



Ruokohelven, kantojen ja risutukkien käsittelyketjujen terveysriskit ja torjuntatoimet

Loppuraportti

Julkaistu Työsuojelurahaston ja Melan tuella

Kirjoittaja Sirke Ajanko-Laurikko

Luottamuksellisuus Julkinen

Sisällysluettelo

Alkusanat

1	Johdanto	5
2	Ruokohelpi, kannot ja risutukit energiakäytössä	5
2.1	Ruokohelpi energiakasvina	5
2.2	Kantojen energiakäyttö	6
2.3	Risutukit energiakäytössä	7
3	Tutkimuksen tavoite	7
4	Terveysvaikutuksista	8
5	Kohteen kuvaus	9
5.1	Ruokohelpi	9
5.1.1	Niitto ja karhotus	9
5.1.2	Paalaus	10
5.1.3	Murskaus	11
5.2	Kannot ja risutukit	12
5.2.1	Kantojen nosto	13
5.2.2	Kantojen murskaus	13
5.2.3	Risutukkien murskaus	14
6	Menetelmät	14
7	Työhygieeniset vertailuarvot	17
8	Tulokset ja tulosten tarkastelu	18
8.1	Ruokohelpi	18
8.2	Kannot ja risutukit	20
8.2.1	Kantojen nosto	20
8.2.2	Kantojen murskaus	21
8.2.3	Kantojen mikrobiologinen tila	23
8.2.4	Risutukkien murskaus	23
8.3	Muut altistukset ja riskitekijät	25
9	Työturvallisuutta koskevia yleisiä periaatteita	27
10	Johtopäätöksiä ja toimenpidesuosituksia	28
11	Yhteenveto	30
	Lähdeviitteet	33

Alkusanat

VTT:ssä toteutettiin 1.1.2007 ja 31.12.2008 välisenä aikana Työsuojelurahaston tutkimusprojekti "Ruokohelven, risutukkien ja kantojen käsittelyketjujen terveydelle haitalliset tekijät".

Projektissa selvitettiin, mittauksiin perustuen, tekijöiden altistumista terveydelle haitallisille tekijöille uusien biopolttoaineiden, ruokohelven, kantojen ja risutukkien käsittelyketjun eri vaiheista. Työntekijöiden altistumisen vähentämiseksi laadittiin toimenpidesuosituksia tehokkaista torjuntatoimista ja työmenetelmistä, joiden avulla voitaisiin vähentää työntekijöiden altistumista.

Projektin rahoitukseen osallistuivat BMH Technology Oy, Energiateollisuus ry, Maatalousyrittäjien eläkelaitos (Mela), Metso Power Oy, Pohjolan Voima Oy (PVO), Suomen Kuljetus ja Logistiikka ry (SKAL ry), Turveruukki Oy, Työsuojelurahasto (TSR), UPM-Kymmene Oyj, Vapo Oy ja VTT. Johtoryhmään, joka kokoontui projektin aikana neljä kertaa, kuuluivat johtoryhmän puheenjohtajana toiminut teknologiajohtaja Pentti Jarkko (BMH Technology Oy), Miia Wallén (Energiateollisuus ry), työturvallisuusyksikön päällikkö Erkki Eskola (Mela), projekti-insinööri Kari Taavitsainen (Metso Power Oy), teknologiapäällikkö Jorma Isotalo (PVO), johtaja Pasi Moisio (SKAL ry), kehityspäällikkö Heikki Karppimaa (Turveruukki Oy), tutkimusasiamies Ilkka Tahvanainen (TSR), kehityspäällikkö Christer Backlund (UPM-Kymmene Oyj), erikoistutkija Olli Reinikainen (Vapo Oy) sekä VTT:stä vastuullisen johtajana ja sihteerinä toiminut tutkija Sirke Ajanko-Laurikko, erikoistutkija Leena Fagermäk ja teknologiapäällikkö Jukka Lehtomäki.

Työhygieeniset mittaukset teki Kuopion aluetyöterveyslaitos.

Kiitän Työsuojelurahastoa päärahoittajana, Maatalousyrittäjien eläkelaitosta (Mela) apurahasta, projektiin osallistuneita yrityksiä, Kuopion aluetyöterveyslaitosta sekä kaikkia mittauksissa mukana olleita työntekijöitä.

Espoo, helmikuu 2009

Tekijä

1 Johdanto

Kansainvälisten ja kansallisten energia- ja ilmasto-ohjelmien sekä veloitteiden tavoitteena on lisätä uusiutuvien energialähteiden, kuten biopolttoaineiden, käyttöä huomattavasti. Biopolttoaineiden käytön lisääntyessä sekä Suomessa että muualla Euroopassa on erittäin tärkeää tuntea polttoaineiden työhygieeniset vaikutukset työntekijöiden terveydelle. Esimerkiksi hakevarastoinnin yhteydessä syntyneitä terveydellisiä ongelmia on diagnosoitu ammattitautiksi, ns. hakekasasairaudeksi. Uusia biopolttoaineita ovat peltoenergiaan kuuluva ruokohelppi, metsähakkeesta kannot ja juurakot sekä risutukit.

Tämä tutkimus on jatkoa keväällä 2006 päättyneelle Työsuojelurahaston projektille ”Uusien biopolttoaineiden käsittelyn turvallisuusriskit” (Bioturva), jossa alkukartoituksena selvitettiin ruokohelven, kantojen ja risutukkien käsittelyn riskejä työntekijöiden terveydelle. Alustavien tulosten perusteella jatkotutkimuksia pidettiin välttämättöminä, jotta polttoaineiden käsittelyn työhygieeniset riskit selviävät tarkemmin. Ruokohelven viljely sekä kantojen ja risutukkien käyttö kasvavaa nopeasti ja käsittelyn osalta tarvitaan lisää mittauksiin perustuvaa tietoa, useampia kenttämittauksia eri olosuhteissa ja työvaiheissa sekä enemmän tutkimusta epäpuhtauksien alkuperän ja kehittymiseen vaikuttavien tekijöiden selvittämiseksi. Ruokohelpeä kasvatetaan ja korjataan, karjatalouden väistyttyä, pääasiassa tiloilla käyttämättä jääneillä koneilla. Suuremmissa mittakaavassa koneet ovat jo enemmän suunniteltu peltoenergian tarpeisiin (Ajanko, 2006).

Tällä hetkellä arvioidaan kantojen nostoa tekevän noin 120 kaivinkonetta, joista puolessa on vastaterä. Energiapuun paalausta tekee 13 paalainta. Siirrettäviä hakkureita/murskaimia on noin 190 kappaletta, joita käytetään tienvarsi-, terminaali- ja käyttöpaikkahaketuksessa. Kuljetuksesta käyttöpaikoille vastaavia ajoneuvoyksiköitä on noin 200 kappaletta. Kasvatavat pelto- ja metsäenergian käyttömäärät merkitsevät huomattavaa lisäresurssitarvetta tuotantoon. Samalla se merkitsee työntekijämäärien kasvua ja haasteita mm. kone- ja laitevalmistajille. Jo pelkästään metsähakkeen tuotantokaluston arvioidaan nousevan yli 1100 yksikköön ja tulevaisuudessa metsähakkeen tuotanto tulee koskettamaan kaikkia kone- ja autoyrittäjiä. Suomen Kuljetus ja Logistiikka ry arvio, SKAL, arvioi uusien kuljettajien määrän olevan koko kuljetusalalla noin 3000 henkeä vuodessa. (Metsäteho028/2008, www.skal.fi)

2 Ruokohelppi, kannot ja risutukit energiäkäytössä

2.1 Ruokohelppi energiäkasvina

Luonnonvaraisena koko Suomessa kasvava ruokohelppi (*Phalaris arundinacea L.*) on osoittautunut satoisimmaksi energiaheinäksi. Se muodostaa tiheitä, noin 1,5-2 m:n korkuisia kasvustoja ja viljeltyinä se kasvaa yhdellä kylvöllä 10-15 vuotta, ja toisena kasvuvuotena saadaan ensimmäinen sato. Juurakot sijaitsevat noin 2-8 cm syvyydessä, max. 15 cm. Ruokohelven sato korjataan keväällä, jolloin korren osuus on suurin. Tuolloin korjatun helven kosteus on 10-15 %. Nyt on aloitettu kokeet syyskorjuun kannattavuudesta, koska kevätkorjuussa korjuutappiot voivat olla erittäin suuria, jopa 40-60 % sadosta. Tämä siksi, että kasvusto on lakoonnut talven aikana ja lyhyen sänkeen niitto on hankalaa. Yleisesti ottaen ruokohelppi on tuot-

toisa kasvi, sillä se tuottaa kuiva-ainesatoa keskimäärin 6-8 tonnia vuodessa hehtaaria kohden lämpöarvon ollessa käyttökoosteudessaan 3,7-4,0 MWh/t.

Korjuussa työvaiheina ovat niitto, karhotus ja paalaus, jonka jälkeen paalit kuljetetaan terminaaliin, jossa ne silputaan noin 40 mm:n tasalaatuiseen partikkelikokoon. Mikäli kuljetusetäisyys pellolta voimalaitokselle on lyhyt, 30-40 km, voidaan helpi silputa jo korjuun yhteydessä ja kuljettaa irtotavarana voimalaitokselle. Jos sitä joudutaan välivarastoimaan aumoihin, vaatii sen suojaus ja eristys suurempaa huolellisuutta kuin paalien varastointi.

Helpi käytetään energiantuotannossa seospolttoaineena, jolloin sen osuus on 10-15 % polttoainetehosta. Ruokohelpi on hyvin kevyttä muihin polttoaineisiin verrattuna; noin 60-70 kg/m³, joten se on sekoitettava hyvin muihin polttoaineisiin lajittumisen välttämiseksi. Energiahyötykäytön kannalta keväällä korjattu helpi on parempaa, koska se sisältää vähemmän alkaloideja ja tuhkan sulamispiste on korkeampi kuin syksyllä korjatun, jolloin kattilan likaantumisriski pienenee. Paalaus voi tapahtua joko muuttuvakammioista tai kiinteäkammioista pyöröpäälainta tai suurkanttipäälainta käyttäen. Ravintotuotannon näkökulmasta katsottuna ruokohelpipipelto on reservissä ja viljely turvaa peltomaan säilymisen tuotantokuntoisena samalla säilyttäen maaseutumaiseman (Bioenergia – lehti 4/2007).

Tällä hetkellä ruokohelven tuotannossa on noin 20 000 hehtaaria, josta saadaan energiaa noin 0,4 TWh:a. Maa- ja metsätalousministeriön tavoitteena on viisinkertaistaa ruokohelven viljely 100 000 hehtaariin vuoteen 2015 mennessä. Suomen bioenergiayhdistys ry, FINBIO, puolestaan esittää peltoenergian vuositavoitteeksi 6 TWh:a vuonna 2020. Tällöin energiakasveja viljeltäisiin pelloilla 250 000 hehtaarin alalla, josta olkea kerättäisiin 100 000 hehtaarin alalta.

Suomessa on yli 100 päästökaupassa mukana olevaan laitosta, jossa ruokohelpeä voidaan teknisesti polttaa rinnakkaispolttoaineena. Nyt ruokohelpeä käyttäviä voima- ja lämpölaitoksia on noin 30 kappaletta. Maataloustuki uudistus asettaa ruokohelven viljelyn ainakin yhtä kannattavaksi kuin viljakasvien viljelyn. Tämä siksi, että helpi on saanut vuodesta 2006 alkaen samat tuet kuin viljakasvit ja vuonna 2008 tuli uusi tuki nimeltään maatalouden ympäristötuen uusi erityistuki. Siinä turvepeltojen pitkäaikaisesta viljelystä maksettava tuki parantaa merkittävästi ruokohelven viljelyn kannattavuutta. Jos viljelijä on vuonna 2008 perustanut ruokohelpiviljelmän turve- tai multamaalle ja sitoutuu viljelyyn kymmeneksi vuodeksi, hän kuuluu tuen piiriin. Lisäksi ruokohelpi on uusiutuva energiakasvi, joten se tulisi saada myös sähköveron palautuksen piiriin. Ilmastonmuutoksen näkökulmasta ruokohelpi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, joten myös helven markkinahinnalle odotetaan nousua päästökaupan vetämänä. Tavoitteiden saavuttamisen edellytyksenä on, että koko tuotantoketju viljelystä käyttöön, on saatava toimivaksi (www.finbio.fi, www.vapo.fi).

2.2 Kantojen energiakäyttö

Metsien päätehakkuualueille jää vuosittain hyödyntämättä noin 10-15 milj. m³ kantoja. Kantojen ja juurakoiden käyttö on viime vuosina kasvanut voimakkaasti ja varsinaisesti se alkoi 2000-luvulla. Kannot sisältävät epäpuhtauksia huomattavasti enemmän kuin muut metsätähteet, ja niitä nostettiin v. 2006 metsähakkeeksi edellisvuoteen verrattuna lähes kolminkertaisesti, yhteensä 0,45 milj. m³ eli 16 % koko raaka-aineesta. Parhaita kohteita ovat tuoreet, kivettömät kangasmaat ja niiden kuusikoiden uudistusalat, sillä kuusen kannossa on paljon puuta, jopa 30 % runkopuun tilavuudesta. Lisäksi sen juuristo on löyhästi maaperässä. Savi ja muu hienojakoinen aines irtoaa kannosta huonosti, kun taas koneiden kantavuus on turvemaila ongelma. Kuusen kantoja saadaan 440-600 kpl/ha ja niiden kosteus on noin 35 %. Verrat-

tuna muihin metsätähteisiin, kannot eivät enää ime kosteutta kuivuttuaan. Jotta maaperän monimuotoisuus säilyy, jätetään noin 15-20 kantoa/ha nostamatta.

Kantojen lämpöarvo on moninkertaisesti suurempi kuin esim. metsähakkeella. Hehtaarin alueelta saatava energia on noin 200 MWh. On kuitenkin huomioitava, että ainoastaan järeiden kannokoiden hyödyntäminen on taloudellisesti järkevää. Paitsi energiahyötykäyttöön, kantojen nosto on kannatettavaa erilaisten sienitautien, kuten juurikäävän, leviämisen estämiseksi. Myös tukkimiehentäin ja tyvitervastaudin aiheuttamat tuhot vähenevät. Kantojen noston haittana voidaan pitää sitä, että se lisää luontaisesti syntyvien havu- ja lehtipuiden määrää, jolloin perkaustarve kasvaa. Myös ravinteet, erityisesti typpi, vähenevät jonkin verran samoin kuin maaperän kantavuus. Ravinteiden puutteen aiheuttaman kasvun menetys vastaa yhden tai kahden vuoden kasvua sadan vuoden aikana. Vaikutukset maisemaan eivät myöskään ole vähäinen asia.

Kantojen nostoaika alkaa maan sulamisesta ja päättyy joulukuussa. Noston yhteydessä ne pilkotaan 2-4 osaan ja maa-aines irrotetaan ravistelemalla. Kannot varastoidaan muutaman viikon ajan kasoissa nostoalueella, joista ne kuljetetaan metsätraktorilla tienvarsivarastoihin. Tienvarsilla kantoja varastoidaan puolestaan noin vuoden ajan, jolloin ne kuivuvat ja ylimääräiset kivet ja hiekka karisevat pois. Tuore kanto sisältää noin 10 % epäorgaanista ainesta.

Kuljetusten kannalta on tärkeintä minimoida veden kuljettaminen ja maksimoida käytettävissä oleva kuljetuskapasiteetti. Tämä tarkoittaa raaka-aineen osalta käsittelypaikkojen sijainnin optimointia ja kuormakoon kasvattamista. Kantojen murskaus tapahtuu yleensä voimallaitoksella, mutta joskus se voidaan tehdä myös tienvarressa. Paras murskaustulos saavutetaan nopeakäyntisellä murskaimella, mutta tämä ei ole työhygieeniseltä kannalta paras mahdollinen tapa johtuen voimakkaammasta mekaanisesta käsittelystä. Esimurskaukselle näyttäisi olevan perusteita, kun lopputuotteesta halutaan hienojakeista. Samalla voidaan vähentää polttoon joutuvien kivennäisaineiden määrää ja pienentää laitteistojen vaurioitumisriskiä sekä vähentää seisokkipäiviä. Kantojen nostoa on rajoittanut lähinnä vastaanottopisteiden eli kantoja hyödyntävien voimalaitosten vähäisyys (www.metsakeskus.fi, Lauhanen, 2007).

2.3 Risutukit energiakäytössä

Hakkuutähteiden paalaus parantaa käyttöpaikkahaketuksen kilpailukykyä. Eri paalausmenetelmistä parhaimmaksi on osoittautunut risutukkijärjestelmä, jossa käsittely-yksikkönä on halkaisijaltaan noin 60-70 cm ja noin 3 m pitkä, tiiviiksi sidottu paali. Sen paino on noin 500 kg. Ongelmana on kuitenkin laitteiden kalleus ja murskaukseen tarkoitettujen murskainten vähäisyys. Kannattava kuljetusetäisyys on vain noin 100 km. Taloudellinen kannattamattomuus nouseekin risutukkijärjestelmän kehittymisen hidasteeksi. Risutukki-paalainkoneita on Suomessa yleisemmin erityisesti Länsi- ja Pohjois-Suomessa (Timperi, 2004).

3 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli saada mittauksiin perustuvaa tietoa työntekijöiden altistumista terveydelle haitallisille tekijöille uusien biopolttoaineiden, ruokohelven, kantojen ja risutukki-käsittelyketjun eri vaiheista. Painopisteenä oli erityisesti löytää tehokkaimmat torjuntatimet ja työmenetelmät, joiden avulla voitaisiin vähentää työntekijöiden altistumista.

4 Terveysvaikutuksista

Hengitystiet ovat terveydelle haitallisten tekijöiden pääasiallinen kulkeutumisreitti elimistöön, mutta altistumista tapahtuu myös ruuansulatuselimistön ja iho kautta.

Alustavissa tutkimuksissa biopolttoaineiden terveysvaaroista havaittiin mikrobien olevan tärkein työhygieeninen riskitekijä. Mikrobien tiedetään aiheuttavan erilaisia sairauksia, mutta sairauden syntyyn vaikuttavat hyvin monet tekijät. Elimistön reaktio eli vaste ja sen laatu ja suuruus riippuvat mikrobilajista ja altisteiden pitoisuudesta, sekä toisaalta yksilön henkilökohtaisista ominaisuuksista kuten 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 (Rylander, 1997, Antti-Poika, 1994).

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. Limakalvojen ärsytys ja inflammaatio ovat todennäköisesti seurausta pitkäaikaisesta altistumisesta matalille endotoksiinien tai muiden bioaerosolien pitoisuuksille (Lacey, 1994).

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 lämmönnousu, kuiva yskä, vilunväreet, lihas- ja nivelkivut 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 nivelkivut. 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).

Systemiset 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 endotoksiineille altistumisen seurauksena, aiheuttavat nämä vaikutukset.

On yleisesti tunnettua, että sekä sahalaitoksilla että maanviljelysalalla voi syntyä hengityselinsairauksia, jotka tunnetaan yleisnimellä homepölykeuhkosairaus, joka on keuhkojen allerginen vaste sien- ja sädesieni-itiöille. Myös sellutehtaiden hakeosastojen työntekijöillä on esiintynyt homepölykeuhkon oireita. Jo 1980-luvulla tutkittiin 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.

5 Kohteen kuvaus

Tutkimuskohteiksi valittiin työvaiheet, joiden arveltiin alustavien tutkimustulosten sekä käytettävien tekniikoiden perusteella olevan eniten altistavia. Esimerkiksi käsittelyketjun alkupää ruokohelven, kantojen ja risutukkien osalta oli jäänyt kokonaan esiselvityksessä tutkimatta. Pääpaino oli nyt työvaiheissa, joissa materiaaleja käsiteltiin mekaanisesti. Näitä olivat:

- Ruokohelven niitto, karhotus, murskaus ja paalaus
- Kantojen nosto metsästä, kuormien purku ja murskaus voimalaitoksella ulko- ja sisätilassa, risutukkikuormien purku ja murskaus voimalaitoksella ulkotilassa ja näiden käyttö polttoaineena

Ilmasta tehtävät työhygieeniset mittaukset rajattiin kunkin työvaiheen osalta ilman työhygieenisiin altisteisiin kuten orgaanisiin pölyihin, endotoksiineihin ja mikrobeihin. Kannoista tehtiin lisäksi mikrobiologiset materiaalianalyysit

5.1 Ruokohelpi

Ruokohelven korjuun osalta mittaukset tehtiin Ilomansissa Iljansuolla toukokuussa 2007 ja toukokuussa 2008. Murskausten aikaiset mittaukset vastaavasti Ilomansissa toukokuussa 2007 ja toukokuussa 2008 Pielavedellä.

5.1.1 Niitto ja karhotus

Niitto suoritettiin perhosniittokoneella, jossa on yksi niittokone edessä (Kuhn FC313F) ja kaksi takana (John Deere 388). Murskausterät oli säädetty mahdollisimman väljiksi saantotappioiden välttämiseksi. Itse vetotraktori, jossa työntekijä pääasiassa oleskeli, oli John Deere malli 7719. Kokonaisuus on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Ruokohelven niittokone Iljansuolla Ilomantsissa

Karhotus-vaiheesta saatiin mittauksia ainoastaan keväällä 2008, koska 2007 työvaihetta suorittanut kone ei ollut työssä. Työkoneina olivat John Deere 6620 & Fella TS 880 sekä John Deere 6820 & Ziegler Twin 1250-VSK.

5.1.2 Paalaus

Paalaus tapahtui kantipaalaimella, Newholland D1210. Mittaukset tehtiin vetotraktorien, John Deere 7920 ja 7710, hytissä (kuva 2).



Kuva 2. Ruokohelven kanttipaalain, NewHolland BB960A, vetotraktorina John Deere 7920.

5.1.3 Murskaus

Ruokohelven murskauksessa oli murskaimen käyttökoneena tela-alustainen kaivinkone ja itse murskain oli ruokohelven murskaukseen suunniteltu prototyyppi ”Paimet-pehkuri”. Sen terärakenteessa on yli 200 leikkaavaa terää, jotka tekevät silpusta halutun pituista. Murskain nähdään murskaamassa noin kahden vuoden vanhoja ruohelpipaaleja kuvassa 3.

Keväällä 2007 murskatut paalit olivat olleet varastoituna ilman suojaa ja maaperässä. Tämän vuoksi ne olivat erittäin huonolaatuisia, hajoavia ja silminkin havaittavissa oli, että mikrobiologinen kasvu oli alkanut, mikä puolestaan aiheuttaa massatappiota lopputuotteessa. Keväällä 2008 toisessa kokeessa murskattu ruokohelvi oli jo kertaalleen murskattua.



Kuva 3. Kaivinkoneen lisävarusteena oleva Paimet-pehkuri murskaamassa ruokohelpipaaleja

5.2 Kannot ja risutukit

Kantojen nostokokeet tehtiin syyskuussa 2007 Jämsänkoskella olevalla päätehakkuutyömaalla. Samaan aikaan tehtiin myös mittauksia kanto- ja risutukkikuormien purkamisen yhteydessä Jämsän UPM Kymmenen Kaipolan tehtailla.

Helmikuussa 2008 tutkimuksessa kantokuormia purettiin ja murskattiin Jämsän Kaipolan tehtailla ja Jämsänkosken voimalaitoksella. Risutukkien osalta tutkimusta tehtiin ainoastaan Kaipolan ulkotiloissa.

5.2.1 Kantojen nosto

Kantojen nostossa oli käyttökoneena 22 t Daewoo tela-alustainen kaivinkone, johon oli asennettu koura ilman vastaterää (kuva 4). Samalla kun kantoja nostettiin, tehtiin myös paikallisesti maanmuokkausta. On tärkeää, että maanpintaa ei liikaa kuorita, koska tällöin vesakoituminen pääsee nopeasti käyntiin. Nostettujen kantojen ravistelu tulee tehdä nostokohdan yläpuolella, jotta humus ”varisee” kuopan päälle.



Kuva 4. Kantojen nosto käynnissä Jämsänkoscilla

5.2.2 Kantojen murskaus

Kaipolan tehtailla kantokuormat puretaan ulkona olevalle kuljettimelle, joka on noin 15 m pitkä ja se kulkee tasaisella nopeudella, 10 cm/s, murskaimelle, joka on täysin koteloituna halirakennuksen sisällä. Työntekijät eivät joudu kosketuksiin itse murskaustilan ilman kanssa muutoin kuin häiriötilanteissa, esim. murskaimen tukkeutumisen yhteydessä.

Jämsänkoscilla biopolttoainekuormat ajetaan kuorma-autolla vastaanottohalliin, jonka jälkeen kuljettaja sulkee auton edessä ja takana olevat nosto-ovet. Tämän jälkeen hän nousee nosturihyttiin ja aloittaa kuoman purkamisen askelkuljettimelle, joka vie materiaalin hitaasti samassa tilassa pyörivälle koteloimattomalle roottorimurskaimelle (kuva 6).



Kuva 6. Jämsänkosken voimalaitoksen polttoaineen vastaanottohallin askelkuljetin

5.2.3 Risutukkien murskaus

Risutukkien murskaus suoritettiin Jämsässä Kaipolan tehtaiden biopolttoaineen murskaimella. Kuvassa 7 on esitetty risutukkien purkua murskaimelle johtavalle kuljettimelle.

6 Menetelmät

Ruokohelven, kantojen ja risutukkien työhygieeniset mittaukset tehtiin joko työntekijän hengitysvyöhykkeeltä tai tilanpuutteen vuoksi kiinteistä mittapisteistä. Käytännössä kiinteän mittauspisteen tulokset voidaan olettaa esittävän työntekijän hengitysvyöhykkeen tuloksia, koska työntekijät eivät poistuneet työtilastaan ja mittausvälineet oli sijoitettu hengitysvyöhykkeelle (kuva 8).

Näytteistä analysoitiin hengittyvä pöly, endotoksiinit ja mikrobit.



Kuva 7. Risutukkien purku kuorma-autosta kuljettimelle Kaipolassa. Takana näkyy tila, jossa on murskain koteloituna.



Kuva 8. Mittauslaitteet asennettuna työtilaan

Kuvassa 9 on kuorma-auton nosturihytti "ala-asennossa" eli kuljetusasennossa. Työntekijä nousee astinlautoja pitkin hyttiin ja nostaa sen ylös lastatakseen tai purkaakseen kuormaansa.



Kuva 9. Kuorma-auton nosturihytti kuljetusasennossa

Näytteiden analysoinnissa käytettiin kaikkien biopolttoaineiden suhteen samoja analyysimenetelmiä. Haihtuvia orgaanisia aineita (VOC -yhdisteitä) ei mitattu, koska niiden pitoisuuksien oletettiin havaintojen ja esiselvityksen perusteella olevan pieniä (Ajanko, 2006).

Hengittyvän pölyn näytteet kerättiin suodattimille (Millipore) IOM-keräimellä käyttäen pumppuja (SKC 224, USA), jotka oli kalibroitu saippuakuplamenetelmällä (Gilian, USA) tilavuusvirralle 2,0-2,5 l/min. Näytteenottoaika oli noin 1,5 tuntia (SFS 3860).

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 spektrofotometrisellä mene-

telmällä (Jacobs, 1997). Pumput kalibroitiin saippuakuplamenetelmällä (Gilian, USA). Näytteenottoaika oli 1,5 tuntia.

Mikrobinäytteet otettiin IOM-keräimellä (Kenny 1999) ja kerättiin vaahdolle ja polykarbonaattisuodattimille (Nuclepore) käyttäen pumppuja (SKC 224, USA), jotka oli kalibroitu saippuakuplamenetelmällä (Gilian, USA) tilavuusvirralle 2,0-2,5 l/min. 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 40 °C:ssa viisi vrk ja termofiiliset bakteerit 55 °C:ssa kaksi vrk. Inkuboinnin jälkeen maljoilla kasvaneet pesäkkeet laskettiin ja sienisuvut ja -lajit sekä aktinomykeetit tunnistettiin valomikroskooppisesti.

7 Työhygieeniset vertailuarvot

Tutkimuksesta saatuja tuloksia voidaan vertailla olemassa oleviin raja-arvoihin. Altistumista pölylle verrataan kahdeksan tunnin raja-arvoon (HTP_{8h}), kun altistuminen kestää työvuoron ajan. Mikäli altistuminen on lyhytaikaista, verrataan mittaustuloksia viidentoista minuutin raja-arvoon (HTP_{15min}). Orgaanisen pölyn HTP_{8h}-arvo on 5 mg/m³ ja HTP_{15min}-arvo 10 mg/m³. Kovan puun pölylle on Suomessa annettu raja-arvoksi 5 mg/m³. Tulevaisuudessa raja-arvoa tullaan todennäköisesti alentamaan. Esimerkiksi Kanadassa kovan puun pölylle on raja-arvona 1 mg/m³ ja pehmeän puun pölylle 5 mg/m³. Kovat puut ovat lehtipuita ja pehmeät puut havupuita. (HTP-arvot 2007)

Endotoksiinit ovat gram-negatiivisten bakteerien kuollessa vapautuvia soluseinän osia. Suomessa ei ole toistaiseksi ohjearvoa ilman endotoksiinipitoisuudelle. Alankomaissa ilman endotoksiinipitoisuuden ohjearvo 200 EU/m³ (EU = endotoxin unit, 0,1 ng) tuli voimaan vuonna 2001 ja kahden vuoden siirtymäajan jälkeen tänä arvona on ollut 50 EU/m³.

Mikrobeille ei ole olemassa työhygieenisiä raja-arvoja, mikä johtuu mm. siitä, että kaikkien mikrobien terveysvaikutuksia tai syntymekanismeja ei tunneta. Lisäksi terveysvaikutuksen syntyyn vaikuttavat hyvin monet eri tekijät. Myöskään eri altisteiden yhteisvaikutuksia ei tunneta. Viitearvoja mikrobipitoisuuksille on olemassa toistaiseksi vain asuntojen ja niitä vastaavien sisätilojen sisäilmalle (Sisäilmaluokitus 2008). Talvisaikaan sisäilman sieniitiöpitoisuuden tulisi olla alle 500 cfu/m³ (cfu=colony forming unit). Kohonneeksi bakteeripitoisuudeksi tulkitaan yli 4500 cfu/m³ olevat bakteeripitoisuudet kaikkina vuodenaikoina.

Tuotannollisessa ympäristössä, kuten maataloustyössä ja jätteenkäsittelyssä, ilman mikrobipitoisuudet ovat olleet suuruusluokkaa 0,1-10⁶ cfu/m³ ja näissä pitoisuuksissa homepölykeuhkon sairastumisriski on ollut ilmeinen. Mikrobialtisteet kuuluu erityistä sairastumisen vaaraa aiheuttaviin altisteisiin (Vnp 1485/2001). EY:n direktiivin 2000/54/EY mukaan mm. *Aspergillus fumigatus* -sieni ja sädesienet on luokiteltu biologisiksi tekijöiksi, jotka voivat aiheuttaa ihmiselle sairauden ja olla siten työntekijöille vaarallinen. Molempien mikrobien kohdalla on mainittu, että niillä voi olla allergisia vaikutuksia. *Aspergillus fumigatus* aiheuttaa allergista alveoliittia ja muita hengitysteiden infektoita. Se viihtyy erityisesti märissä olosuhteissa.

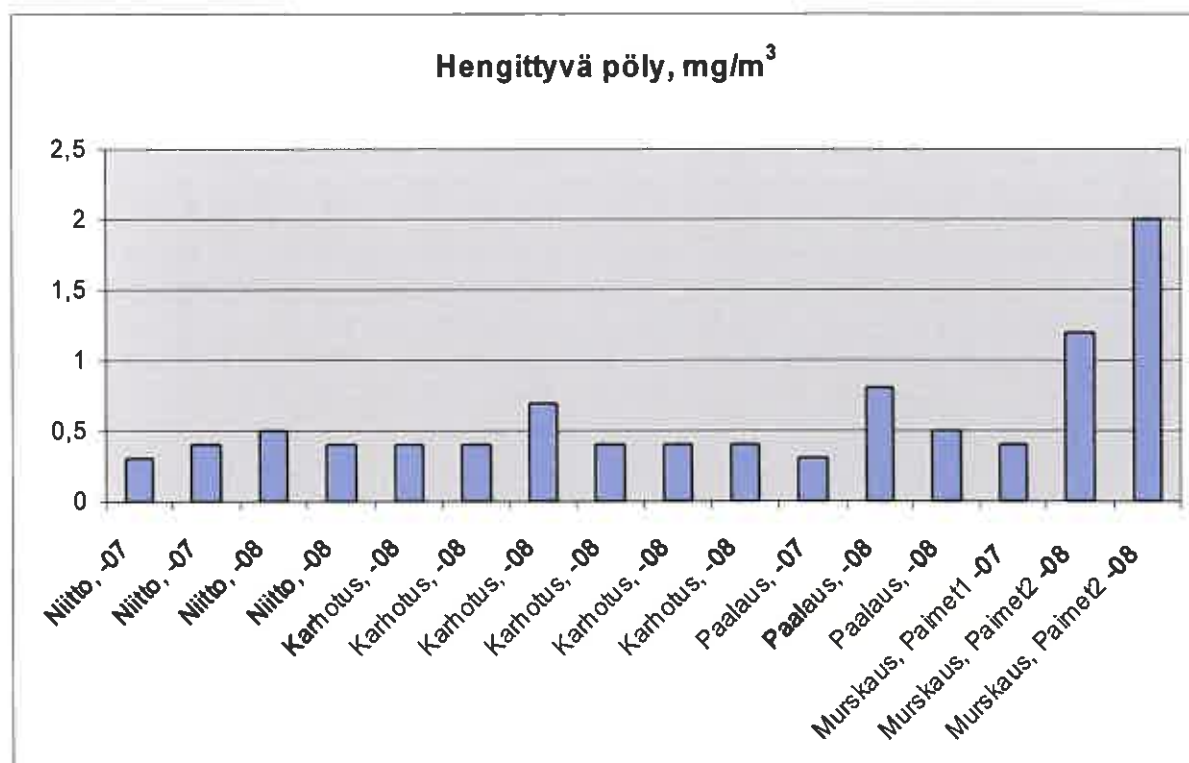
Myös *Eurotium*- ja *Trichoderma*-mikrobit käyttäytyvät vastaavasti. *Rhizopus*-mikrobien tiedetään aiheuttavan ODTS-sairautta. *Penicillium* aiheuttaa astmaa ja allergista nenän tukkoisuutta. Sädesienet terveydelle erittäin haitallisia, koska ne vapauttavat toksiineja, jotka ovat myrkyllisiä ihmiselle.

Tuloksia tulkittaessa täytyy muistaa, että työntekijän hengitysvyöhykkeeltä otettu työhygieeninen näyte kuvastaa ainoastaan sillä hetkellä ja siinä tilassa olevaa pitoisuutta. Tuloksista ei tule laskea keskiarvoja.

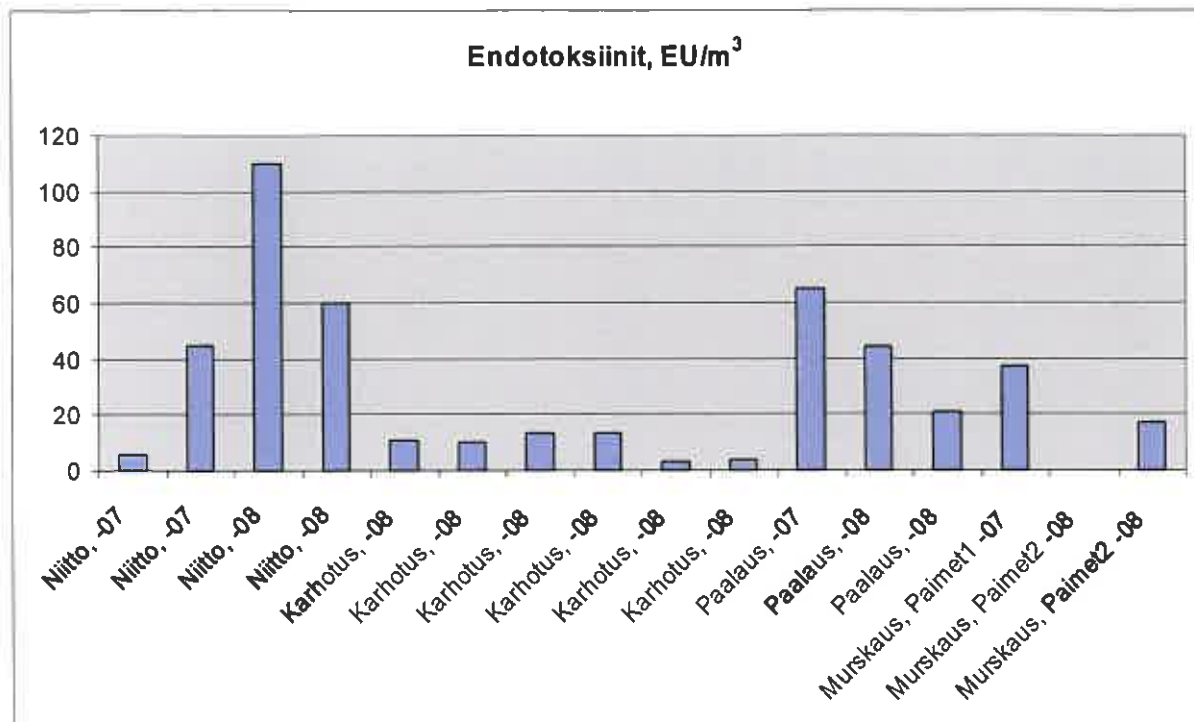
8 Tulokset ja tulosten tarkastelu

8.1 Ruukohelpi

Ruukohelven käsittelyvaiheissa mitatut pölypitoisuudet ovat erittäin pieniä, pienimmillään <0,3, ja suurimmillaankin vain 2,0 mg/m³ (kuva 10). Sen sijaan endotoksiinipitoisuudet ovat varsin korkeita erityisesti niiton ja paalauksen aikana, vaihdellen välillä 4,1-110 EU/m³. Endotoksiinien tulokset on esitetty kuvassa 11.

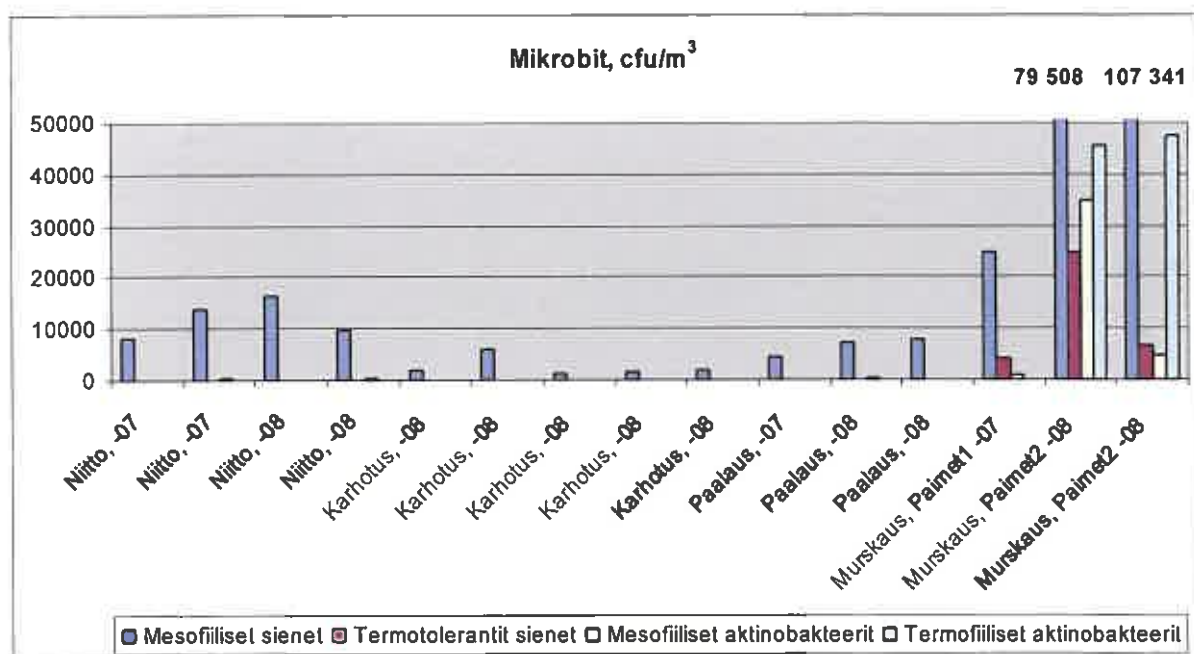


Kuva 10. Pölypitoisuudet ruukohelven käsittelyssä. Raja-arvo on 5 mg/m³



Kuva 11. Ruokohelven eri käsittelyvaiheissa vapautuneet endotoksiinipitoisuudet koneen hytissä. Raja-arvo on 50 EU/m³.

Mikrobipitoisuudet olivat korkeita murskauksen yhteydessä ja näytteissä esiintyi *Aspergillus fumigatus*-, *Penicillium*- ja sädesieniä. Aktinobakteereja eli sädesieniä oli erittäin paljon etenkin toukokuussa 2008 murskauksen yhteydessä otetuissa näytteissä, toisessa näytteessä 80 454 cfu/m³. Tämä pitoisuus mitattiin sen murskauksen yhteydessä, jossa ruokohelpeä murskattiin toiseen kertaan. Kuvassa 12 on ruokohelven eri käsittelyvaiheissa mitatut mikrobipitoisuudet. Kuva 13 esittää ruokohelven murskausta liikkuvalla mobiilimurskaimella.



Kuva 12. Ruokohelven eri työvaiheissa mitatut mikrobipitoisuudet



Kuva 13. Ruokohelven murskaus pölyää

Kentällä oli havaittavissa, että ruokohelven homehtuminen on voimakkainta pellolla ennen voimalaitokselle kuljetusta, etenkin kun varastokasat sijaitsevat maaperän päällä. Tällä saattaa olla yhteyttä erilaisiin allergisiin sairauksiin kuten homepölykeuhkoon.

Allergia- ja Astmaliiton mukaan ruokohelpi ei ole sen myrkyllisempi kuin muutkaan luonnonheinät. Ihmisillä ei tiettävästi ole ollut ruokohelvestä suoranaisesti aiheutuneita sairauksia, mutta viitteitä on sen yhteydestä vyöruusuun. Erään havainnon mukaan Uudessa-Seelannissa sen sijaan lampaista todettiin kuolleen, kun ne olivat syöneet saastunutta helpeä. Ruokintakokeissa, joita on tehty ainakin hevosilla ja lampailla, ei myrkyvaikutuksia kuitenkaan havaittu (Allergia- ja Astmaliitto, 2008).

Talvella voimalaitoksella ruokohelpisilppu aiheuttaa ongelmia jäätymisen vuoksi, koska se tarttuu lajittimien pinnoille. Kesäolosuhteissa puolestaan ongelmia aiheutuu siitä, että materiaali on niin kevyttä, että se jää ”holvaamaan”, minkä vuoksi helpi ei sekoitu pääpolttoaineisiin tasaisesti aiheuttaen voimalaitoskattilan likaantumista ja tuhkan sulamispisteen alenemista.

8.2 Kannot ja risutukit

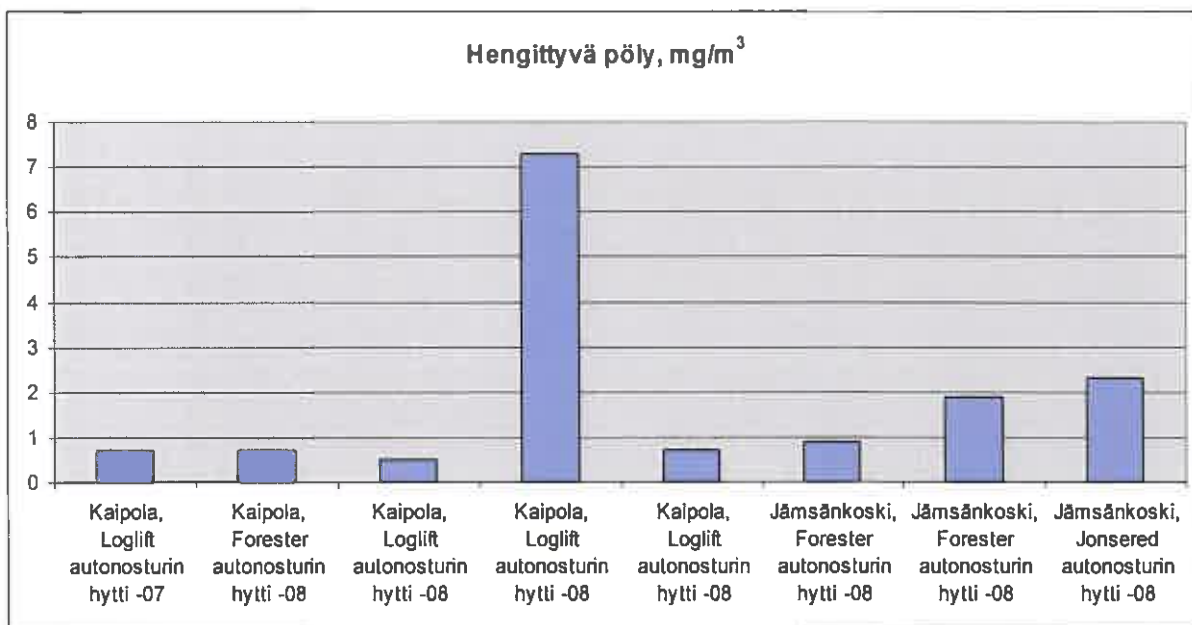
8.2.1 Kantojen nosto

Kantojen noston yhteydessä pölypitoisuus oli $<0,3 \text{ mg/m}^3$. Pölytuloksia saatiin vain yksi johduen suodattimen rikkoontumisesta. Endotoksiinipitoisuudet olivat $1,6 \text{ EU/m}^3$ ja $3,9 \text{ EU/m}^3$. Mitatut mikrobipitoisuudet olivat erittäin pieniä.

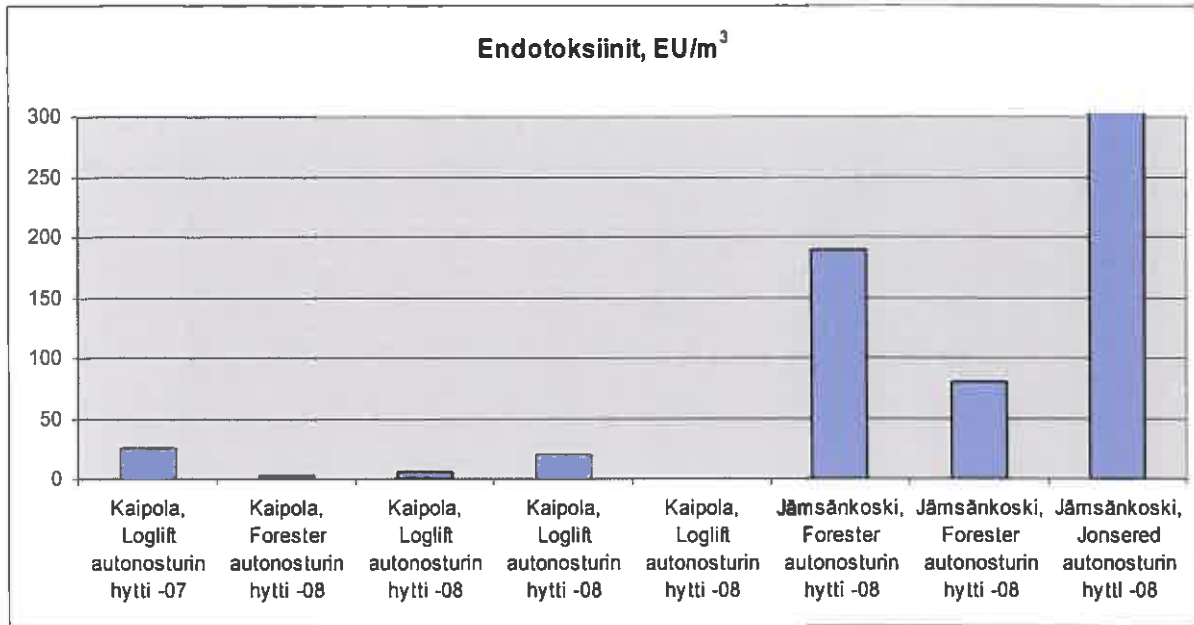
8.2.2 Kantojen murskaus

Pölypitoisuudet olivat molemmissa kohteissa erittäin pieniä, $<0,5-7,3 \text{ mg/m}^3$ (kuva 14). Endotoksiinipitoisuudet olivat korkeita kantoja murskatessa Jämsänkoskella sisällä hallissa, $80-440 \text{ EU/m}^3$. Jämsässä vastaavat pitoisuudet olivat $<0,3-25 \text{ EU/m}^3$ (kuva 15).

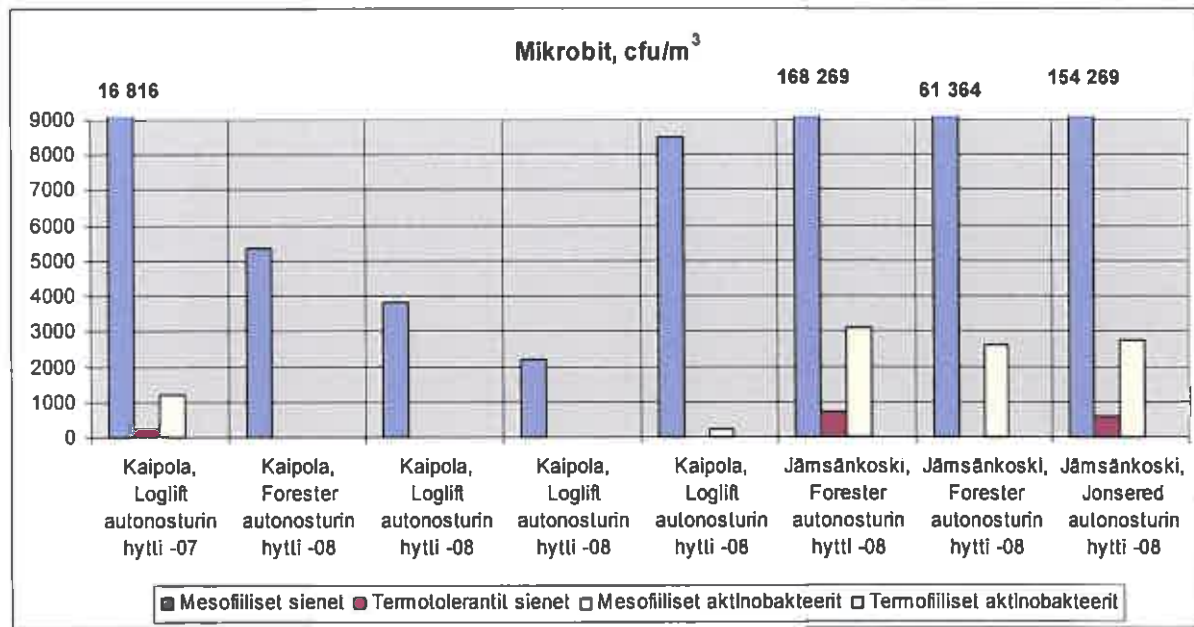
Helmikuussa 2008 Jämsänkoskella kuormien purkamisen ja murskauksen yhteydessä otettujen kaikkien mikrobinäytteiden sienipitoisuudet olivat korkeat, $61\ 364-168\ 990 \text{ cfu/m}^3$. Syyskuussa 2007 samoja pitoisuuksia mitattiin Jämsässä ulkona risutukkikuormia purettaessa/murskattaessa (kuva 16). Vuodenaika oli lähes sama eli selityksenä saattaa olla erilaiset varastointiolosuhteet. Toisaalta risutukkien käsittelyä ei tässä tutkimuksessa mitattu Jämsänkoskella. Kantokuormien purkamisen vapautti työntekijän hengitysvyöhykkeelle runsaasti erityisesti sädesieniä, kun työvaihe tehtiin Jämsänkosken suljetussa hallissa. Kaipolassa vastaavassa työvaiheessa ei sädesieniä esiintynyt. Sädesienien runsas määrä saattaa aiheuttaa hengitystieinfektioita.



Kuva 14. Kantojen murskauksen yhteydessä mitatut pölypitoisuudet. Raja-arvo on 5 mg/m^3 .



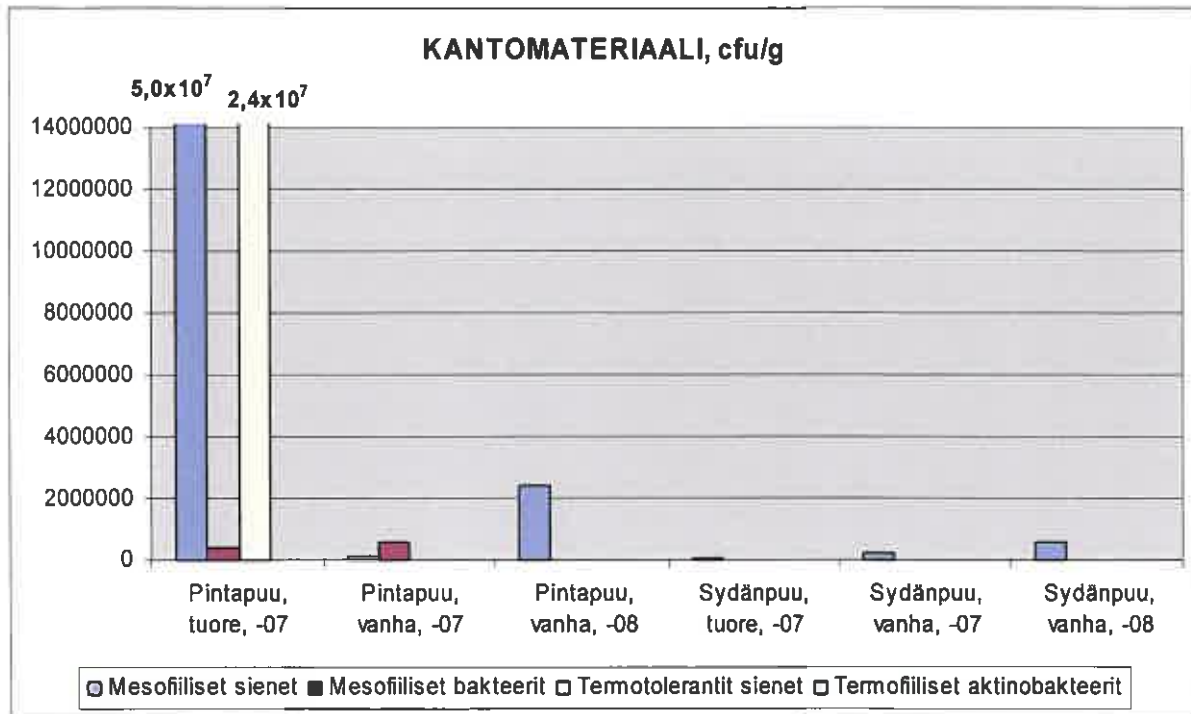
Kuva 15. Mitatut endotoksiinipitoisuudet kantoja murskatessa. Raja-arvo on 50 EU/m³.



Kuva 16. Kantojen murskaus sisätiloissa nostaa voimakkaasti työilman mikrobipitoisuuksia

8.2.3 Kantojen mikrobiologinen tila

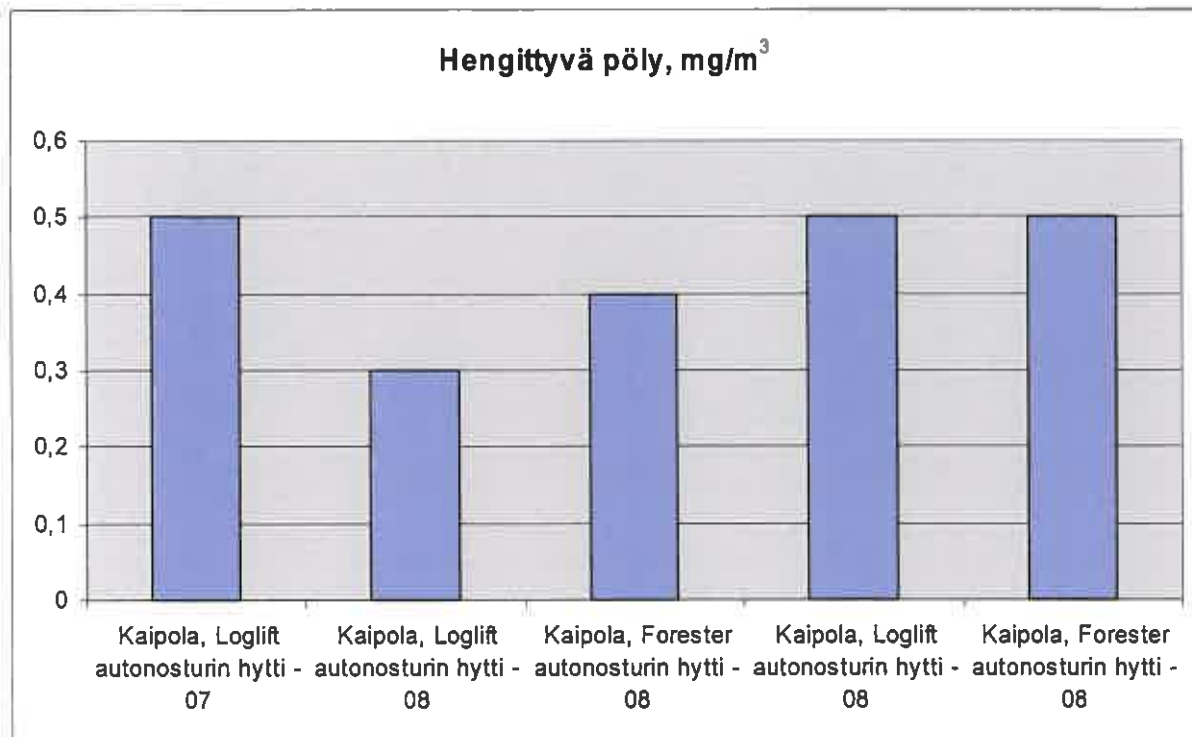
Kantojen mikrobiologisen materiaalianalyysin tulos on mielenkiintoinen. Tuoreesta nostetusta kannosta otetussa pintanäytteessä oli erittäin paljon sieniä. Sydänpuunäytteessä taas oli hyvin vähän sekä sieniä että bakteereja. Vuoden tienvarressa varastoiduissa kannoissa pintanäyte sisälsi paljon bakteereja ja varsin vähän sieniä. Mikrobit olivat kuitenkin selvästi lisääntyneet sydänpuunäytteessä ja aloittaneet mahdollisesti lahottamisen (kuva 17).



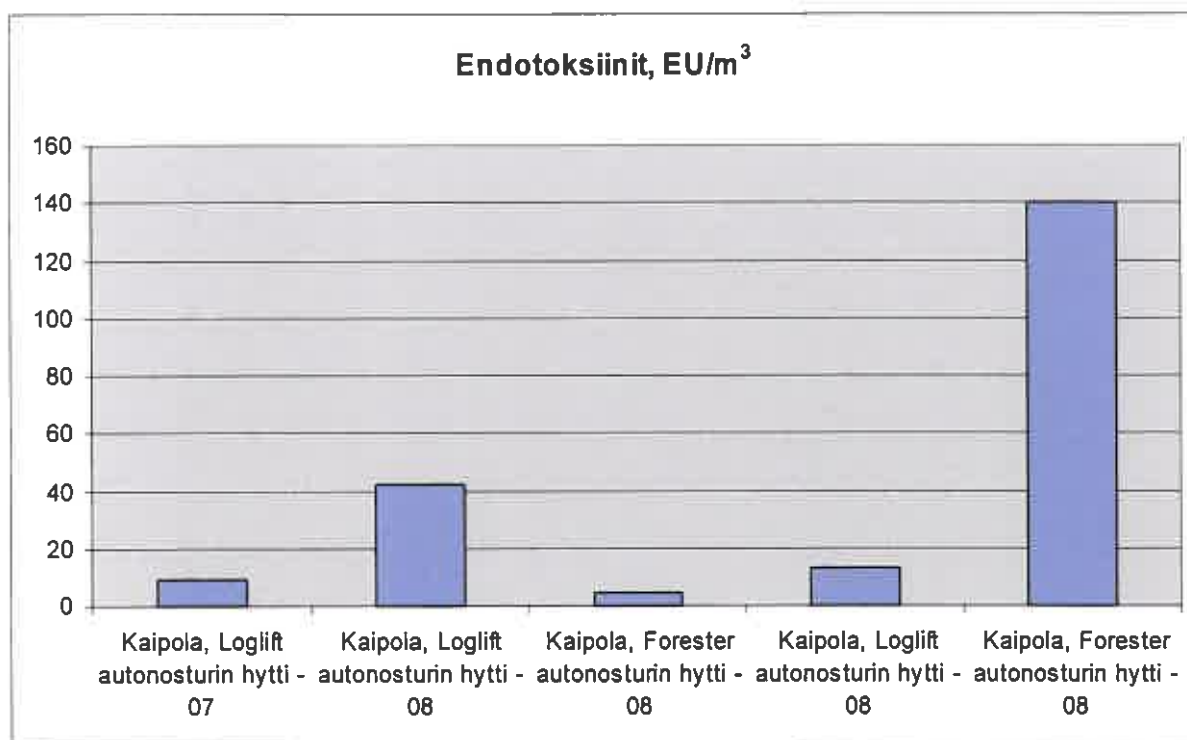
Kuva 17. Eri-ikäisten kantomateriaalien mikrobipitoisuudet jaoteltuna erilaisissa olosuhteissa viihtyviin

8.2.4 Risutukkien murskaus

Risutukkikuormien purkaminen Kaipolassa vapautti työntekijän hengitysvyöhykkeelle pölyjä $<0,3-0,5 \text{ mg/m}^3$ (kuva 18), jotka ovat erittäin pieniä pitoisuuksia. Endotoksiineja havaittiin $9,5-140 \text{ EU/m}^3$. Endotoksiinipitoisuuksissa oli vain yksi korkea tulos (kuva 19). Mikrobinäytteissä sienipitoisuudet olivat vastaavasti $3763-108\,719 \text{ cfu/m}^3$.

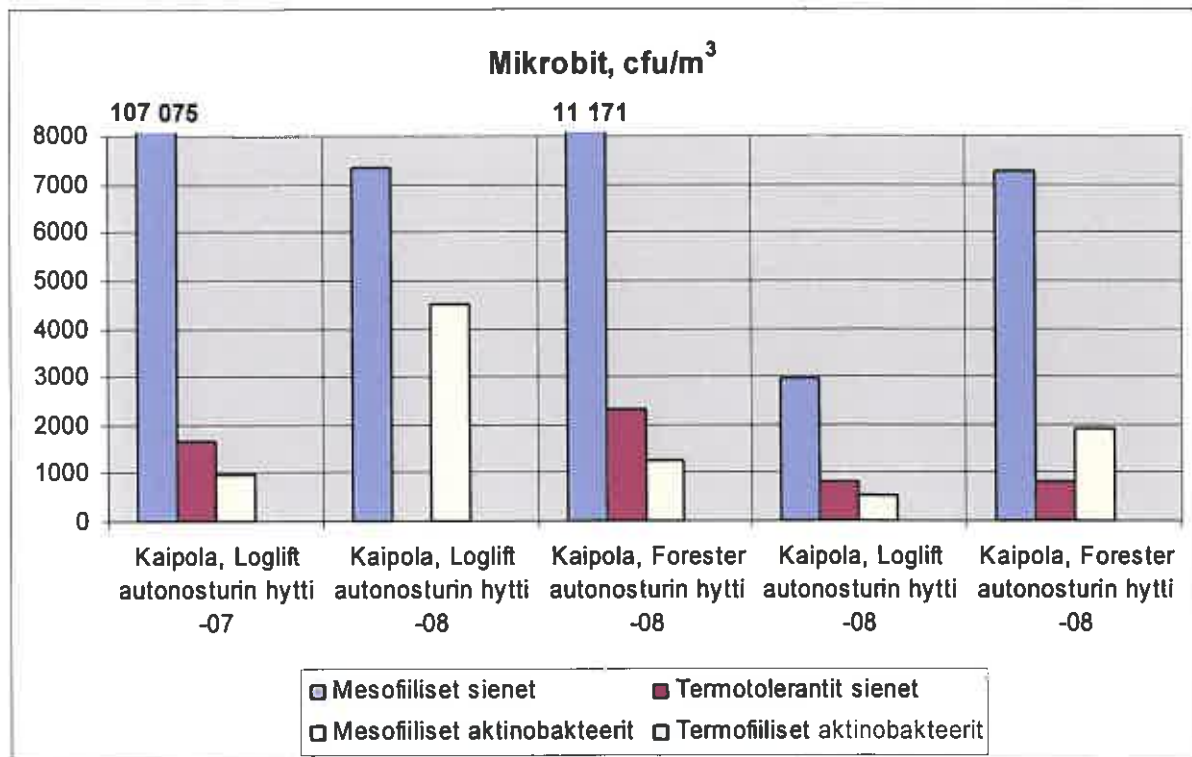


Kuva 18. Mitatut pölypitoisuudet risutukkikuormien purkamisen yhteydessä. Raja-arvo on 5 mg/m³.



Kuva 19. Työntekijän hengitysvyöhykkeeltä mitatut endotoksiinipitoisuudet. Raja-arvo on 50 EU/m³.

Kaikissa Kaipolassa helmikuussa 2008 mitatuissa mikrobinäytteissä pitoisuudet olivat erittäin pieniä. Syyskuussa 2007 mitatut mikrobipitoisuudet olivat kymmenen kertaa suurempia. Kuvassa 20 on eri olosuhteissa kasvavien mikrobin osuudet. Molempien ajankohtien näytteiden mikrobiologisissa analyyseissä löytyi terveydelle haitallisia *Aspergillus fumigatus* -sientä ja sädesieniä.



Kuva 20. Risutukkien murskaus ulkotiloissa, mitatut mikrobipitoisuudet.

Mittaustuloksissa ei ollut eroja eri nosturihyttivalmistajien (Loglift, Forester ja Jonsered) välillä.

8.3 Muut altistukset ja riskitekijät

Kantoja ja risutukkeja kuljettavien kuorma-autojen nosturihyteissä ei ollut minkäänlaisia raitisilmasuodattimia tai ilmastointia. Hyteissä saattoi olla yrittäjän itsensä tekemä vaahtomuovisuodatus, joka saattaa jopa huonontaa työntekijän hengittämän ilman puhtautta. Nosturihytit ovat lisäksi hyvin ahtaita, jolloin on suuri riski, että työntekijä vahingossa saa aikaan tahattoman vaarallisen ohjausvirheen. Lisäksi hytit sijaitsevat niin korkealla, että etenkin talvella liukkaat astinlaudat aiheuttavat merkittävän tapaturmavaaran. Tutkimuksessa nyt mukana olleiden autojen astinlaudat olivat myös pahoin vääntyneet.

Tupakointi oli erittäin yleistä ja se altistaa työntekijää itseään erilaisille hengitystiesairauksille sekä haittasi mittauksia, joten tupakointia tulisi rajoittaa hyteissä. Työntekijöiden tupakointi työskentelyn aikana aiheutti sen, että ilman epäpuhtauksien hiukkaskokomääriä ei ollut mahdollista tehdä.

Ruokohelvellä korjuuajankohdan ajoittaminen on erittäin tarkkaa, koska paras korjuuaika ajoittuu noin parin viikon ajanjaksolle keväällä. Tällöin maa on vielä roudassa, mutta kasvusto on jo kohonnut maasta. Leikkaamalla ruokohelvi matalaan sänkeen saadaan suurin sato. Leikkuukorkeuden nostaminen 5 cm:stä 10 cm:iin aiheuttaa jo noin 25 %:n sadon menetyksen. Vesisade on pahinta, mitä tuona ajankohtana voi sattua. Tällöin maa sulaa eikä kestä koneiden painoa. Samalla alkaa myös uuden kasvuston kasvu, jolloin helpisaanto ei enää ole voimalliseksi sopivaa. Näin kävi myös Ilomantsissa, jossa karhotuksen osalta ensimmäiset mittaukset jäivät tekemättä, koska työtä tekevä kone vajosi suohon. Mittauksia häiritsivät lisäksi jatkuvat sadekuurot, jolloin työt keskeytyivät.

Häiriötilanteet ovat työvaiheita, joissa työntekijä saattaa altistua hetkellisesti hyvinkin suurille pitoisuuksille. On havaittu, että mitä enemmän automatiikkaa ja esim. suojaustoimenpiteenä koteloitua, sitä haitallisempiin tilanteisiin työntekijät häiriötilanteessa joutuvat. Näin kävi Kaipolassa, jossa murskain on täysin koteloitu. Ongelman aiheuttajana olivat risutukkien ympärillä olleet langat, jotka kiertyivät murskaimen roottorien ympärille. Työntekijät joutuivat purkamaan koteloinnin ja ryömimään puukon kanssa avaamaan tiukkaa lankatukosta. Työ suoritettiin ilman suojaimia. Kuvassa 21 on murskaimesta puukolla purettua paalilankaa.



Kuva 21. Risutukkien ympärillä olleet langat irrotettuna murskaimesta

9 Työturvallisuutta koskevia yleisiä periaatteita

Terveysvaarojen pienentämiseksi on niiden hallintakeinojen ja ratkaisujen oltava kustannustehokkaita sekä vaikutukseltaan merkittäviä. Altistumista tulee ensisijaisesti pyrkiä vähentämään kehittämällä biopolttoaineiden käsittelyteknologioita siihen suuntaan, että työntekijälle aiheutuvat terveysriskit minimoituvat. Seuraavana keinona on päästöjen leviämisen ehkäiseminen ja vasta viimeisenä vaihtoehtona tulevat henkilökohtaiset suojaimet.

Riskiä ei yleensä voida kokonaan välttää, mutta sitä voidaan hallita. Olennaisena osana riskien hallintaan kuuluu riskin pienentäminen, jota voidaan toteuttaa vaikuttamalla tapahtuman todennäköisyyteen ja seurauksiin. Toisin sanoen on pyrittävä vaikuttamaan siihen, että riski toteutuisi mahdollisimman harvoin ja jos se toteutuu, seuraukset olisivat mahdollisimman pienet.

Ensisijaisesti olisi pyrittävä vaikuttamaan riskin todennäköisyyteen. Riskiä ja samalla vastuuta voidaan myös siirtää toiselle taholle sopimusteitse. Tyypillisiä sopimuksia ovat esimerkiksi kuljetus- ja alihankintasopimukset: luotettavan ja ammattitaitoisen yrityksen kanssa voidaan tehdä sopimus riskin sisältävän työn suorittamisesta. Toinen mahdollisuus on vakuuttaminen. Vakuutusyhtiöillä on runsaasti erilaisia vakuutusmuotoja pk-yritystenkin tarpeisiin. Vakuutusmaksujen suuruuteen voi vaikuttaa mm. omilla riskienhallintatoimenpiteillä, eli riskienhallinta on kannattavaa tälläkin tavalla, ja on olennainen osa nykyaikaista yritystoimintaa.

Osa riskeistä on sellaisia, että ne joudutaan tai ne kannattaa pitää omalla vastuulla. Niiden kanssa on vain osattava elää. Esimerkiksi sopimuksista ja vakuuttamisesta huolimatta osa riskeistä jää aina toiminnanharjoittajan omalle vastuulle. Riskienhallintaa on myös varautuminen, jos kaikesta huolimatta jotakin sattuu. Usein on hyvä ennakolta rauhassa suunnitella, miten toimitaan vahingon sattuessa ja miten vahingosta toivutaan. Näin varmistetaan sujuva toiminta ongelmatilanteissa.

Työturvallisuuslain mukaisesti työnantajan velvollisuus on huolehtia työympäristön turvallisuudesta ja terveellisyydestä ja että työntekijän käytössä on asianmukaiset työvälineet sekä tiedot niiden turvallisuudesta käytöstä ja tarkastamisesta. Myös vanhojen koneiden suojaustekniikasta on tiedon oltava asianmukainen. Työnantajan tulee myös arvioida työntekijän henkilökohtaiset ominaisuudet ja soveltuvuus hänelle osoitettavaan työtehtävään.

Työntekijän tehtävänä puolestaan on noudattaa työnantajan ohjeita ja määräyksiä ja hän on velvollinen raportoimaan mahdollisista epäkohdista työnantajalle. Työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin tilanteen korjaamiseksi. Työpaikalla olevan turvallisuus- tai suoja-laitteen poistaminen on erityyssäännöksellä kielletty. Työntekijällä on lisäksi oikeus pidättyä työstä, jos siitä aiheutuu vakavaa vaaraa hengelle tai terveydelle (Työturvallisuuslaki 738/2002).

Konelaki määrää laitevalmistajan jo lähtökohtaisesti suunnittelemaan laitteet ja koneet niin turvallisiksi, että suojaus- ja turvalaitteita ei tarvita (Konelaki 1016/2004).

10 Johtopäätöksiä ja toimenpidesuosituksia

Kaikkien uusien biopolttoaineiden käsittelyvaiheita on monia, ja käytössä olevat tekniikat myös poikkeavat toisistaan suuresti. Tästä syystä on vaikeaa laatia yhtä yleispätevää ohjeistusta oikeista tekniikoista ja työskentelytavoista.

Ruokohelven eri käsittelyvaiheissa on tärkeää pyrkiä käsittelemään raaka-aine mahdollisimman tuoreena. Kaikkien biopolttoaineiden varastointiaikojen pituuteen ja -olosuhteisiin tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Etenkin maassa varastointia tulisi välttää. Risutukkikasat ovat esimerkiksi Sveitsissä peiteltävä, mikäli varastointiaika ylittää kolme kuukautta. Mikrobikasvu lähteen käyntiin, kun materiaalin kosteus ylittää 20 %:a.

Kuorma-auton kuljettajien ”työpiste”, jossa he tekevät kuorman lastausta ja purkua, on nosturihytti, joista puutuivat raitisilmasuodattimet ja ilmastointi. Eräs työnantaja oli tehnyt itse hytteihin ilmansuodattimet, mutta niiden teho ei ollut riittävä ja lisäksi suodattimista aiheutui tilaongelmia työntekijöille. Kesällä nosturihyteissä tarvitaan myös ilmastointia, sillä muuten olosuhteet voivat olla liian kuumia työskentelyyn. Myös hytin tärinän havaittiin olevan työntekijälle liian voimakasta. Hyttien valmistajien tulisikin aktivoitua ottamaan nämä asiat huomioon laitesuunnittelussa.

Jämsänkosken voimalaitoksella erityisen ongelmallinen alue työhygienian kannalta on rakennus, jossa kuormat puretaan avokuljettimelle. Siellä oleskelua tulisi kaikin tavoin, myös purkujen välillä, välttää. Tämä alue olisi suositeltavaa rajata kokonaan omaksi tilakseen, koska paikallispoistoilla on mahdotonta hallita niin suuren alueen ilmavirtauksia.

Työskentelykoneet tulisi pitää puhtaina, huoltaa ja siivota riittävän usein. Ruokohelven käsittelykoneiden ja kantojen nostokoneiden kuljettajien tulisi huolehtia ilmasuodatinlaitteiston asianmukaisesta huollosta ja puhdistuksesta. Tutkimuksissa on havaittu, että jopa puolet suodattimista on puutteellisessa kunnossa. Suodattimet tulisi vaihtaa laitevalmistajan antamin vaihtovälein. Useilla suodatinvalmistajilla 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 työskentelyn aikana.

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 riisuttava 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.

Henkilökohtaista suojainta käytettäessä on muistettava, että 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 säily-

tyksestä on huolehdittava asianmukaisesti. Suojakäsineiden käyttö on myös suositeltavaa, koska mikrobit saattavat kulkeutua elimistöön myös esimerkiksi haavojen kautta.

Tutkimuksessa kävi ilmi lisäksi muita terveystekijöitä, kuten mm. työntekijöiden väsymys, pitkät ajomatkat, tärisevä työtila ja sosiaalitiilojen puutteellisuus. Esimerkiksi ruokailu tapahtuu yleisesti eväitä nauttien työpisteessä, jossa tiedetään olevan erilaisia altisteita.

Vastaus kysymykseen ”Ovatko biopolttoaineet terveystekijä?”, voidaan todeta, että tutkittujen uusien polttoaineiden tiettyihin käsittelyvaiheisiin sisältyy terveystekijä, joihin tulisi kiinnittää huomiota riittävän varhaisessa vaiheessa. Kaikki työturvallisuutta edistävät keinot ja niiden kustannukset tulevat työnantajalle kuitenkin takaisin säästettyinä työpäivinä, sairauspoissaolojen vähenemisenä ja tuottavuuden kasvuna. Terveellinen ja turvallinen työympäristö on kaikkien etu.

11 Yhteenveto

Tavoitteena oli selvittää uusista polttoaineista ruokohelven, kantojen ja risutukkien eri käsittelyvaiheiden mahdollisesti aiheuttamia työterveysvaaroja työntekijöille sekä laatia torjuntatoimenpide-ehdotuksia vaarojen hallitsemiseksi joko teknisin keinoin tai työmenetelmiä muuttamalla. Aikaisemmassa tutkimuksessa havaittiin etenkin mikrobi-altistumisen olevan suuri eräissä työvaiheissa, joten tämä tutkimus rajattiin koskemaan nimenomaan työilman pöly-, endotoksiini- ja mikrobipitoisuuksia.

Tutkimuskohteiksi valittiin työvaiheet, joissa altistumisen arveltiin alustavien tutkimustulosten sekä käytettävien tekniikoiden perusteella olevan eniten altistavia. Esimerkiksi käsittelyketjun alkupää ruokohelven, kantojen ja risutukkien osalta oli jäänyt kokonaan esiselvityksessä tutkimatta. Pääpaino oli nyt työvaiheissa, joissa materiaaleja käsiteltiin mekaanisesti. Näitä olivat ruokohelven niitto, karhotus, murskaus ja paalaus, kantojen nosto metsästä, murskaus voimalaitoksella ulko- ja sisätilassa, risutukkien murskaus voimalaitoksella ulkotiloissa. Kannoista tehtiin lisäksi mikrobiologiset materiaalianalyysit.

Ruokohelven kenttätutkimukset tehtiin Ilomantsissa kesäkuussa 2007 ja toukokuussa 2008. Kantojen nostokokeet tehtiin syyskuussa 2007 Jämsänkoskella olevalla työmaalla. Samaan aikaan tehtiin myös tutkimusta kantojen ja risutukkien murskauksesta Jämsän UPM Kymmene Kaipolan tehtailla. Helmikuussa 2008 tutkimuksessa murskattiin kantoja Jämsän Kaipolan tehtailla ja Jämsänkosken voimalaitoksella. Tuolloin ainoastaan Kaipolassa murskattiin risutukkeja.

Ruokohelven käsittelyvaiheissa mitatut pölypitoisuudet ovat erittäin pieniä, $<0,3-2,0 \text{ mg/m}^3$. Sen sijaan endotoksiinipitoisuudet ovat varsin korkeita erityisesti niiton ja paalauksen aikana, $4,1-110 \text{ EU/m}^3$. Mikrobipitoisuudet ovat korkeita murskauksen yhteydessä ja *Aspergillus fumigatus*-, *Penicillium*- ja sädesieniä esiintyi. Sädesieniä oli erittäin paljon etenkin toukokuussa 2008 murskauksen yhteydessä otetuissa näytteissä, toisessa jopa $80\,454 \text{ cfu/m}^3$. Tämä pitoisuus mitattiin sen murskauksen yhteydessä, jossa ruokohelpeä murskattiin toiseen kertaan.

Kantokuormien purkamista ja murskausta mitatessa pölypitoisuudet olivat sekä Jämsänkoskella ja Jämsässä erittäin pieniä, $<0,5-7,3 \text{ mg/m}^3$. Endotoksiinipitoisuudet olivat korkeita samassa työvaiheessa Jämsänkoskella sisällä hallissa, $80-440 \text{ EU/m}^3$. Jämsässä vastaavat pitoisuudet olivat matalampia, $<0,3-25 \text{ EU/m}^3$. Helmikuussa 2008 Jämsänkoskella kuormien purkamisen ja murskauksen yhteydessä otettujen kaikkien mikrobinäytteiden sienipitoisuudet olivat korkeat, $61\,364-168\,990 \text{ cfu/m}^3$. Syyskuussa 2007 samoja korkeita pitoisuuksia mitattiin Jämsässä ulkona risutukkikuormia purettaessa ja murskattaessa.

Jämsänkosken voimalaitoksella erityisen ongelmallinen alue työhygienian kannalta on rakennus, jossa kuormat puretaan kävelevälle lattialle ja murskataan samassa tilassa. Siellä oleskella tulisi kaikin tavoin, myös purkujen välillä, välttää. Murskaus olisi suositeltavaa muodostaa kokonaan omaksi tilaksi, koska paikallispoistoilla on mahdotonta hallita niin suuren alueen ilmavirtauksia.

Tuoreesta nostetusta kannosta otetussa pintanäytteessä oli erittäin paljon sieniä. Sydänpuunäytteessä oli hyvin vähän sieniä että bakteereja. Vuoden tienvarressa varastoiduissa kannoissa pintanäyte sisälsi paljon bakteereja ja varsin vähän sieniä. Mikrobit olivat kuitenkin selvästi lisääntyneet sydänpuunäytteessä ja aloittaneet mahdollisesti lahottamisen.

Risutukkikuormien purkaminen Kaipolassa vapautti työntekijän hengitysvyöhykkeelle pölyjä $<0,3-0,5 \text{ mg/m}^3$, jotka ovat erittäin pieniä pitoisuuksia ja endotoksiineja $9,5-140 \text{ EU/m}^3$. Endotoksiinipitoisuuksissa oli vain yksi korkea tulos. Mikrobinäytteissä oli sienipitoisuudet vastaavasti $3763-108\,719 \text{ cfu/m}^3$. Kaikissa Kaipolassa helmikuussa 2008 mitatuissa mikrobinäytteissä pitoisuudet olivat erittäin pieniä. Syyskuussa 2007 mitatut mikrobipitoisuudet olivat kymmenen kertaa suurempia. Molempien ajankohtien näytteiden mikrobiologisissa analyyseissä löytyi terveydelle haitallisia *Aspergillus fumigatus* -sientä ja sädesieniä.

Mittaustuloksissa ei ollut eroja eri nosturihyttivalmistajien välillä.

Ruokohelven eri käsittelyvaiheissa on tärkeää pyrkiä käsittelemään raaka-aine mahdollisimman tuoreena. Kaikkien biopolttoaineiden varastointiaikojen pituuteen ja –olosuhteisiin tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Etenkin maassa varastointia tulisi välttää. Mikrobikasvu lähteen käyntiin, kun materiaalin kosteus ylittää 20 %:a. Käsittelyn aikana tulisi huomioida tuulen suunta ja työskennellä tuulen alapuolella altistumisen vähentämiseksi.

Työskentelykoneet tulisi pitää puhtaina, huoltaa ja siivota riittävän usein. Ruokohelven käsittelykoneiden ja kantojen nostokoneiden kuljettajien tulisi huolehtia ilmasuodatinlaitteiston asianmukaisesta huollosta ja puhdistuksesta. Suodattimet tulisi vaihtaa laitevalmistajan antamin vaihtovälein. Useilla suodatinvalmistajilla 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 työvaiheiden aikana.

Kuorma-auton kuljettajien ”työpiste”, jossa he tekevät kuorman lastausta ja purkua, on nosturihytti. Kantoja ja risutukkeja kuljettavien kuorma-autojen nosturihytteissä ei ollut minkäänlaisia raitisilmasuodattimia tai ilmastointia. Kesällä nosturihytteissä tarvitaan myös ilmastointia, sillä muuten olosuhteet voivat olla liian kuumia työskentelyyn. Hyttien valmistajien tulisikin aktivoitua ottamaan nämä asiat huomioon. Hytteissä saattoi olla yrittäjän itsensä tekemä vaahdotuovuusuodatus, joka saattaa jopa huonontaa työntekijän hengittämän ilman puhtautta. Nosturihytit olivat lisäksi hyvin ahtaita, jolloin on suuri riski, että työntekijä vahingossa saa aikaan tahattoman vaarallisen ohjausvirheen. Lisäksi hytit sijaitsevat niin korkealla, että etenkin talvella liukkaat astinlaudat aiheuttavat merkittävän tapaturmavaaran. Tutkimuksessa nyt mukana olleiden autojen astinlaudat olivat myös pahoin vääntyneet. Myös hytin tärinän havaittiin olevan työntekijälle liian voimakasta. Nosturihytti toimii usein myös ruokailutilana, jossa nautitaan omat eväät. Ruokailun hygieenisuus ei silloin ole tasolla, jolla sen pitäisi olla.

Tupakointi oli erittäin yleistä ja se altistaa työntekijää erilaisille hengitystiesairauksille, joten tupakointia tulisi rajoittaa hytteissä. Työntekijöiden tupakointi työskentelyn aikana haittasi mittauksia ja aiheutti sen, että ilman epäpuhtauksien hiukkaskokomäärityksiä ei ollut mahdollista tehdä.

Tutkimuksessa kävi ilmi lisäksi muita terveystekijöitä, kuten mm. työntekijöiden väsymys, pitkät ajomatkat ja sosiaalitulojen puutteellisuus.

Terveysvaarojen pienentämiseksi on niiden hallintakeinoratkaisujen oltava kustannustehokkaita sekä vaikutukseltaan merkittäviä. Altistumista tulee ensisijaisesti pyrkiä vähentämään kehittämällä biopolttoaineiden käsittelyteknologioita siihen suuntaan, että työntekijälle aiheutuvat terveystekijät minimoituvat. Seuraavana keinona on päästöjen leviämisen ehkäiseminen ja vasta viimeisenä vaihtoehtona tulevat henkilökohtaiset suojaimet.

Työturvallisuuslain mukaisesti työnantajan velvollisuus on huolehtia työympäristön turvallisuudesta ja terveellisyydestä ja että työntekijän käytössä on asianmukaiset työvälineet sekä tiedot niiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta. Myös vanhojen koneiden suojaustekniikasta on tiedon oltava asianmukainen. Työnantajan tulee myös arvioida työntekijän henkilökohtaiset ominaisuudet ja soveltuvuus hänelle osoitettavaan työtehtävään. Työntekijän tehtävänä on noudattaa työnantajan ohjeita ja määräyksiä ja hän on velvollinen raportoimaan mahdollisista epäkohdista työntajalle. Työnantajan on välittömästi ryhdyttävä toimenpiteisiin tilanteen korjaamiseksi. Turvallisuus- tai suojalaitteen poistaminen on erityyssäännöksellä kielletty. Työntekijällä on lisäksi oikeus pidäytyä työstä, jos siitä aiheutuu vakavaa vaaraa hengelle tai terveydelle (Työturvallisuuslaki 738/2002).

Konelaki puolestaan määrää laitevalmistajan jo lähtökohtaisesti suunnittelemaan laitteet ja koneet niin turvallisiksi, että suojauksia ja turvalaitteita ei tarvita (Konelaki 1016/2004).

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.

Henkilökohtaista suojainta käytettäessä on muistettava, että 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.

Lähdeviitteet

Ajanko, S., Fagernäs, I. Uusien biopolttoaineiden käsittelyn työhygieeniset riskit. Loppuraportti VTT-R-00358-06. 2006. s. 44.

Allergia- ja Astmaliitto. Sähköposti 7.5.2008, Sirkka-Liisa Piippo.

Antti-Poika, M. Työperäiset sairaudet. Työterveyslaitos, Helsinki 1993. 498 s.

Bioaerosol sampler. Ann. occup. Hyg., Vol. 43, No 6, s.393–404

Bioenergia-lehti. Peltoenergialla lisää uusiutuvaa energiaa. Bioenergia – lehti nro 4/2007 s. 14 – 15.

Fishwick, D., Allan, L., Wright, A. & Curran, A. 2001. Assessment of exposure to organic dust in a hemp processing plant. Ann. Occup. Hyg. 45 s. 577–583.

HTP – arvot 2007. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2007:4. Yliopistopaino Helsinki, 2007. 71 s.

Jacobs, R.R., 1997. Endotoxins in the environment: a criteria document. *Int. J. Occup. Environ. Health* 3 Suppl. 1, s. S3–S5

Kenny, L.C., Bowry, A., Crook, B., Stancliffe, J.D. (1999). Field testing of a personal size-selective

Lacey, J. & Dutkiewicz, J. Bioaerosols and occupational lung disease. *J. Aerosol Sci.* 1994: 1371–1404.

Lauhanen, R., Laurila, J. Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet. 2007. Metlan työraportteja 42. s. 58.

Metsäteho Oy. Metsähakkeen tuotantokalusto vuonna 2007 ja tulevaisuudessa. Metsätehon katsaus 027/2007.

Nationale MAC – lijst 2001. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. Sdu Uitgevers, Nederland, 2001.

Rylander, R. Evaluation of the risks of endotoxin exposures. *Int. J. Occup. Environ. Health suppl.* to 3(1997)S32-S36.

SFS 3860. Työpaikan ilman pölypitoisuuden mittaaminen suodatinmenetelmällä. Suomen standardoimisliitto SFS, Helsinki 1976.

Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäilmayhdistys, Rakennustietosäätiö, Suomen Arkkitehtiliitto, Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto ja Suunnittelu- ja Konsulttitoimistojen liitto.

Suva (Swiss National Accident Insurance Fund) 2005. Valeurs limites d' exposition aux postes de travail, Sveitsi, 2005.

Timperi, A. Metsäenergia ja koneenrakentajan liiketoiminta. Esitelmä. Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaari Jyväskylällä 17.–18. maaliskuuta 2004.

Toivola, M., Alm, S., Reponen, T., Kolari, S. & Nevalainen, A. 2002. Personal exposures and microenvironmental concentrations of particles and bioaerosols. *J. Environ. Monit.* 4 s. 166–174.

Työturvallisuuslaki 738/2002.

Vnp 1485/2001. Valtioneuvoston asetus terveystarkastuksista erityistä sairastumisen vaaraa aiheuttavissa töissä.

www.finbio.fi Luettu 28.11.2007.

www.metsakeskus.fi. Luettu 17.11.2008.

www.skal.fi Luettu 3.12.2007.

www.vapo.fi. Luettu 29.9.2008.