



## Uusien biopolttoaineiden käsittelyn työhygieeniset riskit

Kirjoittajat Sirke Ajanko ja Leena Fagernäs

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Uusien biopolttoaineiden käsittelyn työhygieeniset riskit	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Työsuojelurahasto, Ilkka Tahvanainen, ilkka.tahvanainen@tsr.fi	Asiakkaan viite Hakemus nro 105071
Projektin nimi Uusien biopolttoaineiden käsittelyn turvallisuusriskit	Projektin numero /lyhytnimi C5SU00889/BIOTURVA
Raportin laatija(t) Sirke Ajanko ja Leena Fagernäs	Sivujen/ liitesivujen lukumäärä 46/3
Avainsanat työhygieniä, biopolttoaine, risutukit, kannot, ruokohelpi	Raportin numero VTT-R-00358-06
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tavoitteena oli alkukartoituksena selvittää ruokohelven, risutukkien ja kantojen käsittelyketjujen eri työvaiheiden mahdollisia työhygieenisia riskejä työntekijöiden terveydelle sekä laatia ohjeistus turvallisemmista työmenetelmistä ja torjuntatoimenpiteistä. Työ rajattiin koskemaan biologisia altisteita. Biopolttoaineiden käytön lisääntyessä on erittäin tärkeää tuntea niiden työhygieeniset vaikutukset työntekijöiden terveydelle.</p> <p>Työ käsitti kirjallisuuskatsauksen biopolttoaineiden työhygieniatutkimuksista, sekä työhygieenisia mittauksia ruokohelven, risutukkien ja kantojen käsittelystä. Biopolttoaineiden käsittelyn työhygieniatutkimuksia on tehty rajoitetusti liittyen lähinnä polttoaineiden varastointiin. Varastoinnissa puupolttoaineet, niiden sisältämä puuaines, kuori ja vihermassa ovat alttiina biologisille ja kemiallisille reaktioille ja sienten aiheuttamalle hajotustoiminnalle. Mittaukset tehtiin keväällä ruokohelven ja kantojen murskauksen yhteydessä Vaskiluodon Voiman Seinäjoen voimalaitoksella mobiilimurskaimen ja pyöräkuormaajan kuljettajalle. Syksyllä tehtiin mittaukset työmaalla varastoidun risutukkikasan ja varastoidun kantokasan kuorma-autoon lastaamisen ja kuormien Jämsänkosken Voiman voimalaitokselle purkamisen yhteydessä. Työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä otetuista näytteistä analysoitiin hengittävän pölyn, endotoksiinien ja mikrobien pitoisuudet. Ruokohelven osalta mitattiin myös haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Kantojen ja risutukkien osalta saatiin kohonneita ja korkeita pitoisuuksia annettuihin raja-arvoihin tai muissa työympäristöissä saatuihin arvoihin verrattuna. Risutukkien purkaminen sisätiloissa voimalaitoksella on erittäin haitallista työntekijän terveydelle. Kantojen osalta oli havaittavissa korkeita epäpuhtauspitoisuuksia jo lastaamisen yhteydessä ja kaikkien mitattujen altisteiden osalta purkamisessa voimalaitoksella. Ruokohelven murskauksessa tehdyt mittaukset eivät anna todellista kuvaa työntekijän altistumisesta, koska ruokohelpeä murskattiin yhdessä märkien kantojen kanssa. Tulokset osoittavat, että kaikkien kolmen polttoaineen käsittelyn osalta tarvitaan enemmän mittauksia ja tutkimusta. Mittauskohteina tulisi olla esimerkiksi pelkän ruokohelven murskaus ja ruokohelven korjuu pelloilta sekä risutukkien murskaus ulkona. On olemassa ilmeinen riski, että risutukkien ja kantojen tietyissä käsittelyvaiheissa työntekijät altistuvat terveyttä vaarantaville tekijöille haitallisessa määrin. Voimalaitoksen purkuhalliin tulisi välittömästi tehdä teknisiä muutoksia. Suojautumissuosituksina on, että kuormaajien tulisi käyttää kantojen lastaus- ja purkuvaiheessa sekä risutukkien purkuvaiheessa henkilökohtaista P3-luokan suodattimella varustettua hengityksen suojainta. Myös murskaimen kuljettajan olisi suositeltavaa käyttää tällaista suojainta häiriötilanteissa. Tämän luokan suodatin suojaa sekä pölyiltä että pienemmiltä mikrobeilta ja endotoksiineilta.</p>	
Luottamuksellisuus:	julkinen
Espoo 22.3.2006 Allekirjoitukset  Satu Helynen Teknologiapäällikkö	 Leena Fagernäs Projektin vastuuhenkilö
VTT:n yhteystiedot Leena Fagernäs, VTT, PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 5453, leena.fagernas@vtt.fi	
Jakelu (asiakkaat ja VTT): Työsuojelurahasto, BMH Wood Technology Oy, Pohjolan Voima Oy, Turveruukki Oy, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Oy ja VTT.	
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>	

## ALKUSANAT

VTT:ssä toteutettiin 1.4.2005 ja 31.3.2006 välisenä aikana Työsuojelurahaston tutkimusprojekti "Uusien biopolttoaineiden turvallisuusriskit".

Projektin rahoitukseen osallistuivat Työsuojelurahasto, BMH Wood Technology Oy, Pohjolan Voima Oy (PVO), Turveruukki Oy, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Oy ja VTT. Johtoryhmään, joka kokoontui projektin aikana kolme kertaa, kuuluivat projektin puheenjohtajana toiminut viestintäjohtaja Juha Poikola (PVO), tekninen johtaja Pentti Jarkko (BMH Wood Technology Oy), kehityspäällikkö Heikki Karppimaa (Turveruukki Oy), tutkimusjohtaja Timo Nyrönen (Vapo Oy), aluksi tutkuspäällikkö Pekka Rissanen ja myöhemmin kehityspäällikkö Christer Backlund (UPM-Kymmene Oyj), tutkimusasiamies Ilkka Tahvanainen (Työsuojelurahasto) sekä VTT:sta projektin vastuunalaisena johtajana ja johtoryhmän sihteerinä toiminut erikoistutkija Leena Fagernäs ja tutkija Sirke Ajanko.

Työhygieeniset mittaukset teki Kuopion aluetyöterveyslaitos, josta työhygieenikko Juhani Rautiainen suoritti mittaukset.

Tekijät kiittävät Työsuojelurahastoa, projektiin osallistuneita yrityksiä, johtoryhmän jäseniä, Kuopion aluetyöterveyslaitosta sekä mittauksissa mukana olleita voimalaitosten ja työmaiden työntekijöitä.

Espoo, helmikuu 2006

Tekijät

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
2	TAVOITTEET .....	8
3	KIRJALLISUUSKATSAUS BIOPOLTTOAINEIDEN TYÖHYGIENIATUTKIMUKSISTA.....	9
3.1	PUUPOLTTOAINEET .....	9
3.2	METSÄTÄHDE JA RISUTUKIT .....	10
3.3	RUOKOHELPI .....	13
3.4	TERVEYSVAIKUTUKSET .....	14
4	KENTTÄKOKOIDEIN TOTEUTUS.....	16
4.1	KENTTÄKOKOET RUOKOHELVELLÄ .....	16
4.2	RISUTUKKIEN KENTTÄKOKOET .....	18
4.3	KANTOJEN KENTTÄKOKOET .....	20
4.4	MITTAUS- JA ANALYYSIMENETELMÄT.....	21
4.5	TYÖHYGIEENISET VERTAILUARVOT.....	22
5	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO.....	23
5.1	ALTISTUMINEN KANTOJEN JA RUOKOHELVEN YHTEISKÄSITTELYSSÄ .....	23
5.2	ALTISTUMINEN RISUTUKKIEN KÄSITTELYSSÄ .....	25
5.3	ALTISTUMINEN KANTOJEN KÄSITTELYSSÄ .....	30
5.4	MIKROBISUVUT JA -LAJIT .....	30
6	SUOJAUTUMINEN .....	34
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOSUUNNITELMAT .....	35
8	YHTEENVETO .....	37
	LÄHDEVIITTEET.....	40

Liite 1: Haihtuvien yhdisteiden määritykset

# 1 JOHDANTO

Työhygieeninen tutkimus on osa laajempaa työolojen kehittämistä (1). Pelkän työperäisten sairauksien torjunnan sijasta pyritään pidemmälle, tekemään työskentelyolosuhteet myös miellyttäväksi ja samalla tuottavimmaksi. Työhygieeniset altisteet lajitellaan kolmeen eri luokkaan: fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin tekijöihin. Fysikaalisia tekijöitä ovat mm. melu, värinä ja säteily, ja kemiallisia mm. raskasmetallit, kemikaalit ja epäorgaaninen pöly. Biologiset tekijät, joihin tässä tutkimuksessa keskityttiin, ovat esimerkiksi mikrobit, eläinpeitelet ja virukset.

Työympäristön kehittäminen on katsottava investoinniksi eikä kustannukseksi. Riittävän varhaisessa suunnitteluvaiheessa havaitut puutteet ja niille taloudellisesti ja järkevästi kohdistetut torjuntatoimet tulevat edullisemmiksi kuin hukka-investoinnit. Myös lainsäädäntö velvoittaa työolojen jatkuvaan seurantaan ja asettaa vastuuta sekä työntekijä- että työnantajan puolelle. Mikäli työympäristössä havaitaan työntekijöillä oireita tai raja-arvoja ylittäviä pitoisuuksia, on työntekijöille järjestettävä tietyin väliajoin tehtävät terveystarkastukset. Tavoitteena on, että työhygieenisten mittausten pitoisuustulokset olisivat enintään 50 % annetuista raja-arvoista. Parannusehdotuksia tehtäessä on huolehdittava siitä, ettei yhden ongelman poistaminen johda uusiin ongelmiin. Työhygieenian tarkoituksena on siis motivoida koko työyhteisöä osallistumaan ja omaksuma turvalliset ja terveelliset menetelmät ja työtavat.

Kansainvälisten ja kansallisten energia- ja ilmasto-ohjelmien sekä velvoitteiden tavoitteena on lisätä uusiutuvien energialähteiden, kuten biopolttoaineiden, käyttöä huomattavasti. Kioton vuoden 1997 ilmastokokouksen pöytäkirja velvoittaa Euroopan Unionin vähentämään kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjä 8 % vuoden 1990 tasolta (2). Tavoitteen toteutuminen päästöjen vähennykselle on vuodet 2008 – 2012. Suomen maakohtaisena velvoitteena on päästöjen palauttaminen vuoden 1990 tasolle.

EU:n komissio on antanut useita määräyksiä ja direktiivejä liittyen uusiutuvien energialähteiden ja bioenergian käytön lisäämiseen alueellaan. Komissio pyrkii kaksinkertaistamaan uusiutuvien käytön ja kolminkertaistamaan bioenergian käytön vuosina 1997 – 2010 (3). Uusiutuvan sähkön tuotanto pyritään kymmenkertaistamaan RES-E-direktiivissä (4). Liikenteen biopolttoainedirektiivissä on vahvistettu viitearvoiksi biopolttoaineiden 2 %:n markkinaosuus vuonna 2005 ja 5,75 %:n osuus v. 2010 (5). EU:n sisäinen päästökauppa alkoi vuonna 2005 ja EU:n kaatopaikkadirektiivi (6) astui voimaan vuoden 2006 alusta. Komissio on käynnistänyt energiapolitiikkansa uudelleenarvioinnin ja komission valmisteleva Biomass Energy Action Plan (7) lisää tuntuvasti bioenergian käyttötavoitteita jäsenmaissa. Toimintasuunnitelmassa esitetään toimenpiteitä, joiden avulla voidaan lisätä biomassaan perustuvaa energian tuotantoa puusta, jätteistä ja viljelykasveista ja edistää biomassan käyttöä lämmityksessä, sähköntuotannossa ja liikenteessä.

Vuosituhanen vaihteessa, kun Suomen energia- ja ilmastostrategiat hyväksyttiin (8, 9) ja laadittiin uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma ja sille tarkistustyöryhmän ehdotus (10, 11), metsähakkeen käytön tavoitteeksi asetettiin 5 miljoonaa m<sup>3</sup> vuoteen

2010 mennessä. Tämän tavoitteen saavuttaminen vähentäisi hiilidioksidipäästöjä 4 %:a vuoden 1990 tasosta. Tavoitteeksi asetettu hakemäärä esitettiin kerättäväksi esimerkiksi seuraavasti: 2,5 milj. m<sup>3</sup> hakkuutähteestä, 1,5 milj. m<sup>3</sup> kantomurskeesta ja 1 milj. m<sup>3</sup> nuorista metsistä saatavasta pienpuuhakkeesta. Kaikkien puupolttoaineiden vastaavaksi tavoitteeksi on asetettu 15 milj. m<sup>3</sup>. Suomessa vuonna 2004 käytetyn metsähakkeen määrä oli 2,7 milj. m<sup>3</sup> (5.3 TWh) (12). FINBIO Suomen Bioenergiayhdistys ry arvioi vuonna 2003 peltoenergiaohjelmassaan, että peltoenergian vuosituotanto voisi olla 2,5 TWh vuoteen 2010 mennessä (13). Tästä ruokohelven osuus olisi noin 2 TWh. Tavoite merkitsee ruokohelven viljelyä 75 000 hehtaarin alalla ja oljen korjuuta 60 000 hehtaarin alalta.

Valtioneuvosto hyväksyi marraskuussa 2005 eduskunnalle annettavan selonteon siitä, minkälaisia toimenpiteitä se aikoo toteuttaa lähiaikoina energia- ja ilmastopolitiikassa (14). Selonteossa kerrotaan, miten hallitus aikoo toimeenpanna Suomea koskevat kansainväliset velvoitteet kasvihuonekaasujen rajoittamiseksi Kioton sitoumuskaudella 2008 - 2012, ja minkälaisiin pitemmän aikavälin tavoitteisiin se tähtää kasvihuonekaasupäästöjen kehityksessä. Selonteon mukaan hallitus lupaa panostaa uusiutuvien energialähteiden käyttöönottoon, energiansäästöön ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Strategian tavoitteena on, että uusiutuvan energian kokonaiskäyttö kasvaisi ainakin neljänneksellä vuoteen 2015 mennessä ja vähintään 40 %:lla vuoteen 2025 mennessä. Uusiutuvan energian osuus voisi tällöin nousta lähes kolmannekseen primäärienergiasta. Viime vuosina tämä osuus on ollut 22 - 25 %. RES-E-direktiivin yhteydessä annetun ohjeellisen tavoitteen mukaan uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön osuus tulisi Suomessa olla 31,5 % vuonna 2010.

Bioenergialla tuotetaan Suomessa merkittävä osa energiasta. Tavoitteena on, että Suomi tulevaisuudessakin pysyy bioenergian käytössä johtavien teollisuusmaiden joukossa (14). Erityisen voimakkaasti strategiassa lisätään metsätähteestä tehdyn hakkeen, pelto-biomassojen, kierrätyspolttoaineiden ja biokaasun käyttöä. Tavoitteena on, että näiden osuus primäärienergiasta ainakin kolminkertaistuu vuoden 2004 noin 2 prosentista yli 6 prosenttiin 15 - 20 vuoden aikana. Kauppa- ja teollisuusministeriön syksyllä 2005 asettama kotimainen työryhmä antaa suosituksensa helmikuussa 2006, miten Suomi vastaa liikennepolttoainedirektiivin vaatimuksiin. Myös hallituksen hyväksymässä maatalouspoliittisessa selonteossa lokakuulta 2005 suomalaisia viljelijöitä kannustetaan siirtämään osan pelloistaan bioenergian tuotantoon (15).

Tekesin Puuenergian teknologiaohjelman (16, 17) tavoitteena vuosina 1998 - 2003 oli viisinkertaistaa metsähakkeen vuotuinen käyttö tasolle 2,5 miljoonaa m<sup>3</sup>, mikä tavoite saavutettiin ja ylitettiinkin vuonna 2004. Metsäpolttoaineilla tarkoitetaan käytännössä metsähaketta, joka on ainespuun korjuussa syntyneistä hakkuutähteistä ja ainespuuksi kelvottomasta nuorten metsien pienpuusta metsässä, tienvarsivarastolla, terminaalissa tai käyttöpaikalla tehtyä polttohaketta, sekä kantoja. Ohjelmassa kehitettiin metsähakkeen suurimittaisia tuotantoketjuja ja niihin liittyviä teknologioita. Metsähakkeen raaka-ainepohja laajentui ohjelman aikana päättehakkuiden tähteistä nuorten metsien harvennuspuuhun ja lisäksi kantomurskeeseen. Ohjelmassa kehitettiin hakkeen suurkäyttäjille erinomaisesti soveltuvaa, alun perin Ruotsissa kehitettyä hakkuutähteiden paalaustekniikkaa, ns. risutukkitekniikkaa, joka on nopeasti yleistynyt Suomessa ja on leviämässä vientituotteeksi. Risutukkijärjestelmä kehitettiin toimivaksi alunperin UPM:n, Pohjolan

Voiman, Alholmens Kraftin ja Timberjackin yhteistyönä maailman suurimman biopolttoainevoimalan Alholmens Kraftin polttoainehuoltoa palvelemaan. Vuoden 2004 alussa Suomessa oli jo 24 risutukkippaalainta, tuotantokapasiteetiltaan yhteensä noin 0,6 miljoonaa m<sup>3</sup> eli 1,2 TWh vuodessa. Lähes kolmannes lämpö- ja voimalaitosten käyttämästä metsähakkeesta on mahdollista tuottaa tällä kalustolla. Sen sijaan Ruotsissa risutukkien tuotanto on jäänyt vähäiseksi, kun kehitystyö ei ole ulottunut koko järjestelmään.

Risutukkitekniikan eli paalauksen ansiosta polttoaineen tuotanto ja kuljetukset yhdistyvät luontevasti ainespuun hankintaan ja siten on pystytty vastaamaan suurtuotannon tarpeisiin. Paalit valmistetaan hakkuualueella, josta ne kuljetetaan tien varteen vakiovarusteisella kuormatraktorilla ja edelleen käyttöpaikalle tavallisella puutavara-autolla. Hakkuutähteiden paalaus parantaa käyttöpaikkahaketuksen kilpailukykyä. Eri paalausmenetelmistä parhaimmaksi on osoittautunut risutukkijärjestelmä, jossa käsittelyyksikkönä on halkaisijaltaan noin 60 - 70 cm ja pituudelta noin 3 m oleva tiiviiksi sidottu paali. Tuoreen paalin paino on noin 500 kg ja energiasisältö 1 MWh. Avohakkuuheitartilta risutukkeja syntyy 80 - 140 kpl.

Uudistusalojen kannot ovat uutena polttoaineena merkittävä raaka-aineresurssi ja niiden käyttö on kasvussa. Metsien päätehakkuualueille jää vuosittain hyödyntämättä noin 10 - 15 miljoonaa m<sup>3</sup> kantoja. Juurakoitten käyttöä tutkittiin aktiivisesti 1970- ja 1980-luvuilla, mutta silloin niiden hyödyntämistä ei nähty realistiseksi mahdollisuudeksi (16). UPM Metsän Keski-Suomen hankinta-alue käynnisti uudelleen 2000-luvun alusta kanto- ja juuripuun korjuutekniikan kehittämisen ja näkymät ovat sen jälkeen muuttuneet perusteellisesti. Juurakoista on tulossa haluttu polttoaine suurille voimalaitoksille, joitten infrastruktuuriin kuuluu kanto- ja juuripuun käsittelyyn soveltuva kiinteä murskain (18). UPM nostaa Suomessa kannot 5 000 - 6 000 hehtaarilta vuodessa.

Kuusikoitten uudistusalojen kannoista saadaan polttoainetta enemmän kuin hakkuutähteestä. Juurakot ovat hyvää polttoainetta. Juurakon puuainees on tiheämpää kuin runkopuun aines. Juurakon puuaineesen pihkapitoisuus on miltei kaksinkertainen verrattuna runkopuuhun. Parhaita kohteita ovat tuoreet, kivettömät kangasmaat ja niiden kuusikoitten uudistusalat, sillä kuusen juuristo on löyhästi maaperässä. Juurakoiden poisto kasvupaikalta lieventää juurikäpäsienien ja sen aiheuttaman tyvilahon esiintymistä.

Kannot nostetaan tela-alustaisella kaivinkoneella, jossa kouraksi on kehitetty erityinen kantohara. Nostettaessa kannot rikotaan osiin ja kannot varastoidaan nostoalueella kasoihin, joista ne sitten kuljetetaan metsätraktorilla tienvarsivarastoihin. Kantoja varastoidaan noin vuoden ajan, jolloin ne kuivuvat ja ylimääräiset kievet ja hiekka karisevat pois. Tämän jälkeen ne murskataan joko terminaalissa tai voimalaitoksella. Kantojen nostoa on rajoittanut Suomessa lähinnä sopivien käyttöpaikkojen vähyys.

Ruokohelpi (*Phalaris arundinacea*) on koko Suomessa luonnonvaraisena kasvava monivuotinen heinäkaskvi (19 - 22). Sen tutkiminen energiakasvina aloitettiin 1990-luvulla. Erilaisista peltokasvipohjaisista energiaraaka-aineista ruokohelpi on osoittautunut Suomessa käyttökelpoisimmaksi ja tuottavimmaksi. Peltobiomassoja voidaan käyttää lämmön ja sähkön tuotannon polttoaineina sekä liikennepolttoaineina. Ruokohelpi soveltuu hyvin seospolttoon kattiloissa turpeeseen tai puupolttoaineeseen sekoitettuna eikä aiheuta samantyyppisiä polttoteknisiä ongelmia kuin viljan oljet.

Ruokohelpi muodostaa tiheitä, noin 1,5 - 2 m:n korkuisia kasvustoja. Viljeltynä se kasvaa yhdellä kylvöllä 10 - 12 vuotta. Ensimmäinen sato saadaan toisena kasvuvuotena. Ruokohelven lannoitustarve on verrattain pieni ja lannoitukseen soveltuvat hyvin jätevesiliete ja erilaiset kompostit. Hehtaarin alalta korjattava energiamäärä voi olla jopa yli 30 MWh. Ruokohelven sato korjataan keväällä, jolloin korren osuus on suurin. Juurakot sijaitsevat noin 2 - 8 cm syvyydessä. Korjuun työvaiheet ovat karhennus ja paalaus. Paalit kuljetetaan terminaaliin, jossa ne silputaan ja käytetään energiantuotannossa. Paalaus voi tapahtua joko pyöröpaalainta tai kanttipaalainta käyttäen. Viime aikoina on ollut julkisuudessa esillä se, että ruokohelpi sisältää tryptamiinia kuten heinäkasvit yleensäkin. Tryptamiinista voidaan valmistaa dimetyylitryptamiinia, joka on huume. Peltokasveista huumaava ainesosa on kuitenkin jalostettu pois.

Ruokohelven tuotanto- ja käyttötekniikat ovat valmiina laajamittaiseen lämmön- ja sähköntuotannon lisäämiseen sekä voimaloiden lähialueilla tehtävään sopimusviljelyyn (23). Vuonna 2004 tehtiin EU:n energiakasvien tukeen oikeuttavia tuotantosopimuksia koko Suomessa yhteensä 4 000 hehtaarille. Valtaosa tästä alasta on ruokohelpeä. Vuonna 2005 viljelyala kasvoi noin 9 000 hehtaariin. Ruokohelven tuotannon kannattavuus on parantunut vuonna 2004 voimaan tulleen EU:n energiakasvien tuen ja vuonna 2006 voimaan tulleen tilatuki uudistuksen myötä (24, 25). Maa- ja metsätalousministeriön työryhmän mielestä käytön laajeneminen edellyttää myös ruokohelven liittämistä sähköntuotannon verotuen piiriin.

Koska uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiseksi on annettu voimakkaat kasvavaatimukset, on selvää, että myös työntekijämäärät alalla tulevat merkittävästi kasvaamaan. Uusien polttoaineiden, kuten ruokohelven, risutukkien ja kantojen, käsittelyn vaikutuksia työntekijöiden terveydelle ei ole aikaisemmin juurikaan tutkittu ja näin ollen tarvitaan mittauksiin perustuvaa tietoa työympäristön altisteista.

Aikaisemmassa VTT:n tutkimuksessa, jota Tekesin Puuenergiaohjelma, Työsuojelurahasto, yritykset ja VTT rahoittivat, tutkittiin kenttämittauksella rajoitetusti metsähakkeen varastoinnin työhygieenistä riskiä metsähakevaraston purkamisen yhteydessä (26). Tutkimukseen osallistui myös Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), joka tutki kuoren varastoinnin vaikutusta kuoren ominaisuuksiin omassa projektissaan (27).

## 2 TAVOITTEET

Tavoitteena oli alkukartoituksena selvittää uusista biopolttoaineista ruokohelven, risutukkien ja kantojen käsittelyketjujen eri työvaiheiden mahdollisia työhygieenisiä riskejä työntekijöiden terveydelle sekä tulosten perusteella laatia ohjeistus turvallisemmista työmenetelmistä ja torjuntatoimenpiteistä. Tutkimus oli tarkoitus suorittaa kenttämittauksina. Lisäksi tavoitteena oli tehdä kirjallisuuskatsaus biopolttoaineiden työhygieniatutkimuksista, lähinnä risutukkeihin ja hakkuutähteisiin liittyen. Työ rajattiin koskemaan biologisia altisteita.



Tavoitteena oli jatkaa yhteistyötä SLU:n Bioenergiayksikön kanssa. Yhteistyön avulla pyrkimyksenä oli saada tietoa mm. SLU:n kuoren työhygieniaan liittyvästä projektista sekä risutukkitutkimuksista, joita Ruotsissa oli tehty ennen risutukkien käytön lisääntymistä Suomessa.

### 3 KIRJALLISUUSKATSAUS BIOPOLTTOAINEIDEN TYÖHYGIENIATUTKIMUKSISTA

Biopolttoaineiden käsittelyn työhygieniaan liittyviä tutkimuksia löytyy kirjallisuudesta rajoitetusti. Tutkimukset liittyvät lähinnä polttoaineiden varastointiin. Seuraavassa on käsitelty puupolttoaineiden, metsätähteen ja risutukkien työhygieniaan sekä ruokohelven allergeenisuuteen liittyviä tutkimuksia.

#### 3.1 PUUPOLTTOAINEET

Puuhakkeen varastointi on ongelmallista. Eräs työhygieeninen vaikeus on hakkeen käsittelijän altistuminen varastoinnin aikana syntyville terveydelle haitallisille tekijöille, kuten sienille, bakteereille ja näiden muodostamille toksineille. Pellikka & Kotimaa (28) ovat selvittäneet polttihakkeen homehtumiseen, itiöiden vapautumiseen ja työntekijän altistumiseen vaikuttavia tekijöitä. Tulosten perusteella suositeltiin hakkeen käsittelyn suhteen, että hakepuuta olisi edullista varastoida mahdollisimman pitkään kasoissa ja valmistaa haketta pienissä erissä käyttötärpeen mukaan. Lisäksi todettiin, että haketussajankohtina varhainen kevät ja myöhäinen syksy ovat parempia kuin keskikesä. Palahake säilyy paremmin kuin hienohake. Lisäksi hake tulisi tehdä aina mahdollisimman tuoreesta puusta. Hakepuu ennen haketusta tai hake ennen varastointia olisi saatava nopeasti niin kuivaksi, ettei homehtumista pääse tapahtumaan. Jos homehtuminen on päässyt alkamaan, kuivan hakkeen käsittely aiheuttaa työntekijälle suuremman altistuksen kuin märän hakkeen käsittely, koska silloin pölyäminen on voimakkaampaa.

VTT:n aikaisemmassa tutkimuksessa (29) purun ja hakkuutähdehakkeen työhygieenisistä riskeistä todettiin sahanpurun homehtuneen voimakkaasti varastoinnissa, erityisesti ensimmäisten 3 kk:n aikana. Tämän jälkeen tutkituille mikrobeille optimaaliset olosuhteet olivat muuttuneet ja mikrobit olivat mahdollisesti muuntuneet itiömuotoon. Sahanpurukan purkamisessa 7 kk:n varastoinnin jälkeen todettiin pöly-, endotoksiini- ja mikrobialtistumisten olleen työntekijöillä merkittäviä. Pölypitoisuudet olivat molemmilla mittauskerroilla korkeita vaihdellen välillä 3,4 - 7,7 mg/m<sup>3</sup>. Endotoksiinipitoisuudet olivat erittäin korkeita, 190 - 890 EU/m<sup>3</sup> (EU=endotoxin unit, 0,1 ng). Mikrobipitoisuudet olivat korkeita, noin 8,0 x 10<sup>5</sup> cfu/m<sup>3</sup> (cfu=colony forming unit, pesäkkeen muodostava yksikkö). Lisäksi purukan näytteissä valtalajeina esiintyivät *Aspergillus fumigatus* ja *Aspergillus versicolor*, joiden tiedetään olevan terveydelle haitallisia.

Työntekijöiden altistumista eri epäpuhtauksille puupellettien ja -brikettien valmistuksessa tai käsittelyssä ovat tutkineet Alvarez de Davila (30), Edman *et al.* (31) ja Madsen *et al.* (32).

Alvarez de Davila (30) on tutkinut työympäristön pöly- ja mikrobipitoisuuksia puupellettien käsittelyssä ennen polttoa kolmella laitoksella Ruotsissa. Pölypitoisuudet olivat korkeita pellettien toimituksessa, kun pellettien joukossa oli suuri määrä hienoainesta, ja pellettien lastauksessa laitosten vastaanottohalleissa, joista puuttui tuuletus. Hallin pölypitoisuudeksi mitattiin  $27 \text{ mg/m}^3$ , ja hetkittäiset pitoisuudet nousivat itse lastauksessa yli  $160 \text{ mg/m}^3$ . Pitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia kuin työympäristön pölypitoisuudelle Ruotsissa annettu raja-arvo  $2 \text{ mg/m}^3$ . Pöly levittäytyi nopeasti joka puolelle vastaanottohallia. Mikrobipitoisuudet eivät olleet korkeita ollen samaa suuruusluokkaa tai kymmenkertaisia ulkoilmaan verrattuna. Bakteerien kokonaismäärä vaihteli välillä  $6\,000 - 93\,000 \text{ cfu/m}^3$  ja homesienten välillä  $9\,700 - 62\,000 \text{ cfu/m}^3$ . Korkeimmat pitoisuudet saatiin laitosten vastaanottohalleista. Identifioituja homesieniä olivat *Penicillium spp.*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Paecilomyces*, hiiva, *Cladosporium* ja *Aureobasidium*. Bakteereista identifioitiin sekakasvusto, *Bacillus*, *Streptomyces* ja *Pseudomonas*. Homesienillä *Penicillium spp.*, *Aspergillus niger* ja *Aspergillus fumigatus* todettiin olevan yhteyttä keuhkosairauksiin, jos pitoisuudet ovat korkeammat kuin  $10^9 \text{ cfu/m}^3$ .

Edman *et al.* (31) tutkivat työntekijöiden altistumista monoterpeeneille ja puupölylle puupellettien ja -brikettien tuotannossa. Altistumisen monoterpeeneille todettiin olevan vähäinen, mutta puupölylle korkea verrattuna ruotsalaisiin raja-arvoihin ja aikaisempiin tutkimuksiin puuteollisuudessa. Kokonaispölypitoisuus oli  $0,16 - 19 \text{ mg/m}^3$  ja altistuminen monoterpeeneille  $0,64 - 28 \text{ mg/m}^3$ . Pölypitoisuudelle annettu raja-arvo  $2 \text{ mg/m}^3$  koskee kokonaispitoisuutta, hengittyvän pölyn pitoisuus on yleensä 2 - 4 -kertainen kokonaispitoisuuteen verrattuna. Monoterpeeneille annettu raja-arvo on Ruotsissa  $150 \text{ mg/m}^3$ . Työympäristön terpeenipitoisuuksista ja työntekijöiden altistumisesta terpeeneille ja niiden aiheuttamille terveyshaitoille sahoilla ja puusepäntehtaissa on tehty useita tutkimuksia. Terpeeneille altistuminen saattaa aiheuttaa terveysvaikutuksia, kuten ärsytystä iholle, silmiin ja limakalvoille sekä ihotulehdusta.

Madsen *et al.* (32) tutkivat puuhakkeen, puupellettien ja puubrikettien sekä oljen pölyävyyttä mikrobien ja partikkelien suhteen. Olki todettiin pölyisemmäksi kuin muut biopolttoaineet mm. aktinomykeettien, bakteerien ja endotoksiinien sekä partikkelien koon ja lukumäärän suhteen. Puupelletit ja -briketit olivat vähiten pölyäviä kaikkien mikrobeiden suhteen, siten ei-mikrobiset partikkelit oletettiin olevan ratkaiseva tekijä näiden polttoaineiden käsittelyssä.

### 3.2 METSÄTÄHDE JA RISUTUKIT

Varastoinnissa puupolttoaineet, niiden sisältämä puuaines, kuori ja vihermassa ovat alttiina biologisille ja kemiallisille reaktioille ja sienten aiheuttamalle hajotustoiminnalle. Kosteaa biomassaa luovuttaa lämpöä, varastoon muodostuu erilaisia kosteusvyöhykkeitä ja polttoaineen keskimääräinen kosteuspitoisuus voi muuttua. Tärkeimpiä ongelmia aiheuttavia tekijöitä ovat mm. varaston lämpötilan noususta johtuva itsesyttymisriskin

mahdollisuus, kuiva-aineen menetyksestä johtuva lämpöarvon aleneminen sekä mikrobiologiset riskit. Nämä tekijät yleensä vähentävät polttoaineesta saatavaa hyötyä ja saatavat johtaa jopa varastopaloihin ja terveysongelmiin (33, 34).

Aikaisemmassa VTT:n tutkimuksessa (29) esitettiin puupolttoaineiden, lähinnä hakkuutähdehakkeen ja kuoren, käyttäytymisestä varastoinnissa tehty kirjallisuustyö ja selvitettiin kenttäkokein hakkuutähdehakkeen muuttumista varastoinnissa. Ruotsissa metsätähdevarastointiin liittyviä mikrobiologisia ominaisuuksia ovat käsitelleet Jirjis (34), Törnqvist & Jirjis (35), Fredholm & Jirjis (36), Jirjis & Theander (37), Thörnqvist & Gustafsson (38) ja Alvarez de Davila & Bengtsson (39).

VTT:n kenttäkokeissa (29) mitattiin työntekijän hengitysvyöhykkeeltä pöly-, endotoksiini- ja mikrobipitoisuuksia sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia 7 kk varastoitujen vihreän ja ruskean hakkuutähdehakkeen kasojen purkamisen yhteydessä. Pölypitoisuudet olivat alhaisia vaihdellen välillä 0,2 - 1,1 mg/m<sup>3</sup>. Ruskean metsätähdevarastoinnin yhteydessä endotoksiinipitoisuudet vaihtelivat suuresti eli välillä <0,4 - 4 800 EU/m<sup>3</sup>, joista suurin pitoisuus aiheuttaa välittömästi oireita työntekijälle. Ruskean metsätähdevarastoinnin yhteydessä mikrobipitoisuudet olivat erittäin korkeita, jopa 3,0 x 10<sup>6</sup> cfu/m<sup>3</sup>.

Metsätähdevarastoinnissa ulkona vapautuu materiaalista myös matalalla haihtuvia hiilivetyjä, kuten terpeeneitä (40, 41). Vapautuvista terpeeneistä pääyhdisteet ovat  $\alpha$ -pineeni,  $\beta$ -pineeni ja  $\Delta^3$ -kareeni. Rupar & Sanati (41) tutkivat terpeenien vapautumista metsätähdevarastosta kesä- ja tammikuun välisenä aikana. Terpeenipäästöt olivat suurimmillaan 2 - 3 kk:n kuluttua varastoinnin alusta ja pieniä varastoinnin alussa ja lopussa. Päästöt kasvoivat, kun lämpötila aivan kasan yläpuolella nousi. VTT:n kenttäkokeissa (29, 40) haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet olivat hyvin pieniä ja selvästi alle teollisuustiloille annettujen tavoitetasojen. Mitatut yhdisteiden kokonaispitoisuudet olivat ruskealla hakkeella 14 - 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja viherhakkeella 100 - 160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Jirjis (34) on tutkinut varastoidun puubiomassahakkeen käsittelyn terveysriskejä. Mikrobiologisiin riskeihin vaikuttavat sisäiset tekijät kuten kosteuspitoisuus, puupolttoaineen sisältämät ainesosat, kuten neulaset ja kuori, sekä partikkelikoko. Ulkoisia tekijöitä vastaavasti ovat varastointiolosuhteet, kuten ilmastus, tiivistys ja peittäminen, varastointiaika, varaston koko ja muoto sekä ympäristöolosuhteet.

Monet mikrobit vaativat lisääntyäkseen happea, vettä yli 20 % ja tiettyjä ravintoaineita (34). Eri mikrobisuvut viihtyvät erilaisissa lämpötiloissa, mikä on myös tärkeä tekijä terveysvaikutusten kannalta. Kun lämpötila on alle 15 °C, mikrobien toiminta on hidasta. Yli 40 °C:ssa mikrobien toiminta hidastuu ja 60 °C:ssa suurin osa soluista kuolee. pH, jossa mikrobit elävät, vaihtelee suuresti, mutta pääasiassa ne viihtyvät pH-välillä 2 - 8. Varastoinnin aikana materiaalin pH laskee. Homehtuminen on voimakkainta noin 10 - 70 cm:n etäisyydellä pintakerroksesta (1). Yleisimmät varastointiin liittyvät mikroorganismit ovat homeet ja aktinomykeetit.

Alvarez de Davila & Bengtsson (39) totesivat pöly-, mikrobi- ja endotoksiinipitoisuuksien vaihtelevan laitosten eri osissa ja eri laitoksilla tutkiessaan puupolttoaineen ja turpeen käsittelyn työhygienisiä ominaisuuksia kolmella lämpövoimalaitoksella. Erot

johtuivat polttoaineesta, polttoaineen laadusta, laitoksen rakenteesta ja materiaalin käsittelytavasta. Home- ja bakteeripitoisuudet olivat suurempia turpeella kuin puupolttoaineella. Suurin endotoksiinipitoisuus ( $45 \text{ ng/m}^3$ ) mitattiin vanhaa puupolttoainetta purettaessa. Lämmenneen polttoaineen todettiin aiheuttavan suurempia mikrobipitoisuuksia kuin tuoreen polttoaineen.

Metsätähteen käytön ongelmana on sen huono säilyvyys hakkeena. Lämpenemistä ja homeutumista saattaa esiintyä jo lyhyenkin varastointiajan jälkeen. Havupuusta tehty hake on kestävämpää kuin lehtipuuhake. Vaikka homeet viihtyvät parhaiten kosteassa, ei metsätähdehakkeen kosteudella kuitenkaan ole homeita lisäävää vaikutusta.

Metsätähteillä varastointi on olennainen osa hakkuutähteiden hankintaketjua ja logistiikkaa, ja sillä varmistetaan polttoaineen saatavuus vuoden kaikkina aikoina sekä parannetaan polttoaineen laatua.

Risutukkien osalta työhygieenisiä tutkimuksia ovat tehneet Jirjis & Nordén (42, 43), Jirjis (44) ja Hillebrand (45).

Jirjis & Nordén (42, 43) tutkivat Fiberpac 307- ja Wood Pac-risutukkikoneilla tehtyjen vihreiden ja ruskeiden risutukkien varastointia 6 ja 8 kk:n ajan. Näillä koneilla tehtyjen risutukkien koko on noin  $0,75 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  ja paino  $400 - 600 \text{ kg}$  (46). Varastointi ei vaikuttanut suuresti polttoaineen lämpöarvoon ja kuiva-ainetappiot olivat kohtuullisia ollen pienempiä kuin hakkeen ja pyöröpaalien varastoinnissa. Paalien kosteuspitoisuus väheni noin  $6 \%$  - yksikköä kuivumisen ollessa yhtä suuri ruskeilla paaleilla kuin vihreillä paaleilla. Mikrobikasvu oli ruskeissa paaleissa vähäisempää kuin vihreissä paaleissa. Näin ollen massatappiot olivat myös ruskeilla paaleilla pienempiä. Havaittiin myös, että mitä pidempi varastointiaika oli, sitä suurempia olivat massahäviöt. Massahäviöt syntyivät lähinnä ensimmäisten varastointikuukausien aikana. Mitattu maksimilämpötila varastoinnin aikana oli vihreillä paaleilla  $42 \text{ }^\circ\text{C}$  ja ruskeilla selvästi matalampi  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mikrobien määrä risutukeissa kasvoi varastoinnin aikana. Paalien käsittelyssä ja haketuksessa otettujen ilmanäytteiden tulokset osoittivat mikrobeja olevan  $0,7 - 1,2 \times 10^6 \text{ cfu/m}^3$ , jota ei kuitenkaan tutkimuksessa pidetty terveydelle vaarallisena pitoisuustasona.

Jirjis (44) on tutkinut myös metsätähteen varastointia pienempinä paaleina, kooltaan  $1,2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$ . Paalit varastoitiin peitettynä ja peittämättömänä kasana ulkona ja peittämättömänä sisällä ja niitä seurattiin 4 ja 10 kk:n kuluttua. Paalikasan peittämisellä oli oleellinen vaikutus siihen, kuinka kasat kuivuivat. Ulkona peitettyssä kasassa ja sisällä varastoidussa kasassa kosteuspitoisuus oli noin  $10 \%$  - yksikköä matalampi kuin ulkona peittämättömässä kasassa. Kuiva-ainehäviöt olivat suurimmat ulkona varastoiduissa peittämättömissä paaleissa ollen keskimäärin  $18,5 \%$ .

Mikrobeista mesofiiliset lisääntyivät sisätiloissa varastoiduissa paaleissa varastoinnin alussa varsin nopeasti, kun taas 4 kk:n jälkeen tilanne oli päinvastainen (44). Silloin ulkona varastoiduissa peittämättömissä kasoissa niiden pitoisuus oli korkein ja sisätiloissa varastoiduissa alhaisin. Mesofiilisten bakteerien pitoisuudet olivat kuitenkin suhteellisen korkeita kaikissa kasoissa,  $1,4 - 4,0 \times 10^9/\text{kg}$  kuiva-ainetta. Varastoinnin lopussa niiden lukumäärä oli selvästi vähentynyt kaikissa kasoissa. Termotoleranttien

osalta ei suurta eroa tapahtunut 4 kk:n aikana. Niiden määrä lisääntyi seuraavan 6 kk:n aikana ulkona olevissa kasoissa.

Tulokset osoittivat, että varastoitessa metsätähdettä paaleina 10 kk:n ajan saadaan laadultaan käyttökelpoista polttoainetta (44). Varastointi saattaa kuitenkin johtaa intensiiviseen mikrobiseen aktiivisuuteen ja siten suuriin kuiva-ainetappioihin ja pienentyneeseen energiasisältöön. Koska materiaali oli kuivaa varastoinnin lopussa, muodostui paaalien käsittelyssä ja haketuksessa huomattavaa pölynmuodostusta. Pöly koostui materiaalin pienhiukkasista, mutta myös mikrobeista. Siten näiden työvaiheiden työntekijöille suositeltiin hengityssuojainta, joka suodattaa yli 1 µm hiukkaset pois.

Hillebrand (45) mittasi mikrobipitoisuuksia murskatuista risutukeista sekä hengitysil-  
masta kuormaimen hytistä risutukkikasojen purkamisen ja murskauksen yhteydessä. Tutkimuskohteina olivat peittämättömät ja peitetyt sekä tiukkaan ja löyhään kasatut risutukkikasat. Risutukeista mitatut pitoisuudet olivat suuruudeltaan  $1 \times 10^6$  -  $30 \times 10^6$  cfu/g eli samaa suuruusluokkaa kuin aikaisemmin lähes tuoreista hakkuutäh-  
teistä mitatut pitoisuudet (47). Mikrobipitoisuudet eivät juurikaan olleet nousseet varas-  
toinnin aikana. Merkitsevää eroa peitettyjen ja peittämättömien kasojen välillä ei todet-  
tu. Mesofiilisten sienten pitoisuus tiiviisti ladotuissa kasoissa oli noin kaksinkertainen  
verrattuna harvaan ladottuihin kasoihin. Termotoleranttien sienten pitoisuuteen ei kaso-  
jen ladontatavalla havaittu olevan vaikutusta, kuten ei myöskään mesofiilisten baktee-  
rien ja termofiilisten aktinobakteerien pitoisuuksiin. Kasojen purkamisen yhteydessä  
ilmasta mitatut mikrobipitoisuudet kuormaimen hytissä olivat alhaiset,  $36 \times 10^3$  cfu/m<sup>3</sup>.  
Sen sijaan risutukkien murskauksen yhteydessä mitattu pitoisuus oli  $2 \times 10^6$  cfu/m<sup>3</sup>,  
mikä todettiin tarpeelliseksi huomioida arvioitaessa työntekijälle aiheutuvaa terveydel-  
listä riskiä.

Kantojen osalta ei tehdyssä kirjallisuushaussa löytynyt yhtään työhygieenistä tutkimus-  
ta.

### 3.3 RUOKOHELPI

Heinäkasveilla on tunnetusti allergisoivia vaikutuksia. Siitepölyhiukkanen on kooltaan  
10 - 50 µm. Sen allergiaa aiheuttavana aineena eli allergeenina on proteiini. Ihmisistä 10  
% on luontaisesti atooppisia. Yleisin allergiaa aiheuttavista kasveista on koivu, joka  
käsittää 26 % kasvien aiheuttamista allergioista. Heinistä yleisin allergian aiheuttaja on  
timotei. Ruokohelven viljelyalan osuus Suomessa on kuitenkin nykyisin vain noin 2 %  
timotein viljelyalasta.

Ruokohelven allergeenisuudesta tiedetään, että ristireagointi on tärkein siihen vaikutta-  
va tekijä (48). Allergian syntyy tarvitään geneettinen pohja ja ympäristöstä vapautuva  
allergeeni. Vaikutukset ovat yleensä immunologisesti IgE (ihmisen puolustusjärjestel-  
män välittäjäaine)-välitteisiä. Reaktio on allergiatyypiltään tyypin 1 yliherkkyysoire, jossa  
altistuminen tapahtuu hengitysteiden, ruansulatuskanavan tai ihon kautta. Tässä  
inflammatorisessa reaktiossa vapautuu histamiiniä, ja sen oireina ovat heinänuha, kuu-  
me, nokkosrokko, eriasteiset astman oireet ja pahimmassa tapauksessa anafylaktinen  
shokki.

### 3.4 TERVEYSVAIKUTUKSET

Biopolttoaineet saattavat sisältää useita tautia aiheuttavia, allergisoivia tai myrkyllisiä mikrobeja, kuten bakteereja, sieniä, viruksia ja loiseläinten kystiä sekä munia. Ne muodostavat suotuisan kasvu- ja lisääntymisalustan mikrobeille sisältämiensä ravinteiden ja kosteuden ansiosta. Biopolttoaineen koostumus, säilytyslämpötila, ikä, materiaali ja ilman kosteus sekä saatavilla olevan hapen määrä vaikuttavat siihen, kuinka paljon ja minkälaisia mikrobeja materiaalissa esiintyy, samoin kuin siihen, missä määrin mikrobit kykenevät lisääntymään (49).

Biopolttoaineissa esiintyville biologisille tekijöille voidaan altistua joko joutumalla suoraan kosketukseen materiaalin kanssa tai kosketuksiin ilmassa leijuvien, aerosolisoiutuneiden mikrobien ja niiden osasten, bioaerosolien, kanssa. Puhutaankin ns. primäärisistä ja sekundäärisistä patogeeneista, joista ensin mainittuun ryhmään lukeutuu tauteja aiheuttavia bakteereja, viruksia ja loisten munia, kun taas sekundäärisillä patogeeneilla tarkoitetaan mm. hengitysteitä ärsyttäviä ja allergiaa aiheuttavia mikrobeja ja näiden osasia. Orgaanisen pölyn mukana leijailevien sekundäärinen patogeeneiden ei juurikaan tiedetä aiheuttaneen infektioita. Terveydelle haitallisimpia ovat alle 5 µm:n kokoiset partikkelit, jotka kulkeutuvat alimpiin hengitysteihin eli alveoleihin saakka. Näiden osuus on noin 40 - 50 % kaikista orgaanisista pölyistä (50, 51).

Bioaerosolit ovat ilmassa liikkuvia, biologista alkuperää olevia hiukkasia, joihin lukeutuvat mm. bakteerit, virukset, aktinomykeettien ja sienten itiöt ja näiden rihmaston kappaleet, levät, siitepölyt, alkueläimet ja punkit osasineen. Koostumukseltaan bioaerosolit ovat hyvin vaihtelevia sisältäen eläviä ja kuolleita mikrobeja sekä erilaisia biologisesti aktiivisia osasia, kuten sienten ja bakteerien soluseinistä peräisin olevia glukaaneja ja endotoksiineja sekä muita toksiineja.

Hengitysteitse tapahtuvasta bioaerosolialtistuksesta voi olla seurauksena akuutteja keuhko-oireita, hengitystieallergia, krooninen keuhkoputkentulehdus tai astma. Hengitystieoireiden lisäksi korkeille mikrobipitoisuuksille altistuneilla on havaittu myös silmä- ja iho-oireita sekä ruoansulatuselinten oireita, kuten ripulia, pahoinvointia ja oksentelua. Altistuminen mikrobiologisille tekijöille tapahtuu tavallisesti hengityselinten, rikkiäisen ihon tai ruoansulatuselimistön kautta.

Vasteen laatu ja suuruus riippuvat mikrobilajista ja altisteiden pitoisuudesta sekä toisaalta yksilön vastustuskyvystä. Pelkän pitoisuuden perusteella ei välttämättä suoraan voida päätellä oireiden voimakkuutta, sillä kyky aiheuttaa haitallisia terveysvaikutuksia vaihtelee mikrobilajista toiseen. Lyhytaikainen korkeille pitoisuuksille altistuminen voi monessa tapauksessa olla haitallisempaa kuin pitkäaikainen altistuminen matalammille epäpuhtauspitoisuuksille. Altistuneiden oireita tai bioaerosolien haitallisia terveysvaikutuksia tutkittaessa on usein vaikeaa erottaa, mikä tekijä aiheuttaa mitään oireita tai sairauksia, sillä usein altistutaan samanaikaisesti monelle tekijälle. Monesti kyse voi olla myös tiettyjen altisteiden yhteisvaikutuksesta.

Seuraavassa on kuvailtu yleisimpiä biologisista haittatekijöistä aiheutuvia hengityselinten sairauksia ja oireita (52, 53):

### ***Limakalvojen ärsytys (MMI, Mucous Membrane Irritation) ja inflammaatio***

Toistuva altistuminen orgaaniselle pölylle voi aiheuttaa limakalvojen ärsytystä, joka näkyy silmien kutinana ja vuotamisena sekä nenän ja kurkunseudun ärsytyksenä. Tämä johtaa tulehdusvälittäjäaineiden vapautumiseen (50). Limakalvojen ärsytys ja inflammaatio ovat todennäköisesti seurausta pitkäaikaisesta altistumisesta matalille endotoksiinien tai muiden bioaerosolien pitoisuuksille (54).

### ***Bronkiitti ja krooninen obstruktiivinen keuhkosairaus***

Oireita ovat krooninen yskä, hengenahdistus, rakenteelliset keuhkojen toimintahäiriöt sekä lisääntynyt herkkyys mikrobi-infektioille. Sairaus saattaa olla seurausta endotoksiineille altistumisesta ja mahdollisesti suuremmille pitoisuuksille kuin, mitä tarvitaan MMI-oireisiin. Sairaus voi olla seurausta myös ei-spesifisistä reaktioista pölylle ja muille bioaerosoleille. Sieni-itiöiden merkitys on epäselvä. Tupakointia pidetään tärkeimpänä riskitekijänä kroonisen bronkiitin synnylle.

### ***Immunotoksiset sairaudet***

ODTS (Organic Dust Toxic Syndrome, orgaanisen pölyn aiheuttama toksinen oireyhtymä eli toksinen pneumoniitti) on akuutti sairaus, jonka oireet ilmestyvät ensimmäisenä työpäivänä noin 4 - 6 tuntia altistumisen jälkeen ja katoavat seuraavana päivänä. Oireita ovat lämmön nousu, kuiva yskä, vilunväreet, lihas- ja nivelkiput ja muut flunssan kaltaiset oireet. Oireet katoavat jatkuvassa altistumisessa, mutta palaavat heti, kun altistuminen alkaa uudelleen, esimerkiksi lomalta paluun jälkeen.

Eräät sienet, kuten *Aspergillus fumigatus*, erittävät myrkyllisiä mykotoksiineja. Näiden aiheuttamia sairauksia, kuten mykotoksikoosia, on opittu tutkimaan vasta viime vuosina.

### ***Allergiset sairaudet***

Allergisen alveoliitin (hypersensitiivinen pneumoniitti) akuutteihin oireisiin, jotka ilmaantuvat 4 - 8 tuntia altistumisen alkamisen jälkeen kuuluvat hengenahdistus, kuiva yskä, vilunväreet, kuume, päänsärky, pahoinvointi sekä lihas- ja nivelkiput. Oireet eivät katoa seuraavana päivänä, kuten ODTS:ssa. Kroonistuttuaan tauti voi aiheuttaa keuhkofibroosia.

Astmalla tarkoitetaan intensiivistä reagoitua jopa pienillekin haitta-aineiden pitoisuuksille, joille henkilö on aiemmin herkistynyt. Hengitystiehyet supistuvat astmakohtauksessa, jonka seurauksena on hengenahdistusta, hengityksen vinkumista, yskää ja puristavaa tunnetta rinnassa. Ajan myötä hengitystiehyet voivat jäädä pysyvästi supistuneiksi. Allergisessa astmassa seerumin IgE-vasta-aineen pitoisuus kohoaa.

Atooppinen henkilö saattaa herkistyä normaaleille, jokapäiväisille allergeenien pitoisuuksille siten, että hänelle kehittyy astma tai nuha (allerginen nuha) (54).

### *Systeemiset vaikutukset*

Endotoksiinit voivat aiheuttaa systeemisiä vaikutuksia, joista klassinen esimerkki on kuume. Muita systeemisiä vaikutuksia ovat lihas- ja nivelkipu sekä voimattomuuden tunne. On todennäköistä, että tulehduksen välittäjäaineet, jotka vapautuvat endotoksiinille altistumisen seurauksena, aiheuttavat nämä vaikutukset (52).

On yleisesti tunnettua, että sekä sahalaitoksilla että maanviljelysalalla voi syntyä hengityselinsairauksia, jotka tunnetaan yleisnimellä homepölykeuhkosairaus, joka on keuhkojen allerginen vaste sieni- ja sädesieni-itiöille. Myös sellutehtaiden hakeosastojen työntekijöillä on esiintynyt homepölykeuhkon oireita. Jäppinen ym. (55) tutkivat jo 1980-luvulla sellutehtaan ulkona tapahtuvan hakevarastoinnin yhteydessä syntyneitä terveydellisiä ongelmia, kun puskutraktorin kuljettajat saivat homepölykeuhkon oireita koivuhakekasalla työskennellessään. Oireet katosivat työviikon jälkeen. Oireiden perusteella tauti diagnosoitiin ammattitaudiksi, ns. hakekasasairaudeksi.

## 4 KENTTÄKOKKEIDEN TOTEUTUS

Kenttäkokeisiin valittiin uusista biopolttoainemateriaaleista ruokohelvi, risutukit ja kannot, jotka saattavat olla työntekijälle työhygieenisesti haitallisia.

Tutkimuksen alussa tehtiin havainto, että näiden materiaalien käsittelyssä pahiten altistuva työntekijä on kuorma-auton kuljettaja, joka lastaa tienvarteen kerätyt polttoainekasat ja purkaa ne voimalaitoksella. Tulevaisuudessa nämä kuljetusautot ovat varustetut suljetuilla ajohyteillä. Tutkimuksen kaikissa kohteissa oli kuorma-autoissa samaten hytit (kuva 1). Käytetty kuljetuskalusto oli varsin uutta, enintään neljän vuoden ikäistä. Muita mahdollisia altistujia ovat murskaustilassa työskentelevät henkilöt. Työhygieeniset mittaukset tehtiin työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä.

### 4.1 KENTTÄKOKKEET RUOKOHELVELLÄ

Ruokohelven osalta kenttämittaukset suoritettiin keväällä, jolloin ruokohelven käsittely on käynnissä. Mittaukset tehtiin 12.5.2005 Vaskiluodon Voiman Seinäjoen voimalaitoksella, jossa poltettiin ruokohelpeä turpeeseen ja puupolttoaineisiin sekoitettuna.

Ruokohelven murskaus yksinään on melko vaikeaa, minkä johdosta ruokohelpeen sekoitetaan yleensä puuta murskauksessa. Tässä tutkimuksessa voimalaitoksella ruokohelpipaalit murskattiin yhdessä kantojen kanssa. Kuvassa 2 on esitetty ruokohelpipaaleja ja kuvassa 3 ruokohelpipaalien ja kantojen murskausta voimalaitoksella.





*Kuva 1. Kuorman lastauksessa ja purkamisessa käytetyn kuorma-auton kuljettajan hytti.*



*Kuva 2. Paalattua ruokohelpeä Vaskiluodon Voiman Seinäjoen voimalaitoksella.*



*Kuva 3. Ruokohelpipaalien ja kantojen murskausta Vaskiluodon Voiman Seinäjoen voimalaitoksella.*

Työhygieeniset mittaukset tehtiin ruokohelven ja kantojen murskausvaiheesta. Tutkittavia työntekijöitä olivat mobiilimurskaimen kuljettaja sekä valmista murskettä voimalaitoksen polttoainetaskuun kuljettava pyöräkuormaajan kuljettaja. Molemmille kuljettajille tehtiin kahdet mittaukset. Murskain oli tyyppiä Morbark 1200XL.

Kenttämittaukset ruokohelven korjuun osalta peruuntuivat, koska suunnitellun korjuujakson aikana kohteen korjuuolosuhteet olivat huonot.

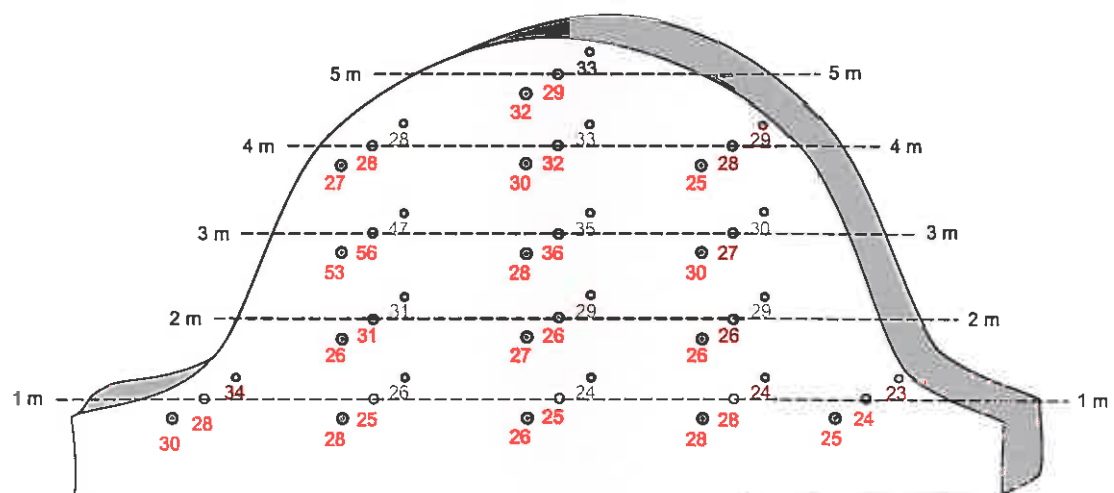
## 4.2 RISUTUKKIEN KENTTÄKOKKEET

Risutukkien osalta mittaukset suoritettiin UPM-Kymmene Oyj:n työmaalla Toivakassa ja Jämsänkosken Voima Oy:n voimalaitoksella.

Risutukkikasa koottiin 16.5.2005 Toivakassa. Timberjack 1490D-risutukkikoneella (kuva 4) tehtyjä tuoreita risutukkeja kasattiin noin 70 kpl aumaksi. Kasan lämpötilaa seurattiin varastointiaikana erityisten tietokoneohjelmoitujen termoelementtien (i-button) avulla ajalla 16.5.2005 - 10.10.2005. Antureiden sijainti aumassa ja saadut maksimilämpötilat on esitetty kuvassa 5. Anturit oli ohjelmoitu mittaamaan lämpötilaa puolen tunnin välein.



Kuva 4. Timberjack 1490D-risutukkikone (Kuva: Christer Backlund).



Kuva 5. Antureiden sijainti ja maksimilämpötilat (°C) kussakin mittauspisteessä Toivakan risutukkikasassa.

Jämsänkosken Voiman voimalaitoksella kuorma-auto purki kuorman suljetussa hallissa liikkuvalla kuljettimella, joka kuljetti risutukit murskaimelle. Murskain oli tyypiltään



Eko-Murskain LMK 1200 x 4200. Kuvassa 6 on esitetty voimalaitoksen kävelevä lattia, jolle kuljettaja purkaa kuormat. Lattiaa pitkin kuormat kulkeutuvat kohti murskainta.

Työhygieeniset mittaukset tehtiin kuljettajan hengitysvyöhykkeeltä 5 kk varastoidun risutukkikuorman kuorma-autoon lastaamisen yhteydessä 10.10.2005 työmaalla sekä kuorman purkamisen yhteydessä voimalaitoksella. Lisäksi tehtiin mittaukset voimalaitoksen terminaalista ajetuista kolmesta risutukkikuormasta niiden purkamisen yhteydessä. Nämä risutukit olivat myös noin puoli vuotta vanhoja.



*Kuva 6. Kävelevä lattia kuormien purkaukseen Jämsänkosken Voiman voimalaitoksella.*

### 4.3 KANTOJEN KENTTÄKOKKEET

Kantojen osalta mittaukset suoritettiin myös UPM-Kymmenen työmaalla ja Jämsänkosken Voiman voimalaitoksella. Kantojen käsittelyketjusta tutkittiin kahta eri työvaihetta: vuoden ajan varastoidun kantokasan lastausta kuorma-autoon työmaalla (kuva 7) sekä kuorman murskausta voimalaitoksella. Kantokuorman purku ja murskaus tapahtuivat voimalaitoksella samassa tilassa kuin risutukeilla.



Kuva 7. Kantojen lastaus UPM-Kymmenen työmaalla.

#### 4.4 MITTAUS- JA ANALYYSIMENETELMÄT

Ruokohelven, risutukkien ja kantojen työhygieenisissä mittauksissa työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä otetuista näytteistä analysoitiin hengittyvä pöly, endotoksiinit ja mikrobit. Näytteenotossa pumpput oli kiinnitetty valjaille mitattaville työntekijöille. Näytteiden analysoinnissa käytettiin kaikkien biopoltoaineiden suhteen samoja analyysimenetelmiä. Ruokohelven käsittelyn osalta mitattiin myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia. Mittaukset tehtiin aina tuulen alapuolella, jotta taustapitoisuuksilla ei olisi vaikutusta mittaustuloksiin.

Hengittyvän pölyn näytteet kerättiin suodattimille (Millipore) IOM-keräimellä käyttäen pumppuja (SKC 224, USA), jotka oli kalibroitu saippuakuplamenetelmällä tilavuusvirralle 2,0 – 2,5 l/min. Näytteenottoaika oli noin 1,5 tuntia.

Endotoksiininäytteet kerättiin IOM-keräimellä lasikuitusuodattimelle pumpulla (SKC 224), jonka tilavuusvirta oli 2,0 l/min. Näytteenottoaika oli yksi tunti. Endotoksiinipitoisuudet analysoitiin Limulus Amebosyytti Lysaatti-entsyymiin perustuvalla spektrofo-

tometrisellä menetelmällä (56). Pumput kalibroitiin saippuakuplamenetelmällä. Näytteenottoaika oli 1,5 tuntia.

Mikrobinäytteet otettiin IOM-keräimellä ja kerättiin vaahdolle ja polykarbonaattisuodattimille (Nuclepore) käyttäen pumppuja (SKC 224, USA), jotka oli kalibroitu saippuakuplamenetelmällä tilavuusvirralle 2,0 – 2,5 l/min (57). Näytteenottoaika oli 5 tuntia.

Mikrobinäytteistä analysoitiin mesofiiliset sienet Hagem-agarilta ja DG-18-agarilta, termotolerantit sienet Hagem-agarilta, mesofiiliset bakteerit THG-agarilta ja termofiiliset aktinobakteerit puolivahvalta Nutrient-agarilta. Näytteet inkuboitiin pimeissä inkubointikaapeissa seuraavasti: mesofiiliset sienet ja mesofiiliset bakteerit seitsemän vrk 25 °C:ssa, termotolerantit sienet viisi vrk 40 °C:ssa ja termofiiliset bakteerit kaksi vrk 55 °C:ssa. Inkuboinnin jälkeen maljoilla kasvaneet pesäkkeet laskettiin ja sienisuvut ja -lajit sekä aktinomykeetit tunnistettiin valomikroskooppisesti.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) kerättiin Tenax-adsorbenttia sisältäviin putkiin pumpuilla (SKC 222, USA), jotka oli kalibroitu saippuakuplamenetelmällä. Näytteet analysoitiin termodesorptiolla ja kaasukromatografialla käyttäen yhdisteiden tunnistamiseen massaselektiivistä detektoria.

#### 4.5 TYÖHYGIEENISET VERTAILUARVOT

Pölypitoisuuksia verrataan yleensä haitallisiksi tunnettuihin pitoisuuksiin (HTP) (58). Altistumista verrataan kahdeksan tunnin raja-arvoon ( $HTP_{8h}$ ), kun altistuminen kestää työvuoron ajan. Mikäli altistuminen on lyhytaikaista, verrataan mittaustuloksia viiden-toista minuutin raja-arvoon ( $HTP_{15min}$ ). Orgaanisen pölyn  $HTP_{8h}$ -arvo on  $5 \text{ mg/m}^3$  ja  $HTP_{15min}$ -arvo  $10 \text{ mg/m}^3$ . Kovan puun pölylle on Suomessa annettu raja-arvoksi  $5 \text{ mg/m}^3$ . Tulevaisuudessa raja-arvoa tullaan todennäköisesti alentamaan. Esimerkiksi Kanadassa kovan puun pölylle on raja-arvona  $1 \text{ mg/m}^3$  ja pehmeän puun pölylle  $5 \text{ mg/m}^3$ . Kovat puut ovat lehtipuita ja pehmeät puut havupuita.

Endotoksiinit ovat gram-negatiivisten bakteerien kuollessa vapautuvia soluseinän osia. Suomessa ei ole toistaiseksi ohjearvoa ilman endotoksiinipitoisuudelle. Alankomaissa ilman endotoksiinipitoisuuden ohjearvo  $200 \text{ EU/m}^3$  (EU = endotoxin unit, 0,1 ng) tuli voimaan vuonna 2001 ja kahden vuoden siirtymäajan jälkeen tänä arvona on ollut  $50 \text{ EU/m}^3$ .

Suomalaisen teollisuusympäristön sisäilman laadulle on esitetty seuraavia tavoitetasoja: kokonaishaihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC)  $< 5\,000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (vastaa ilman laatuluokkaa II, hyvä teollisuustaso) ja TVOC  $5\,000 - 40\,000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (vastaa ilman laatuluokkaa III, yleinen teollisuustaso) (59).

Mikrobeille ei ole olemassa työhygieenisiä raja-arvoja, mikä johtuu mm. siitä, että kaikkien mikrobien terveysvaikutuksia tai syntymekanismia ei tunneta. Lisäksi terveysvaikutuksen syntyyn vaikuttavat hyvin monet eri tekijät. Myöskään eri altisteiden yhteisvaikutuksia ei tunneta. Eräs mahdollisuus on verrata saatuja tutkimustuloksia muista työympäristöistä saatuihin vastaaviin tuloksiin. Suuntaa antavana pitoisuutena, jonka

ylittyessä hengitystieoireita alkaa esiintyä, on pidetty  $10^6$  cfu/m<sup>3</sup> (cfu = colony forming unit, pesäkkeen muodostava yksikkö) (60).

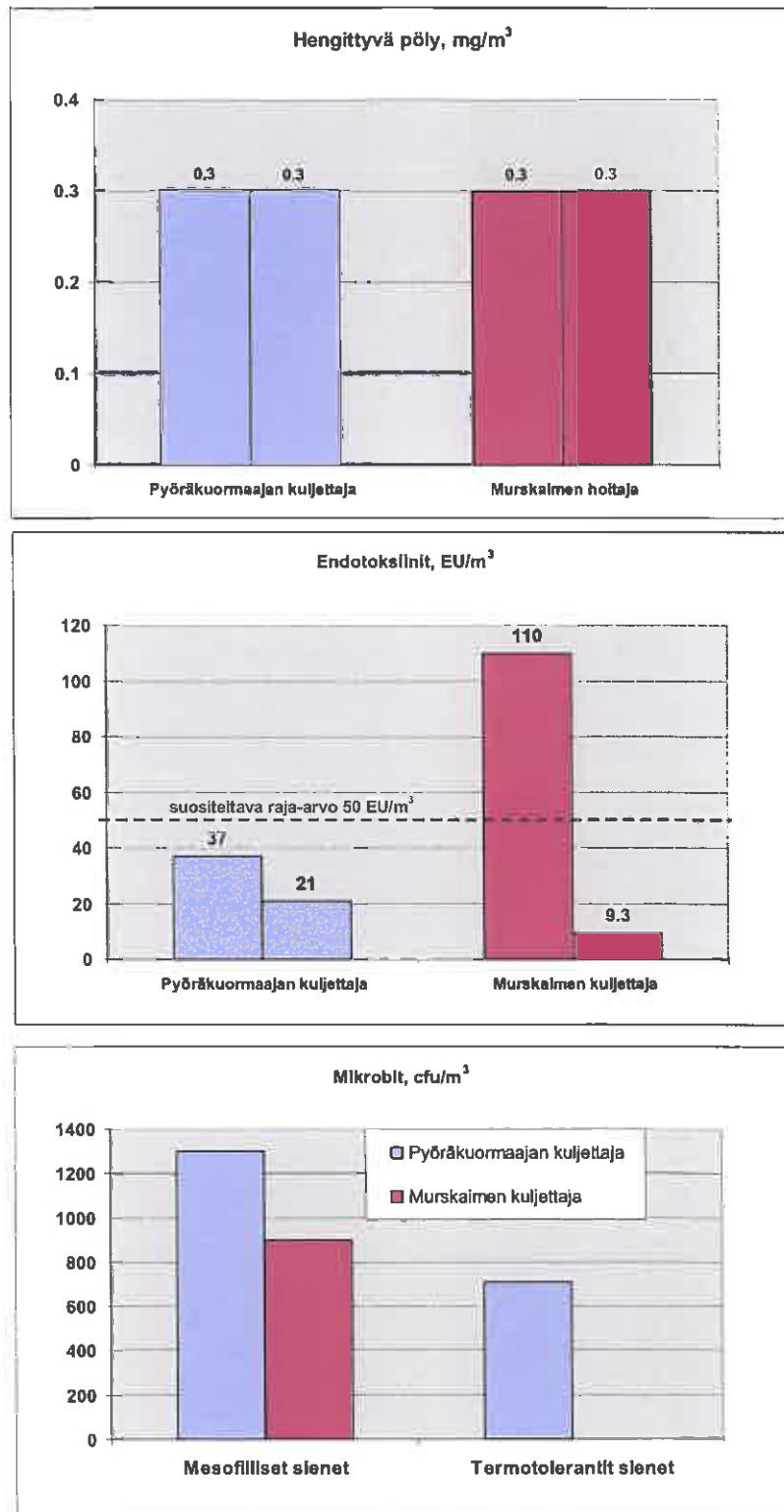
## 5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 ALTISTUMINEN KANTOJEN JA RUOKOHELVEN YHTEISKÄSITTELYSSÄ

Työhygieeniset mittaukset tehtiin ruokohelpipaalien ja kantojen murskauksen yhteydessä Vaskiluodon Voiman Seinäjoen voimalaitoksella. Tutkittavia työntekijöitä olivat mobiilimurskaimen kuljettaja sekä mursketta kuljettava pyöräkuormaajan kuljettaja.

Eri työntekijöille saadut analyysitulokset ovat esitetyt kuvassa 8. Hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat kaikilla mittauskerroilla pieniä verrattuna raja-arvoihin. Murskaimen kuljettajalle ensimmäisellä kerralla saadut endotoksiinipitoisuudet olivat varsin korkeat, mikä saattoi johtua häiriötilanteesta, jolloin hän joutui menemään murskaimen sisään vaihtamaan koneen seuloja (kuva 9). Kysymyksessä ei kuitenkaan voinut olla altistuminen ainoastaan ruokohelvelle, koska ruokohelpeä murskattiin yhdessä märkien kantojen kanssa.

Mikrobien kokonaispitoisuudet olivat pyöräkuormaajan kuljettajalla  $2 \times 10^3$  cfu/m<sup>3</sup> ja murskaimen kuljettajalla  $0,9 \times 10^3$  cfu/m<sup>3</sup>. Taulukossa 3 (kohta 5.4) on esitettyinä ruokohelven käsittelyn yhteydessä analysoidut mikrobien sukumääritykset. Näytteiden mikrobisto ei ollut tyypillistä ulkoilmalajistoa. *Aspergillus fumigatus* on tyypillinen mikrobi, joka aiheuttaa allergista alveoliittiä ja muita hengitysteiden infektoita. Tätä oli valtaosana pyöräkuormaajan kuljettajan kokonaismikrobistosta ja sen pitoisuus oli kohonnut. Tämä mikrobi viihtyy erityisesti märissä olosuhteissa. Myös *Eurotium* on mikrobi, joka aiheuttaa vastaavia sairauksia, mutta sen pitoisuus murskaimen kuljettajan näytteessä oli pieni. Todennäköisin mikrobilähde oli eloperäinen materiaali, mutta mikrobipitoisuudet eivät kuitenkaan olleet korkeita (kuva 8).



Kuva 8. Työntekijän hengitysvyöhykkeeltä mitatut pöly-, endotoksiini- ja mikrobipitoisuudet kantojen ja ruokohelpipaalien murskauksen yhteydessä Vaskiluodon Voiman Seinäjoen voimalaitoksella.



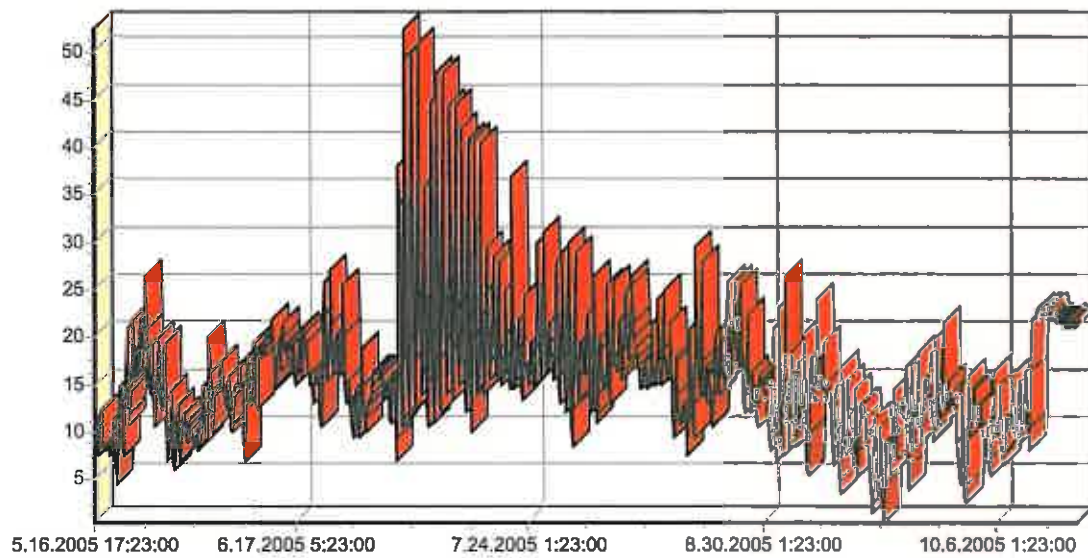


*Kuva 9. Murskaimen kuljettaja korjaamassa häiriötilannetta murskaimessa Vaskiluodon Voiman Seinäjoen voimalaitoksella.*

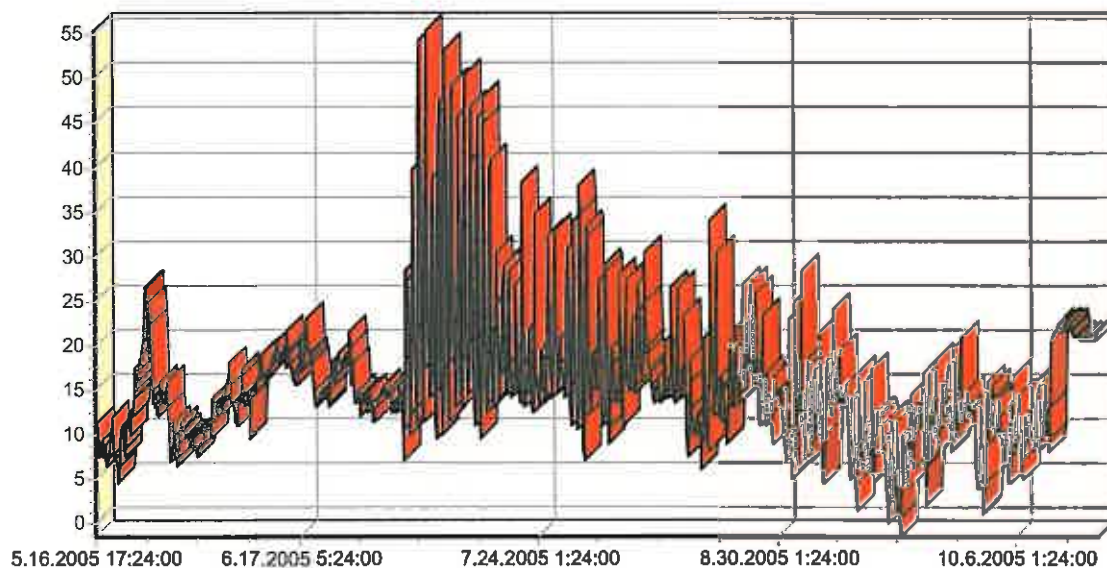
Mittauksissa saadut VOC-pitoisuudet ovat esitetyt liitteessä 1. Niiden kokonaispitoisuudet olivat erittäin alhaisia. Kokonaispitoisuuksien perusteella koneiden ohjaamotilat sijoittuvat ilman laatuluokkaan II, joka vastaa hyvää teollisuustasoa. Pääkomponentit ovat todennäköisesti peräisin käytettyjen koneiden pakokaasuista ja murskatuista kannoista.

## 5.2 ALTISTUMINEN RISUTUKKIEN KÄSITTELYSSÄ

Lämpötilat varastoidussa risutukkikasassa nousivat varastointiaikana varsin korkeiksi ja kohosivat kasassa ylöspäin. Kolmen metrin korkeudessa oli jopa 60 °C:een pitoisuuksia. Kuorma-auton kuljettaja kertoi nähneensä kyllä lämpimämpiäkin kasoja. Lämpötilojen kehittymistä kasassa varastoinnin aikana on kuvattu kahdella esimerkillä kuvissa 10 ja 11.



Kuva 10. Lämpötilan kehittyminen risutukkiauman (kuva 5) vasemman osan keskellä varastoinnin aikana työmaalla Toivakassa.



Kuva 11. Lämpötilan kehittyminen risutukkiauman (kuva 5) vasemman osan reunassa varastoinnin aikana työmaalla Toivakassa.

Tuore risutukkikasa oli aivan vihreä, kun taas 5 kk varastoitu kasa oli täysin ruskettunut. Tämä on havaittavissa kuvista 12 ja 13. Vihreiden paalien käyttö polttoaineena joillakin voimalaitoksilla on rajoitettua viheraineksen aiheuttaman kattilan likaantumisen vuoksi.





*Kuva 12. Tuore risutukkikasa 16.5.2005 työmaalla Toivakassa.*



*Kuva 13. Varastoitu (5 kk) risutukkikasa 10.10.2005 työmaalla Toivakassa.*

Risutukkien käsittelyn yhteydessä työmaalla otettiin yhdet työhygieeniset näytteet kustakin altisteesta. Saadut pöly-, endotoksiini- ja mikrobipitoisuudet on esitetty kuvassa 14. Hengittyvän pölyn pitoisuus oli matala ja endotoksiinipitoisuus myös varsin matala. Mikrobipitoisuudet olivat puolestaan selvästi kohonneita verrattuna muihin työympäristöihin, esimerkiksi jätteenkäsittelylaitoksilla tehtyihin mittauksiin. Kokonaismikrobipitoisuus oli  $0,6 \times 10^6$  cfu/m<sup>3</sup>, joka oli kertaluokaltaan noin kymmenkertainen Hillebrandin (45) kuormaimen hytistä risutukkikasan kuormauksen yhteydessä mittaamaan mikrobipitoisuuteen  $36 \times 10^3$  cfu/m<sup>3</sup>.

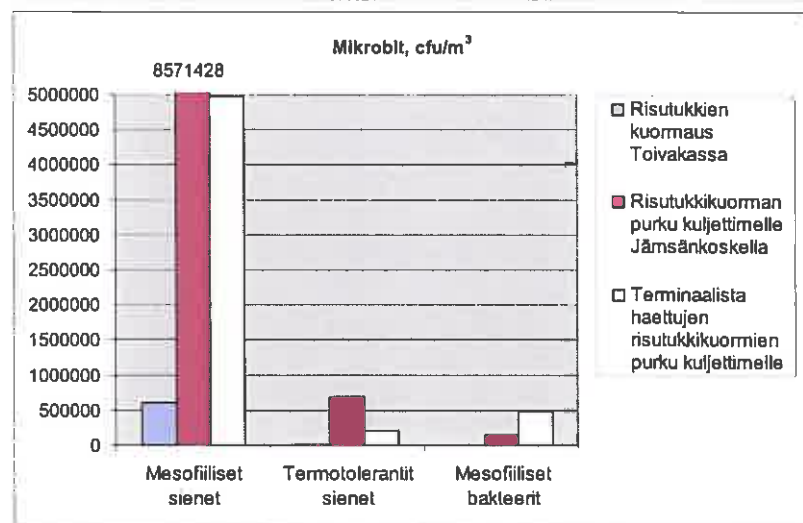
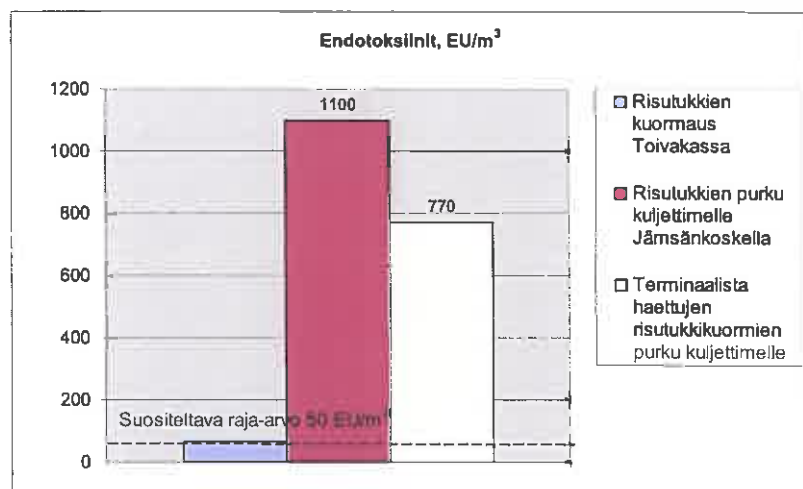
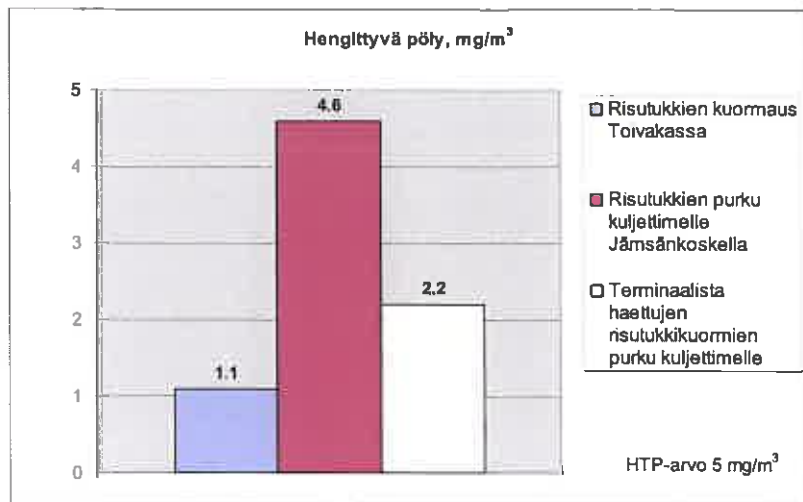
Jämsänkosken Voiman voimalaitoksella risutukkien purkamisen yhteydessä saadut pölypitoisuudet olivat korkeita, mutta alle annetun raja-arvon. Endotoksiini- ja mikrobipitoisuudet olivat erittäin korkeita. Analysoidut mikrobit ovat kaikki tyypillisiä puun homesieniä. Risutukkikuormien kokonaismikrobipitoisuudet ( $6 - 9 \times 10^6$  cfu/m<sup>3</sup>) olivat vähän korkeampia, mutta kuitenkin samaa suuruusluokkaa kuin Hillebrandin (45) saama mikrobipitoisuus ( $2 \times 10^6$  cfu/m<sup>3</sup>) ja Jirjis & Nordénin (42) saamat pitoisuudet ( $0,7 - 1,2 \times 10^6$  cfu/m<sup>3</sup>) risutukkien murskauksen yhteydessä.

Taulukossa 4 (kohta 5.4) on esitettynä risutukkien käsittelyn yhteydessä vapautuneiden mikrobien sukumäärytykset. Risutukkikasan kuormauksessa autoon työmaalla vapautui ilmaan *Rhizopus*-mikrobeja, joiden tiedetään aiheuttavan ODTS-sairautta. Kuten *Aspergillus fumigatus* myös *Trichoderma* aiheuttaa hengitysteiden infektoita. *Penicillium*, jota esiintyi runsaasti kaikissa mittauksissa, aiheuttaa astmaa ja allergista nenän tukkoisuutta. Mesofiilisten aktinobakteerien pitoisuudet olivat erittäin korkeita kaikissa mittauksissa. Ne ovat terveydelle erittäin haitallisia, sillä ne vapauttavat toksiineja, jotka ovat myrkyllisiä ihmiselle (60).

Kaikista risutukkikuormista otettiin kosteusnäytteet, joiden tulokset on esitetty taulukossa 1. Voimalaitoksen omasta terminaalista ajetut risutukit olivat huomattavasti kosteampia kuin Toivakasta tuodut risutukit. Risutukkien kosteudella näyttää olevan jonkinasteinen merkitys vapautuviin työhygieenisiin altisteisiin. Toivakasta tuodun kuivemman kuorman purkamisen yhteydessä vapautui huomattavasti enemmän mikrobeja, hengittyvää pölyä ja endotoksiineja kuin terminaalista tuotujen risutukkien purkamisessa. Kuivempi materiaali luonnollisesti "pölyää" enemmän.

Taulukko 1. Risutukkikuormien massat ja kosteuspitoisuudet Jämsänkosken Voiman voimalaitoksella.

Risutukkikuorma	Massa (kg)	Kosteus (%)
Kuorma 1 (Toivakasta)	23 130	27
Kuormat 2 – 4 (terminaalista), kokoomanäyte	87 900	43



Kuva 14. Pöly-, endotoksiini- ja mikrobipitoisuudet risutukkien käsittelyn yhteydessä.

### 5.3 ALTISTUMINEN KANTOJEN KÄSITTELYSSÄ

Kantojen lastaamisen yhteydessä UPM-Kymmenen työmaalla tehtiin yksi työhygieeninen mittaus, jonka tulokset on esitetty kuvassa 15. Hengittyvän pölyn pitoisuus oli huomattavasti kohonnut, kuten myös endotoksiinipitoisuus. Mikrobipitoisuudet olivat selvästi korkeita. Kokonaismikrobipitoisuus oli  $37 \times 10^3$  cfu/m<sup>3</sup>. Erityisesti *Penicillium*- ja *Trichoderma*-suvut esiintyivät näytteissä valtaosana (taulukko 4, kohta 5.4). Aktinobakteeripitoisuudet olivat pienempiä kuin risutukkien käsittelyn yhteydessä, mutta kuitenkin korkeita.

Kantolastin purkamisen yhteydessä Jämsänkosken Voiman voimalaitoksella tehtiin niin ikään yksi työhygieeninen mittaus. Tulokset on esitetty kuvassa 15. Hengittyvän pölyn pitoisuus ylitti sallitun raja-arvon. Endotoksiinipitoisuus oli erittäin korkea. Mikrobipitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia kuin lastaamisen yhteydessä. Kokonaismikrobipitoisuus oli  $0,8 \times 10^6$  cfu/m<sup>3</sup>. Mesofiilisisistä sienistä valtalajina oli *Penicillium* (taulukko 4, kohta 5.4). Aktinobakteereja oli kertaluokaltaan noin 10-kertainen määrä verrattuna lastaukseen työmaalla. Kuva 17 esittää murskaimessa olevia kantoja.

Voimalaitokselle tuoduista kahdesta kantokuormasta otettiin kosteusnäytteet, joista tehdyn kokoomanäytteen kosteus oli 27 % (taulukko 2). Kantolastin purkuvaiheessa kaikki mitatut altistepitoisuudet ylittivät ohje-arvot. Kannot olivat kuivia ja niiden käsittely vaatii mekaanisesti voimakkaampia työvaiheita kuin esimerkiksi risutukeilla. Näin ollen myös ilmaan vapautuu paljon leijuvia terveydelle haitallisia tekijöitä.

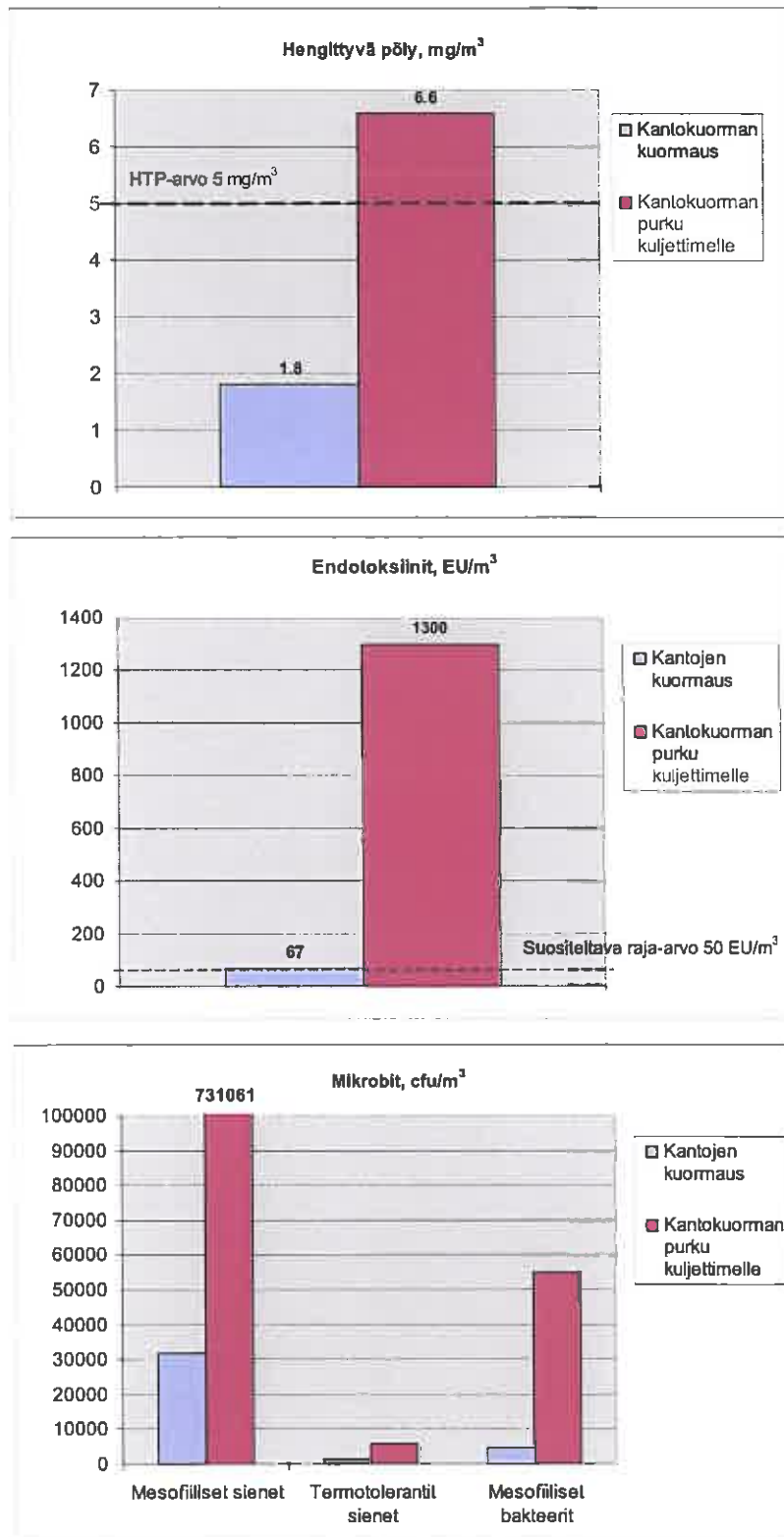
Taulukko 2. Kantokuormien massat ja kosteudet Jämsänkosken Voiman voimalaitoksella.

Kantokuorma	Massa (kg)	Kosteus (%)
Kuormat 1 – 2, kokoomanäyte	38 940	27

### 5.4 MIKROBISUVUT JA -LAJIT

Bakteerit ja sienet nimetään perinteiden mukaan kahdella nimellä, joista ensimmäinen on suvun nimi ja toinen on lajin nimi. Eräät mikrobit eivät itsessään ole terveydelle haitallisia, mutta ne erittävät terveydelle myrkyllisiä toksineja. Myös altistumisajalla on merkitystä, sillä lyhytaikainen korkeille pitoisuuksille altistuminen on haitallisempaa, kuin pitkäaikainen altistuminen matalammille pitoisuuksille (49).

Taulukossa 3 on esitetty kantojen ja ruokohelven yhteiskäsittelyssä ja taulukossa 4 risutukkien ja kantojen käsittelyssä analysoidut mikrobisuvut ja niiden pitoisuudet.



Kuva 15. Kantojen käsittelyn yhteydessä mitatut pöly-, endotoksiini- ja mikrobipitoisuudet.





Kuva 16. Kantoja murskaimessa Jämsänkosken Voiman voimalaitoksella.

Taulukko 3. Mikrobisukumääritykset kantojen ja ruokohelven yhteiskäsittelyssä. Työntekijät: 1 - pyöräkuormaajan kuljettaja, 2 - murskaimen kuljettaja.

Näyte	Mesofiiliset sienet				Termotolerantit sienet	
	Hagem-agar		DG18-agar		Hagem-agar	
1	<b>Yhteensä</b>	<b>693</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>607</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>709</b>
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	693	<i>A. fumigatus</i>	433	<i>A. fumigatus</i>	709
			<i>Penicillium</i>	87		
			<i>Geomyces</i>	87		
2	<b>Yhteensä</b>	<b>138</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>760</b>	<b>Yhteensä</b>	- <sup>1)</sup>
	Hiivat	138	<i>Eurotium</i>	69		
			<i>Geomyces</i>	415		
			Hiivat	207		
			<i>Penicillium</i>	69		
Näyte	Mesofiiliset bakteerit		Termofiiliset aktinobakteerit			
	THG-agar		½ vahva Nutrient-agar			
1	<b>Yhteensä</b>	- <sup>1)</sup>	<b>Yhteensä</b>	- <sup>1)</sup>		
2	<b>Yhteensä</b>	- <sup>1)</sup>	<b>Yhteensä</b>	- <sup>1)</sup>		

<sup>1)</sup> pitoisuus alle määrittäysrajan



Taulukko 4. Mikrobisukumääritykset risutukkien ja kantojen käsittelyssä. Työvaihe: 1 - risutukkien kuormaus autoon Toivakassa, 2 - risutukkikuorman purku autosta kuljettimelle Jämsänkoskella (Toivakasta), 3 - risutukkikuormien purku kuljettimelle Jämsänkoskella (terminaalista), 4 - kantojen kuormaus autoon työmaalla, 5 - kantokuorman purku kuljettimelle Jämsänkoskella.

Näyte	Mesofiliset sienet		Termostolerantit sienet			
	Hagem-agar	DG18-agar	Hagem-agar			
1	<b>Yhteensä</b>	<b>236 876</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>364 916</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>21 126</b>
	<i>Aspergillus niger</i>	19 206	<i>Aspergillus niger</i>	44 814	<i>Aspergillus fumigatus</i>	3 841
	<i>Penicillium</i>	211 268	<i>Penicillium</i>	320 102	<i>Aspergillus niger</i>	16 645
	steriilit	6 402			<i>Rhizopus</i>	640
2	<b>Yhteensä</b>	<b>4 880 952</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>3 690 476</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>681 819</b>
	<i>Aspergillus niger</i>	833 333	<i>Aspergillus niger</i>	1 309 524	<i>Aspergillus fumigatus</i>	32 468
	<i>Penicillium</i>	3 690 476	<i>Eurotium</i>	238 095	<i>Aspergillus niger</i>	649 351
	<i>Trichoderma</i>	357 143	<i>Penicillium</i>	2 142 857		
3	<b>Yhteensä</b>	<b>2 429 378</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>2 542 373</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>202 877</b>
	<i>Aspergillus niger</i>	112 994	<i>Aspergillus niger</i>	197 740	<i>Aspergillus fumigatus</i>	130 971
	<i>Penicillium</i>	2 062 147	<i>Penicillium</i>	2 259 887	<i>Aspergillus niger</i>	41 089
	<i>Trichoderma</i>	254 237	<i>Trichoderma</i>	84 746	<i>Penicillium</i>	30 817
4	<b>Yhteensä</b>	<b>14 611</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>17 047</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>1 353</b>
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	541	<i>Aspergillus fumigatus</i>	271	<i>Aspergillus fumigatus</i>	812
	hiivat, vaalea	271	<i>Cladosporium</i>	1 353	steriilit	541
	<i>Penicillium</i>	11 364	<i>Penicillium</i>	14 340		
	steriilit	1 623	<i>Rhinocladiella</i>	271		
	<i>Trichoderma</i>	812	<i>Trichoderma</i>	812		
5	<b>Yhteensä</b>	<b>303 031</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>428 030</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>5 682</b>
	<i>Oidiodendron</i>	45 455	<i>Oidiodendron</i>	49 242	<i>Aspergillus fumigatus</i>	2 273
	<i>Penicillium</i>	253 788	<i>Penicillium</i>	378 788	<i>Aspergillus niger</i>	758
	<i>Trichoderma</i>	3 788			<i>Penicillium</i>	1 136
				steriilit	1 515	

Taulukko 4 (jatkuu)

Näyte	Mesofiiliset bakteerit THG-agar	Termofiiliset aktinobakteerit ½ vahva Nutrient-agar
1	Yhteensä 2 817 Aktinobakteerit 2 817	Yhteensä - <sup>1)</sup>
2	Yhteensä 146 933 Aktinobakteerit 110 468 Muut bakteerit 36 465	Yhteensä - <sup>1)</sup>
3	Yhteensä 480 226 Aktinobakteerit 295 326 Muut bakteerit 184 900	Yhteensä - <sup>1)</sup>
4	Yhteensä 4 762 Aktinobakteerit 2 381 Muut bakteerit 2 381	Yhteensä - <sup>1)</sup>
5	Yhteensä 54 805 Aktinobakteerit 46 547 Muut bakteerit 8 258	Yhteensä - <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> pitoisuus alle määrittäysrajan

## 6 SUOJAUTUMINEN

Työhygieenisten mittausten tulosten perusteella voidaan todeta, että on olemassa ilmeinen riski, että tutkituista biopolttoaineista risutukkien ja kantojen tietyissä käsittelyvaiheissa työntekijät altistuvat terveyttä vaarantaville tekijöille haitallisessa määrin. Tutkitut työvaiheet olivat vain ko. polttoaineiden lastaus ja purkaus. Ruokohelven osalta suojautumissuosituksia ei tämän tutkimuksen perusteella voida antaa, koska korjuuvaihetta ei voitu tutkia kohteen huonojen korjuuolosuhteiden vuoksi suunnitellun korjuujakson aikana. Murskausvaiheen mittaukset puolestaan eivät kuvaa todellista altistumista, sillä ruokohelven kanssa murskattiin märkiä kantoja. Tämä tutkimus oli vain alkukartoitus, joten lisätutkimuksia tarvitaan.

Suojautumissuosituksina on, että kuormaajien tulisi käyttää kantojen lastaus- ja purkuvaiheessa sekä risutukkien purkuvaiheessa henkilökohtaista P3-luokan suodattimella varustettua hengityksen suojainta. Myös murskaimen kuljettajan olisi suositeltavaa käyttää tällaista suojainta häiriötilanteissa. Tämän luokan suodatin suojaa sekä pölyiltä että pienemmiltä mikrobeilta ja endotoksiineilta. Paras vaihtoehto olisi puhaltimella varustettu suojain, mutta riittävän suojan antaa myös puolinaamari. Suojain on tehokas vain, jos sitä käytetään ja huolletaan oikein. Lisäksi sitä tulee käyttää aina epäiltäessä työilmassa olevan epäpuhtauksia. Työntekijät on koulutettava suojainten käyttöön ja suojainten käytöstä ja säilytyksestä on huolehdittava asianmukaisesti. Suojakäsineiden käyttö on myös suositeltavaa, koska mikrobit saattavat kulkeutua elimistöön myös esimerkiksi haavojen kautta (62).

Kuljettajien tulisi huolehtia ilmasuodatinlaitteiston asianmukaisesta huollosta ja puhdistuksesta. Suodattimet tulisi vaihtaa laitevalmistajan antamin vaihtovälein. Useilla suoda-

tinvalmistajilla on jo olemassa tietoa mm. mikrobien asettamista vaatimuksista suodattimille. Erään tutkimuksen mukaan jopa puolet koneiden raitisilmasuodattimista on epäkunnossa. Työkoneiden ovet ja ikkunat tulisi pitää kiinni ja yleisestä puhtaudesta ja siisteystydestä tulisi huolehtia. Laitosympäristön yleinen järjestys (kuten logistiset ratkaisut), puhtaus ja siisteys vähentävät pölyjä ja motivoivat osaltaan parempiin ja turvallisempiin työtapoihin. Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että myös henkilökohtaisilla työtavoilla voi vaikuttaa olennaisesti altistumiseen. Työntekijöiden tulee pitää huolta henkilökohtaisesta hygieniasta. Esimerkiksi kädet tulisi pestä mahdollisimman usein ja aina ennen taukoja. Tupakointi työmaa-alueella tulisi kieltää mm. mahdollisen pölyräjähdysvaaran johdosta. Työvaatteet on vaihdettava pois työvuoron päätyttyä ja ne on säilytettävä erillään siviilivaatteista. Töihin tulo ja töistä lähtö tulisi järjestää siten, että työntekijät siirtyisivät töihin tullessaan aina puhtaammasta tilasta ”likaisempaan” ja vastaavasti töistä lähtiessään ”likaisemmasta” puhtaampaan. Näin työvaatteet jäisivät ”likaisemmalle” puolelle ja siviilivaatteet puhtaammalle puolelle. Tilat erotettaisiin peseytymistiloilla (63 - 64).

Jämsänkosken Voiman voimalaitoksella erityisen ongelmallinen alue työhygienian kannalta on rakennus, jossa kuormat puretaan kävelevälle lattialle. Siellä oleskelua tulisi kaikin tavoin, myös purkujen välillä, välttää. Tämä alue olisi suositeltavaa muodostaa kokonaan omaksi tilaksi, koska paikallispoistoilla on mahdotonta hallita niin suuren alueen ilmajäätymiä.

Turvalliseen ja terveelliseen työympäristöön on vaikuttamassa hyvin monia eri tekijöitä. Lähtökohdana on aina itse saastuttavaan tekijään vaikuttaminen eli tässä tapauksessa käsiteltävien biopoltoaineiden laatuun ja varastointiolosuhteisiin vaikuttaminen, esimerkiksi varastointiaika olisi saatava mahdollisimman lyhyeksi. Toisena suojautumisvaihtoehtona tulevat tekniset ratkaisut, kuten ilmastoinnit ja koteloinnit, joiden tarkoituksena on estää epäpuhtauksien leviäminen. Viimeisenä suojautumiskeinona ovat henkilökohtaiset suojaimet. Terveellinen työympäristö on kaikkien etu.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOSUUNNITELMAT

Biopoltoaineiden käytön lisääntyessä on erittäin tärkeää tuntee niiden työhygieeniset vaikutukset terveydelle. Työssä selvitettiin alkukartoituksena uusista biopoltoaineista ruokohelven, risutukkien ja kantojen käsittelyn työvaiheiden mahdollisia riskejä määrittämällä työntekijän hengitysvyöhykkeeltä eri työhygieenisia epäpuhtauskomponentteja. Tuloksiksi saatiin kantojen ja risutukkien osalta kohonneita ja korkeita pitoisuuksia annettuihin raja-arvoihin tai muissa työympäristöissä saatuihin arvoihin verrattuna.

Ruokohelven murskauksen yhteydessä tehdyt mittaukset eivät anna todellista kuvaa työntekijän altistumisesta, sillä ruokohelpeä murskattiin yhdessä märkien kantojen kanssa. Mittauksissa kuitenkin saatiin murskaimen kuljettajalta korkea endotoksiinipitoisuus. Tämä saattoi johtua häiriötilanteesta, jossa hän joutui menemään murskaimen sisälle. Pöly- ja mikrobipitoisuudet olivat puolestaan pieniä. Ruokohelven murskauksen

työhygieenisten vaikutusten selvittämiseksi mittaukset tulisikin suorittaa pelkän ruokohelven murskauksesta. Lisäksi tulisi selvittää toisen mahdollisesti riskialttiin työvaiheen eli ruokohelven pelloilta korjuun työhygieeniset vaikutukset eli suorittaa mittaukset korjuutilanteesta. Näiden lisämittausten avulla voitaisiin mahdollisesti selvittää epätyypillisten mikrobien alkulähde. Mahdolliset materiaalianalyysit tuoreesta ja varastoidusta ruokohelpipaalista voisivat olla myös tässä hyödyllisiä.

Risutukkien mittauksissa käytetyt mittausajat sekä risutukkien lastauksessa Toivakassa että risutukkien purkamisessa Jämsänkosken voimalaitoksella olivat liian lyhyet riittävän luotettavien tulosten saamiseksi. Muiden mittausten perusteella oli kuitenkin selvää, että purkaminen voimalaitoksella on erittäin haitallista työntekijän terveydelle. Kuorma-autojen hyttien tiiviys ja raitisilmasuodattimet tulee tarkistaa sekä huoltaa säännöllisesti. Vastaanottohallissa on epäpuhtauksien leviämisen estämiseksi välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin. Tutkimus kohdistui vain peittämättömiin risutukkikasoihin.

Kantojen osalta oli havaittavissa korkeita epäpuhtauspitoisuuksia jo lastaamisen yhteydessä ja kaikkien altisteiden osalta purkamisessa. Jatkotutkimuksena olisi suositeltavaa tehdä mittauksia kantojen keräämisen yhteydessä ja ottaa myös itse kannoista materiaalinäytteitä.

Tutkimuksessa alkukartoituksena saadut tulokset osoittavat, että tutkimusta tulisi jatkaa. Kaikkien kolmen tutkitun biopoltoaineen käsittelyn osalta tarvitaan enemmän mittauksia ja tutkimusta epäpuhtauksien alkuperän ja niiden kehittymisen määrittämiseksi. Myös risutukkien murskauksessa ulkona tulisi tehdä työhygieeniset mittaukset, koska murskaus tapahtuu pääasiassa ulkona kaikkialla Suomessa.

Riskinarviointi ruokohelven, risutukkien ja kantojen osalta on vaikeaa, koska mm. aikaisempia vastaavia tutkimuksia ei tutkimusalueelta ole tehty. Näin ollen tilastollinen tarkastelu ei ole mahdollista. Puutteet näytteenotossa sekä luonnollisesti raja-arvojen puuttuminen vaikeuttavat riskin arviointia ja hallintaa.

Lisätutkimusten tulosten perusteella olisi suositeltavaa järjestää työnjohdon ja työntekijöiden koulutusta. Kuorma-autonvalmistajat ovat alkaneet jo tiedostaa mikrobiongelman ja siten tätä tietoa tulee siirtää myös urakoitsijoille.

## 8 YHTEENVETO

Tavoitteena oli alkukartoituksena selvittää uusista biopolttoaineista ruokohelven, risutukkien ja kantojen käsittelyketjujen eri työvaiheiden mahdollisia työhygieenisiä riskejä työntekijöiden terveydelle sekä tulosten perusteella laatia ohjeistus turvallisemmista työmenetelmistä ja torjuntatoimenpiteistä. Työ rajattiin koskemaan biologisia altisteita. Biopolttoaineiden käytön lisääntyessä on erittäin tärkeää tuntea niiden työhygieeniset vaikutukset terveydelle.

Työ käsitti kirjallisuuskatsauksen biopolttoaineiden, lähinnä hakkuutähteiden ja risutukkien, työhygieniatutkimuksista, sekä työhygieenisiä mittauksia kenttäkokeissa ruokohelven, risutukkien ja kantojen käsittelystä eri työvaiheiden riskien määrittämiseksi.

Biopolttoaineiden käsittelyn työhygieniaan liittyviä tutkimuksia on tehty rajoitetusti, lähinnä ruotsalaisten ja suomalaisten toimesta ja liittyen lähinnä polttoaineiden varastointiin. On yleisesti tunnettua, että sekä sahalaitoksilla että maanviljelysalalla voi syntyä hengityselinsairauksia, jotka tunnetaan yleisnimellä homepölykeuhkosairaus. Myös sellutehtaiden hakeosastojen työntekijöillä on esiintynyt homepölykeuhkon oireita. Lisäksi hakevarastoinnin yhteydessä syntyneitä terveydellisiä ongelmia on diagnosoitu ammattitaudiksi, ns. hakekasasairaudeksi. Puupellettien ja -brikettien valmistuksessa ja käsittelyssä on ruotsalaisissa tutkimuksissa todettu ilmassa olevien pölypitoisuuksien olevan korkeita ylittäen monin kerroin pölypitoisuudelle annetun raja-arvon. VTT:n aikaisemmassa tutkimuksessa sahanpurukasan käsittelyssä todettiin pöly-, endotoksiini- ja mikrobipitoisuudet työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä korkeiksi.

Varastoinnissa puupolttoaineet, niiden sisältämä puuaines, kuori ja vihermassa ovat alttiina biologisille ja kemiallisille reaktioille ja sienten aiheuttamalle hajotustoiminnalle. Metsätähteen käytön ongelmana on sen huono säilyvyys hakkeena. Lämpenemistä ja homehtumista saattaa esiintyä jo lyhyenkin varastointiajan jälkeen. Varastoidun puubiomassahakkeen käsittelyn mikrobiologisiin riskeihin vaikuttavat sisäiset tekijät kuten kosteuspitoisuus, puupolttoaineen sisältämät ainesosat, kuten neulaset ja kuori, sekä partikkelikoko. Ulkoisia tekijöitä ovat vastaavasti varastointiolosuhteet, kuten ilmastus, tiivistys ja peittäminen, varastointiaika, varaston koko ja muoto sekä ympäristöolosuhteet.

Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että metsätähteen varastointi paaleina saattaa johtaa intensiiviseen mikrobiseen aktiivisuuteen ja siten suuriin kuiva-ainetappioihin ja pienentyneeseen energiasisältöön. Materiaalin ollessa kuivaa varastoinnin lopussa muodostuu paalien käsittelyssä ja haketuksessa huomattavaa pölynmuodostusta. Pöly sisältää materiaalin pienhiukkasia, mutta myös mikrobeja. Risutukkien haketuksen ja murskauksen yhteydessä on saatu ilman mikrobipitoisuuksiksi  $1 - 2 \times 10^6$  cfu/m<sup>3</sup>. Risutukkikasojen purkamisen yhteydessä on kuormaimen hytistä mitattu mikrobipitoisuudeksi  $36 \times 10^3$  cfu/m<sup>3</sup>.

Tässä tutkimuksessa kenttäkokeiden työhygieeniset mittaukset tehtiin toukokuussa ruokohelven ja kantojen murskausvaiheesta Vaskiluodon Voiman Seinäjoen voimalaitoksella. Tutkittavina työntekijöinä olivat mobiilimurskaimen kuljettaja ja mursketta voimalaitoksen taskuun kuljettava pyöräkuormaajan kuljettaja. Risutukkien osalta mittaukset tehtiin syksyllä sekä työmaalla Toivakassa risutukkikasan kuorma-autoon lastaamisen että tämän kuorman Jämsänkosken Voiman voimalaitokselle purkamisen yhteydessä. Lisäksi mittauksia tehtiin terminaalista ajetuista risutukkikuormista. Kantojen käsittelyketjun työvaiheista tutkittiin varastoidun kantokasan lastaamista kuorma-autoon työmaalla ja kuorman purkamista Jämsänkosken Voiman voimalaitoksella. Työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä otetuista näytteistä analysoitiin hengittyvän pölyn, endotoksiinien ja mikrobien pitoisuudet. Ruokohelven käsittelyn osalta mitattiin myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia.

Tuloksiksi saatiin kantojen ja risutukkien osalta kohonneita ja korkeita pitoisuuksia annettuihin raja-arvoihin tai muissa työympäristöissä saatuihin arvoihin verrattuna.

Risutukkien käsittelyn yhteydessä työmaalla hengittyvän pölyn pitoisuus  $1 \text{ mg/m}^3$  oli matala, samoin kuin endotoksiinipitoisuus  $50 \text{ EU/m}^3$ . Mikrobipitoisuudet olivat puolestaan selvästi kohonneita verrattuna muihin työympäristöihin. Kokonaismikrobipitoisuus oli  $0,6 \times 10^6 \text{ cfu/m}^3$ . Voimalaitoksella risutukkien purkamisen yhteydessä saadut endotoksiini- ja mikrobipitoisuudet olivat erittäin korkeita. Endotoksiinipitoisuudet olivat  $800 - 1\,100 \text{ EU/m}^3$  ja kokonaismikrobipitoisuudet  $6 - 9 \times 10^6 \text{ cfu/m}^3$ . Risutukkien käsittelyssä vapautui ilmaan *Rhizopus*-mikrobeja, joiden tiedetään aiheuttavan ODTS-sairautta. Kuten *Aspergillus fumigatus* myös *Trichoderma* aiheuttaa hengitysteiden infektoita. *Penicillium*, jota esiintyi runsaasti kaikissa mittauksissa, aiheuttaa astmaa ja allergista nenän tukkoisuutta. Mesofiilisten aktinobakteerien pitoisuudet olivat erittäin korkeita kaikissa mittauksissa. Ne ovat terveydelle erittäin haitallisia, sillä ne vapauttavat ihmiselle myrkyllisiä toksineja.

Risutukkien purkaminen voimalaitoksella on erittäin haitallista työntekijän terveydelle. Mittauksissa käytetyt mittausajat sekä risutukkien lastauksessa työmaalla että risutukkien purkamisessa voimalaitoksella olivat kuitenkin liian lyhyet riittävän luotettavien tulosten saamiseksi. Kuorma-autojen hyttien tiiviys ja raitisilmasuodattimet tulee tarkistaa sekä huoltaa säännöllisesti. Vastaanottohallissa on epäpuhtauksien leviämisen estämiseksi välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin.

Kantojen lastaamisen yhteydessä hengittyvän pölyn pitoisuus oli hiukan kohonnut, kuten myös endotoksiinipitoisuus. Mikrobipitoisuudet olivat selvästi kohonneita. Kokonaismikrobipitoisuus oli  $37 \times 10^3 \text{ cfu/m}^3$ . *Penicillium*- ja *Trichoderma*-suvut esiintyivät näytteissä valtaosana. Aktinobakteeripitoisuudet olivat pienempiä kuin risutukkien käsittelyn yhteydessä, mutta kuitenkin korkeita. Kantolastin purkamisen yhteydessä voimalaitoksella hengittyvän pölyn pitoisuus ylitti sallitun raja-arvon  $5 \text{ mg/m}^3$ . Endotoksiinipitoisuus  $1\,300 \text{ EU/m}^3$  oli erittäin korkea. Mikrobipitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia kuin kantojen lastaamisen yhteydessä. Kokonaismikrobipitoisuus oli  $0,8 \times 10^6 \text{ cfu/m}^3$ . Mesofiilisisistä sienistä valtalajina oli *Penicillium*. Kantojen osalta oli havaittavissa korkeita epäpuhtauspitoisuuksia jo lastaamisen yhteydessä ja kaikkien altisteiden osalta purkamisessa voimalaitoksella. Jatkotutkimuksena olisi suositeltavaa tehdä

mittauksia kantojen keräämisen yhteydessä ja ottaa myös itse kannoista materiaalinäytteitä.

Ruokohelven murskauksen yhteydessä tehdyt mittaukset eivät anna todellista kuvaa työntekijän altistumisesta, sillä ruokohelpeä murskattiin yhdessä märkien kantojen kanssa. Mittauksissa saatiin kuitenkin murskaimen kuljettajalta korkea endotoksiinipitoisuus, 110 EU/m<sup>3</sup>. Tämä saattoi johtua häiriötilanteesta, jossa hän joutui menemään murskaimen sisälle. Pöly- ja mikrobipitoisuudet olivat puolestaan pieniä. Ruokohelven murskauksen työhygieenisten vaikutusten selvittämiseksi mittaukset tulisivat suorittaa pelkän ruokohelven murskauksesta. Lisäksi tulisi selvittää toisen mahdollisesti riskialttiin työvaiheen eli ruokohelven pelloilta korjuun työhygieeniset vaikutukset.

Työhygieenisten mittausten tulosten perusteella voidaan todeta, että on olemassa ilmeinen riski, että tutkituista biopolttoaineista risutukkien ja kantojen tietyissä käsittelyvaiheissa työntekijät altistuvat terveyttä vaarantaville tekijöille haitallisessa määrin. Tutkitut työvaiheet olivat vain ko. polttoaineiden lastaus ja purkaus. Ruokohelven osalta suojautumissuosituksia ei tämän tutkimuksen perusteella voida antaa, koska korjuuvaihetta ei voitu tutkia kohteen huonojen korjuuolosuhteiden vuoksi suunnitellun korjuujakson aikana. Murskausvaiheen mittaukset puolestaan eivät kuvaa todellista altistumista, sillä ruokohelven kanssa murskattiin märkiä kantoja.

Suojautumissuosituksina on, että kuormaajien tulisi käyttää kantojen lastaus- ja purkuvaiheessa sekä risutukkien purkuvaiheessa henkilökohtaista P3-luokan suodattimella varustettua hengityksen suojainta. Myös murskaimen kuljettajan olisi suositeltavaa käyttää tällaista suojainta häiriötilanteissa. Tämän luokan suodatin suojaa sekä pölyiltä että pienemmiltä mikrobeilta ja endotoksiineilta. Paras vaihtoehto olisi puhaltimella varustettu suojain, mutta riittävän suojan antaa myös puolinaamari. Suojain on tehokas vain, jos sitä käytetään ja huolletaan oikein. Lisäksi sitä tulee käyttää aina epäiltäessä työilmassa olevan epäpuhtauksia. Työntekijät on koulutettava suojainten käyttöön ja suojainten käytöstä ja säilytyksestä on huolehdittava asianmukaisesti. Suojakäsineiden käyttö on myös suositeltavaa, koska mikrobit saattavat kulkeutua elimistöön myös esimerkiksi haavojen kautta.

Alkukartoituksen tulokset osoittavat, että tutkimusta tulisi jatkaa. Kaikkien kolmen tutkitun biopolttoaineen käsittelyn osalta tarvitaan enemmän mittauksia ja tutkimusta epäpuhtauksien alkuperän ja niiden kehittymisen määrittämiseksi. Myös risutukkien murskauksessa ulkona tulisi tehdä työhygieeniset mittaukset, koska murskaus tapahtuu pääasiassa ulkona kaikkialla Suomessa. Mahdollisten jatkotutkimusten perusteella olisi suositeltavaa järjestää työnjohdon ja työntekijöiden koulutusta. Kuorma-autonvalmistajat ovat alkaneet jo tiedostaa mikrobiongelman ja siten tätä tietoa tulee siirtää myös urakoitsijoille.

## LÄHDEVIITTEET

1. Kalliokoski, P., Pfäffli, P., Riihimäki, V., Starck, J., Vaaranen, V. & Helminen, P. (toim.) Työhygienia, Työolot ja niiden parantaminen. Työterveyslaitos. Helsinki 1992. 430 s.
2. The Kyoto Protocol.  
<http://europa.eu.int/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/05/49&format=H>
3. COM(97) 599 of 26.11.1997 European Commission 1997 White Paper for a Community Strategy and Action plan "Energy for the Future: Renewable Sources of Energy". 54 p.
4. Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market. *Official Journal* L 283, 27 October 2001, p. 33-40.
5. Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport. *Official Journal of the European Communities*, L 123, 17.5.2003, p. 42-46.
6. Directive 1999/31/EC of the Council of the European Communities of 26 April 1999 on the landfill of waste. *Official Journal of the European Communities*, L 182, 16.7.1999, p. 1-19.
7. COM(2005) 628 final of 7.12.2005 Communication from the Commission Biomass Action Plan. 47 p.
8. KTM. Suomen energiastrategia. Valtioneuvoston energiapoliittinen selonteko. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja 5/1997.
9. VN. Kansallinen ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle. VNS 1/2001.
10. KTM. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja 4/1999.
11. KTM. Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003 - 2006. Työryhmän ehdotus. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 5/2003.
12. Ylitalo, E. Puupolttoaineiden käyttö kasvaa. *Bioenergia* 2005:3, 2 s.
13. FINBIO. Esitys kansalliseksi peltoenergia-ohjelmaksi 2003 - 2010. Suomen Bioenergiayhdistys ry. Julkaisu 25. 68 s.



14. VN. Lähiajan energia- ja ilmastopolitiikan linjauksia - kansallinen strategia Kioton pöytäkirjan toimeenpanemiseksi, Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 24.11.2005. 46 s. + liitteet.
15. VN. Maatalouspoliittinen selonteko, Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20.10.2005.
16. Hakkila, P. Puuenergian teknologiaohjelma 1999 - 2003, Metsähakkeen tuotantoteknologia, Loppuraportti, Helsinki 2004. Tekes, *Teknologiaohjelmaraportti 5/2004*. 108 s. + liitt. 26 s.
17. <http://www.tekes.fi/ohjelmat/index/paattyneet/puuenergia.html>
18. Hakkila, P. Juurakot polttoainelähteenä. *Bioenergia* 2003:4, 32-35.
19. <http://www.vapo.fi>
20. Poikola, J. Ruokohelpi Pohjolan Voiman biopolttoaineohjelmassa. *Bioenergia* 2003:2, s. 36-38.
21. Knaapi, J. Peltoenergialla huima kasvupotentiaali. *Bioenergia* 2004:1, s. 28-30.
22. Sahramaa, M. Evaluating germplasm of reed canary grass, *Phalaris arundinacea* L. University of Helsinki, Department of Applied Biology, Section of Plant Breeding, *Publication no 20*, Helsinki 2004. 47 p.
23. KTM. Direktiivin 2003/30/EY edellyttämä kertomus liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä Suomessa. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Raportti, Helsinki 30.11.2004. 6 s.
24. MMM. Peltobiomassa, liikenteen biopoltonesteet ja biokaasu-jaoston Väiliraportti. Työryhmämuistio 2004:11. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki 10.9.2004.
25. Mattila, I. Ruokohelpin tukimuutokset. *Bioenergia* 2004:3, s. 14.
26. Fagnäs, L., Impola, R., Rautiainen, R. & Ajanko, S. Puupolttoaineiden kemialliset muutokset varastoinnissa ja kuivauksessa - PUUT29. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2003. Espoo 2004, *VTT Symposium* 231, s. 155-166.
27. Jirjis, R. & Andersson, P. Gasavgång och lakvatten från barklagring: laboratorie- och fältstudier. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för bioenergi. Uppsala 2005. 44 s.
28. Pellikka, M. & Kotimaa, M. Polttihakkeen käsittelystä aiheutuva ilman homepölypitoisuus sekä siihen vaikuttavat tekijät. Helsinki 1983. *Folia For.* 563:1-18.
29. Kuoppamäki, R., Impola, R., Fagnäs, L. & Ajanko, S. Puupolttoaineiden muutokset varastoinnissa ja kuivauksessa. Osaraportti 1: Puupolttoaineiden muutokset varastoinnissa. VTT, Projektiraportti, 2003. 83 s + liitt.

30. Alvarez de Davila, E. Arbetsmiljön vid hantering av träpellets för energiproduktion samt arbetsmiljöerfarenheter vid eldning av olivkross och halm. IVL Rapport B 1315. Stockholm 1999. 23 s. + bilagor 26 s.
31. Edman, K., Löfstedt, H., Berg, P., Eriksson, K., Axelsson, S., Bryngelsson, I. & Fedeli, C. Exposure Assessment to  $\alpha$ - and  $\beta$ -pinene,  $\Delta^3$ -carene and wood dust in industrial production of wood pellets. *Ann. occup. Hyg.* 47(2003)219-226.
32. Madsen, A.M., Mårtensson, L., Schneider, T. & Larsson, L. Microbial dustiness and particle release of different biofuels. *Ann. occup. Hyg.* 48(2004)327-338.
33. Hakkila, P. Utilization of residual forest biomass. Springer-Verlag. Berlin. 568 p.
34. Jirjis, R. Health risks associated with the storage of wood fuels. IEA Bioenergy Task XII, Feedstock preparation and quality, Workshop, 1996. Pp. 9-17.
35. Thörnqvist, T. & Jirjis, R. Bränsleflisens förändring över tiden - vid lagring i stora stackar. (Changes in fuel chips during storage in large piles). Uppsala 1990. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Rapport nr 219, 49 p. + App.
36. Fredholm, R. & Jirjis, R. Säsongslagring av bark från våtlagrade stackar. Uppsala 1988. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Rapport nr 200.
37. Jirjis, R. & Theander, O. The effect of seasonal storage on the chemical composition of forest residue chips. *Scand. J. For. Res.* 5(1990)437-448.
38. Thörnqvist, T. & Gustafsson, G. The importance of air drying in relation to storing properties of fuel chips. Uppsala 1983. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Rapport nr 142.
39. Alvarez de Davila, E. & Bengtsson, L. Arbetsmiljön vid hantering av träbränsle och torv för energiproduktion. IVL Rapport B 1088. Stockholm 1993. 30 s. + bilagor 20 s.
40. Fagernäs, L., Impola, R., Rautiainen, R. & Ajanko, S. Changes and emissions in wood fuels during storage and drying. Proc. Bioenergy 2003, International Nordic Bioenergy Conference, Jyväskylä, Finland 2003. Pp. 265 - 267.
41. Rupar, K. & Sanati, M. The release of terpenes during storage of biomass, *Biomass and Bioenergy* 28(2005)29-34.
42. Jirjis, R. & Nordén, B. Lagring av buntat skogsbränsle. *SkogForsk Resultat* 2002:12. 2 s.
43. Jirjis, R. & Nordén, B. Kvalitet och arbetsmiljöaspekter vid lagring och hantering av grotstockar. Slutrapport, Projekt nr P 12321-1, Uppsala 2001. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogshushållning. 21 s.

44. Jirjis, R. Lagring av avverkningsrester i balar (Storage of forest residues in bales). Uppsala 2003. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för bioenergi, Rapport nr 3, 23 s.
45. Hillebrand, K. Risutukkien laadun hallinta ja varastointi. Tutkimusselostus PRO/T6028/02. Jyväskylä 2002. Luottamuksellinen raportti. 34 s. + liitt. 2 s.
46. Andersson, G., Nordén, B., Jirjis, R. & Åstrand, C. Buntning kan sänka kostnader-na för skogsbränsle. *SkogForsk Resultat* 2000:8. 4 s.
47. Hillebrand, K. & Nurmi, J. Hakkuutähteiden laadunhallinta. VTT Energia, Tutki-musraportti 2/2001. 51 s. + liitt. 11 s.
48. Suphioglu, C., Singh, M.B., Simpson, R.J., Ward, L.D. & Knox, R.B. Identifica-tion of canary grass (*Phalaris aquatica*) pollen allergens by immunoblotting: IgE and IgG antibody-binding studies. *Allergy* 48(1993)4, 273-81.
49. Nielsen, B.H. Mikroorganismer i bioaffald. Arbejdsmiljømæssige aspekter ved håndtering af "grønt" husholdningsaffald og kompost. PhD afhandling. Arbejdsmiljøinstituttet & Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Institut for Veterinær Mikrobiologi. København 1998.
50. Millner, P., Olenchock, S., Epstein, E., Rylander, R., Haines, J., Walker, J., Ooi, B., Horne, E. & Maritato, M. Bioaerosols associated with composting facilities. *Compost Science & Utilization* 2(1994) 6-57.
51. Rask-Andersen, A. Pulmonary reactions to inhalation of mould dust in farmers with special reference to fever and allergic alveolitis. Uppsala 1988. Doctoral Thesis, Uppsala University, Faculty of Medicine.
52. Rylander, R. Evaluation of the risks of endotoxin exposures. *Int. J. Occup. Environ. Health suppl. to* 3(1997)S32-S36.
53. Antti-Poika, M. Työperäiset sairaudet. Työterveyslaitos, Helsinki 1993. 498 s.
54. Lacey, J. & Dutkiewicz, J. Bioaerosols and occupational lung disease. *J. Aerosol Sci.* 1994: 1371-1404.
55. Jäppinen, P., Kotimaa, M. & Husman, K. Hakekasasairaus, Teollisuusvakuutus 1982:1, s. 16-19.
56. Jacobs, R.R. Analyses of endotoxins. *Int. J. Occup. Environ. Health* 1997:3, S42-S48.
57. Kenny, L.C., Bowry, A., Crook, B. & Stancliffe, J.D. Field testing of a personal size-selective bioaerosol sampler. *Ann. occup. Hyg.*, 43(1999)393-404.
58. HTP-arvot 2005. Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki 2005. Sosiaali- ja terveys-ministeriön oppaita 2005:10.

59. Niemelä, R. ym. Teollisuustilojen sisäilman laadun tavoitetasot. *Työ ja ihminen* 1997:3.
60. Eduard, W., Sandved, P. & Levy, F. Serum IgG antibodies to mold spores in two Norwegian sawmill populations: Relationship to respiratory and other work-related symptoms. *Am. J. Ind. Med.* 24(1993)207-222.
61. Seuri, M. & Reiman, M. Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys. Rakennustieto Oy. Helsinki 1996. 81 s.
62. Pääkkönen, R. & Rantanen, S. (toim.) Työympäristön kemiallisten ja fysikaalisten riskien arviointi ja hallinta. Helsinki 1999. Työterveyslaitos. 101 s.
63. Riikonen, E., Kämäräinen, M., Lappalainen, J., Oksa, P., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Saarela, K.L. & Sillanpää, J. (toim.) Työsuojelun perusteet. Helsinki 2003. Työterveyslaitos. 184 s.
64. Henkilösuojaimet työssä. Työterveyslaitos, Työturvallisuuskeskus. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki 2001.

## HAIHTUVIEN ORGAANISTEN YHDISTEIDEN (VOC) MÄÄRITTÄMINEN

## Tulokset

Tuloksiin on laskettu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) ja lisäksi ilmanäytteistä on tunnistettu ja kvantitoitu pääkomponentteja.

Taulukko 1. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ja pääkomponentit ja niiden pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ilmanäytteissä.

Näytteenottoaika ja -aika (klo)	Pääkomponentit ja niiden pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	TVOC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Pyöräkoneen kuljettaja Tynjälä, hv (klo 13.01-15.37)	haaroittuneet sykliset hiilivedyt	220*	381
	haaroittuneet bentseeniyhdisteet	21*	
	$\alpha$ -pineeni	21	
	3-kareeni	21	
	haaroittuneet alifaattiset hiilivedyt	11*	
	etyleeniglykoli	6*	
	nonanaali	4	
	limoneeni	4	
	dekanaali	4*	
	tolueeni	3	
	pentadekaani	3	
	dodekaani	2	
	tridekaani	2	
	tetradekaani	2	
	6-metyyli-5-hepten-2-oni	2*	
	kamfeeni	2*	
	TVOC-alueen ulkopuolella olevat yhdisteet:		
asetoni	1*		

Taulukko 1 jatkuu

Näytteenottoaika ja -aika (klo)	Pääkomponentit ja niiden pitoisuus	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	TVOC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Murskan hoitaja Jääskeläinen, hv (klo 12.54-15.40)	haaroittuneet		2687
	alfaattiset hiilivedyt	442*	
	haaroittuneet		
	sykliset hiilivedyt	428*	
	haaroittuneet		
	bentseeniyhdisteet	302*	
	naftaleenijohdannaiset	185*	
	undekaani	163	
	dodekaani	142	
	tridekaani	106	
	dekaani	98	
	mentoli	54*	
	tetradekaani	53	
	eukalyptoli	28*	
	3-kareeni	24	
	fenoli	20	
	nonaani	13	
	2-etyyli-1-heksanoli	10	
	dietyyliftalaatti	9	
	$\alpha$ -pineeni	9	
limoneeni	4		
tolueeni	3		
heksanaali	1		
etyylibentseeni	1		
oktaani	1		
TVOC-alueen ulkopuolella olevat yhdisteet:			
asetoni	1*		
Pyöräkoneen kuljettaja Tynjälä, hv (klo 15.40-18.14)	haaroittuneet		506
	sykliset hiilivedyt	199*	
	haaroittuneet		
	bentseenijohdannaiset	140*	
	$\alpha$ -pineeni	31	
	3-kareeni	30	
	1,2-etaanidioli	10*	
	haaroittuneet		
	alfaattiset hiilivedyt	9*	
	limoneeni	7	
	myrseeni	7*	
	tolueeni	4	
nonanaali	4		
kamfeeni	3*		

Taulukko 1 jatkuu

Näytteenottoaika ja -aika (klo)	Pääkomponentit ja niiden pitoisuus	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	TVOC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	dekanaali	3*	
	dodekaani	2	
	tridekaani	2	
	tetradekaani	2	
	pentadekaani	2	
	heksametyyli-		
	syklotrisiloksaani	2*	
	fellandreeni	2*	
	6-metyyli-5-hepten-2-oni	1*	
	naftaleenijohdannaiset	1*	
	TVOC-alueen ulkopuolella olevat yhdisteet:		
	asetoni	1*	
	etikkahappo	1*	
Murskan hoitaja Jääskeläinen, hv (klo 15.40-18.20)	haaroittuneet sykliset hiilivedyt	235*	1257
	haaroittuneet alifaattiset hiilivedyt	217*	
	dodekaani	88	
	haaroittuneet bentseeniyhdisteet	85*	
	naftaleenijohdannaiset	72*	
	tridekaani	69	
	undekaani	61	
	tetradekaani	39	
	pentadekaani	17	
	nonanaali	16	
	2-etyyliheksaanihappo	15*	
	dekaani	14	
	3-kareeni	12	
	limoneeni	11	
	$\alpha$ -pineeni	10	
	fenoli	10	
	dietyyliftalaatti	8	
	2-etyyli-1-heksanoli	5	
	ksyleeni	5	
	tolueeni	3	
	fellandreeni	1*	
	nonaani	1	

\* = pitoisuus on laskettu tolueeniekvivalentteina (ei kuulu akkreditoinnin piiriin)