

VOIMALAITOSTYÖNTEKIJÖIDEN KOHTAAMAT
TYÖTURVALLISUUSRISKIT
BIOPOLTTOAINEIDEN KANSSA
TYÖSKENNELTÄESSÄ

Toni Korpikoski

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014

Energiatekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) KORPIKOSKI, Toni	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 23.05.2014
	Sivumäärä 86	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi VOIMALAITOSTYÖNTEKIJÖIDEN KOHTAAMAT TYÖTURVALLISUUSRISKIT BIOPOLTTOAINEIDEN KANSSA TYÖSKENNELTÄESSÄ		
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma, Insinööri		
Työn ohjaaja(t) ISOMETSÄ, Juha JURVELIN, Jouni		
Toimeksiantaja(t) Helsingin Energia PULKKINEN, Toivo (ohjaaja)		
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Helsingin Energia. Työssä selvitettiin biopolttoaineiden haitallisia ominaisuuksia, keskittyen voimalaitosalueella työskentelevien työntekijöiden kohtaamiin terveysvaikutuksiin. Työssä selvitettiin toimeksiantajalle biopolttoaineiden terveys ja työturvallisuus ominaisuuksia. Tarkasteltaviksi biopolttoaineiksi valikoituivat puupelletti, biohiili, hake, ruokohelpi ja pyrolyysiöljy. Polttoaineet valittiin toimeksiantajan tulevaisuuden suunnitelmien mukaan.</p> <p>Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuden läpikäynnissä käytettiin kuvailevaa ja systemaattista metodia. Työ sisältää valikoitujen biopolttoaineiden esittelyn, tutkimuksissa havaittujen turvallisuus- ja terveysvaikutusten esittelyn, tutkimuksissa havaittujen haittojen yhteenvedon sekä riskienhallinta esimerkin.</p> <p>Biopolttoaineiden käsittelyyn liittyviä ongelmia ovat muun muassa pölyn syntyminen, biologiset ja kemialliset altisteet, itsestään lämpiäminen sekä tulipalo- ja räjähdysvaarat. Kirjallisuudessa esitettyjen haittojen terveysvaikutukset vaihtelivat ärsytyksen tunteesta tukehtumiseen. Erityisesti suljetuissa polttoainevarastoissa hapenpuute ja korkeat häkäpitoisuudet voivat aiheuttaa vaaratilanteita. 2000-luvulla on raportoitu ainakin 14 häkämyrkytys kuolemantapausta, jotka liittyvät puupolttoaineiden varastointiin.</p> <p>Jatkotutkimus tarpeeksi työssä nousi eri polttoaineiden oikeaoppisen varastoinnin tarkempi tutkiminen. Muita suositeltavia toimenpiteitä tutkimuksen pohjalta ovat siilotyöskentelyn tarkempi ohjeistaminen sekä kiinteiden happi- ja hiilimonoksidipitoisuus mittareiden asentaminen biopolttoainevarastoihin.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Biopolttoaineet, työturvallisuus, haihtuvat yhdisteet, mikrobit		
Muut tiedot		



Author(s) KORPIKOSKI, Toni	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 23.05.2014
	Pages 86	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title OCCUPATIONAL SAFETY RISKS IN WORKING WITH BIOFUELS FACED BY POWER PLANT WORKERS		
Degree Programme Energy Technology		
Tutor(s) ISOMETSÄ, Juha JURVELIN, Jouni		
Assigned by Helsingin Energia PULKKINEN, Toivo (Tutor)		
Abstract <p>This bachelor's thesis was assigned by Helsingin Energia. This study defined the harmful properties of the biofuels used in the power plant area. The focus was on finding out the health effects which may affect people's occupational health, and provide essential health and safety facts for the company. Wood pellets, bio coal, wood chips, reed canary grass and pyrolysis oil were chosen to be examined in this study. The selection was based on the company's plans for the future.</p> <p>The study was carried out as a literature review. Descriptive and systematic methods were used in literature review. The work will include the presentation of the selected biofuels, the identified safety and health effects from the studies, a summary of the risks and a risk management example.</p> <p>Dust, biological and chemical risks, self heating, fire risk and explosion risk were the problems found when dealing with biofuels. Health effects ranged from mild irritation to suffocation. Especially in closed environments such as a fuel silo there is big risk of suffocation due to the low content of oxygen and high content of carbon monoxide. In the 2000s there have been at least 14 reported lethal carbon monoxide poisonings related to wood fuel storage.</p> <p>Recommended actions based on this study were to have more specific instructions on how to work safely in silo buildings, and to install fixed oxygen and carbon monoxide content gas detectors in biofuel storages. Is also recommended to study the right ways to storage different kinds of biofuels more.</p>		
Keywords Biofuels, occupational safety, volatile compounds, microbes		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

SISÄLTÖ.....	1
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Tutkimustehtävä ja sen rajaus	7
1.2 Tutkimusmenetelmän määrittely.....	8
2 HELSINGIN ENERGIA	9
2.1 Yritys.....	9
2.2 Tulevaisuus	10
3 TARKASTELTAVAT POLTTOAINEET	11
3.1 Puupelletti	11
3.2 Biohiili.....	13
3.2.1 Torrefiointi	13
3.2.2 Höyryräjäytysmenetelmä	15
3.3 Hake.....	16
3.4 Peltobiomassat.....	19
3.4.1 Ruokohelpi	19
3.5 Bioneste.....	20
4 TURVALLISUUS JA TERVEYS	22
4.1 Pöly.....	22
4.1.1 Yleistä	22
4.1.2 Tutkimukset	24
4.1.3 Terveysvaikutukset	26
4.2 Biologiset tekijät.....	28
4.2.1 Yleistä	28
4.2.2 Tutkimukset	30
4.2.3 Terveysvaikutukset	35
4.3 Kemialliset tekijät.....	36
4.3.1 Yleistä.....	36
4.3.2 Tutkimukset	41

4.3.3 Terveysvaikutukset	44
4.4 Tulipalo	47
4.4.1 Itsesytyminen	47
4.4.2 Ulkopuoliset syttymislähteet	50
4.4.3 Terveysvaikutukset	50
4.5 Pöly- ja kaasuräjähdykset	52
4.5.1 Yleistä	52
4.5.2 Räjähdyksvaaralliset tilat	53
4.5.3 Sytyminen	54
4.6 Tuhkan vaikutukset	56
4.6.1 Yleistä	56
4.6.2 Tutkimukset	57
4.6.3 Terveysvaikutukset	59
4.7 Sattuneet onnettomuudet	59
5 YHTEENVETO TUTKIMUKSISTA	60
5.1 Puupelletti	62
5.2 Biohiilet.....	63
5.3 Hake.....	64
5.4 Ruokohelppi.....	65
5.5 Pyrolyysiöljy.....	66
6 RISKIENARVIOINTI	67
6.1 Riskienhallinta	68
6.2 Riskienhallinta esimerkki.....	70
7 POHDINTA	71
8 LÄHTEET.....	75
LIITTEET	80
Liite 1. Puupelletti	80
Liite 2. Biohiilet.....	81
Liite 3. Hake	82
Liite 4. Ruokohelppi.....	82
Liite 5. Riskienhallinta esimerkki	84

Liite 6. Sattuneita onnettomuuksia.....85

Kuviot

Kuvio 1. Puupelletti	11
Kuvio 2. Torrefiointi prosessi.....	14
Kuvio 3. Torrefioidusta puusta puristettuja pellettejä.....	15
Kuvio 4. Höyryräjäytetystä puusta puristettuja pellettejä.....	16
Kuvio 5. Kokopuuhaketta	17
Kuvio 6. Ruokohelpipaaleja	19
Kuvio 7. Bioneste	21
Kuvio 8. Pölyhiukkasten kertymä alueet	27
Kuvio 9. Näytteenottoa lyhytaikaismenetelmällä.....	37
Kuvio 10. Siilopalon seuranta lämpökameralla.....	49

Taulukot

Taulukko 1. Helsingissä sijaitsevien tuotantolaitosten tehoja.....	10
Taulukko 2. Tutkimuksissa löydettyjä bakteeripitoisuuksia.....	31
Taulukko 3. Tutkimuksissa löydettyjä endotoksiinipitoisuuksia.	33
Taulukko 4. Tutkimuksissa mitattuja homeitiöpitoisuuksia.....	34
Taulukko 5. Mikrobialtistumisen ohjearvoja.....	35
Taulukko 6. Aldehydipitoisuuksia.....	42
Taulukko 7. Happi-, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuuksia.	44
Taulukko 8. Taulukko haitalliseksi tunnetuista pitoisuuksista	45
Taulukko 9. Karboksihemoglobiinin aiheuttamat vaikutukset	46
Taulukko 10. Hapenpitoisuuden vaikutukset ihmisissä	47
Taulukko 11. Polttoaineiden pölyjen ominaisuuksia	55
Taulukko 12. Pölyräjähdysluokka	55
Taulukko 13. Kaasujen räjähdys pitoisuudet	56
Taulukko 14. Tuhkan alkuainepitoisuudet	59

Taulukko 15. Esimerkkitaulukko.....	61
Taulukko 16. Puupelletti	63
Taulukko 17. Biohiilet.....	64
Taulukko 18. Hake	65
Taulukko 19. Ruokohelpi.....	66
Taulukko 20. Pyrolyysiöljy.....	67
Taulukko 21 Riskimatriisi.....	68
Taulukko 22. Toimenpiteet	69
Taulukko 23. Toimenpidetaulukko HTP-pitoisuuksien mukaan.....	69

Lyhenteet

Bq/m²	Becquerelei, Radioaktiivisten aineiden laskeuma per neliömetri
CAS	Kemikaalien tunnistenumerojärjestelmä
CFU	Pesäkkeitä muodostavat yksiköt (Colony Forming Unit)
CH₄	Metaani
CHP	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (Combined Heat and Power)
CO	Hiilimonoksidi, Häkä
CO₂	Hiilidioksidi
EU	Endotoksiini yksikkö (Endotoxin Unit)
H₂	Vety
HTP	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus
MIE	Minimisyttymisenergia, (mJ)
MJ	Megajoule, Joule (J) = Työn ja energian yksikkö
mSv	Millisievert, Säteilyannoksen mittayksikkö
MW	Megawatti, Watti (W) = tehon yksikkö, 1 W = 1 J/s
PAH	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt
pH	Happamuusaste, 0 – 14
ppm	Suhdeyksikkö, miljoonasosa (Parts per million)
TOP	Torrefioitu pelletti

VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Volatile Organic Compounds)
VTT	Teknologian tutkimuskeskus

Määritelmät

Biopolttoaine: eloperäisestä aineksesta valmistettua kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista polttoainetta.

Höyrinpaine: ilmaisee nesteen herkkyuden höyrystyä/haihtua ympäristöön.

Infektiivinen: tarttumiskykyinen.

Karsinogeeni: syöväälle altistava aine.

Kuiva-aine: ilman vettä oleva aines, 0 % kosteus.

Lauhtumaton kaasu: kaasu, joka ei normaali oloissa esiintyvissä lämpötiloissa ja paineissa muuta olomuotoaan kaasusta nestemäiseksi/kiinteäksi aineeksi.

Lauhtuva kaasu: kaasu, joka voi normaali oloissa vallitsevissa lämpötiloissa ja paineissa muuttua kaasumaisesta faasista nesteeksi tai kiinteäksi aineeksi. Prosessi on palautuva.

Lämpöarvo: aineen täydellisessä palamisessa syntynyt lämpöenergiämäärä massaa kohden.

Mediaani: suuruusjärjestykseen laitettujen lukujen keskimäinen luku, eli keskiluku. Esimerkiksi lukusarjan 1, 2, 5, 10, 700 mediaani on 5.

Mesofiili: nimitys mikrobeille, jotka elävät ja lisääntyvät lämpötilan ollessa noin + 20 – 45 °C, optimilämpötilan ollessa 37 °C.

Pitoisuus: ilmaisee aineen suhteellista osuutta jossakin seoksessa.

Raskasmetalli: metallit, joiden tiheys on yli 5 g/cm³. Lääketieteessä raskasmetallia käytetään yleisnimityksenä terveydelle ja ympäristölle haitallisille metalleille.

Uusiutuva energia: energialähteet, joiden käyttö ei kuluta niiden varantoa pitkällä aikavälillä tarkasteltuna.

1 JOHDANTO

Uusiutuvien energianlähteiden suosio sähkön ja lämmön tarpeen tuottamiseen on koko ajan vahvistumassa maailmanlaajuisesti. Uusiutuvien energialähteiden yleistymisen taustalla on useita tekijöitä, kuten poliittisia päätöksiä, ympäristöasioita sekä suuren yleisön tietouden paranemista erilaisista energiantuotantotavoista sekä niiden vaikutuksista ympäristöön.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja, Helsingin Energia, on asettanut tulevaisuuden tavoitteeksi saavuttaa hiilineutraali energiantuotanto. Tavoitteen taustalla ovat EU:n, Suomen sekä Helsingin kaupungin ilmastopoliittiset tavoitteet. Tavoitteen asettaminen tarkoittaa käytännössä uusiutuvien energiantuotantotapojen asteittaista käyttöönottoa. Yhtenä tapana on ottaa uusiutuvia biopolttoaineita käyttöön voimalaitoksilla.

Moni voi kuvitella biopolttoaineet vaarattomiksi ja helposti käsiteltäväksi polttoaineiksi niiden ”bio” ja ”uusiutuva” etuliitteiden takia. Todellisuudessa biopolttoaineisiin liittyy riskitekijöitä, joihin ei törmätä fossiilisten polttoaineiden kanssa työskennellessä. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan uusiutuvien biopolttoaineiden mukanaan tuomia turvallisuus- sekä terveysriskejä. Tutkimuksen tavoitteena on etsiä ja esittää niin terveyteen kuin työturvallisuuteen liittyviä ongelmakohtia, joihin biopolttoaineiden kanssa työskennellessä tullaan törmäämään. Työn tulisi tarjota näin toimeksiantajalle tietoperustaa biopolttoaineiden turvallisuus- ja terveysominaisuuksista.

1.1 Tutkimustehtävä ja sen rajaus

Tämän työn tavoitteena on selvittää toimeksiantajalle biopolttoaineiden terveys- ja työturvallisuusominaisuuksia. Tutkimuksen avulla toimeksiantaja saa tietoa vaaroista

joita biopolttoaineiden kanssa työskenneltäessä voi esiintyä. Näiden tietojen avulla voidaan varautua mahdollisiin lisätutkimustarpeisiin sekä henkilöstön koulutustarpeisiin.

Tutkimuksessa tarkasteltavat biopolttoaineet rajataan koskemaan niihin polttoaineisiin, joita toimeksiantaja on tämän hetken suunnitelmissa aikonut käyttää tulevaisuudessa. Osaa tarkasteltavista polttoaineista on jo käytetty testiajoissa voimalaitoksilla. Tarkasteluun valittuja polttoaineita ovat puupelletti, biohiili, hake ja peltobiomassa. Nestemäisenä polttoaineena mukaan otetaan pyrolyysiöljy, jota voidaan käyttää korvaamaan lämpölaitosten käyttämää raskasta polttoöljyä.

Tutkimus rajataan koskemaan voimalaitosalueen sisällä tapahtuvaa polttoaineen käsittelyä, eikä tällöin oteta huomioon polttoaineen valmistuksessa ja kuljetuksessa syntyviä riskejä. Tutkimus keskittyy ainoastaan ihmisiin kohdistuviin vaaroihin ja haittoihin, eikä esimerkiksi biopolttoaineiden käsittelyyn vaadittavien uusien tai vanhojen laitteistojen mekaanisiin ongelmiin. Mekaaniselta puolelta aiheutuvien ongelmien kuten kipinöiden ja kuumien pintojen vaikutukset otetaan huomioon, mutta niitä käsitellään vain ilmiönä ilman tarkempaa tutkimusta, siitä mistä ilmiö johtui.

Tutkimuksen keskeisimpänä kysymyksenä voidaan pitää seuraavaa:

- Minkälaisia työturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä voimalaitoksen kunnossapito- sekä käyttöhenkilöstö kohtaavat biopolttoaineiden kanssa työskennellessä?

1.2 Tutkimusmenetelmän määrittely

Tämän työn pääpaino on kirjallisuuskatsaus osiossa, jossa tarkoitus on rakentaa kokonaiskuvaa aiheesta ja pyrkiä tunnistamaan mahdollisia ongelmia, joita biopolttoaineiden kanssa työskennellessä esiintyy. Kirjallisuuskatsauksen toteutukseen käytetään niin kuvailevaa kuin systemaattista metodologiaa. Kuvailevaa metodologiaa käytetään perustiedon etsimiseen polttoaineista ja terveysvaikutuksista. Systemaattista metodologiaa

käytetään tutkimustiedon etsimiseen ja arvioimiseen. Alla on kuvattu lyhyesti muutamia menetelmiä.

Kuvaileva metodi on yleiskatsaustapa, jota ei määritellä tiukoilla ja tarkkoilla reunaehdoilla, ja se onkin yksi eniten käytetty perustutkimustapa. Siinä käytettävien lähdetiedostojen skaala on laaja-alainen, jolloin myös tutkimuskohdetta pystytään kuvaamaan laajasti. Kuvaileva katsaus nostaa usein esille jatkotutkimuksen kohteita, joita voidaan tarkkailla syvemmin systemaattisilla tutkimuksilla. (Salminen 2011, 6.)

Systemaattisessa tutkimuksessa käytettyjen lähteiden keskinäisiin yhteyksiin ja lähteiden hankintatekniikkaan kiinnitetään erityistä huomiota. Systemaattisen tutkimuksen tuloksena tulisi olla tiivistelmä valikoidun aihepiirin eli aiempien tutkimuksien olennaisimmasta sisällöstä. Itse prosessi on monivaiheinen, sisältäen tutkimuskysymyksen asettelun, tietokantojen valinnan, hakutermien määrittelyn, löydetyn kirjallisuuden lajittelun niin laadullisesti kuin käytännön kannalta, katsauksen tekeminen ja tulosten esittäminen. (Salminen 2011, 9 – 10.)

2 HELSINGIN ENERGIA

2.1 Yritys

Helsingin Energia on vuonna 1909 perustettu energia-alan yritys. Se on yksi Suomen suurimmista energiayhtiöistä, myyden sähköä noin 400 000 asiakkaalle ja lämmittäen tuottamallaan kaukolämmöllä noin 90 prosenttia Helsingin kaupungin alueella sijaitsevista kiinteistöistä. Sähkön ja kaukolämmön myynnin lisäksi se tarjoaa kaukojäähdytystä sekä suunnittelu-, projekti- ja kunnossapitopalveluita. Vuonna 2013 konsernin liikevaihto oli 878 miljoonaa euroa. (helen n.d.)

Helsingin kaupungin alueella sijaitsee sähköä ja lämpöä tuottavia yhteistuotantolaitoksia (CHP) kolme kappaletta, lämpöä tuottavia lämpölaitoksia kymmenen kappaletta sekä yksi lämpöä ja jäähdytystä tuottava lämpöpumppulaitos. Taulukossa 1 esitetään kyseisten laitoksien nimellistehoja. Osakkuusyhtiöiden kautta sähköä hankitaan myös muualla sijaitsevista ydin-, tuuli- ja vesivoimalaitoksista. (helen n.d.)

Taulukko 1. Helsingissä sijaitsevien tuotantolaitosten tehoja(helen n.d.)

Voimalaitokset	Sähköteho (MW)	Lämpöteho (MW)	Jäähdytysteho (MW)
Vuosaari (CHP)	645	575	-
Hanasaari (CHP)	218	400	-
Salmisaari (CHP)	158	300	-
Lämpökeskukset yht. (10kpl)	-	2015	-
Katri Vala (Lämpöpumppulaitos)	-	80	60

2.2 Tulevaisuus

Yhteistuotantolaitosten pääpolttoaineina toimivat tällä hetkellä fossiiliset polttoaineet, kivihiili ja maakaasu. Helsingin Energian on asettanut tavoitteekseen saavuttaa hiilineutraali energiantuotanto vuoteen 2050 mennessä. Välitavoitteena vuodelle 2020 on nostaa uusiutuvien energianlähteiden osuus energiantuotannossa 20 prosenttiin. Nämä tavoitteet tarkoittavat uusiutuvien energialähteiden lisäämistä energiantuotannossa. Vuodesta 2012 lähtien Hanasaaren voimalaitoksella on tehty testejä hiilen ja puupelletin yhteispoltosta. Vuonna 2014 käynnistyy ensimmäinen vaihe, jossa Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitoksissa aletaan polttaa pellettiä 5 – 10 prosentin osuudella kivihiilen joukossa. Seuraavan vaiheen jatkosta päättää kaupunginvaltuusto vuonna 2015. Silloin selviää rakennetaanko kokonaan uusi monipolttoaine-

voimalaitos Vuosaaren vai suoritetaanko Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitoksissa modernisointeja, joiden avulla biopolttoaineiden osuus saadaan nostettua 40 prosenttiin. (helen n.d.)

Vuosaaren uusi voimalaitos käyttäisi valmistuessaan polttoaineenaan maksimissaan 80 prosenttisesti biomassaa. Loput 20 prosenttia täytettäisiin kivihieillä. Biopolttoaineet koostuisivat hakkeesta, pelleteistä ja pienistä määristä peltobiomassoja. (helen n.d.)

3 TARKASTELEVAT POLTTOAINEET

3.1 Puupelletti

Puupelletti on lieriön muotoinen biopolttoaine (ks. kuvio 1), jonka valmistukseen käytetään puuteollisuuden sivutuotteita. Kotitalousluokan puupellettejä valmistetaan kuorettomasta puusta kuten hiontapölystä, kutterinlastusta ja sahanpurusta. Teollisuusluokan puupellettien valmistuksessa käytetään myös kuorellista puuta. Pellettejä valmistetaan myös muistakin raaka-aineista kuten oljista, ruokohelvestä ja turpeesta. (Pelletintuotanto n.d.)



Kuvio 1. Puupelletti (*imexwood.fi*)

Puupelletti on tasalaatuista polttoainetta. Tasalaatuista siitä tekee tehdasmaisen valmistus. Puupelletin tuotantoprosessit vaihtelevat pellettitehtaittain, ja seuraavaksi esitellyt prosessit ovatkin suuntaa antavia. Pelletin tuotantoprosessi jakautuu muutama eri osa-alueeseen:

- Raaka-aineen käsittely
 - Käsittelyvaiheessa raaka-aineesta poistetaan kaikki sinne kuulumattomat ja valmistusprosessia haittaavat epäpuhtaudet. Raaka-aineen kosteuden tulisi olla 10 – 15 % välissä jatkokäsittelyä varten. Tätä kosteampia raaka-aineita kuivataan, kunnes niiden kosteus on jatkoa varten sopivalla tasolla. Kuiva raaka-aine jauhetaan vasaramyllyssä tasalaatuiseksi partikkeleiksi puristusta varten.
- Puristus
 - Lieriömäisen muotonsa pelletti saa pelletointikoneessa, jossa puumassa puristetaan matriisissa olevien reikien lävitse. Puristus nostaa puumassan lämpöä jolloin sidosaineet ja luonnolliset hartsit pehmenevät muodostaen jäähtyttyään pellettiä koossa pitävän sidosaineen. Pelletin halkaisija määräytyy matriisin reikien halkaisijan mukaan ja pituus suunnassa leikkuuterät katkaisevat pelletin määrämittäiseksi. Tavallisesti pellettien pituus vaihtelee noin 5 – 40 milliin ja halkaisijan ollessa 6 – 8 millia.
- Jäähdytys ja seulonta
 - Puristuksen jälkeen pelletit jäähdytetään ja seulotaan. Jäähdyttämällä varmistetaan pellettien lopullinen lujuus ja seulonnalla erotetaan hienoaines valmiista pelletistä. Tämän jälkeen pelletit ovat valmiina varastoitaviksi. (Pelletintuotanto n.d.)

Vapo, joka on yksi suomen suurimmista pelletintuottajista ilmoittaa ominaisuus ja laatuksiteereissään toimittavansa pellettejä, joiden kosteus on $\leq 10\%$ ja tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on $\leq 16,5$ MJ/kg (Vapon puupelletti – ominaisuudet ja laatuksiteerit 2013.)

3.2 Biohiili

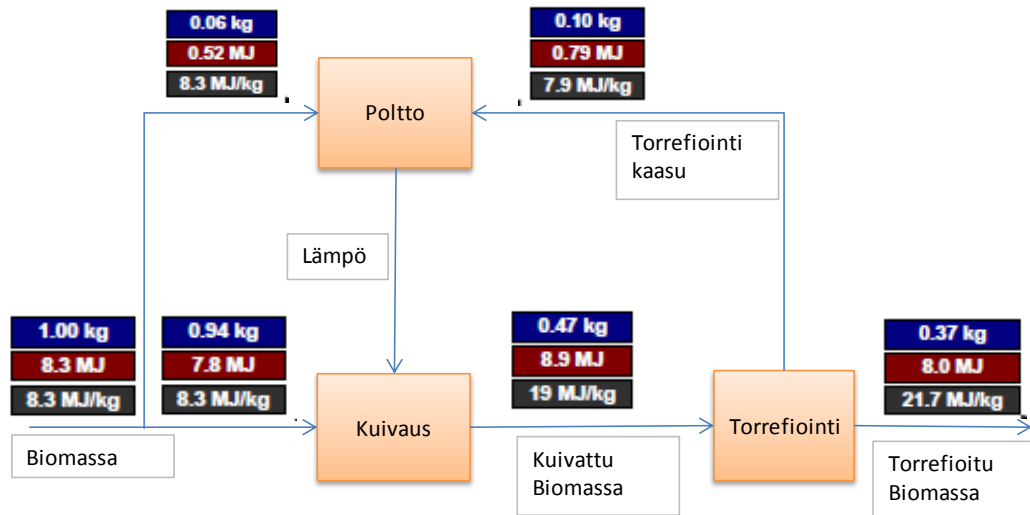
Biohiiltä ei pidä tässä työssä sekoittaa grillihiileen, lääke- ja teollisuussovelluksissa käytettävään aktiivihiihen ja maanparannukseen käytettävään hiileen. Edellä mainittuja hiiliä kutsutaan myös suomenkielessä biohiiliksi. Tässä tutkielmassa keskitytään energiakäyttöön tarkoitettuihin biohiiliin. Biohiilen valmistustapoja on muutamia. Tällä hetkelle kaksi eniten kehityksen alla olevaa biohiilen valmistustapaa ovat torrefiointi ja höyryräjäytyskäsittely.

Biohiilen etuina energiakäytössä muihin perinteisiin kiinteisiin biopolttoaineisiin (hake ja puupelletti) voidaan pitää pienempiä muutostarpeita jo olemassa olevilla pölypolttokattiloille. Valmistusprosessissa tapahtuvan haurastumisen myötä biohiilen jauhattavuus on parempi kuin puupelleteillä. Toisaalta jauhattavuus on kuitenkin heikompi kuin kivihiihellä. Biohiilen valmistuksessa ilmenevät korkeat lämpötilat (300 °C) tappavat puussa olevan mikrobitoiminnon. Tämä edesauttaa parantamaan puun varastointiominaisuuksia.

3.2.1 Torrefiointi

Torrefioinnissa eli miedossa pyrolyysissa tuoretta biomassaa paahdetaan hapettomassa tilassa, ilmakehän paineessa, 230 – 300 °C lämpötilassa noin 10 – 30 minuutin ajan. Torrefioinnilla saavutetaan tuoreeseen biomassaan verrattuna parempi lämpöarvo (MJ/kg), jauhattavuus sekä parantunut kosteudenkestävyys. Torrefiointiproses-

sin aikana biomassan kuivapainosta häviää noin 20 – 30 prosenttia sekä noin 10 prosenttia sen energiasisällöstä palavien haihtuvien kaasujen mukana. Haihtuvien kaasujen sisältämä energia käytetään hyväksi valmistusprosessissa. Kaasut poltetaan ja saatu lämpö käytetään raaka-aineen kuivaukseen. Kuvion 2 esimerkissä polttoaineen kuivaukseen tarvittavan lämmön tuottamiseen käytetään torrefioinnissa syntyvien palavien haihtuvien kaasujen lisäksi vähän biomassaa. Esimerkki prosessissa sisään menee 1 kg puuta, 50 prosentin kosteudella. Sisään menevän puun lämpöarvo on 8,3 MJ/kg kun prosessin toisesta päästä tulevan torrefioidun puun lämpöarvo on 21,7 MJ/kg. (Jukola, Järvinen, Kiel, Sipilä, Verhoeff & Wilén 2013, 11.)



Kuvio 2. Torrefiointi prosessi. (Koppejan, Madrali, Melin, & Sokhansanj 2012, 5.)

Torrefioitua biomassaa voidaan käyttää voimalaitoksilla hakkeena, pellettinä (ks. kuvio 3) tai brikettinä. Pelletöinnillä saavutetaan tiiviimpää polttoainetta, jonka myötä kuljetus-, käsittely- ja varastointiominaisuudet parantuvat. Lisääntynyt tiiveys parantaa samalla polttoaineen kosteudenhyökkymisen ominaisuuksia. Parantuneet kosteudenhyökkymisominaisuudet auttavat vastustamaan niin biologista kuin fyysistä hajoamista vastaan, samalla pienentäen myös itsesyttymisen riskiä. Biologisen hajoamisen riski ei ole kuitenkaan täysin pois suljettu. Se voikin käynnistyä, jos polttoaine ei kestä

kuivana. Yhdistettyä torrefiointi ja pelletointi prosessia kutsutaan TOP- prosessiksi. (Jukola ym 2013, 11.)



Kuvio 3. Torrefioidusta puusta puristettuja pellettejä. (Korpikoski 2014)

3.2.2 Höyryräjäytysmenetelmä

Höyryräjäytyskäsittelyssä tasalaatuiseksi haketettu biomassa altistetaan korkeapainiselle kylläiselle tai tulistetulle höyrylle. Paine lasketaan nopeasti, jolloin biomassan huokosiin imeytynyt höyry laajenee "räjähtäen" hajottaen samalla biomassan kuituja. Höyryräjäytetty biohiili voidaan käyttää sellaisenaan tai pelletöidä (ks. kuvio 4). Höyryräjäytyskäsittely haurastuttaa biomassaa, mikä taas parantaa jauhattavuutta käsittelemättömään biomassaan verrattuna. Valmistusprosessissa ei juuri menetetä massaa eikä energiaa kuivaan raaka-aineeseen verrattuna. Valmistusprosessin ominaisuuksia säädetään biomassahakkeen partikkeleiden koolla, höyrynpaineella (10 – 35 bar), höyrynlämpötilalla (180 - 240 °C) sekä vaikutusajalla. Höyryräjäytyskäsittely parantaa myös polttoaineen kosteuskestävyysominaisuuksia, edesauttaen näin varastointikestävyyttä. (Zimmerling 2013, 4 – 5.)



Kuvio 4. Höyryräjäytetystä puusta puristettuja pellettejä. (Korpikoski 2014)

3.3 Hake

Puuhake on nimensä mukaisesti mekaanisesti hakettua puuta. Haketta valmistetaan karsimattomista ja karsituista puista, hakkuutähteistä, teollisuuden ylijäämäpuista, kuorista ja kannoista. Alla on määritelty eri hakelaatuja (Alakangas & Impala 2013, 10 – 12):

- **Metsähake** on yleisnimitys käsittäen ranka, kokopuu- ja hakkuutähdehakeen.
- **Rankahake** on karsitusta puusta tehtyä haketta.
- **Kokopuuhake** sisältää koko puun latvustoineen (lehdet/neulaset), pois lukien juuriston (ks. Kuvio 5).
- **Hakkuutähdehake** valmistetaan metsähakkuissa syntyvistä tähteistä kuten oksista, latvoista sekä metsäteollisuuden kelpaamattomista runkopuista.
- **Vihreä hake** on tuoreesta hakkuutähteestä tai puumassasta tehtyä haketta.

- **Ruskea hake** on kuorimattomista rangoista, kokopuusta tai metsätähdehakeesta valmistettua haketta, jonka raaka-ainetta on kuivatettu vähintään kuusi viikkoa huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana. Kuivatuksen on määrä vähentää lehtien ja neulasten määrää.
- **Kantohake** on nimensä mukaisesti kannoista tehtyä haketta.
- **Puutähdehake** on puuteollisuudesta ylijäänyttä käsittelemätöntä puuta.
- **Sahanhake** on sahateollisuuden sivutuotteeksi jäänyttä kuorellista ja kuoretonta haketta.



Kuvio 5. Kokopuuhaketta. (Vertainen, L. JAMK)

Hakkeen tärkeimpiä laatuominaisuuksia ovat:

- kosteus
- tehollinen lämpöarvo
- tiheys

- palakoko

Energiantuoton kannalta tärkeimpänä laatuominaisuutena hakkeelle kuten myös muillekin biopolttoaineille voidaan pitää kosteutta. Polttoaineessa olevan veden höyrytyminen vaatii aina energiaa, joka on pois hyötykäyttöön tulevasta lämpöenergiasta. Mitä kuivempaa polttoaine on sitä parempi tehollinen lämpöarvo sillä on. Tuoreen hakkeen kosteus on noin 50 – 60 % ja muutaman kuukauden kuivauksella saavutetaan noin 20 – 30 % kosteus. Erityisesti pienet hakkeella toimivat lämmitysjärjestelmät ovat herkkiä kosteammille polttoaineille. (Alakangas 2000, 54.) Lisäksi kosteus lisää hakkeen mikrobista toimintaa ja näin lisää sen itsesyttymisriskiä varastoitaessa.

Kokopuuhakkeen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on luokkaa 18,5 – 20 MJ/kg. Kosteuden ollessa noin 50 % luokkaa teholliseksi lämpöarvoksi tulee noin 7 – 10 MJ/kg (Alakangas & Impala 2013, 60). Kokopuuhakkeessa mukana olevien neulasten tehollinen lämpöarvo on jopa hiukan parempi kuin itse hakkeella, mutta neulasia ei yleensä haluta mukaan polttoaineeseen. Ne heikentävät hakkeen säilytettävyyttä, lisäävät tuhkapitoisuutta ja neulasten sisältämä lehtivihreä lisää kattilan korroosiota.

Hakkeen tiiveyteen vaikuttaa eniten hakkurin tekniset ominaisuudet: palakokojakauden tasaisuus, hakkurin puhallusvoima ja kuormaustapa. Yleisesti käytetty arvo tiiviyslukuna on 0,4. Tällöin yksi irtokuutiometri haketta sisältää 0,4 kiintokuutiota puuta. (Alakangas 2000, 54.)

Palakoon merkitys korostuu laitoksilla, erityisesti kuljetinjärjestelmien toiminnassa. Keskimääräinen hakepalan pituus on noin 30 – 40 milliiä. (Alakangas 2000, 54.)

3.4 Peltobiomassat

Peltobiomassoiksi luokitellaan kivennäis- ja turvemaiden pelloilla kasvavat energia- kasvit kuten ruokohelpi, hamppu, öljykasvit, paju ja viljakasvien osat kuten olki. Peltobiomassoja hyödynnetään energiantuotannossa sellaisinaan tai jalostettuna neste- mäisiksi ja kaasumaisiksi polttoaineiksi. (Peltoenergia 2013.)

3.4.1 Ruokohelpi

Ruokohelpi on eniten käytetty peltoenergiakasvi Suomessa. Se on heinäkasvi, joka esiintyy luonnonvaraisena ympäri Suomen ja sitä viljellään pelloilla ja turvetuotan- nosta poistetuilta suoalueilla. Energiakäyttöön tarkoitettujen ruokohelpien korjaus ta- pahtuu keväisin lumien sulettua. Ruokohelpi korjataan viljelyksiltä joko paaleina (ks. kuvio 6) tai irtosilppuna, sen kosteuden ollessa korjaus hetkellä 10 – 15 %. Irtosilp- puna korjattaessa ruokohelpi saadaan suoraan pellolta muihin polttoaineisiin sekoit- tettavassa muodossa. Tällöin vältetään voimalaitoksen tai polttoaineterminaalin päässä erilliseltä paalien murskaus työvaiheelta. Kuitenkin tätä menetelmää käytettä- essä olisi joko polttoaineterminaalin tai voimalaitoksen oltava 10 – 15 kilometrin etäisyydellä korjauspaikasta, sillä silpun kuljettaminen ei ole taloudellisesti kannatta- vaa kuormatiheyden pienuuden vuoksi. (Knuutila & Lötjönen 2009, 10 – 14.)



Kuvio 6. Ruokohelpipaaleja (Vapoviesti.fi)

Ruokohelven varastointi tapahtuu yleisesti maastovarastoissa tai polttoainetermiinaaleissa. Voimalaitoksilla ruokohelpeä varastoidaan normaalisti vain pienen tasausvaraston verran. Ruokohelven varastoinnissa, kuten muidenkin kiinteiden biopolttoaineiden varastoinnissa on tärkeää pitää polttoaine mahdollisimman kuivana. Polttoaineen kosteuden noustessa, kasvaa myös homehtumisen ja itsesyttymisen riski. (Knuutila & Lötjönen 2009, 15 – 16.)

Ruokohelpeä käytetään tavallisesti sivupolttoaineena, jota sekoitetaan itse pääpolttoaineeseen. Yleensä ruokohelven osuus polttoaineseoksen energiamäärästä on puun kanssa poltettaessa maksimissaan 10 % ja turpeen kanssa poltettaessa 20 %. Keväisin korjatun ruokohelven kuiva-aineen lämpöarvo on yli 17 MJ/kg. Ruokohelven huonoina puolina voidaan pitää sen tuhkapitoisuutta, tuhkan ominaisuuksia sekä silputun ruokohelven huonoa irtotiheyttä. (Alakangas 2000, 104 – 108.)

3.5 Bioneste

Suomen laissa (393/2013) määritellään bioneste seuraavasti: ”*bioneste, biomassasta muuhun energiakäyttöön kuin liikennettä varten tuotettua nestemäistä polttoainetta*”(L 393/2013, 2). Bionesteeksi luetellaan biomassasta nopealla pyrolyysiteknikalla valmistettu pyrolyysiöljy (ks. kuvio 7).



Kuvio 7. Bioneste (yle.fi)

Nopeassa pyrolyysissä raaka-aine lämmitetään hapettomassa tilassa nopeasti (< 2 sekuntia) 500 – 600 °C lämpötilaan, jolloin kiinteä raaka-aine höyrystyy. Nopea jäähdytys tiivistää syntyneet höyryt öljyksi. Yhdestä tonnista raaka-ainetta saadaan noin 600 – 650 kg pyrolyysiöljyä. Raaka-aineeksi kelpaavat kiinteät puupolttoaineet sekä nestemäiset metsäteollisuuden sivutuotteet kuten mustalipeä. (Alakangas 2000, 139.)

Pyrolyysiöljy soveltuu parhaiten raskasta polttoöljyä käyttäville lämpöä ja sähköä tuottaville kattiloille, poltin- ja materiaalimuutosten jälkeen, johtuen sen syövyttävästä ominaisuudesta. Raskasta polttoöljyä käyttävät kattilat sopivat paremmin polttamaan pyrolyysiöljyä kuin kevyttä polttoöljyä käyttävät, niiden isomman koon ja robustisemman toiminnan myötä. Pyrolyysiöljyn lämpöarvo on noin puolet perinteisestä mineraaliöljystä ja se eroaa niin fysikaalisilta kuin kemiallisilta ominaisuuksiltaan selvästi mineraalipohjaisista öljyistä. (Chiaramonti, Kytö, Lehto, Oasmaa & Solantausta, 2013, 8 – 10.)

Pyrolyysiöljy on hapanta ja samalla syövyttävää, sen pH arvon ollessa luokkaa 2,5 – 3. Happamuus johtuu pääasiassa etikka- ja muurahaishapoista sekä fenolisista yhdis-

teistä, joita öljy sisältää. Korkean vesipitoisuuden (> 20 %) ja happamuuden takia pyrolyysiöljyllä on korroosiota vauhdittavia ominaisuuksia, etenkin korkeammissa lämpötiloissa. Pyrolyysiöljyn käsittelyyn soveltuvia materiaaleja ovat ruostumattomat teräkset (304L, 316L, 430, 20M04), muovit (PTFE, HDPE, PE, PP) ja kupari. Tiivistemateriaaleiksi käyvät muun muassa pii (silikoni), EPDM ja Viton (fluorikumi). Seostamaton teräs, alumiini ja nikkeli eivät kestä pyrolyysiöljyn korrosioivaa vaikutusta. (Chiramonti 2013, 18 – 19.)

EU rahoitetussa BIOTOX projektissa tutkittiin nopealla ja hitaalla pyrolyysimenetelmällä tehtyjen bionesteiden myrkyllisyyttä. Testeissä todettiin pyrolyysiöljyn aiheuttavan koe-eläimille ihon ärsytystä ja herkistymistä. Iholla aiheutuneiden reaktioiden takia bionesteen vaikutusta silmissä ei tutkittu eettisistä syistä. Nieltynä pyrolyysiöljy luokiteltiin lievästi myrkylliseksi. Pyrolyysiöljyn sisältämien PAH-yhdisteiden takia niiden karsinogeenisia vaikutuksia pitäisi tutkia lisää ihoaltistumiskokeilla, sillä suuri osa voimalaitoshenkilöstön altistumisesta tapahtuu ihokosketuksessa. (Chiramonti 2013, 66 – 67.)

4 TURVALLISUUS JA TERVEYS

4.1 Pöly

4.1.1 Yleistä

Pölylle altistuminen johtaa vuosittain monen ihmisen sairastumiseen niin töissä kuin vapaa-aikana. Pölyn haittavaikutukset vaihtelevat lievästä epämukavuushaitasta aina palautumattomiin ja hengenvaarallisiin sairauksiin. Myös pölyn aiheuttama palo- ja räjähdysvaara täytyy huomioida runsaasti pölyävissä paikoissa. (Kulmala, Riipinen, Sääsmanen & Welling 2004, 2.)

Pölylle on useita eri määritelmiä käyttötarkoitusten mukaan. Aerosolitieteissä ja työympäristössä pöly määritellään usein seuraavasti: ”*halkaisijaltaan 1 – 100 µm kiinteät partikkelit, jotka voivat leijua ilmassa*”. Pöly koostuu orgaanisista-, epäorgaanisista-, mineraali-, metalli- sekä home- ja siitepölyistä. Monet ilmassa leijuvat sumut, savut ja huuрут voivat ajan myötä muuttua pölyksi. (Kulmala ym. 2004, 18)

Kaksi tavallisinta pölyä aiheuttavaa mekanismia ovat mekaaninen jauhaantuminen ja jauhe- tai raemaisen irtotavaran käsittely (siirto, lastaus ja annostelu). Mekaanisessa jauhaantumisessa pölyä vapautuu mekaanisten prosessien sivutuotteena. Tällaisia ovat esimerkiksi kaivaminen, murskaaminen, sahaaminen, poraaminen, hiominen, ym. vastaavat prosessit. Edellä mainituille prosesseille on yhteistä pölynmuodostumisnopeuden yhteneväisyys prosessiin käytettyyn energiaan. Pölyä syntyy myös jauhe- ja raemaisen irtotavaran käsittelyssä, kun ilmavirrat irrottavat pölyä aineiden pinnalta. Tällaisia pölyä aiheuttavia käsittelyitä ovat muun muassa kuormien purkaminen, aineiden annostelu, sekoitus, liukuhihnakuuljetukset ja pakkaaminen. Pölyämistä voidaan hillitä prosessin niin salliessa kustuttamalla pölyvää raaka-ainetta tai työilmaa. (Kulmala ym. 2004, 23 – 25.)

Tässä tutkimuksessa keskitytään orgaanisiin biopolttoaineisiin ja niiden käsittelyssä vapautuu runsaasti orgaanista pölyä sekä puupölyä. Epäorgaanisista pölyistä kvartssia voi esiintyä maa-aineksen muodossa ainakin kantomurskan ja ruokohelven mukana.

Orgaaninen pöly

Orgaaninen pöly koostuu kasvien osista, eläinten ihon ja hilseen osasista, eläinten ulosteista, höyhenistä, myko- ja endotoksiineista sekä tuotantoprosesseissa käytetyistä entsyymeistä (Louhelainen 2005, 50.). Orgaanisen pölyn työhygieeniseksi raja-arvoksi on määritelty kahdeksan tunnin altistumiselle (HTP_{8h}) 5 mg/m^3 ja viidentoista minuutin altistumiselle (HTP_{15min}) 10 mg/m^3 (HTP-arvot 2012, 38).

Puupöly

Puupölyn työhygieeniseksi raja-arvoksi (HTP_{8h}) on määritelty 2 mg/m^3 , mutta uusien tai uudistettavien tuotantolaitoksien tulee soveltaa 1 mg/m^3 (HTP_{8h}) arvoa (HTP -arvot 2012, 40). Kotimaisten puulajien puupölyn (mänty, kuusi, koivu, haapa ja leppä) on todettu aiheuttavan muun muassa allergista nuhaa ja kosketusihottumaa, sidekalvojen ärsytystä ja tulehdusta sekä astmaa (Puu ja terveys n.d.). Euroopan Unioni on määritellyt kovapuupölyn karsinogeeniseksi eli syövälle altistavaksi. Erityisesti tammen ja pyökin pölyn on huomattu altistavan nenäsyövälle.

Kvartsipöly

Kvartsi on yksi piidioksidin (SiO_2) kiteinen muoto. Muita muotoja ovat kristobaliitti ja tridymiitti. Kvartsia esiintyy runsaasti luonnossa ja se onkin monen hiekka- ja kivilajin pääainesosa. Kvartsipölylle altistutaan hengitysteitse ja erityisesti alveolijakeen hiukaset tuottavat terveyshaittoja hengitettynä. Kahdeksan tunnin HTP -arvoksi alveolijakeen piidioksidihiuksille on määritelty $0,05 \text{ mg/m}^3$. Kvartsipölylle pitkäaikaisesti altistumisen tiedetään aiheuttavan silikoosia eli kivipölykeuhkosairauden. Kvartsipöly on luokiteltu karsinogeeniseksi. (HTP -arvot 2012, 39; Tossavainen 2005, 43.)

4.1.2 Tutkimukset

Edmanin ym. (2002, 222.) tekemässä tutkimuksessa selvitettiin kuuden pellettitehtaan puupöly ja monoterpeenitasoja. Pellettitehtaissa havaitut puupölypitoisuudet vaihtelivat työntekijöiden hengitysalueella $0,16 - 19 \text{ mg/m}^3$ välillä. Mittauksiin osallistuneista kahdestakymmenestä neljästä henkilöstä kymmenellä mitattiin yli 2 mg/m^3 pitoisuuksia.

Madsenin ym. (2004, 333 – 334.) tekemässä tutkimuksessa mitattiin biopolttoaineiden käsittelyssä syntyviä mikrobipitoisia pölyjä ja partikkeleita. Testi suoritettiin käytämällä pyörivää rumpua, jonne polttoaineet laitettiin. Rummun tarkoituksena oli jäljitellä polttoaineiden käsittelyä tehdasolosuhteissa. Testin polttoaineiksi valittiin kaksi eri erää haketta, neljä erää olkia sekä sahanpuruista valmistettuja pellettejä ja

brikettejä. Tutkimuksessa selvisi, että eniten pölyä mitattuna pölypartikkeleiden määrällä irtosi olkien käsittelyssä. Seuraavana laskevassa järjestyksessä olivat pelletit, briketit ja hake. Samassa tutkimuksessa todettiin pellettien ja brikettien suurimmaksi terveydelliseksi tekijäksi ei-mikrobitoimintaa sisältävät pölypartikkelit.

Ajanko & Fagernäsin (2006, 31.) tekemässä tutkimuksessa käsiteltiin ruokohelven, kantojen ja risutukkien käsittelyketjujen terveystarpeita. Käsittelyketjua tarkasteltiin metsästä voimalaitosalueelle asti. Voimalaitosalueella sijaitsevalla kantojen käyttöpaikkamurskaimella havaittiin pölypitoisuuden nousevan $6,6 \text{ mg/m}^3$. Risutukkien käsittelyssä havaitut pölypitoisuudet jäivät alle 5 mg/m^3 .

Ahosen ja Liukkosen (2008, 18.) tutkimuksessa selvitettiin pellettien varastoinnissa syntyviä ilman epäpuhtauksia. Tutkimuskohteina oli neljä pellettitehdasta ja yksi asiakasvarasto. Mittauksia suoritettiin niin kiinteillä mittauspisteillä varastoissa, kuin myös tehtaan työntekijöiden hengitysvyöhykkeillä. Tehtaiden varastot koostuivat yhdestä hallista, kolmesta puoliavoimesta hallista, yhdestä säiliöstä sekä asiakasvaraston siilosta. Neljä kappaletta kahdeksasta työntekijöiden hengitysvyöhykkeiltä suoritetuista pölypitoisuusmittauksista ylitti puupölylle annetun $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvon (2 mg/m^3). Pitoisuudet vaihtelivat 10 – 285 prosentin välillä suositusarvosta. Kiinteillä mittaustapaikoilla tuotantotiloissa ja varastoissa olleista 28 mittauksesta kolme ylitti $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvon, pitoisuuksien ollessa välillä 10 – 350 prosenttia $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvosta.

Torrefioitun ja höyryräjäytetyn biomassan pölyämisestä löytyy mainintoja kirjallisuudessa, jossa niiden kerrotaan olevan herkemmin pölyävää kuin käsittelemättömät biopoltoaineet. Wileenin ym. (2013, 45 – 48.) torrefiointia käsittelevässä tutkimuksessa tutkittiin muun muassa torrefioitujen pellettien varastointi- ja käsittelyominaisuuksia. Mekaanisen kestävyys testi suoritettiin EN standardin (EN 15210-1) mukaisesti. Samassa tutkimuksessa tutkittiin myös torrefioitujen pellettien tasapainokosteutta ilman lämpötilan ollessa $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ja suhteellisen kosteuden 85 prosenttia. Tasapainokosteudella tarkoitetaan tilaa jossa puun kosteus pysyy vakiona, riippuen

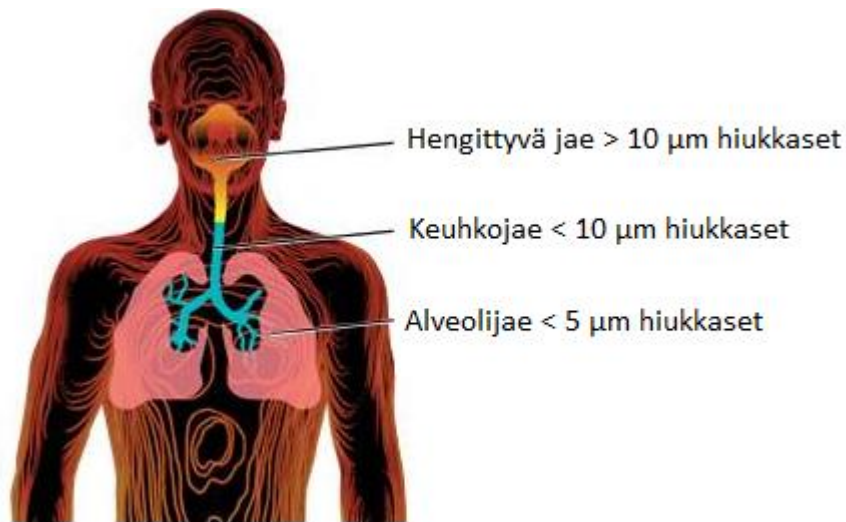
vallitsevasta ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Tasapainokosteustilassa olleiden torrefioitujen pellettien mekaaninen kestävyys oli noin 10 prosenttia heikompi kuin kuivien pellettien vastaavat tulokset. Testin tuloksista huomattiin torrefioitujen pellettien mekaanisen kestävyuden olevan pienempi kuin esimerkiksi puu- ja kuoripelleteillä. Täten ne ovat herkempiä pölyämään käsiteltäessä.

Khodayarin (2012, 11 – 12.) tutkimuksessa tutkittiin biomassan ja hiilen yhteispoltoa. Biohiilen (torrefioitu ja höyryräjäytetty) käsittelyssä syntynyt pöly mainittiin ongelmaksiksi. Biohiilen kuljettaminen hihnakuljettimella nostatti ilmaan enemmän pölyä kuin hiilen vastaava kuljetus, mutta pölypitoisuudet eivät kuitenkaan nousseet räjähdysherkälle alueelle.

Padbanin (2014, 13.) tutkimuksen yhteenvedossa esitettiin kokemuksia hiilen ja biohiilen (torrefioitu ja höyryräjäytetty) yhteiskaasutuksesta. Erityisesti torrefioitujen pellettien todettiin aiheuttavan paljon pölyä käsiteltäessä. Höyryräjäytettyjen pellettien pölyäminen todettiin olevan normaalilla tasolla. Torrefioiduista pelleteistä aiheutuvan pölyn minimisyyttymisenergia (MIE) mainittiin myös liian alhaiseksi.

4.1.3 Terveysvaikutukset

Pölyhiukkaset luokitellaan kolmeen eri ryhmään: hengittyvään jakeeseen, keuhkojakeeseen ja alveolijakeeseen (ks. kuvio 8). Hengittyvän jakeen hiukkaset luetellaan kaikki ne hiukkaset jotka voivat joutua hengitysteihin. Nämä aerodynaamiselta halkaisijaltaan yli 10 µm kokoiset jakeet putoavat yleensä nopeasti maahan. Hengitettyinä ne jäävät kiinni nenän ja nielun limakalvoille, eivätkä näin pääse syvempiin hengitysteihin. Keuhkojakeen hiukkaset ovat aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 10 µm kokoisia ja hengitettyinä ne kertyvät keuhkoputkeen. Alveolijakeen hiukkaset kulkeutuva aina keuhkorakkuloille asti. Nämä alle 5 µm kokoiset hiukkaset ovat erittäin haitallisia. Kaikista pienimmät, alle 0,5 µm kokoiset hiukkaset voivat imeytyä suoraan verenkiertoon keuhkorakkuloista. (Kulmala ym. 2004, 3; Pönkä 2006, 75.)



Kuvio 8. Pölyhiukkasten kertymä alueet(skinc n.d.).

Hengitystiet ja koko elimistö voi altistua hiukkasten kautta erilaisille terveyshaitoille. Pienimpien alveolijakeen hiukkasten mukana haitta-aineet voivat kulkeutua suoraan keuhkokudokselle ja imeytyessään verenkiertoon ne pääsevät liikkumaan myös muualle elimistöön. Ylempiin hengitysteihin jäävät hiukkaset aiheuttavat lyhyt- ja pitkäaikaisia haittoja. Lyhytaikaisina haittoina esiintyvät ärsytysreaktiot, tulehdusreaktiot, astmakohtaukset ja elimistön ylimääräinen kuormittuminen. Pitkäaikaisvaikutuksiin kuuluvat muun muassa krooniset tulehdukset, allergiset reaktiot ja pahalaatuiset kasvaimet. (Pönkä 2006, 75 – 76.)

Puupölyn aiheuttamista allergisista ihottumista suurin osa on aiheutunut ulkomaisen jalopuiden käsittelystä vapautuvista puupölyistä, mutta kotimaisten puidenkin tiedetään aiheuttaneen allergisia ihottumia. Työperäisten sairauksien rekisteriin oli ilmoitettu vuosien 1990 – 2002 välissä 91 kappaletta ammatti-ihottumaa, joiden tiedetään aiheutuneen puupölystä. (Heikkilä, Husgavel-Pursiainen, Liukkonen & Zitting 2005, 57.)

4.2 Biologiset tekijät

4.2.1 Yleistä

Työturvallisuuslain pykälä 40 § kertoo seuraavaa: ”*työntekijän altistuminen turvallisuudelle tai terveydelle haittaa tai vaaraa aiheuttaville biologisille tekijöille on rajoitettava niin vähäiseksi, ettei näistä tekijöistä aiheudu haittaa tai vaaraa työntekijän turvallisuudelle tai terveydelle taikka lisääntymisterveydelle*”(Biologiset vaarat 2014). Biologisiksi altisteiksi määritellään mikro-organismit, joita ovat muun muassa homeet, hiivat, bakteerit, virukset, alkueläimet ja levät. Näistä mikrobeista parhaiten tunnettuja ovat bakteerit ja homesienet.(Kallio, Liukkonen, Mäkinen, Rautila & Reiman 2010, 5.).

Altistumme elinympäristössämme erilaisille homeille ja bakteereille päivittäin. Pieni osa näistä mikrobeista on niin sanottuja taudinaiheuttajamikrobeja, joille altistuminen voi johtaa sairastumiseen. Eri mikrobisuvut aiheuttavat erilaisia terveystriskejä, joten homeita ja bakteereita ei voida käsitellä yhtenä ryhmänä, vaan kullakin home- ja bakteerilajilla on omat terveystriskinsä. Tietyt mikrobisuvut aiheuttavat allergisia reaktioita, toiset ovat myrkyllisiä, kun jotkut voivat aiheuttaa suoran infektion elimistössä. Eri mikrobisuvuilla on myös yhteisvaikutuksia, kuin myös kemiallisten altisteiden ja mikrobien välillä. (Putus 2010, 7.)

Homesienet

Homeet ovat rihmastossa kasvavia sieniä ja niitä esiintyy kaikkialla eloperäisissä materiaaleissa. Ne tarvitsevat kasvaakseen kosteutta, happea ja ravintoa. Homeet lisääntyvät alle 10 µm kokoisten itiöidensä avulla. Homekasvustoista irtoaa ilmaan itiöitä, rihmaston kappaleita, haihtuvia aineenvaihduntatuotteita ja allergeeneja (Kallio ym. 2010, 6.) Yksi tunnetuimmista haittaa aiheuttavista homeista *Aspergillus fumigatus* kuuluu aspergillus-suvun homeisiin. *A.fumigatus* lajike esiintyy hajoavien orgaa-

nisten materiaalien luona, ympäristön lämpötilan ollessa 20 – 55 °C välillä. Altistuminen saattaa aiheuttaa ihmiselle vakavia terveyshaittoja, kuten yliherkkyyksiä, allergisia oireita ja keuhkoinfektioita. (Putus 2010, 22 – 28.)

Bakteerit

Toisin kuin homeet, bakteerit voivat elää myös kosteiden paikkojen lisäksi märissä ympäristöissä. Yksisoluiset bakteerit lisääntyvät jakautumalla kahtia. Useimmat bakteerit ovat läpimitaltaan 0,1 – 10 µm kokoisia (Pönkä 2006, 98). Bakteereille ei ole Suomessa annettu työhygieenisiä raja-arvoja. Alankomaissa on ehdotettu raja-arvoksi 10 000 cfu/m³ pitoisuutta, mutta on huomioitava että terveyshaittoja voi esiintyä jo pienemmissäkin pitoisuuksissa. (Kallio ym. 2010, 9.) Aktinobakteerien eli vanhalla nimeltään sädesienien terveysvaikutuksista on puutteellista tietoa. Ilmassa leviessään ne voivat aiheuttaa harvinaisia tulehdustauteja henkilöille joiden vastustuskyky on heikko. Aktinobakteereja esiintyy normaalisti maaperässä sekä kosteusvaurioiden yhteydessä. (Pönkä 2006, 111.)

Endotoksiini

Endotoksiineja esiintyy siellä missä bakteerejakin. Ne ovat kemialliselta rakenteeltaan lipopolysakkarideja (LPS), eli gramnegatiivisten bakteerien soluseinämän myrkyllisiä osia, jotka vapautuvat bakteerien hajotessa. Niillä on todettu olevan osuutta kroonisen bronkiitin (keuhkoputkentulehdus) ja orgaanisen pölyn aiheuttaman kuumeoireilun, eli ODTS:n sairastamiseen. Endotoksiinipitoisuuden ollessa 1000 EU/m³, havaitaan akuutteja terveysvaikutuksia kuten yskää, hengenahdistusta, kuumetta ja väristyksiä. Akuutteja keuhkojen toiminnan muutoksia havaitaan jo 100 EU/m³ pitoisuuksilla. Endotoksiineille ei ole annettu Suomessa HTP-arvoa, mutta Alankomaissa on määritelty työhygieenisen altistumisen raja-arvoksi 90 EU/m³. (Endotoksiinit 2007; Endotoxins 2010, 18; Louhelainen 2005, 52.)

Eläimistä tarttuvat taudit

Puupohjaisia polttoaineita säilytetään monesti tienvarsisäilytyksessä metsäteiden varrella, jolloin monella eläinkunnan edustajalla on hyvä mahdollisuus pesiä tai

muuten vaan oleskella näissä kasoissa. On mahdollista että voimalaitokselle saapussa biopolttoaineet voivat sisältää eläimistä lähtöisin olevia taudinaiheuttajia ja jopa eläimiä. Eläinten ja ihmisten välillä tarttuvia tauteja kutsutaan zoonooseiksi. Näiden tautien aiheuttajiin kuuluu alkueläimiä, bakteereja, loisia, viruksia ja muita taudin aiheuttajia. Tarttuminen voi tapahtua joko suoraan tai välillisesti. (Zoonoosikeskus n.d.)

4.2.2 Tutkimukset

Tutkimuksissa on todettu orgaanisten biopolttoaineiden käsittelyssä työskentelevien henkilöiden altistuvan bakteereille, homesienille ja endotoksiineille (Madsen ym. 2004, 1; Madsen ym. 2006; Kallio ym. 2010, 10 – 11.). Madsenin ym. (2004, 333 – 334.) tekemässä, ja jo aiemmin esitellyssä (ks. kpl 4.1.3) tutkielmassa, olkien todettiin olevan eniten pölypartikkeleita synnyttävä polttoaine. Lisäksi oljet tuottivat myös eniten bakteereja ja endotoksiineja. Olkipölyn yhteenlaskettu bakteerimäärä oli $46 * 10^6$ kpl/mg, kun hakepölyn vastaava lukema oli $9 * 10^6$ kpl/mg. Teoreettisesti laskettuna tässä testissä olleen olkipölyn esiintyminen ilmassa pitoisuudella 3 mg/m^3 , tarkoittaisi seuraavien pitoisuuksien havaitsemista: endotoksiineja $2,8 - 10,8 * 10^4 \text{ EU/m}^3$, homeitiöitä $0,5 - 9 * 10^6 \text{ cfu/m}^3$ ja bakteereja $70 - 140 * 10^6 \text{ cfu/m}^3$. Tutkimuksessa olleiden pellettien ja brikettien pölyissä ei ollut mitattavia pitoisuuksia bakteereita. Svedbergin, Johanssonin & Petrinin (2009) tutkimuksessa keskityttiin meren yli tapahtuvilla rahtimatkoilla polttoaineesta haihtuviin yhdisteisiin, mutta siinä mitattiin myös kuivan ja kostean pelletin, tuoreen hakkeen ja kuoren mikrobipitoisuuksia. Kuivan pelletin pitoisuudet olivat bakteerien ja homeitiöiden osalta $< 9 \text{ cfu/mg}$, kun kostean pelletin vastaavat luvut olivat $< 13 \text{ cfu/mg}$. Hakkeen bakteeritasot olivat $9,4 * 10^5 \text{ cfu/mg}$ ja homeitiölle $7,1 * 10^5 \text{ cfu/mg}$. Kuoren bakteeritasot olivat $5,7 * 10^6 \text{ cfu/mg}$ ja homeitiöille $4,9 * 10^6 \text{ cfu/mg}$. Lehtikangaksen (2000) tekemässä tutkimuksessa pellettien mikrobitoiminta oli havaittavissa pellettien kosteuden ylittäessä 19 % rajan.

Bakteerit

Madsen ym. (2006, 824 – 828.) tutkivat mikrobipitoisuuksia viidellä tanskalaisella biovoimalaitoksella, jotka käyttävät polttoaineinaan olkia, metsä-, puutähde- ja kuoritähdehaketta. Mittauksia suoritettiin niin kiinteissä pisteissä kuin myös työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä keväällä ja syksyllä. Bakteerien osalta kaikkien työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä tehtyjen mittausten mediaani keskiarvot ylittivät suositellut työhygieniarajat. Haketta polttoaineena käyttävissä laitoksissa bakteerien mediaani keskiarvo oli välillä $1,1 - 1,8 * 10^4$ cfu/m³. Kiinteiden mittauspisteiden suurimmat pitoisuudet löytyivät hakekuljettimilta ja hakkeen käsittelypisteistä, pitoisuuksien ollessa välillä $16 - 59 * 10^4$ cfu/m³. Hakelaitosten työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä tehdyissä mittauksissa aktinobakteereja esiintyi väliltä (mediaani) $6,9 - 9,9 * 10^4$ cfu/m³. Suurimmat aktinobakteeripitoisuudet ($61 - 170 * 10^4$ cfu/m³) mitattiin hakkeen käsittely laitteistojen luota. Ajanko & Fagernäs (2006, 31.) tekemässä tutkimuksessa kantojen käyttöpaikkamurskaimella ilmeni noin $55 * 10^4$ cfu/m³ pitoisuudella mesofiilibakteereita. Kallion ym. (2010, 10 – 11.) selonteossa oli koottu Työterveyslaitoksen vuosina 1990 – 2010 tehtyjä mittaustuloksia homesieni-, bakteeri- ja endotoksiinipitoisuuksista puunkäsittely vaiheissa metsäteollisuudessa. Mesofiilisten bakteerien pitoisuus oli haketus vaiheessa $1,1 * 10^4$ cfu/m³, hakkeen seulonnassa $1,6 - 16 * 10^4$ cfu/m³ ja hakkeen kuljetuksessa ja varastoinnissa $0,7 - 15,8 * 10^4$ cfu/m³. Samoissa tutkimuksissa mesofiilisten aktinobakteerien pitoisuudet jäivät alle 110 cfu/m³.

Taulukko 2. Tutkimuksissa löydettyjä bakteeripitoisuuksia.

Lähde	Altiste	Pitoisuus	Kommentti
Ajanko & Fagernäs 2006	Mesofiiliset bakteerit	n. $55 * 10^4$ cfu/m ³	Kantojen murskaus
Madsen ym. 2006	Aktinobakteerit	$6,9 - 9,9 * 10^4$ cfu/m ³	Hakevoimalaitosten työntekijöiden mediaani keskiarvo
		$61 - 170 * 10^4$ cfu/m ³	Hakkeen käsittelylaitteiston luona

	Yht. lasketut bakteerit	1,1 - 1,8*10 ⁴ cfu/m ³	Hakevoimalaitosten työntekijöiden mediaani keskiarvo
Kallio ym. 2010	Mesofiiliset bakteerit	1,1*10 ⁴ cfu/m ³	Hakkeen haketus
		1,6 - 16*10 ⁴ cfu/m ³	Hakkeen seulonta
		0,7 - 15,8*10 ⁴ cfu/m ³	Hakkeen kuljetus ja varastointi
	Mesofiiliset aktinobakteerit	0,11*10 ⁴ cfu/m ³	Hakkeen käsittely

Endotoksiinipitoisuudet

Biopolttoaineiden mikrobipitoisuutta käsittelevässä tutkimuksessa (Madsenin ym. 2004, 334.) endotoksiinien pitoisuudeksi mitattiin olkipölystä 3600 EU/m³, hakepölystä 1280 EU/m³, pellettipölystä 27 EU/m³ ja brikettipölystä 17 EU/m³. Madsen ym. (2006, 824 – 828.) selvityksessä haketta käyttävien voimalaitosten työntekijöiden hengitysalueella suoritetuista mittauksista suurin endotoksiinipitoisuus oli 1333 EU/m³, mediaani keskiarvon jäädessä 28 EU/m³. Olkien kanssa työskentelevällä työntekijällä huippupitoisuudeksi ilmeni 119 000 EU/m³ ja mediaanikeskiarvoksi 786 EU/m³. Kaikkien viiden voimalaitoksen mittauksiin osallistuneiden työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä tehtyjen endotoksiini mittausten mediaani keskiarvo oli 55 EU/m³. Kiinteistä mittauspisteissä ohjearvon ylittäviä endotoksiinipitoisuuksia saatiin kuoritähdehakkeen montusta 214 EU/m³, hakekuljettimen alta 426 EU/m³, olkisirp-purilta 268 EU/m³ ja olkivarastosta 521 EU/m³. Ajanko & Fagernäsin (2006, 31.) tutkimuksessa kantojen käyttöpaikkamurskaimella ilmeni 1300 EU/m³ endotoksiinipitoisuuksia. Kallion ym. (2010, 10 – 11.) selonteossa endotoksiinipitoisuudet vaihtelivat välillä 2 – 260 EU/m³ hakkeen seulonnassa ja varastoinnissa, mutta puun kuoren käsittelyssä endotoksiinipitoisuudet nousevat jopa 1700 EU/m³.

Taulukko 3. Tutkimuksissa löydettyjä endotoksiinipitoisuuksia.

Lähde	Altiste	Pitoisuus	Kommentti
Madsen ym. 2004	Endotoksiini	3600 EU/m ³	Olkipöly
		1280 EU/m ³	Hakepöly
		27 EU/m ³	Pellettipöly
		17 EU/m ³	Brikettipöly
Ajanko & Fagernäs 2006	Endotoksiini	1300 EU/m ³	Kantojen murskaus
Madsen ym. 2006	Endotoksiini	28 EU/m ³	Hakevoimalaitosten työntekijöiden mediaani keskiarvo
		1333 EU/m ³	Hakevoimalaitosten työntekijöiden maksimi altistuminen
		728 EU/m ³	Olkivoimalaitosten työntekijöiden mediaani keskiarvo
Kallio ym. 2010	Endotoksiini	2 - 260 EU/m ³	Hakkeen seulonta ja varastointi
		1700 EU/m ³	Puun kuoren käsittely

Homesienet

Haketta käyttävistä voimalaitoksista löytyi eniten *A.fumigatus* itiöitä Madsenin ym. (2006, 824 – 828.) tutkimuksessa. Voimalaitosten työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä mitatuissa *A.fumigatus*pitoisuuksissa mediaani keskiarvoksi tuli $0,7 \cdot 10^4$ cfu/m³, suurimman havaitun pitoisuuden ollessa $132 \cdot 10^4$ cfu/m³. Kiinteissä mittauspisteissä suurimmat *A.fumigatus*pitoisuudet löytyivät hakekuljettimen alta ($32 \cdot 10^4$ cfu/m³), kuorihakkeen ruuvikuljettimelta ($22 \cdot 10^4$ cfu/m³), kuorihakkeen nosturilta ($11 \cdot 10^4$ cfu/m³), kuorihakkeen montusta ($7 \cdot 10^4$ cfu/m³) sekä kuorihaketta käyttävän voimalaitoksen kattilahuoneen lattialta ($7,7 \cdot 10^4$ cfu/m³). Samassa tutkimuksessa kaikkien tutkimukseen osallistuneiden voimalaitosten mediaani keskiarvoksi mesofiilistä sienistä mitattiin $2,2 \cdot 10^4$ cfu/m³ ja kaikista sieni-itiöistä $22 \cdot 10^4$ kpl/m³. Suurin pitoisuus mesofiilisiä itiöitä ($32 \cdot 10^4$ cfu/m³) löytyi hakekuljettimen alla olevasta mittauspisteestä. Sieni-itiöiden suurin pitoisuus ($398 \cdot 10^4$ kpl/m³) mitattiin kuorihakenosturin luota. Ajanko & Fagernäs (2006, 31.) tutkimuksessa kantojen

käyttöpaikkamurskaimella esiintyi mesofiilisiä sieniä $73 * 10^4$ cfu/m³ pitoisuudella. Työterveyslaitoksen vuosina 1990 – 2010 tekemissä tutkimuksista, joista Kallio ym. (2010, 10 -11.) ovat koonneet mittaustulokset ylös, ilmenee mesofiilisten sienien pitoisuuksiksi hakkeen haketusvaiheessa $2,4 * 10^4$ cfu/m³, hakkeen seulonnassa $9 - 120 * 10^4$ cfu/m³ ja hakkeen varastoinnissa $2,4 - 20 * 10^4$ cfu/m³.

Taulukko 4. Tutkimuksissa mitattuja homeitiöpitoisuuksia.

LÄHDE	ALTISTE	PITOISUUS	KOMMENTTI/ MITTAUS-PAIKKA
Ajanko & Fagernäs 2006	Mesofiiliset homeitiöt	$73 * 10^4$ cfu/m ³	Kantojen murskaus
	A.fumigatus	$0,7 * 10^4$ cfu/m ³	Hake- ja olkivoimalaitosten työntekijöiden mediaani keskiarvo
		$132 * 10^4$ cfu/m ³	Hakevoimalaitosten työntekijöiden maksimi altistuminen
Madsen ym.2006	Mesofiiliset homeitiöt	$2,2 * 10^4$ cfu/m ³	Hake- ja olkivoimalaitosten työntekijöiden mediaani keskiarvo
		$32 * 10^4$ cfu/m ³	Hakekuljettimen alla
	Yht. lasketut homeitiöt	$22 * 10^4$ cfu/m ³	Hake- ja olkivoimalaitosten työntekijöiden mediaani keskiarvo
		$2,4 * 10^4$ cfu/m ³	Hakkeen haketus
Kallio ym. 2010	Mesofiiliset homeitiöt	$9 - 120 * 10^4$ cfu/m ³	Hakkeen seulonta
		$2,4 - 20 * 10^4$ cfu/m ³	Hakkeen kuljetus ja varastointi

Eläimistä tarttuvat taudit

Ruokolainen (2012, 75 – 77.) on tutkimuksessaan koonnut eri tauteja ja taudinaiheuttajia, joihin biopolttoaineiden tuotantoketjussa työskennellessä voi törmätä. Voimalaitosalueellakin mahdollisia tauteja voivat olla muun muassa puutiaisaiivotulehdus,

myyräkuume ja jänisrutto. Lisäksi muualla tuotantoketjussa voidaan altistua erilais-
ten eläinkunnan edustajien puremille.

Puutiaisaivotulehdus tarttuu pääasiallisesti punkin puremasta. Myyräkuumeen tart-
tuminen ihmiseen tapahtuu pääasiallisesti metsämyyrän eritteiden saastuttaman pö-
lyn mukana. Jänisruttoa esiintyy eniten pienjyrsijöillä ja jäniksillä. Ihmisiin tauti tart-
tuu useimmin vertaimevienhyönteisten välityksellä, mutta tartunnan voi saada myös
saastuneesta ympäristöstä sillä taudin aiheuttava bakteeri voi kestää elinkykyisenä
kuukausia. (Zoonosikeskus N.d.)

Kirjallisista tutkimustietoa eläimistä tarttuvien tautien yleisyydestä ja esiintyvyydestä
biopolttoaineiden käsittelystä ei ollut saatavilla.

4.2.3 Terveysvaikutukset

Mikrobialtisteille ei ole määritelty HTP-arvoja. Taulukkoon 5 on kerätty ohjearvoja eri
mikroobeille altistumisille.

Taulukko 5. Mikrobialtistumisen ohjearvoja

Mikrobi	Raja-arvo	Kommentti/lähde
Aktinobakteeri	>5 cfu/m ³	Toimisto sisäilman kohonnut aktinobakteeripitoisuus, viittaa epätavanomaiseen mikrobilähtee- seen, Työterveyslaitos.
Aspergillus fumigatus	0,01*10 ⁴ cfu/m ³	(Putus 2010, 28.)
Endotoksiini	90 EU/m ³	Alankomaan suositusarvo (Endotoxins 2010, 18.).
Gram negatiiviset bakteerit	0,5*10 ⁴ cfu/m ³	Isobritannialainen ohjeistusarvo (Arshadi ym. 2013, 57.).
Homesienet	0,5*10 ⁴ cfu/m ³	Isobritannialainen ohjeistusarvo (Arshadi ym. 2013, 57.).
Yht. lasketut bakteerit	1*10 ⁴ cfu/m ³	Isobritannialainen ohjeistusarvo (Arshadi ym. 2013, 57.).

Mikrobeille altistutaan hengitysteitse, ruuansulatuskanavan tai ihon välityksellä saadun kosketuksen kautta. Valtaosa työpaikoilla tapahtuvista altistumisista tapahtuu bioaerosolien eli hengitysilmassa olevien kiinteiden tai nestemäisten hiukkasten kautta. Altistumisen merkkeinä ovat ärsytys- ja yleisoireet, allergiat ja infektiot. Ärsytys- ja yleisoireet ilmenevät kenelle tahansa altistumisen ollessa riittävän suurta. Oireita ovat tavallisesti nenän, silmien ja ihon ärsyyntyminen sekä kuume ja pahoinvointi. Oireet loppuvat normaalisti altistumisen päätyttyä, mutta pitkäaikainen altistuminen voi johtaa myös krooniseen keuhkoputkentulehdukseen. Henkilöillä joilla on perintötekijöistä johtuva alttius sairastua allergiseen astmaan tai nuhaan, voi sairauden puhkeamisen riittää pienikin bioaerosoliannos homesieniä tai aktinobakteereita. Usein toistuvan tai liian suuren altistumisen johdosta kuka tahansa voi sairastua allergisen alveoliittin, eli keuhkokudoksen allergiseen sairauteen. Infektiotaudin saamiseen vaikuttaa mikrobin infektiivisyys ja altistuneen henkilön terveydentila. Tunnetuimpana mikrobin aiheuttamana infektiotautina pidetään legionelloosia, jonka taudin kuva vaihtelee oireettomasta infektiosta keuhkokuumeeseen ja monielinvauriin. (Kallio ym. 2010, 7 – 8.)

4.3 Kemialliset tekijät

4.3.1 Yleistä

Orgaanisia polttoaineita varastoitaessa syntyy terveydelle haitallisia päästöjä, joihin orgaanisen materiaalin kemiallisista ja biologisista muutoksista. Nämä orgaaniset haihtuvat yhdisteet ja epäorgaaniset kaasut yhdistettynä suljettuun tai huonosti tuulettamattomaan tilaan, voivat aiheuttaa terveydellisiä ongelmia sekä pahimmassa tapauksessa jopa menehtymisen. Puupolttoaineiden varastointiin liittyviä ihmishenkiä vaatineita onnettomuuksia on sattunut 2000-luvulla ainakin neljätoista kappaletta (ks. kappale 4.7), joista kaksi Suomessa (Gauthier, Bartsch, Grass, Krämer, Lory & Thali 2012, 5.).

Tehdyissä tutkimuksissa (Ahonen & Liukkonen 2008, 7 – 8.; Sveddberg, Galle, Högberg & Högberg 2004, 4.; Nordtest n.d., 10.) on havaittu puuperäisten polttoaineiden varastoinnissa ja käsittelyssä syntyvän useita haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, kuten aldehydejä, terpeenejä ja orgaanisia happoja sekä myös lauhtumattomia kaasuja, kuten hiilimonoksidia (häkä), hiilidioksidia ja metaania.

4.3.1.1 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (volatile organic compounds, VOC) esiintyvät kaasumaisina yhdisteinä ilmassa, johtuen niiden korkeasta höyrynpaineesta. Maailman terveysjärjestön määritelmän mukaan VOC-yhdisteiksi luetellaan ne orgaaniset yhdisteet joiden kiehumispiste on 50 – 100...240 – 260 °C. Tähän yhdiste ryhmään kuuluu muun muassa aldehydejä, alkoholeja, karboksyylihappoja, ketoneita, terpeenejä ja estereitä. VOC-yhdisteiden toteaminen tapahtuu analysoimalla ilmanäytteitä, joita kerätään lyhyt- tai pitkäaikaismenetelmällä. Lyhytaikaismenetelmän näytteenotto (ks. kuvio 9) kestää muutamista minuuteista tunteihin, kun pitkäaikaismenetelmässä näytteenotto voi kestää viikon. (Pönkä 2006, 141 – 142.)



Kuvio 9. Näytteenottoa lyhytaikaismenetelmällä.(Korpikoski 2014)

Aldehydi

Aldehydit ovat yhdisteitä, joissa karbonaaliryhmä esiintyy molekyylin päätehiilessä. Yhdisteinä aldehydit ja ketonit muistuttavat kemiallisesti toisiaan, ja niillä on useita samantyyppisiä reaktioita. Ne kuuluvat niin sanottuihin karbonyyliyhdisteisiin. Aldehydit ovat myrkyllisiä ja palavia yhdisteitä. (Alén 2009, 256) Alla on listattu tutkimuksissa (Ahonen & Liukkonen 2008, 7 – 8; Galle ym. 2004, 4; Nordtest n.d., 10.) tavattuja aldehydyhdisteitä:

- **akroleiini** on normaali olomuodossaan väritöntä pistävän hajuista nestettä. Sitä esiintyy muun muassa kasviöljyjen lämpöhajoamisen yhteydessä, epätavallisessa palamisessa ja puusta haihtuvissa kaasuissa. Altistuminen voi tapahtua hengitettynä, nieltynä sekä ihon lävitse. Lyhytaikaisen altistumisen merkkejä ovat ärsyyntymiset ja silmien vuotaminen. Pitkäaikainen altistuminen voi johtaa keuhkopöhöön. (Alén 2009, 258; ttl, kemikaalikortit, 2011.)
- **furfuraali** on höyrystyessään erittäin korkeiksi pitoisuuksiksi lievästi myrkyllistä ainetta. Se ärsyttää limakalvoja ja aiheuttaa allergisia oireita. Puhdas furfuraali on väritöntä nestettä, jolla on voimakas aromaattinen haju. (Alén 2009, 841)
- **heksanaalin** terveysvaikutuksia ei tunneta täysin tarkasti, mutta sen on todettu aiheuttavan ainakin ihon ja limakalvojen ärsytystä ja mahdollisesti myös muita terveyshaittoja. (Svedberg ym. 2004, 9.)
- **mentanaali**, eli formaldehydi on puhtaana väritöntä, tukahduttavaa ja pistävän hajuista kaasua. Se on myrkyllistä nieltynä, hengitettynä ja ihokosketuksessa. Toistuvaa altistumista tulisi välttää lisääntyneen allergisen ihottuman ja muiden yliherkkyysoireiden vuoksi. (Alén 2009, 254)
- **pentanaalille** lyhyt aikainen altistuminen aiheuttaa silmien, ihon ja hengitysteiden ärsyyntymistä.

Terpeeni

Terpeenejä vapautuu erityisesti havupuiden (mänty ja kuusi) hartsista ja pihkasta.

Terpeenit sisältävät muun muassa alfa- ja beeta pineeniä, delta kareenia ja abietiini-

happoa. Näille yhdisteille altistuneiden työntekijöiden tiedetään olevan alttiimpia sairastumaan allergiseen nuhaan ja kosketushottumaan sekä astmaan. Terpeenit voivat aiheuttaa myös hajuhaittoja, silmien ja hengitysteiden ärsytystä sekä pahoinvointia. (Puu ja terveys n.d; Pönkä 2006, 147.)

Orgaaniset hapot

- Puhdas etikkahappo (etaanihappo) on väritöntä nestettä pistävällä hajulla. Luonnossa sitä esiintyy vapaana sekä sitoutuneena moniin aineisiin ja materiaaleihin. Sillä on voimakkaasti syövyttävä ja ärsyttävä vaikutus, erityisesti höyrystyneen etikkahapon kanssa on oltava varovainen. (Alén 2009, 336)
- Muurahaishappo (metaanihappo) on puhtaana kirkasta pistävän hajuista nestettä, joka ilman kanssa reagoiessaan savuaa heikosti. Se on syövyttävää ja sen höyryjen hengittäminen aiheuttaa terveysongelmia, kuten yskänärsytystä, kurkun kipeytymistä ja hengenahdistusta. Pitkäaikainen altistuminen voi johtaa ihottumiin ja sidekalvojen tulehtumisiin. Muurahaishapon nimi johtaa sen aikaisemmin käytetystä valmistustavasta, jolloin sitä valmistettiin kuivatislaamalla muurahaisia. (Alén 2009, 329)

4.3.1.2 Lauhtumattomat kaasut

Varastoinnin yhteydessä lignoselluloosapitoiset puut synnyttävät lauhtumattomia kaasuja. Näitä kaasuja ovat pääasiassa hiilimonoksidi, hiilidioksidi ja metaani. Nämä kaasut syrjäyttävät happea ja voivat näin tukahduttaa ihmisen. (Arshadi ym. 2013, 32.)

Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidia (häkä, CO) syntyy hiiltä sisältävien aineiden epätäydellisessä palamisessa kuin myös puun kemiallisessa hapettumisessa. Se on ilmaa kevyempää myrkyllistä, hajutonta ja palavaa kaasua. Erityisen herkkiä hiilimonoksidi altistukselle ovat

sikiöt, vastasyntyneet, raskaana olevat ja sydän- tai keuhkosairauksia ja anemiaa sairastavat. (Pönkä 2006, 128 – 129.)

Hiilimonoksidille on määritelty työhygieeniset arvot, työperäisten altistumisien vuoksi. HTP_{8h} arvoksi on määritelty 35 mg/m³.

Hiilidioksidi

Hiilidioksidia (CO₂) syntyy hiilipohjaisten aineiden palamistuotteena sekä soluhengityksessä. Puhdas hiilidioksidi on ilmakehän paineessa ilmaa painavampaa, väritöntä, myrkytöntä ja lähes hajutonta kaasua. Hiilidioksidi on happea syrjäyttävää kaasua ja näin kohonnut hiilidioksidi pitoisuus hengitysilmassa aiheuttaa tukahtumisvaaran. Puhdasta hiilidioksidia hengitettäessä vaarana on lähes välitön tajuttomuus ja kuolema. (Turvallisuusohje n.d., 1.)

Metaani

Metaania (CH₄) syntyy biomassan mädäntyessä hapettomissa olosuhteissa. Metaani on hajutonta, palavaa ja ilmaa kevyempää kaasua. Korkeissa pitoisuuksissa se aiheuttaa tukehtumisen. Tukehtuminen voi olla hyvinkin nopea ja ennalta arvaamaton. Pienillä pitoisuuksilla altistumisen oireita ovat huimaus, päänsärky, pahoinvointi ja koordinaatiokyvyn menetys. (Käyttöturvallisuustiedote 2013, 2.)

PAH-yhdisteet

Polysykliset aromaattiset hiilivedyt eli PAH-yhdisteet syntyvät materiaalin epätäydellisestä palamisesta ja niitä esiintyy kaikkialla ympärillämme. Kivihiilipiki ja kivihiiliterva, terva, erilaiset öljyt, asfaltti, pakokaasut sekä tietyt elintarvikkeet sisältävät PAH-yhdisteitä. PAH-yhdisteille voi altistua niin hengitysteitse kuin ihokosketuksesta. PAH-yhdisteet ovat luokiteltu syöpävaarallisiksi. Niiden tiedetään aiheuttavan syövän lisäksi myös perimämuutoksia. Vuoden 2012 HTP- pitoisuus julkaisussa on määritelty vain yhdelle PAH yhdisteelle (bento(a)pyreeni) HTP-arvo (ks. taulukko 8). (PAH-yhdisteet ja niiden esiintyminen 2010.)

4.3.2 Tutkimukset

Suurin osa löydetyistä tutkimuksista keskittyy pelleteistä haihtuviin yhdisteisiin. Yhdessä tutkimuksessa (Bi, Kuang, Jim Lim, Melin, Shankar & Sokhansanj 2008,) todettiin lämpötilalla olevan suuri vaikutus pelleteistä haihtuvien lauhtumattomien kaasujen määrään. Mitä lämpimämpää, sitä nopeampaa ja voimakkaampaa kaasujen erittyminen oli.

Aldehydit

Svedbergin ym. (2004, 342.) tekemästä pellettien varastoinnissa syntyvien haihtuvien yhdisteiden tutkimuksessa löytyneiden aldehydipitoisuuksien keskiarvo oli 111 ± 32 mg/m³, suurimman pitoisuuden ollessa 156 mg/m³. Löydetyistä aldehydeistä noin 70 – 80 % oli heksanaalia ja 10 – 15 % pentanaalia. Ahosen & Liukkosen (2008, 17.) työssä tutkittiin pellettivarastoista löytyviä ilman epäpuhtauksia viidessä pellettitehtaassa ja yhdessä asiakasvarastossa (ks. kpl 4.1.2). Pellettitehtaiden tuotevarastoissa ilmeni aldehydeistä etenkin heksanaalia. Heksanaalipitoisuudet olivat korkeimmillaan pellettikasojen päällä, varastojen yläosissa. Varastojen yläosissa mitatut pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,01 – 200 mg/m³, mediaanipitoisuuden ollessa 2,4 mg/m³. Säiliövarastossa, jossa pelletti oli alkanut hajoamisen takia lämmetä, pellettikasan päällä mitatut heksanaalipitoisuudet olivat 54 – 120 mg/m³. Asiakasvarastossa mitattu heksanaalipitoisuus oli kaikkein suurin, 200 – 230 mg/m³. Varastojen alaosissa tehdyissä mittauksissa heksanaalipitoisuudet olivat 0,015 – 2,4 mg/m³ ja työntekijöiden hengitysalueella tehdyissä mittauksissa 0,003 – 0,24 mg/m³. Muiden aldehydyhdisteiden pitoisuudet olivat korkeimmillaan neljäsosan raja-arvoista, niin varastoissa kuin hengitysvyöhykkeellä tehdyissä mittauksissa. Poikkeuksen tekivät asiakasvarasto ja lämpenemiselle altistunut varasto. Asiakasvarastossa mitattiin formaldehydipitoisuutta noin 1,5-kertaisesti ja akroleiinipitoisuutta noin 7-kertaisesti yli HTP_{8h} arvojen. Akroleiinipitoisuudet olivat myös 3,3 kertaisesti yli HTP_{8h} arvojen varastossa, jossa ilmeni lämpenemistä.

Taulukko 6. Aldehydipitoisuuksia

Lähde	Haihtuva aine	Pitoisuus	Kommentti
Svedberg ym. 2004	aldehydit	111 ± 32 mg/m ³	Pellettivarastojen keskiarvo
		156 mg/m ³	Pellettivarastojen suurin pitoisuus
Ahonen & Liukkonen (2008)	heksanaali	0,01 - 200 mg/m ³	Pellettivarastojen yläosat
		2,4 mg/m ³	Pellettivarastojen yläosat mediaani
		54 - 120 mg/m ³	Pellettivarastossa jossa tapahtui hajoamista
		200 - 230 mg/m ³	Asiakasvarasto (pelletti)
		0,015 - 2,4 mg/m ³	Pellettivarastojen alaosat
	akroleiini	3,3 * HTP _{8h}	Pellettivarastossa jossa tapahtui hajoamista
		7 * HTP _{8h}	Asiakasvarasto (pelletti)
formaldehydi	1,5 * HTP _{8h}	Asiakasvarasto (pelletti)	

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Svedberg ym. (2004, 342.) löysivät pelletinvarastoista asetonia (83 ± 24 mg/m³) ja metanolia (18 ± 7 mg/m³). Niiden pitoisuudet jäivät kuitenkin reilusti alle niille annettujen HTP-rajojen. Ajanko & Fagernäsin (2006, 25.) tutkimuksessa mitattiin VOC-yhdisteiden pitoisuutta ruokohelven käsittelyssä. Mittausten perusteella VOC-yhdisteiden pitoisuudet todettiin erittäin alhaisiksi ruokohelpeä käsiteltäessä. Ahosen & Liukkonen (2008, 18.) tutkimuksessa pelleteistä haihtuvista orgaanisista yhdisteistä yhdenkään pitoisuudet eivät ylittäneet HTP-arvoja. Tehtaiden pellettivarastojen terpeenipitoisuus arvot olivat 14 % HTP_{8h} arvoista ja asiakasvarastossa 37 % HTP_{8h} arvosta. Muista haihtuvista yhdisteistä havaittiin muun muassa asetonia, metanolia, butaania ja pentaania. Suurimmat pitoisuudet löytyivät varastossa jossa tapahtui pellettien

lämpenemistä, asetonipitoisuuden ollessa 10 % HTP_{8h} arvosta ja metanolipitoisuuden 6 % HTP_{8h} arvosta. Asiakasvaraston asetonipitoisuus oli 28 % HTP_{8h} arvosta.

Orgaaniset hapot

Muurahaishappoa löytyi pellettivarastosta pitoisuudella $1,6 \pm 0,4$ mg/m³ Svedbergin ym. (2004, 342.) tutkimuksessa. Havaittu arvo jää alle puoleen muurahaishapon HTP_{8h}-arvosta. Ahosen & Liukkosen (2008, 18.) pellettivarastojen tutkimuksessa, tehtaiden tuotevarastoista havaittiin etikka- ja muurahaishappoa, mutta niiden pitoisuudet jäivät noin neljäsosaan niiden HTP_{8h} arvoista. Asiakassillossa mitattiin etikkahapolle 50 % ja muurahaishapolle 46 % pitoisuudet HTP_{8h} arvoista.

Happipitoisuus, Hiilidioksidi ja Hiilimonoksidi

Ahosen & Liukkosen (2008, 18.) pellettivarastojen tutkimuksessa happi- ja hiilidioksidipitoisuudet olivat lähes ulkoilman tasolla, pois lukien pellettivaraston jossa tapahtui hajoamista. Happipitoisuus ilmassa oli kyseisessä varastossa laskenut 20 % ja hiilidioksidipitoisuus oli noussut 1280 ppm, eli 26 % HTP_{8h}-arvosta. Hiilimonoksidipitoisuus varastojen lattiatasossa vaihteli 2 – 43 % HTP_{8h}-arvosta. Varastojen yläosissa mitatut pitoisuudet olivat 5 – 770 % HTP_{8h}-arvosta. Suurimmat pitoisuudet olivat varastossa jossa tapahtui pellettien hajoamista. Asiakasvaraston hiilimonoksidipitoisuus ylitti mittarin asteikon, eli pitoisuus oli yli 900 ppm (CO HTP_{8h} = 30ppm). Svedberg ym. (2009, 780.) tutkivat puuhakkeen ja kuitupuun laivakuljetusten purkamisen aikana havaittavia ilman happi- sekä myrkkyykaasupitoisuuksia. Tutkimuksessa todettiin joka viidennen mitatun kuljetuksen (n=41) rahtiruumaan portaikossa olevan täydellinen happivaje, sekä joka kolmannessa kuljetuksessa portaikossa olevan hengenvaarallisen alhainen happipitoisuus (< 6 %). Laivojen rahtina oli mäntyä, kuusta, koivua ja haapaa ja rahtien kuljetus ajat vaihtelivat 37 – 66 tunnin välillä. Hiilidioksidi (CO₂) pitoisuudet ilmassa vaihtelivat 0,5 – 15 % välillä, joka on selvästi enemmän kuin ilmakehässä esiintyvä ~0,035 % pitoisuus. Mitatut hiilimonoksidipitoisuudet olivat 2 – 174 ppm tasolla.

Taulukko 7. Happi-, hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuuksia.

Lähde	Haihtuva aine	Pitoisuus	Kommentti
Ahonen & Liukkonen 2008	hiilidioksidi	0,26 * HTP _{8h}	Pellettivarasto
	hiilimonoksidi	0,02 - 0,43 * HTP _{8h}	Pellettivaraston lattiatasolla
		0,05 - 7,7 * HTP _{8h}	Pellettivaraston yläosissa
		> 900 ppm	Asiakasvarasto (pelletti)
Svedberg ym. 2009	happi	Joka 5. laivan ruumassa (n. 41) oli täydellinen happikato	Laivan rahtiruuman viereinen portaikko (hake/kuitupuu)
		Joka 3. laivan ruumassa (n. 41) oli hengenvaarallisen alhainen pitoisuus <6 %	Laivan rahtiruoman viereinen portaikko (hake/kuitupuu)
	hiilidioksidi	0,5 - 15 %	Laivan rahtiruoman viereinen portaikko (hake/kuitupuu)
	hiilimonoksidi	2 - 174 ppm	Laivan rahtiruoman viereinen portaikko (hake/kuitupuu)

4.3.3 Terveysvaikutukset

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden terveyshaittoina esiintyy nuhaa, kurkun ärtymistä, yskää, silmien kirvelyä, hengenahdistusta, väsymystä ja päänsärkyä. Joidenkin VOC-yhdisteiden on epäilty olevan karsinogeenisia tai mutageenisia, mutta niiden käytännön merkitystä ei vielä tunneta tarkasti. (Pönkä 2006, 141 – 142.)

Taulukossa 8 nähdään Sosiaali- ja Terveysministeriön asettamat pitoisuudet haitalliseksi tunnetuille aineille. Taulukossa esitetään niin kahdeksan tunnin (HTP_{8h}) kuin viidentoista minuutin (HTP_{15min}) altistuksessa haitalliseksi tunnetut pitoisuudet (HTP). CAS-numero on ympäri maailman käytettävä kemiallisten aineiden yksilöintinumero.

Huomautus sarakkeessa ilmenevä ”Iho” merkintä tarkoittaa kyseisen aineen imeytyvän elimistöön myös ihokosketuksen kautta, vaikka HTP-arvot on tarkoitettu hengitysteitse tapahtuvaa altistumista silmälläpitäen. ”Kattoarvo” huomautuksen saaneen aineen vaikutuksen tiedetään alkavan nopeasti altistumisesta. (HTP-arvot 2012, 10 – 11.)

Taulukko 8. Taulukko haitalliseksi tunnetuista pitoisuuksista (HTP-arvot 2012, 20 - 45.)

Aine	CAS-nro	HTP _{8h}		HTP _{15min}		Huomautus
		ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
Akroleiini	107-02-8	-	-	0,1	0,23	Kattoarvo
Asetoni	67-64-1	500	1200	630	1500	-
Bentso(a)pyreeni	50-32-8	-	0,01	-	-	Iho
Butyyrialdehydi (Butanaali)	123-72-8	25	74	-	-	-
Etikkahappo	64-19-7	5	13	10	25	-
Formaldehydi (mentanaali)	50-00-0	0,3	0,37	1	1,2	Kattoarvo
Furfuraali	98-01-1	2	8	5	20	Iho
Heksanaali	66-25-1	-	-	10	42	-
Hiilidioksidi	124-38-9	5000	9100	-	-	-
Hiilimonoksidi	630-08-0	30	35	75	87	-
Metanoli	67-56-1	200	270	250	330	Iho
Muurahaishappo	64-18-6	3	5	10	19	-
Propionihappo	79-09-4	10	31	20	61	-
Tolyeeni	108-88-3	25	81	100	380	Iho
Valeraldehydi (Pentanaali)	110-62-3	30	110	-	-	-

Lauhtumattomien kaasujen suurimpana terveysuhkana on niiden happea syrjäyttävä vaikutus, niin elimistössä kuin hengitysilmassa. Hiilimonoksidin päästessä verenkiertoon se sitoutuu hemoglobiiniin, muodostaen karboksihemoglobiinia. Karboksihemoglobiini heikentää elimistön hapenkuljetuskykyä. Puolen tunnin altistuminen 57 mg/m³ hiilimonoksidipitoisuudelle johtaa levossa 1,1 %, kevyessä työssä 1,9 % ja raskaassa työssä 2,6 % karboksihemoglobiini pitoisuuteen. 1 – 2 tunnin altistuminen 90 – 160 mg/m³ hiilimonoksidipitoisuudelle, voi nostaa karboksihemoglobiini pitoisuuden 3 – 6 %. Taulukosta 9 on nähtävissä karboksihemoglobiini pitoisuuden vaikutus ihmisiin. (Pönkä 2006, 128 – 129.)

Taulukko 9. Karboksihemoglobiinin aiheuttamat vaikutukset(Pönkä 2006, 130.).

Karboksihemoglobiinin osuus kokonaishemoglobiinista (%)	Oireet
0,5 - 1	Ei oireita. Normaaliväestöllä todettava pitoisuus
3 – 5	Fyysinen toimintakyky heikkenee rasituksessa. Tupakoitsijoilla todettava pitoisuus. Sepelvaltimotautia sairastavilla angina pectoris-kohtauksien riski ja kesto lisääntyvät
5 – 8	Valppaus heikkenee
5 – 17	Tarkkuutta vaativien toimintojen suoritus heikkenee
>10	Subjektiiiviset oireet alkavat
10 - 40	Päänsärky, pahoinvointi, vatsakivut, huimaus, sydämentykytys ja uneliaisuus.
50 - 60	Oireet pahenevat, vähitellen tajunnan menetytys.
>60	Kooma, kouristukset ja kuolema

Taulukossa 10 on nähtävillä hengitettävässä ilmassa olevan hapenpuutteen aiheuttamia oireita. Joidenkin kaasujen tiedetään aiheuttavan tukehtumista ilman muita merkittäviä fysiologisia oireita. Näille kaasuille ei ole annettu erikseen HTP-arvoa, niiden

vaikutusmekanismin perustuessa pelkästään hapen syrjäyttämiseen. Esimerkiksi siilopalojen sammuttamiseen käytetty typpi aiheuttaa tukehtumisvaaran. Happipitoisuuden laskiessa alle 18 % voi hapenpuutteen oireita alkaa esiintymään. (HTP-arvot 2012, 49.)

Taulukko 10. Hapenpitoisuuden vaikutukset ihmisissä (HTP-arvot 2012, 49.)

Happipitoisuus il-massa(%)	Oireet
21	Normaali happipitoisuus. Ei oireita
13 – 16	Huimausta ja hengenahdistusta ponnisteltaessa Sykkeen nousu ja hengitystilavuuden kasvu Huomiokyvyn lasku
10 – 13	Arviointikyvyn virheitä Nopea väsyminen ja pyörtyminen ponnisteltaessa Vakavissakaan vammoissa ei kivun tuntoa Tunnekokemuksen epävakautta
6 – 10	Pahoinvointia ja oksentelua Kyvyttömyys vaativampiin lihasliikkeisiin tai ylipäänpänsä liik- kumiseen
alle 6	Tajunnan menetys ja kooma. Nopeasti tappava.

4.4 Tulipalo

4.4.1 Itsesytyminen

Varastoitaessa orgaanisia materiaaleja on otettava huomioon niiden taipumus itselämpenemiselle. Pahimmillaan tämä kuumeneminen voi johtaa polttoaineen itsesyty-
tymiseen. Biopolttoaineiden itselämpenemisen käynnistäviä tekijöitä ovat biologiset,
kemialliset ja fysikaaliset reaktiot. Biologisessa reaktiossa mikrobitoininta aiheuttaa
lämmön nousua ja tuottaa hiilidioksidia. Tämä reaktio voi nostaa lämmön noin 70 °C

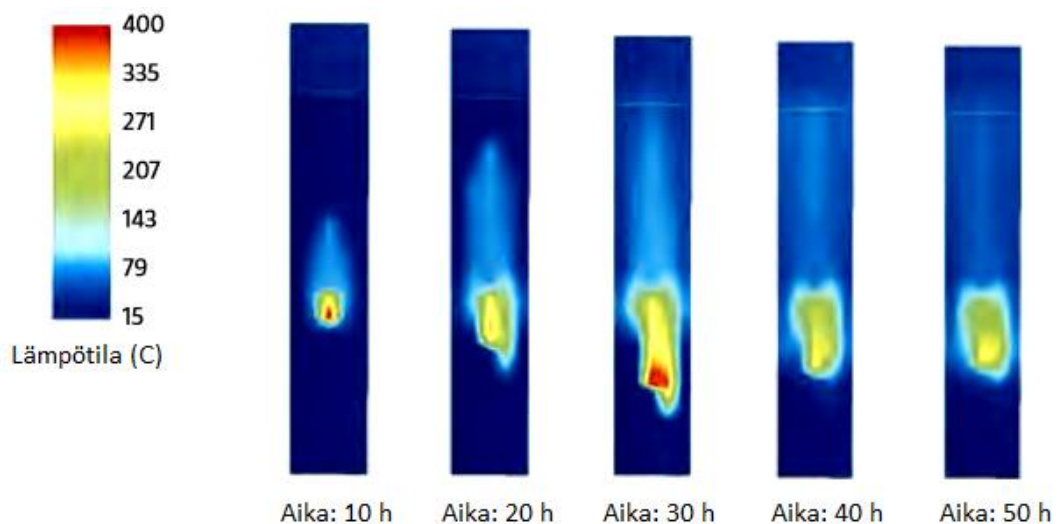
asti, jonka jälkeen bakteerit kuolevat lämmön vaikutuksesta. Kemiallisessa reaktiossa puun sisältämät eri ainesosat hapettuvat tuottaen samalla lämpöä ja lauhtumattomia kaasuja, kuten hiilimonoksidia, hiilidioksidia ja metaania. Hapettuminen tapahtuu materiaalin pinnalla ja biopolttoaineiden ollessa huokoisia aineita, reaktiopintaa on paljon. Fyysisessä reaktiossa kosteuden tiivistyminen ilmasta kuiviin polttoaineisiin voi nostaa lämpötilaa. Nämä kolme ilmiötä voivat toimia yksinään tai yhdessä. Olosuhteet määrittelevät mikä ilmiöstä esiintyy voimakkaimpana. (Arshadi ym. 2013, 3 – 5; Persson 2013, 65.)

Pellettien kuivuuden (6 – 10 %) ja niiden valmistusprosessissa ilmenevien korkeiden lämpötilojen takia, niiden mikrobitoiminta on hyvin vähäistä. Pellettien valmistuksessa raaka-aineen solurakenteet avautuvat ja altistuvat hapettumiselle. Tavanomaisin (kuivien) pellettien itsekuumenemisen aloittaja onkin kemiallinen puun ainesosien hapettuminen, joka on aktiivisimmillaan pian pellettien valmistuksen jälkeen. Mitä pidempään pelletit ovat varastossa olleet, sitä suuremman ulkoisen lämpötilan ne tarvitsevat käynnistämään itselämpenemisprosessin. Hapettumista voi tapahtua kun lämpötila ylittää 5 °C. Erityisesti puulajit jotka sisältävät runsaasti tyydyttämättömiä rasvahappoja ovat alttiimpia matalan lämpötilan hapettumiselle. Tällaisia puulajeja ovat ainakin mänty ja kuusi. Myös ilmasta pelletteihin imeytyvä kosteus voi nostaa lämpötilaa. Itselämpenemistä ei Wilenin ym. (2013, 61 – 62.) tutkimuksessa todettu torrefioidun puumassan kohdalla laboratoriokokoluokan testeissä. Suurien määrien varastoinnissa itselämpenemisvaaraa ei voida vielä kokonaan sivuuttaa. (Arshadi ym. 2013, 7 – 8; Persson 2013, 65 – 66; Wilen ym. 2013, 61 – 62.)

Kosteiden polttoaineiden (> 15 – 20 %) kuten hakkeen, sahanpurun ja ruokohelpien lämpiäminen alkaa normaalista mikrobitoiminnasta. Mikrobitoiminta on riippuvaista lämpötilasta, ja mikro-organismit on jaettukin kolmeen eri ryhmään niiden optimi toimilämpötilojen mukaan: psykoofiilinen, mesofiilinen ja termofiilinen. Psykoofiiliset mikro-organismit toimivat parhaiten lämpötilan ollessa välillä -15 °C – 10 °C, mesofiiliset mikro-organismit 20 – 40 °C ja termofiiliset mikrobiorganismit selviävät aina 70 °C asti. Kemiallinen puun ainesosien hapettuminen alkaa vaikuttaa puupohjaisten

polttoaineiden lämpiämiseen noin 40 °C kohdalla ja muuttuu hallitsevaksi yli 50 °C lämpötiloissa. Normaalisti kuivien pellettien kosteuden kasvu kiihdyttää niiden mikrobitoimintaa ja näin lisää itselämpenemisherkkyttä. (Arshadi ym. 2013, 5 – 7; Persson 2013, 65.)

Itsesyttyminen tapahtuu tavallisesti polttoainekasan keskellä. Materiaalit jotka ovat alttiita itsekuumenemiselle lämpenevät koko kasan alueelta. Johtuen lämmön eristymisestä, kuumin piste löytyy normaalisti kasan keskeltä, jossa lämmön johtuminen viileämpään ulkoilmaan on pienintä. Kun kytevä pyrolyysipalo syttyy kasan keskellä, etenee sen suuntaisesti missä on happea saatavilla. Kyteväpalo aikaansaa hiilimonoksidia sekä muita palamattomia hiilivetyjä, jotka varastorakennuksissa nousevat rakenteiden yläosaan, jossa ne voivat räjähdyksenomaisesti syttyä palamaan mahdollisen syttymislähteen ilmaannuttua. Palo muuttuu kytevästä palosta liekehtiväksi kun se saavuttaa kasan pinnan tai tulee muuten kosketuksiin ilman kanssa, esimerkiksi kasaa käsiteltäessä. (Persson 2013, 66 – 67.)



Kuvio 10. Siilopalon seuranta lämpökameralla(Persson 2013, 68.).

Kuviosta 10 on nähtävillä kytevä palon eteneminen pellettisiilossa, jonka halkaisija on 1 m ja korkeus 6 m. Siilon sisälle sytytettiin kyteväpalo, jonka annettiin edetä vapaasti. 20 tunnin kohdalla syntyneet kaasut olivat päässeet siilon yläosiin. Lämpimien pyrolyysikaasujen päästessä siilon yläosaan syntyi terminen vetoefekti. Se lisäsi hapen saantia ja kiihdytti näin pyrolyysi tapahtumaa. 30 tunnin kohdalla inerttiä kaasua syötettiin siiloon sen alaosasta, jolloin lämpötila rupesi laskemaan siilossa. (Persson 2013, 68 – 69.) Esimerkissä huomioitavaa on kytevien palojen kehittymisen nopeus.

4.4.2 Ulkopuoliset syttymislähteet

Itsesyttymisen lisäksi tulipalon aiheuttajana voi toimia ulkoinen syttymislähde. Näitä lähteitä on runsaasti teollisuusympäristöissä, mutta yleisimpinä voidaan mainita huolimattomat tulityöt, kuumentuneet koneet, kipinät, takatuli kattilasta, kytevät polttoaineen palaset ja polttoaineiden siirtelyn käytettävien koneiden vikaantuminen. Kipinät voivat olla lähtöisin materiaalin sekaan joutuneista kiven ja metallin paloista. Kuumia pintoja muodostuu sähkömoottorien ylikuumentuessa, laakereiden rikkoutuessa ja kuljetinjärjestelmien tuottamasta kitkasta. Polttoainekasaan päätyneet ylimääräinen metallikappale voi toimia katalyytin tavoin itselämpenemisprosessissa, nopeuttaen näin itselämpenemistä. (Arshadi ym. 2013, 13.)

4.4.3 Terveysvaikutukset

Tulipalolle ilmeisien palovammojen lisäksi terveydelle haitallisia ovat myös hapenpitoisuuden lasku hengitettävässä ilmassa sekä palamistapahtumassa muodostuvat kaasut, kuten hiilimonoksidi, hiilidioksidi ja palamattomat hiilivedyt. Edellä mainittuja kaasuja syntyy niin liekillisessä palossa kuin liekittömässä polttoainekasan sisällä tapahtuvassa kytevässä pyrolyysipalossa. Erityisesti hiilimonoksidin vaarallisuutta lisäsen hajuttomuus, ja sen riski aiheuttaa terveydelle vaarallisia tilanteita jo ennen kuin palon syttymistä on edes havaittu. Palossa syntyvien hiilimonoksidin, hiilidioksidin ja hapen puutteen terveysvaikutuksista on kerrottu lisää kappaleessa 4.3.

Siilopalojen sammuttamisessa käytetään inerttejä kaasuja, typpeä ja hiilidioksidia. Niiden sammuttava vaikutus perustuu suurimmalta osalta palamisen tarvitseman hapen syrjäyttämiseen, sekä myös vähemmässä määrin jäähdyttävään vaikutukseen. Suljetuissa tiloissa nämä kaasut aiheuttavat hengenvaarallisia tilanteita hapen pitoisuuden laskemisen takia. Typpi on noin ilman painoista ja hiilidioksidi on puolitoista kertaa ilmaa raskaampaa, joten se kertyy rakennelmien alaosaan. Lisärisikin typen käytölle luo sen alhainen lämpötila (-196 °C), joka voi aiheuttaa paleltumisvammoja, sekä asettaa omat vaatimuksensa sammutuksessa käytettävälle kalustolle. Hiilidioksidin riskiä lisää sen taipumus muuttua hiilimonoksidiksi jos hapensaanti on rajallista ja lämpötila yli 650 – 700 °C. Kyseisiä olosuhteita voi ilmetä siilopaloissa, jolloin hiilidioksidin käytöstä sammuttavana kaasuna voi olla enemmän haittaa kuin hyötyä. (Persson 2013, 44 – 48.)

VTT:n tutkimuksessa (Hakkarainen, Järnström, Laitinen, Mäkelä, Oksa & Tillander 2008, 50 – 64.) tehtiin palokokeita noin 30 neliömetrin kokoisissa asuntohuoneistoa muistuttavissa rakennuksissa. Tutkimuksessa suoritettavat mittaukset osoittivat tiloissa esiintyvien PAH-yhdistepitoisuuksien nousseen tulipalon jälkeen. Tiloissa työskennelleiden saneeraustyöntekijöiden katsottiin altistuvan PAH-yhdisteille niin hengitysteitse kuin ihokosketuksen myötä. Oikeiden suojavaarusteiden käyttö onkin suositeltavaa kyseisissä tiloissa työskennellessä. Tulipalossa syntyneiden epäpuhtauksien määrä ja laatu ovat riippuvaisia palavista materiaaleista ja palamisolosuhteista. Jos asuntohuoneistopaloa simuloivassa tulipalossa havaittiin haitallisia yhdisteitä palon jälkeen, voidaan olettaa mahdollisen voimalaitospalon yhteydessä esiintyvän myös haitallisia yhdisteitä voimalaitosalueella sijaitsevien polttoaineiden, muovien ja muiden kemikaalien takia.

Tulipalojen sammutuksen yhteydessä syntyvät sammutusjätevedet sisältävät palamisreaktiossa syntyneitä haihtuvia yhdisteitä. Yhdisteet voivat joko liueta kaasumaisesta olomuodosta suoraan sammutusveteen tai savukaasujen jäädyttyään kondensoitua nokihiukkasiin. Nokihiukkaset voivat laskeutuessaan päätyä sammutusveteen

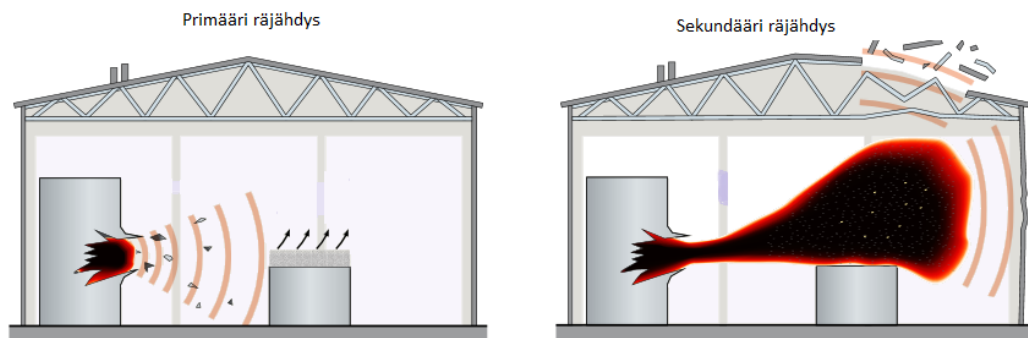
tai palokohteen pinnoille. Näitä haitallisia yhdisteitä syntyy niin puupohjaisten polttoaineiden kuin muovien ja muiden kemikaalien palaessa. Palojen sammutuksessa käytettävien vaahtojen tiedetään sisältävän ympäristölle haitallisia ainesosia. Suurissa määrissä nautittuna ne ovat myös ihmisen terveydelle vaarallisia. (Nissilä, Paloposki, Survo, Tillander & Virolainen 2005, 32, 68 – 70.)

4.5 Pöly- ja kaasuräjähdykset

4.5.1 Yleistä

Puupohjaisten polttoaineiden käsittely muodostaa aina pölyä ympäristöön. Ilmassa oleva pöly laskeutuu lopulta alas peittäen kaikki horisontaaliset pinnat ja rakenteet alleen. Pölyllä on terveydellisiä (ks. kappale 4.1) haittoja mutta myös räjähdys- ja paloturvallisuuteen liittyviä riskejä. Pöly- ja kaasuräjähdykset ovat yksi suurimpia onnettomuuksien aiheuttajia bioenergia puolella. (Persson 2013, 49)

Palamiseen tarvitaan kolme tekijää: polttoaine, happi ja lämpö. Pölyräjähdys tarvitsee syntyäkseen näiden lisäksi vielä suljetun tilan sekä pölyn riittävän sekoittumisen ilmassa. Pölyräjähdys on nimensä mukaisesti räjähdys, jossa pölyn nopea palaminen aiheuttaa palokaasujen ja ilman nopean lämpölaajenemisen seurauksena äkillisen paineen nousun. Pölyräjähdys on yleisesti kaksivaiheisia (ks. kuvio 11), joista jälkimmäinen eli sekundääri räjähdys on huomattavasti voimakkaampi. Ensimmäisessä eli primääri räjähdyksessä pöly tai joku muu palava aine syttyy ulkoisen lämmönlähteen tai kipinän vaikutuksesta. Tämän seurauksena voi olla pienikin räjähtävä palo, joka synnyttää paineaallon. Paineaalto saa ympäristössä olevan irtonaisen pölyn liikkeelle. Näin liikkeelle lähteneellä pölyllä on korkeampi pölypitoisuus ja tarpeeksi happea räjähteekseen kunnolla. Sekundääri räjähdys on normaalisti primääriä voimakkaampi, sen isomman polttoainemäärän ja lähes äänennopeudella etenevän tulipalon vuoksi. (Arshadi ym. 2013, 35; Persson 2013, 49 – 50)



Kuvio 11. Pölyräjähdysten eteneminen (Persson 2013, 51.).

4.5.2 Räjähdyksvaaralliset tilat

Ex-tiloiksi eli räjähdysvaarallisiksi tiloiksi luokitellaan ne tilat joissa esiintyy räjähdyskelpoisia ilmaseoksia. Tällaisilla alueilla työskentelevien työntekijöiden ennaltaehkäiseväksi suojaamiseksi Ex-tilat luokitellaan niiden räjähdysvaaran esiintyvyyden mukaan (ATEX 2012, 10 – 11.):

- Tilaluokka 0
 - Tila, jossa kaasumainen palava aine muodostaa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. Esiintymistä tapahtuu jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
- Tilaluokka 20
 - Tila, jossa pölymäinen palava aine muodostaa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. Esiintymistä tapahtuu jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
- Tilaluokka 1
 - Tila, jossa kaasumainen palava aine muodostaa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. Esiintymistä tapahtuu prosessin normaaleissa oloissa satunnaisesti.
- Tilaluokka 21
 - Tila, jossa pölymäinen palava aine muodostaa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. Esiintymistä tapahtuu prosessin normaaleissa oloissa satunnaisesti.

- Tilaluokka 2
 - Tila, jossa kaasumainen palava aine muodostaa räjähdyskelpoisen il-maseoksen. Esiintyminen prosessin normaaleissa oloissa on epätoden-näköistä ja esiintyessään kesto on lyhytaikaista.
- Tilaluokka 22
 - Tila, jossa pölymäinen palava aine muodostaa räjähdyskelpoisen ilma-seoksen. Esiintyminen prosessin normaaleissa oloissa on epätodennä-köistä ja esiintyessään kesto on lyhytaikaista.

4.5.3 Syttyminen

Jo 1 mm paksuinen pölykerros lattialla nostaa pölyräjähdysriskiä huomattavasti. Esimerkkinä 1 mm paksuinen pölykerros (tilavuuspainoltaan 500 kg/m^3) pöllähtää il-mavirran ansiosta 1 metrin korkeuteen, jolloin sen pitoisuudeksi tulee 500 g/m^3 . Jos vastaava pölykerros jakaantuu 5 metrin korkeudelle, sen pitoisuus on tuolloin 100 g/m^3 . Pieniltäkin kuulostavat pölykerrokset voivat aiheuttaa pölyräjähdysuhan, sillä erityyppisten pölypilvien tiedetään syttyvän niiden pitoisuuksien ollessa $20 - 2000 \text{ g/m}^3$. (Persson 2013, 49)

Pöly- ja kaasuräjähdykset syttyvät pienestäkin energialähteestä. Tällaisia lähteitä ovat muun muassa kipinät, jotka syntyvät viallisista sähkölaitteista, hitsauksesta, ma-teriaalivirran mukana kulkevista metallin ja kiven paloista sekä staattisesta varauk-sesta. Taulukossa 11 on nähtävillä puu- ja kivihiihipölyn ominaisuuksia, ja niistä on huomattavissa puupölyn selvästi pienempi minimisyttymisenergia (MIE) ja suurempi paineen nousu verrattuna kivihiihipölyyn. Puupölyn syttymisenergian suuruutta kuvaa hyvin se että ihmisen ja metallipinnan välisen staattisen purkauksen suuruus on kesä-aikaan luokkaa 20 mJ ja talviaikaan 60 – 80 mJ. Taulukosta 12 on nähtävissä pölyrä-jähdysluokat maksimi paineen nousu nopeuden mukaan. Puu- sekä kivihiihipöly kuulu-vat luokkaan St1, eli heikko/normaali. (Arshadi ym. 2013, 36; Persson 2013, 49 – 50.)

Taulukko 11. Polttoaineiden pölyjen ominaisuuksia (Wilén ym. 2013, 57 – 58; Vapon puupelletti 2013.).

			Puupöly	Torrefioitu puupöly	Kivihiili
Pölypilvi	Itsesyttymislämpötila	°C	420	460	590 - 760
	Minimisyttymisenergia (MIE)	mJ	20	160	< 1000
	Maksimi räjähdyspaine	bar	9,1 – 10	9,0	8,9 - 10
	Maksimi paineen nousu nopeus (Kst)	bar m/s	57 – 100	150	37 - 86
	Alin räjähtävä pölypitoisuus	g/m ³	30	60	60
	Rajoittava happipitoisuus	%	10 – 12	11,0	14
Pölykerros	Itsesyttymislämpötila	°C	340	330	270 - 450

Taulukko 12. Pölyräjähdysluokka (Jukola ym. 2013, 57.)

Räjähdys luokka	K _{st} arvo (m*bar/s)	
St0	0	ei räjähtävä
St1	≤ 200	heikko/normaali
St2	201 - 300	vahva
St3	> 300	raju

Biopolttoainekasoissa kytevät palot saavat aikaan runsaasti pyrolyysikaasuja, jotka koostuvat hiilimonoksidista ja monista muista palamattomista hiilivedyistä. Saavuttaessaan räjähtävän pitoisuuden (ks. taulukko 13), nämä kaasut syttyvät räjähdysen omaisesti pienestäkin syttymislähteestä, niiden MIE arvojen ollessa luokkaa 0,01 – 0,3 mJ. Ilmaa kevyempänä kaasuina ne kerääntyvät sillojen ja muiden varastorakennusten yläosaan. Monesti pienet kaasuräjähdykset toimivat aikaisemmin mainittuina primääriräjähdyksinä, ennen sekundääri pölyräjähdystä. (Arshadi ym. 2013, 36; Persson 2013, 49 – 50.)

Taulukko 13. Kaasujen räjähdys pitoisuudet (Arshadi ym. 2013, 52.).

Kaasu	Räjähävä pitoisuus ilman kanssa (%)
Hiilimonoksidi (CO)	12 – 75
Metaani (CH ₄)	5 – 15
Vety (H ₂)	4 – 75

4.6 Tuhkan vaikutukset

4.6.1 Yleistä

Tuhkalle altistumisen vaikutukset on tässä työssä eritelty omaan kappaleeseensa, eikä niitä esitelty pölyn terveysvaikutusten kanssa. Erittely tehtiin selkeyttämään polttoaineen käsittelyssä syntyvän pölyn ja tuhkan eroavaisuuksia.

Voimalaitoksissa syntyvä tuhka on peräisin polttoaineiden palamattomista epäorgaanisista osista. Tuhkan laatuun ja määrään vaikuttavat muun muassa käytetyn polttoaineen koostumus ja karkeus, kattilatyyppi ja palamislämpötila. Kattilan pohjalle tippuva ja sieltä kerättävää isompi partikkeleista tuhkaa kutsutaan pohjatuhkaksi ja savukaasuista erotettavaa tuhkaa lentotuhkaksi. Pohjatuhkan partikkelit vastaavat rakenteeltaan hiekkaa ja pieniä kiviä (0,002 – 16 mm) kun lentotuhka on rakenteeltaan silttimäistä (0,002 – 1 mm). Noin 15 – 25 % lentotuhkan partikkeleista on alle 10 µm kokoisia hengitysjakeeseen luokiteltavia pienhiukkasia. (Ojala 2010, 4; Laine-Ylijoki, Mäkelä, Peltola, Pihlajanmäki & Wahlström 2002, 11.)

Biomassan poltossa syntyneessä tuhkassa esiintyy paljon eri metalleja, joista toiset ovat enemmän terveydelle haitallisia kuin toiset. Biopolttoaineiden tuhkissa esiintyviä terveydelle haitallisia metalleja (raskasmetallit lihavoitu) ovat muun muassa: Al,

Ba, As, Be, V, Pb, Co, Cr, Ni, Se, Mo, Mn, Cd, Hg ja Sb. Pohja- ja lentotuhkan metallipitoisuudet eroavat toisistaan. Lentotuhkassa esiintyy enemmän haihtuvia raskasmetalleja, kuten sinkkiä, lyijyä ja kadiumia. Pohjatuhkassa taas esiintyy enemmän poltto-prosessissa haihtumattomia metalleja, kuten kalsiumia, magnesiumia ja piitä. Lentotuhkan haihtuvien raskasmetallien pitoisuus kasvaa polttoaineen palamislämpötilan mukaan. Puuntuhka on tavallisesti emäksistä pH-arvon ollessa välillä 10 – 13. (Eijk 2012, 12; Jumpponen, Laitinen, Rönkkömäki, Santonen & Tuomi 2011, 12.)

4.6.2 Tutkimukset

Jumpponen ym. (2011, 15 – 16.) tutkivat työntekijöiden tuhkalta altistumista kahdeksassa erikokoisessa (0,3 – 110 MW) ja eri polttoaineilla (pelletti, puuhake, kuori, turve, kierrätyspolttoaine) toimivassa voimalaitoksessa. Tutkimuksessa selvitettiin voimalaitoksien huoltotöihin osallistuvien työntekijöiden altistumista tuhkalta. Mitattavia altisteita olivat muun muassa pölyn, VOC -yhdisteiden, PAH -yhdisteiden, haihtumattomien kaasujen ja metallialtistumisen määrät. Mittauksia suoritettiin kiinteissä pisteissä kuin myös työntekijöiden hengitysalueella. Työntekijöille asetettiin myös ihon kautta tulevan altistumisen selvittämiseksi selkään ja rintaan työpäivän ajaksi keräimiä, sekä työpäivän päätteeksi otettiin käsienpesunäytteitä. Myös virtsanäytteitä otettiin kokonaisaltistumisen selvittämiseksi.

Kattiloiden sisällä mitatut pölypitoisuudet ylittivät HTP -arvot niin puhdistus- kuin korjaustyövaiheissa. Isoimpien kattiloiden ulkopuolella havaittiin myös pölypitoisuuden nousevan hiukan yli HTP-arvon, kun korjaustöitä suoritettiin kattilan ulkopuolella. Tärkeimmiksi alkuainepitoisuuksiksi altistumisen kannalta pellettiä ja puuta polttavissa laitoksissa nousivat alumiini ja mangaani. Pellettiä polttavissa laitoksissa mangaani oli ainut, jonka pitoisuudet nousivat yli HTP-ajan (1,1 * HTP_{8h}) korjaustöiden aikana. Puuta (lue hake ja kuori) polttavissa laitoksissa kattilan puhdistuksen aikana havaittiin 6,2 * HTP_{8h} - arvon ylittävä mangaanipitoisuus ja alumiinille 1,1 *

HTP_{8h}-arvon ylittävä pitoisuus. Kattilan korjaustöiden aikana havaittu mangaanipitoisuus oli ylitse 1,7 * HTP_{8h}- arvon. Työntekijöiden virtsanäytteitä verrattaessa altistumattomien henkilöiden näytteisiin, havaittiin pellettiä polttavissa laitoksissa työskennelleiden virtsassa kohonneita kadium-, mangaani-, arseeni- ja seleenipitoisuuksia. Puuta polttavissa laitoksissa vastaavasti koholla olivat alumiini-, lyijy- ja seleenipitoisuudet. (Jumpponen ym. 2011, 80 – 102.)

Edellä mainitussa tutkimuksessa (Jumpposen ym. 2011, 99 – 101.) havaittiin myös syöpää aiheuttavia PAH-yhdisteitä ja kiteistä piioksidia (kvartsi). Havaitut pitoisuudet olivat kuitenkin pieniä ja HTP -arvot eivät ylittyneet. Myös terveydelle haitallisia kaasujen(CO, NO₂, NH₃, NO, SO₂ ja H₂S) havaitut pitoisuudet alittivat HTP-arvot.

Hännisen, Klemolan, Oksasen, Valmarin & Vetikkon (2004, 11.) tekemässä tutkimuksessa kerrotaan puuntuhkassa olevan havaittavissa määriä olevia radionuklideita. Niistä merkittävimpänä radioaktiivisuuden tuottajana pidetään cesium-137, joka on peräisin Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuudesta vuodelta 1986. Onnettomuuden seurauksena Suomen maaperälle laskeutuneet radioaktiiviset aineet ovat imeytyvät puihin ravinteiden mukana, josta ne päätyvät energiakäytössä tuhkiin. Vaikka puun tuhkasta mitatut cesium 137-pitoisuudet (maksimi 5 715 Bg/kg) olivat isommat kuin hiilen poltosta syntyvän tuhkan vastaavat (noin 2 000 Bg/kg), kotimaista puuta käyttävien voimalaitosten työntekijöiden vuosittaiset säteilyannokset olivat keskimäärin alle 0,1 mSv vuodessa. Tuhkan kanssa kokoaikaisesti työskentelevillä säteilyannos oli isompi, mutta kuitenkin alle toimenpiderajan (1 mSv). Keskimääräinen suomalaisen saama vuosittainen säteilyannos on noin 4 mSv. (Hänninen ym. 2004, 11 – 14, 92 – 93.)

Taulukko 14. Tuhkan alkuainepitoisuudet

Lähde	Altiste	Pitoisuus	Polttoaine/Kommentti
Jumpponen ym. 2011	Mangaani	1,1 * HTP-arvo	Pelletti/Korjaustyöt
		1,7 * HTP-arvo	Puu/Kattilan korjaustyöt
	6,2 * HTP-arvo	Puu/Kattilan puhdistus	
	Alumiini	1,1 * HTP-arvo	Puu/Kattilan puhdistus
	PAH-yhdiste	alle HTP-arvon	
	Kvartsi	alle HTP-arvon	
Hänninen ym. 2004	Cesium 137	alle 0,1 mSv vuodessa	Puu/Toimenpideraja 1 mSv

4.6.3 Terveysvaikutukset

Nykyaikaisilla voimalaitoksilla tuhkille altistuminen on pyritty minimoimaan normaali käyttötilanteessa, kuitenkin huoltojen aikana huoltohenkilöstö altistuu tuhkille erityisesti kattilan sisällä tehtävissä töissä. Altistumista tapahtuu hengitysteitse, ruuansulatuskanavan kautta ja ihokosketuksen myötä.

Hengitysteitse altistuttavan pölyn terveysvaikutuksista on kerrottu kappaleessa 4.1.2. Metalleille altistumisen tiedetään aiheuttavan ylä- ja alahengitysteiden ärsytystä, pölykeuhkoa, keskushermoston lamaantumista, kouristuksia, syöpää ja mutageenisia vaikutuksia. Jumppasen ym. (2011) tekemässä tutkimuksessa pelletti ja puu polttoissa kattiloissa HTP-arvot ylittäneiden alumiinin ja mangaanin tiedetään vaikuttavan ainakin keskushermoston toimintaan sekä aiheuttavan hengitysteiden ärsyyntymistä. (Jumppanen ym. 2011, 100.)

4.7 Sattuneet onnettomuudet

Maailmalla sattuneita onnettomuuksia on kerätty liitteeseen 6. Liitteessä esitetyt onnettomuudet kuvaavat vain osaa sattuneista onnettomuuksista, varsinkin kun kaikki

esitetty onnettomuudet ovat länsimaissa sattuneita. Onnettomuuksia tutkiessa kävi selväksi, että biopolttoaineiden käyttäminen ison mittaluokan voimaloissa tuo omat haasteensa polttoaineenkäsittelyyn. Polttoaineiden itsesyttymisen herkkyys kasvaa varastointikoon kasvaessa, sekä pölyn erittyminen kasvaa mitä enemmän polttoainetta käsitellään. Tämän takia polttoaineiden oikeaoppinen käsittely ja varastointi ovatkin erittäin tärkeitä. Isojen polttoainevarastojen palaessa terveydelle haitalliset savukaasut ja päästöt vaikuttavat voimalaitosalueella olevien henkilöiden lisäksi mahdollisesti voimalaitosalueen lähistöllä asuviin asukkaisiin.

Pölyräjähdykset ovat vakavasti otettava uhka biopolttoaineiden kanssa työskennellessä. Yhdysvaltalainen CBA (Chemical Safety and Hazard Investigation Board) oli tunnistanut vuosien 1980 – 2005 välissä 281 kappaletta Yhdysvaltain teollisuudessa sattunutta pölyräjähdystä. Nämä kyseiset pölyräjähdykset johtivat 119 ihmisen kuolemaan sekä 718 ihmisen loukkaantumiseen (Combustible dust n.d.).

5 YHTEENVETO TUTKIMUKSISTA

Tässä kappaleessa esitetään opinnäytetyöntekijän mielestä tärkeimmät työturvallisuuden vaikuttavat tekijät, joita biopolttoaineiden kanssa työskennellessä esiintyy. Tuloksien esittelyssä aihetta on lähestytty kahdelta eri suunnalta, polttoaineen ja prosessin kannalta. Polttoaineikeskeisessä lähestymistavassa on kunkin polttoaineen altistavuutta pölylle, biologisille ja kemiallisille altisteille sekä itsesyttymistäipuvuutta kuvailtu muutamalla lauseella. Jokaiselle polttoaineelle on myös koottu taulukko (ks. taulukko 15) jossa esitetään edellä mainittujen ominaisuuksien esiintyvyyttä sekä mahdollisia HTP- tai muiden ohjerajojen ylittäviä pitoisuuksia. Esiintyvyyttä arvioidaan asteikolla:

- ei esiinny
- epätodennäköinen

- mahdollinen
- todennäköinen

HTP- tai ohjearvojen ylittäviä pitoisuuksia kommentoidaan ”kyllä” ja ”ei”. Tässä kohdassa pitää huomioida, että ”kyllä” merkintä ei tarkoita HTP ja ohjearvojen ylittymistä aina kun kyseistä polttoainetta käsitellään. ”kyllä” merkinnän on tarkoitus osoittaa että tutkimuksissa on havaittu kyseisen ominaisuuden ylittävän HTP- tai ohjearvoja.

Taulukko 15. Esimerkkitaulukko

	<i>Esiintyvyys</i>	<i>Yli HTP-/ohjearvojen esiintyviä pitoisuuksia</i>	<i>Huom</i>
<i>Pöly</i>	ei esiinny	ei	
<i>Biologinen</i>	epätod.näk.*	ei*	*ei normaalitilassa mutta kosteana mahdollista
<i>Kemiallinen</i>	mahd.	kyllä	
<i>Itselämpeneminen</i>	tod.näk		

Prosessikeskeisen lähestymistavan tulokset ovat esitettyinä liitteissä 1 – 4. Niissä esitetään voimalaitosprosessissa huomioonotettavia ongelmakohtia. Pyrolyysiöljyä ei esitellä prosessikohtaisesti, sillä sen käsittely normaaliin polttoöljyyn verrattuna ei eroa merkittävästi. Täten polttoainekohtainen lähestyminen riittää kyseiselle polttoaineelle. Kuten edeltävän esitystavan taulukossa, tässäkään ei pidä hierarkiassa esiintyviä ongelmia tulkita niin, että ne olisivat aina esiintyviä, vaan huomioida ne mahdollisina ongelmakohtina. Itse voimalaitosprosessi on jaettu esitystavassa neljään osaan:

- polttoaineen vastaanotto
 - pitäen sisällään polttoaineen saapumisen voimalaitosalueelle ja sen purkamisen
- varastointi
 - pitäen sisällään varastoinnit niin ulkona kasoissa, siloissa ja halleissa

- käsittely
 - pitäen sisällään polttoaineen kuljetusjärjestelmät varastoinnista kattilaan, sekä mahdolliset poikkeustilanteissa kattilaan jääneet palamattomat polttoaineet
- tuhka
 - pitäen sisällään laitteistot joissa joudutaan kosketuksiin tuhkan kanssa, kuten kattila, tuhkanpoistolaitteisto, jne.

5.1 Puupelletti

Pöly altistuminen

Puupellettiä käsiteltäessä altistutaan pölylle. Tutkimuksissa havaittiin useita puupölyn HTP-arvojen ylittäviä lukemia, joten pölylle altistuminen on todennäköistä voimalaitosympäristössä pellettejä käsiteltäessä.

Biologinen altistuminen

Valmistus vaiheessa esiintyvien korkeiden lämpötilojen vuoksi pelleteissä esiintyy hyvin vähän mikrobitoimintaa. Kuitenkin mikrobitoiminnan on havaittu käynnistyvän jos pellettien kosteus nousee tarpeeksi korkealle (> 16 – 19 %).

Kemiallinen altistuminen

Pellettien varastoinnissa vapautuu niin haihtuvia yhdisteitä kuin lauhtumattomia kaasuja. Erityisesti suljetuissa varastointitiloissa tämä voi tuottaa terveydelle ja jopa hengelle vaarallisia tilanteita. HTP-arvot ylittyvät monienkin yhdisteiden kohdalla. Happenpitoisuus hengitettävässä ilmassa oli monessa mittauksessa laskenut hälyttävän alas terveyttä ajatellen. Ympäröivällä lämpötilalla ja pellettien tuoreudella on vaikutusta pelleteistä haittuvien kaasujen määrään ja haihtumisnopeuteen.

Itselämpenemistaipumus

Pelletit ovat taipuvaisia itselämpenemiseen ja sitä kautta mahdolliseen itsesyttymiseen. Tuoreiden pellettien itsesyttymisriski on korkeampi kuin vanhojen. Itsesyttymisriski kasvaa varastointikoon sekä ympäröivän ilman lämpötilan kasvaessa.

Taulukko 16. Puupelletti

	<i>Esiintyvyys</i>	<i>Yli HTP/ohjearvojen esiintyviä pitoisuuksia</i>	<i>Huom</i>
<i>Pöly</i>	tod.näk.	kyllä	
<i>Biologinen</i>	epätodennäköinen*	ei*	*ei normaalitilassa, mutta kosteana mahdollista
<i>Kemiallinen</i>	tod.näk.	kyllä	
<i>Itselämpeneminen</i>	mahd.		

5.2 Biohiilet

Pöly altistuminen

Torrefioidun pellettien käsittelyssä vapautuu paljon pölyä sen heikon mekaanisen kestävyden vuoksi. Sen mekaanisen kestävyden tiedetään olevan heikompi kuin puusta tai kuoresta tehdyillä pelleteillä. Höyryräjäytetyn pelletin pölyäminen on normaalia tasoa.

Biologinen altistuminen

Valmistus vaiheessa esiintyvien korkeiden lämpötilojen vuoksi biohiilissä esiintyy hyvin vähän mikrobitoimintaa normaalissa tilanteessa. Mikrobitoiminnan ja kosteuden välisestä yhteydestä ei löytynyt kunnolla kirjallisuutta.

Kemiallinen altistuminen

Biohiilistä tiedetään varastoinnin aikana erittyvän haihtuvia yhdisteitä ja lauhtumattomia kaasuja. Huonosti ilmastoituihin tiloihin voi kertyä terveydelle haitallisia pitoisuuksia kaasuja.

Itselämpenemistaipumus

Torrefioitua puuta ei pidetä laboratorio kokoluokan testien perusteella itsesyttymisheikkänä. Kuitenkin isoja määriä varastoitaessa tilanne voi olla toinen ja lisää tutkimusta voimalaitos kokoluokan varastoinnista tarvitaan.

Taulukko 17. Biohiilet

	<i>Esiintyvyys</i>	<i>Yli HTP/ohjearvojen esiintyviä pitoisuuksia</i>	<i>Huom</i>
<i>Pöly</i>	tod.näk.	kyllä	
<i>Biologinen</i>	epätodennäköinen	ei	
<i>Kemiallinen</i>	tod.näk.	kyllä	
<i>Itselämpeneminen</i>	epätodennäköinen*		*Ison kokoluokan testejä ei ole suoritettu

5.3 Hake

Pöly altistuminen

Hakkeen pölyämistä tapahtuu erityisesti murskaus- ja käsittelyvaiheissa. Hakkeen pölyäminen on pienempää kuin pellettien, sen korkeamman kosteuspitoisuuden vuoksi. Kuiva hake on kuitenkin pölyävää.

Biologinen altistuminen

Haketta käyttävien voimalaitosten työntekijät altistuvat biologisille altisteille haketta käsiteltäessä. Tutkimuksissa havaitut pitoisuudet ylittivät suositusrajoja niin bakteerien, sienien ja endotoksiinien osalta. Hake voi myös sisältää elämistä lähtöisin olevia tauteja.

Kemiallinen altistuminen

Hakkeesta vapautuvien haihtuvien yhdisteiden määrästä on tehty vähemmän tutkimuksia kuin pelleteille. Hakkeen tavanomainen voimalaitosvarastointi tapahtuu kassoissa ulkona, jossa vapautuneet kaasut laimentuvat nopeasti ulkoilmaan. Hakkeesta tiedetään haihtuvan ainakin terpeenejä, mutta niiden pitoisuudet nousevat terveydelle haitallisiksi vain suljetuissa varastoissa. Suljetuissa tiloissa varastoitaessa hakkeesta haihtuvien lauhtumattomien kaasujen pitoisuus kasvaa hengenvaarallisiin määriin.

Itselämpenemistäipumus

Hakekasojen tiedetään lämpenevän ja syttyvän itsestään. Hakkeen varastokasojen koon kasvaessa itselämpenemis todennäköisyys kasvaa. Myös ympäröivän ilman lämpötilalla on vaikutusta ilmiöön.

Taulukko 18. Hake

	<i>Esiintyvyys</i>	<i>Yli HTP/ohjearvojen esiintyviä pitoisuuksia</i>	<i>Huom</i>
<i>Pöly</i>	mahd.	ei*	*kuivalla hakkeella mahdollinen
<i>Biologinen</i>	tod.näk	kyllä	
<i>Kemiallinen</i>	mahd.	kyllä*	*suljetuissa varastoissa
<i>Itselämpeneminen</i>	mahd.		riski kasvaa varastointi määrien kasvaessa

5.4 Ruokohelpi

Pöly altistuminen

Ruokohelpi ja olki olivat tarkastelluista biopolttoaineista eniten pölyviä. Orgaanisenpölyn lisäksi se sisälsi myös epäorgaanista pölyä kuten kvartsia.

Biologinen altistuminen

Ruokohelven ja olkien käsittelyssä altistutaan mikrobeille. Eri tutkimuksissa havaitut mikrobipitoisuudet olivat suurimmat tarkastelluista polttoaineista. Eläimistä tarttuvat taudit myös mahdollisia.

Kemiallinen altistuminen

Yhdessä tutkimuksessa ruokohelven käsittelyssä havaitut VOC-pitoisuudet olivat erittäin alhaiset. Itsesyttymisen tapahduttua haitallisia palokaasuja ilmenee.

Itselämpenemistäipumus

Ruokohelvellä on itselämpenemis ominaisuuksia. Varastointi määrä ja kosteus vaikuttavat itsesyttymis herkkyteen.

Taulukko 19. Ruokohelpi

	<i>Esiintyvyys</i>	<i>Yli HTP/ohjearvojen esiintyviä pitoisuuksia</i>	<i>Huom</i>
<i>Pöly</i>	tod.näk.	kyllä	
<i>Biologinen</i>	tod.näk.	kyllä	
<i>Kemiallinen</i>	epätodennäköinen	ei	
<i>Itselämpeneminen</i>	mahd.		

5.5 Pyrolyysiöljy

Biologinen altistuminen

Ei ole myrkyllistä eliöstölle, mutta kuitenkin haitallista. Pyrolyysiöljy on biologisesti hajoavaa.

Kemiallinen altistuminen

Pyrolyysiöljy luokitellaan syövyttäväksi aineeksi. Aiheuttaa iholle ja silmiin joutues-
saan ärsytystä. Sisältää myös PAH-yhdisteitä.

Taulukko 20. Pyrolyysiöljy.

	<i>Esiintyvyys</i>	<i>Yli HTP/ohjearvojen esiintyviä pitoisuuksia</i>	<i>huom</i>
<i>Pöly</i>	-		
<i>Biologinen</i>	epätodennäköinen		
<i>Kemiallinen</i>	tod.näk		
<i>Itselämpeneminen</i>	-		

6 RISKIENARVIOINTI

Tässä työssä ei toteuteta riskienarviointia todellisesta kohteesta, vaan annetaan esimerkki mahdollista tulevaisuuden tarvetta varten. Riskienarvioinnin toteutusta ei katsottu vielä tässä vaiheessa ajankohtaiseksi toteuttaa toimeksiantajan kanssa. Niiden toteutus tulee ajankohtaiseksi vasta kun päätökset tulevaisuudessa käytettävistä biopolttoaineista tulevat voimaan ja uusia polttoainejärjestelmiä ja käytäntöjä ruvetaan suunnittelemaan.

6.1 Riskienhallinta

Työnantajan velvollisuutena on Työturvallisuuslain (738/2002 10 §) mukaan selvittää, tunnistaa ja arvioida työssä esiintyvien haitta- ja vaaratekijöiden vaikutuksia työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle. Yhtenä menetelmänä voidaan käyttää riskienhallinta menetelmää.

Riskienhallintakokonaisuus pitää sisällään riskianalyysin, riskien merkityksen arvioinnin ja toimenpiteet riskien pienentämiseksi.

- Riskianalyysissä määritellään tarkasteltavat kohteet taserajoinen, tunnistetaan mahdollisia vaaroja sekä arvioidaan vaaran/vaarojen aiheuttaman riskin suuruutta.
- Riskien merkityksen arvioinnissa päätetään riskien hyväksyttävyydestä ja tutkitaan mahdollisia vaihtoehtoja.
- Riskien arvioimisessa voidaan käyttää apuna Brittiläisen turvallisuusstandardin BS8800 mukaista riskienarviointi matriisiä(ks. taulukko 21). Siinä siedettävyyttä määritellään riskin esiintymisen todennäköisyydellä sekä mahdollisilla seurauksilla. (Riskien arviointi 2014.)

Taulukko 21 Riskimatriisi (*Riskien arviointi 2014*).

	Seuraukset		
	<i>Vähäinen</i>	<i>Haitallinen</i>	<i>Vakava</i>
Todennäköisyys			
<i>Epätodennäköinen</i>	1 Merkityksetön riski	2 Siedettävä riski	3 Kohtalainen riski
<i>Mahdollinen</i>	2 Siedettävä riski	3 Kohtalainen riski	4 Merkittävä riski
<i>Todennäköinen</i>	3 Kohtalainen riski	4 Merkittävä riski	5 Sietämätön riski

Riskien arvioimisen jälkeen ryhdytään tarvittaviin toimenpiteisiin kunkin riskin vaka-
vuuden vaatimalla menettelyllä. Taulukossa 22 on esitelty jo aiemmin mainitun BS
8800 standardiin pohjautuva toimenpide taulukko. Jos työpaikalla ilmenee kemiallisia
altisteita ja niiden pitoisuudet on määritelty mittaamalla, voidaan toimenpiteiden
määrittämisen apuna käyttää taulukkoa 23, edellyttäen että kyseiselle aineelle on mää-
ritelty HTP-raja-arvot. (Riskien arviointi 2014.)

Taulukko 22. Toimenpiteet (Riskien arviointi 2014.)

Riski	Toimenpiteet
1 <i>Merkityksetön</i>	Ei toimenpiteitä.
2 <i>Siedettävä</i>	Ei ennalta ehkäiseviä toimenpiteitä. Harkita kustannus tehokkaita parannus ratkaisuja. Riskin seuraam- misen aloittaminen.
3 <i>Kohtalainen</i>	Riskin pienentämiseksi on ryhdyttävä toimiin. Toimien totetusaika on oltava kiinteä. Mahdollisesti tarkempaa riskin seuranta.
4 <i>Merkittävä</i>	Työn aloitus vasta riskien pienentämisen jälkeen. Toimenpiteet kiireellisiä.
5 <i>Sietämätön</i>	Työtä ei saa jatkaa eikä aloittaa ennen kuin riskiä on pienennetty. Työ täytyy pysyvästi kieltää, mikäli sen riskiä ei pystytä madalta- maan vaikka käytössä olisi rajattomat resurssit

Taulukko 23. Toimenpidetaulukko HTP-pitoisuuksien mukaan (Kemiallisten tekijöiden
aiheuttamien riskien arviointi n.d, 3.).

Riski	Toimenpiteet
1 <i>Merkityksetön</i>	Ei toimenpiteitä - hengitystiealtistuminen < 10 % HTP:sta
2 <i>Siedettävä</i>	Seurataan riskin hallinnassa pysymistä - hengitystiealtistuminen 10 - 50 % HTP:sta - satunnaista ihoaltistumista haitallisille ja ärsyttävälle aineille

<p>3 <i>Kohtalainen</i></p>	<p>Riskin pienentämiseksi on ryhdyttävä toimiin</p> <ul style="list-style-type: none"> - hengitystiealtistuminen 50 - 100 % HTP:sta - päivittäistä ihoaltistumista haitallisille ja ärsyttävälle aineille - satunnaista ihoaltistumista syövyttävälle ja herkistäville aineille
<p>4 <i>Merkittävä</i></p>	<p>Toimenpiteet kiireellisiä</p> <ul style="list-style-type: none"> - hengitystiealtistuminen > 100 % HTP:sta - päivittäistä ihoaltistumista herkistäville aineille - satunnaista voimakasta ihoaltistumista syövyttävälle
<p>5 <i>Sietämätön</i></p>	<p>Työtä ei saa jatkaa eikä aloittaa ennen kuin riskiä on pienennetty</p> <ul style="list-style-type: none"> - hengitystiealtistuminen > 100 % HTP:sta ja altisteen seuraukset luokitellaan vakaviksi - ihoaltistuminen päivittäistä R27, R35 tai R41 (H310, H314, H318) aineille

Riskienhallinta kokonaisuuksien toteutuksessa kannattaa käyttää PAT-periaatetta, jossa toteuttavaan ryhmään kuuluu päättävässä asemassa olevia henkilöitä, asiantuntijoita sekä työtä tekeviä henkilöitä. Näin saadaan mahdollisimman selkeä kokonaiskuva käsiteltävästä aiheesta. (Riskien arviointi 2014.)

Oikein toteutettuun riskienhallintaan kuuluu riskin ja sen esiintymisen seuranta toimenpiteiden jälkeen. Seurannan toteutukseen tiheys pitää arvioida kunkin riskin tarpeiden mukaan. Kun riski on saatu hallintaan, voidaan siirtyä riskien hallinnasta turvallisuuden hallintaan.

6.2 Riskienhallinta esimerkki

Biopolttoaineita käyttävässä voimalaitoksessa on paljon kohteita joista riskienhallintaa olisi hyvä suorittaa. Tähän työhön esimerkikohteeksi valikoitui pellettisiilon välitila. Esimerkki on kuvitteellinen tilanne, jonka voisi kuvitella tapahtuvan todellisessa työelämässä. Itse esimerkki on esitetty liitteessä 5. Siinä käydään lävitse tarkasteltava kohde, kappaleessa 7.1 esitettyjen toimintatapojen mukaisesti. Riskien siedettävyyttä arvioitiin käyttäen apuna taulukossa 21 esiintyvää riskimatriisia. Riskien siedettävyyden lisäksi esitettiin muutamia riskiä pienentäviä toimenpiteitä.

7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen pääkysymys kuului seuraavasti:

- Minkälaisia työturvallisuuden vaikuttavia tekijöitä voimalaitoksen kunnossapito- sekä käyttöhenkilöstö kohtaavat biopolttoaineiden kanssa työskennellessä?

Asetettuun tutkimuskysymykseen löytyi useita vastauksia. Työntekijöiden terveydelle ongelmia aiheuttivat muun muassa pöly, biologiset ja kemialliset altisteet, biopolttoaineiden itselämpeneminen, itsesyttyminen sekä räjähdysvaarat. On huomioitava että tässä työssä esitetyt ongelmakohdat eivät ole ainoita ongelmia mihin biopolttoaineiden kanssa työskenneltäessä voidaan törmätä, vaan ne ovat opinnäytetyöntekijän mielestä yleisimmät ja huomioitavimmat tekijät.

Biopolttoaineille on mahdotonta antaa yhtenevää aina pätevää ohjetta niiden työturvallisuusvaikutuksista. Jopa saman polttoaineen eri erien ominaisuudet voivat poiketa toisistaan merkittävästi. Ominaisuuksien vaihtelua aiheuttaviksi tekijöiksi voidaan mainita ainakin raaka-aineen kosteus, koostumus, varastointitapa, lämpötila, mikrobitoiminta, jne. Aukottoman turvallisuusselvityksen tekemiseksi pitäisi jokaisen voimalaitokselle saapuvan polttoaine-erän koostumus tuntea täysin. Tällainen valvonta tuskin on realistista suurissa voimalaitosympäristöissä, jossa polttoainetta liikkuu suuria määriä vuorokauden aikana. Tähän perään on mainittava, että kuitenkin biopolttoaineiden kosteuden perusteella voidaan ennakoida esimerkiksi mikrobitoimintaa ja itselämpenemisherkkyttä.

Tutkimuksista kävi selväksi eri polttoaineiden välillä olevan yhteneväisiä ongelmia kuin täysin polttoainekohtaisia ongelmia. Pöly voidaankin nostaa yhdeksi kiinteiden polttoaineiden yhteiseksi ongelmaksi. Toiset polttoaineet pölysivät enemmän kuin toiset, mutta jokaisella tässä työssä esitetyllä polttoaineella on havaittu haitallisia pi-

toisuuksia pölyä niitä käsiteltäessä. Pöly aiheuttaa terveysongelmia niin pölypartikkeleiden suhteen, kuin myös levittämällä mikrobeja ja mahdollisia elämistä tarttuvia taudinaiheuttajia mukanaan. Pölyn suoranaisten terveyshaittojen lisäksi pölyävissä paikoissa on aina vaara mahdollisiin pölyräjähdyksiin. Hiilipölyyn verrattuna puupöly on huomattavasti herkemmin syttyvää ja sen paineenousunopeus on suurempi. Jo pieniltäkin vaikuttavat pölykerrokset voivat aiheuttaa vakavan räjähdysvaaran riskin. Pölyn syntymisen minimointi ja puhtaanapito ovatkin tärkeitä seikkoja voimalaitosympäristössä.

Toinen yhteinen ongelma on biopolttoaineiden kosteus. Kuten jo edellä mainittiin, lisääntynyt kosteus voi kiihdyttää biopolttoaineissa esiintyvää mikrobitoimintaa ja täten lisätä polttoaineen itselämpenemistä, jolloin itsesyttymisriski kasvaa. Kuivien polttoaineiden kuten pellettien ja biohiilien valmistuksessa ilmenevät korkeat lämpötilat tappavat tehokkaasti mahdollisen mikrobitoiminnan. Kosteiden polttoaineiden kuten hakkeen ja ruokohelven käsittelyssä ilmenee huomattavasti enemmän mikrobitoimintaa. Läpikäytyjen tutkimuksien perusteella mikrobitoimintaa voi esiintyä runsaastikin yli ohjearvojen. Mikrobialtisteille ei ole annettu HTP-arvoja, joten niiden pitoisuuksien haitallisuuden vertaamiseen on tässä työssä käytetty ohjearvoja. Hengityssuojainten käyttäminen polttoaineenkäsittely työvaiheissa olisikin suositeltavaa.

Kemiallinen altistuminen on suurinta suljetuissa tiloissa kuten polttoainesiloissa ja varastorakennuksissa joissa ilmanvaihto ei ole riittävää. Puupolttoaineiden kemiallisten ja biologisten reaktioiden myötä niistä syntyy lauhtuvia ja lauhtumattomia kaasuja. Näiden kaasujen terveysvaikutukset vaihtelevat pienestä ärsytyksentunteesta tukehtumiseen. Erityisesti puupolttoaineita sisältävien siilorakennuksien sisään menemiseen pitäisi työnantajan puolesta ohjeistaa ja valvoa tarkasti. Tällä vuosituhannella on todettu ainakin 14 kuolemantapausta joissa pellettisiiloihin tai varastoihin oli menty ilman oikeaoppisia toimenpiteitä. Siilojen ja varastojen oviin olisi suositeltavaa laittaa varoitustarrat jotka muistuttavat rakennuksissa mahdollisesti ilmenevistä alhaisesta happipitoisuudesta ja korkeista hiilimonoksidi- ja hiilidioksidipitoisuuksista. Henkilökunnan joka työskentelee kyseisissä tiloissa, tulisi aina kuljettaa mukanaan

hälyttäviä happi- ja hiilimonoksidimittareita. On myös tärkeää muistuttaa että siilorakennuksissa ei saa koskaan työskennellä yksin. Yhden henkilön on pysyttävä siilon ulkopuolella ns. luukkuvahdina. Luukkuvahdi pystyy mahdollisen onnettomuuden sattuessa hälyttämään apua ja aloittamaan tarvittavat pelastustoimenpiteet.

Biopolttoaineet ovat herkkiä itselämpenemiselle ja sitä myötä itsesyttymiselle. Varsinkin varastointi kokojen kasvaessa polttoaineiden itsesyttymisen herkkyyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Lämpenemisen käynnistäviä tekijöitä ovat polttoaineiden kosteus, mikrobitoiminnan määrä, kemiallinen hapettuminen. Biopolttoaineiden itselämpeneminen aiheuttaa työturvallisuusriskejä niin mahdollisten tulipalojen aiheuttamana, kuin myös sen synnyttämien kaasujen myötä. Itselämpenemisen aiheuttaman itsettymisen aiheuttamista ongelmista salakavalimpana pidän pyrolyysikaasujen ilmaantumista työympäristöön ennen kuin palonalkua edes ihmisaistein muuten huomataan. Kiinteät happi-, hiilimonoksidi- ja hiilidioksidipitoisuus mittarit siiloissa ja varastorakennuksissa auttaisivat havaitsemaan mahdollisia kyteviä paloja ennen kuin niitä muuten havaitaan. Tulipalot luovat aina riskin henkilöstön terveydelle.

Tässä tutkielmassa esitetyistä polttoaineista parhaiten kirjallisuutta löytyi puupelleteistä ja niiden terveysominaisuuksista. Pellettien yleistymisen isommassa mittakavassa on tapahtunut 2000-luvulla, joten löytynyt kirjallisuuskin oli melko tuoretta. Biohiilien ja pyrolyysiöljyn julkisia kirjallisia tutkimuksia oli huomattavasti vähemmän saatavilla, jopa olemattomasti.

Biopolttoaineiden terveysvaikutukset ovat moninaisia. Haittoja esiintyy lievistä ärsytystilasta aina tukehtumiseen asti. Joillekin ainesosille altistuminen on huomattavissa heti, kun toisten vasta pitkällä, jopa vuosikymmenien viiveellä. On korostettava että tässä työssä esitellyt terveysvaikutukset ovat suuntaa antavia kirjallisuudessa esille nousseita vaikutuksia. Tarkempien terveysvaikutusten saamiseksi on suositeltavaa konsultoida terveysalan ammattilaisia.

Jatkotutkimus tarpeiksi voidaan nostaa mahdollisten uusien polttoainevarastojen ja järjestelmien laitekohtaiset altiste mittaukset ja tutkimukset, sekä mahdollisesti esiintyvien altiste määrien alentamista edesauttavat toimenpiteet. Myös eri polttoaineiden oikeaoppiseen varastointiin kannattaa tarkentua syvemmin, mahdollisten polttoaineiden itsesyttymisien ehkäisemiseksi.

Opinnäytetyön suorittaminen on ollut antoisaa ja mielenkiintoista. Työn aihe soveltui hyvin opintoihini ja täydensikin omaa tietämystäni biopolttoaineista. Oman haasteensa työn toteuttamiseen on tuonut oma kokemattomuus tutkimustyöstä sekä terveysalan vieraat käsitteet.

8 LÄHTEET

- Ahonen, I. & Liukkonen, T. 2008. Pellettivarastojen ilman epäpuhtaudet ja niiden aiheuttamien vaarojen ehkäiseminen. Työterveyslaitos. Viitattu 20.2.2014. [http://www.ttl.fi/partner/cosk/lisatietoa/Documents/pellettivarastojen ilman epapuhtaudet.pdf](http://www.ttl.fi/partner/cosk/lisatietoa/Documents/pellettivarastojen_ilman_epapuhtaudet.pdf)
- Ajanko, S. & Fagernäs, L. 2006. uusien biopolttoaineiden käsittelyn riskit. VTT. Viitattu 10.3.2014. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/VTT-R-00358-06.pdf>
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Energia. Viitattu 11.02.2014. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>
- Alakangas, E. & Impala, R. 26.11.2013. Puupolttoaineiden laatuohje. VTT-M-07608-13. Viitattu 11.3.2014. <http://www.metsateollisuus.fi/miediabank/918.pdf>
- Alén, R. 2009. Kokoelma orgaanisista yhdisteistä. Jyväskylä: Gummeruksen Kirjapaino.
- Arshadi, M., Baxter, D., Blomqvist, P., Howes, P., Koppejan, J., Larsson, I., Lönnemark, A., Melin, S., Wheeler, P., Nikolaisen, L., Persson, H., Valencia-Reys, E. 2013. Health and safety aspects of solid biomass storage, transportation and feeding. IEA Bioenergy. Viitattu 14.2.2014. <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Health-and-Safety-Aspects-of-Solid-Biomass-Storage-Transportation-and-Feeding.pdf>
- Arshadi, M., Fjällström, P., Geladi, P. & Gref, R. 10.8.2009. Emission of volatile aldehydes and ketones from wood pellets under controlled conditions. Ann. Occup. Hyg. 53, (8): 797–805.
- ATEX Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus. 2012. Tukes. Viitattu 1.4.2014. http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/ATEX_opas.pdf
- Bi, X., Kuang, X., Jim Lim, C., Melin, S., Shankar, T. & Sokhansanj, S. 19.8.2008. Characterization and Kinetics Study of Off-Gas Emissions from Stored Wood Pellets. Ann. Occup. Hyg. 52 (8): 675–683.
- Biologiset vaarat. 23.1.2014. Työsuojeluhallinto. Viitattu 24.2.2014. <http://www.tyosuojelu.fi/fi/biologisetvaarat>
- Biopolttoainetermejä. N.d. Vapo. Viitattu 2.3.14. <http://www.vapo.fi/media/sanasto>

Chiaromonti, D., Kytö, M., Lehto, J., Oasmaa, A., Solantausta, Y. 2013. Fuel oil quality and combustion of fast pyrolysis bio-oils. VTT. Viitattu 13.2.2014.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T87.pdf>

Combustible dust N.d. Occupational Safety & Health Administration. United States Departement of Labor. Viitattu 26.4.2014. <https://www.osha.gov/dsg/combustible-dust/index.html>

Dunny, G., Maier, J., Scheffknecht, G. 27.3.2012. Institute of Combustion and Power Plant Technology Torrefied and hydrothermal carbonised Biomass Products: Co-milling, Combustion and Emission Properties. University of Stuttgart. Viitattu 5.2.2014.

http://www.iea-coal.org/publishor/system/component_view.asp?LogDocId=82878&PhyDocId=8384

Edman, K., Axelsson, S., Berg, P., Bryngelsson, I., Eriksson, K., Fedeli, C. & Löfstedt, H. 7.8.2002. Exposure Assessment to α - and β -Pinene, Δ^3 -Carene and Wood Dust in Industrial Production of Wood Pellets. Ann. occup. Hyg. 47 (3): 219–226.

Eijk, R. 5.3.2012. Options for increased utilization of ash from biomass combustion and co-firing. IEA bioenergy task 32. Viitattu 26.3.2014. http://www.ieabcc.nl/publications/Ash_Utilization_KEMA.pdf

Endotoksiinit. 5.6.2007. Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto. Viitattu 7.3.2014. <https://osha.europa.eu/fi/seminars/occupational-risks-from-biological-agents-facing-up-the-challenges-fi/speech-venues/speeches/endotoxins-an-emerging-biological-risk>

Endotoxins. 2010. Health-based recommended occupational exposure limit. Health Council of the Netherlands. Publication no. 2010/04OSH.

Gauthier, S., Bartsch, C., Grass, H., Krämer, T., Lory, M. & Thali, M. 14.2.2012. Lethal Carbon Monoxide Poisoning in Wood Pellet Storerooms—Two Cases and a Review of the Literature. Ann. Occup. Hyg. 56 (7): 755–763

Hakkarainen, T., Järnström, H., Laitinen, J., Mäkelä, M., Oksa, P. & Tillander, K. 2008. Palokohteiden savu-, noki- ja kemiallijäämät ja niiden vaikutukset työturvallisuuteen. VTT. Viitattu 16.4.2014. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2008/W103.pdf>

Heikkilä, P., Husgavel-Pursiainen, K., Liukkonen, T. & Zitting, A. 2005. Puupöly. Työterveyslaitos. Viitattu 12.3.2014. http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/Kemikaalit_jaTyo.pdf

HTP-arvot. 2012. Sosiaali- ja terveysministeriö

- Hänninen, R., Klemola, S., Oksanen, A., Valmari, T & Vetikko, V. 2004. Energiateollisuudessa syntyvän puuntuhkan radioaktiivisuus ja sen säteilyvaikutukset. STUK. Viitattu 25.3.2014. <http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-a/stuk-a200.pdf>
- Jukola, P., Järvinen, T., Kiel, J., Sipilä, K., Verhoeff, F., Wilén, C. 2013. Wood torrefaction – pilot tests and utilisation prospects. VTT technology. Viitattu 5.2.2014. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T122.pdf>
- Jumpponen, M., Laitinen, J., Rönkkömäki, H., Santonen, T. & Tuomi, T. 13.6.2011. Tuhkan sisältämät haitalliset kemialliset aineet ja mineraalit - Altistuminen ja torjunta. Työterveyslaitos. Viitattu 24.3.2014. https://www.tsr.fi/c/document_library/get_file?folderId=13109&name=DLFE-5606.pdf
- Kallio, N., Liukkonen, T., Mäkinen, M., Rautila, S. & Reiman, M. 2010. Työympäristön mikrobiologisten riskien hallinta massan ja paperin valmistuksessa. Metsäteollisuus. Viitattu 24.2.2014. <http://www.metsateollisuus.fi/mediabank/460.pdf>
- Kemiallisten tekijöiden aiheuttamien riskien arviointi. N.d. Työsuojeluhallinto. Viitattu 17.4.2014. <http://www.tyosuojelu.fi/upload/KemRiskin-arvio-lyhyt.pdf>
- Khodayari, R. 2012. Vattenfall strategy and experiences on co-firing of biomass and coal. Vattenfall. Presentation at IEA Clean Coal Conference 27.3.2012. Vattenfall. Viitattu 18.3.2014. http://www.ieabcc.nl/workshops/task32_2012_Copenhagen/Khodayari.pdf
- Knuutila, K., Lötjönen, T. 3.2.2009. Pelloilta energiaa – Opas ruokohelven käyttäjille. Jyväskylän Innovation Oy ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Viitattu 12.2.2014. http://www.motiva.fi/files/4244/Pelloilta_energiaa_opas_ruokohelven_kayttajille.pdf
- Koppejan, J., Madrali, S., Melin, S & Sokhansanj, S. 2012. Status overview of torrefaction technologies. IEA Bioenergy Task 32 report. Viitattu 18.3.2014. http://www.ieabcc.nl/publications/IEA_Bioenergy_T32_Torrefaction_review.pdf
- Kulmala, I., Riipinen, H., Sämsmänen, A. & Welling, I. 30.1.2004. Pölyntorjunta. Viitattu 25.2.2014. <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>
- Käyttöturvallisuustiedote. 24.5.2013. Woikoski. Viitattu 22.2.14. <http://www.woikoski.fi/default.asp?viewID=268>
- Laine-Ylijoki, J., Mäkelä, E., Peltola, K., Pihlajanmäki, M. & Wahlström, M. 2002. Seospolton tuhkien koostumus ja ympäristölaadunvarmistus-järjestelmä. VTT. Viitattu 25.3.2014. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2141.pdf>
- Lehtinkangas, P. 16.6.2000. Storage effects on pelletised sawdust, logging residues and bark. Biomass and Bioenergy. 19. 287–293.

- Louhelainen, K. 2005. Orgaaniset pölyt. Työterveyslaitos. Viitattu 25.2.14. http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/Kemikaalit_jaTyo.pdf
- Madsen, AM., Larsson, L., Mårtensson, L. & Scheneider, T. 2.3.2004. Microbial dustines and particle release of different biofuels. Ann. occup. Hyg. 48 (4): 327–338.
- Nissilä, M., Paloposki, T., Survo, K., Tillander, K. & Virolainen, K. 2005. Sammutusjätevedet ja ympäristö. VTT. Viitattu 16.4.2014. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2005/W40.pdf>
- Norden. N.d. Guideline for storing and handling of solid biofuels. Viitattu 20.2.2014. http://www.nordtest.info/images/documents/nt-methods/environment/NT%20envir%2010_Guidelines%20for%20storing%20and%20handling%20of%20solid%20biofuels_Nordtest%20Method.pdf
- Ojala, E. 31.8.2010. Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä. Viitattu 24.3.2014. http://energia.fi/sites/default/files/tuhkaselvitys_eo_fi_nal.pdf
- Padban, N. 2014. First experiences from large scale co- gasification tests with refined biomass fuels. Vattenfall. Presentation at Central European Biomass Conference International workshop: Torrefaction of biomass 17.1.2014. Viitattu 18.3.2014. http://www.ieabcc.nl/workshops/task32_2014_graz_torrefaction/Padban_PPP.pdf
- PAH-yhdisteet ja niiden esiintyminen. 21.10.2010. Työterveyslaitos. Viitattu 26.3.2014. http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista_kemikaalitie-toa/pah-yhdisteet_ja_niiden_esiintyminen/sivut/default.aspx
- Pelletin tuotanto. N.d. Pellettienergia ry:n sivustolla. Viitattu 28.1.2014. <http://www.pellettienergia.fi/Pelletin%20tuotanto>.
- Peltoenergia. 6.11.2013. Motiva. Viitattu 12.2.2014. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/peltoenergia
- Persson, H. 2013. Silo fires. Swedish civil contingencies agency. Viitattu 26.2.2014. <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/27144.pdf>
- Putus, T. 27.4.2010. Home ja terveys. Pori: Suomen ympäristö- ja terveysalan kustannus.
- Puu ja terveys N.d. Työterveyslaitos. Viitattu 22.2.14. <http://www.ttl.fi/fi/puujaterveys/sivut/default.aspx>
- Pönkä, A. 2006. Terveystensuojelu. 4. p. Jyväskylä: Gummeruksen Kirjapaino.

Riskien arviointi. 7.3.2014. Työsuojeluhallinto. Viitattu 17.4.2014. <http://www.ty-suojelu.fi/fi/riskienarviointi>

Ruokolainen, M. 2012. Metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien työtervey- ja työturvallisuusriskien arviointi. Pro Gradu-tutkielma. Itä-Suomen Yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Viitattu 10.4.2014. http://epublications.uef.fi/pub/urn_nbn_fi_uef-20120904/urn_nbn_fi_uef-20120904.pdf

Salminen, A. 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus?. Vaasan yliopisto. Viitattu 2.3.2014. http://www.uva.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf

Sveddberg, U. Galle, B., Högberg, H. & Högberg, J. 10.3.2004. Emission of hexanal and carbon monoxide from storage of wood pellets, a potential occupational and domestic health hazards. Ann. occup. Hyg. 48 (4): 339–349

Svedberg, U., Johansson, G & Petrini, C. 7.9.2009. Oxygen Depletion and Formation of Toxic Gases following Sea Transportation of Logs and Wood Chips. Ann. Occup. Hyg. 53 (8): 779–787.

Tossavainen, A. Kvartsipöly. Työterveyslaitos. Viitattu 10.4.14. http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/Kemikaalit_jaTyo.pdf

Turvallisuusohje. N.d. AGA. Viitattu 22.2.14. [http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/repositorybyalias/safetysh_hiilidio/\\$file/Hiilidiok-sidi_turvallisuusohje.pdf](http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/repositorybyalias/safetysh_hiilidio/$file/Hiilidiok-sidi_turvallisuusohje.pdf)

Vapon puupelletti – ominaisuudet ja laatuksiteerit. 21.02.2013. Vapo. Viitattu 11.02.2014.

Zimmerling, S. 2013. Torrefied / Refinend Pellets for Biomass Co-Firing. VGB Power-tech. Viitattu 10.02.2014. <http://www.vgb.org/vgbmultimedia/Fachgremien/Erneuerbare/White Paper torrefied refined fuels for biomass co firing 2013 05-p-6826.pdf>

Zoonoosikeskus N.d. Zoonoosit. Viitattu 10.4.2014. <http://www.zoonoosikeskus.fi/portal/fi/zoonoosit>

393/2013 Laki biopolttoaineista ja bionesteistä. 7.6.2013. Oikeusministeriö. Viitattu 13.2.2014. https://www.tem.fi/files/36933/sk20130393_2_.pdf

LIITTEET

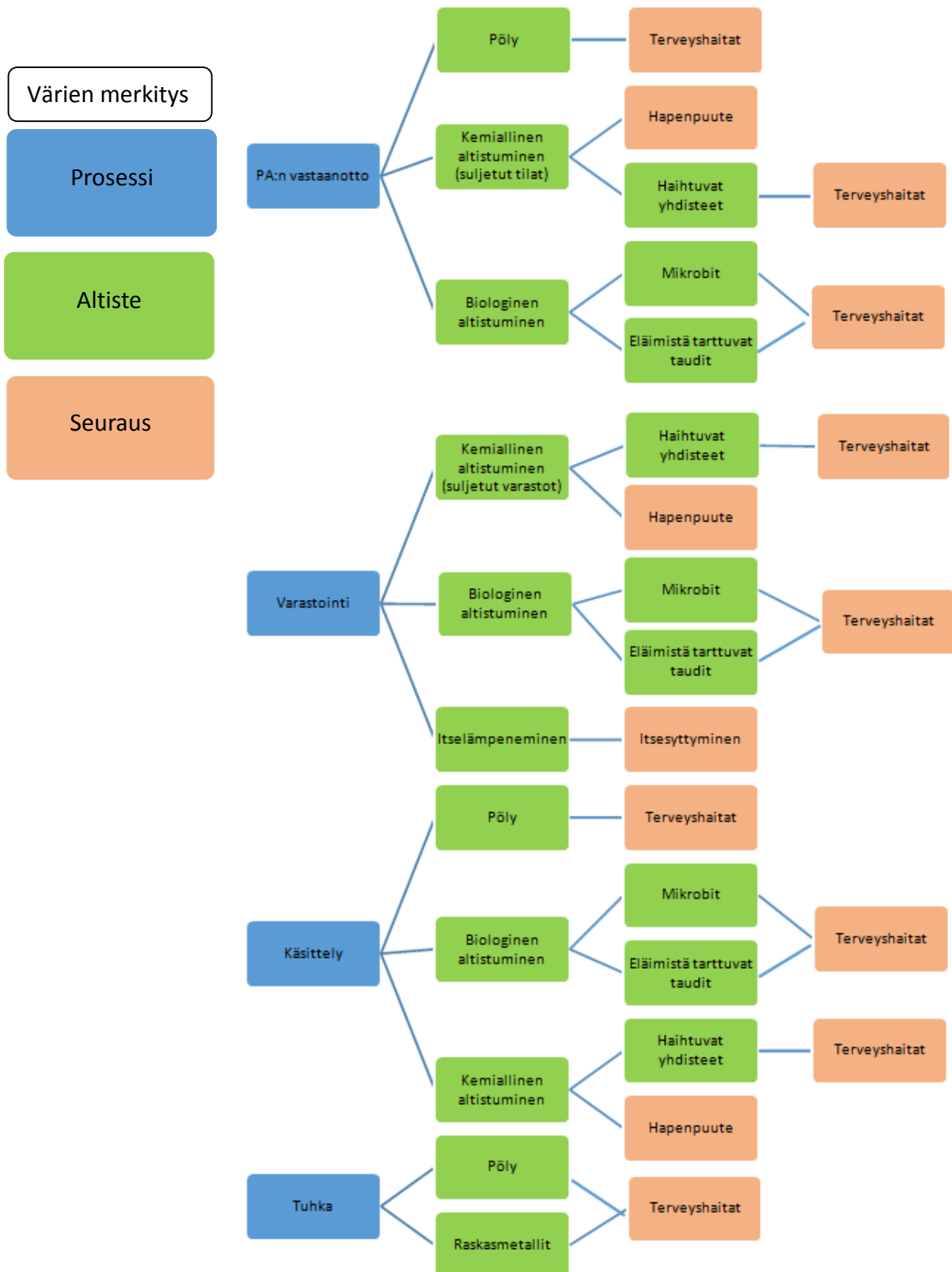
Liite 1. Puupelletti



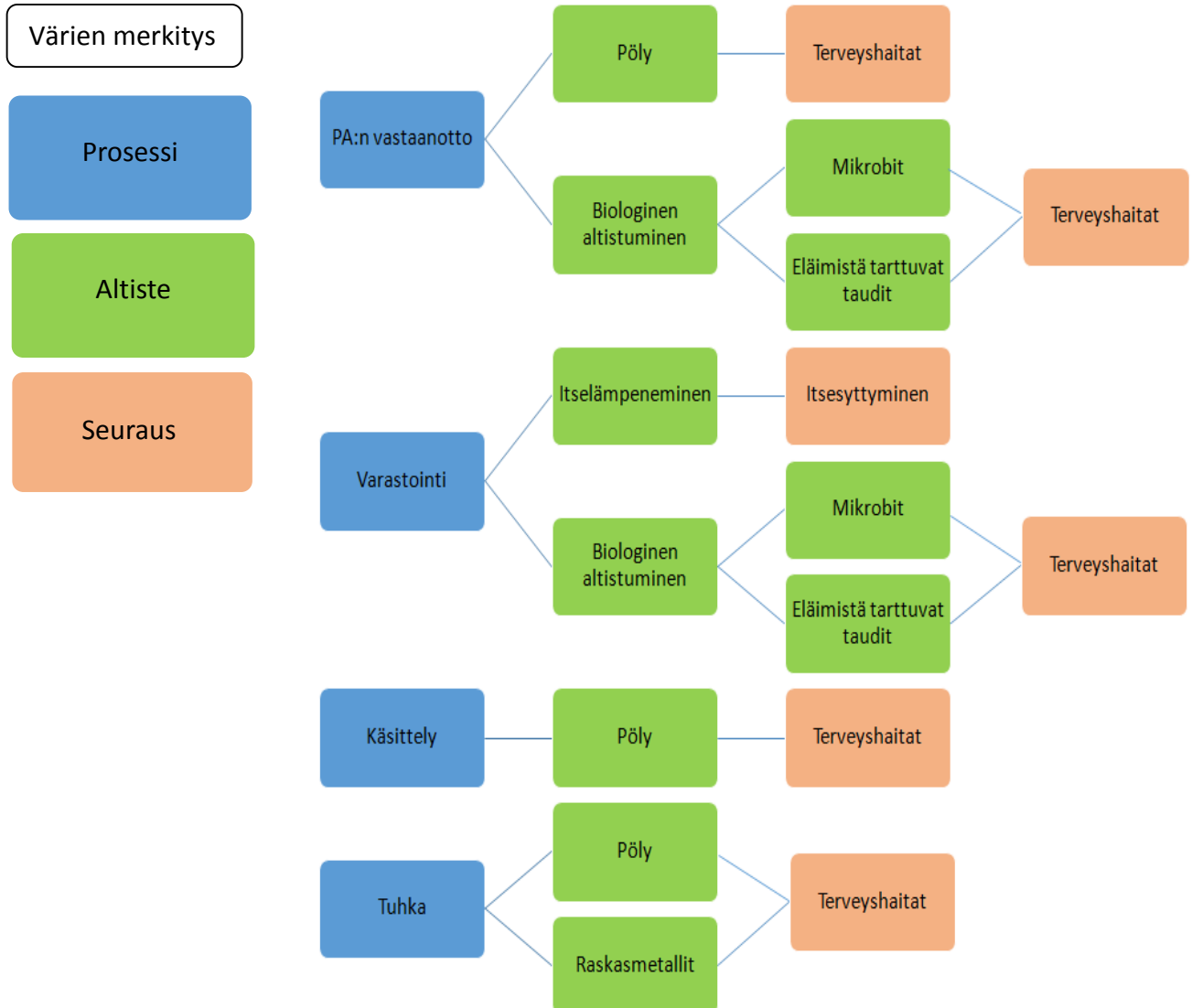
Liite 2. Biohiilet



Liite 3. Hake



Liite 4. Ruokohelppi



Liite 5. Riskienhallinta esimerkki

Arvioinnin tekijä(t)	Päiväys		
Tko	17.04.2014		
Kohde	Pellettsiilon välitila		
Kohteen määrittely	-Välitila sijaitsee pellettsiilon sisällä varsinaisen siilon ja päiväsiilon välissä -Suljettu tila, jonka sisällä on polttoaineen syöttöjärjestelmiä -Kyseisestä tilasta on miesluukun kautta pääsy itse siiloon		
Kohteessa suoritettava työ	-tarkastus/huolto käynti		
Käynti tiheys	kerran kahdessa viikossa		
Työn kesto	0,5 h per käynti		
Mahdollisia riskitekijöitä	- Pöly - Kemiallinen altistuminen -Itselämpäminen -Räjähdysvaara		
Riskien siedettävyyden ja toimenpiteet			
Riskin todennäköisyys	Riskin seuraukset	Riskin siedettävyys	Toimenpide
Pöly			
<i>Epätodennäköinen</i> - Normaali ajossa pölyn esiintyminen pientä - Vikatilanteessa tai siilon miesluukua avattaessa pölyä esiintyy	<i>Haitallinen</i> - Puupöly voi aiheuttaa hengitysteiden ärsyntyntymistä sekä muita terveyshaittoja	<u>Siedettävä riski</u> 2	- Riittävien hengitys suojainten käyttö - Pölyämisen seurannan aloittaminen
Kemiallinen altistuminen			
<i>Mahdollinen</i> - Etenkin jos tuore polttoaine seisoo käyttämättömänä suljetussa tilassa	<i>Vakava</i> - Terveyshaittojen lisäksi mahdollinen tukehtuminen	<u>Merkittävä riski</u> 4	- Tilan tuuletus ennen tilaan menemistä - Tilaan meneminen ilman hälyttäviä happi- ja hääpitoisuus mittareita kielletty - Luukkumiehen käyttäminen - Kiinteiden happi- ja hääpitoisuus mittareiden asentaminen tiloihin
Itselämpäminen			
<i>Mahdollinen</i> - Etenkin jos tuore polttoaine seisoo käyttämättömänä suljetussa tilassa	<i>Vakava</i> - Tulipaloriskin lisäksi kemillista ja räjähdysvaaraa lisääviä tekijöitä	<u>Merkittävä riski</u> 4	- Vältettävä polttoaineen seisottamista - Seurantaa kiinteillä happi- ja hääpitoisuus mittareilla -
Räjähdysvaara			
<i>Mahdollinen</i> - Jos pölyä tai palaviakaasuja esiintyy räjähdyspitoisuuden ylittäviä rajoja - Syttymisherkkyys, voi syttyä jo ihmisen ja metallin välisestä staattisesta purkauksesta	<i>Vakava</i> - Palovammat - Paineiskun aiheuttamat vammat - Hapenpuute	<u>Merkittävä riski</u> 4	- Tilaan ei saa tuoda tulenteko laitteita - Tupakoiminen ehdottomasti kielletty - Tilassa olevat laitteet ATEX hyväksytyjä

Liite 6. Sattuneita onnettomuuksia

Onnettomuus	Aiheuttaja	Vuosi/Maa	Kuolleet/ Louk- kaantu- neet	Lähde (Varo-numero)
<i><u>Räjähdykset</u></i>				
Pölyräjähdys pellettitehtaalla	Todennäköisesti vasaramylly	2013/Suomi	-/-	http://yle.fi/uutiset/vapon_turengin_pellettitehtaalla_tulipalo/6985026?ref=leiki-uu
Pölyräjähdys vaneritehtaalla	Hiomakone	2013/Suomi	-/-	http://yle.fi/uutiset/ristiinan_pelloksen_vaneritehtaalla_polyrajahdys_vaurioitti_kahta_siiloa/6472165
Biovoimalaitoksen polttoaineen vastaanotto asemalla tapahtunut räjähdys	Ei tietoa	2012/Suomi	-/-	http://www.pohjolanvoima.fi/yritys/media/uutiset/99/kaukaan_voiman_polttoaineiden_vastaanottoasemalla_polyrajahdys
Pölyräjähdys kaatoi kevytrakenteisia seiniä voimalaitoksella	Ei tietoa	2012/Suomi	-/-	http://varo.tukes.fi/ (2012-6868)
Pölyräjähdys voimalaitoksen turvesiilossa	Ei varmaa syytä, mahdollinen kytevän tulipalon aiheuttama.	2012/Suomi	-/-	http://varo.tukes.fi/ (2012-6897)
Bioöljylaitoksen säiliö	Syytä ei vielä tiedetä	2014/Suomi	-/2	http://www.karjalainen.fi/uutiset/uutis-alueet/kotimaa/item/46385-biooljylaitoksella-rajatti-joensuussa-kahdelle-palovammoja
<i><u>Tulipalot</u></i>				
Lämpökeskuksen hakesiilon palo	Takatuli	2009/Suomi	-/-	http://varo.tukes.fi/ (2009-6102)
Lämpölaitoksen tuhoutuminen tulipalossa	Takatuli	2010/Suomi	-/-	http://varo.tukes.fi/ (2009-6146)
Pellettisiilopalo maailman suurimmalla biovoimalaitoksella	Useita eri tekijöitä jotka johtivat itsensä-syttymiseen	2012/Iso-Britannia	-/-	https://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/1717860/data/1295424/1/rwe-npower/about-us/our-businesses/power-generation/tilbury/tilbury-biomass-conversion/Tilbury-Fire-Feb-2012.pdf

Biovoimalaitoksen polttoainekuljettimella syttynyt tulipalo	Mahdollisesti kuljettimella syntynyt tukos tai laakerivika	2014/Suomi	-/-	http://www.ksml.fi/uutiset/keski-suomi/kaipolan-tehtaalla-jamsassa-palon-alku/1781700
Yli viikon kestänyt siilopalo(puupolttoaine) voimalaitoksella	Ei varmaa syytä	2013/Usa	-/-	http://www.startribune.com/business/206053941.html?refer=y
Polttoaineenkuljetus linjalta tuli levisi siiloon	Ei varmaa syytä	2012/Tanska	-/-	http://www.canadianbiomassmagazine.ca/content/view/3583/57/
Pellettivaraston (200t) palaminen	Itsesyttyminen	2011/Iso-Britannia	-/-	http://www.thejournal.co.uk/news/north-east-news/firefighters-battle-huge-biomass-fire-4422494
<i><u>Häkämyrkytykset</u></i>				
Puupellettien lastiruuma		2002/Hollanti	1/3	Gauthier ym. 2012, 759.
Puutavaran lastiruuma		2003/USA	1/-	Gauthier ym. 2012, 759.
Kuitupuun lastiruuma		2005/Ruotsi	1/-	Gauthier ym. 2012, 759.
Puupellettien lastiruuma		2006/Ruotsi	1/1	Gauthier ym. 2012, 759.
Puuhakkeen lastiruuma		2006/Ruotsi	1/-	Gauthier ym. 2012, 759.
Lastiruuma		2007/Ruotsi	2/-	Gauthier ym. 2012, 759.
Pellettsiilo		2007/Suomi	1/-	Gauthier ym. 2012, 759.
Pellettsiilo		2008/Suomi	1/-	Gauthier ym. 2012, 759.
Puupellettien lastiruuma		2009/Tanska	2/-	Gauthier ym. 2012, 759.
Pellettivarasto		2010/Saksa	1/-	Gauthier ym. 2012, 759.
Pellettivarasto		2010/Irlanti	1/2	Gauthier ym. 2012, 759.
Pellettivarasto		2011/Sveitsi	1/-	Gauthier ym. 2012, 759.