–24)

5.1.4 Prosessihöyryjen kondensointi

Kondensoitumisella tarkoitetaan kaasun olomuodon muutosta nesteeksi. Kaasua voidaan kondensoida nesteeksi laskemalla kaasun lämpötilaa. Kaasun kondensoituessa osa siinä olevista vesiliukoisista hajuhaittaa aiheuttavista yhdisteistä liukenee kondenssiveteen tai lauhtuu kondenssiveden mukana. Lämmön vaikutuksesta pieniksi pilkkoutuneet hiilivedyt eivät välttämättä kondensoidu, mikä näkyy VOC päästöinä kondensaattorin ulostuloilmassa. Mitä enemmän yhdisteitä halutaan poistaa, sitä alhaisempi lämpötila tarvitaan yhdisteiden kondensoimiseksi. Kondensointitapoja on kaksi. Pintakondensoinnissa kaasu kondensoituu jäähdytysnesteen jäähdyttämiin pintoihin lämmönvaihtimessa eivätkä jäähdytysneste ja kondenssivesi sekoitu (Kuva 5). Kontaktikondensoinnissa kaasuun suihkutettavat pisarat jäähdyttävät kaasun. (Lehtomäki, 1989, s. 31; Strömmer, 2012, ss. 20–21; Laumola, 2020, s. 14)

Kuva 5. Pintakondensaattorin toimintaperiaate. (Strömmer, 2012, s. 21)



5.1.5 Aktiivihiili

Aktiivihiiltä valmistetaan hiilestä kasvattamalla hiilen ominaispinta-alaa erilaisilla aktivointimenetelmillä. Hiili aktivoidaan käyttämällä kemiallista tai fysikaalista aktivointia. Aktivoinnissa hiileen voidaan lisätä myös aineita, jotka parantavat hiilen adsorptio-ominaisuuksia. (Pulkkinen, 2010, s. 17)

Aktiivihiilen adsorboiva luonne johtuu fysisorptiosta ja kemisorptiosta. Fysisorptiossa Wan Der Waalsin voimat sitovat molekyyliä hiileen. Kemisorptiossa tapahtuu kemiallinen reaktio, jonka myötä adsorboitava aine kiinnittyy aktiivihiilen pinnalle. Koska aktiivihiilen rakenne on huokoinen, molekyylit jäävät huokosiin kiinni jo fyysisen kokonsa vuoksi. Mitä huokoisempi aktiivihiili on, sitä suurempi pinta-ala sillä on ja sitä enemmän se voi adsorboida erilaisia yhdisteitä itseensä. (Pulkkinen, 2010, ss. 5–6)

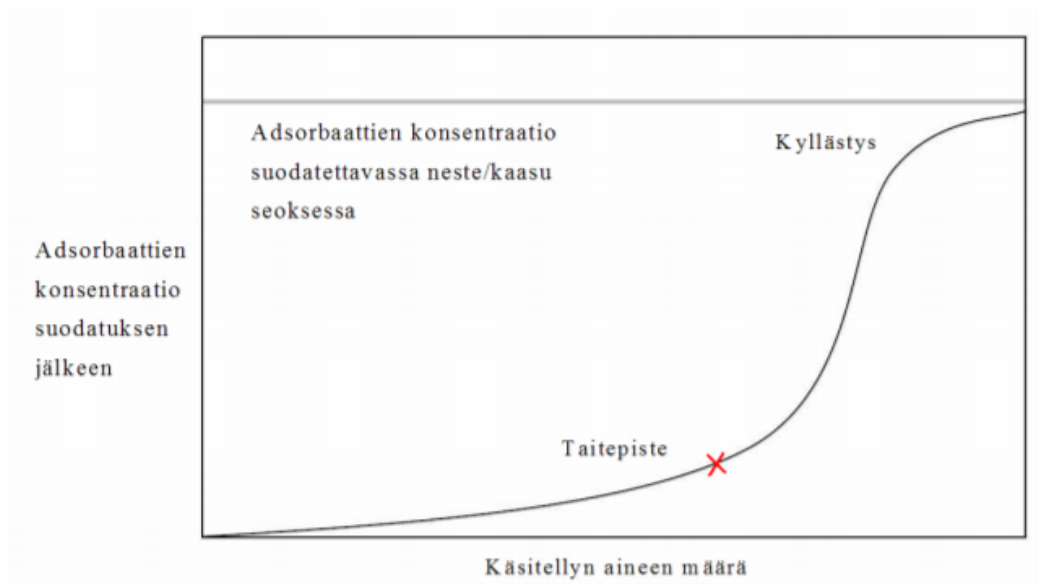
Aktiivihiili tehoaa sellaisiin yhdisteisiin, joiden moolimassa on yli 45 g/mol ja kiehumispiste yli 0 °C. Tällaisia yhdisteitä ovat esimerkiksi metaanitioli, dimetyylisulfidi, dimetyylidisulfidi ja orgaaniset hapot. Kaasun sisältäessä suurikokoisia molekyyliä, aktiivihiilen huokokset voivat tukkiutua, jolloin pienimolekyyliset yhdisteet eivät pääse kulkeutumaan niihin ja irtoavat

pienen kokonsa vuoksi aktiivihiilen pinnasta. (Huotari, 2016, ss. 42–43; Pulkkinen, 2010, ss. 5–16)

Aktiivihiilisuodatusta voidaan käyttää joko veden tai ilman puhdistuksessa ja sillä voidaan poistaa esimerkiksi rikkikaasuja, elohopeakaasuja, radioaktiivisia aineita, orgaanisia happoja, alkoholeja, rikkihappoa, rikkidioksidia estereitä, eettereitä, kloorattuja, hiilivetyjä ja metalleja. Teollisuudessa aktiivihiiltä voidaan hyödyntää hajujen poistossa ja säiliökaasujen puhdistuksessa. Aktiivihiilen käyttöönotossa tehdään puhdistettavasta kaasusta analyysejä, jotta tiedetään mitä se sisältää ja osataan valita suodattimeen oikeanlainen aktiivihiili ja oikea koko. Näin voidaan maksimoida hiilen elinkaari ja suorituskyky. (Pulkkinen, 2010, ss. 3–4; Suomen laippapalvelu Oy, n.d)

Aktiivihiilellä suodattaessa aktiivihiilen suodatuskyky säilyy hyvänä, kunnes se saavuttaa taitepisteensä ja romahtaa nopeasti ennen sen kyllästymistä. Tämän vuoksi suodatusmateriaali on vaihdettava tai regeneroitava eli aktivoitava ennen uudelleen käyttöä. Regeneroinnilla voidaan palauttaa 90–95 % alkuperäisen aktiivihiilen suodatuskyvystä. Kuvassa on esitetty, miten aktiivihiilen suodatuskyky heikkenee suodatuksen edetessä (Kuva 6). (Hannola, 2007, s. 26; Pulkkinen, 2010, s. 21)

Kuva 6. Aktiivihiilen kyky absorboida suodatettavia komponentteja (Hannola, 2007, s. 27)



5.1.6 Biosuodin

Biosuotimessa hajukaasut adsorboituvat suodatinmateriaalin pinnalle, josta ne ovat mikrobien muodostamaan biofilmin käytettävissä. Mikrobit hapettavat hajuyhdisteitä, jolloin niistä tulee hajuttomampia. Hajukaasujen suodatus biosuotimella on kustannustehokkuuden lisäksi myös energiatehokasta. Se sopii hyvin biohajoaville, vesiliukoisille ja pitoisuuksiltaan matalille hajukaasuille. Biosuodatin toimii hyvin, mikäli puhdistettavat hajupitoisuudet ovat alle 1000 ppm. Biosuodattimen mitoitus pitäisi olla käsiteltävälle kaasumäärälle myös riittävä. Hyvin toimiva biosuodatin voi vähentää hajuja jopa yli 90 %. Biosuotimen toimintaa voidaan tehostaa varmistamalla sen fyysinen stabiilisuus, vähäinen painehäviö, hyvä kosteustasapaino, pH:n puskurointikyky, ravinteiden riittävyys ja sen riittävä koko. (Shareefdeen & Singh, 2005, ss. 125–137; Huotari, 2016, s. 24; Strömmer, 2012, s. 22)

Biosuodattimen optimaalinen kosteus riippuu biosuotimessa olevista mikrobeista, mutta yleisesti sopiva kosteus pitäisi olla 30–60 %. Jos biosuodatin on liian kuiva, suodatinmateriaali halkeilee, jolloin kaasu pääsee kulkemaan halkeamia pitkin pois suodattimesta. Suodattimen kuivumista voidaan vähentää suljetulla systeemillä, jossa suodattimeen tiivistyvä ja sieltä pois valuva vesi kierrätetään takaisin suodattimeen (Kuva 7). Suodatinmateriaalin ja mikrobien kuivuminen vähentää merkittävästi hajoamisnopeutta. Liiallinen kosteus estää hapen ja hydrofobisten epäpuhtauksien siirtymistä biofilmiin, mikä heikentää biosuotimen reaktionopeutta. Liiallinen kosteus biosuodattimessa edesauttaa anaerobisten alueiden syntyä, mikä edesauttaa anaerobisissa oloissa syntyviä hajuja. Anaerobisesti syntyvät kaasut voivat aiheuttaa painetta biosuotimeen. Anaerobisten alueiden synty on huono asia myös siitä syystä, että biosuotimen mikrobit ovat pääasiassa aerobisia ja tarvitsevat happea aineenvaihduntaansa. Esimerkiksi aerobiset heterotrofiset bakteerit tarvitsevat 5–15 % happea elääkseen biosuotimessa. (Shareefdeen & Singh, 2005, s. 126–132)

Biosuotimessa tapahtuva hapetusreaktio on lämpöä vapauttava eksoterminen reaktio, mikä voi johtaa suodatinmateriaalin kuivumiseen. Kuivumisen ehkäisemiseksi voidaan käyttää erillistä kosteuden säädintä kosteuden ylläpitämiseen. Kosteuden lisäksi myös biosuotimen lämpötilasta tulee huolehtia. Kaikilla mikrobeilla on kasvun kannalta oma ihannelämpötilansa. Biosuotimen toiminnan kannalta suositeltu lämpötila on 15–40 °C.

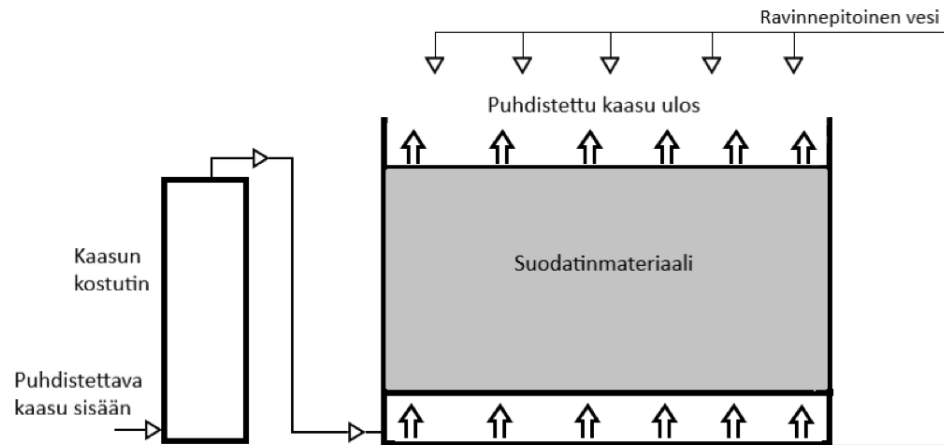
Mikäli kaasun lämpötila on alle 15 °C tai yli 40 °C, lämpötilaa on muutettava, jotta se olisi optimaalinen mikrobitoiminnalle. (Shareefdeen & Singh, 2005, ss. 131–132)

Myös ulkolämpötilalla on vaikutusta biosuodattimen toimintaan. Erään jäteveden pumppaamon biosuodattimen todettiin kesällä n. 20 °C lämpötilassa puhdistavan rikkivetyä 99,5 %. Talvella n. -6 °C lämpötilassa rikkivedyn puhdistusteho oli vain 65 %. (Pekkala, 2006, ss. 34–35)

Mikrobit toimivat parhaiten tietyllä pH välillä. Siksi tärkeää, että biosuotimella on hyvä puskurikyky eli kyky pitää pH tietyllä alueella. Biosuodattimeen voidaan lisätä puskuriaineita biosuodattimen täytön yhteydessä. Kun puskurikyky on loppunut, suodatinmateriaali voidaan vaihtaa. Esimerkiksi kompostilla täytettyjen biosuotimien optimi pH on 7–8. Biosuodattimessa pH:ta laskee hiilidioksidi, joka on mikrobin aineenvaihdunnan tuote. Mikäli riittävää puskurikapasiteettia ei ole, voidaan pH:ta säätää lisäämällä esimerkiksi emäksistä natriumhydroksidia tai magnesiumhydroksidia. (Shareefdeen & Singh, 2005, s. 133)

Mikrobit voivat saada hiiltä ja energiaa puhdistettavasta kaasusta, mutta muut ravinteet kuten typpi, fosfori, mineraalit ja hivenaineet tulisi saada suodatinmateriaalista. Jos mikrobit eivät saa niitä suodatinmateriaalista, siihen voidaan lisätä niitä. Mikrobin määrän kasvaessa biosuotimen partikkelikoko pienenee, mikä johtaa suodatinmateriaalin tiivistymiseen ja painehäviöön. Myös liiallinen kastelu voi johtaa painehäviöihin varsinkin, jos suodatinmateriaali on ollut pitkään vaihtamatta. Paineen hävitessä kaasun virtausnopeus kasvaa, mikä pienentää kaasun kontaktiaikaa biosuodattimen kanssa. Aktiivihieillä voidaan vähentää biosuotimesta poistuvien epäpuhtauksien määrää, mikäli mikrobit eivät ole sopeutuneet päästöjen määrään, eivätkä kykene vastaanottamaan kaikkia epäpuhtauksia. (Shareefdeen & Singh, 2005, s. 131–134)

Kuva 7. Suljettu biosuodatin. (Mukailtu lähteestä Shareefdeen & Singh, 2005, s. 126)



5.2 Hajapäästöjen hallinta ja käsittely

5.2.1 Viemärikaasut

Viemärissä haisevan rikkivedyn sitomiseksi ja sen synnyn ehkäisemiseksi voidaan käyttää erilaisia kemikaaleja kuten nitraattia tai ferrinitraattisulfaattia. Nitraattia voidaan lisätä viemäriin, mikäli siellä elää bakteereja, jotka pystyvät hyödyntämään sitä hapen lähteenä. Rikkivetyä alkaa muodostua vasta sitten kun nitraatti on kulunut loppuun.

Ferrinitraattisulfaatissa on nitraatin lisäksi ferrirautaa, joka nitraatin kuluttua loppuun pelkistyy ferroraudaksi ja alkaa sitoa syntyvää rikkivetyä. (Pulkinen, 2014, s. 12)

Rikkivedyn poistoon yksittäisestä viemäristä voidaan käyttää hapettavia kemikaaleja kuten vetyperoksidia, klooria ja kaliumpermangaattia. Huonoja puolena vetyperoksidin käytössä on sen vaikutuksen lyhytaikaisuus, vaikka sen reaktio- ja sivutuotteet ovatkin vaarattomia. Kloorin käytössä voi taas syntyä orgaanisia klooriyhdisteitä. Kaliumpermangaatti taas on kallista, minkä vuoksi se sopii vain pieniin kohteisiin. (Pulkinen, 2014, s. 12)

Nostamalla pH:ta ylöspäin esimerkiksi lipeällä, voidaan tehokkaasti vähentää jäteveden biologista aktiivisuutta sekä ehkäistä rikkivedyn syntyä ja hajuhaittoja. Jos pH nostetaan yli 9, rikkivety ei pääse vapautumaan ilmaan sen ollessa ionimuodossa. Mikrobin toiminta voidaan myös lamauttaa lyhytaikaisesti nostamalla pH 11–12. Eräällä teurastamon ja

lihanjalostamon jätevedenpumppaamolla on käytössään pH:n jatkuvatoiminen mittaus ja säätö 9:ään lipeän avulla, jotta rikkivetyä ei vapautuisi jätevedestä. Viemärin haiseva ilma voidaan johtaa myös esimerkiksi biosuodattimeen tai kaasupesuriin. (Pekkala, 2006, ss. 32–35)

5.2.2 Säiliökaasut

Säiliökaasujen poisto venttiilit voidaan yhdistää putkistoon, joka vie kaasupäästöt kaasujen käsittelyyn. Yleensä Säiliökaasujen poistojärjestelmä on kytketty soihtuun, koska sen toiminta ei vaarannu paineen muutoksista. Säiliökaasuja voidaan puhdistaa myös aktiivihiilen avulla. (Laumola, 2020, ss. 12–13; ks. myös Pulkkinen, 2010, s. 4)

5.2.3 Laitevuodot

Laitevuotojen määrää voidaan hallita etsimällä vuotokohtat sekä korjaamalla ne mahdollisimman nopealla aikataululla. Vuotavat laitteet voidaan korvata uusilla ja mahdollisimman tiiviillä laitteilla. Esimerkiksi pumppujen ja kompressorien kaksoistiivisteet ovat 300 kertaa tehokkaampia päästöjen pidätyksessä kuin yksinkertaiset tiivisteet. Mikäli avoimia hajupäästöjä aiheuttavia putkenpäitä löytyy, putken päät voidaan tukkia esimerkiksi tulpilla, kansilla tai umpilaipoilla. (Perttu, 1992, ss. 50–52)

5.2.4 Teollisuusrakennuksen päästöt

Teollisuusrakennus ja sen eri osastojen tulisi olla ilmatiiviitä, jotta hajuhaitat eivät leviäisi. Ilmastoinnissa voidaan pitää pientä alipainetta, kun ohjataan rakennuksen ilmaa hajukaasujen käsittelyyn. Tällöin rakennuksen ilma ei pääse karkaamaan ulkoilmaan. Eräs renderöintilaitos asensi alipaineen kannalta kriittisiin oviin hälytysjärjestelmän hajuhaittojen torjumiseksi. (Lehtomäki, 1989, s. 32; Goss ym., 2017, ss. 2–8)

5.2.5 Seisova vesi

Eräessä yrityksessä on hajua saatu vähennettyä huomattavasti lattioiden ja lattiakaivojen uudelleenpinnoituksella. Uudelleen pinnoitettu lattia on helpompi pitää puhtaana ja siinä on seisovaa vettä vähemmän. Laitoksessa käytetään painepesujen yhteydessä suuria lastoja lattian kuivaamiseksi ja huolehditaan, ettei myöskään lattiakaivoihin jää vettä seisomaan. (Goss ym., 2017, ss. 2–6)

5.3 Renderöintilaitoksilla käytössä olevat hajujen käsittelytavat

Renderöintilaitoksilla on käytössään hajun poistamiseksi laitteita, jotka perustuvat kemialliseen hapetukseen, termiseen hajotukseen, lämpöhäviöön tai biologiseen hajoamiseen. Kemiallisessa hapetuksessa hajuyhdisteet absorboidaan yleensä veteen, jonka jälkeen ne hapetetaan käyttämällä voimakkaita hapettimia kuten klooria tai kloorioksidia. Huoneilma yleensä johdetaan tällaisiin hapettaviin pesureihin. Yhdisteitä hapetetaan myös suoraan höyryfaasista otsonin avulla. (Sindt & Engineer, 2006, s. 256)

Prosessihöyryt jäädytetään ilmajäädytteisellä lauhduttimella tai kuorilauhduuttimella tai putkilauhduuttimella siten, ettei höyry ole kosketuksissa jäädytysnesteeseen. Jäädytyksen jälkeen partikkelit sekä aerosolimuodossa oleva rasva poistetaan höyrystä venturipesureilla. Partikkelit voidaan poistaa kaasusta myös kangassuodattimien avulla. Venturipesurin jälkeen kaasu käsitellään vielä kemiallisesti täytekappalepesurien avulla. Joissain laitoksissa prosessihöyryt ja muut erittäin haisevat höyryt johdetaan korkeaan lämpötilaan hajuyhdisteiden tuhoamiseksi. Myös biosuodattimia käytetään hajukaasujen käsittelyssä (Sindt & Engineer, 2006, ss. 255–256)

Yhdessä renderöintilaitoksessa prosessista syntyvät hajut käsitellään otsonointilaitteiston ja hydroksyyliiradikaalien kanssa. Toisessa renderöintilaitoksessa rakennuksen sisäilma johdetaan kahteen pakattuun tornipesuriin. Prosessista tulevat hajukaasut johdetaan poltettavaksi tai jos poltin ei ole käytössä, hajukaasut johdetaan kaasupesureihin. (Goss ym., 2017, ss. 2-7–2-8)

6 Hajukaasujen leviäminen ympäristöön

Lämpötila, ilmanpaine ja -kosteus, maanpinnan muodot, kasvillisuus, esiintyvät ilmavirtaukset, turbulenssi sekä päästökorkeus vaikuttavat siihen, miten hajua aiheuttavat yhdisteet leviävät ja esiintyvät ympäristössä hajuhaittaa aiheuttaen. Avoimessa maastossa hajukaasut leviävät helpommin ilmavirtausten mukana kuin metsäpeitteisessä maastossa. Tämä aiheuttaa sen, että ne havaitaan paremmin avoimessa maastossa. Rosoinen maasto vaikuttaa ilmamassaa liikuttavaan turbulenssiin ja ilman pystysuoraan liikkeeseen. (Salonen, 2018, s. 9)

Turbulenssiksi kutsutaan ilman pyörteilyä. Pyörteily sekoittaa ilmamassaa ja laimentaa samalla hajupäästöjä. Turbulenssin johtuessa maanpinnan ja ilmamassan lämpötilaeroista sitä sanotaan termiseksi turbulenssiksi. Mekaaniseksi turbulenssiksi sanotaan turbulenssia, joka aiheutuu maanpinnan muodoista ja sen aiheuttamasta kitkasta tai ilmamassan aiheuttamasta kitkasta. Mitä suurempaa turbulenssi on sitä tehokkaammin päästöt laimenevat. Turbulenssin lisäksi päästöt laimenevat ilmassa diffuusion kautta. Diffuusiosta pitoisuuserot tasoittuvat ilmamassojen välillä. Diffuusion merkitys päästöjen laimentumisessa on kuitenkin turbulenssiin verrattuna vähäinen. (Laukkanen, 2005, s. 52)

Tuulen nopeus vaikuttaa todella paljon hajuhaittoihin. Esimerkiksi tuulen tyyntyessä 5 m/s 0,1 m/s, hajumolekyylien määrä ilmassa kasvaa 50 kertaiseksi, vaikka päästömäärä ei muutu. Jos hajua aiheuttavat molekyylit ovat aerosolimuodossa, hajua ei esiinny. Kun aerosolit laimenevat ja alkavat haihtua höyrystymällä, niistä tulee haisevia. Hajuhaitta voi esiintyä kaukana hajun lähteestä, sillä aerosolien höyrystyminen voi olla hidasta. (Suomalainen, 2014; Lehtomäki, 1989, s. 27)

Ilmanpaineella tarkoitetaan ilmapilarin painoa. Ilmanpaine jaetaan korkea- ja matalapaineeseen, vaikka korkeapaineella ja matalapaineella ei ole varsinaista rajaa vaan ilmanpaine määräytyy sen mukaan, kuinka suuri ilmanpaine ympäröivillä alueilla on. Ilmanpaine vaikuttaa ilmavirtauksiin, kun ilmapilareiden väliset paine- ja lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan. Esimerkiksi konvektion aikaan lämpötilaerot ovat ilmapilareissa suuria, mikä aiheuttaa ilman pystysuuntaisia virtauksia. Toisessa paikassa ilma nousee

ylöspäin, kun toisessa se laskee. Tällaisia konvektiosoluja sijaitsee esimerkiksi kuuropilvien ja kumpupilvien läheisyydessä. (Ilmatieteenlaitos, n.d.; Paasonen, 2001, s. 70)

Korkeapaineen keskuksessa ilma virtaa ylhäältä alaspäin, kun taas matalapaineen keskuksessa ilma virtaa alhaalta ylöspäin. Joskus matalapaineen sanotaan painavan savupiippujen savut alas. Todellisuudessa matalapaineen aikana ilma virtaa hitaasti ylöspäin, mutta ilmavirtaukset voivat olla sen verran pyörteileviä, että savu tulee pyörteen mukana alas. Myös savupiipusta tulevan savun lämpötila suhteessa ympäristön lämpötilaan määrää sen nouseeko savu ylöspäin. Ympäristöään lämpimämpi savu nousee ylöspäin. (Paasonen, 2001, ss. 71–76)

Kun aurinko lämmittää ilmamassaa, hajumolekyylit liikkuvat lämpimän ilman noustessa ylöspäin, jolloin viileämpää ilmaa virtaa tilalle. Sateisella säällä hajuhaitat laimenevat ilman suhteellisen kosteuden lisääntyessä. Sadepisaroiden tai sumupisaroiden mukana hajumolekyylit voivat kuitenkin liikkua laajalle alueelle. (Salonen, 2018, ss. 10–11)

Ilmamassan termistä tasapainotilaa sanotaan labiiliksi, stabiiliksi tai neutraaliksi sen mukaan miten lämpötilarakenne eri ilmakerroksissa vaihtelee. Termisesti neutraali ilmamassa viilenee ylöspäin mentäessä ja se sekoittuu hyvin tuulen vaikutuksesta, eikä kerrostumista lämpötilan mukaan tapahdu. Labiilissa ilmatilassa aurinko pääsee lämmittämään maan pintaa tehokkaasti tuulen ollessa pieni, mikä saa aikaan termistä turbulenssia. Auringon lämmittämä ilma nousee ylöspäin, mitä kutsutaan konvektioksi. Labiilissa tilanteessa maanpinnan läheisyydestä, kuten liikenteestä ja lämmityksestä lähtöisin olevat päästöt haihtuvat nopeasti, mutta korkeista piipuista tulevat päästöt voivat turbulenssin mukana tuoda korkeita päästöpitaisuuksia. Ilmamassa on termisesti labiili kauniina keski- ja iltapäivinä kesällä sekä loppukevällä. (Laukkanen, 2005, s. 53)

Talvella ilma kerrostuu siten että ilman lämpötila kasvaa ylöspäin mentäessä. Tällöin ilmamassan termistä tasapainotilaa sanotaan stabiiliksi. Kyseistä sääilmiötä kutsutaan inversioksi. Tällöin ilmamassat eivät siis sekoitu ja ilma jää paikalleen, kun ilmamassan pystysuuntainen liike loppuu. Stabiilissa ilmakerroksessa voi esiintyä pyörteitä, jolloin ilma sekoittuu hitaasti. Inversion vuoksi hajuhaitat voivat olla talvella merkittäviä erityisesti iltaisin öisin ja aamuisin. Inversio syntyy korkeapaineen aikana, kun sää selkenee ja tuuli

tyyntyä. Talvella inversio ei välttämättä purkaannu päivälläkään, kun matalalla paistava aurinko pääsee lämmittämään maanpintaa vain vähän, kun lumi heijastaa auringon säteilyn avaruuteen. Inversio voi tapahtua myös selkeinä kesäöinä sekä maanpinnan että maanpinnan tuntumassa olevan ilmassan jäähtyessä. Tällainen säätila kestää yleensä tunneista päiviin ja se poistuu säätyypin muuttuessa tai auringon alkaessa lämmittää maanpintaa. (Salonen, 2018, ss. 10–11; Laukkanen, 2005, ss. 52–53; Foreca, n.d.)

Inversion sijainti ilmassassa ja päästölähteen korkeus vaikuttaa päästöjen esiintymiseen asutusalueella. Mikäli inversiokerros sijaitsee matalalla maan pinnan tuntumassa ja päästölähde inversiokerroksessa, päästöt jäävät inversiokerrokseen. Mikäli päästölähde sijaitsee inversiokerroksen yläpuolella, inversiokerros toimii niin sanottuna kattona ja päästöt eivät pääse inversiokerrokseen. Inversiokerroksesta eivät päästöt pääse poistumaan eikä inversiokerroksen ulkopuolella olevat päästöt pääse inversiokerroksen sisään. (Ruuhijärvi & Häyrinen, 1974, s. 109)

7 Biohiili ja sen mahdollisuudet kaasujen puhdistuksessa

7.1 Biohiilen valmistus ja ominaisuudet

Biohiili on pyrolyysillä 300–700 °C lämpötilassa ja hapettomissa olosuhteissa valmistettu hiilituote, jota voidaan valmistaa mistä tahansa biomassasta. Biohiilen eri käyttömahdollisuudet riippuvat biohiilen ominaisuuksista. Biohiilen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa lähinnä lähtömateriaalin valinnalla ja tuotantotekniikalla, kuten tuotannossa käytetyn lämpötilan avulla. On havaittu, että korkeammilla tuotantolämpötiloilla biohiilen määrä itsessään pienenee. Biohiilen kationinvaihtokyky mahdollistaa erilaisten yhdisteiden ja veden sitomisen itseensä. (Lehman & Joseph, 2015, ss.66–139)

Kaasujen puhdistuksessa biohiilelle tärkeitä ominaisuuksia ovat aromaattisuus, tuhkapitoisuus, mineraalisisältö, kationinvaihtokyky, pintavaraus ja rakenne. Biohiilissä, jotka ovat tehty esimerkiksi ruhosta tai yhdyskuntajätteistä, on korkeampi tuhkapitoisuus. Korkea mineraalipitoisuus voi parantaa happamien kaasujen absorptiota varsinkin, jos hiili

sisältää alkali- tai maa-alkalimetallien karbonaatteja, oksideja tai fosfaatteja. Biohiilen huokosten koko on oltava eri kaasuille sopivat. Jos biohiilen huokokset ovat liian pienet, epäpuhtaudet eivät pääse biohiilen huokosiin. (Gwenzi ym., 2020)

Biohiiltä voidaan käyttää hajujen vähentämisen lisäksi mikrobien kasvualustana sekä sitomaan ravinteita esimerkiksi vesien puhdistuksen yhteydessä. Veden puhdistuksen jälkeen biohiilen ollessa täynnä ravinteita, biohiiltä voitaisiin käyttää maan parannukseen. Biohiiltä voidaan käyttää myös esimerkiksi kompostissa aktivoimaan sen mikrobiologista toimintaa. (Lehman & Joseph, 2015, s.26)

7.2 Biohiili kaasujen puhdistuksessa

Tutkimusten mukaan biohiilen avulla voidaan kaasusta poistaa happamia kaasuja, kuten hiilidioksidia, rikkivetyä (Taulukko 2) ja rikkidioksidia. Myös haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, typpioksideja sekä metalleja, kuten elohopeaa, on saatu poistettua kaasusta biohiilen avulla. Tutkimuksissa saatettiin käyttää biohiiltä sellaisenaan tai se saatettiin aktivoida eri tavoin. (Gwenzi ym., 2020)

Taulukko 2. Eri biohiilikokeiden H₂S poistuminen kaasusta tai absorboituminen biohiileen. (Mukailtu lähteestä Das ym., 2019; Shang ym., 2012; Sun ym., 2017)

Biohiilen raaka-aine	Pyrolyysi	Olosuhteet	Rikkivedyn poistuminen kaasusta tai absorboituminen biohiileen
Kuusi	Kuumennus 5-10 °C/min kohti 650 °C	Komposti + biohiili seos, josta 25 % biohiiltä 75 % kompostia. Viipymä 119 s. Rikkivetyä kaasussa 0,1-2,9 g/m ³ .	Absorboi yli 99 % kaasun rikkivedystä
Kamferipuu	Kuumennus 10 °C/min 100-500 °C	Rikkivetypitoisuus 50 ppm. Viipymä 81 s.	Absorboi 1,2-121,4 mg rikkivetyä per g biohiiltä
Perunan kuoret	500 °C kuumennus 5 min.	Rikkivetypitoisuus 200-800 ppm	Absorboi 53 mg rikkivetyä per g biohiiltä

Tämänhetkinen tieto biohiilen kyvystä puhdistaa kaasusta epäpuhtauksia rajoittuu laboratoriotutkimuksiin. Käytännön sovelluksista on huonosti saatavilla tietoa, mutta laboratoriotutkimusten pohjalta biohiili voisi soveltua erilaisissa polttolaitoksissa, teollisuudenaloissa, maataloudessa ja jäteveden käsittelyssä syntyvien kaasujen puhdistukseen. (Gwenzi ym., 2020)

Yhdyskuntajätteestä energiaa tuottavien laitosten päästöt sisältävät suolahappoa, rikkidioksidiä ja typen oksideja. Polttolaitokset, jotka polttavat terveydenhuollosta, hautausteollisuudesta tai karjateollisuudesta peräisin olevaa tartuntavaarallista materiaalia, tuottavat biohiilellä puhdistettavia rikkioksidiä ja typpioksidiä päästöjä. Kyseiset laitokset tuottavat myös polykloorattuja dibentsodioksiineja, dibentsofuraaneja ja bifenyylejä, joiden poistamista kaasusta biohiilen avulla ei ole vielä tutkittu. (Gwenzi ym., 2020)

Kaivosteollisuudesta syntyvät kaasumaiset päästöt sisältävät metalleja ja orgaanisia epäpuhtauksia. Keramiikan, tiilien ja sementin tuotannossa syntyvät savukaasut sisältävät paljon myrkyllisiä komponentteja, joita voitaisiin tämänhetkisten tutkimuksien mukaan poistaa biohiilen avulla. Maataloudessa karjanhoidossa vapautuu haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Jätevedenkäsittelyssä syntyvät orgaaniset yhdisteet, rikkivety ja metaani voitaisiin pistemäisistä päästölähteistä suodattaa biohiilisuodattimen avulla. (Gwenzi ym., 2020)

8 Työn kokeellinen osio

8.1 Säiliöhönkäkaasun käsittely biohiilisuodattimella

Osana opinnäytetyötä testattiin biohiilen toimivuutta raakamäntyöljysäiliön hönkäkaasun puhdistuksessa. Kokeessa käytettiin rakennusjätepuusta pyrolysoitua biohiiltä sekä Carbofexin kaupallista verrokkia. Rakennusjätteestä pyrolysoitu biohiili oli tehty hitaalla pyrolyysimenetelmällä panostoimisessa retorttilaitteessa. Hiilen lämpötila oli prosessin aikana käynyt lähellä 700 °C. Carbofexin biohiili taas oli tehty jatkuvatoimisella laitteella

nopeaa pyrolyysimenetelmää käyttäen. Carbofexin hiili oli tehty 500–700 °C lämpötilassa 5–10 minuutin ajan. (Carbofex, n.d.)

Koetta varten valmistettiin viemäriputkista ja kärpäsverkosta kuvan mukainen biohiilisuodatin (Kuva 8). Mäntyöljysäiliön hönkäputkeen kiinnitettiin ilmastointiputki, joka johdettiin kanavapuhaltimeen. Kanavapuhaltimen virtaustilavuutta ei voitu laskea kanavapuhaltimen kilven tietojen perusteella. Kanavapuhaltimen jälkeen kiinnitettiin biohiilisuodatin. Hiiliputken halkaisija oli 7,5 cm ja sen pituus oli 150 cm. Ennen putken täyttämistä biohiilellä, hiilet seulottiin kokoon 5–10 mm. Kokeessa testattiin ensin Carbofexin kaupallisen biohiilen toimivuus, jonka jälkeen testattiin rakennuspuujätteestä pyrolysoidun biohiilen toimivuus. Kunkin biohiilen toimivuutta testattiin viikon ajan arkipäivisin.

Ensin suodatetusta kaasusta mitattiin rikkivetypitoisuus, jonka jälkeen rikkivetypitoisuus mitattiin suodattamattomasta kaasusta. Näin saatiin rikkivedyn poistuma suodatetusta kaasusta. Rikkivedyn poistuma kaasusta mitattiin kaksi kertaa päivässä. Ensimmäisen kerran säiliökaasusta mitattiin rikkivetypitoisuus, kun prosessoitua mäntyöljyä siirrettiin tankkiin. Toisen kerran säiliökaasun mittaus tehtiin noin 6 tunnin kuluttua siirrosta. Kahtena päivänä toinen mittauskerroista jätettiin pois säiliön tyhjennyksen vuoksi ja sen vuoksi, ettei mäntyöljyn siirtoa säiliöön ollut sinä päivänä.

Rikkivedyn mittaamiseen käytettiin PS200 4-Gas Detector mittaria. Mittari oli kalibroitu ennen koejaksoa. Rikkivetypitoisuus mitattiin ensin suodatetusta kaasusta, jonka jälkeen rikkivetypitoisuus mitattiin suodattamattomasta kaasusta. Rikkivedyn mittaaminen kesti noin viisi minuuttia per mittaus. Rikkivedyn mittaamisen lisäksi hajun laimentumista arvioitiin biohiilikokeen aikana aistinvaraisesti. Hajun laimentumista havainnoitiin arkipäivisin 2–3 työntekijän voimin. Hajun laimentuminen arvioitiin kirjallisesti lomakkeen avulla (Liite 1).

Kuva 8. Säiliön hönkäputkeen yhdistetty biohiilisuodatin. Rikkivetymittarin suojana käytettiin muovisukkaa.



8.2 Hajuvalitukset – hajupäiväkirja

Hajupäiväkirjassa tarkasteltiin, mitä tuotannossa oli ollut hajuvalituspäivinä. Lisäksi tarkasteltiin hajuvalituspäivien säätietoja. Säätiedoista hajupäiväkirjaan koottiin ilmanpaine, tuulenopeus, tuulen suunta ja lämpötila. Osassa hajuvalituksista oli ilmoitettu hajuhaittojen tarkka kellonaika. Näiden valitusten osalta tarkasteltiin, mitä tuotannossa oli ollut juuri ilmoitettuun kellonaikaan. Erään hajuvalituksen mukaan hajuhaittoja oli esiintynyt tiistaisin jo noin vuoden ajan, joten hajupäiväkirjan tietojen lisäksi tarkasteltiin muiden hajuvalituspäivien lisäksi myös tiistai päivien tuotantoa ja tuulensuuntia.

8.3 Omat hajuhavainnot

Hajuja havainnoitiin työn tilaajan tehdasalueen ulkopuolella naapurustossa opinnäytetyöntekijän toimesta, jotta saataisiin selville pahimmat hajun lähteet. Hajuja havainnoidessa merkittiin ylös hajun sijainti, hajun häiritsevyys, hajun kuvaus, hajun lähde sekä tuulen voimakkuus työn tilaajan sääaseman mukaan. Hajuja havainnoitiin 10 päivänä 8.4.2021–21.4.2021 noin kello 10–14 välisenä aikana. Myös tehdasalueella kierrettiin havainnoimassa hajuja, jotta opinnäytetyöntekijä tunnistaisi eri materiaaleista syntyvät hajut myös naapurustossa.

9 Tulokset ja niiden tarkastelu

9.1 Säiliöhönkäkaasun käsittely biohiilisuodattimella

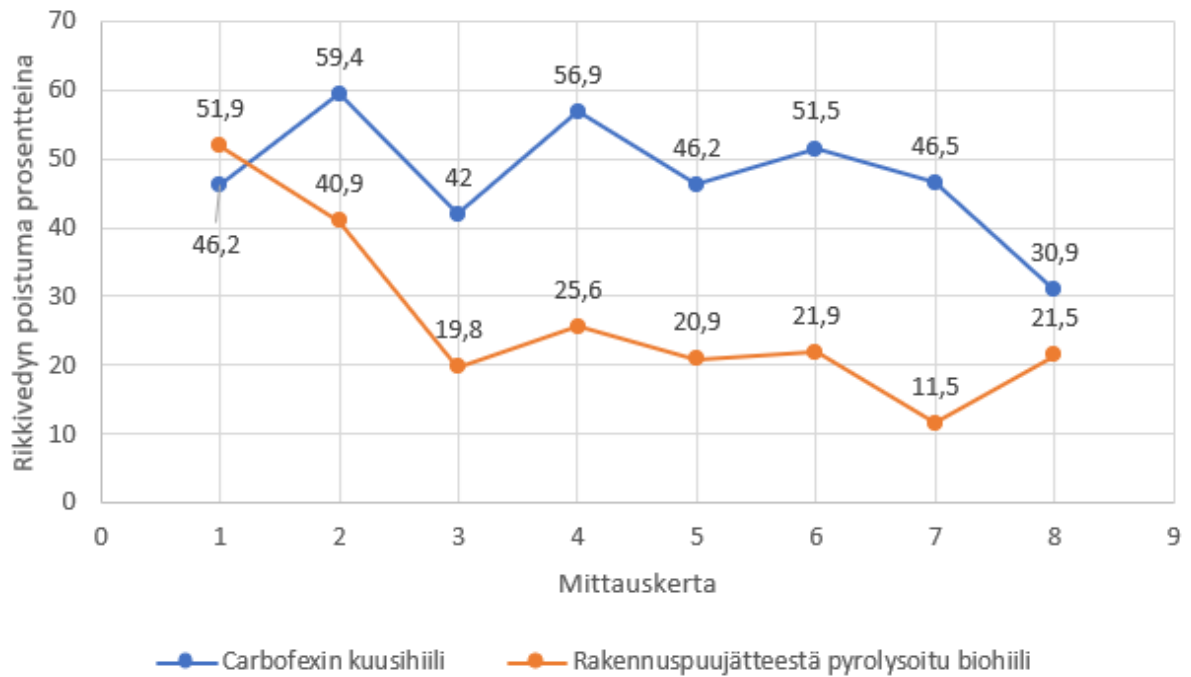
Carbofexin hiilellä suodatettaessa havaittiin hajun laimenevan biohiilikokeen alussa vähän. Toiseksi viimeisenä päivänä kaksi työntekijää arvioi hajun laimenevan merkittävästi ja yksi arvioi sen laimenevan vähän. Viimeisenä havainnointipäivänä hajun arvioitiin laimentuvan vähän ja eron oli kommentoitu suodatetun ja suodattamattoman kaasun välillä olevan pienempi kuin aiemmin. Rakennuspuujätteestä tehdyllä hiilellä suodatettaessa hajun koettiin ensimmäisenä päivänä olevan vahvempi suodatetusta päästä kuin suodattamattomasta. Seuraavina päivinä hajun koettiin laimenevan vähän ja hajua kuvattiin enemmän nahkaiseksi hajuksi kuin mäntyöljyn hajuksi.

Biohiilitestilomakkeeseen kommentoitiin kummankin hiilen kohdalla biohiilisuodattimen leikkaavan hajun terävyyttä tai pistävyyttä. Testilomakkeen kommenttiosioon oli kommentoitu hajun arvioimisen olevan todella haastavaa. Vaikka viikon alussa oli hajun laimentuminen merkattu vähäiseksi Carbofexin hiilen kohdalla, oli biohiililomakkeen kommenttiosioon kommentoitu, että hajun laimentuminen voisi olla myös merkittävä.

Suodattamattoman säiliökaasun rikkivetypitoisuudet vaihtelivat välillä 65–4,4 ppm ja suodatetun säiliökaasun rikkivetypitoisuudet välillä 46–2,6 ppm (Liite 2). Rikkivedyn poistuma biohiilikokeen alussa rakennuspuujätteestä pyrolysoidulla hiilellä oli noin 52 % ja Carbofexin biohiilellä noin 46 % (Kuva 9). Rakennuspuujätteestä pyrolysoidun biohiilen

suodatuskyky romahti, jonka jälkeen hiilen suodatusteho asettui keskimäärin noin 20:iin %. Carbofexin hiilen rikkivedyn suodatusteho oli seitsemän ensimmäisen mittauskerran keskiarvon perusteella noin 50 %, viimeisellä mittauskerralla biohiilen suodatusteho oli noin 31 %.

Kuva 9. Rikkivedyn poistuma [%] säiliöhönkäkaasun biohiilisuodatuksessa.



Mäntyöljysäiliöstä tuleva kaasu oli hyvin kosteaa, sillä muovisukkaan kertyi kondensioveettä. Säiliöstä kanavapuhaltimeen johtavaan putkeen oli väristä päätellen kertynyt kondensioveden mukana mäntyöljyä tai sen sisältämää ainetta (Kuva 10).

Kuva 10. Säiliöstä kanavapuhaltimeen johtavaan putkeen kondensioveden mukana kertynyttä ainetta.



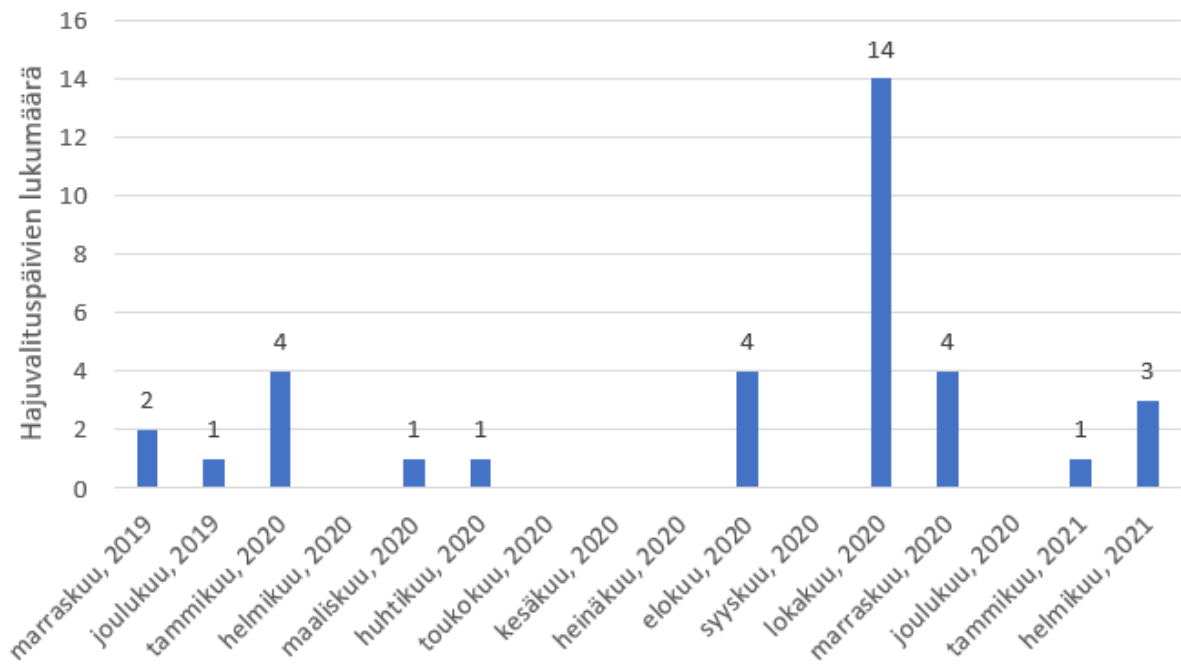
9.2 Hajuvalitukset – hajupäiväkirja

Hajuvalituspäiviä oli aikavälillä 24.11.2019 – 14.2.2021 yhteensä 35, joista neljänä päivänä ei ollut tuotantoa. Hajuvalituspäiviä oli eniten lokakuussa 2020, kun taas helmi-, touko-, kesä-, heinä-, syys- ja joulukuussa hajuvalituksia ei tullut ollenkaan (Kuva 11).

Valituspäivinä tuotannossa oli kalaa, lihaa, UCO eli käytettyä paistorasvaa, FW eli meijerirasvoja ja mäntyöljyä.

Hajuvalituksia tuli enemmän päivinä, jolloin ilmanpainelukemat olivat korkeampia (Taulukko 4). Hajuvalituksissa ilmoitettiin 22 päivänä yhteensä 26 kellonaikaa, jolloin hajua on esiintynyt. Samoina päivinä oli ilmoitettu useita eri hajun ajankohtia. Valituksissa oli ilmoitettu yhteensä 7 kellonaikaa kello 16 ja 6.59 välillä (Taulukko 3). Tällöin tuotanto ei ole ollut päällä, sillä tuotanto alkaa yleensä aikaisintaan noin 7.30 ja päättyy yleensä viimeistään iltapäivän aikana noin klo. 14–15.

Kuva 11. Hajuvalituspäivien jakaantuminen eri kuukausien välille.



Taulukko 3. Hajuvalituksissa ilmoitettujen kellonaikojen jakaantuminen.

Valituksen kellonaika	Ilmoitettujen kellonaikojen lukumäärä
7.00 - 15.59	19
16.00 - 0.59	5
1.00 - 6.59	2

Taulukko 4. Hajuvalituspäivien ilmanpaineiden jakaantuminen

Ilmanpaine hPa	Valituspäivien lukumäärä
995 - 1006	5
1007 - 1012	5
1013 - 1019	10
1020 - 1032	15

Tuloksien mukaan hajuvalituksia tuli eniten tuulen nopeuden ollessa sääaseman mukaan 4 – 7 m/s. Toiseksi eniten hajuvalituksia tuli päivinä, jolloin tuulen nopeus sääaseman mukaan oli 8 – 13 m/s. Vähiten hajuvalituksia tehtiin tuulen ollessa heikko eli 1 – 3 m/s (Taulukko 5).

Taulukko 5. Hajuvalituspäivien tuulenopeuksien jakaantuminen.

Tuulen nopeus	Päivien lukumäärä
heikkoa tuulta 1-3 m/s	6
kohtalaista tuulta 4-7 m/s	21
navakkaa tuulta 8-13 m/s	8

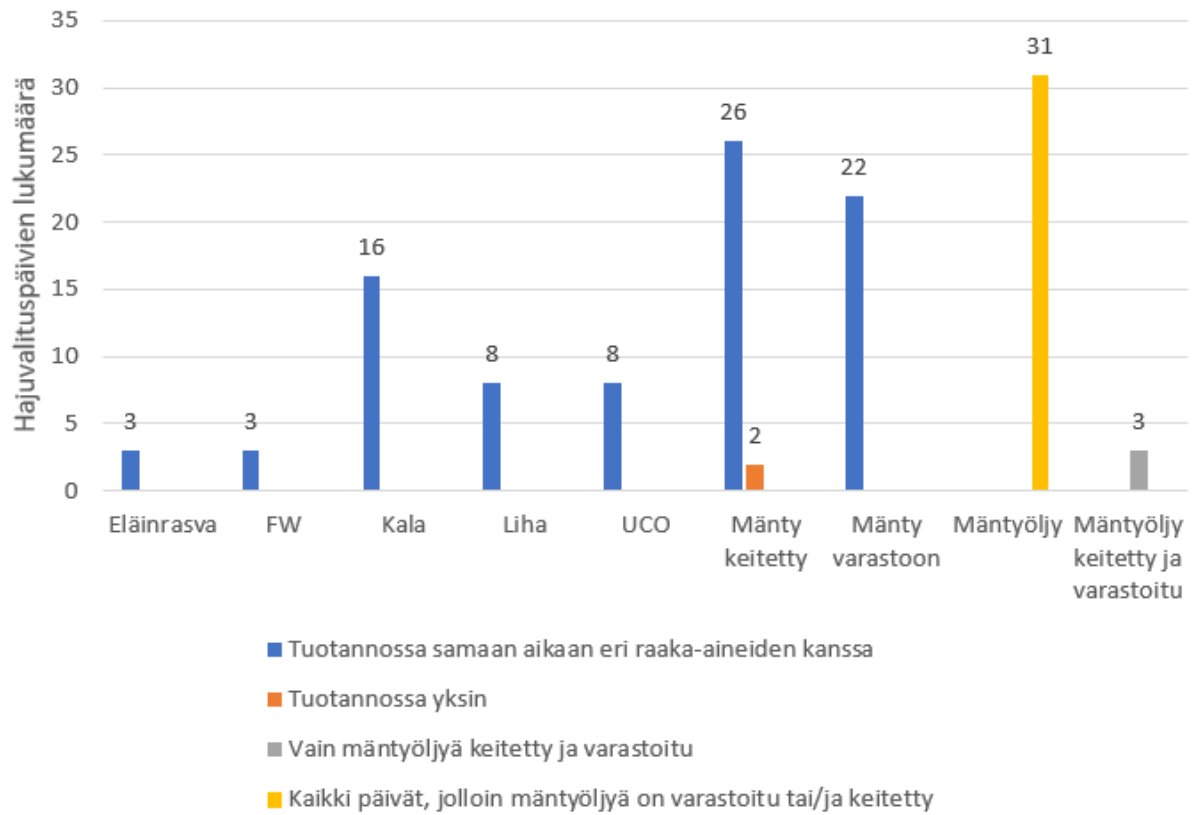
Kun tarkastellaan ilman lämpötilaa hajuvalituspäivinä (Taulukko 6), huomataan hajuvalituksia tulleen eniten päivän lämpötilan ollessa 0 °C ja plus 9 °C välillä. Hajuvalituksia tuli vähiten päivälämpötilan ollessa pakkasen puolella.

Taulukko 6. Hajuvalituspäivien lämpötilajakauma.

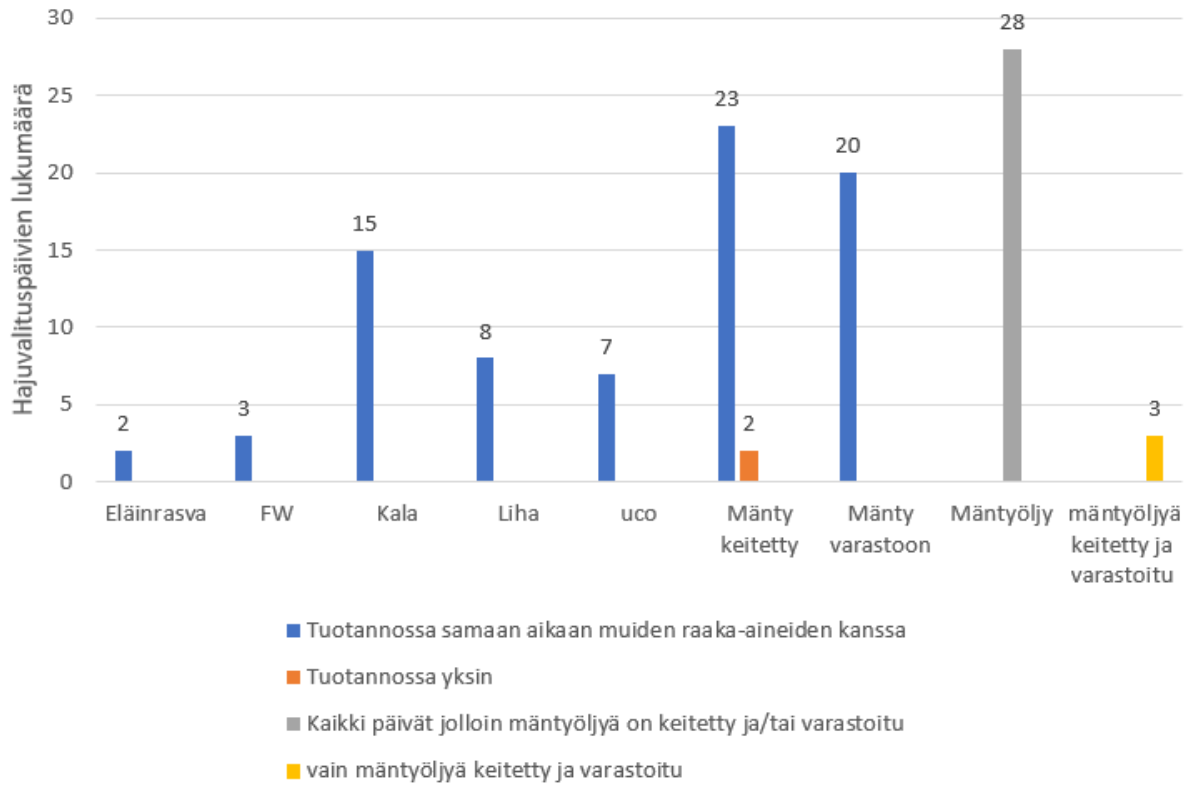
Ulkolämpötila	Päivien lukumäärä
Plus 10 - plus 20	8
Plus 0 - plus 9	18
Miinus 1 - miinus 9	5
Miinus 10 tai alle	3

Tuotannossa hajuvalituspäivinä oli yleensä useita eri raaka-aineita (Kuva 12). Tarkastellessa koko hajupäiväkirjaa huomataan, että kahtena päivänä on keitetty vain mäntyöljyä ja 3 päivänä on keittämisen lisäksi mäntyöljyä myös varastoitu. Kaikkia hajuvalituspäiviä tarkastellessa huomataan, ettei tuotannossa ole ollut yhtäkään päivää, jolloin tuotannossa olisi ollut yksin jotakin muuta kuin mäntyöljyä. Kun tarkastellaan mitä tuotannossa on ollut kaikkina hajuvalituspäivinä ja mitä tuotannossa on ollut tuulen suunnan osuudessa asutukseen, huomataan että hajuvalituspäivien lukumäärä poikkeaa eri raaka-aineiden kohdalla hyvin vähän tai ei ollenkaan (Kuva 13).

Kuva 12. Tuotannossa olleet raaka-aineet kaikkina hajuvälituspäivinä, kun tuotannossa on ollut samaan aikaan eri raaka-aineita vs. raaka-aine on ollut yksin tuotannossa.

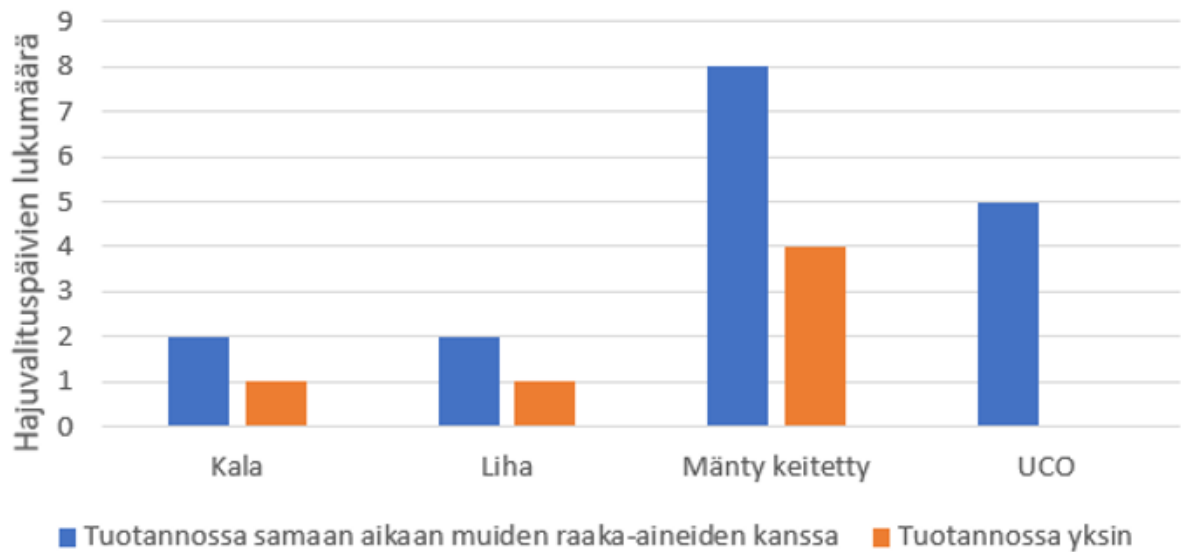


Kuva 13. Tuotannossa olleet raaka-aineet tuulensuuntien osuessa asutukseen, kun tuotannossa on ollut samaan aikaan eri raaka-aineita vs. raaka-aine on ollut yksin tuotannossa.



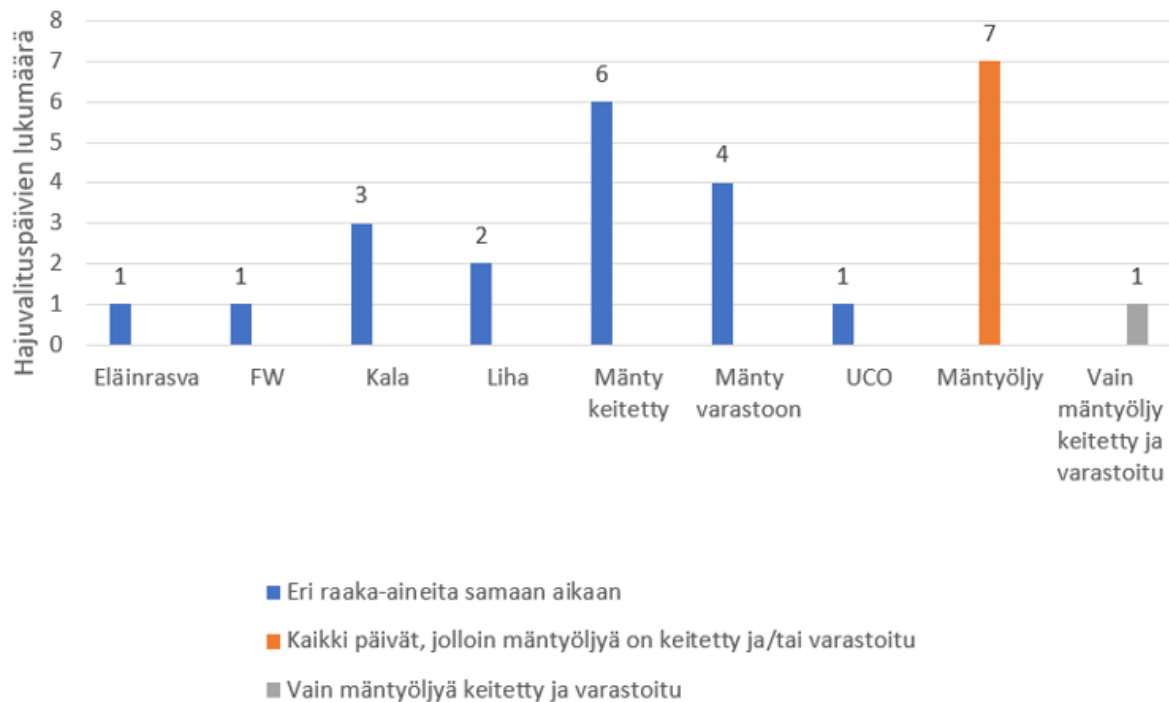
Hajuvalituspäiviä oli 15, joissa oli ilmoitettu hajuhaitan tarkka kellonaika, joiden aikana oli ollut tuotantoa (Kuva 14). Lihaa, kalaa tai UCO eli käytettyä paistorasvaa oli tuotannossa yleensä samaan aikaan kuin mäntyöljy. Ilmoituksissa oli kaksi kellonaikaa, joiden aikana oli tuotannossa yksin lihaa tai kalaa. Ilmoituksissa oli 4 kellonaikaa, joiden aikana oli keitetty vain mäntyöljyä. Hajuvalituspäivinä, jolloin oli prosessoitu UCO:a, tuotannossa oli ollut samanaikaisesti mäntyöljyä.

Kuva 14. Tuotannossa olleet raaka-aineet samaan aikaan muiden raaka-aineiden kanssa vs. tuotannossa yksin ollut raaka-aine hajuvalitusten tarkkojen kellonaikojen hetkellä.



Kun tarkastellaan mitä tuotannossa oli ollut hajuvalituspäivinä, jolloin valitusten kellonajat eivät osu tuotannon kanssa samaan aikaan, nähdään että mäntyöljyä on keitetty ja varastoitu yksin vain yhtenä päivänä (Kuva 15). Muina päivinä mäntyöljyn lisäksi oli prosessoitu muitakin raaka-aineita. Vain kalaa, lihaa ja mäntyöljyä oli prosessoitu useampana kuin yhtenä päivänä.

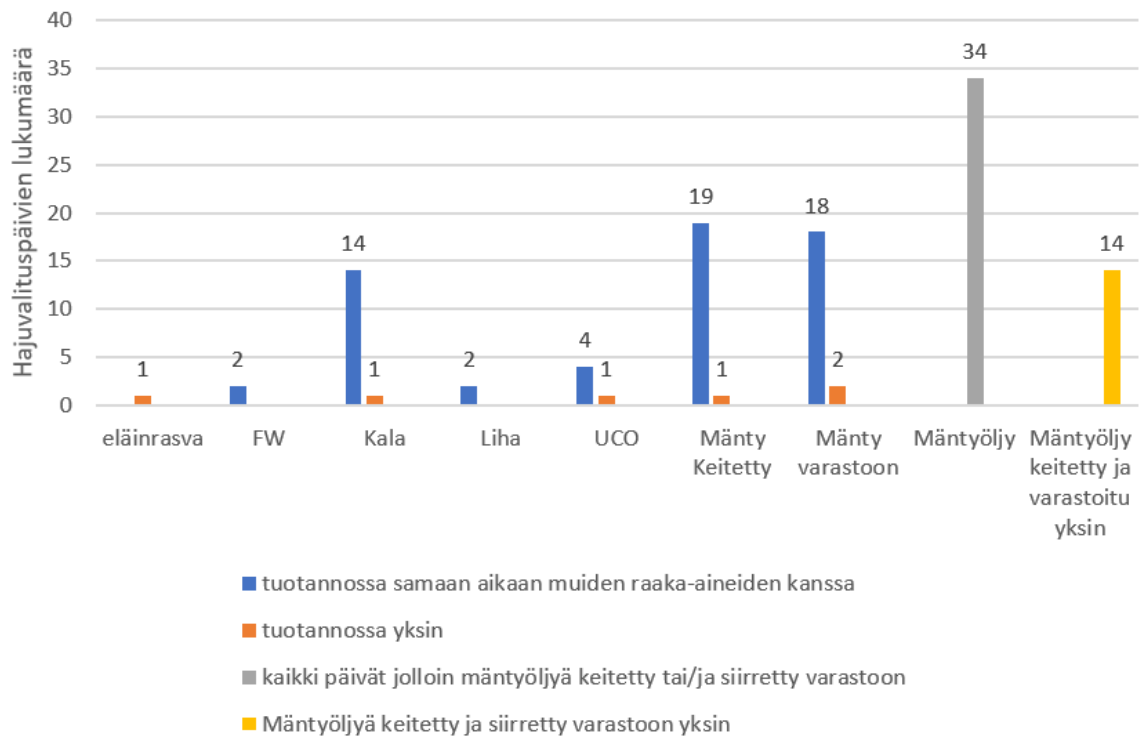
Kuva 15. Tuotannossa olleet raaka-aineet hajuvälituspäivinä, jolloin valituksen kellonaika ei osu tuotannon kanssa samaan aikaan. Päivän aikana tuotannossa oli eri raaka-aineita vs. raaka-aine oli yksin tuotannossa.



Erään hajuvälituksen mukaan hajua on esiintynyt noin vuoden ajan aina tiistai-iltaisina ja viikonloppuisin tuulen suunnan ollessa pohjoiseen. Varsinaisen hajupäiväkirjan lisäksi analysoitiin mitä tiistapäivinä on ollut tuotannossa tuulen suunnan ollessa siihen suuntaan, mistä hajuvälitus on tullut. Tiistai-päivät analysoitiin aikaväliltä 23.2.2021 – 31.12.2019. Näiden päivien joukossa oli 39 tiistaita, jolloin tuulensuunta oli kohti pohjoista tai koillista eli kohti sijaintia, josta väliä oli tehty. Etäisyys tielle, josta hajuvälitus oli tullut, on keskimäärin noin 750 metriä.

Alla olevaa kuvaa (Kuva 16) tarkastelemalla nähdään, että mäntyöljyä on prosessoitu 34 tiistaina tarkastelujaksolla. Kuvasta nähdään, että kala on prosessoitu 14 päivänä samaan aikaan mäntyöljyn kanssa, kun taas lihaa on prosessoitu vain kahtena päivänä.

Kuva 16. Tuotannossa olleet raaka-aineet tiistaisin tuulen ollessa kohti pohjoista tai koillista, kun tuotannossa on ollut samaan aikaan eri raaka-aineita vs. raaka-aine on ollut yksin tuotannossa.



9.3 Omat hajuhavainnot

Hajuja havainnoitiin kymmenenä eri päivänä. Hajuja havainnoitaessa tunnistettiin mäntyöljyn, lihan, kalan, kalamassan ja viemärin haju. Työn tilaajan sääaseman tietojen mukaan kaikkina hajujen havainnointipäivinä tuulen nopeus oli 8 – 15 m/s (Kuva 17).

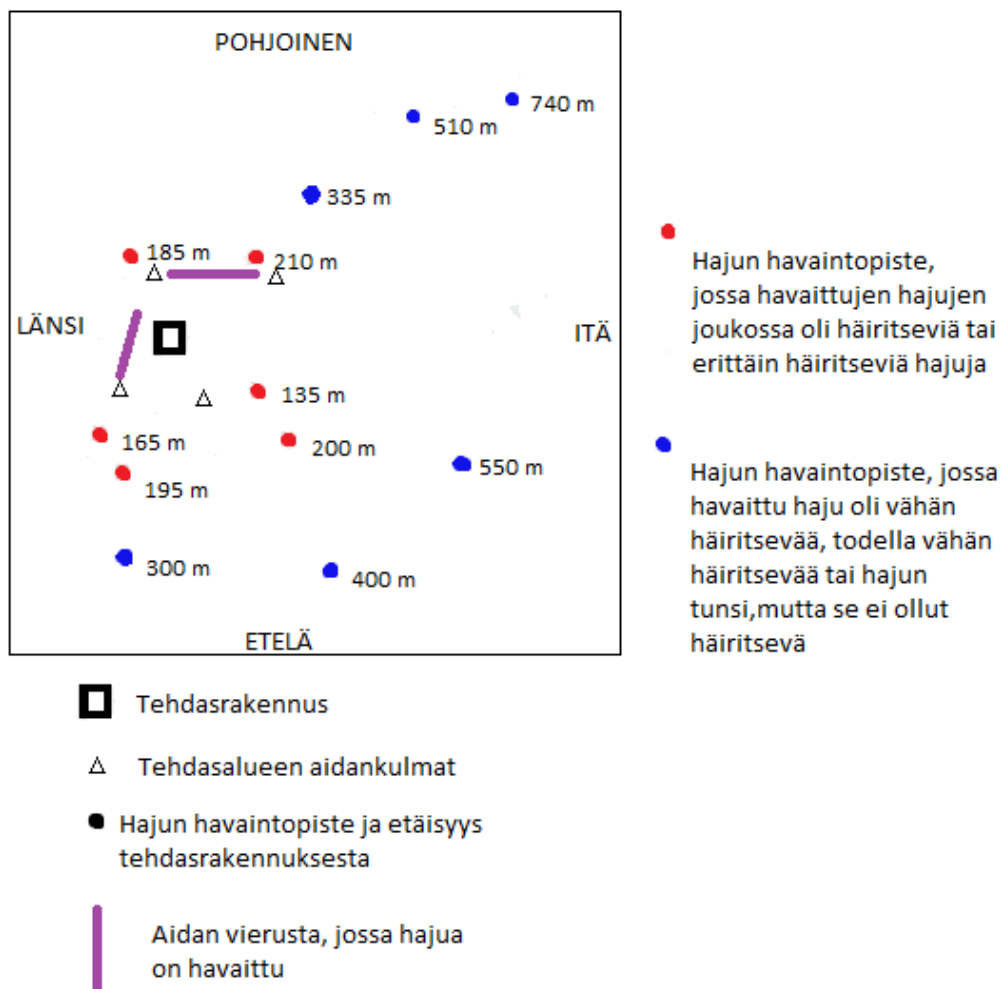
Kuva 17. Hajuhavaintojen määrä eri tuulenopeuksilla. (Ilmatieteenlaitos, n.d.)

Tuulen nopeus sääaseman mukaan	Havaintojen määrä
Navakkaa tuulta 8 - 13 m/s	32
Kovaa tuulta 14 - 20 m/s	1

Hajua havaittiin 33 kertaa, joista 26 havaintoa tehtiin tuulelta suojaisissa paikoissa kuten esimerkiksi metsikköisen alueen ja/tai asutusalueen keskellä. Häiritsevät ja erittäin häiritsevät hajuhavainnot tehtiin juuri näissä paikoissa, joissa oli tyyntä tai tuulen nopeus oli selkeästi alhaisempi kuin laakeammilla paikoilla kuten puisto tai peltoalueilla. Laakeammilla alueilla, joissa tuulen nopeus oli lähempänä sääaseman näyttämää arvoa, hajun tunsi mutta se ei ollut häiritsevä tai se oli vähän häiritsevä.

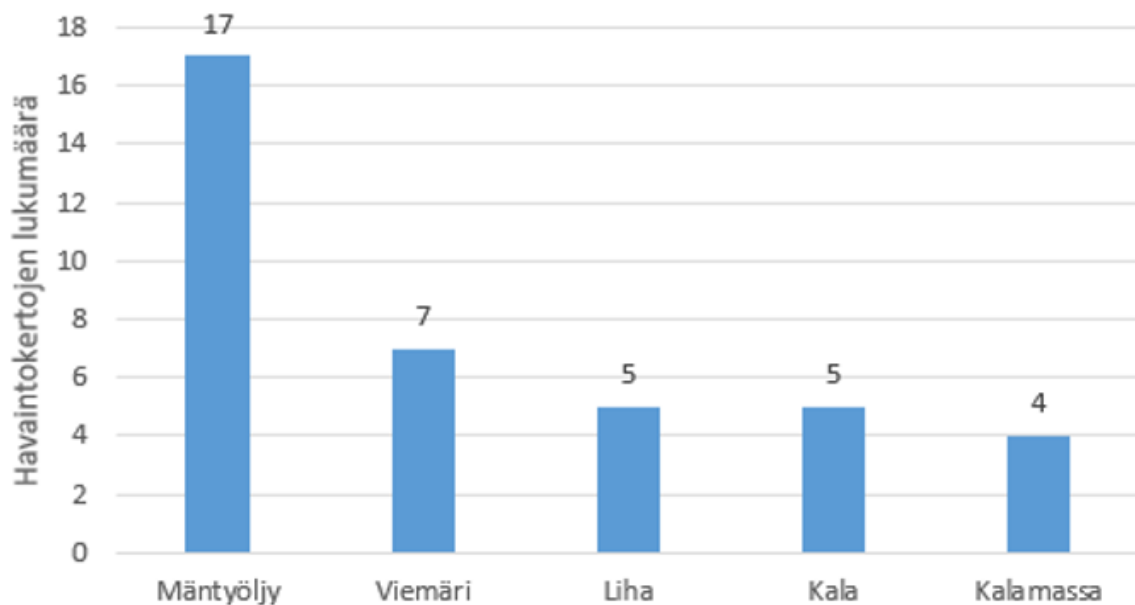
Hajua havaittiin 12 eri pisteessä aidan vierustan välittömän läheisyyden lisäksi (Kuva 18). Tehdasrakennuksesta 210 metrin säteellä havaittiin häiritsevimmät hajut. Kun mentiin sitä kauemmas, havaitut hajut olivat enää vähän häiritseviä, todella vähän häiritseviä tai hajun tunsi, mutta se ei ollut häiritsevä.

Kuva 18. Hajun havaintopisteet ja niiden etäisyys tehdasrakennuksesta lukuun ottamatta aidan vieressä havaittua hajua.

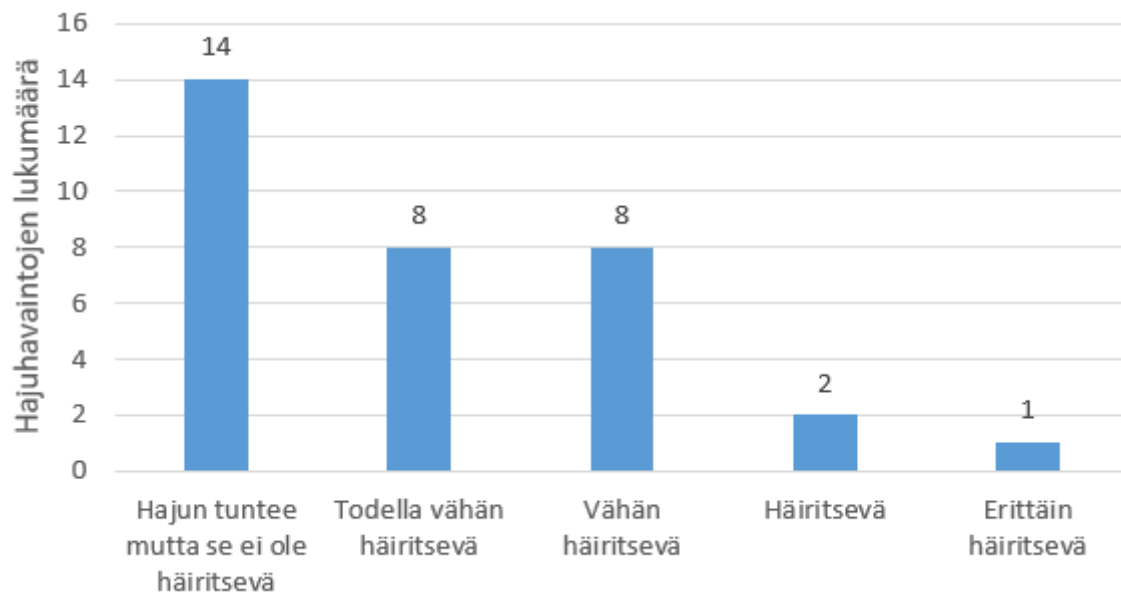


Eniten havaittiin mäntyöljyn hajua, toiseksi eniten havaittiin viemäriin hajua, toiseksi vähiten havaittiin lihan ja kalan hajua ja vähiten kalamassan hajua (Kuva 19). Kalamassan prosessoinnista aiheutuvien hajujen kohdalla on syytä ottaa huomioon, että kyseessä oli muutaman päivän mittainen koeajo ja kyseistä kalamassaa ei tule enää tuotantoon. Lihan ja kalan haju esiintyi usein yhtä aikaa mäntyöljyn prosessoinnin hajun kanssa. Häiritsevistä haju havainnoista suurin osa oli todella vähän häiritseviä tai vähän häiritseviä. Vain 3 kappaletta kaikista 33 havainnosta olivat häiritseviä tai erittäin häiritseviä (Kuva 20). Häiritsevimmät hajut tulivat mäntyöljyn ja kalamassan prosessoinnista. Toiseksi häiritsevimmät hajut tulivat mäntyöljyn ja kalamassan ohella lihan prosessoinnista (Kuva 21).

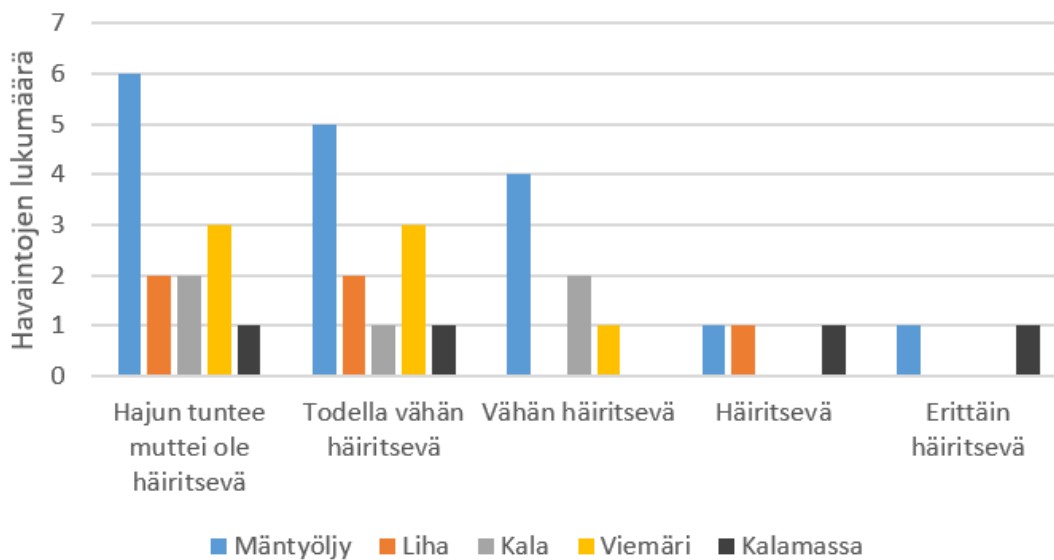
Kuva 19. Hajuhavaintojen lukumäärä eri raaka-aineiden mukaan jaoteltuna.



Kuva 20. Hajuhavaintojen lukumäärä häiritsevyyden mukaan.



Kuva 21. Hajuhavaintojen lukumäärä eri raaka-aineiden ja hajun häiritsevyyden mukaan jaoteltuna.



Kun verrataan mitä tuotannossa on ollut hajuvaiutuksissa ilmoitettujen kellonaikojen hetkellä (Kuva 14) ja hajuhavaintokertojen lukumääriä (Kuva 19), huomataan kuvissa olevan kalan ja lihan tuotantomäärien samansuuruiset. Tuotannossa hajuvaiutuksissa ilmoitettuihin kellonaikoihin oli ollut kalaa tai lihaa 25 % siitä, kuinka paljon mäntyöljyä oli keitetty. Lihan tai kalan hajuhavaintokertojen määrä taas oli 29 % verrattuna mäntyöljyn hajuhavaintoihin

nähdän. Kun verrataan sääaseman tuulitietoja hajuhavaintopäivien osalta, huomataan, että hajupäiväkirjassa hajuvalituksia oli tehty sääaseman tietojen mukaan eniten, kun tuuli oli ollut 4 – 7 m/s, toiseksi eniten tuulen nopeuden ollessa 8 – 13 m/s ja vähiten tuulen nopeuden ollessa 1 – 6 m/s. Hajuhavainnosta yhtä lukuun ottamatta kaikki hajuhavainnot tehtiin päivinä, jolloin tuulennopeus oli ollut sääaseman mukaan 8 – 13 m/s. Yksi hajuhavainto oli tehty tuulen ollessa 14 – 20 m/s. Hajuja havainnoitaessa kuitenkin huomattiin hajujen esiintyvän useammin ja voimakkaampina paikoissa, jotka olivat tuulelta suojaisissa paikoissa.

10 Johtopäätökset

Tämän työn tutkimuskysymyksiä olivat:

- Voisiko biohiili toimia raakamäntyöljysäiliön säiliökaasun puhdistuksessa?
- Mitkä ovat selkeimmät hajun lähteet?
- Voidaanko hajuhaittojen syy tunnistaa hajupäiväkirjan avulla?
- Mitä menetelmiä olisi hajujen hallinnan ja vähentämisen tehostamiseksi?

Biohiilisuodattimessa rikkivedyn poistuma oli Carbofexin biohiilellä noin 50 % ja säiliökaasun hajun laimeneminen vähäistä. Tämän perusteella biohiili voisi toimia säiliökaasun puhdistuksessa. Biohiilen käyttö mäntyöljysäiliön säiliökaasujen puhdistuksessa vaatii kuitenkin lisäkokeita ja biohiilisuodatusjärjestelmän muutoksia, jotta säiliökaasun puhdistus tehokkuutta saataisiin lisättyä. Kokeen perusteella rikkivetyä kannattaa puhdistaa säiliökaasusta, sillä se sisältää rikkivetyä moninkertaisen määrän hajukynnykseen nähden. Biohiilikokeen aistinvaraisessa osiossa havaittiin suodatetun kaasun hajun olevan nahkainen mikä viittaa siihen, että kaasu sisältää muitakin hajuyhdisteitä kuin rikkivetyä. Kirjallisuuden mukaan mäntyöljyn keitosta ja varastoinnista syntyy eri rikkijyhdisteitä mikä tukee kyseistä havaintoa.

Hajuhavainnot perustuivat opinnäytetyöntekijän subjektiivisiin kokemuksiin. Hajujen havainnoinnin aikana eniten havaittiin viemärin ja mäntyöljyn hajua, kun taas häiritsevimmiksi hajuiksi koettiin mäntyöljyn ja lihan haju. Näiden kokemusten pohjalta mäntyöljyn ja lihan prosessoinnista aiheutuneet hajut olivat selkeimmät hajun lähteet, jos ei oteta kalamassaa huomioon, koska kyseessä oli yksittäinen koeajo.

Yrityksessä käytössä oleville biosuodattimelle ja kaasupesurille tullaan suorittamaan viralliset ympäristöluvan mukaiset hajumittaukset kesäkuussa 2021. Mikäli virallisissa mittauksissa ilmenee tarvetta tehostaa hajun poistoa, voitaisiin esim. emäksisen pesunesteen tilalle vaihtaa pesunesteeksi klooridioksidi. Klooridioksidi tehoaisi useimpiin TRS-yhdisteisiin ja vältettäisiin pesunesteestä aiheutuva sekundäärinen hajuhaitta. Mikäli tarvetta ilmenee, biosuodattimen kykyä sitoa hajua voitaisiin parantaa lisäämällä siihen aktiivihiiltä tai biohiiltä. Biosuodattimen ominaisuuksia voitaisiin myös tutkia, jotta tiedettäisiin, voidaanko biosuodattimen toimintaa parantaa jollakin tapaa. Esimerkiksi biosuodattimen ollessa liian kostea, voitaisiin harkita kaasun osittaista kuivaamista ennen biosuodattimeen johtamista. Biosuodattimessa puhdistettu kaasu voitaisiin myös johtaa toiseen biosuodattimeen puhdistustason parantamiseksi. Yksi vaihtoehto kaasujen puhdistustason parantamiseen voisi olla se, että mäntyöljyprosessissa syntyvien kaasujen lisäksi myös renderöinti-prosessin hajukaasut johdettaisiin kaasupesuriin, jossa pesunesteenä olisi hapettava klooridioksidi. Viemäristä aiheutuvia hajuhaittoja voitaisiin esim. vähentää nostamalla jäteveden pH yli 9, jolloin rikkivetyä ei pääsisi vapautumaan jätevedestä.

Hajupäiväkirjan tarkastelun tuloksiin vaikutti päivittäinen mäntyöljyn prosessointi. Jos hajupäiväkirjaa tarkastellaan hajuvalitusten osalta, joissa ilmoitettu kellonaika osuu tuotantoon, mäntyöljy voi olla pääasiallinen hajunlähde. Mikäli jokin muu yksittäinen raaka-aine kuin mäntyöljy olisi hajuvalitusten lähde, tulokset näyttäisivät siltä, että kyseistä raaka-ainetta olisi prosessoitu lähes yhtä monena hajuvalituspäivänä kuin mäntyöljyä. Tuloksissa mikään raaka-aine ei ole mäntyöljyn kanssa samalla tasolla hajuvalituspäivien lukumäärää katsoessa, minkä perusteella hajun lähde voi olla mäntyöljy, useat eri raaka-aineet tai hajun lähde voi olla jossakin muualla kuin yrityksen prosesseissa.

11 Pohdinta

Biohiilikokeessa testattiin biohiilen toimivuutta mäntyöljysäiliön kaasun puhdistuksessa saatavilla olevien välineiden avulla. Kokeessa jouduttiin käyttämään kanavapuhallin, jotta säiliökaasu saatiin virtaamaan hiilen läpi. Tässä kokeessa on otettava huomioon, että mäntyöljysäiliön kaikki kaasu ei pumpusta huolimatta mennyt biohiilisuodattimen läpi, sillä kaasua pääsi vuotamaan säiliön kannen välistä. Kanavapuhaltimen pitäisi siis olla tehokkaampi, jotta kaikki kaasu menisi suodattimen läpi. Toisaalta biohiilisuodattimen pitäisi olla kooltaan suurempi, jotta hiilen ja kaasun kontaktaika olisi suurempi. Mikäli säiliöstä tulevan ilman saisi kuivemmaksi, hiilen suodatusteho voisi säilyä pidempään sen pysyessä kuivana, kun vesipisarot eivät tuki hiilen huokosia. Toisaalta osa hajuyhdisteistä kondensoituisi säiliökaasun kuivaamisen yhteydessä, jolloin biohiilen suodatusteho säilyisi pidempään. Tällä kertaa pitoisuus mitattiin ensin laimeammasta päästä ja sitten vahvemmasta päästä. Tuloksiin voi vaikuttaa, jos kanava puhaltimen puhaltaman säiliö kaasun pitoisuus nousee sillä aikaa, kun vaihdetaan mittari mittaamaan suodattamattoman kaasun pitoisuutta. Tämän vuoksi olisi ollut hyvä, jos kokeessa olisi ollut automaattiset mittausturvit, jotka olisivat tallentaneet reaaliaikaiset rikkivetypitoisuudet. Biohiilikoetta voisi kehittää myös ottamalla verrokiksi putken, jossa ei ole biohiilisuodatinta. Tällöin saataisiin tietää, jos rikkivetypitoisuus jostain syystä muuttuisi putkessa ilman biohiilisuodatinta. Näin saataisiin selville rikkivedyn todellinen poistuma kaasusta.

Tässä työssä hajupäiväkirja tehtiin asukkailta tulleiden valitusten pohjalta. Hyödyllisempää voisi olla, jos yksi tai useampi hajuhaittaa kokeva henkilö täyttäisi hajupäiväkirjaa esimerkiksi kolmen kuukauden ajan. Hajupäiväkirjaan merkittäisiin hajun ilmenemiskellonaika, kesto, häiritsevyyt ja sanallinen kuvaus hajusta. Kun asukas on täyttänyt hajupäiväkirjaa, hajupäiväkirjan tietojen pohjalta katsottaisiin tuotantopäiväkirjan ja säätietojen pohjalta, mitä tuotannossa on ollut hajun ilmenemisajankohtana ja osuuko tuulensuunta osoitteeseen, jossa hajupäiväkirja on täytetty hajutietojen osalta. Näin voitaisiin tarkastella yhtä tuulensuuntaa kerrallaan ja siihen sattuvia hajuja. Näin voitaisiin saada tarkempaa dataa hajun aiheuttajasta ja siitä mistä hajut todella tulevat.

Tämän hajupäiväkirjan haasteena oli, että asutusta on monessa ilmansuunnassa eikä tiedetä hajuhaitan tarkkaa sijaintia, jolloin ei voida sulkea pois sitä toisen tuulensuunnan aikaisen tuotannon hajuhaitan mahdollisuutta. Vaikka käytössä olisi yksi tuulensuunta, hajupäiväkirjan analysointi voisi olla silti ongelmallista työn tilaajan kohdalla, koska mäntyöljyä prosessoidaan samanaikaisesti muun tuotannon kanssa. Toisaalta näin voitaisiin saada hajupäiväkirjan tuloksia oikeampaan suuntaan. Hajuvalitusten mukaan hajua on esiintynyt työn tilaajan tuotantoaikojen ulkopuolella. Jos muutkin alueen yritykset tekisivät yhteenvedon asukkaiden tekemien hajupäiväkirjojen perusteella, kaupungin viranomaiset voisivat saada selville hajuhaittojen lähteen tai lähteet myös niiltä ajoilta, kun tämän työn tilaajalla ei ole prosessointia.

Hajupäiväkirjassa mäntyöljyn lisäksi kalan osuus oli suurempi verrattuna muihin raaka-aineisiin. Tähän vaikuttaa se, että mäntyöljyä prosessoidaan joka päivä. Voi olla myös mahdollista, että kalan tuotantomäärien kasvaessa biosuodattimen mikrobit eivät ole kyenneet vastaanottamaan kaikkia epäpuhtauksia, jolloin ympäristöön joutuvan hajun määrä on kasvanut.

Mikäli biosuotimen hajunpoiston tehostamiselle on tarvetta ja ennen kuin biosuodattimen lisäksi investoidaan hajun lisäkäsittelyyn, voisi olla hyödyllistä selvittää biosuodattimen toimintaa ja ominaisuuksia, jotta saataisiin tietää voisiko biosuodatin toimia paremmin esimerkiksi puskurikyvyn parantamisella tai muuttamalla sisään menevän kaasun kosteutta tai lämpötilaa. Tämä voisi olla toisen opinnäytetyön aihe.

Lähteet

Australian Meat Processor Corporation. (n.d.) *Odour*.

https://www.ampc.com.au/uploads/cgblog/id160/ENV_2010_Enviromental-best-practice-manual-odour.pdf

Arnold, M. (2002) *Eläinsuojien hajuhaitat-ohjeistusmallit, arviointi ja vähentäminen sekä käytäntö eri maissa*. Susies -loppuraportti. Alueelliset ympäristöjulkaisut 264. Länsisuomen ympäristökeskus. Ykkös-Offset Oy.

Candi. (2014) Otsonointi. Haettu 11.8.2021 osoitteesta: <http://www.candi.fi/otsonointi/>

Carbofex. (n.d.). *Biomassan pyrolyysitekniikka*. Haettu 5.4.2021 osoitteesta:

<https://www.carbofex.fi/?view=Home>

Chau N. (2020). *Ämmässuon ekoteollisuuskeskuksen hajupäästöjenseurannan ennustaminen ja kehittäminen*. [Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu].

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/341261/Chau_Ngoc.pdf?sequence=2

Das, J., Rene, E., Dupont, C., Dufourny, A., Blin, J. & van Hullebusch, E. (2019). Performance of a compost and biochar packed biofilter for gas-phase hydrogen sulfide removal.

Bioresource Technology, 273, 581-591. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.052>

EPA. (1974). *Control of Odors from Inedibles-rendering Plants*. Environmental Protection Agency.

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000WUWO.PDF?Dockkey=2000WUWO.PDF>

Foreca. (n.d.) *Inversio tuo kovat pakkaset ja huonon ilmanlaadun*.

<https://www.foreca.fi/s%C3%A4%C3%A4pedia/b5ieggk6>

Goss T., Sanchez N., Nakamura S., Baird B. & Weise K. (2017). *Proposed Rule 415 – Odors from Rendering Facilities*. Draft Staff Report. South coast air quality management district.

<http://www.agmd.gov/docs/default-source/rule-book/Proposed-Rules/415/pr-415-dsr.pdf>

Gwenzi, W., Chaukura, N., Wenga, T. & Mtisi, M. (2020) Biochars as media for airpollution control systems: Contaminant removal, applications and future research directions. *Science of the Total Environment*, 142249. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142249>

Hannola, T. (2007). *Aktiivihiilessä etenevän adsorptionin mittaaminen puolijohdekaasuantureiden avulla*. Diplomityö. [Lappeenrannan teknillinen yliopisto]. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/30386/TMP.objres.578.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Huotari A. (2016). *Jätteen käsittelylaitosten hajuyhdisteet ja niiden puhdistaminen*. [Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu]. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/121177/Huotari_Arja.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ilmatieteenlaitos. (n.d.). *Tuuli ja myrskyt*. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kysymyksiä-tuulia-ja-myrskyt>

Ilmatieteenlaitos. (n.d.). *Tuulet ja myrskyt*. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuulet>

Krogerus M. & Hynninen P. (1992). *Sellu- ja paperiteollisuuden päästöjen käsittelyvaihtoehdot ja kustannukset*. Vesi- ja ympäristöhallitus.

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (2015) *Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen*. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Laki eräistä naapurussuhteista 26/1920. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1920/19200026>

Latvala M. (2009). *Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT): Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä*. Suomen ympäristö 24/2009. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY_24_2009.pdf

Laumola L. (2020). *Characterization and Treatment of Waste Gas Emissions from Process Industry*. [Diplomityö. Aalto yliopisto].

https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/47098/master_Laumola_Lassi_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lehman, J & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: Science, Technology and Implementation*. Taylor & Francis Group.

Lehtomäki J. (1989). *Elintarviketeollisuuden hajupäästöt, niiden hallinta ja määrittäminen*. [Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu].

Leppänen, H., Peltonen, M., Komulainen, H., & Hyvärinen, A. (2017). *Otsonointi sisäympäristössä: Kirjallisuuskatsaus*.

https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/135107/URN_ISBN_978-952-302-837-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lipponen T. (2016). *Sulfaattiselutehtaan hajukaasujen keräily ja käsittely*. [Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto].

https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/123391/Diplomity%C3%B6_Torsti_Lipponen.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Mattila T. (1986). *Teollisuuden hajupäästöt Suomessa*. Kirjallisuus selvitys. Ympäristöministeriö.

Myllynen P. (2010). *Puhoksen teollisuusalueen hajuhaittaselvitys*. [Raportti. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu]. <https://docplayer.fi/57723819-Pohjois-karjalan-ammattikorkeakoulu-ymparistoteknologian-koulutusohjelma-perttu-myllynen-puhoksen-teollisuusalueen-hajuhaittaselvitys.html>

Opasnet. (7.4.2014). *Kaasumaiset ilman epäpuhtaudet*.

http://fi.opasnet.org/fi/Kaasumaiset_ilman_ep%C3%A4puhtaudet#Haisevat_rikkiyhisteet_28TRS.29

Otsonaattori. (n.d.) *Tietoa otsonoinnista*. Haettu 9.5.2021 osoitteesta:

<https://www.otsonaattori.fi/tietoa-otsonoinnista/>

Ozonetech. (n.d.). *Hajukaasujen hallinta*. Haettu 9.4.2021 osoitteesta:

<https://www.ozonetech.com/fi/sovellukset/ilmankasittely/hajukaasujen-hallinta/>

Paasonen S. (2001). *Sää*. WSOY

Pekkala M. (2006). *Hajuhaitat ja jäteveden lämpötilan muuttuminen pitkissä siirtoviemäreissä*. [Diplomityö. Oulun yliopisto].

Perttu L. (1992). *Öljynjalostuksen ja petrokemian teollisuuden prosessiyksiköiden hajapäästöt*. [Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu].

Pulkkinen J. (2014) *Rikkivetyttöisyyksien hallinta ja optimointi Pyhtään siirtolinjalla*.

[Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu].

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71043/Pulkkinen_Jaana.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pulkkinen M. (2010). *Aktiivihiilen aktivointi, regenerointi ja käyttö*. [Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu].

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24820/Matti_Pulkkinen.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ruuhijärvi R. & Häyrynen U. (1974). *Ympäristönsuojelu: Ympäristön pilaantuminen ja hoito*. Kirjayhtymä.

Saastamoinen H. (2011). *Hajapäästöt teollisuudessa ja vähäpäästöiset laitteet*.

[Kandidaatintyö. Aalto yliopisto].

Salonen M. (2018). *Taajama-alueiden hajupäästöt ympäristöterveydellisenä ongelmana*. [Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto].

<https://jyx.iyu.fi/bitstream/handle/123456789/60566/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201812125068.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Shang, G., Shen, G., Wang, T. & Chen, Q. (2012). Effectiveness and mechanisms of hydrogen sulfide adsorption by camphor-derived biochar. *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), 62(8), 873-879. <https://doi.org/10.1080/10962247.2012.686441>

Shareefdeen Z. & Singh A. (2005). *Biotechnology for odor and air pollution control*. Springer.

Sindt G. L. & Engineer P. E. (2006). *Environmental issues in the rendering industry*. Essential rendering, 245. https://nara.org/wp-content/uploads/2019/10/essential_rendering_book3.pdf#page=256

Strömmer J. (2012). *Energiätehokkuuden parantamisprojekti -Katalyyttisen polttolaitoksen reduktio*. [Opinnäytetyö. Metropolia].
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/46870/Katalyyttisen%20polttolaitoksen%20reduktio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sun, Y., Yang, G., Zhang, L., & Sun, Z. (2017). Preparation of high performance H₂S removal biochar by direct fluidized bed carbonization using potato peel waste. *Process Safety and Environmental Protection*, 107, 281-288. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.02.018>

Suomen laippapalvelu Oy. (n.d.) Aktiivihiili. Aktiivihiilen toiminta. Haettu 26.5.2021 osoitteesta <https://aktiivihiili.fi/tuotteet/kaasun-puhdistus>

Suomalainen T. (2014). *Helle haittaa prosessia*. Paperiliitto.
<https://www.paperiliitto.fi/tiedotus/ajankohtaista/helle-haittaa-prosessia-2>

Tammivuori R. (2012). *Hajujen hallinta ja vähentämisen haasteet*. *Ympäristö ja terveys*, 43(3), 66–69.

Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta 480/1996. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960480#Pidp446178976>

Ympäristönsuojelulaki 527/2014.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527#L2P14>

Liite 1: Biohiilitestin lomake

Biohiilitesti

1. Mikä päivä tänään on? (p.kk.vvvv)

2. Arvioi kuinka paljon haju laimenee biohiilisuodattimessa?

- Ei ollenkaan
- Haju laimenee vähän
- Haju laimenee merkittävästi
- Haju laimenee kokonaan tai lähes kokonaan

3. Voit halutessasi tähän kommentoida biohiilisuodattimen toimintaa tai sieltä tulevaa hajua.

Liite 2: Biohiilitestin mittausarvot

Carbofexin kaupallinen kuudesta tehty biohiili					
Viikonpäivä	Mittauskerta	Suodatetun kaasun rikkivetyypitoisuus ppm	Suodattamattoman kaasun rikkivetyypitoisuus ppm	Rikkivedyn poistuma ppm	Poistuma %
Pe 9.4.2021	1	35	65	30	46,15 %
	2	6,5	16	9,5	59,38 %
Ma 12.4.2021	ei mittausta (ei mäntyöljyn siirtoa)				
	3	5,8	10	4,2	42,00 %
Ti 13.4.2021	4	22	51	29	56,86 %
	ei mittausta (säiliön tyhjennys)				
Ke 14.4.2021	5	14	26	12	46,15 %
	6	3,2	6,6	3,4	51,52 %
To 15.4.2021	7	23	43	20	46,51 %
	8	3,8	5,5	1,7	30,91 %

Rakennuspuujätteestä tehty biohiili					
Viikonpäivä	Mittauskerta	Suodatetun kaasun rikkivetyypitoisuus ppm	Suodattamattoman kaasun rikkivetyypitoisuus ppm	Rikkivedyn poistuma ppm	Poistuma %
Pe 16.4.2021	1	25	52	27	51,92 %
	2	2,6	4,4	1,8	40,91 %
Ma 19.4.2021	ei mittausta (ei mäntyöljyn siirtoa)				
	3	7,3	9,1	1,8	19,78 %
Ti 20.4.2021	4	32	43	11	25,58 %
	ei mittausta (säiliön tyhjennys)				
Ke 21.4. 2021	5	34	43	9	20,93 %
	6	7,5	9,6	2,1	21,88 %
To 22.4. 2021	7	46	52	6	11,54 %
	8	7,3	9,3	2	21,51 %