

METSÄ- JA PELTOBIOENERGIAN TUOTANTOPROSESSIEN TYÖTERVEYS- JA TYÖTURVALLISUUSRISKIEN ARVIOINTI

Minna Ruokolainen
Metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien
työterveys- ja työturvallisuusriskien arviointi
Pro Gradu -tutkielma
Master's Degree Programme in General Toxicology
and Environmental Health Risk Assessment
Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitos
Kesäkuu 2012

ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta
Ympäristötiede, Master's Degree Programme in General Toxicology and Environmental
Health Risk Assessment

Ruokolainen Minna: Metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien työterveys- ja
työturvallisuusriskien arviointi

Pro Gradu -tutkielma 149 sivua, 8 liitettä (8 sivua)

Tutkielman ohjaajat: professori Pertti Pasanen, Itä-Suomen yliopisto ja DI, vanhempi tutkija
Kari Ojanen, Työterveyslaitos

Kesäkuu 2012

avainsanat: bioenergia, työterveys, työturvallisuus, riskinarviointi

TIIVISTELMÄ

Bioenergian käyttöä Suomen energian tuotannosta on tulevaisuudessa lisättävä, jotta Suomi täyttäisi EU:n asettaman tavoitteen uusiutuvan energian osuuden kasvattamisesta. Bioenergian käytön lisääminen kasvattaa biopolttoaineprosessien parissa työskentelevien määrää. Työpaikkojen lisääntymisen myötä olisi kiinnitettävä enemmän huomiota myös työterveyteen ja -turvallisuuteen. Tuotanto- ja käyttöketjujen mahdolliset vaaratekijät sekä työterveys- ja työturvallisuusriskit tulisi pystyä tunnistamaan. Riskien merkittävyyttä olisi myös osattava arvioida, että tarvittaessa voidaan toteuttaa oikeita hallintatoimenpiteitä riskien pienentämiseksi.

Tässä pro gradu-työssä tarkastellaan metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien vaaratekijöitä sekä niiden aiheuttamia työterveys- ja työturvallisuusriskejä. Tarkastelun kohteeksi valittiin metsähake ja sen yleisimmät tuotantoketjut sekä ruokohelven tuotantoprosessi. Työ painottuu kirjallisuuskatsaukseen ja sen päätavoitteena oli selvittää, mitä ja kuinka paljon työterveys- ja työturvallisuusasioista bioenergia-alalla tiedetään, sekä kartoittaa mahdollisia lisätutkimustarpeita. Työssä tarkastellaan valittujen tuotantoketjujen fysikaalisia, biologisia ja kemiallisia vaaratekijöitä sekä tapaturmien vaaraa. Tarkastelu rajattiin koskemaan ko. biomassojen tuotantoa, varsinaisen polttoaineen valmistusta sekä polttoaineen käyttöä, pois lukien poltosta aiheutuvien päästöjen riskit.

Bioenergian tuotantoprosesseissa tunnistetut vaaratekijät yhdistettiin polttoaineiden prosessikaavioihin. Vaaratekijöiden osalta arvioitiin, kuinka hyvin niiden aiheuttamien riskien merkittävyyttä voidaan olemassa olevien tietojen avulla arvioida. Prosesseille laadittiin myös ns. 'safety check'-tarkastuslistat, joita voidaan käyttää vaaratekijöiden tunnistamiseen ja hallintaan. Koska yksityiskohtainen riskinarviointi ei aineiston laajuuden vuoksi ollut mahdollista, kuvattiin menetelmä, jolla riskinarviointia voidaan tehdä.

Kirjallisuuden perusteella havaittiin, ettei bioenergian tuotantoprosessien vaaratekijöitä ole juuri tutkittu. Käytettävät menetelmät ja laitteet ovat usein samankaltaisia kuin perinteisissä maa- ja metsätaloustöissä, mutta bioenergian tuotannossa käytetään myös menetelmiä ja/tai laitteita, joiden aiheuttamaa vaaraa ei ole selvitetty, eikä riskin merkittävyyttä voida olemassa olevien tietojen perusteella määrittää. Lisätutkimustarpeita tunnistettiin mm. mikro-organismien sekä orgaaninen pölyn osalta, sillä niitä todettiin voivan muodostua merkittäviä määriä kaikissa tuotantoprosesseissa. Useissa työvaiheissa myös koneiden ja laitteiden aiheuttamaa melua ja värinää sekä niiden aiheuttamia riskejä tulisi selvittää tarkemmin. Eräistä tunnistetuista vaaratekijöistä, kuten esim. kvartsista kantojen nostotyössä tai hakkureiden/murskainten värinästä, ei kirjallisuudesta löydetty lainkaan tutkimustuloksia. Tällaisten vaaratekijöiden aiheuttamien riskien arvioimiseksi tulisi tehdä menetelmä- ja laitekohtaisia tutkimuksia ja mittauksia.

UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND, Faculty of Science and Forestry
Environmental Science, Master's Degree Programme in General Toxicology and
Environmental Health Risk Assessment

Minna Ruokolainen: Risk assessment of occupational health and safety of productions chains
of forest and field bioenergy

MSc thesis 149 pages, 8 appendixes (8 pages)

Supervisors: Professor Pertti Pasanen, University of Eastern Finland and Senior Researcher
Kari Ojanen, Finnish Institute of Occupational Health

June, 2012

keywords: bioenergy, occupational health, occupational safety, risk assessment

ABSTRACT

In the future, the use of bioenergy needs to be increased in Finland's energy production, in order for Finland to meet the EU's target to increase the share of renewable energy. Increasing the use of bioenergy also will increase the number of people working at the different biofuel processes. Because the growth of the number of working places, more attention should be also paid to the occupational health and safety. The potential hazards in the production chains and in the use of bioenergy, as well as the occupational health and safety risks should be able to identify. The significance of risks need also be able to assess that appropriate actions can be implemented to manage and reduce the identified risks.

In this Master's thesis the hazards of the forest and field bioenergy production, as well as the occupational health and safety risks caused by the production are studied. The most common production chains of wood chips, as well as the production of reed canary grass were chosen for the object of study. The study focuses on the literature and the main objective was to find out what and how much is known about the health and safety issues in the bioenergy field, and to recognise further research needs. The physical, biological and chemical hazards of selected production chains, as well as the risks of accidents, were analysed. The review was limited to the production of those biomasses, the manufacture of the biofuels and the use of biofuels, excluding the risks caused by the combustion emissions.

The identified hazards of the production processes of bioenergy were combined to the process charts of biofuels. For each hazard was assessed, how well the significance of the risks caused by the hazard could be evaluated by the existing data. So called "Safety check"-lists of production processes that could be used to identify and manage the hazards, were compiled. Because the magnitude of data, the detailed risk assessment was not possible to carry out, therefore only the possible method for the risk assessment was described.

Based on the literature review, it was found that the hazards of bioenergy production are not well studied. The working methods and equipment are often similar to those used at the traditional agricultural and forestry work, but also the methods and/or equipment that potential hazards are unknown or have not been studied, are used. Therefore the significance of the risks could not be estimated on the basis of the existing data. The needs for further research were identified e.g. for micro-organisms and organic dust, because it was observed that those could be formed in significant quantities at all selected bioenergy production processes. It was also recognised several stages of the processes where the noise and vibration caused by the machines and equipment, as well as their risks should be studied more carefully. From some of the hazards, identified in the study, e.g. forming of the quartz during the lifting of stumps or the vibration caused by chippers/crushers, no data from literature was found. For assessing the health and safety risks of such hazards, the method-specific as well as the equipment-specific surveys and measurements need to be carried out.

ESIPUHE

Tämä Pro Gradu-tutkielma toteutettiin Kuopiossa, Työterveyslaitoksella, osana Itä-Suomen yliopiston, Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen, Työterveyslaitoksen sekä Ilmatieteenlaitoksen yhteistä Kantiva-hanketta. Työn tarkoituksena oli tarkastella bioenergian tuotantoprosessien työterveyteen ja työturvallisuuteen liittyviä vaaratekijöitä ja riskejä. Bioenergiatoimiala on viime vuosien aikana kasvanut voimakkaasti ja mikäli tulevaisuuden visiot uusiutuvan energian käytöstä toteutuvat, bioenergian tuotanto ja käyttö tulevat kasvamaan edelleen. Toimialan työterveys- ja työturvallisuusriskejä ei ole juuri aikaisemmin selvitetty tai tutkittu. Tästä johtuen tämän tutkielman pääpaino oli kirjallisuuskatsauksessa, jonka avulla pyrittiin kartoittamaan, mitä toimialan vaaratekijöistä ja riskeistä tiedetään kotimaassa ja kansainvälisesti sekä mitä mahdollisesti tulisi tutkia lisää.

Koska kaikkia bioenergian muotoja ei aiheen laajuuden vuoksi ollut mahdollista ja mielekästäkään tarkastella, valittiin tarkastelun kohteeksi metsäbioenergian osalta metsähakkeen, ja peltobioenergian osalta ruokohelven, tuotantoprosessit. Lisäksi tarkastelu rajattiin koskemaan vaaratekijöistä fysikaalisia, biologisia ja kemiallisia tekijöitä sekä tapaturman vaara. Itse prosessit rajattiin tarkasteltavien biomassojen osalta biomassan hankintaan, varastointiin ja kuljetukseen sekä polttoaineen varastointiin ja käsittelyyn laitoksilla, kun taas polttoprosessi ja sen päästöjen tarkastelu jätettiin ulkopuolelle. Työterveys- ja työturvallisuusriskien selvittämistä olivat Työterveyslaitoksella jo aikaisemmin aloittaneet tutkija Marika Lehtola ja vanhempi asiantuntija Kari Ojanen, joiden ansiokasta työtä jatkoin tämän tutkielman puitteissa.

Kiitän työnohjaajiani vanhempi tutkija Kari Ojasta Työterveyslaitokselta ja prof. Pertti Pasasta Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitokselta. Suuret kiitokset kuuluvat myös Marika Lehtolalle ja Kyösti Louhelaiselle kaikesta avunannosta tutkielman tekemisessä. Kiitän myös Työterveyslaitoksen Kuopion toimipisteen koko muuta henkilökuntaa miellyttävästä työympäristöstä. Lisäksi haluan kiittää Matti Turpeista Vapo Oy:stä ja Eero Karjalaista UPM-Kymmene Oyj Metsä Kuopion metsäpalvelutoimistosta opastuksesta bioenergian tuotantoprosesseihin käytännössä. Erityiset kiitokset myös työnantajalleni Ramboll Finland Oy:lle – ilman minulle myönnettyä opintovapaata ei tämä tutkielma eikä tutkinto olisi valmistunut.

Lahdessa 10.6.2012

Minna Ruokolainen

LYHENTEITÄ

ATEX-direktiivit = räjähdysvaarallisia tiloja ja tiloissa käytettäviä laitteita koskeva lainsäädäntö (Atmosphères Explosibles)

BS = British Standard

CFU = pesäkkeitä muodostava yksikkö (Colony-Forming Unit)

COPD = keuhkohtaumatauti (Chronic Obstructive Pulmonary Disease)

dB = desibeli

EU = Endotoksiiniyksikkö (Endotoxin Unit)

EU-OSHA = Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (European Agency for Safety and Health at Work)

GWh = gigawattitunti= 10^9 wattituntia=1 000 MWh

HTP-arvo = Haitalliseksi tunnettu pitoisuus

Hz = hertsi (1/s)

IARC = Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos (International Agency for Research on Cancer)

ICOH = Kansainvälinen työlääkietieteen järjestö (International Commission on Occupational Health)

IgG = immunoglobuliini- G

IgE = immunoglobuliini- E

J = joule

Kemera-laki = kestävän metsätalouden rahoituslaki 544/2007

LPS = lipopolysakkaridi

Metla = Metsäntutkimuslaitos

MJ = megajoule= 10^6 joulea=1 000 000 J

MMM = Maa- ja metsätalousministeriö

MWh = megawattitunti= 10^6 wattituntia= 1 000 kWh

NEPSI = European Network on Silica

Petu-laki = pienpuun energiaturvaki (14.3.2011 ei vielä voimassa, lakiesitys on Eduskunnan hyväksymä)

PJ = petajoule= 10^{15} joulea= 1 000 TJ

ODTS = Orgaanisen pölyn aiheuttama toksinen oireyhtymä (Organic Dust Toxic Syndrome)

OVA-ohjeet = Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohjeet

REF = kierrätyspoltoaine (Recovered Fuel)

RES-direktiivi = Uusiutuvan energian direktiivi 2009/28/EY (Renewable Energy Source)

STM = Sosiaali- ja terveysministeriö

TEM = Työ- ja elinkeinoministeriö

THL = Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

TJ = terajoule= 10^{12} joulea=1 000 000 MJ

TOT = Työpaikkaonnettomuuksien tutkimusjärjestelmä

TVL = Tapaturmavakuutuslaitosten liitto

TTK = Työturvallisuuskeskus

TTL = Työterveyslaitos

TUKES = Turvallisuus- ja kemikaalivirasto

TWh = terawattitunti= 10^{12} wattituntia=1 000 GWh

UV-säteily = ultraviolettisäteily

Vapo = Vapo Oy

VOC = haihtuva orgaaninen yhdiste (Volatile Organic Compound)

VTT = Valtion teknillinen tutkimuskeskus

VNa = Valtioneuvoston asetus

VNp = Valtioneuvoston päätös

Wh = wattitunti: sähkön ja polttoaineen energiatiheyden yksikkö (1 000 Wh=1kWh=3,6 MJ)

MÄÄRITELMIÄ

bioenergia: biopolttoaineista saatavaa uusiutuvaa energiaa.

biomassa: eloperäistä ainetta (esim. metsä- ja peltobiomassa), jota voidaan käyttää energiantuotantoon: polttoaineena suoraan tai joista voidaan jalostaa kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita.

biopolttoaine: biomassasta eli eloperäisestä aineksesta tuotettu polttoaine, joka voi olla kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista.

briketti: puristetuote, joka valmistetaan esim. kuivasta purusta, hiontapölystä ja kutterinlastusta puristamalla. Briketti on yleensä poikkileikkaukseltaan pyöreä tai neliön muotoinen, kooltaan pellettiä suurempi. Sylinterimäisen briketin pituus on 10–200 mm ja halkaisija 50–80 mm, käytetyn puristimen koosta riippuen.

energiapuu: polttoon tai muuhun energiakäyttöön tarkoitettu puu tai puutavara, muodosta ja lajista riippumatta.

energiatiheys: mittaa tiettyyn systeemiin tai tilavuuteen varastoituneen energian suuruutta tilavuusyksikköä tai massayksikköä kohden. Energiatiheyden yksikkö muodostetaan jakamalla energian yksikkö (esimerkiksi joule) tilavuuden tai massan yksiköllä (esim. MJ/m³). Polttoaineiden yhteydessä samasta asiasta käytetään usein nimitystä lämpöarvo.

fossiilinen polttoaine: polttoaine, joka on syntynyt muinaisten eliöiden fossiloitua. Tärkeimmät fossiiliset polttoaineet ovat öljy, kivihiili ja maakaasu sekä määrittelytavasta riippuen toisinaan myös turve. Fossiiliset polttoaineet ovat uusiutumattomia luonnonvaroja, tai hyvin hitaasti uusiutuvia, kuten turve. Fossiilisten polttoaineiden kemiallinen energia on alun perin maapallon alkuaikojen kasvillisuuden keräämää aurinkoenergiaa.

hake: leikkaavilla terillä hakkurilla puusta tehtyä palamaista polttoainetta, jolla on tietty palakoko (tyypillisesti 5 – 50 mm). Hakepalat ovat muodoltaan viistosti suorakulmaisia.

hakkuutähde: runkopuun hakkuun yhteydessä syntyvä, metsään jäävä puuaines (esim. oksat, latvat) sekä hakkuualueelle jäävä, pienikokoinen puu

hakkuutähdepaali (risutukki): valmistetaan ns. hakkuutähdepaalaimella, jonka avulla hakkuutähteet ja risut sidotaan yhteen narulla ja puristetaan nipuksi hydraulipuristimella. Paalin pituus on noin 3 metriä, ympärysmitta noin 70 cm ja paino hakkuutähdepuun kuivuudesta riippuen noin 500 kg. Energiaa yhdessä paalissa on noin 1 MWh.

jrjrsinturve: turvetta, joka on tuotettu jrjrsimällä turvekerrosta suon pinnasta ja kuivaamalla jrjrsinturpeen raekoko vaihtelee, koska se sisältää hienojakoista turvetta ja turverakeita. Jrjrsinturpeessa on vaihteleva määrä maatumattomia tai huonosti maatumattomia, karkeita kasvinosia (liekopuuta, varpuja, tupasvillaa yms.) sekä maaperästä tai ilmasta peräisin olevia epäpuhtauksia.

kanto: kaatopinnan alapuolinen rungon osa, mukaan lukien puun juuristo

kierrätyspolttoaine (REF): yhdyskuntien ja yritysten polttokeelpoinen, kuivista, kiinteistä ja syntyäaikoilla lajitelluista jätteistä valmistettu polttoaine.

lämpöarvo: täydellisessä palamisessa kehittyvän lämmön energiamäärä polttoaineen massayksikkö kohti (MJ/kg). Ilmoitetaan usein myös tilavuutta kohti eli ns. energiatiheytenä (MJ/m³ tai MWh/m³).

metsäbioenergia: metsäbiomassasta tuotettua energiaa.

metsäbiomassa: puupohjainen biomassa, joita voidaan käyttää polttoaineena tai joista voidaan jalostaa joko kiinteitä tai nestemäisiä polttoaineita

metsähake: yleisnimitys polttohakkeelle tai –murskeelle, jonka valmistukseen voidaan käyttää kaikkea metsästä saatavaa puuta, kuten runkopuuta, latvuuksia, oksia, neulasia, lehtiä, kantoja ja juurakoita.

metsätähde: ainespuun korjuussa ja nuorta metsää harvennettaessa tähteeksi jäävät oksat, latvukset ja hukkarunkopuu (voi olla ns. vihreää tai ruskeaa metsätähdettä sen mukaan onko mukana viherainesta; lehti- tai neulasmassaa)

mikro-organismi (mikrobi): yleisnimitys mikroskooppisen pienille eliöille, jotka eivät näy paljain silmin. Mikrobit eivät ole yksi yhtenäinen taksonominen eliöryhmä, vaan mikrobeja löytyy kaikista eliökunnista; bakteerit ja arkit, mikroskooppiset sienet, kasvit ja eläimet kuten homeet, hiivat, pienet viherlevät ja alkueliöt sekä virukset.

murske: on palamainen puupolttoaine, jonka muoto ja koko vaihtelee ja murske on tuotettu iskevillä, tylpillä terillä, teloilla tai vasaroilla varustetulla murskaimella.

non-food-kasvintuotanto: kasvien viljely, muuhun tarkoitukseen kuin ihmisten tai eläinten ruoaksi.

palaturve: palaturvemenetelmässä kenttään jyrsitään ura, josta irrotettu turvemassa muokataan, tiivistetään ja puristetaan suutinosan läpi palaturpeeksi kuivumaan kentän pinnalle. Jyrshintä tapahtuu joko nostokiekolla tai nostoruuvilla yleensä noin 0,5 m syvyydeltä.

pelletti: puristamalla esim. kutterinlastusta tai sahanpurusta valmistettu lieriömuotoinen rae. Puupellettien valmistus tapahtuu siten, että puumassa hienonnetaan vasaramyllyssä, jonka jälkeen se puristetaan pellettimatriisin läpi. Prosessin aikana lämpötila nousee +160 C°:een, jolloin puukuidussa oleva ligniini pehmenee ja sitoo puukuidut yhteen. Pellettien halkaisija on 6–12 mm ja pituus keskimäärin 10–40 mm.

peltobioenergia: peltobiomassasta tuotettua energiaa.

puuperäiset polttoaineet: yleisnimitys kaikille puu- ja kuoriaineksesta peräisin oleville polttoaineille sisältäen myös metsäteollisuuden puutähteet ja mustalipeän.

risutukki kts. hakkuutähdepaali

tehollinen lämpöarvo: lämpömäärä, joka syntyy poltettaessa massayksikkö polttoainetta, kun sekä polttoaineen vesi että palamisessa muodostunut vesi ovat vesihöyrynä. Ilmoitetaan usein saapumis- tai käyttökosteudessa, jolloin lämpöarvoa laskettaessa huomioidaan kosteus.

turve: suokasvien hitaan maatumisen seurauksena syntynttä, epätäydellisesti hajonnutta eloperäistä maalajia, joka on varastoitunut kasvupaikalleen erittäin märissä olosuhteissa. Hapen puutteen ja runsaan veden takia kasvin jäänteet eivät hajoa kunnolla. Näin syntyy jatkuvasti kasvava turvekerrostuma.

uusiutuva energia: energiaa, jota saadaan uusiutuvista energialähteistä. Uusiutuvan energian tuotantomuodoissa hyödynnetään jatkuvia luonnollisia prosesseja kuten auringonpaistetta, tuulta, virtaavaa vettä ja ilman ja maan lämpöä tai käytetään biologisesti syntyviä varantoja, kuten puuta. Uusiutuvat energianlähteet saavat energiansa auringosta geotermistä energiaa ja vuorovesivoimaa lukuun ottamatta.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	8
2	METSÄ- JA PELTOBIOENERGIAN TUOTANTOPROSESSEISTA	10
2.1	BIOENERGIASTA YLEISESTI	10
2.2	BIOENERGIAN KÄYTÖSTÄ	12
2.2.1	Bioenergian kustannuksista ja hinnasta	12
2.2.2	Bioenergian työllisyysvaikutuksista	16
2.3	METSÄBIOENERGIASTA	19
2.3.1	Metsähakkeen käyttö	21
2.3.2	Metsähakkeen tuotannon työllisyysvaikutukset	22
2.3.3	Metsähakkeen tuotantoprosessit	23
2.3.1.1	Metsätähdehake	26
2.3.1.2	Pien-/rankapuuhake	28
2.3.1.3	Kantomurske	29
2.4	PELTOBIOENERGIASTA	32
2.4.1	Ruokohelven tuotantoprosessit	33
3	TUOTANTOPROSESSIEN VAARATEKIJÖITÄ	40
3.1	FYSIKAALISET VAARATEKIJÄT	41
3.1.1	Melu	41
3.1.2	Tärinä	45
3.1.3	Muut fyysiset vaaratekijät	50
3.2	BIOLOGISET VAARATEKIJÄT	52
3.2.1	Biologisten tekijöiden terveysvaikutuksista yleisesti	53
3.2.1	Bakteerit ja aktinobakteerit	56
3.2.1.1	Bakteeri-, aktinobakteeri- ja endotoksiinipitoisuuksia biopolttoaineiden tuotantoprosesseissa	59
3.2.2	Homesienet ja hiivat	65
3.2.2.1	Homesientien pitoisuuksia biopolttoaineiden tuotantoprosesseissa	68
3.2.2.2	Juurikäävän torjunta harmaaorvakkasien avulla	74
3.2.3	Eläimistä ihmiseen tarttuvat taudit	75
3.3	KEMIAALLISET VAARATEKIJÄT	78
3.3.1	Pölyt	80
3.3.1.1	Orgaaninen (kasviperäinen) pöly	82
3.3.1.2	Epäorgaaninen pöly (mineraalipöly/kvartsi)	84
3.3.2	Kemikaalit	87
3.3.2.1	Torjunta-aineet	87
3.3.2.2	Lannoitteet	88
3.3.2.3	Koneiden polttoaineet ja koneiden pakokaasut	88
3.3.2.4	Hydrauliikka- ja teräketjuöljyt	91
3.3.2.5	Puutavaran värimerkkausaineet	91
3.3.2.6	Puuperäisistä biopolttoaineista haihtuvat yhdisteet	92
3.4	TAPATURMIEN VAARAT	97
3.4.1	Metsäbioenergian tuotantoprosessien tapaturmavaaroista	99
3.4.2	Peltoenergia tuotantoprosessien tapaturmavaaroista	101
3.4.3	Tulipalo- ja räjähdysvaara	103
4	TYÖN TAVOITTEET	105
5	AINEISTO JA MENETELMÄT	106
5.1	AINEISTO JA TYÖN RAJAUS	106
5.2	MENETELMÄT	107

5.2.1	Vaaratekijöiden tunnistaminen ja luokittelu	107
5.2.2	Työterveys- ja työturvallisuusriskien arviointi	108
5.2.2.1	Yleistä riskien arvioinnista työpaikoilla	109
5.2.2.2	”Riskien arviointi työpaikalla-työkirja” -menetelmä	110
6	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	116
6.1	VAARATEKIJÖIDEN TUNNISTAMINEN JA RISKIEN ARVIOIMINEN	116
6.1.1	Metsätähdehakkeen tuotantoprosessit	116
6.1.2	Pien-/rankapuuhakkeen tuotantoprosessit	119
6.1.3	Kantomurskeen tuotantoprosessit	121
6.1.4	Ruokohelpimurskeen tuotantoprosessit	123
6.2	TARKASTUSLISTAT JA NIIDEN KÄYTTÖ	127
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	128

LÄHDELUETTELO

LIITTEET:

LIITE 1	Biopoltoaineen tuotantoprosessin vaaratekijät: metsätähteet
LIITE 2	Biopoltoaineen tuotannon vaaratekijät: pien-/rankapuu
LIITE 3	Biopoltoaineen tuotannon vaaratekijät: kannot
LIITE 4	Biopoltoaineen tuotannon vaaratekijät: ruokohelpi
LIITE 5	Tarkastuslista: metsähakkeen tuotanto metsätähteestä
LIITE 6	Tarkastuslista: metsähakkeen tuotanto pien-/rankapuusta
LIITE 7	Tarkastuslista: metsähakkeen tuotanto kannoista
LIITE 8	Tarkastuslista: ruokohelpimurskeen tuotanto

1 JOHDANTO

Uusiutuvan energian käyttöön vaikuttavat Suomen omat energia- ja ilmastopoliittiset linjaukset sekä Euroopan Unionissa (EU) tehdyt päätökset ja direktiivit. Suomi on uusiutuvan energian osuudessa ja biosähkön tuotannossa EU:n kärkipäätä, mutta silti uusiutuvan energian osuutta on tulevaisuudessa lisättävä. Vuonna 2009 uusiutuvan energian, eli vesi- ja tuulivoiman, aurinkoenergian, maalämmön ja biopolttoaineiden, osuus Suomen primäärienergian kokonaiskulutuksessa oli 25 %, josta bioenergia muodostaa lähes 90 %. Valtaosa bioenergiasta on puuperäistä. EU:n Suomelle asettamana tavoitteena on, että uusiutuvan energian osuus Suomen energiankulutuksesta olisi 38 % vuonna 2020.

Bioenergia on biomassasta eli eloperäisistä aineista tuotetuista polttoaineista saatavaa energiaa. Suomessa biopolttoaineita saadaan metsissä, soilla ja pelloilla kasvavista biomassoista sekä yhdyskuntien, maatalouden ja teollisuuden energian tuotantoon soveltuvista orgaanisista jätteistä. Biopolttoaineilla voidaan tuottaa suoraan bioenergiaa; lämpöä ja sähköä. Lisäksi biomassoja voidaan myös jalostaa kiinteiksi, nestemäisiksi tai kaasumaisiksi jalosteiksi, kuten pelleteiksi, liikenteen biopolttoaineiksi tai biokaasuksi. Puulla on tärkeä merkitys Suomen koko energiantuotannossa, sillä tällä hetkellä noin 20 % energiasta tuotetaan puulla ja puupohjaisilla energialähteillä. EU:n asettamien tavoitteiden täyttämiseksi myös muiden biopolttoaineiden kuten peltobiomassojen, biopohjaisten polttonesteiden sekä biokaasun käyttöä on Suomessa kasvatettava.

Bioenergia ei vielä yllä taloudellisella kilpailukyvyllään perinteisten energiamuotojen tasolle, mutta bioenergian hinnan arvioidaan halpenevan teknologisen kehityksen myötä. Maailmanlaajuisesti fossiilisten polttoaineiden väheneminen sekä hinnan jatkuva nousu, parantavat bioenergian hintakilpailukyky tulevaisuudessa. Myös mm. lisääntyvä huoli ilmastonmuutoksesta, voimistuneet ympäristönsuojelun vaatimukset sekä bioenergian myönteisyys ja hyvä imago vaikuttavat entistä enemmän valittaviin energiantuotantjärjestelyihin. Lisäksi bioenergian tuotannon toivotaan luovan uusia työpaikkoja ja tuovan tuloja harvaanasutuille ja työttömyyden vaivaamille alueille. Toisaalta bioenergian tuotannon ja käytön lisäämisen on tunnistettu sisältävän myös riskejä, liittyen mm. biopolttoaineiden käytettävyyteen ja saatavuuteen, ilmasto- ja muihin ympäristövaikutuksiin sekä terveysvaikutuksiin.

Bioenergian käytön lisääminen kasvattaa biopolttoaineprosessien tuotanto- ja käyttöketjujen parissa työskentelevien määrää. Bioenergia-alan tarkkoja työpaikkatilastoja ei ole saatavissa ja myös arviot tulevaisuuden työllisyysvaikutuksista vaihtelevat johtuen mm. rajausten ja oletusten erilaisuudesta esim. biomassojen käyttöönnotosta tai teknologian kehityksestä. Laskutavasta riippuen arvioidaan biomassojen käytön lisääntymisen voivan tarjota enimmillään jopa lähes 12 000 työpaikkaa vuonna 2020. Alalle arvioidaan tulevan uusia yrittäjiä erityisesti pieniin ja keskisuuriin yrityksiin esim. lämpöyrittäjiksi, bioenergian tuotantoon ja käyttöön liittyvien laitteiden ja koneiden valmistukseen sekä biopolttoaineiden valmistuksen piiriin. Riskinä voi olla, ettei pienissä yrityksissä ja uudella toimialalla, aina välttämättä huolehdita riittävästi työturvallisuudesta, eikä osata ottaa työturvallisuuteen liittyviä seikkoja riittävästi huomioon esim. kehitettäessä laitteita omaan tai pienen yrityksen käyttöön.

Bioenergia-alalla työskentelevien henkilöiden määrä kasvaessa, tulisi myös entistä tarkemmin tunnistaa ja tuntea tuotanto- ja käyttöketjujen mahdolliset työterveys- ja työturvallisuusriskit ja arvioida mahdollisten riskien merkittävyyttä. Tässä pro gradu-työssä tarkastellaan metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien vaaratekijöitä sekä niiden aiheuttamia työterveys- ja

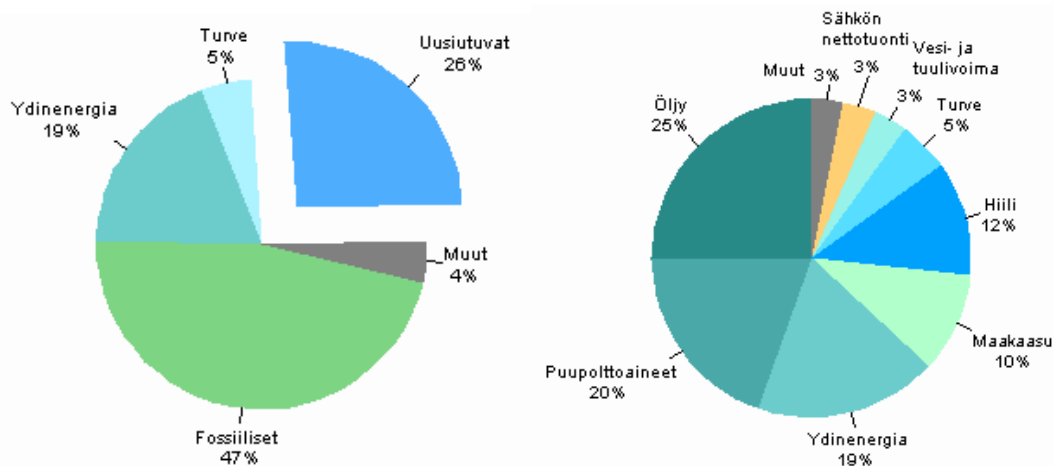
työturvallisuusriskejä. Metsäbioenergian osalta lähemmän tarkastelun kohteeksi on valittu metsähake ja sen tuotantoketjut (metsätähde, kannot ja pienpuu) ja peltobioenergian osalta ruokohelven tuotantoprosessi. Kirjallisuuskatsauksessa käsitellään ensin yleisesti bioenergiaa sekä tarkastellaan valittuja metsä- ja peltobioenergiaprosesseja, koska prosessien vaaratekijöiden tunnistaminen vaatii myös itse prosessin tuntemista ja ymmärtämistä. Työssä tarkastellaan tuotantoketjujen biologisia, fysikaalisia ja kemiallisia vaaratekijöitä sekä tapaturmien vaaraa. Tuotantoprosessien tarkastelu on rajattu koskemaan ko. biomassojen tuotantoa, varsinaisen polttoaineen valmistusta sekä polttoaineen käyttöä. Tarkastelun ulkopuolelle on rajattu biopolttoaineiden käytöstä lämpö- ja voimalaitoksilla aiheutuvat päästöt (savukaasut, pienhiukkaset, tuhka), niille altistuminen ja päästöjen aiheuttamat työterveysriskit. Vaaratekijöiden tunnistamisen perusteella laaditaan prosesseittain ns. ´safety check´-tarkastuslistat, joita voidaan käyttää bioenergian tuotannossa työsuojauslupatekijöiden tarkastamiseen ja työturvallisuuden kehittämiseen sekä riskinarvioinnin apuna. Lisäksi kuvataan, kuinka riskien merkittävyyttä voidaan bioenergian tuotantoprosesseissa arvioida käytännössä, käyttäen esimerkkinä ´Riskinarviointi työpaikalla-työkirja´-menetelmää.

2 METSÄ- JA PELTOBIOENERGIAN TUOTANTOPROSESSEISTA

2.1 BIOENERGIASTA YLEISESTI

Tulevaisuudessa energian kysynnän kasvaminen, fossiilisten energiavarojen ehtyminen ja hinnan nousu sekä ilmastonmuutoksen hillitseminen tulevat ohjaamaan yhä enemmän eri energiaressurssien kysyntää sekä energian hintaa. Uusiutuvan energian avulla pyritään korvaamaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä entistä enemmän ja uusiutuvien polttoaineiden merkitys energian tuotannossa tulee kasvamaan. Uusiutuvaa energiaa ovat aurinko-, tuuli-, vesi- ja bioenergia, maalämpö sekä aalloista ja vuoroveden liikkeistä saatava energia. Uusiutuville energialähteille on yhteistä, että hyödynnettäessä niitä kestäväällä tavalla, niiden varannot eivät vähene pitkälläkään aikavälillä. Uusiutumattomiin energialähteisiin verrattuna uusiutuvien energialähteiden ympäristövaikutukset (esim. kasvihuoneilmiö) ovat vähäisempiä ja niiden käyttö perustuu kestävään kehitykseen.

Suomessa nykyisin käytettäviä uusiutuvia energialähteitä ovat vesi-, ja tuulivoima, aurinkoenergia, maalämpö ja bioenergia. Yksi Suomen energiantuotannon vahvuuksista on, että Suomi ei ole riippuvainen vain yhdestä energialähteestä, vaan useilla lähteillä on vahva asema. Fossiilisten polttoaineiden (hiili, maakaasu ja öljy) osuus koko Suomen energiantuotannosta on noin puolet, uusiutuvien energialähteiden osuus on noin neljännes ja ydinenergian noin viidennes. (Tilastokeskus 2010) Kuvassa 1 on esitetty Suomen energiakulutuksen jakautuminen energialähteittäin sekä eri energialähteiden osuudet energian kokonaiskulutuksesta vuonna 2009. Vuonna 2009 uusiutuvan energian kokonaisosuus primäärienergian kokonaiskulutuksesta oli Suomessa neljännes; puupolttoaineet 20 %, vesi- ja tuulivoima 3 % sekä muut uusiutuvat polttoaineet 3 %. Koska Suomella on suuret metsävarat, on puupohjaisten polttoaineiden osuus merkittävä; bioenergia muodostaa lähes 90 % Suomen uusiutuvan energian käytöstä, ja valtaosa bioenergiasta on puuperäistä. Biopolttoaineilla tuotetaan nykyisin 25 % kokonaisenergiasta ja 20 % sähköstä.

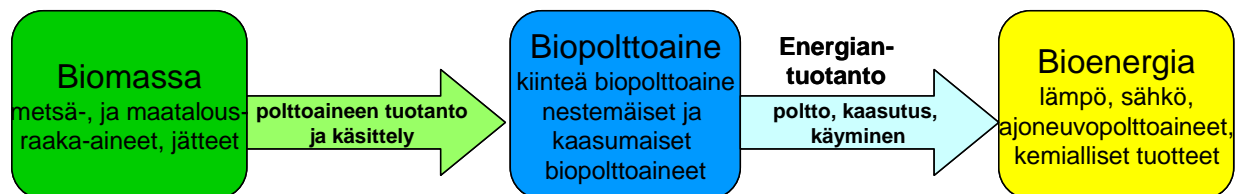


Kuva 1. Uusiutuvan energian osuus energian kokonaiskulutuksesta sekä energian kokonaiskulutus energialähteittäin vuonna 2009 (Tilastokeskus 2009; ennakkolliset tiedot, 30.8.2010).

Suomessa uusiutuvan energian käyttöön tulevaisuudessa vaikuttavat sekä Suomen omat energia- ja ilmastopoliittiset linjaukset että EU:ssa tehdyt päätökset ja direktiivit, kuten esim. päästökauppadirektiivi, rakennusten energiatehokkuusdirektiivi ja uusiutuvan energian direktiivi eli RES-direktiivi (Motiva Oy 2010). Suomen tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus vuoteen 2020 mennessä 38 %:iin Euroopan komission esittämän velvoitteen mukaisesti (TEM 2008). Kesällä 2010 Suomi toimitti EU:n komissiolle RES-direktiivin mukaisen kansallisen toimintasuunnitelman (NREAP), jossa esitettiin Suomen suunnitelmat uusiutuvan energian käytön lisäämiseksi vuoteen 2020 asetettujen velvoitteiden täyttämiseksi. (Motiva Oy 2010, TEM 2010) Toimintasuunnitelmassa arvioidaan energian loppukulutuksen olevan vuonna 2020 yhteensä 327 TWh, jolloin uusiutuvan energian osuus, 38 %, vastaisi noin 124 TWh:a. Tavoitteen saavuttamiseksi lisätään esim. metsähakkeen käyttö 28 TWh:iin, tuulivoiman tuotantoa 6 TWh:iin ja vesivoiman tuotanto 14 TWh:iin, liikenteen biopolttoaineiden käyttö 7 TWh ja biokaasun käyttö 0,7 TWh. (TEM 2010) Suomen omien luonnonvarojen on arvioitu mahdollistavan uusiutuvan energian lisäkätön, mutta sen käynnistämiseksi tarvitaan nykyisten tuki- ja ohjausjärjestelmien tehostamista ja rakenteiden muuttamista. Velvoitteen täyttäminen edellyttää uusiutuvien energialähteiden käytön voimakasta lisäämistä ja Suomi varautuu siihen, että uusiutuvan energian tavoitteet saavutetaan omin toimin (TEM 2008). Biomassan käyttöpotentiaali olisi Suomessa noin 200 TWh, joten bioenergian käyttö voitaisiin yli kaksinkertaistaa nykytilanteeseen verrattuna (Alm 2009). Esimerkiksi metsähakkeen (hakkutähteet, pienpuu, kannot) teoreettiseksi enimmäistuotantopotentiaaliksi on arvioitu jopa 90 TWh, peltobiomassan (ruokohelpi ja olki) noin 11,5 TWh ja biokaasun maksimituotantopotentiaalinen (mm. jätteet, maatalouden biomassat, lanta) vaihtelevan välillä 40–150 TWh (Asplund ym. 2009).

Bioenergiaa voidaan tuottaa metsissä, soilla ja pelloilla kasvavista biomassoista sekä yhdyskuntien, maatalouden ja teollisuuden energian tuotantoon soveltuvista orgaanisista kiinteistä, nestemäisistä ja kaasumaisista biojätteistä. Suomessa käytettäviä biopolttoaineita ovat mm. kiinteät puupolttoaineet (mm. kuori, puru ja puutähteet, metsähakkeet ja murskeet, kannot, pilkkeet, pelletit, energiapaju, kierrätyspuu), puunjalostusteollisuuden jäteliemet (mm. mustalipeä), kierrätyspolttoaineet (REF), peltobiomassa (mm. ruokohelpi, öljykasvit, olki, viljat), biopolttonesteet (mm. bioetanoli ja -diesel), biokaasut (mm. kaatopaikkojen, vedenpuhdistamojen ja maatilojen biotähdekaasut), bioperäiset teollisuuden ja yhdyskuntien prosessi- ja kierrätysjätteet. (Halonen ym. 2003, Bioenergia-verkkopalvelu) Turve on Suomessa määritelty hitaasti uusiutuvaksi biomassapolttoaineeksi.

Bioenergian tuotantoketjuja voidaan yleisesti kuvata kuvassa 2 esitetyllä yksinkertaistetulla kaaviolla.



Kuva 2. Bioenergian tuotantoketju.

2.2 BIOENERGIAN KÄYTÖSTÄ

Kiinteiden biopolttoaineiden tärkeimpiä käyttökohteita ovat nykyisin suurten kaupunkien kaukolämpöä ja sähköä tuottavat voimalaitokset sekä teollisuuden voimalat, jotka tuottavat pääasiassa prosessihöyryä ja sähköä. (Halonen ym. 2003) Teollisuuden voimaloissa ja lämpökeskuksissa huomattava osa polttoaineesta saadaan omien prosessin sivutuotteina, kuten sahanpuru, kuori ja erilaiset lietteet. Ostopolttoaineena on tyypillisesti jyrshinturve, mutta yhä lisääntyvässä määrin käytetään teollisuudessa myös metsähaketta. Polttotekniikkana teollisuudessa käytetään pääasiassa leijukerrospolttoa, mutta joissakin vanhemmissa voimaloissa on käytössä vielä arinapoltto.

Yhdyskuntien suurissa voimalaitoksissa, joiden polttoaineteho vaihtelee välillä 20...300 MW, biopolttoaineena käytetään pääasiassa turvetta ja puuta. (Halonen ym. 2003) Puupolttoaineina käytetään metsähaketta sekä teollisuuden sivutuotteita, kuten sahoilta saatavaa purua ja kuorta. Kiinteää polttoainetta (metsähaketta, pellettejä) käyttävät kaukolämpökeskukset tuottavat lämpöä kaukolämpöverkkoon. Polttotekniikkana on pienemmissä lämpökeskusten kattiloissa arinapoltto, suuremmissa (yli 5 MW) käytetään nykyisin yleensä leijukerrostekniikkaa sekä jonkin verran kaasutuspolttoa.

Bioenergian pien- ja kotitalouskäyttö, kuten esim. puun pienpoltto, on myös merkittävä bioenergiankäyttökohde (Alakangas ym. 2007). Bioenergian pienkäyttökohteita ovat esimerkiksi suurten kiinteistöjen, kuten koulujen ja oppilaitosten sekä lämpöyrittäjien lämpölaitokset, joiden tehot vaihtelevat tavallisesti muutamasta kymmenestä kW:sta aina 2 MW:iin (Halonen ym. 2003). Pienemmät lämpökeskukset vastaavat tekniikaltaan kaukolämpökeskuksia ja käyttävät polttotekniikkana erilaisia arina- ja stokerikattiloita. Vuonna 2009 lämpöyrittäjät käyttivät yhteensä noin 1,1 milj. irto-m³ kiinteitä biopolttoaineita; yleisimmin metsähaketta (90 %), mutta myös puupellettejä ja -brikettejä, palaturvetta sekä jonkin verran viljan lajittelujätettä, markkinakelvotonta viljaa ja ruokohelpeä. (Solmio 2010) Lämpöyrittäjien määrä on Suomessa viime vuosina lisääntynyt ja vuonna 2009 toiminnassa oli ainakin 455 lämpöyrittäjien hoitamaa lämpölaitosta, joista 29 % oli aluelämpölaitoksia ja 61 % kiinteistökohtaisia laitoksia. Kiinteistökohtaisten lämpökeskusten kattilateho oli vuonna 2009 keskimäärin 0,36 MW ja aluelämpölaitosten 1 MW.

Kotitalouskäytössä puupolttoaine kilpailee useimmiten kevyen polttoöljyn, sähkön, maalämmön ja maakaasun kanssa. (Alakangas ym. 2007) Perinteisten pilkkeiden ja halkojen lisäksi poltetaan kotitalouksissa haketta ja pellettejä. Kotitalouksien polttopuusta suurin osa saadaan edelleen omista metsistä ja noin 15 % on ostopuuta. Metsäntutkimuslaitoksen (2009) selvityksen mukaan lämmityskaudella 2007/2008 poltettiin pientaloissa polttopuuta yhteensä 6,7 milj. m³, josta raakapuuta oli 5,4 milj. m³ ja erilaista jätepuuta 1,3 milj. m³. Metsähaketta pientalojen lämmityksessä käytettiin vuonna 2009 yhteensä 0,7 milj. m³.

2.2.1 Bioenergian kustannuksista ja hinnasta

Bioenergia ei vielä yllä taloudellisella kilpailukyvyllään muiden energiamuotojen tasolle, mutta bioenergian hinnan arvioidaan halpenevan teknologisen kehityksen sekä fossiilisten polttoaineiden hinnan nousun jatkumisen myötä. (Alm 2009) Myös huoli ilmastonmuutoksesta, voimistuneet ympäristönsuojelun vaatimukset, ekologisen valistuneisuuden kasvu, uusien teknologioiden tulo markkinoille, bioenergian myönteisyys ja hyvä imago sekä toisaalta sähkömarkkinoiden vapautuminen ja samalla kilpailun laajentuminen koko EU:n sisällä tulevat vaikuttamaan voimakkaasti energiantuotantjärjestelyihin. Esimerkiksi päästöoikeuksien hinnan nousun myötä biopolttoaineiden kilpailukyky kasvaa, sillä ne luokitellaan hiilidioksidivapaiksi polttoaineiksi

(Pelli 2010). Bioenergian kallis hinta verrattuna muihin energiamuotoihin nähden johtuu monesta tekijästä kuten esim. raaka-aineen korkeasta hinnasta, toimitusorganisaatioiden puutteista, polttoaineiden vastaanotossa ja käsittelyssä esiintyvistä ongelmista sekä polttoaineen laadun heikosta laadusta ja vaihtelusta. (Alm 2009) Raaka-aineen korkea hinta johtuu pääosin puutteista korjuuteknologiassa ja logistiikassa, mutta jossain määrin myös raaka-aineen kilpailusta esim. perinteisen metsäteollisuuden kanssa. Lisäksi bioenergian hintaan vaikuttaa nykyisten tuotantolaitosten huono hyötysuhde. Suomessa on kuitenkin nykyisin jo noin 250 laitosta, jotka käyttävät, voisivat käyttää, tai joiden olisi kohtuudella mahdollista investoida biopolttoaineiden käyttöön (Asplund ym. 2009).

Jotta EU:n Suomelle asettamat vaatimukset uusiutuvien energiamuotojen käytön lisäämisestä toteutuisivat, on Suomessa kansallisesti käytössä bioenergian tuotannon ja käytön lisäämiseksi erilaisia ohjauskeinoja, joita ovat esimerkiksi:

- kestävän metsätalouden rahoituslain (ns. kemera-laki) mukaiset tuet
- Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) ja Maa- ja metsätalousministeriön (MMM) energia- ja investointituet
- verotus esim. verotuet metsähakkeelle, biojätteelle, biokaasulle
- syöttötariffit (esim. tuuli, biokaasu)
- energianeuvonta, -tiedotus ja -koulutus
- kiinteistöjen investointiavustukset (MMM 2008, Asplund ym. 2009).

Syksyllä 2010 annettiin esitys laista pienpuun energiatuesta (ns. petu-laki) sekä esitys kestävän metsätalouden rahoituslain (ns. kemera-laki) muuttamista. (MMM 2010) Esityksen mukaisesti kemera-laista poistetaan pienpuun energiatuen korvaava tuki energiapuun korjuuseen ja haketukseen. Uudella tuella pyritään edistämään kansallisen pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian toteuttamista. Tuki on harkinnanvarainen ja se kohdennetaan nuorten metsien hoito- tai ensiharvennuskohteilta saatavalle energiapuulle. Petu-tuen saajien piiri olisi laajempi kuin nykyisin, käsittäen kaikki metsänomistajatahot, mukaan lukien kunnat, seurakunnat ja yhtiöt, lukuun ottamatta valtiota.

Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty yhteenveto Suomessa käytössä olevien polttoaineiden lämpöarvoista, kosteudesta sekä energiatiheyksistä (Vapo Oy) sekä polttoaineiden; fossiilisten (polttoöljy, kivihiili, maakaasu), turpeen ja kotimaisten biopolttoaineiden (metsähake ja puupelletit), hinnat lämmöntuotannossa lokakuussa 2010 (Pöyry 2010).

Taulukko 1. Eräiden Suomessa käytössä olevien polttoaineiden lämpöarvoja, kosteus- ja tuhkapitoisuuksia, irtotiheyksiä sekä energiatheyksiä (Vapo Oy).

Polttoaine	Tehollinen lämpöarvo (kosteus 0 %), kWh/kg	Tavanomainen kosteus, %	Tehollinen lämpöarvo*, kWh/kg	Irtotiheys*, kg/i-m ³	Energia- tiheys, MWh/i-m ³	Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa, %
kivihiiili	7,75	10	6,89	-	-	14
juysinturve	5,81	48,50	2,68	340	0,9	5,1
palaturve	5,90	38,90	3,31	389	1,3	4,5
raskas polttoöljy	11,39–11,47	0,3-0,5	11,36–11,44	920–1020	-	0,4
kevyt polttoöljy	10,2 (kWh/l)	0,01-0,02	11,78	870	-	0,01
sahanpuru	5,28–5,33	45–60	0,6-2,77	250–350	0,45–0,70	0,4-0,5
kuori (havupuu)	5,14–5,56	50–65	1,38–2,50	250–350	0,5-0,7	1,0–3,0
puupelletti	5,28–5,33	8-10	4,67	500–650	2,9–3,4	0,4-0,5
rankahake	5,14–5,56	40–55	1,94–3,06	250–350	0,7-0,9	0,5-2,0
metsätähdehake	5,14–5,56	50–60	1,67–2,50	250–400	0,7-0,9	1,0–3,0
kokopuuhake	5,14–5,56	45–55	1,94–2,78	250–350	0,7-0,9	1,0–2,0
ruokohelpi (kevätkorjuu)	3,60–4,86	15–20	3,67–3,94	70	0,3-0,4	6,2–7,5
ruokohelpi (syyskorjuu)	4,62–4,92	20–30	3,06–3,81	80	0,2-0,3	5,1–7,1
olki (silputtu)	4,83	17–25	3,44–3,89	80	0,3-0,4	5

* polttoaineen käyttökosteudessa
1 kWh/kg=1 MWh/t

Taulukko 2. Suomessa käytössä olevien polttoaineiden hintataso lämmöntuotannossa lokakuussa 2010 (Pöyry 2010).

Polttoaine	Hinta lämmöntuotannossa		
	Kuluttaja-hinta	Verot ja maksut (€/MWh)	Hinta lämmöntuotannossa* (€/MWh)
Raskas polttoöljy	472,6 €/t	5,87	41,7
Kevyt polttoöljy	0,635 €/l	8,74	63,8
Maakaasu	32 €/MWh	2,10	32,0
Kivihiili (rannikkolaitoksella)	128,2 €/t	7,09	18,0
Jyrsinpolttoturve (kuljetus n. 50 km)	9,3 €/MWh	0,00	9,3
Palaturve (kuljetus n. 50 km)	14,8 €/MWh	0,00	14,8
Metsähake	18,1 €/MWh	0,00	18,1
Puupelletti (irto)	35,1 €/MWh	0,00	35,1
Ruokohelpi**	-	-	-

* ei sisällä arvonlisäveroa, mutta sisältää valmisteverot ja huoltovarmuusmaksut; ** ruokohelpen hintatietoja ei kerätä

Tuottajan/myyjän biopolttoaineesta saama hinta vaihtelee mm. tuotantoketjun ja polttoaineen laadun mukaan. Metsänomistajalle energiapuusta maksettava hinta on herättänyt keskustelua, sillä esim. energiapuusta maksettavia kantohintoja eli pystykaupassa maksettavia puun hintoja (hinta sisältää raaka-aineen käyttöarvon ja laatuominaisuudet, mutta ei hakkuu- eikä metsäkuljetuskustannuksia) ei ole ollut julkisesti Saatavissa, eikä hakkuutähteiden ja kantojen hinnoittelu ole vakiintunutta (Pelli 2010, Virtanen 2010). Energiapuusta maksettava hinta myös vaihtelee suuresti eri puolella Suomea. (Virtanen 2010) Energiapuun hinnan määräytymiseen vaikuttavat useat seikat kuten esim. tarkasteltava energiapuujae (latvus- ja oksamassa, kannot, kokopuu, ranka), leimikoittain vaihtelevat korjuukustannukset, käytetty tuotantoketju, erilaiset tuet sekä tukien kohdentuminen (metsänomistaja/hankintaorganisaatio). Kannoista maksettava korvaus on usein sidottu leimikolta hakattuun puumäärään, mikä hankaloittaa kannoista maksettavien korvausten määrää. Energiapuukauppaa helpottamaan on laadittu opas energiapuun mittauksesta ja oppaassa esitetyt energiapuun painomittauksen uudistetut muuntoluvut tulivat voimaan vuoden 2011 alusta (Lindblad ym. 2010). Energiapuukaupassa voidaan myös käyttää maksuperusteena useita eri yksiköitä; tuore- tai kuivamassa (€/tonni), tilavuus (€/kiinto- m^3 , €/irto- m^3) tai energiasisältö (€/MWh) (Lepistö 2010, Palokallio 2010, Lindblad ym. 2010). Lisäksi energiapuun mittaus voidaan toteuttaa usealla tavalla; metsä- tai terminaalivarastossa, hakkuun, haketuksen tai murskauksen yhteydessä, lähi- tai kaukokuljetuksen yhteydessä tai käyttöpaikalla. (Lindblad ym. 2010) Ensisijaisesti käytettäviä mittausmenetelmiä ovat metsähakkeen ja murskeen mittaus, energiapuun massan mittaus, hakkuukonemittaus ja erilaiset käyttöpaikalla tehtävät mittaukset (energiasisältö). Toissijaisesti käytettävä mittausmenetelmä on harvennuserienergiapuun mittaus pinossa. Käytännössä energiapuun mittaus voi tapahtua kuormainvaakapunnituksella ja pinon kehysmittauksella, joista johdetaan pinon puumäärä kuutiossa [kiintokuutiometri ($k-m^3$) puuta $\approx 2,5$ irtokuutiometriä ($i-m^3$)

haketta \approx noin 2 MWh energiaa]. (Lepistö 2010) Hakkeen lämpöarvoa (MWh) voidaan arvioida etukäteen puumäärän, -lajin ja korjuuajankohdan tietojen perusteella, mutta tarkka lämpöarvo saadaan selville vain määrittämällä hakkeen kosteus. Eri puulajeille ja puun eri osille on keskimääräiset lämpöarvot eri kosteuksissa, jonka perustella määritetään polttoaineesta tuottajalle maksettava hinta.

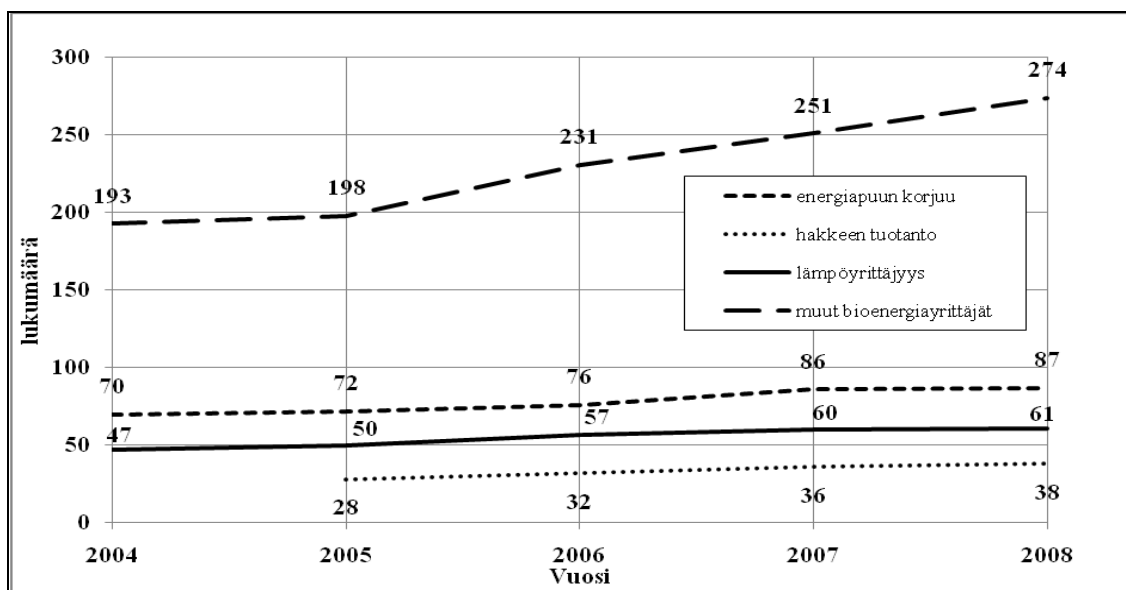
Metsänomistajalle energiapuusta maksettava lopullinen kantohinta riippuu aina myös puun porttihinnasta (hakkeesta maksettava hinta) sekä tuotanto- ja kuljetuskustannuksista. Energiapuun kantohinta vaihtelee nykyisin välillä 0-10 €/m³. (Pelli 2010) Esimerkiksi Päijät-Hämeen metsänhoitoyhdistyksen ilmoittamien tietojen mukaan vuoden 2010 keskihinnat olivat oksa- ja latvusmassalle 2,5 €/m³ (noin 1,25 €/MWh), kannoille 2,6 €/m³ (noin 1,3 €/MWh), kokopuulle 2,4 €/m³ (noin 1,2 €/MWh) ja rankapuulle 4,7 €/m³ (noin 2,35 €/MWh) (Päijät-Hämeen metsänhoitoyhdistys 2010). Sen sijaan esim. kesäkuussa 2010 metsähakkeesta maksettu porttihinta oli keskimäärin 18 €/MWh (Pöyry 2010).

Ruokohelven viljely on Suomessa käytännössä kokonaan sopimusviljelyä energiakäyttöön. (Pelli 2010) Helvestä maksettava tuottajahinta vaihtelee huomattavasti helven laadusta (lämpöarvosta), ostajasta ja viljelmän sijainnista riippuen. Ruokohelven osalta raaka-aineesta saatava korvaus on huomattavasti tilastoitu kuin esim. metsähakkeen, eikä markkinahintatietoja ole tällä hetkellä Saatavissa - ainoastaan tutkimuksiin perustuvia laskemia. Helven käyttöpaikkahinta määräytyy pitkälti tuotantoketjun perusteella, eikä laitosten maksamasta hinnasta ole tilastotietoja; hinta sijoittuu turpeesta maksettavan hinnan (noin 10 €/MWh) ja metsähakkeen hinnan (noin 18 €/MWh) välille. Tällä hetkellä helven tuotannon kannalta tuet ovat taloudellisesti ratkaiseva asia. Helvin viljelyä tuetaan erilaisilla maataloustuilla (esim. tilatuki, ympäristötuki, luonnonhaittakorvaus ja kansalliset tuet), joista energiakasvituki poistui vuoden 2010 alussa (Lötjönen & Knuutila 2009, Planora Oy 2010, Maaseutuvirasto 2010). Sen sijaan helven käyttöä polttoaineena ei tueta, kuten esim. metsähakkeen käyttöä sähköntuotantotuella (Lötjönen & Knuutila 2009). On esimerkiksi laskettu, että Pohjois-Pohjanmaalla ruokohelven viljely (pellon vuokra, perustaminen, kylvä ja lannoitus) maksaa noin 20–23 €/MWh, mm. maalajista ja sadosta riippuen. (Planora Oy 2010) Korjuun hinta puolestaan on korjuutavasta riippuen 8-9 €/MWh. Viljelijä saa hehtaarikohtaista maataloustukea tällä hetkellä energiakasvituen poistuttua noin 19–23 €/MWh. Käytännössä viljelijälle maksetaan Pohjois-Pohjanmaalla ruokohelvestä korjattuna pellon laidassa 3-6 €/MWh riippuen viljelmän sijainnista. Tuottajalle maksettava lopullinen hinta määräytyy kulloisenkin ruokohelplerän energiasisällön mukaan. Energiasisältö todetaan, kun helpi toimitetaan voimalaitokselle. Kun ruokohelpeä kuljetetaan pellolta tai terminaalista paaleina tai irtosilppuna suoraan voimalaitokselle, selvitetään energiasisältö voimalaitoksella kuorman massan ja helvestä otettavan näytteen perusteella. Suon kautta kulkevien turve/puu-helppi seosten osalta selvitetään helven massa seostamisen yhteydessä suolla, ja puhtaasta helpinäytteestä määritellyn energiasisällön ja helven massan kautta lasketaan kuormassa oleva helpienergiämäärä.

2.2.2 Bioenergian työllisyysvaikutuksista

Kuten edellä olevasta voidaan todeta, on bioenergiaa mahdollista tuottaa hyvin monenlaisista, eloperäistä alkuperää olevista raaka-aineista ja materiaaleista. EU:n Suomelle asettama 38 % uusiutuvien energialähteiden käyttötavoite vuoteen 2020 mennessä avaa yrityksille uusia markkinoita ja lisääntyvällä bioenergian tarpeella on vaikutuksia bioenergia-alan työllisyyteen ja työllistävyyteen. Bioenergia-alan nykyisten työllisyysvaikutusten arviointia vaikeuttaa se, ettei bioenergian toimialaa ole virallisesti luokiteltu tilastokeskuksen TOL-toimialaluokituksessa (Alm 2009). Bioenergian alalta on TEM julkaissut vuodesta 2008 alkaen pieniä ja keskisuuria yrityksiä (pk-yrityksiä) koskevaa toimialaraporttia (Alm 2008, Alm 2009, Alm 2010). Ministeriön viimeisimmän raportin mukaan Suomessa oli vuonna

2009 pieniä ja keskisuuria (alle 250 työntekijää) bioenergia-alan yrityksiä 502 (kasvua edelliseen vuoteen 9 %), joista noin 90 % oli alle 10 henkilö työllistävistä mikroyrityksiä (Alm 2010). Bioenergia-alan toimintaa harjoitettiin vuonna 2008 kaikkiaan 843 toimipaikassa ja yritykset työllistivät yhteensä lähes 3 600 henkilöä. Alan työpaikoista 64 % oli yli 10 henkilöä työllistävissä yrityksissä ja 34 % alle 10 henkilöä työllistävissä toimipaikoissa (Alm 2009). Vuonna 2008 pk-bioenergiatoimialan yhteenlaskettu liikevaihto oli lähes 790 milj. euroa (Alm 2010). TEM:n julkaisemissa toimialaraporteissa bioenergiatoimialaa on tarkasteltu erikseen neljässä yritysryhmässä: hakkeen tuotanto, energiapuun korjuu, lämpöyrittäjyys ja muu bioenergiayrittäjyys (biokaasun, biodieselin ja etanolin tuotanto, peltobiomassan tuotanto sekä polttopuiden ja pellettien tuotanto). Kuvassa 3 on esitetty pk-sektorin bioenergia-alan yritysten lukumäärän kehittyminen vuosina 2004–2008 (Alm 2009).



Kuva 3. Bioenergia-alan pk-yritysten lukumäärän kehittyminen alaryhmittäin vuosina 2004–2008 (mukaeltu Alm 2009).

Arviot työllisyysvaikutuksista vaihtelevat eri tutkimuksissa, johtuen mm. rajausten ja oletusten erilaisuudesta esim. biomassojen käyttöön otosta tai teknologian kehityksestä (Villa & Saukkonen, 2010). Esimerkiksi Rintalan työryhmän (2007) mukaan työllisyysvaikutus olisi, bioenergian käytön lisäyksen suuruudesta riippuen, 7 000–12 000 henkilöä vuoteen 2015 mennessä. TEM:n arvion mukaan biomassojen käyttöön liittyvät työpaikat saattaisivat lisääntyä parhaassa tapauksessa, eli mikäli Suomi saavuttaa EU:n asettamat tavoitteet, 6 000:sta lähes 12 000:een. (Villa & Saukkonen, 2010) Metsätalouteen ja -teollisuuteen liittyvien raaka-aineiden tuotannon ja jalostuksen työllisyysvaikutuksista suurin osa kohdistuu metsähakkeen tuotantoon; nykyisen noin 1 000 henkilötyövuoden työllistävän vaikutuksen arvioidaan kasvavan kuusinkertaiseksi vuoteen 2020 mennessä. Kärhä ym. (2010) ovat arvioineet metsähakkeen tuotannon ja käytön määrien perusteella työvoimatarpeen vuonna 2020 olevan 4 200–5 100 henkilötyövuotta (htv), mikäli haketta käytettäisiin 25–30 TWh ja 2 500–3 400 htv, mikäli haketta käytettäisiin 15–20 TWh. Helynen ym. (2007) laatimista skenaarioista suurimmassa, jossa metsähaketta hankittaisiin 15 Mm³ ja polttopuuta 5,1 Mm³, työllisyysvaikutuksiksi on arvioitu yhteensä 7 400 henkilötyövuotta lisää vuonna 2020. Peltobioenergian tuotannon työllisyysvaikutus aiheutuu nykyisin pääasiassa ruokohelven viljelystä sekä oljen käytöstä (Villa & Saukkonen, 2010).

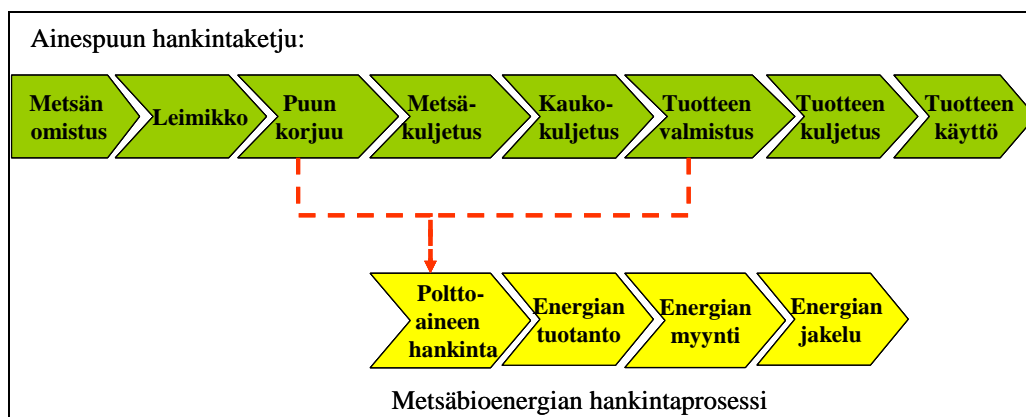
Kiinteiden polttoaineiden käytössä pyritään minimoimaan henkilötyön tarve, koska palkkakustannusten osuus lämmöntuotantokustannuksista on huomattava. (Halonen ym. 2003) Automaatiojärjestelmien kehitys, polttoaineen laadun paraneminen ja hallinta sekä uudet tekniset ratkaisut ovat vähentäneet energiantuotannon vaatimaa työn määrää. Lämpö- ja voimalaitostoiminnan välittömän työllistävän vaikutuksen arvioidaan kohdistuvan jatkossa lähinnä pienimpiin laitoksiin, sillä työllisyys suhteellisesti pienenee laitokseen kasvaessa. (Halonen ym. 2003, Villa & Saukkonen, 2010) Jos lisääntyneellä puupolttoaineiden käytöllä korvataan ennen kaikkea turvetta, ei polttoaineen käyttökohteisiin synny uusia työpaikkoja. Uusia työpaikkoja syntyy korvattaessa polttoöljyä käyttävä lämpökeskus puuta polttavalla, sillä kiinteän polttoaineen käyttö vaatii enemmän esim. valvontatyötä kuin öljylämmitys. Suuremmissa laitoksissa, jotka ovat pitkälle automatisoituja, ei esim. siirtymällä öljystä metsähakkeen käyttöön välttämättä luoda uusia työpaikkoja. (Halonen ym. 2003) Toisaalta siirtymällä käyttämään lämpö- ja voimalaitoksilla kotimaista raaka-ainetta, voidaan saada aikaan merkittäviä työllisyysvaikutuksia raaka-aineiden hankintaan ja kuljetukseen.

Myös uusiutuvan energian tuotanto- ja käyttötekniikan valmistus on Suomessa merkittävää; vuonna 2003 Halonen ym. arvioivat alan työllistävyudeksi noin 4 800 henkilötyövuotta. Suomessa valmistetaan mm. metsäkoneita, energiapuun korjuulaitteita, nostureita, hakettimia, murskaimia, ajoneuvojen kontti- ja kontinkäsittelyratkaisuja, pilkekoneita ja erilaisia energian tuotantojärjestelmiä eri laitostyöluokkiin (Villa & Saukkonen, 2010). Laitevalmistuksesta ja erityisesti laitteiden viennistä on arvioitu olevan merkittävää potentiaalia; miljardin euron laiteviennin on arvioitu merkitsevän välittöminä työllisyysvaikutuksina noin 8 600 henkilötyövuotta (Halonen ym. 2003, Villa & Saukkonen 2010).

2.3 METSÄBIOENERGIASTA

Suomen maapinta-alasta (30,4 milj. ha) luokitellaan metsätalousmaaksi 26,3 milj. hehtaaria. Metsätalousmaa jakautuu puuntuotoskykynsä perusteella metsämaahan (20,1 milj. ha), kitumaahan (2,7 milj. ha) ja lähes tai täysin puuttomaan joutumaahan (3,3 milj. ha). (Metla 2009) Vuonna 2008 Suomessa käytettiin raakapuuta, eli metsästä hakattua, teollisesti käsittelemätöntä koti- tai ulkomaista runkopuuta, 72,8 milj. m³. Yli 90 % raakapuusta (66,3 milj. m³) kului metsäteollisuudessa ja loput (6,5 milj. m³) käytettiin energiantuotantoon lämpö- ja voimalaitoksissa sekä pientaloissa.

Koska metsätalouden harjoittamisessa ensisijainen tavoite on korkealaatuisen ainespuun kasvattaminen sekä puuraaka-aineen jalostaminen mahdollisimman pitkälle ja mahdollisimman paljon lisäarvoa tuottavasti, ohjautuu energiantuotantoon ensisijaisesti jalostukseen sopimaton puuaines, kuten pieniläpimittainen harvennuspuu, hakkuutähteet, kannot sekä teollisuuden puupohjaiset sivutuotteet. Puun käyttö jalostukseen tuottaa bioenergiakäyttöön verrattuna arviolta keskimäärin kahdeksankertaisen kokonaistaloudellisen hyödyn ja 13-kertaisen työllisyshyödyn (MMM 2008). Näistä syistä nykyistä metsäbioenergian tuotantoprosessia ei voida tarkastella ottamatta huomioon metsäteollisuuden ainespuun koko hankintatapahtumaa (kts. kuva 4; Ryymin ym. 2008). Varsinkin päätehakkuilta kertyvän latvusmassan ja kantojen kertymät ovat vahvasti sidoksissa ainespuun vuotuisiin hakkuumääriin ja metsähakkeen raaka-aineen hankinta on tiukasti kytketty osaksi puukauppaa ja korjuuta. (Ryymin ym. 2008, Laitila ym. 2008) Koska yhdyskuntien energiantuotannon metsäbioenergiahuolto ei tällä hetkellä kuitenkaan ole käytännössä miltään osin suoranaisesti kytketty ainespuun toimittamisen ketjuun, tekee se metsäbioenergian hankinnasta ja käytöstä haastavaa. Käytännössä ainespuukaupan ja -korjuun yhteydessä määritellään, mitä metsäbioenergian raaka-aineelle tapahtuu ja myös kuka, tai mikä taho sen hyödyntää, jos hyödyntää lainkaan (Ryymin ym. 2008).



Kuva 4. Ainespuun toimitusketju ja metsäbioenergian asema ketjussa (muokattu Ryymin ym. 2008).

Termi 'energiapuu' on yleisnimekkeenä kaikesta polttoon tai muuhun energiakäyttöön tarkoitettu puusta tai puutavarasta, muodosta ja lajista riippumatta (Vapo Oy). Puuhun liittyvää energiaa on hyödynnetty perinteisillä tavoilla kautta aikojen mm. ruuan valmistuksessa ja lämmityksessä. Maailmanlaajuisesti katsoen polttopuun käyttö on edelleen merkittävin puun käyttömuoto; esim. vuonna 2006 polttopuun käyttö muodosti yli 50 % maailman puun käytöstä ja polttopuun käyttö on myös kasvanut viimeisten vuosikymmenten aikana (Koljonen ym. 2009). Suomessa puuperäiset polttoaineet ovat toiseksi tärkein energialähde öljytuotteiden jälkeen ja niillä katetaan 20 % (noin 270 PJ) energian

kokonaiskulutuksesta, joka vuonna 2009 oli 1 330 PJ (Tilastokeskus 2010). Uusiutuvista energialähteistä puuperäisten polttoaineiden osuus oli vuonna 2008 lähes 80 % (Ylitalo 2009, Tilastokeskus 2010). Tällä hetkellä lähes puolet puun energiakäytöstä Suomessa muodostuu metsäteollisuuden jäteliemistä, joista merkittävin on mustalipeä (Ylitalo 2009). Valtioneuvoston pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiassa on todettu, että uusiutuvan energian osuus Suomen energiankulutuksesta riippuu olennaisesti mahdollisuudesta hyödyntää metsäteollisuuden prosessien sivutuotteita (mm. mustalipeä, kuori, puru, puutähte) energiantuotannossa (TEM 2008). Toisaalta metsän hoidossa ja puun korjuussa syntyy kuitenkin runsaasti puunjalostuksen raaka-aineeksi kelpaamatonta harvennus- ja muuta puuainesta, joka muodostaa huomattavan energiapotentiaalin, jonka hyödyntäminen on kokonaispotentiaaliin verrattuna vielä vähäistä (Koljonen ym. 2009).

Vaikka metsätalouden työllisyys on kaiken kaikkiaan vähentynyt mm. puunkorjuun koneellistumisen seurauksena, on uusia työmahdollisuuksia avautunut esim. energiapuun korjuussa, taimikonhoidossa ja nuoren metsän kunnostuksessa (Metla 2009). Vuonna 2008 koko metsäsektorin 83 400 työllisestä 58 600 henkilöä (eli 70 %) oli metsäteollisuuden palveluksessa ja loput 24 800 henkilöä työskenteli erilaisissa metsätalouden tehtävissä. Markkinapuun (pystykaupalla ostetun puun) metsähakkuu on nykyisin lähes täysin koneellista; vuonna 2008 koneellistamisaste oli yli 99 %. Toimialoina puunkorjuu- ja kuljetussektorit ovat pienyritysvetoisia, mutta hyvin tärkeitä työllistäjiä varsinkin maaseudulla. Suomessa toimii noin 2 500 puunkorjuuyritystä ja 1 500 puunkuljetusyritystä (Soirinsuoja & Mäkinen, 2010). Hakkuutyömailla työskenteli vuonna 2008 keskimäärin 1 860 hakkuukonetta ja lähikuljetuksessa noin 2 000 metsätraktoria. (Metla 2009) Kokonaisuudessaan puunkorjuun ja kaukokuljetuksen työvoima on pysytellyt 2000-luvulla n. 8 000 henkilön tasolla.

Nykyisin ainespuuta käyttävä metsäteollisuus pitkälti ohjaa metsäbioenergian hankintaketjua ja määrää missä järjestyksessä kohteet korjataan ja kuinka korjuu- ja kuljetusketjussa operoidaan (Ryymän ym. 2008). Ryymän ym. (2008) toteavat, että nykyisen kaltainen metsäyhtiöiden ja auto- ja koneyritysten välinen urakointi- ja ohjausmalli on tehnyt metsäbioenergian korjuusta sesonkiloonteista ”talkootyötä” ainespuun korjuun kausivaihtelun tasaajana. Korjuu- ja -kuljetuskaluston työllisyydessä on kausivaihtelua niin, että korjuukoneita on talvella käytössä lähes kaksinkertainen määrä huhti-heinäkuuhun verrattuna. (Hakkila 2004) Kun korjuuyritykset ovat kesäaikaan vajaatyöllistettyjä, saattaa niillä olla vapaata kapasiteettia esim. energiapuun korjuuseen. Puutavara-autoilla kausivaihtelu on tuntuvasti pienempi.

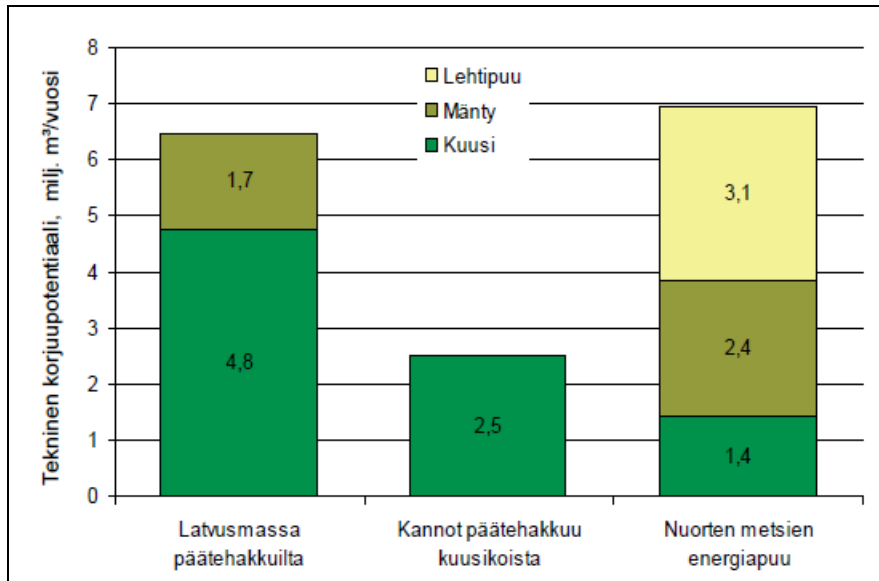
Metsähake on "polttohaketta tai -mursketta, jonka valmistukseen voidaan käyttää kaikkea metsästä saatavaa puuta, kuten runkokuuta, latvuksia, oksia, neulasia, lehtiä, kantoja ja juurakoita" (Metla 2010, Laitila ym. 2008, Vapo Oy). Metsähakkeen raaka-ainetta ovat pääasiassa taimistoilta, ensiharvennuskohteista ja nuorten metsien kunnostuskohteista korjattava pienpuu ja päätehakkuukohteille ainespuun korjuun yhteydessä jäävä latvusmassa ja kantobiomassa (mm. Helynen ym. 2007, Koljonen ym. 2009, Motiva Oy). Hakkuutähteeksi katsotaan teollisuudelle menevän runkokuun päätehakkuun yhteydessä syntyvä, metsään jäävä puuainesta, kuten oksat ja latvat sekä hakkuualueille jäävä pienikokoinen, puu ns. raivauspuu ja hylkypölköt (Metla 2010, Alakangas ym. 2007). Hakkuutähteet voivat olla irtonaista materiaalia tai risutukkeja ja hakkuutähtepealeja, joissa kuivuudesta riippuen voi olla mukana viherainesta eli neulas- tai lehtimassaa (Metla 2010). Metsätähteeksi määritetään sekä ainespuun korjuussa että harvennuksissa tähteeksi jäävät oksat, latvukset ja hukkarunkopuu (Metla 2010, Alakangas ym. 2007). Kanto puolestaan määritellään kaatopinnan alapuoliseksi rungon osaksi, mukaan lukien puun juuristo (Alakangas ym. 2007).

2.3.1 Metsähakkeen käyttö

Ensisijaiset metsähakkeen käyttökohteet ovat teollisuuden kattilat, kaukolämpövoimalaitokset ja erilliset lämpökeskukset, mutta tulevaisuudessa metsähakkeen arvioidaan olevan myös merkittävä biodieselin raaka-aine. (Lepistö 2010) Pienkohteet kuten omakotitalo- ja maatalouskokoluokan lämpökattilat (20–200 kW) ovat hakkeen laadun suhteen vaativampia kuin isot lämpölaitokset, eivätkä esim. salli oksia ja risuja hakkeen joukossa. Hakkeen tulee olla mahdollisimman tasalaatuista ja suhteellisen kuivaa (kosteus < 25 %), jotta häiriön aiheuttamia katkoja ei tulisi kohtuuttomasti. Pienkohteissa käytettäväksi hakkeeksi soveltuvat mm. erilaiset sahaustuotteet, karsittu ranka sekä rumpuhakkurilla haketettu kokopuuhaake. Keskikokoisissa lämpölaitoksissa (200-1 000 kW) voidaan käyttää pienkohteisiin soveltuvien polttoaineiden lisäksi kokopuu- ja latvusmassasta tehtyä haketta. Myös näissä lämpölaitoksissa on huolehdittava tasaisesta palakoosta, tosin kokovaihtelu voi olla isompaa kuin pienkohteissa. Hakkeen käyttökosteuden tulisi olla alle 40 %. Isot lämpölaitokset (> 1 000 kW) eivät ole polttoaineen laadun ja sen vaihtelun suhteen yhtä tarkkoja kuin pienemmät laitokset. Tekniikka mahdollistaa tässä kokoluokassa paremmin kosteiden hakeerien polton, mutta paras hyötysuhde ja toimintavarmuus saavutetaan kuitenkin tasalaatuaisella polttoaineella.

Teollisuuden käyttöön kelpaamattoman metsätähteen sekä kantojen hyödyntämiseen metsähakkeena energiantuotannossa on panostettu viime vuosina voimakkaasti ja metsähakkeen käyttö on kasvanut lähes nelinkertaiseksi vuodesta 2000. (TEM, 2008) Vuonna 2009 metsähaketta käytettiin kokonaisuudessaan 6,1 milj. m³, joka vastasi yli 3 % eli runsasta 12 TWh:a Suomen energian kokonaiskulutuksesta. Metsähakkeen kokonaismäärästä lämpö- ja voimalaitoksissa käytettiin 5,4 milj. m³ (10,8 TWh) ja pientalokiinteistöissä 0,7 milj. m³ (1,4 TWh) (Ylitalo 2010). Vuonna 2009 metsähakkeen tärkein raaka-aine oli runkopuu, mutta avohakkuualueilta kerätty oksa- ja latvusmassa ovat myös edelleen merkittävä raaka-aine (Metla 2009). Lämpö- ja voimalaitoksissa vuonna 2009 käytetystä metsähakkeesta 49 % oli peräisin runkopuusta (karsittu ranka, karsimaton pienpuu, järeä runkopuu), 36 % hakkuutähteistä ja 15 % kannoista (Ylitalo 2010).

Päättehakkuiden latvus- ja kantobiomassan sekä nuorten metsien energiapuun vuotuisen teknisen korjuupotentiaalin on hakkuumäärien perusteella arvioitu olevan noin 16 milj. m³, joka vastaa noin 32 TWh polttoaine-energiaa (Laitila ym. 2008, Asplund ym. 2009). Kuvassa 5 on esitetty päättehakkuiden latvusmassan, kantobiomassan sekä nuorten metsien energiapuun vuotuisen korjuupotentiaalin jakautuminen puolajeittain (Laitila ym. 2008). Pääosa latvus- ja kantobiomassasta korjataan kuusivaltaisilta päättehakkuualueilta. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian mukaisesti Suomen tavoitteena on metsähakkeen käytön lisääminen energian tuotannossa ja raaka-aineena teollisuudessa vuoden 2006 noin 3,6 milj. kiinto-m³:stä (vastaa 7,2 TWh) runsaaseen 12 milj. kiinto-m³:iin (vastaa 21 TWh) vuoteen 2020 mennessä (TEM, 2008). EU:lle kesällä 2010 toimitetussa Suomen kansallisessa uusiutuvan energian toimintasuunnitelmassa on metsähakkeen vuotuiselle käytölle asetettu vielä hiukan edellistä korkeampi tavoite eli käytön lisääminen 13,5 milj. kiinto-m³ vuoteen 2020 mennessä, joka vastaisi noin 25 TWh energiaa (TEM 2010).



Kuva 5. Päätehakkuiden latvusmassan, kantobiomassan sekä nuorten metsien energiapuun vuotuisen teknisen korjuupotentiaalin jakautuminen puulajeittain (Laitila ym. 2008).

2.3.2 Metsähakkeen tuotannon työllisyysvaikutukset

Koneellisen puunkorjuun yleistyminen on lisännyt metsätähteiden hyödyntämistä merkittävästi (Koljonen ym. 2009). Metsäteho Oy:n arvion (2007) mukaan vuonna 2007 energialaitosten käyttämän metsähakkeen tuotannossa oli yhteensä 1 100 kone- ja autoyksikköä. Energiapuun hakkuussa oli noin 200 hakkuukonetta ja korjuussa toimi noin 50 energiapuukorjurua. Kantojen, latvusmassan ja pienpuun metsäkuljetuksessa oli käytössä yli 300 keskiraskasta tai raskasta kuormatraktoria ja kaukokuljetuksessa lähes 200 ajoneuvoyksikköä. Kaukokuljetusyksiköistä kaksi kolmasosaa oli hakeautoja ja yksi kolmasosa energiapuunautoja. Lisäksi metsähakkeen tuotannossa oli noin 200 siirrettävää hakkuria ja murskainta. Kiinteitä murskaimia oli käytössä kuusi kappaletta. Metsäteho Oy (2009) arvioi että, mikäli Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia mukainen metsähakkeen vuotuinen käyttö (12 milj. m³) toteutuisi, tarvittaisiin vuonna 2020 laskennallisesti uutta tuotantokalustoa lähes 1 800 yksikköä ja työvoimantarve olisi runsaat 3 200 koneen- ja autonkuljettajaa. Helynen ym. (2007) puolestaan ovat arvioineet, että jos metsähakkeen määrä nousi 15 milj. kiinto-m³, olisi uusien työpaikkojen kasvu enimmillään lähes 7 000 henkilötyövuodella, jotka jakautuvat seuraavasti:

- metsähakkeen tuotanto ja kuljetus 6 200
- lämpöyrittäjäyys 400
- sähkön ja lämmön suurtuotanto 150
- polttoainelabasteiden valmistus 150.

Kärhä ym. (2010) arvioivat, että mikäli metsähakkeen tuotanto ja käyttö olisi 25–30 TWh vuonna 2020, tarvittaisiin:

- laskennallisesti tuotantokalustoa 1 900-2 200 konetta ja autoa (3,3-4-kertainen määrä nykyiseen verrattuna). Kokonaishankintakustannukset olisivat 530–630 milj. euroa.
- laskennallisesti 3 400-4 000 koneen- ja autonkuljettajaa (3,4–4,1-kertainen määrä nykyiseen verrattuna) sekä
- työvoimaa 4 200-5 100 henkilötyövuoden verran (sisältää sekä välittömän että välillisen työvoimatarpeen).

Selvityksessä arvioidaan, että metsähakkeen tuotannon resurssitarpeet ovat niin suuria, että toteutumista pidetään epätodennäköisenä ja resurssit muodostaisivat merkittävän pullonkaulan metsähakkeen käyttötaavoitteen (25 TWh) saavuttamiselle. Erityisesti työvoiman saataavuutta pidetään merkittävänä ongelmana.

Metsähaketuotannon synnyttämiä työpaikkoja tarkasteltaessa on syytä muistaa, että vaikka toiminta kokonaisuutena on ympärivuotista, eivät siinä tarjoutuvat työtilaisuudet kuitenkaan yleensä ole ympärivuotisia. (Halonen ym. 2003) Energiapuun hakkuu painottuu usein kevääseen ja alkukesään, metsäkuljetukset loppukesään tai syksyyn sekä haketus ja hakkeen kaukokuljetus erityisesti pienten toimituskohteiden osalta talven lämmityskaudelle eli loka–huhtikuulle. Suuriin lämpö- ja voimalaitoksiin metsähaketta toimitettaessa työ jakautuu tasaisemmin koko vuodelle.

2.3.3 Metsähakkeen tuotantoprosessit

Metsähakkeen raaka-aineiden tuotannossa voidaan erottaa kaksi erillistä linjaa: energiapuun erilliskorjuu ja integroitu korjuu. (Halonen ym. 2003) Erilliskorjuussa korjataan vain energiapuuta esimerkiksi pienpuuvaltaisista tai vajaatuottoisista leimikoista tai harvennushakkuualoilta. Integroidussa korjuussa päätehakkuuleimikolta korjataan sekä ainesettä energiapuuta. Integroidulla menetelmällä saadaan hyötykäyttöön mahdollisimman suuri osa puusta, jolloin syntyy myös kustannussäästöjä esim. työkoneiden käytön tehostuessa (Motiva -energiapuun korjuuketju). Verrattaessa metsähakkeen tuotantokustannuksia, ovat päätehakkuilta korjattavan oksa- ja latvusmassahakkeen korjuukustannukset pienimmät ja harvennuksilta korjattavan kokopuuhakkeen korjuukustannukset suurimmat (Ryymän ym. 2008).

Metsähakkeen hankintajärjestelmä rakentuu, raaka-aineesta riippumatta, pääosin sen mukaan, mihin ketjun vaiheeseen haketus/murskaus sijoitetaan ja missä muodossa materiaalia kuljetetaan (Ryymän ym. 2008, Laitila ym. 2008). Keskittämällä haketus/murskaus käyttöpaikalle eli lämpö- tai voimalaitokselle (käyttöpaikkahaketus) tai erilliseen terminaaliin (terminaalihaketus), voidaan haketuskuukustannuksia alentaa, kun hakkurin/murskaimen vuosituotokset ja koneiden käyttöasteet kasvavat. (Ryymän ym. 2008, Laitila ym. 2008) Käyttöpaikkahaketusta käytetään pääasiassa järeämmän runkopuun (mm. lahovikainen puu) ja kantojen haketuksessa. Sekä järeästä runkopuusta että kannoista haketettiin noin 70 % vuonna 2009 lämpö- ja voimalaitoksilla, mutta pienpuusta vain noin 5 % (Kärhä 2010, Metsäteho 2010). Oksa- ja latvusmassasta vajaa kolmannes haketetaan käyttöpaikoilla ja tästä määrästä lähes kaksi kolmasosaa oli irtorisua ja kolmannes paaleja (Kärhä 2010). Käyttöpaikka- ja terminaalihaketuksen heikkoutena ovat kuljetuskustannusten nousu, sillä hakkeen raaka-aineen kaukokuljetuksissa kuormakoot voivat jäädä pieniksi. (Ryymän ym. 2008, Laitila ym. 2008) Lisäksi käyttöpaikkahaketus sopii suurten investointikustannusten vuoksi lähinnä vain suurille voimalaitoksille.

Terminaaleista haketta voidaan toimittaa useille eri kokoluokan laitoksille ja terminaalihaketus muodostaa toimitusvarman varaston esimerkiksi kelirikkoaikana. (Ryymän ym. 2008, Laitila ym. 2008) Hakkeen laatua on myös helpompi kontrolloida, koska terminaalissa raaka-ainetta voidaan kuivata sekä kosteaa ja kuivaa haketta tarvittaessa sekoittaa polttoaineen laadun tasaamiseksi. Toisaalta hakkeen ja raaka-aineen käsittely terminaalissa sekä kuljetukset ensin metsästä terminaaliin ja sen jälkeen laitokselle lisäävät kustannuksia.

Hajautetun hakkeen tuotantomenetelmiä ovat välivarastolla, kuten tienvarressa (tienvarsihaketus), tai palstalla tapahtuvaan haketukseen (palstahaketus) perustuvat korjuuketjut. (Ryymän ym. 2008, Laitila ym. 2008) Välivarastohaketusjärjestelmä on edelleen

haketuotannon perusratkaisu, joka soveltuu sekä pienille että suurille käyttöpaikoille. Pienpuun ja hakkuutähteen haketuksesta suurin osa toteutetaan edelleen tienvarsihaketuksena, vaikka terminaalihaketuksen osuus on kasvussa (Kärhä, 2010, Metsäteho 2010). Vuonna 2009 pienpuuhakkeesta lähes 80 % tuotettiin tienvarsivarastoilla ja noin 16 % terminaaleissa kun hakkuutähteistä yli 60 % hakettiin tienvarsivarastoilla ja noin 10 % terminaaleissa (Kärnä 2010). Välivarastohaketuksessa materiaali haketetaan suoraan hakeauton kuormatilaan. Käytössä olevat pienemmät hakkurit ovat maataloustraktorikäyttöisiä, suuremmat yleensä kuorma-autoalustaisia (Lepistö 2010). Pienpuun tienvarsihaketukselta tehtiin vuonna 2009 suurin osa erillisillä hakkuri-hakeauto -tuotantoketjulla; integroidun hakkuri-hakeauto -yhdistelmän käyttö oli vähäisempää. (Kärnä 2010) Hakkurin ja hakeauton toiminnot kytkeytyvät kiinteästi toisiinsa, minkä vuoksi haketusta ja kuljetusta ei voi limittää ja kaukokuljetusmatkasta riippuen odotusaikoja tulee joko hakkurille tai hakeautolle. Kuvassa 6 tehdään haketta metsätähteistä hakkuri-hakeauto -yhdistelmällä välivarastopaikassa.



Kuva 6. Metsätähteen tienvarsihaketukselta hakkuri-hakeauto -yhdistelmällä (kuva M. Ruokolainen).

Palstahaketuksessa haketus tehdään palstalla olevista kasoista palstahakkurilla suoraan kuljetuskonttiin. (Ryymän ym. 2008, Laitila ym. 2008) Palstahaketuksen etuna on, että yhdellä koneella voidaan tehdä useita työvaiheita; haketuksen ja metsäkuljetuksen, sekä joissain tapauksissa myös hakkuun, tekee sama kone yhdellä käyntikerralla. Normaaliin metsäkoneeseen verrattuna palstahakkuri on kalliimpi ja painavampi ja sen vuoksi metsäkuljetusmatkojen on oltava lyhyitä ja maapohjan on oltava kantavaa ja tasaista. Kone on myös vika- ja vaurioherkkä, mikä osaltaan nostaa menetelmällä tuotetun hakkeen tuotantokustannuksia. Palstahaketuksella tuotetun hakkeen määrä on nykyisin vähäinen ja korjuumenetelmällä on korkeintaan paikallista merkitystä metsähakkeen tuotannossa; vuonna 2009 pienpuusta ja hakkuutähteistä vain muutama prosentti hakettiin palstalla (Kärhä 2010).

Hakkureina käytetään mm. erilaisia laikka-, rumpu- tai ruuvihakkureita. (Lepistö 2010) Pienen kokoluokan hakkureista yleisin on laikkahakkuri, jolle sopivia raaka-aineita ovat karsittu ranka, kokopuu tai sahapinnat, mutta se ei sovellu latvusmassan haketukseen. Kartioruuvihakkuri soveltuu karsitun rangan ja sahapintojen haketukseen. Suurtehoisemmat

rumpuhakkurit soveltuvat em. lisäksi myös latvusmassan ja jopa risutukkien haketukseen. Rumpuhakkurissa on lieriömäinen rumpu, jonka ulkokehällä on mallista riippuen 2-20 terää. Puun syöttö tapahtuu joko ketjukuljettimella tai telamatolla. Kunnollinen syöttöpöytä mahdollistaa puuaineen tasaisen syötön terille. Rumpuhakkureissa voidaan käyttää erikokoisia seuloja, joiden avulla saadaan halutun kokoista haketta. Murskaimet (esim. vasara- ja levymurskain, kattila- ja kaukalomurskain) ovat järeitä, suuremman kokoluokan laitteita, joita käytetään pääasiassa käyttöpaikkahaketuksessa ja jotka soveltuvat suurien määrien ja laadultaan vaihtelevien puuerien käsittelyyn. Tyypiltään ne voivat olla joko kiinteitä tai liikuteltavia murskaimia. Murskaimen heikkoutena on kuitenkin usein epätasalaatuinen hake.

Metsähakkeen raaka-aineiden välivarastointi ja kuivaus ennen haketusta voidaan toteuttaa esim. tienvarressa. Energiapuun laatuominaisuuksista tärkein on kosteus, joka kaatotuoreella puuaineksella on 50–60 % ja varsinkin pienemmissä laitoksissa käytettävän metsähakkeen kosteus ei saisi ylittää 40 % (Hillebrand 2009). Välivarastointia varten puuaines, irtonainen hakkuutähde (irtorisut), kannot tai paalit ja risutukit kasataan varastokasoihin jatkokäsittelyn ja -kuljetuksen mahdollistavaan paikkaan, huomioiden mm. kuljetus- ja haketuskoneiden liikkuminen (riittävä tila ja kääntöpaikka), alueen kantavuus, sähkö- ja puhelinlinjat sekä paloturvallisuus ja haketuksesta aiheutuva melu (Äijälä ym. 2010). Kasat voidaan varastoinnin ajaksi peittää esim. peittopaperilla. Hakkuutähdekasojen peittämiselle on todettu olevan suurempi merkitys kuin kokopuukasojen peittämisellä. (Hillebrand 2009, Äijälä ym. 2010) Varastopaikan valinnalla (mm. avoin, aurinkoinen ja tuulinen paikka) on suuri merkitys kuivauksen tehoon. Varastopaikan on myös oltava riittävän suuri. Kuvassa 7 on kantojen varastokasa sekä harvennushakkuusta peräisin olevan energiapuun talvivarasto.



Kuva 7. Kantojen ja energiapuujakeen välivarastointia (kuvat M. Ruokolainen).

Haketta voidaan raaka-aineen palstakuivauksen tai varastossa toteutetun kuivauksen lisäksi kuivata keinotekoisesti. (Lepistö 2010) Kosteus luonnon kuivaamassa hakkeessa on tavallisesti 30–50 %, mutta hyvin onnistuneella kuivauksella se voidaan laskea jopa 25 %:iin. Keinokuivauksella, jota käytetään tuorehakkeen kuivaukseen tai parantamaan varastokuivauksen tulosta, voidaan kosteutta laskea jopa 15 %:iin. Kuivurit voivat olla malliltaan kiinteitä tai liikuteltavia. Kuivaus tapahtuu puhaltamalla hakkeeseen ilmaa, joka voi olla kylmää tai kuumaa. Keinokuivaus kuitenkin kuluttaa huomattavia määriä energiaa ja aiheuttaa lisäkustannuksia.

Haketta säilytetään käyttöpaikoilla varastosiiloissa, joihin kuorma-autot hakkeen tyhjentävät joko sivu- tai peräkipillä tai peräpurkuna. (Ryymin ym. 2008, Laitila ym. 2008) Kuvassa 8 hakkeen varastosiiloja kahdella lämpökeskuksella. Hakettamaton materiaali puretaan joko auton omalla kuormaimella tai vastaanottoaseman omilla laitteilla suoraan hakettimen/murskaimen syöttöpöydälle tai varastokentälle. Hakkeen vastaanottojärjestelmissä lämpö- ja voimalaitoksilla on havaittu ongelmia aiheuttavan mm. pienet ja ahtaat varastotilat ja -kentät, puutteet aikataulutuksessa ja punnituksessa, purkupaikkojen järjestelyt ja autojen jonotus purkupaikalle sekä näytteenotto.



Kuva 8. Hakkeen varastointia lämpökeskuksessa (kuvat M. Ruokolainen).

Seuraavassa on kuvattu tarkemmin metsähakkeen eri tuotantoprosesseja; metsätähteet, harvennuksessa kerättävä pien-/rankapuu ja kannot. (Lähteinä on käytetty mm. Halonen ym. 2003, Luoma ym. 2006, Ryymin ym. 2008, Laitila ym. 2008)

2.3.1.1 Metsätähdehake

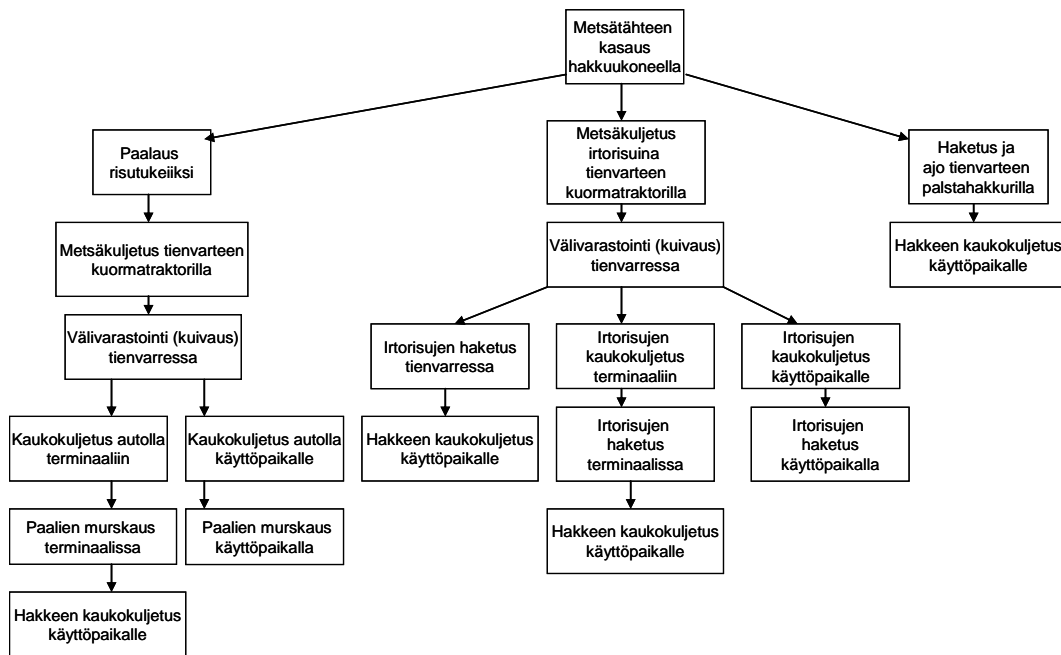
Metsätähdehakkeen tuotannossa korjuu alkaa oksien ja latvusten kasauksesta ainespuun hakkuun yhteydessä. (mm. Halonen ym. 2003, Luoma ym. 2006, Ryymin ym. 2008, Laitila ym. 2008) Päätehakuuleimikoiden hakkuu ei varsinaisesti kuulu hakkuutähdehakkeen toimitusketjuun, mutta hakkuutähteen korjuu on ko. kohteissa huomioitava mm. hakkuutekniikassa. Hakkuukoneen työtapa muutetaan niin, että oksat ja latvat kasataan hakkuu-uran varteen, kun normaalissa työtavassa oksat ja latvat on pyritty keräämään ajouralle suojaamaan maaperää ja parantamaan kantavuutta. Latvusmassan kasoille hakkuu parantaa materiaalin talteensaantia, tehostaa korjuutyötä ja ehkäisee kivien ja kivennäismaan joutumista latvusmassan joukkoon.

Metsätähteet kuljetetaan välivarastolle joko samalla kerralla ainespuun metsäkuljetuksen kanssa tai erillisellä työmaakäynnillä. Mikäli hakkuutähteistä tehdään haketta ns. palstahaketuksella, ei hakkeen toimitusketjussa tarvita erillistä metsäkuljetusta. Metsäkuljetukseen käytetään joko samaa metsätraktoria kuin ainespuun metsäkuljetuksessa tai erillistä latvusmassan kuljetukseen varusteltua metsätraktoria, esim. laajennetulla kuormatilalla varusteltu metsätraktori, jossa puutavarakoura on korvattu hakkuutähdekouralla. Oksa- ja latvusmassaa voidaan myös varastoida palstalla kesäkorjuun aikana, jolloin latvusmassa kuivuu ja neulasista varisee korjuualalle. Latvusmassan metsäkuljetukseen voidaan käyttää myös yhdistelmäkonetta, joka latvusmassan korjuun lisäksi muokkaa maata.

Tienvarteen kuljetettua latvusmassaa välivarastoidaan korkeintaan yksi vuosi, jona aikana massa kuivuu. Latvusmassa haketetaan joko tienvarressa tai se kuljetaan terminaaliin tai käyttöpaikalle haketettavaksi. Kaukokuljetuksissa käytetään yleisimmin kuorma-autoja ja täysperävaunuyhdistelmiä.

Latvusmassahakkeen tuotannossa voidaan myös käyttää ns. risutukkimenetelmää, jossa latvusmassa tiivistetään halkaisijaltaan noin 70 cm paksuiksi ja noin kolme metrisiksi risutukeiksi. Latvusmassan tiivistyslaite on asennettu kuormatraktorin alustalle ja paalainkone liikkuu palstalla hakkuutähdekasalta toiselle. Kuljettaja kuormaa hakkuutähteen paalaimen syöttöpöydälle, josta syöttörullat ahtavat materiaalia elementtiin, jossa se tiivistetään hydraulisyliinterien avulla. Risutukit sidotaan sidontanarulla ja tukki katkaistaan määrämittaan. Risutukit kuljetetaan tienvarsivarastolle normaalilla kuormatraktorilla, josta ne edelleen kuljetetaan terminaaliin tai käyttöpaikalle haketettaviksi. Latvusmassan paalauksella pyritään parantamaan tehokkuutta ja joustavuutta hankintaketjun eri osavaiheissa etenkin suurilla hankintamäärillä ja pitkillä kaukokuljetusmatkoilla. Suurilla hyötykuormilla sekä metsä- että kaukokuljetuksessa saadaan kustannussäästöjä.

Kuvassa 9 on esitetty metsähakkeeksi korjattavan oksa- ja latvusmassan tuotantoketjun päätyövaiheita (mukailltu Ryymin ym. 2008).



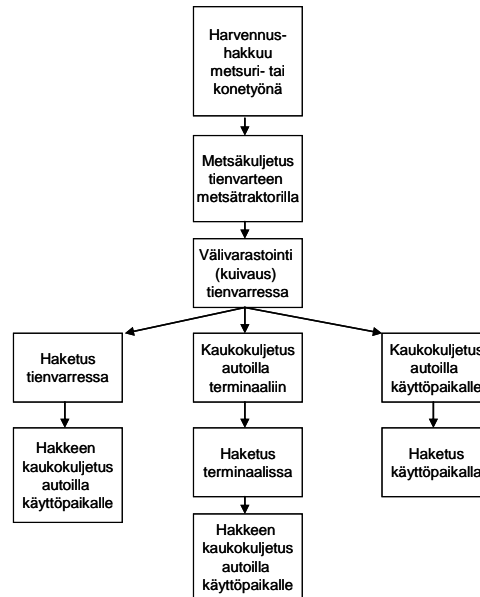
Kuva 9. Metsätähdehakkeen tuotantoketjun päätyövaiheet (mukailltu Ryymin ym. 2008).

2.3.1.2 Pien-/rankapuuhake

Pien- tai rankapuuta voidaan kerätä metsähakkeen raaka-aineeksi esim. taimikoiden harvennuksen yhteydessä tai integroidussa aines- ja energiapuun hankinnassa. (mm. Halonen ym. 2003, Luoma ym. 2006, Ryymin ym. 2008, Laitila ym. 2008) Kaato ja kasaus tehdään joko metsurityönä tai konetyönä. Runkopuu voidaan korjata joko karsittuna rankana tai kokopuuna, jolloin talteen kerätään rungon lisäksi myös oksat neulasineen ja lehtineen. Valtaosa energiakäyttöön ohjautuvasta runkopuusta on karsimatonta kokopuuta.

Metsurityönä tehtävässä energiapuun hankinnassa voidaan käyttää moottori- ja raivaussahan ohella ns. siirtelykaatokahvoja (Kärhä & Häkkinen 2002). Kaatokahvoja käytettäessä käytetään hyväksi kaatuva puun liike-energiaa, mikä keventää ja nopeuttaa työtä. (Laitinen ym. 2008) Siirtelykaadon tavoitteena on tehdä korjuukoneen ajouran varteen yhden kourayksikön kokoisia kasoja. Parhaiten miestyönä tehtävään siirtelykaatoon soveltuvat rinnankorkeusläpimitaltaan 5-10 cm puut. Kasaus on moottorisahahakkuun rasittavimpia työvaiheita, koska joudutaan nostamaan ja siirtelemään raskaitakin pölkkyjä. Työskentelyssä on usein vaiheita, joissa metsurin erityisesti selkä (esim. selkä kumarassa ja kiertyneenä) ja jalat (esim. jalat koukussa) kuormittuvat. (Kärhä, 2002) Siirtelykaatokahvojen avulla kaato-kasaustyö voidaan tehdä selkä suorana, jolloin työn kuormittavuus vähenee. Lisäksi metsurin altistuminen sahan pakokaasuille vähenee. Metsuri myös altistuu kaatokahvatyöskentelyssä vähemmän sahan pakokaasuille.

Koneellisessa pienpuun korjuussa kaato-kasaus tehdään keräilevällä kaatopäällä tai työhön voidaan käyttää joukkokäsittelylaittein varusteltua normaalia hakkuupäätä (Ryymin ym. 2008). Puiden kouraan keräilyllä ja joukkokäsittelyllä vähennetään kouran ja puomin liikkeitä sekä parannetaan koneen tuottavuutta verrattuna yksinpuin käsittelyyn. Puiden katkaisu tapahtuu leikkaavalla terällä tai ketjusahalla. Kaato-kasauskoneen peruskoneena on harvennuksille soveltuva kevyt tai keskiraskas hakkuukone. Koneellisessa pienpuun korjuussa voidaan käyttää myös yhdistelmäkoneita eli korjureita, jossa sama kone hoitaa sekä pienpuun kaato-kasauksen että metsäkuljetuksen. Korjureiden kilpailukyky perustuu hakkuutyön suureen määrään suhteessa metsäkuljetukseen sekä siirtokustannusten pienuuteen verrattuna kahden koneen ketjuihin. Harvennuksilta kerättävän puuaineksen metsäkuljetus tienvarteen tehdään harvennuksille soveltuvilla metsätraktoreilla. Varastointiaika on yleensä vuosi ja kuivumisen jälkeen rungot haketetaan joko tienvarressa kaukokuljetusta varten tai ne kuljetetaan hakettamattomina terminaaliin tai käyttöpaikalle. Kokopuuhakkeen tuotannossa käytetään samaa kalustoa ja toimitusketjuja kuin latvusmassahakkeen tuotannossa. Kuvassa 10 on esitetty pien- tai rankapuuhakkeen tuotantoketjujen päätyövaiheet (Ryymin ym. 2008).



Kuva 10. Pien-/rankapuuhakkeen tuotantoketjujen päätyövaiheet (Ryymin ym. 2008).

2.3.1.3 Kantomurske

Myös kantojen hyödyntäminen metsähakkeena on lisääntynyt merkittävästi 2000-luvulla: vuonna 2009 kantohaketta hyödynnettiin lämpö- ja voimalaitoksissa jo noin 0,8 milj. m³. (Laitila 2010, Ylitalo 2010) Teknisen korjuupotentiaalin (kuusen kannot) arvioidaan olevan noin 2,5 milj. m³. Tällä hetkellä kanto- ja juuripuuta korjataan lähes pelkästään kuusen päätehakkuualueilta ja männyn kantoja vain pieniä määriä esim. maanrakennustyömailta, turvesoilta tai pellonraivaustyömailta (Laitila 2008, Laitila 2010). Korjuuta tehdään tuoreilta tai sitä rehevimmiltä kivennäismailta, kuivahkoilta kankailta sekä ruoho- ja mustikkaturvekankailta sekä kuivilta kankailta, mikäli uudisalalla on juurikäävän aiheuttamaa tyvitervetautia tai maannousemasientä. (Laitila 2008) Osa kannoista jätetään aina nostamatta mm. metsämaan ravinnetasapainon säilyttämiseksi.

Kantojen nosto keskittyy roudattomille ja lumettomille kuukausille, eli korjuukausi alkaa yleensä toukokuussa ja päättyy marras-joulukuussa (Laitila 2010). Lämpimiltään alle 30 cm kannot halkaistaan ja suuremmat pilkotaan 3–4 kappaleeseen nostotyön yhteydessä (Laitila 2008). Kantojen paloittelu noston yhteydessä edistää kuivumista, parantaa kuormattavuutta (kuorman tiheyttä ja kokoa) kuljetusvaiheessa sekä tehostaa murskausta (Laitila ym. 2007). Suomessa kantojen nosto perustuu pääosin (tela-alustaiseen) kaivukonekalustoon. Metsäkoneita kantojen nostossa käytetään edelleen vähemmän, johtuen mm. koneiden nostovoiman vähäisyydestä, alhaisesta painosta ja raskaaseen nostotyöhön soveltumattomasta rakenteesta (Laitila 2010). Markkinoilla on tällä hetkellä joitakin yksittäisiä metsäkoneisiin kiinnitettäviä kantoaggregaattien prototyypilaitteita (Laitila 2008). Kantoaggregaatti on kuormaimen päähän kiinnitettävä ja kannon päälle laskettava laite, joka pilkkoo kannot ja vipuaa palat irti maasta. (Laitila 2010) Metsätraktoriin asennetun ns. korjurikouran avulla voidaan noston ja paloittelun lisäksi kuormata kantoja ja hoitaa myös metsäkuljetus. Korjurikouralla kantojen halkaisu ja paloittelu tapahtuu kouran keskellä olevan hydraulisen halkaisukiilan avulla. Kannon halkaisu ja paloittelu tapahtuu sen jälkeen, kun koura on laskettu kannon päälle ja kuormaimen leuat ovat tarttuneet kantaan.

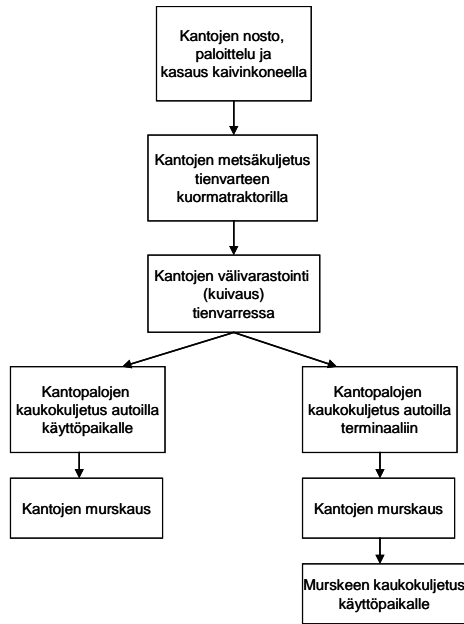
Metsäteho Oy:n (2007) tekemän selvityksen mukaan nostokaudella 2007 kantojen korjuussa oli runsaat 100 telakaivukonepohjaista koneyksikköä. Kaivukoneita on sekä alle että yli 20 tonnin koneita (Laitila 2010). Kaivukoneen kauhan tilalle oli vuonna 2007 asennettu noin

puoleen hydraulisella halkaisuterällä varustettu nosto- ja pilkontalaite eli kantoharvesteri ja puolella laitteista kantohara ilman kantopaloja leikkaavaa ominaisuutta (Metsäteho Oy 2007, Laitila 2010, Jouhiaho 2010). Kantoharassa ei ole erillistä paloittelulaitetta, vaan kannon paloittelu tapahtuu repäisemällä kantoa juurenniskasta noston yhteydessä (Laitila 2010). Pilkkovilla nostolaitteilla (esim. "kantokunkku"-kantoharvesteri) kannon paloittelu tapahtuu hydraulisella leikkuuterällä, joka painaa pilkottavaa kantoa vastaterää tai nostoharan piikkejä vasten (Laitila ym. 2007, Laitila 2010). Kaivukoneeseen voidaan myös asentaa "kantopora", joka sahaa ja kannon ja sen maanalaisen jatkeen irti maasta ja sivujuurista (Laitila 2008). Useimpia kannonnostolaitteita voidaan käyttää myös laikutuksessa tai mätästyksessä ja maanmuokkaus on liitetty osaksi kantojen nosto- ja paloittelutyötä (Laitila 2010). Kuvassa 11 nostetaan kantoja kaivukoneeseen kiinnitetyllä kantoharvesterilla.



Kuva 11. Kantojen nostoa kaivukoneeseen kiinnitetyllä kantoharvesterilla (kuva M. Ruokolainen).

Kuvassa 12 on esitetty kantomurskeen tuotantoketjut päävaiheittain (Ryymän ym. 2008). Paloitellut kannot nostetaan kasoihin palstalle, jossa niitä kuivataan muutamia viikkoja hiekan ja muun maa-aineksen irrottamisen parantamiseksi (Laitila 2008). Korjuussa on hyvin oleellista, että kannot puhdistuvat kivistä ja kivennäismaasta ennen murskausta tai viimeistään ennen polttoa (Laitila 2010). Voimalaitokselle saakka kulkeutuneet epäpuhtaudet aiheuttavat ongelmia laitoksen toiminnalle. (Laitila 2008) Puhdistaminen toteutetaan tärinän avulla; noston yhteydessä irtonainen maa-aines ravistellaan takaisin kantokuoppaan tai kantoa/kantopala pudotellaan maata vasten. Lähikuljetus metsästä tienvarseen tehdään samanlaisella kuormatraktorilla kuin latvusmassakin. Kantoja varastoidaan tienvarressa yleensä vähintään vuoden verran, jotta ne saavuttaisivat riittävän kuivuuden. Varastointi voidaan tehdä kasoja peittämättä (Riipinen 2010). Kantojen kaukokuljetukseen käytetään samanlaista kalustoa kuin latvusmassan kuljetukseen: erikoisrakenteisia, kiinteällä pohjalla ja laidoilla varustettuja puutavara-autoja (Laitila, 2008).



Kuva 12. Kantomurskeen tuotantoketjujen päätyövaiheet (mukailtu Ryymin ym. 2008).

Kantomursketta polttoaineena käytävä laitos on tyypillisesti iso voimalaitos ja kantojen murskaus toteutetaan pääosin käyttöpaikkamurskauksena voimalaitoksilla (Laitila ym. 2007, Metsäteho Oy 2010). Kivien, hiekan ja muiden epäpuhtauksien vuoksi kantomateriaalia ei voi hakettaa, vaan se on murskattava (Lauhanen & Laurila, 2007). Vuonna 2009 käyttöpaikkamurskauksen osuus oli lähes 70 % ja vajaa kolmannes kantohakkeesta tuotettiin terminaaleissa sekä vain noin 3 % murskauksesta toteutettiin tienvarsivarastoilla (Kärhä, 2010, Metsäteho Oy 2010). Kuvassa 13 kantojen murskausta työnäytöksessä Finmetko 2010-messuilla.



Kuva 13. Kantojen murskausta (kuva M. Ruokolainen).

2.4 PELTOBIOENERGIASTA

Peltobiomassojen energiakäytöllä tarkoitetaan ensisijaisesti pellolla kasvatettavien kasvituotteiden käyttämistä joko kokonaan tai osittain energian tuotantoon (MMM, 2007). Maataloussektorilla on tarjottavana useita raaka-aineita uusiutuvan energian tuottamiseksi: kasvimassoja voidaan polttaa suoraan energiantuotannossa, kasvi- ja eläintuotteita voidaan jalostaa nestemäisiksi polttonesteiksi ja eläin- ja kasviperäisiä biomassoja voidaan prosessoida biokaasuksi (TEM 2008, MMM 2008). Suoraan kasvimassan polttoon voidaan käyttää esimerkiksi ruokohelpeä, olkea ja muita erilaisia korsimateriaaleja sekä viljan jyviä. (MMM 2008) Nestemäisistä polttoaineista biodieseliä voidaan jalostaa mm. öljykasvien siemenistä tai eläinrasvoista (teuras- ja perkuujätteet) joko perinteisellä rypsi-metyyliesteröintitekniikalla (RME) tai vetykrakkausmenetelmällä, ja myös puhtaita kasviöljyjä voidaan joissain tapauksissa käyttää polttoaineina. Tärkkelyspitoisista kasveista, kuten viljasta tai sokerijuurikkaasta, voidaan puolestaan jalostaa bioetanolia. Kehitteillä olevilla ns. toisen sukupolven tekniikoilla voidaan nestemäisiä polttoaineita tulevaisuudessa jalostaa lähes kaikesta kasvimassasta. Maatiloilla ja maaseutuyrityksissä tuotettavan biokaasun tavallisin raaka-aine Suomessa on tällä hetkellä lanta, erilaiset eläimistä saatavat sivutuotteet sekä muut orgaaniset jättemateriaalit, mutta myös erilaiset kasvibiomassat soveltuvat biokaasun tuotantoon.

Suomessa käyttötavoista yleisin on pitkään ollut tuotetun peltobiomassan (esimerkiksi ruokohelven) suora poltto sähkön tai lämmön tuotannossa, mutta jatkossa tämän käyttötavan rinnalla tulevat lisääntymään myös muut jalostusmenetelmät (MMM, 2007). Kasvinviljelyn sivutuotteet (esim. viljan oljet, öljy-, palko- ja juurikasvien varret), jotka on yleensä muokattu maahan, ovat potentiaalisia bioenergian raaka-aineita (Koljonen ym., 2009). Vaikka olki on perinteinen energiantuotannossa käytettävä peltobiomassa, on sen käyttö polttoaineena Suomessa varsin vähäistä, mutta oljen energiakäytöllä arvioidaan olevan myös meillä kehitysnäkymiä (Asplund ym. 2005, Luoma ym. 2006, MMM bioenergiatuotannon työryhmä 2008). Olki soveltuu hyvin seospolttoaineeksi esim. turpeen kanssa suorassa poltossa ja parhaiten polttoaineeksi soveltuvat vehnän ja rukiin oljet. (Luoma ym. 2006) Oljen käytön suurimpia ongelmia ovat sen keruu, kuljetus ja varastointi. Poltettavaksi kerättävän oljen tulee olla riittävän kuivaa, ettei olkea tarvitsisi kuivata. Kuljetusta ja varastointia on pyritty kehittämään olkea paalaamalla, silppuamalla, jauhamalla sekä pelletöimällä. Myös oljen tekninen soveltuvuus nykyisiin kattiloihin rajoittaa käyttöä (Asplund ym. 2005). Oljen pieni energiatiheys (lämpöarvo noin 3,5 MWh/t) ja suuri tuhkapitoisuus tekevät siitä puuta ja muita kiinteitä polttoaineita ongelmallisemmän polttoaineen (Tuomisto 2005). Oljen, kuten muidenkin peltobiomassojen, polton puhdasta tuhkaa voidaan käyttää lannoitteena. (Evira, MMM lannoitevalmisteasetus) Tuhkaa voidaan käyttää nostamaan maaperän pH:ta kuten kalkkia. Kuitenkin vain polttolaitosten pohjatuhkaa voidaan käyttää tutkimusten jälkeen lannoitteena, tuhkan sisältämien raskasmetallien takia.

Olkisato on Suomessa keskimäärin 3 t/ha (noin 10 MWh/ha), riippuen viljalajista (Tuomisto 2005). Oljen energiakäytön vuotuiseksi teknis-taloudelliseksi potentiaaliksi arvioidaan noin 20 % viljan viljelystä syntyvän oljen kokonaismäärästä. Viljaa viljellään Suomessa noin 1,2 milj. hehtaarilla, josta syntyvän oljen kokonaismäärä on noin 2,1 milj. tonnia, josta energiakäyttöön voisi ottaa 0,4 milj. tonnia (8 PJ; 1,5 TWh) (Asplund ym. 2005, Asplund ym. 2009). Maa- ja metsätalousministeriön asettaman "Peltobiomassa, liikenteen biopolttonesteet ja biokaasu" -jaoston loppuraportissa (2007) arvioitiin, että suurimittakaavaisella oljen hyödyntämisellä biopolttoaineena olisi merkittävä työllistävä vaikutus. Mikäli oljen korjuuala olisi 30 000-40 000 ha, tarvittaisiin suurkantti-paalausurakoitsijoita 50–70. Myös paalien välivarastointi ja kuljetus työllistäisivät myös maaseudun yrittäjiä.

Kasveja voidaan myös viljellä vain bioenergian raaka-aineeksi, jolloin puhutaan ns. *non-food*-tuotannosta. (MMM 2008) Bioenergiakasvit ovat joko tunnettuja, elintarvikekäyttöön viljeltyjä kasveja (esim. rapsi, viljat, sokeriruoko) tai sellaisia, joita käytetään pelkästään energiatarkoituksiin (esim. ruokohelpi, energiapaju). Rehu- ja leipäviljan hinnan nousu on kuitenkin vähentänyt viljojen kiinnostavuutta polttolaitosten raaka-aineena. Viljan hinnan ja investointikustannusten nousu on myös lykännyt tai perunut Suomeen suunniteltujen suurten, pääosin viljaa käyttävien bioetanolitehtaiden rakentamispäätöksiä. Suomessa viljeltävistä öljykasveista saatavan kasviöljyn käyttö esim. työkonepolttoaineena tai lämmitykseen voi myös lähiaikoina toteutua nykyistä suuremmassa mittakaavassa, jos tuotanto osoittautuu kannattavaksi.

Maailmanlaajuisesti peltobioenergian tuotantoon varattu maa-ala riippuu ensisijaisesti siitä, kuinka paljon kunkin maan ruoan tuotantoon tarvittavasta maa-alasta jää käytettäväksi *non-food*-tuotantoon. (Koljonen ym., 2009) Viljelijän tuotteestaan saama hinta puolestaan ratkaisee viime kädessä sen, mihin käyttöön raaka-ainetta halutaan tuottaa. Suomessa maatalousmaata on noin 2,3 milj. hehtaaria, josta ravinnon ja rehun tuotantoon tarvitaan noin 1,7 milj. hehtaaria (MMM 2008, Villa & Saukkonen, 2010). Energiatarkoituksiin voitaisiin ottaa 0,5 milj. hehtaaria maata ilman, että Suomen elintarviketuotanto vaarantuisi (mm. MMM 2008, Asplund ym. 2009). Maatalouden tutkimuskeskus on arvioinut, että öljykasvituotannossa voisi olla vuosittain enintään 200 000 hehtaaria, kun esim. vuonna 2007 öljykasveja viljeltiin Suomessa yhteensä noin 92 000 hehtaarilla. (MMM 2008) Mikäli öljykasveja viljeltäisiin koko enimmäispinta-alalla, olisi kasviöljytuotannon vuotuinen maksimipotentiaali 100 000 milj. kila, josta osa käytettäisiin elintarviketeollisuuden tarpeisiin.

Peltobiomassojen käytön tavoitteeksi on pitkän ajanjakson ilmasto- ja energiastrategian (2008) tavoiteurassa asetettu yhteensä 4 TWh vuoteen 2020 mennessä. Suomessa maatalouspohjaisen bioenergian tuotanto ja käyttö on merkittävästi lisääntynyt vasta 2000-luvulla (TEM 2008). Kuitenkin suurissa, päästökaupan piirissä olevissa energialaitoksissa käytetään kiinteänä polttoaineena peltobioenergiaraaka-aineista pääasiassa vain ruokohelpeä (MMM bioenergiatuotannon työryhmä 2008). Koska ruokohelpi on tällä hetkellä Suomessa merkittävin suorassa energiantuotannossa käytettävä peltobiomassa, valittiin helpi ja sen tuotantoprosessit lähemmän tarkastelun kohteeksi.

2.4.1 Ruokohelven tuotantoprosessit

Ruokohelpi (*Phalaris arundinacea L.*) on Suomessa luonnonvaraisenakin kasvava heinäkasvi, jota viljellään yleisesti Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa karjanrehuksi (Pahkala ym. 2005, Luoma ym. 2006). Kuvassa 14 on syksyinen ruokohelpipelto. Ruokohelpi on biomassakasvina käyttökelpoinen suhteellisen runsaan sadon vuoksi ja viljelmiltä saadaan satoa yli kymmenen vuotta (Pahkala ym. 2005, Lötjönen & Knuutila, 2009). Satomäärä on 3–7 t kuiva-ainetta/ha, joka on energiaksi muutettuna noin 14–32 MWh/ha (Lötjönen & Knuutila 2009). Ruokohelpi kasvaa luontaisesti rannoilla ja kosteikoilla ja sitä voidaan kasvattaa mm. soilla, joilla turvetuotanto on lopetettu tai myös turvetuotantokäytössä olevilla soilla. (Pahkala ym. 2005) Ensimmäinen sato korjataan kahden vuoden kuluttua kylvöstä. Ruokohelven korjuu voidaan tehdä keväällä tai syksyllä, mutta sen polttoaineominaisuudet ovat paremmat kevätkorjattuna. Helven lämpöarvo on hyvä; tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa 3,6–4,92 kWh/kg (kosteus 0 %) ja energiatiheys 0,2–0,4 MWh/i-m³, riippuen korjuun ajankohdasta (kts. taulukko 1, Vapo Oy). Koska keväällä korjatun ruokohelven kosteus on vain 10–15 %, voi sen tehollinen lämpöarvo olla jopa korkeampi kuin turpeella tai puulla (Luoma ym. 2006, Vapo Oy). Ruokohelven käyttö kuitenkin vaatii polttoaineen syötössä suuria tilavuusvirtoja, sillä silputtuna helven tiheys on vain 60–80 kg/i-m³ (Asplund ym. 2009).



Kuva 14. Syksyinen ruokohelpipelto (kuva M. Ruokolainen).

Vuonna 2008 EU:n energiakasvituen mukainen ruokohelven viljelyala oli Suomessa noin 17 500 ha, kokonaisviljelyalan ollessa noin 20 000 ha (Alm, 2008). Viljelyalan lisäämiseksi on asetettu kansalliseksi tavoitteeksi ruokohelven viljelypinta-alan lisääminen 100 000 hehtaariin vuoteen 2015 mennessä (MMM 2008). Viljelypinta-alojen kasvua rajoittavat kuitenkin eräät laajemman viljelyn myötä esiin tulleet tuotantotekniset ongelmat, kuten mm. kevään hankalat korjuuolosuhteet, suuri sadonkorjuuhävikki, keveiden ruokohelpipaalien kuljetuksen kannattavuusongelmat, sadon varastoinnin järjestäminen sekä helpin murskaus- ja sekoitustekniikkojen puutteellisuus (MMM 2007, Alm 2009, Paappanen ym. 2008b).

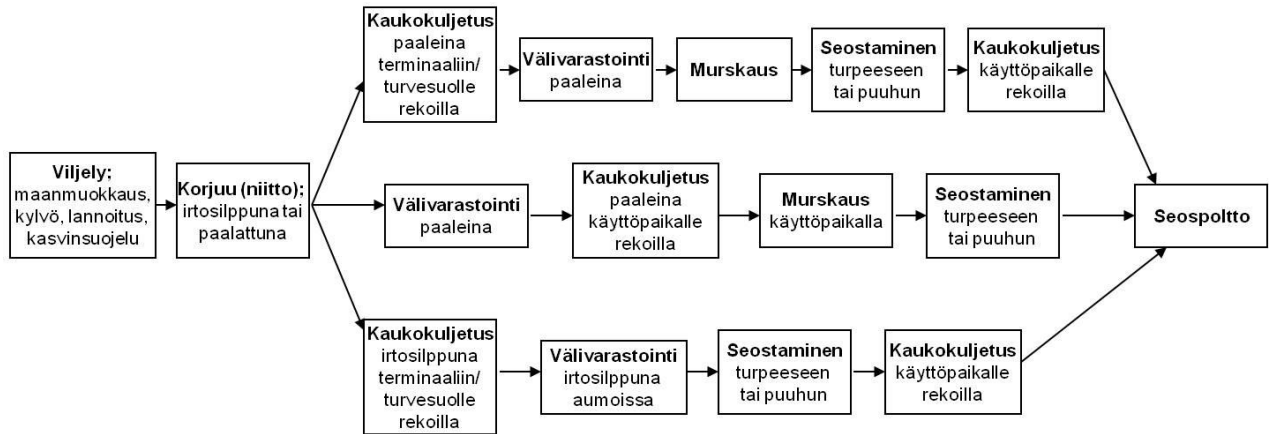
Ruokohelven viljelyn laajenemisen edellytyksenä ovat tuotteesta saatavan hinnan lisäksi myös se, että nykyistä useampi ruokohelven polttoon soveltuvasta suurista polttolaitoksista alkaisi käyttää polttoaineenaan ruokohelpeä. (MMM bioenergiatuotannon työryhmä 2008) Voimalaitoksia, jotka voisivat polttaa ruokohelpeä, on Suomessa nykyisin noin 100. Vuotuiset ruokohelven käyttömäärät voimaloissa ovat siis vielä varsin vähäisiä, alle 100 GWh (Asplund ym. 2009). Vuonna 2007 ruokohelpeä käyttäviä laitoksia oli VTT:n selvityksen mukaan Suomessa 25 ja ruokohelven energiakäyttö oli noin 60 GWh (Paappanen ym. 2008). Polttoaineominaisuuksien ja keveyden takia helpi ei sovellu yksin poltettavaksi nykyisissä laitoksissa, mutta soveltuu kuitenkin useimmilla laitoksilla käytettäväksi turpeen tai hakkeen kanssa (Paappanen ym. 2008b). Suurissa voimalaitoksissa ruokohelpeä käytetään enintään 5-10 %:n osuuksina kokonaisuudesta, mutta osuus voi olla enimmillään noin 20 % (MMM 2007, Alm 2009, Lötjönen & Knuutila, 2009). Ruokohelven puristaminen pelletiksi tai briketeiksi puun tai turpeen kanssa lisää sen käyttömahdollisuuksia energiana ja helpottaa kuljetusta, mutta pelletointi ja briketointi on vielä varsin vähäistä johtuen korkeista kustannuksista (Lötjönen & Knuutila 2009, Vapo Oy).

Ruokohelven energiatuotanto on varsin nuori toimiala, joten toistaiseksi korjuussa ja kuljetuksessa hyödynnetään lähinnä maatalouden, puuenergian ja turvetuotannon urakointiketjuja. (Lötjönen & Knuutila 2009) Tuotantoketjun kustannustehokkuutta parantaisi, jos käytössä olisi erityisesti helpin käsittelyyn suunniteltuja koneita ja laitteita sekä toimijat olisivat ammattimaisesti suuntautuneet helpin käsittelyyn. Ruokohelven tuotanto muodostuu seuraavista osakokonaisuuksista:

- viljelmän perustamisesta (kyntö, äestys, jyräys, kylvölannoitus, kasvinsuojelu),
- vuosittaisesta lannoituksesta, joka tehdään keväisin korjuun jälkeen sekä

- varsinaisesta sadonkorjuusta; niitto, karhotus ja paalaus tai helpin korjuu irtosilppuna (mm. Halonen ym. 2003, Pahkala ym. 2005, Paappanen ym. 2008b, Lötjönen & Knuutila 2009, Vapo Oy).

Kuvassa 15 on esitetty seospoltossa käytettävän ruokohelven nykyisten tuotantoketjujen päätyövaiheet (mukailtu Lötjönen & Knuutila 2009).



Kuva 15. Ruokohelven tuotantoketjujen päätyövaiheet (mukailtu Lötjönen & Knuutila 2009).

Viljelmän perustamisvaihe poikkeaa vain vähän muusta rehuheinän viljelystä. (Luoma ym. 2006, Lötjönen & Knuutila 2009). Juolavehnä ja monivuotinen nurmi hävitetään tulevalta viljelmältä edellisellä vuonna. Rikkakasvit torjutaan heinäkylvöille hyväksytyillä rikkakasvien torjunta-aineilla, kuten MCPA-valmisteilla (Luoma ym. 2006). Kylvövaiheessa tärkeää on pellon pinnan tasaisuus, matala muokkaus ja matala kylvö. (Lötjönen & Knuutila 2009) Satovuosina pelto lannoitetaan keväisin korjuun jälkeen.

Ruokohelpi korjataan niittomurskaimella tai lautasniittokoneella, jonka jälkeen helpi paalataan (Lötjönen 2008, Paappanen ym. 2008b). Lautasniittokoneen jäljiltä pelto on karhotettava ennen paalausta (Lötjönen 2008, Lötjönen & Knuutila 2009). Kuvassa 16 korjataan ruokohelpeä niittokoneella, joka niittää ja karhottaa yhdellä kertaa (Vapo Oy). Korjuu voidaan tehdä myös irtokorjuuna eli suoraan silppuna tarkkuussilppurilla, jolloin erillistä murskausta tai silppuamista ei tarvita (Pahkala ym. 2005, Luoma ym. 2006, Lötjönen & Knuutila 2009). Irtokorjuumenetelmää käytetään kuitenkin Suomessa ruokohelven korjuuseen huomattavasti vähemmän kuin paalausta (Yrjölä 2009). Irtosilppua voidaan välivarastoida tiivistettynä ja muovilla peitettynä aumoihin kuten säilörehu (Pahkala ym. 2005, Luoma ym. 2006, Lötjönen & Knuutila 2009). Hyvän sadon edellytyksenä on mahdollisimman matalaan sänkeen leikkaaminen ja leikkuukorkeuden nostaminen pienentää satoa oleellisesti (Luoma ym. 2006).



Kuva 16. Ruokohelven niittoa keväällä (kuva Vapo Oy).

Silppurin tai paalaimen käyttö vaikuttaa merkittävästi korjuun jälkeisiin työvaiheisiin ja kaukokuljetuksen logistiikkaan. (Pahkala ym. 2005, Lötjönen & Knuutila 2009) Paalain voi olla muuntuva- tai kiinteäkammioinen pyöröpaalain tai suurkanttipaalain. Kuvassa 17 paalataan ruokohelpeä kanttipaaleihin. Pyöröpaalaimet käyttävät sidontaan verkkoa tai narua, kanttipaalaimet vain narua. Korjuu voi pienillä pinta-aloilla tapahtua maanviljelijöiden koneilla tai isoilla pinta-aloilla urakointina, johon sisältyy myös urakointia maataloudessa. Paalit välivarastoidaan irti maasta peittämättä tai peitettyinä vahvalla suojamuovilla joko korjuupaikan läheisyyteen esim. tienvarteen tai kauemmas erilliseen polttoaineterminaaliin tai esim. turvesuolle. Välivarastokasoja tehdessä on huomioitava mm. paikka (paalien lastaus kaukokuljetusta varten), kasojen korkeus ja muoto sekä ja suojamuovien kiinnitys (Lötjönen & Knuutila 2009). Kuvassa 18 on ruokohelpipaalien välivarastokasa. Paaleja on käsiteltävä kuljetusten ja välivarastoinnin aikana niin, etteivät ne menetä muotoaan tai hajoa (Lötjönen & Knuutila 2009).



Kuva 17. Ruokohelven paalausta (kuva Vapo Oy).



Kuva 18. Ruokohelpipaalien välivarastointia (kuva Vapo).

Paalatus ruokohelven lähikuljetusta esim. välivarastoon voidaan tehdä esim. metsävaunun ja puutavaranormaimen tai paalivaunun ja etukuormaintraktorin avulla (Lötjönen 2008). Ruokohelven kaukokuljetus voi tapahtua irtosilppuna, paaleina tai polttovalmiina seoksena pääpolttoaineen, turpeen tai hakkeen, kanssa. (Paappanen ym. 2008b) Koska irtosilppuna korjattua ruokohelppiä ei enää murskata, se voidaan toimittaa irtonaisena välivarastoon esim. terminaaliin tai turvesuolle, jossa tehdään sekoitus pääpolttoaineeseen. Kuvassa 19 puretaan ruokohelpipaaleja murskausta varten Vapo Oy:n suolla Kiuruvedellä.



Kuva 19. Ruokohelpipaaleja puretaan kuorma-autosta suolla ennen murskausta (kuva M. Ruokolainen).

Mikäli helppi toimitetaan laitokselle paaleina, laitos murskaa ne alueellaan joko käyttöpaikkaita tai mobiilimurskaimilla (Paappanen ym. 2008b). Helppi tulisi murskata alle 50 mm:n partikkelikokoon, että silppu sekoittuisi hyvin turpeeseen ja kulkisi voimalaitoksen kuljettimissa ilman ongelmia. (Lötjönen & Knuuttila, 2009) Käytössä on nykyisin useita erityyppisiä hakkureita/murskaimia. Nopeakäyntiset hakkurit ovat vasaramurskaimia tai

rumpuhakkuri-tyyppisiä, jotka ovat kiinteitä asennuksia tai liikuteltavia. Kuvassa 20 murskataan ruokohelpeä vasaramurskaimella Vapo Oy:n turvetuotantosuoalla Kiuruvedellä. Kaukalomurskaimilla voidaan murskata samanaikaisesti myös puuta, jolloin saadaan valmista polttoaineseosta. Myös maatalouden paalisilppureita käytetään, mutta niiden kapasiteetti on varsin pieni. Joillakin laitoksilla on käytössä myös hidaskäyntisiä, kiinteitä murskaimia, jotka on tarkoitettu pääasiassa hakkuutähteiden ja puun murskaukseen. Ruokohelpipaalien murskauksen ongelmakohtia ovat mm. murskaimen tukkivat paalinarut sekä materiaalin runsas pölyäminen (Paappanen ym. 2008a ja 2008b). Varsinkin puun murskaukseen suunnitellut nopeakäyntiset murskaimet (vasaramurskaimet) aiheuttavat ruokohelven voimakasta pölyämistä (Lötjönen & Knuuttila 2009). Hidaskäyntisempien repijätyyppisten murskainten käytöstä aiheutuu vähemmän pölyä ja melua (Lötjönen & Knuuttila 2009).



Kuva 20. Ruokohelven murskausta traktorikäyttöisellä vasaramurskaimella (kuva M. Ruokolainen)

Murskauksen jälkeen seostus pääpolttoaineisiin tapahtuu laitoksen käsittelyjärjestelmästä riippuen, joko laitoksen välivarastossa tai murskaamalla samanaikaisesti tai vuorotellen pääpolttoaineiden kanssa. (Paappanen ym. 2008b). Seostaminen on mahdollista tehdä myös kauhakuormaajalla laitoksen pihalla tai syöttämällä eri polttoaineita samanaikaisesti vastaanottotaskuun. Syöttötaskussa sekoittaminen vaatii helpille oman vastaanottoaikan ja käsittelylinjan, jolloin helpi siirretään erillisellä kuljettimella kattilan syöttötaskuun johtavalle polttoainekuljettimelle. (Lötjönen & Knuuttila 2009). Helpi voidaan syöttää kattilaan myös pneumaattisesti, omaa syöttölinjaa pitkin.

Vaihtoehtoinen tapa on toimittaa ruokohelpi käyttökohteeseen käyttövalmiina seoksena, jolloin helpi murskataan ja sekoitetaan turpeen tai hakkeen sekaan jo välivarastoalueella esim. turvetuotantoalueella tai erillisessä terminaalissa. Sekoitus voidaan toteuttaa kasassa/aumassa tai rekkaan lastauksen yhteydessä (Paappanen ym. 2008b, Lötjönen & Knuuttila 2009). Mikäli ruokohelpi toimitetaan laitokselle valmiiksi seostettuna, soveltuvat yleensä turpeelle suunnitellut vastaanotto-, varastointi-, käsittely- ja syöttöjärjestelmät myös seoksen käsittelyyn. (Paappanen ym. 2008) Turpeelle ja puupolttoaineille suunniteltujen laitosten käsittelytekniikassa suurimmat ongelmat ovat edelleen ruokohelven murskaus, sekoitus pääpolttoaineeseen sekä seulojen, kuljettimien ja syöttölaitteiden luotettava toiminta.

Suurimmat ongelmat helpeä poltettaessa ovat erilaiset tukkeutumiset ja holvaantumiset kuljetuslaitteissa. Ruokohelven kosteuden noustessa ongelmat usein lisääntyvät.

Ruokohelven varastoinnissa ja käsittelyssä on huomioitava mm. pölyäminen, paalien mahdollinen kastuminen, josta on seurauksena kompostoituminen ja homehtuminen sekä tulipalon vaara korjuuvaiheessa ja murskauksessa, sillä sekä kuiva helpi että helpipöly on herkästi syttyvää (Lötjönen & Knuutila 2009). Kuvassa 21 on ruokohelpipaaleja, joiden varastointi on hoidettu huonosti; paaleissa on silminnähtävää havaittavissa alkavaa homehtumista.



Kuva 21. Huonosti varastoidut ruokohelpipaalit alkavat helposti homehtua (kuva M. Ruokolainen)

Peltobioenergian tuotannon työllistävyys aiheutuu tällä hetkellä ruokohelven viljelystä ja oljen käytöstä (Villa & Saukkonen, 2010). Tällä hetkellä ruokohelven ja oljen tuotannossa käytetään tavanomaisia maatalouskoneita ja korjuun suorittavat pääasiassa maanviljelijät (Halonen ym. 2003). Halonen ym. (2003) arvioivat tutkimuksessaan ruokohelven ja oljen tuotantokapasiteetin olevan 580 GWh vuonna 2010, jolloin suora työllisyysvaikutus olisi ollut 49–57 henkilötyövuotta ja 408–446 konetta (paalaimia ja tarkkuussilppureita). Tämänhetkisen ruokohelven viljelypinta-alan perusteella (noin 20 000 ha) ei em. tuotantokapasiteettia ole saavutettu, vaan tuotanto on noin 480 GWh (helpin energiamäärä keskimäärin 24 MWh/ha). Mikäli Suomessa päästään Pitkän ajanjakson ilmasto- ja energiastrategiassa (2008) tavoitteeksi asetettuun peltobiomassojen käyttöön (4 TWh) vuoteen 2020 mennessä, tulee peltobiomassojen käytöllä olemaan nykyistä suurempi työllistävä vaikutus.

3 TUOTANTOPROSESSIEN VAARATEKIJÖITÄ

Kuten edellä on todettu, biopolttoaineiden käyttö tulee lisääntymään, jonka arvioidaan kasvattavan bioenergia-alalla työskentelevien henkilöiden määrä lähivuosina merkittävästi. Perinteisempien biopolttoaineiden, kuten puun ja turpeen, tuotantoprosessien työterveys- ja -turvallisuusriskejä on tutkittu ja ne tunnetaan ja tunnistetaan jo varsin hyvin. Viime vuosina on kuitenkin otettu käyttöön uusia biopolttoaineita, sekä jo aikaisemmin käytössä olleiden polttoaineiden uusia hankinta- ja tuotantoprosesseja; esimerkiksi ruokohelpeä ja kantomursketta on Suomessa tuotettu bioenergian polttoaineeksi vasta noin 10 vuotta. Uusien polttoaineiden ja niiden tuotantoprosessien vaaratekijöitä ei ole juurikaan tutkittu, eikä vaaratekijöiden aiheuttamia työterveysriskejä vielä tunnisteta ja tunneta riittävän hyvin. Ohjeita ja suosituksia on laadittu mm. biopolttoaineiden laadun takaamiseksi, mutta työterveys- ja turvallisuusriskejä ei näissä ohjeissa juurikaan käsitellä. Nordenin (Nordic Innovation Centre) laatimassa ohjeessa, "Guidelines for storing and handling of solid biofuels", tarkastellaan lyhyesti kiinteiden biopolttoaineiden varastointiin ja käsittelyyn liittyviä ongelmia ja riskejä sekä niiden ehkäisyä (Norden 2008). Kuitenkin turvallisemman työympäristön takaamiseksi biopolttoaineiden tuotanto- ja hankintaketjujen vaaratekijät ja niiden vaikutukset työntekijöiden terveyteen tulisi tuntea paremmin.

Vaikka metsä- ja peltobioenergiapolttoaineiden tuotantoprosessit ovat pitkälti samankaltaisia kuin perinteisten metsä- ja maatalouden (esim. ainespuu, heinä, vilja) tuotantoprosessit, on prosesseissa kuitenkin eroja mm. uusien ja erilaisten laitteiden (esim. kantojen nostolaitteet) ja työmenetelmien (esim. haketus/murskaus) käytössä. Myös uusien biopolttoaineiden tai niiden raaka-aineen ominaisuudet (esim. pölyäminen, homehtuminen, haihtuvien aineiden muodostuminen) voivat aiheuttaa työterveys- ja -turvallisuusriskejä työntekijöille, ellei vaaratekijöitä tunnisteta ajoissa, oteta riittävästi huomioon sekä huolehdita työntekijöiden riittävästä suojautumisesta ja oikeanlaisten suojainten käytöstä työvaiheiden aikana.

Vaaralla tai vaaratekijöillä tarkoitetaan työssä esiintyviä tekijöitä, ominaisuuksia, tilanteita tai olosuhteita, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijöiden terveydelle tai turvallisuudelle, esimerkiksi tapaturman, onnettomuuden, ammattitaudin tai liiallista ruumiillista tai henkistä kuormittumista. (Murtonen 2003, [EU-OSHA www-sivut], [VTT www-sivut], Työsuojeluhallinto 2010) Työympäristön vaaratekijöiden tunnistaminen on riskinarvioinnin ensimmäinen vaihe. Vaarojen tunnistamisella tarkoitetaan työstä, työtilasta, muusta työympäristöstä ja -olosuhteista johtuvien työntekijöiden terveydelle tai turvallisuudelle haittaa tai vaaraa aiheuttavien tekijöiden tunnistamista. Vaarojen tunnistamisen jälkeen määritetään riskin suuruus seuraamusten vakavuuden ja todennäköisyyden yhdistelmänä, jonka jälkeen arvioidaan korjaavien toimenpiteiden tarvetta ja kiireellisyyttä.

Seuraavassa tarkastellaan metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien vaaratekijöitä. Vaaratekijöiden luokittelu on tehty Sosiaali- ja terveysministeriön "Riskien arviointi työpaikalla" -työkirjan mukaisesti (Murtonen 2003). Tarkastelun kohteeksi on valittu fysikaaliset, biologiset ja kemialliset vaaratekijät sekä tapaturman vaarat. Em. työkirjassa lisäksi käsiteltävät ergonomiaan ja henkiseen kuormittuvuuteen liittyvät tekijät on jätetty tämän tarkastelun ulkopuolelle.

3.1 FYSIKAALISET VAARATEKIJÄT

Fysikaaliset vaaratekijät tarkoittavat työssä esiintyviä eri energiamuotojen aiheuttamia vaaratekijöitä, joita on kymmeniä erilaisia. (Starck 2008) Työympäristön fysikaaliset altisteet jaetaan energialajeittain akustisiin värähtelyihin ja sähkömagneettisiin säteilyihin. Yleisimpiä fysikaalisia vaaratekijöitä ovat melu, värinä, lämpöolojen ongelmat sekä ionisoivat ja ionisoimattomat sähkömagneettiset säteilyt. Yleisesti ottaen fysikaalisten tekijöiden aiheuttamat työterveyshaitat ovat vähentyneet, mutta esimerkiksi melulle altistuvia on edelleen Suomessa noin 10 % työvoimasta ja terveystaakkoja aiheuttavalle värinälle altistuvia noin 2,5 %.

Metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosesseissa merkittävimmitä fysikaalisiksi vaaratekijöiksi arvioidaan erilaisten koneiden ja laitteiden aiheuttama melu ja värinä. Ulkotöitä paljon tekevät henkilöt, kuten esim. metsurit, metsäkoneiden kuljettajat ja maanviljelijät, voivat kokea myös lämpötilaongelmia sekä altistua UV-säteilylle.

3.1.1 Melu

Melu on voimakasta, ei-toivottua ääntä sekä epämiellyttävää ääntä, jonka intensiteettiä (äänekkyyttä) mitataan logaritmisella desibeliasteikolla (dB). (Antti-Poika ym. 2006, Starck 2008) Äänen taajuutta mitataan hertseinä (Hz) eli värähdysinä sekunnissa. Koska ihmiskorva aistii eri taajuudet eri tavalla, käytetään melun voimakkuuden tai intensiteetin mittauksessa yleensä desibelien A-painotusta, dB(A) (EU-OSHA 2005, Antti-Poika ym. 2006). Melun vahingollisuus ei määrity pelkästään intensiteetin perusteella, vaan myös altistumisaika on tärkeä, joten aika otetaan huomioon käyttämällä äänitason aikapainotettua keskiarvoa (työperäisessä melussa yleensä 8 tuntia) (EU-OSHA 2005).

Melun vaikutuksia ihmisen terveyteen arvioidaan melun voimakkuuden ja energiasisällön perusteella. (Starck 2008) Ääni tai melu voi olla vahingollista, kun sen voimakkuus ylittää 80 dB(A). Meluvammariski on verrannollinen melu-altistuksen suuruuteen ja sen keston ja meluvamma syntyy yleensä vähitellen, pitkäaikaisessa altistuksessa (EU-OSHA 2005, Starck 2008). Suomessa tärkein työperäinen korvasairaus on krooninen meluvamma, joka on pitkäaikaisen melulle altistumisen aiheuttama sisäkorvavamma; vuonna 2008 ilmoitettiin 1 489 meluvammaa, joka oli 25 % kaikista kirjatuista ammattitauti- ja ammattitautiepäilytapauksista (Oksa ym. 2010). Kuulovamman voi saada myös äkillisesti esim. räjähdysten, laukauksen tai musiikin seurauksena (impulssimelu), jolloin paineaalto voi saada aikaan repeämiä korvan kalvoissa (Starck 2008). Kuulovaurio voi ilmetä kuulon alenemana, tinnituksena eli korvien soimisena tai ääniyliherkkyytenä, jossa kaikki äänet tuntuvat häiritseviltä (Antti-Poika ym. 2006). Melulle altistumisella on myös fysiologisia vaikutuksia, kuten esim. vaikutuksia hengitystiheyteen, sydämeen ja verisuoniin ja verenpaineen nousu (EU-OSHA 2005, Starck 2008). Työperäinen melu voi olla myös merkittävä stressitekijä, vaikka melun taso olisikin alhainen. (EU-OSHA 2005, Antti-Poika ym. 2006) Lisäksi melu lisää työtapaturmariskiä, mikäli korkea melutaso vaikeuttaa työntekijöiden kuulemista ja kommunikointia.

Työmelun haitallisuuteen vaikuttavat melutaso, kesto, kuulosuojainten käyttö sekä melun impulssimaisuus, eikä melun ei aina tarvitse olla erityisen kovaa aiheuttaakseen ongelmia työpaikalla. (Starck 2008) Työmelun lisäksi yksilöstä johtuvat (esim. verenpaine, kolesteroli, sokeritauti) sekä ympäristöön (esim. eräät liuotainaineet, värinä) ja elintapoihin (esim. tupakointi, särkylääkkeet) liittyvät riskitekijät lisäävät melun haitallisuutta, ja samanaikaisesti vaikuttaessaan tuottavat suuremman kuulon aleneman kuin eri tekijät yksinään. Iän myötä

kaikkien kuulo alenee jossakin määrin ja myös henkinen väsymys ja stressi voivat alentaa kuuloa.

EU:n meludirektiivin (2003/10/EY) määräykset on Suomessa julkaistu Valtioneuvoston asetuksessa 85/2006 työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuville vaaroilta (ns. meluasetus). Asetuksessa määrätään työnantajalle selvilläolovelvoite, jonka mukaisesti työnantajan on selvitettävä työntekijöiden mahdollinen melulle altistuminen sekä tunnistettava melua aiheuttavat tekijät. Lisäksi työnantajan on arvioitava ja tarvittaessa mitattava työntekijän melulle altistuminen. Lainsäädännössä on säädetty melulle kolmiportainen toimenpideluokitus. Taulukossa 3 on esitetty Valtioneuvoston asetuksen 85/2006 melun raja-arvot 8 tunnin altistuksena sekä impulssimelun huippuarvoina.

Taulukko 3. Asetuksen 85/2006 mukaiset melun raja-arvot ja impulssimelun huippuarvot.

	$LA_{eq8h};$ dB(A)	$LC_{peak,max};$ dB(C)	Huom.
Alempi toiminta-arvo	80	135	kuulosuojainten päältä**
Ylempi toiminta-arvo	85	137	kuulosuojainten päältä**
Raja-arvo	87	140	kuulosuojainten sisältä*

* Altistuksen raja-arvoa määritettäessä otetaan huomioon myös kuulosuojainten vaikutus eli käytännössä arvioidaan kuulosuojaimen sisällä, korvakäytävässä vallitsevaa äänitasoa.

** Toiminta-arvot määritetään työntekijän kuulonsuojaimen ulkopuolelta.

Alemman toiminta-arvon ylittyminen

Jos työntekijän työpäivän melualtistus ylittää alemmat toiminta-arvot, työntekijällä on oikeus saada työnantajalta henkilökohtaiset kuulonsuojaimet. Työntekijällä on myös oltava mahdollisuus käydä ennaltaehkäisevässä audiometrisessä kuulotestissä, mikäli melutilanteen mittaukset ja arviointi osoittavat terveydelle aiheutuvaa riskiä.

Ylemmän toiminta-arvon ylittyminen

Melualtistuksen ylittäessä ylempät toiminta-arvot (tai ollessa niiden tasalla), työntekijä on velvollisuus kuulonsuojaimien käyttöön. Työntekijällä on tällöin myös oikeus säännölliseen kuulontarkastukseen. Ylemmän toiminta-arvon ylityksessä työnantajan tulee laatia ja toteuttaa meluntorjuntaohjelma, jolla pyritään alentamaan melu alle 85 dB(A) tason. Meluntorjuntaohjelma on yksinkertainen toimintasuunnitelma, jossa todetaan vallitseva melutaso ja toiminta-arvon ylityksen syyt sekä esitetään mm. mitä aiotaan tehdä.

Melun ylittäessä raja-arvon

Jos työntekijän altistuminen melulle ylittää raja-arvon, on työnantajan ryhdyttävä viipymättä toimenpiteisiin altistuksen vähentämiseksi alle raja-arvon. Raja-arvon ylittymisen syyt on selvitettävä ja tehtävä tarpeelliset muutokset suojaus- ja ennaltaehkäisytoimenpiteissä, jotta ylitys ei toistu.

Melun voimakkuuden arviointi ja vertaaminen raja- ja toiminta-arvoihin edellyttää aina melualtistuksen määrittämistä sekä myös impulssimelun mittaamista. [TTL www-sivut] Työntekijöiden melualtistuksen mittaamiseen on kaksi perusmenetelmää: melualtistuksen seuranta annosmittarilla ja melualtistuksen kartoittaminen melumittarin ja haastattelun avulla.

Melun suuruudesta esim. laitteiden ja koneiden osalta säädetään myös muualla Suomen lainsäädännössä. Valtioneuvoston asetuksessa koneiden turvallisuudesta (400/2008) annetaan määräyksiä koneiden valmistajille ja maahantuojille mm. koneiden melupäästön

ilmoittamisesta CE-merkintää (Conformité Européenne eli CE-merkintä on valmistajan vakuutus siitä, että tuote täyttää sitä koskevien direktiivien vaatimukset) varten. VNa 400/2008 mukaisesti on koneiden valmistajien, ennen koneen markkinoille saattamista tai käyttöönottoa, ilmoitettava laitteiden melutaso (tiedot ilmassa etenevistä melupäästöistä). Melupäästöarvojen tulee olla joko kyseisen koneen todellisuudessa mitattuja arvoja, tai ne voidaan määrittää mittauksista, jotka on tehty teknisesti vertailukelpoiselle koneelle, joka riittävästi edustaa valmistettavaa konetta. Valmistajien on myös annettava ohjeet suojaustoimenpiteistä sekä mahdollisesti tarvittavista henkilönsuojaimista.

Maatalous- ja metsätraktoreiden, moottorityökoneiden ja maastoajoneuvojen melupäästöistä antaa erinäisiä määräyksiä myös liikenne- ja viestintäministeriön asetus 274/2006. Eräiden ulkona käytettävien laitteiden ympäristömelun raja-arvoista (äänitehotasot) ja ympäristömelumerkinnöistä säädetään Valtioneuvoston asetuksessa 621/2001 ja sen muutoksessa 953/2006, jotka perustuvat Euroopan Parlamentin ja Neuvoston ns. melupäästädirektiiviin 2000/14/EY.

Meluongelmat ovat edelleen yleisiä maa- ja metsätaloudessa, vaikka sekä koneet ovat kehittyneet että meluntorjuntaan tarkoitettujen materiaalien ja välineiden saatavuus on viime vuosina parantunut. Melu on tärinän ohella edelleen merkittävä työterveysriski metsätalustyöntekijöille (Neitzek & Yost 2002). Myös metsäbioenergian tuotantoprosessissa työntekijät voivat altistua melulle useissa työvaiheissa. Kuten perinteisissäkin metsätöissä, melulähteitä ovat erilaiset koneet ja laitteet, kuten esim. moottorisahat, maastoajoneuvot ja -koneet, hakkurit, murskaimet ja kuorintakoneet, joita käytetään puutavaran kaadossa, hakattaessa ja käsitellessä (EU-OSHA 2008). Aikaisemmin varsinkin metsurien on todettu altistuneen moottorisahatöissä melutasoille, jotka ylittivät nykyiset raja-arvot (Neitzek & Yost 2002). Neitzek ja Yost (2002) totesivat, että moottorisahalla töitä tekevät metsurit altistuvat noin 70–114 dB(A) melutasoille, kun melutasot 1970-luvulla olivat 91–116 dB(A). Moottorisahat ovat kehittyneet, mutta uusien sahojen melutaso on edelleen 100–105 dB(A). (Starck 2008) Koska moottorisahan impulssimelun huipputaso on 120 dB, on melun vaimentamiseksi käytettävä kuulonsuojaimia.

Toisaalta metsäbioenergiapolttoaineiden korjuu ja tuotanto on pitkälti koneistettua, joten työntekijöiden melualtistumista on vähentänyt moottorien melutasojen alentuminen sekä äänieristetyt ohjaamot metsäkoneissa ja -traktoreissa sekä kuorma-autoissa (Tapola 2000). Tapola (2000) toteaa, että melutaso uusissa metsäkoneissa on kohtalaisen alhainen, parhaimmillaan henkilöauton luokkaa. Jos kuitenkin työskennellään esim. kattoluukku tai ikkuna auki, voi melutaso vanhoissa ja myös uudemmissa koneissa nousta niin korkeaksi, että on käytettävä kuulonsuojaimia.

Suomessa tehdyissä melualtistusmittauksissa on metsäkoneyrittäjien, metsäkoneiden sekä puutavara-autojen kuljettajien, melualtistuksen todettu alittavan ylempään toiminta-arvon, 85 dB(A) (Vähänikkilä ym. 2004). Tutkimuksessa Vähänikkilä ym. (2004) selvittivät erilaisten metsäkoneiden (8 harvesteria, 6 metsätraktoria, 4 maanmuokkuskonetta ja 4 kaivinkonetta) kuljettajien melualtistusta. Melua mitattiin meluannosmittarilla läheltä kuljettajien korvaa sekä melumittarilla koneen ohjaamosta. Kaikissa mittauksissa melualtistuksen todettiin alittavan ylempään toiminta-arvon ja myös kahta mittausta lukuun ottamatta alemman toiminta-arvon, 80 dB(A).

Myös puutavararekkojen kuljettajien melualtistumisen puutavaran kuormauksen sekä kuljetuksen aikana on todettu alittavan ylempään toiminta-arvon, mutta alemman toiminta-arvon kuitenkin ylittävän. (Sorainen ym. 2007) Mittauksissa todettiin, että rekkojen ohjaamoissa keskimääräiset melutasot vaihtelivat 63–72 dB(A) ja melu oli voimakkainta 63–1 600 Hz:n taajuuksilla. Ohjaamon ulkopuolella ja auton nosturin ohjaamossa työskennellessä

melutasot olivat hiukan korkeampia ja vaihtelivat välillä 73–81 dB(A). Päivittäisen meluallistuksen alempi toiminta-arvo ylittyi, tai sitä sivuttiin auton ulkopuolella ja nosturissa työskenneltäessä yli 40 %:ssa tutkituista tapauksista mittausten aikana. Yhteenvedona tutkimuksessa todetaan, että huomioiden ajon ja lastauksen aikainen meluallistus on todennäköistä, ettei päivittäisen meluallistuksen alempi toiminta-arvo 80 dB(A) ylity.

Maatalouskoneet kuten traktorit sekä niihin liitetyt koneet (esim. niittokoneet, paalaimet) aiheuttavat melua. Vähänikkilä ym. (2006) mittasivat maataloustraktoreiden aiheuttamaa melua ja kuljettajien meluallistusta mm. kynnön, äestyksen ja säilörehunteon aikana. Ruokohelven tai muiden peltobiopolttoaineiden tuotannossa syntyvää melua ei ole erikseen selvitetty, mutta koska käytettävät maataloustraktorit ja -laitteet ovat vastaavanlaisia kuin esim. heinän tai rehun tuotannossa, voidaan melutasojen ja työntekijöiden altistumisen olevan verrattavissa tutkimuksen tuloksiin, lukuun ottamatta murskausta. Vähänikkilän ym. (2006) tutkimuksessa mitattiin traktorien ohjaamon A-painotetut ekvivalenttitasot 1 tunnin ajalta eri työvaiheissa analysoituna nauhoitetuista näytteistä. Lisäksi traktorinkuljettajien LA_{eq} mitattiin meluannosmittarilla. Mittauksissa todettiin, että traktorien ohjaamojen ekvivalenttitasot LA_{eq} vaihtelivat välillä 70–87 dB(A). Kolmessa traktorissa L_{Aeq} ylitti 80 dB(A). Näissä tapauksissa traktorin ohjaamon ikkuna puuttui kokonaan tai kattoluukku oli auki. Ikkunoiden ollessa suljettuina ja ehjiä sekä kattoluukun ollessa kiinni ohjaamon A-painotettu melu oli voimakkainta 100–2500 Hz:n taajuuksilla ja tulosten perusteella suositeltiin meluntorjuntatoimien keskittämistä näille taajuuksille. Samanlaisia tuloksia maanviljelijöiden meluallistuksesta ovat havainneet myös Aybek ym. (2010) sekä Franklin ym. (2006) tutkiessaan traktorien ohjaamon ja erilaisten työvaiheiden (esim. kyntö, kylvö, niitto, paalaus) vaikutuksia työntekijöiden meluallistukseen. Keskeisin tulos selvityksissä oli, että traktorin ohjaamolla on suuri merkitys työntekijöiden meluallistuksen vähentämisessä.

Metsä- että peltobioenergiapolttoaineen tuotantoprosesseissa korjuun ja kuljetuksen lisäksi melua aiheutuu myös raaka-aineiden haketuksesta ja murskauksesta. Sekä metsä- että peltobiopolttoaineet haketetaan tai murskataan ennen polttoa. Haketusta ja murskausta järeillä, kuorma-autoon tai traktoriin asennettavilla, hakkureilla ja murskaimilla tekevien työntekijöiden altistumista melulle ei ole tutkittu. Pienempien, lähinnä käsisyöttöisten puunaineksen mobiilihakettimien melupäästöistä ja käyttäjien meluallistumisesta on toteutettu tutkimus Englannissa (Brueck 2008). Tutkimuksessa verrattiin 11 siirrettäviä hakettimen aiheuttamaa melua, hakettaessa erilaisia puuaineksia (mm. karsittua tai karsimatonta). Tulosten perusteella hakettimien käyttäjät voivat altistua jopa 107,5 dB(A) melutasolle [vaihteluväli 96–107,5 dB(A)], riippuen mm. hakettimen tyypistä ja puuaineksesta. Tutkitut hakettimet olivat pääasiassa levyhakettimia (10 levy- ja 1 rumpuhakettin) ja niiden melupäästöt vaihtelivat 110,5–124,5 dB(A).

3.1.2 Tärinä

Tärinä on kiinteän aineen/kappaleen edestakaista värähtelyä (Toppila 2008, Pääkkönen 2009). Ihmiseen kohdistuva liiallinen tärinä aiheuttaa terveyshaittoja ja tapaturmariskiä. Tärinän voimakkuutta arvioidaan tavallisimman tärinän kiihtyvyydellä (m/s^2) ja ominaisuutta taajuussisällöllä ja sitä kautta kokonaiskiihtyvyydellä (Työsuojeluhallinto 2008, [TTL www-sivut]). Tärinää arvioidaan ja mitataan kolmessa, toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa eli pitkittäissuunnassa (eteen-taakse eli x-suunta), poikittaissuunnassa (sivultasivulle eli y-suunta) ja pystysuunnassa (ylös-alas eli z-suunta). (Toppila 2008) Tärinän eri taajuusalueilla on erilainen vaikutus elimistöön, joten tärinälle on määritelty mittauksissa käytettävät taajuuspainotukset, jolloin tärinän voimakkuus voidaan ilmoittaa yhdellä haitallisuuteen verrannollisena lukuarvolla eli painotettuna kiihtyvyytenä (a_w). Suunnassa x mitattu painotettu kiihtyvyys merkitään lyhenteellä a_{wx} , suunnassa y a_{wy} ja suunnassa z vastaavasti a_{wz} . Koska vaakasuuntainen (x ja y) tärinä on haitallisempaa kuin pystysuuntainen tärinä, kerrotaan vaakasuuntaiset tärinät kertoimella 1,4. Tärinäaltistus ilmoitetaan suurimpana arvona luvuista $1,4a_{wx}$, $1,4a_{wy}$ ja a_{wz} .

Tärinän vaikutuskohteen perusteella tärinä jaotellaan käsi- ja kehotärinäksi (Toppila 2008). *Käsitärinällä* (taajuusalue 6-1 250 Hz) tarkoitetaan tärinää, joka työntekijän käsiin tai käsivarsiin välittyessään aiheuttaa haittaa tai vaaraa hänen terveydelleen ja turvallisuudelleen (VNa 48/2005, Toppila 2008). Käsitärinä aiheuttaa erityisesti verenkiertoon, tuki- ja liikuntaelimistöön ja hermostoon liittyviä ongelmia (Toppila 2008, Työsuojeluhallinto 2008). Suomessa ammattitautiasetus (1347/1988) määrittelee tärinän aiheuttamiksi ammattitaudeiksi valkosormisuus-oireyhtymän ja yläraajan monihermovaurion. Käsitärinälle selvästi altistuvia ammattiryhmiä ovat mm. metsurit, maanviljelijät, puutarhatyöntekijät, poraajat, kaivostyöntekijät ja erilaiset metallialan työntekijäryhmät (Toppila 2008, Pääkkönen 2009). Vuonna 2008 kirjattiin Suomessa työperäisten sairauksien rekisteriin uusia, tärinän aiheuttamia ammattitautitapauksia tai -epäilyjä yhteensä 44 tapausta (Oksa ym. 2010).

Kehotärinä (taajuusalue 0,5–80 Hz) on tärinää, joka alustan tai istuimen välityksellä kohdistuu koko vartaloon, aiheuttaen haittaa tai vaaraa työntekijän terveydelle ja turvallisuudelle (VNa 48/2005, Toppila 2008). Pitkään jatkuva altistuminen työssä tapahtuvalle kehon tärinälle on erityisesti alaselän sairauksia tai selkärangan vammoja aiheuttava riskitekijä (Toppila 2008, Työsuojeluhallinto 2008). Kehoon kohdistuva tärinä ja heilunta aiheuttavat myös lievempiä oireita kuten liikesairautta, tasapainohäiriöitä ja tapaturmavaaroja sekä vaikuttaa haitallisesti niska- ja hartiaseudun lihaksiin. Ammattitautien määrittäminen ei kuitenkaan vielä kehotärinän osalta onnistu (Toppila 2008). Koko kehoon kohdistuvalle tärinälle voi altistua työkoneita, kuten maanrakennus-, maasto-, rakennus- ja metsä-, maatalousajoneuvoja ajettaessa (Toppila 2008, Pääkkönen 2009). Toisaalta esimerkiksi kuljettajien alaselkikipu ja selkä-, hartia- ja niskavaivat eivät johdu ainoastaan tärinälle altistumisesta, vaan niihin vaikuttavat myös monet muut tekijät, kuten työasento, antropometriset ominaisuudet, lihaskunto, yksilölliset taipumukset (ikä, ennestään olevat sairaudet, lihasvoima jne.) ja fyysinen työtaakka (Oksanen & Rytönen, 2009).

Tärinän haitallisuuteen vaikuttaa altistusaika; mitä pitempi altistusaika on, sitä suurempi on tärinän aiheuttamien terveysvaikutusten riski (Työsuojeluhallinto 2008). Muita tärinän haitallisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. tärisevän laitteen ja kehon välinen yhteys, työasento ja lihasjännitys, sää, sekä työntekijän yksilölliset ominaisuudet (Pääkkönen 2009). EU:n tärinädirektiivissä (2002/44/EY) on määritelty tärinäaltistuksen toimintaraja ja altistusraja käsitärinän ja kehotärinän kiihtyvyydelle. Suomessa tärinän kestolle ja nopeudelle on annettu raja-arvot ja toiminta-arvot VNa:ssa 48/2005 "työntekijöiden suojelemisesta

tärinästä aiheutuvilta vaaroilta". Kahdeksan tunnin altistumiselle määritetyt toiminta- ja raja-arvot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Tärinäaltistuksen toiminta- ja raja-arvot (VNa 48/2005).

Toiminta- ja raja-arvo	Käsitärinä (m/s ²)	Kehotärinä (m/s ²)
Toiminta-arvo (8 h)	2,5	0,5
Raja-arvo (8 h)	5,0	1,15
Hetkellisen altistumisen yläraja	35	7

Asetuksen 48/2005 mukaisesti, työnantajan velvollisuus on, toiminta-arvon ylittyessä, laatia riskinarvioinnin perusteella tärinätorjuntaohjelma, jonka tavoitteena on vähentää altistumista. Lisäksi altistuville työntekijöille on suoritettava määräajoin terveystarkastuksia.

Raja-arvon ylittyessä työnantajan on viipymättä ryhdyttävä toimenpiteisiin altistumisen alentamiseksi. Työnantajan on selvitettävä ylityksen syyt ja tehtävä tarpeelliset muutokset suojauksiin ja ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin, jotta ylitys ei toistu.

Lisäksi VNa:n 400/2008 koneiden turvallisuudesta mukaisesti, koneet on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että koneen aiheuttamasta tärinästä johtuvat riskit on vähennetty alimmalle mahdolliselle tasolle ottaen huomioon tekniikan kehitys ja käytössä olevat keinot vähentää tärinää erityisesti tärinän lähteeseen kohdistuvin toimenpitein. Asetuksen mukaisesti tärisevissä koneissa ja laitteissa on ilmoitettava tärinätaso, jolloin työntekijän altistumisen määrittämiseen riittää usein altistusajan arviointi (Toppila 2008).

Työnantajan on suojeltava työntekijää tärinän aiheuttamilta haitoilta ja selvitettävä työntekijään kohdistuvan tärinäaltistuksen määrä, arvioitava siitä aiheutuvat riskit sekä toiminta- ja raja-arvojen ylittyessä ryhdyttävä toimenpiteisiin tärinäaltistuksen pienentämiseksi [TTL www-sivut]. Sekä käsi- että kehotärinäaltistuksen määrittäminen edellyttää usein mittauksia (Toppila 2008). Käsitärinälle altistumista määritettäessä mitataan käteen kohdistuvan tärinän kiihtyvyys ja päivittäinen tärinän vaikutusaika käteen. [TTL www-sivut] Kehotärinäaltistus määritetään mittaamalla koneen aiheuttama tärinäkiihtyvyys ja arvioimalla päivittäinen altistusaika ja laskemalla tulos annetulla kaavalla tehollisarvona. Tärinäaltistusta voidaan torjua kiinnittämällä siihen huomiota jo koneita ja laitteita hankittaessa sekä prosesseja ja toimintoja suunniteltaessa (Pääkkönen 2009). Tärinää voidaan vähentää myös koneiden ja laitteiden hyvällä huollolla ja kunnossapidolla sekä ajoneuvojen ja laitteiden tärinävaimennusta parantamalla (esim. jousitus, laakerointi, istuimet, tasapainotus, rengaspaine). (Toppila 2008) Työmenetelmän valinta tai automatisointi, altistumisajan lyhentäminen tai työn tauotus auttavat vähentämään tärinälle altistumista.

Työntekijöiden altistumista tärinälle bioenergian tuotantoprosesseissa ei kirjallisuuden perusteella ole tutkittu. Altistumista voidaan arvioida ja tarkastella perinteisten metsä- ja maatalousprosessien perusteella. Bioenergian tuotantoprosesseissa tärinälle altistumista voi tapahtua mm. energiapuun korjuussa (metsäkoneet ja -traktorit, kantojen nostokoneet), peltobioenergian viljelyssä (esim. ruokohelven viljely), haketuksen/murskauksen aikana sekä kuljetusvaiheissa.

Tärinätasot ja tärinälle altistuminen on metsätöissä yleisesti ottaen vähentynyt mm. moottorisahan teknisen kehityksen ansiosta sekä työn koneellistuessa. Mutta edelleen moottorisahan käyttö on merkittävä käsitärinäaltistuksen aiheuttaja ja maa- ja

metsätaluskoneiden käyttö aiheuttaa kokokehon tärinää (Pääkkönen 2009). Vähänikkilän ym. (2004) tutkimuksissa tarkasteltiin metsäkonekuljettajien kokokehon tärinälle altistumista erityyppisissä metsätöissä. Tutkimuksessa mitattiin tärinää 22 metsäkoneen (8 hakkuu-, 6 ajo-, 4 kaivin- ja 4 maanmuokkauskonetta) istuimesta ja lattiasta x-, y- ja z-suunnasta. Mittauksissa todettiin metsätraktoreiden sekä hakkuu- ja maanmuokkauskoneiden istuintärinän olevan voimakkainta sivultasivulle- eli y-suunnassa. Kehotärinän altistuksen raja-arvo ($1,15 \text{ m/s}^2$) ylittyi puolissa mitatuista koneessa. Tutkituista maanmuokkauskoneista raja-arvo ylittyi kaikissa koneissa, mutta kaivinkoneissa ei ylityksiä todettu. Pystysuuntainen tärinä oli voimakkainta alle 20 Hz:n taajuuksilla ja poikittaissuuntainen alle viiden Hz:n taajuuksilla. Kaikissa koneissa istuintärinä oli voimakkaampaa kuin lattiatärinä matalilla taajuuksilla, joilla tärinä on myös haitallisinta. Suosituksena tutkimuksessa todettiin, että metsäkoneiden kuljettajien tärinäaltistuksen vähentämiseksi tulisi kehittää aktiivisia ja passiivisia tärinävaimentimia, jotka toimisivat em. taajuuksilla.

Metsäkoneen kuljettajiin kohdistuvaa kehotärinää on mitattu myös ns. standardi-tärinäradalla, jossa jäljitellään metsämaastolle luonteenomaisia esteitä ja työajonopeuksia. (Ojanen ym. 2010) Mittauksissa, joita tehtiin radalla hakkuu- ja kuljetuskoneiden lattiasta sekä istuintyynyiltä, saatiin lattian ja istuimen tärinäspektrit ja arvio istuimen merkityksestä kuljettajaan kohdistuvaan tärinään. Tutkimuksessa todettiin, että kehotärinän toiminta-arvo ($0,5 \text{ m/s}^2$) ylittyi kaikissa tutkituissa koneissa, mutta raja-arvon ($1,15 \text{ m/s}^2$) ylityksiä ei havaittu. Koska altistusaika on tärinän lisäksi oleellinen tekijä, havaittiin, että testiradan olosuhteissa metsäkoneen tärinäaltistus on sallituissa rajoissa kahdeksin tunnin työpäivän ajan, mutta vaativimmissa maasto-olosuhteissa maksimityöskentelyaika on vain noin 3,5 tuntia. Yhteenvetona testiradan tuloksista todettiin, että metsäkoneiden tärinävaimennusta on edelleen kehitettävä ja kuljettajan on tärkeää säätää istuin ja tehtävä muut koneen säädöt itselleen sopiviksi sekä huolehdittava oikeasta työasennosta.

Puutavara-autojen kuljettajat voivat altistua tärinälle sekä puutavaran lastauksen että kuljetuksen aikana (Oksanen & Sorainen 2006). Oksanen & Sorainen (2006) tekemässä tutkimuksessa kuljettajiin kohdistuvaa tärinää mitattiin normaalin puutavarakuljetuskierroksen aikana. Kuljettajan tärinäaltistus mitattiin ajon aikana istuimesta ja lattiasta sekä lastauksen aikana nosturin istuimesta. Tärinäaltistuksen toiminta-arvo ylittyi autojen istuimilla maantiellä sekä metsätiellä ajon aikana noin 60 %:ssa tutkituista tapauksista. Ylityksiä esiintyi eniten pystysuunnassa. Ajon aikana istuintärinä oli voimakkainta pitkittäis- ja poikittaissuunnissa pääasiassa alle 5 Hz:n taajuuksilla ja pystysuunnassa 1–12,5 Hz:n taajuuksilla. Istuintärinä oli useimmiten voimakkaampaa kuin lattiatärinä. Pysty- ja sivusuunnissa istuin vahvasti tärinää tyypillisesti 1–5 Hz:n taajuudella. Mittauksissa havaittiin tärinän olevan puutavaranosturissa voimakkaampaa kuin ajossa. Lastauksen aikana nosturin istuintärinä ylitti altistuksen toiminta-arvon yli 90 %:ssa tutkituista tapauksista ja altistuksen raja-arvonkin 13 %:ssa tapauksista. Ylityksiä esiintyi eniten eteen-taakse -suunnassa. Tärinän hetkelliset huippuarvot olivat suurimmillaan noin 20 m/s^2 sekä ajossa että lastauksessa.

Tampereen teknillisessä yliopistossa on arvioitu metsäkoneyrittäjien tärinäaltistumista. (Hyytinen & Vasara 2007) Tutkimuksissa arvioitiin hakkuukoneen, metsätraktorin sekä maanmuokkauskoneen aiheuttamaa altistusta. Altistustason arvioinnin tuloksena todetaan, että hakkuukoneilla tehtävässä työssä toiminta-arvo ylittyy niukasti. Metsätraktorin kohdalla arvioitu tärinätaaso jää niukasti raja-arvon alle, kun taas maanmuokkauskoneella raja-arvo sen sijaan ylittyy selvästi. Hakkuukoneella tehtävä työpäivä koostuu lähes yksinomaan puiden kaatamisesta ja karsimisesta. Puidenkaatotyö tehdään metsämaastossa, jonka epätasaisuus vaihtelee työmaasta riippuen. Siirtymisiä tehdään korkeintaan päivän aluksi (työmaalle ajo) ja päivän päätteeksi (työmaalta ajo koneen säilytyspaikkaan). Eri työvaiheiden arvioitujen

tärinätasojen ja työvaiheiden kestoajkojen perusteella päivittäiseksi kahdeksan tunnin tärinäaltistukseksi saatiin $0,6 \text{ m/s}^2$, joka ylittää niukasti VNa:n 48/2005 määrittämän toiminta-arvon. Yleisen mittaustiedon perusteella siirtymiset aiheuttavat hakkuukoneiden kohdalla suurimmat tärinätasot.

Metsätraktorilla tehtävä työ on puolestaan hakkuukoneen kaatamien ja karsimien puiden keräämistä ja kuljettamista työmaalta tien varteen. Työjakso sisältää neljä työvaihetta; siirtyminen tyhjänä työmaalle, puiden kerääminen työmaalta, siirtyminen kuormattuna ja kuorman purkaminen. Kuormaamisen ja purkamisen kohdalla kone on pääosin paikallaan, jolloin maastolla ei ole olennaista vaikutusta tärinän suuruuteen. Siirtymiset tehdään pääosin metsämaastossa, joka on tärinän kannalta vaikeaa maastoa. Tarkastelussa todettiin siirtymisten aiheuttavan ajokoneiden kohdalla selvästi suurempia tärinätasoja kuin kuorma-/purkuvaiheen. Eri työvaiheiden arvioitujen tärinätasojen ja työvaiheiden kestoajkojen perusteella päivittäiseksi kahdeksan tunnin tärinäaltistukseksi saatiin $1,1 \text{ m/s}^2$, joka ylittää asetuksen määrittämän toiminta-arvon.

Maanmuokkauskoneella tehtävä työ on metsämaan muokkausta eli äestystä. Työjakso sisältää kolme työvaihetta; varsinainen maanmuokkaus, siirtymiset autolta muokkauspaikalle ja muokkauspaikalta autolle sekä autolla tehtävät työmaiden väliset siirtymiset. Työmaan välisiä vaihtoja tehdään tyypillisesti useita kertoja päivässä. Muokkauskone on varsinaista työtä tehdessäänkin koko ajan liikkeessä, minkä johdosta tärinä on jatkuvasti korkealla tasolla. Eri työvaiheiden arvioitujen tärinätasojen ja työvaiheiden kestoajkojen perusteella päivittäiseksi kahdeksan tunnin tärinäaltistukseksi saatiin $2,2 \text{ m/s}^2$, joka ylittää selvästi asetuksen raja-arvon.

Myös ajoneuvojen rengaspaineiden on todettu vaikuttavan kuljettajien tärinäaltistukseen (mm. Sherwin ym. 2004, Oksanen & Rytönen 2009). Oksasen ja Rytöksen (2009) tutkimuksessa todettiin, että kuorma-auton kuljettajan tärinäaltistus pieneni (3-8 %) alennetuilla rengaspaineilla kaikilla tutkituilla tietyypeillä, asfalttia lukuun ottamatta. Samansuuntaisia tuloksia tärinäaltistuksen ja rengaspaineen suhteesta on saatu myös useissa ulkomaisissa tutkimuksissa, joissa matalamman rengaspaineen on todettu vähentävän tärinää ja siten vähentävän sekä kuljettajan että auton rasitusta (Sherwin ym. 2004, Rieppo 2006).

Metsäbioenergian tuotantoprosessivaiheista viimeisimpänä on käyttöön otettu hakkuutyömailta tehtävä kantojen nosto. Nostoa tehdään pääasiassa kaivukoneella käyttäen kantoharaa tai -harvesteria. Kantojen nostolaite liitetään samanlaisiin kaivukoneisiin kuin maarakennuskäytössä, joten kantojen nostotyössä kuljettajaan aiheutuu kokokehon tärinää. Maarakentamisessa käytettävien suurten työkoneiden (esim. kaivukoneet, nosturit) tiedetään aiheuttavan koko kehon tärinää (mm. Kittusamy & Buchholz 2004). Kantojennosto poikkeaa työmenetelmänä maarakentamisesta tehtävistä kaivukonetöistä mm. siten, että noston aikana käytetään usein tärinää maa-aineksen poistoon kannoista, joten työntekijään kohdistuva tärinä on todennäköisesti suurempaa kuin perinteisissä maanrakennustöissä. Maasto-olosuhteet hakkuutyömailloilla voivat olla vaativampia (esim. maaston epätasaisuus, suuret korkeuserot) kuin maarakennustyömailloilla, joten myös maasto voi aiheuttaa tärinän voimistumista, erityisesti koneen siirtämisvaiheissa. Kantojen noston työntekijöille aiheuttamaa tärinäaltistusta ei ole kirjallisuuden perusteella tutkittu.

Maarakennusurakoitsijoiden tärinäaltistusta on selvitetty mm. Tampereen teknillisessä yliopistossa. (Hyytinen & Vasara 2007) Arvioinnissa tarkasteltiin kaivukoneen kuljettajaan kohdistuvaa tärinää kovan maan ja pehmeän maan kaivamisen aikana. Tärinäaltistustason arvioinnin mukaan kaivukoneella VNa:n 48/2005 toiminta-arvo ylittyy kaikkien töiden kohdalla. Varsinaisen työvaiheen osuudeksi arvioitiin normaalista kahdeksan tunnin työvuorosta viisi tuntia; loppuajan arvioitiin kuluvan siirtymisiin, oheistoimintaan ja

taukoihin. Pehmeällä maan kaivamisen päivittäiseksi kahdeksan tunnin koko kehon tärinäaltistukseksi saatiin eri työvaiheiden arvioitujen tärinätasojen ja työvaiheiden kestoajkojen perusteella $0,57 \text{ m/s}^2$ ja kovan maan kaivamisen puolestaan $0,85 \text{ m/s}^2$. Molemmat arvot ylittävät asetuksen määrittämän toiminta-arvon. Arviot oli tehty oletuksella, että samaa työtä tehdään koko työpäivän ajan, mutta käytännössä työpäivä saattaa sisältää sekä kovan että pehmeän maan kaivamista. Koska molempien töiden erilliset arviot tärinäaltistuksesta ovat lähes samalla tasolla, voidaan olettaa molempia tapauksia sisältävän työpäivän tärinäaltistuksen olevan myös samaa suuruusluokkaa.

Maataloustraktorien aiheuttamaa kuljettajan kokokehon tärinää on tutkinut Vähänikkilä ym. (2006) mm. kynnön, äestyksen ja säilörehunteen aikana. Ruokohelven tuotannossa työntekijät voivat altistua tärinälle samalla tapaa, sillä maataloustraktoreita käytetään vastaavanlaisiin työvaiheisiin. Tärinää mitattiin 17 traktorissa, normaalin työnteon aikana; kahdesta neljään tuntia traktorien istuimelta sekä lattiasta istuimen kiinnityksen kohdalta x-, y- ja z-suunnissa. Tutkimuksissa todettiin kehotärinän altistuksen toiminta-arvon ylittyvän mittausten aikana kaikkien traktoreiden istuimilla ja altistuksen raja-arvon ylittyvän lähes puolessa tutkituista tapauksista. Suurin altistus oli noin 5 m/s^2 ja suurimmat hetkelliset huippuarvot $50\text{--}65 \text{ m/s}^2$. Kiireisimpänä aikana maanviljelijät käyttävät traktoria jopa 16 tuntia päivässä, joten altistuksen raja-arvo ylitetään todennäköisesti usein. Tärinä oli voimakkainta äestyksen aikana, jolloin istuimien tärinä ylitti altistuksen raja-arvon kaikissa tutkituissa traktoreissa x-suunnassa. Tärinä oli voimakkainta istuimissa x- ja y-suunnissa $0,5\text{--}5 \text{ Hz:n}$ taajuuksilla sekä z-suunnassa $1,2\text{--}5 \text{ Hz:n}$ taajuuksilla. Tutkimustulosten perusteella traktorien ohjaamoiden ja istuimien tärinän vaimennusta pitäisi edelleen parantaa em. taajuuksilla.

Metsä- että peltobioenergiapolttoaineiden haketus ja murskaus aiheuttaa melun lisäksi myös tärinää. Kirjallisuudesta ei ole löydettävissä tutkimustuloksia hakkureiden tai murskainten aiheuttamasta tärinäaltistuksesta. Hakkureiden ja murskainten voimalähteenä käytetään joko omaa moottoria (sähkö, diesel, bensiini) tai esim. kuorma-auton tai traktorin moottoria. Hakkurit ja murskaimet voivat olla esim. trailerin tai lavan päällä liikuteltavia, telaketjuilla tai pyörillä liikkuvia, kuorma-auton alustalle asennettuja tai kiinteistä laitteita esim. terminaaleissa. Materiaalin syöttö voi tapahtua joko kiinteästi hakkuriin/murskaimeen tai autoon/traktoriin liitetyllä nosturilla/kouralla (esim. tienvarsihaketausta tekevissä mobiiliyksiköissä) tai syöttämällä materiaali varsinkin kiinteisiin, isompiin murskaimiin/hakettimiin esim. pyöräkuormaajalla. Työntekijöiden murskaus- ja haketusvaiheessa tärinäaltistus riippuu siis käytettävästä laitteesta, sen teknisistä ratkaisuista sekä myös käsiteltävästä materiaalista.

3.1.3 Muut fysikaaliset vaaratekijät

Säteily

Työntekijät voivat eräissä ammateissa altistua ionisoivalle tai ionisoimattomalle säteilylle. Ionisoivalle säteilylle (gamma- ja röntgensäteily) mahdollisesti altistuvia työntekijöitä ovat mm. ydinvoimalaitosten työntekijät, röntgenhoitajat, radiologit ja teollisuuskuvaajat (Antti-Poika ym. 2006, Pääkkönen 2009). Bioenergian tuotantoprosesseissa työntekijät eivät altistu ionisoivalle säteilylle.

Ionisoimatonta säteilyä ovat optinen säteily (ultraviolettisäteily, näkyvä valo, laser- ja infrapunasäteily), mikroaaltosäteily, radiotaajuiset ja pientaajuiset sähkömagneettiset kentät sekä staattiset sähkö- ja magneettikentät (Antti-Poika ym. 2006). Ultraviolettisäteilyä (UV-säteily) syntyy mm. hitsauksessa, ultraviolettilampuissa ja valonheittimissä (Antti-Poika ym. 2006, Pääkkönen 2009). Ulkotyöntekijät altistuvat auringon UV-säteilylle. (Antti-Poika ym. 2006, Hietanen 2008, Pääkkönen 2009) Ionisoimattoman säteilyn haittavaikutukset ovat yleensä välittömiä, kuten esim. UV-säteilyn aiheuttama sarveis- ja sidekalvovamma. Pitkäaikaisvaikutuksista on kiistatta pystytty osoittamaan vain UV-säteilyn aiheuttama ihosyöpä. Bioenergian tuotantoprosessien työntekijät voivat altistua ionisoimattoman säteilyn lajeista lähinnä auringon UV-säteilylle työskennellessään ulkona. Myös koneiden ja laitteiden huolto- ja korjaustöiden aikana voi tapahtua altistumista esim. hitsauksessa syntyvälle UV-säteilylle, ellei henkilökohtaisesta suojautumisesta huolehdita riittävästi.

Lämpötila/ilmanvaihto (veto)

Lämpöolot voidaan jakaa kuuma- ja kylmätyöhön ja lämpöviihtyvyysalueeseen. (Kähkönen 2008) Lämpöoloja arvioitaessa otetaan huomioon elimistön lämmöntuotannon (työn raskaus) ja vaatetuksen lämpöeristävyuden lisäksi fysikaaliset lämpöoloparametrit, kuten mm. ilman lämpötila, nopeus (tuuli) ja suhteellinen kosteus sekä ympäristön säteilylämpötila. Myös yksilölliset erot vaikuttavat lämpötilaolojen kokemiseen. Vaikka ihminen on tasalämpöinen, vaihtelee kehon pintaosan ja ääresosien lämpötila jossain määrin ympäristön lämpötilan ja elimistön oman lämmöntuotannon mukaan.

Metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien parissa työskentelevät henkilöt voivat ajoittain altistua sekä kuumalle että kylmälle, kuten muutkin metsä- ja maataloustöitä tekevät. Sekä metsä- että maataloustöiden koneellistumisen myötä kylmälle ja kuumalle altistuminen on vähentynyt, koska uusissa koneissa (traktorit, metsäkoneet ja -traktorit, kaivinkoneet, autot) on ohjaamoissa lämmitys- ja jäähdytyslaitteet. Kylmyys voi olla edelleen ongelma esim. metsäbioenergian tuotantoprosesseissa talviaikaan tehtävissä töissä, kuten esim. metsurityössä, metsäkoneiden huolto- ja korjaustöissä. Kylmänhaittoja alkaa yleensä ilmetä alle +10 °C lämpötiloissa (Kähkönen 2008, Rintala 2010). Lievä ja kohtalainen jäähtyminen voi heikentää käsien toimintakykyä, voimakas jäähtyminen heikentää kaiken tyyppisiä toimintakyvyn muotoja. (Rintala 2010) Vuosia jatkuneessa kylmätyössä kehittyi nivel- ja lihasvaivoja enemmän kuin vastaavassa työssä lämpimässä. Kylmä supistaa ihon, käsien ja jalkojen verenkiertoa, kohottaa verenpainetta sekä kuormittaa sydäntä (Kähkönen 2008, Rintala 2010). Lisäksi kylmän ilman hengittäminen jäähdyttää hengityselimistöä ja supistaa hengitysteitä. Kylmä lisää tapaturmien ja onnettomuuksien määrää toimintakyvyn heiketessä (Kähkönen 2008). Vaatetus on tärkein henkilökohtainen kylmähaittojen suojauskeino, sillä se hidastaa lämmön poistumista elimistöstä ja auttaa ylläpitämään lämpötasapainoa. (Rintala 2010) Muita keinoja vähentää kylmäaltistusta ovat mm. työolojen ja -tapojen muuttaminen.

Kuumalle metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosesseissa työntekijät voivat altistua kesällä, jos koneiden ohjaamoissa lämpötila nousee korkeiksi. Kuumassa myös lihastyö nostaa sisäelinten lämpötilaa; mitä raskaampi työ, sitä voimakkaammin elimistön lämpötila nousee.

(Kähkönen 2008) Kuumuus kuormittaa elimistöä ja vaikuttaa haitallisesti niin fyysiseen kuin henkiseenkin suorituskyykyyn; virheiden määrä lisääntyy ja tuottavuus laskee. Sydän kuormittuu, kun sydän lyö kuumassa nopeammin ja ääreisverenkierto lisääntyy. (Kähkönen 2008, Lindholm ym. 2009) Samalla lihasten verenkierto heikkenee ja lihakset väsyvät ja niiden suorituskyyky heikkenee. Neste- ja suolatasapaino häiriytyvät runsaan hikoilun seurauksena. Kuumatyön katsotaan alkavan ilman lämpötilan ylittäessä +28 °C (Lindholm ym. 2009). Jos esim. koneiden ohjaamon lämpötila on jatkuvasti yli +28 °C, on syytä pitää määräajoin taukoja ja huolehdittava nestetasapainosta (Kähkönen 2008). Esimerkiksi metsäkoneen kuljettajan työmukavuus riippuu ohjaamon lämpötilasta ja vedosta. (Tapola, 2000) Työskentelylämpötilaksi suositellaan +18...+22 °C, jota voidaan ylläpitää ilmastointilaitteella. Kun käytetään ilmastointilaitetta, on huomioitava kylmän ilman oikea suuntaaminen; kylmää ilmaa ei tule suunnata suoraan kehoa kohti, eikä lämpötilaero lattian ja pään tasolla saisi olla yli kolme astetta

3.2 BIOLOGISET VAARATEKIJÄT

Biologisilla vaaratekijöillä tarkoitetaan "mikro-organismeja, mukaan lukien niitä, joita on muunneltu geneettisesti, soluviljelmiä ja ihmisessä eläviä loisia, jotka voivat aiheuttaa jonkin tulehduksen, allergian tai myrkyvaikutuksen" (Valtioneuvoston päätös, VNp 1155/1993 työntekijöiden suojelemisesta työhön liittyvältä biologisten tekijöiden aiheuttamalta vaaralta). Mikro-organismilla puolestaan tarkoitetaan em. VNp:n mukaisesti "solumaista tai muuta kuin solumaista mikrobiologista rakennetta, joka kykenee lisääntymään tai siirtämään perimää". Mikro-organismeja, bakteereja, leviä, sieniä, viruksia ja alkueläimiä, kutsutaan yleisesti myös mikrobeiksi (Black 2004). Mikrobeja tavataan kaikkialla elinympäristössämme. Useimmat ovat harmittomia, eräät hyödyllisiä tai jopa välttämättömiä ihmisen terveydelle, mutta osa mikrobeista on sairauksia aiheuttavia. Työterveys- ja työturvallisuuslainsäädännössä (mm. Ammattitautiasetus 1347/1988, VNa 1485/2001 terveystarkastuksista erityistä sairastumisen vaaraa aiheuttavissa töissä) biologisiksi haittatekijöiksi katsotaan bakteerit ja virukset, sienten ja homeiden itiöt sekä näiden vapauttamat muut biologisesti aktiiviset aineet, kun taas esim. orgaaniset pölyt katsotaan kemiallisiksi vaaratekijöiksi (kts. kappale 3.3).

Biologiset tekijät, mikrobit, ovat yleensä näkymättömiä, joten niiden aiheuttamia vaaroja ei aina havaita tai tiedosteta. (EU-OSHA 2010) Mikrobin aiheuttamien oireiden ja sairauksien syntyyn vaikuttavat monet tekijät. Elimistön vaste eli reaktio mikrobialtistukseen, sen suuruus ja laatu riippuvat mikrobilajista, altistustavasta, altisteen pitoisuudesta, altistuksen toistuvuudesta sekä altistumisajan pituudesta. Lisäksi terveystahojen syntyyn vaikuttavat altistuvan henkilön yksilölliset tekijät, mm. perintötekijät, ikä ja muut sairaudet. Koska mikrobin kyky aiheuttaa terveysvaikutuksia vaihtelee, ei pelkän pitoisuuden perusteella voida välttämättä päätellä oireiden voimakkuutta, eikä annos- vaste -suhteita useinkaan pystytä määrittämään (Douwes ym. 2003). Joskus lyhytaikainen altistuminen korkeille pitoisuuksille voi olla haitallisempi kuin pitkäaikainen altistuminen matalammille pitoisuuksille (Laitinen, 2008) Usein altistutaan myös samanaikaisesti useille tekijöille sekä koti- että työympäristössä, joten altistuneiden oireita tai mikrobin haitallisia terveysvaikutuksia tutkittaessa voi olla vaikea yksiselitteisesti erottaa mikä tekijä oireita tai varsinaisen sairauden aiheuttaa (Douwes ym. 2003). Usein oireissa tai sairaudessa onkin kyse useiden biologisten ja kemiallisten altisteiden yhteisvaikutuksista. Näistä em. syistä biologisille tekijöille ei ole asetettu altistumista koskevia raja-arvoja, kuten esim. monille kemikaaleille asetetut haitallisiksi tunnetut pitoisuudet eli ns. HTP-arvot (OSHA 2003).

Työntekijöitä altistavia biologisia tekijöitä, bakteereja, homeita, viruksia, on eniten työympäristöissä, joissa käsitellään eloperäistä materiaalia ja joissa mikrobin kasvuolosuhteet (erityisesti lämpö, kosteus, ravinteet) ovat suotuisat, kuten esim. maatalous, puun- ja elintarviketaloustusteollisuus sekä jätteiden käsittely. (EU-OSHA 2010, Hanhela & Yrjänheikki, 2008, Reiman 2008, Rantanen & Oksa 2009) Altistuminen biologisille tekijöille voi työympäristössä tapahtua hengitysteitse, ruoansulatuskanavan tai ihon kautta tai suoraan verenkiertoon esim. eläimen pureman välityksellä. Mikrobin pääasiällisin kulkeutumisreitti ihmiseen työympäristössä on kuitenkin hengitystiet, koska mikrobit leviävät helposti ilmaan esim. mekaanisen käsittelyn yhteydessä. Usein puhutaan myös bioaerosoleista, jolla tarkoitetaan aerosoleja tai partikkeleita, jotka ovat peräisin orgaanisesta materiaalista; mikrobeista, kasveista tai eläimistä (Douwes ym. 2003).

Biologisten tekijöiden aiheuttamat terveyshaitat syntyvät useilla mekanismeilla, joista kaikkia ei tarkkaan vielä edes tunneta. (Reiman 2008) Altistuminen eläville, infektiivisille mikrobeille aiheuttaa kullekin mikrobille tyypillisen tartuntataudin. Biologiset altisteet sisältävät tai tuottavat ihmiskehelle vieraita valkuaisaineita, joita kohtaan voi kehittyä allergia. Mikrobin rakenneosille (esim. bakteerien endotoksiinit) tai aineenvaihduntatuotteille (esim. sienten

mykotoksiinit) altistuminen voi aiheuttaa toksiinikohtaisia terveyshaittoja. Mikrobit esiintyvät ilmassa tavallisimmin aerosoleina (bioaerosolit) ja voivat aiheuttaa myös epäspesifisiä limakalvojen ärsytysoireilua. Altistumista biologisille tekijöille voidaan arvioida mittaamalla niiden pitoisuuksia ilmassa, materiaaleissa, nesteissä tai pinnoilla altisteesta riippuen, useilla eri menetelmillä (esim. mikroskooppiset, mikrobiologiset, kemialliset, immunokemialliset, molekyylibiologiset analyysimenetelmät) tai analysoimalla mikrobien aiheuttamia vasta-aineita ihmisestä itsestään (Douwes ym. 2003).

3.2.1 Biologisten tekijöiden terveysvaikutuksista yleisesti

Biologisille tekijöille (bioaerosoleille) altistumiseen, erityisesti pölyisissä työympäristöissä, liitetään useita vakavia terveysvaikutuksia. (Douwes ym. 2003, Rautiala 2004) Terveysvaikutukset on liitetty useisiin mekanismeihin; tekijät voivat ärsyttää limakalvoja, olla allergisoivia, tulehduksia aiheuttavia, akuutisti myrkyllisiä tai aiheuttaa jopa syöpää. Biologiset vaaratekijät aiheuttavat vuosittain ammattitauteja sekä työhön liittyviä oireita ja sairauksia, kuten hengitysoireita ja hengityselinsairauksia (esim. allergiaa, astmaa), silmien ärsytysoireita, ihottumia, lisääntynyttä infektiokerkkyyttä ja erilaisia tartuntatauteja (Rantanen & Oksanen 2009). Vuonna 2008 biologiset tekijät kirjattiin työperäisten sairauksien rekisteriin aiheuttajaksi yhteensä noin 830 tapauksessa, joista suurin osa (noin 560 tapausta) oli homesienten aiheuttamia. (Oksa ym. 2010) Kaikista todetuista, yli 800 hengityselinsairauksista (ammattiastma, -nuha ja -kurkunpääntulehdus sekä allerginen alveoliitti) homesienet on todettu aiheuttajaksi yli 300 tapauksessa. Todetuista, yli 1 220 ihotaudeista (esim. ärsytys-, allerginen- ja proteiinikosketusallergia) biologiset tekijät (mm. homesienet, hyönteiset, punkit) aiheuttivat noin 110 tapausta. Maa- ja metsätalouden toimialalla kirjattiin yhteensä noin 540 ammattitauti- ja ammattitautiepäilytapausta, joista biologiset tekijät, kuten esim. homesienet, oli todettu aiheuttajiksi 59 tapauksessa, virukset 61 ja punkit 20 tapauksessa.

Seuraavassa on kuvattu eräitä tavallisimpia biologisten altisteiden aiheuttamia oireita sekä sairauksia. Huomattavaa on, että vastaavanlaisia oireita ja sairauksia voivat aiheuttaa myös eräät kemialliset vaaratekijät, kuten esim. orgaaninen pöly, joita käsitellään kappaleessa 3.3.

Ärsytysoireet

Homeet ja sädesienet ja erityisesti niiden erittämät toksiinit sekä aineenvaihduntatuotteet ovat pienissäkin pitoisuuksissa elimistöä ja erityisesti hengitysteitä ärsyttäviä aineita. (Husman ym. 2002, Rautiala 2002) Tavallisimpia ärsytysoireita ovat ihon ja silmien punoitus, silmien, nenän ja nielun kutina ja kirvely, äänen käheys, aivastelu, nenän tukkoisuus ja nuhaoireet. Lisäksi useilla altistuneilla esiintyy erilaisia yleisoireita kuten päänsärkyä, väsymystä, ja pahoinvointia. Oireet on liitetty mikro-organismien rakenteellisille komponenteille altistumiseen, kuten endotoksiineihin ja $\beta(1\rightarrow3)$ glukaaneihin, jotka voivat aiheuttaa tulehdusreaktiota ja niiden seurauksena hengitystiereaktioita (Douwes ym. 2003, Rautiala 2004).

Infektiosairaudet

Infektio- eli tulehdussairauksia aiheuttavat esim. virukset, bakteerit, sienet, alkueläimet mm. suoran kosketuskontaktin tai hengitysilman välityksellä. (Douwes ym. 2003) Esim. lahoava materiaali, kuten jätteet tai komposti ja maa-aines sisältävät sieni-itiöitä, joille altistuminen voi aiheuttaa erilaisia infektiosairauksia. Hengityselinsairauksista erilaiset infektiot ovat tavallisimpia; tavallisimpia ovat nuhakuume, poskiontelo-, välikorvan- ja keuhkoputken tulehdus sekä keuhkokuume. (Husman ym. 2002) Myös silmän sidekalvotulehduksia esiintyy.

Allergiat

Allergia on immunologisten mekanismien käynnistämä yliherkkyysoireyhtymä, jonka käynnistävät yleensä immunoglobuliini-E -vasta-aineet (ns. IgE-välitteinen allergia) tai IgG-vasta-aineet. (Douwes ym. 2003, Haahtela & Hannuksela, 2007) Reaktio aiheuttaa yleensä elimistön ulkopuolelta tullut aine eli allergeeni, joka tavallisesti on valkuaisaine. Allergeeni reagoi IgE- tai IgG-vasta-aineiden kanssa. Reaktiot voivat olla nopeita eli välittömiä tai hitaita eli viivästyneitä. Atopia on allergian suppeampi käsite, jolla tarkoitetaan henkilön periytyvää taipumista herkistyä eli tuottaa IgE-vasta-aineita, elinympäristön tavallisille allergeeneille (Haahtela & Hannuksela 2007). Tavallisimpia allergiasairauksia ovat allerginen nuha, astma, allerginen sidekalvotulehdus ja atooppinen ihottuma (Husman ym. 2002).

Ns. ammattinuhaa ja -astmaa voi aiheuttaa altistuminen ja herkistyminen työperäisille homeille ja mikrobeille (myös kemiallisille altisteille; kemikaalit ja orgaaninen pöly). (Nordman ym. 1999, Antti-Poika 2006) Osa nuhista ja astmoista syntyy IgE-välitteisellä mekanismilla, mutta kaikkia syntymekanismia ei tunneta. Allergista nuhaa edeltää tyypillisesti oireeton altistumisvaihe, joka vaihtelee kuukausista vuosiin. Nuhan oireita ovat nenän kutina, aivastelu, vetinen nuha ja nenän tukkoisuus. Ammattiastman oireita ovat yskä, sitkeä liman erityys ja hengenahdistus, jotka liittyvät työpäiviin. Keuhko-oireita voivat edeltää nuha ja silmän sidekalvo-oireet. Molemmissa tapauksissa oireet ilmaantuvat työvuoron aikana tai sen jälkeen, usein vasta illalla tai yöllä. Sekä nuhan että astman alkuvaiheessa viikonloput ja lomamatkat voivat olla oireettomia, kun altistusta ei tapahdu. Homeiden aiheuttama astma ja nuha voi kehittyä esimerkiksi karjanhoitotyössä ja sahatyöntekijöille.

Ruokohelven siementen on todettu aiheuttavan allergista kosketusallergiaa. (Monteseirín ym. 2002) Ruokohelvi kuuluu *Graminae*-heimon heinäkasveihin, joiden on todettu aiheuttavan allergisia sairauksia, kuten mm. kosketusallergiaa, anafylaksiaa, gastroenteriittia ja astmaa. Lisäksi helpin on todettu sisältävän siitepölyallergeenejä useiden muiden heinäkasvien, kuten esim. ohran, timotein ja riisin, tapaan (Saphioglou 2000).

Hengitysteiden yliherkkyyssairaudet

Orgaanisen pölyn aiheuttama toksinen oireyhtymä (ODTS)

Orgaanisen pölyn aiheuttama toksinen oireyhtymä, ODTS (Organic Dust Toxic Syndrome), liittyy äkilliseen, voimakkaaseen altistumiseen biologiselle pölylle (mm. Kirkhorn & Garry 2000, Antti-Poika 2006, Terho 2007). Pöly aiheuttaa alveoliitin (eli keuhkorakkulatulehduksen) kaltaisen, viivästyneen tulehdusreaktion keuhkoissa, mutta puolustussolujen reaktio on erilainen kuin alveoliitissa. (Husman ym. 2002) ODTS:ssä kyseessä on soluvälitteinen yliherkkyyssmekanismi välityksellä syntyvä oireyhtymä, jossa IgG-luokan vasta-aineet voivat sakkautua ja aiheuttaa kudosaaurion. Edeltävää herkistymistä allergeenille ei tarvita ja oireet ilmenevät muutaman tunnin kuluttua altistuksesta. Kyse ei ole allergisesta sairaudesta. (Douwes ym. 2003, Antti-Poika 2006, Terho 2007) Taudin aiheuttajaa tai mekanismea ei tarkasti tunneta, mutta syyksi on esitetty mikrobien erittämiä toksineja, kuten bakteerien soluseinämien endotoksiineja.

Tautia esiintyy Suomessa mm. viljelijöillä ja sienimöiden työntekijöillä (Antti-Poika 2006, Terho 2007). Maataloustöissä oireilun on todettu liittyvän esim. vilja- ja heinävarastojen siivoukseen, puintiin ja viljan jauhatukseen. Oireet ovat samankaltaisia kuin allergisessa alveoliitissa, mutta lievempiä ja kirjavampia; esiintyä voi kuumeen, yskän ja hengenahdistuksen lisäksi esim. päänsärkyä, iho-oireita sekä lihas- ja nivelkipuja. (Husman ym. 2002, Douwes ym. 2003, Antti-Poika 2006, Terho 2007) Erytyistä hoitoa ei tarvita; altistumisen päätyttyä oireet häviävät yleensä muutamassa vuorokaudessa, eikä pysyviä vaurioita ole kuvattu.

Allerginen alveoliitti

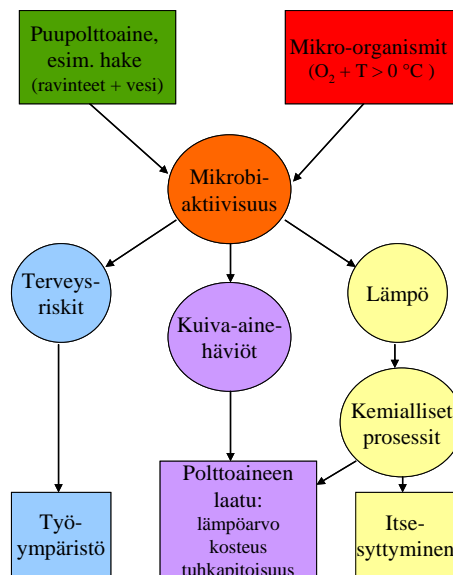
Allerginen alveoliitti eli allerginen keuhkorakkulatulehdus on keuhkokudoksen allerginen sairaus, jonka aiheuttaa keuhkorakkuloissa ja ilmatiehyissä tapahtuva immunologisesti välittynyt tulehdusreaktio (mm. Kirkhorn & Garry 2000, Douwes ym. 2003, Antti-Poika 2006, Terho 2007). Sairauteen liittyy viivästynyt puolustusolujen (lymfosyyttien) aiheuttama solulisä keuhkokudoksessa, IgG-vasta-aineiden nousu sekä tyypilliset muutokset keuhkojen toimintakokeissa (Husman ym. 2002). Sairautta aiheuttavat erilaiset eloperäiset hienojakoiset pölyt (hiukkasten halkaisijat <5 µm), jotka pääsevät keuhkorakkuloihin saakka. (Terho 2007) Tavallisimpia taudinaiheuttajia ovat homesienet tai homeiden kaltaiset bakteerit, aktinobakteerit (sädesienet). Yksi tavallisimmista allergista alveoliittia aiheuttavista homesieniä on *Aspergillus*-suku ja sen eri lajit kuten esim. *A. fumigatus*.

Tavallisin allerginen alveoliitti on karjanhoitotyössä homeisista heinistä ja oljista aiheutuva viljelijöiden homepölykeuhko, mutta sitä tavataan myös sahatyöntekijöillä ja sienimöiden työntekijöillä. (Terho 2007) Sairastumista edeltää yleensä poikkeuksellisen voimakas ja usein toistuva altistuminen allergeenille. Potilailla esiintyy sekä hengityselinoireita (yskä, hengenahdistus) että yleisoireita kuten kuumetta, lihas- ja nivelkipuja, päänsärkyä, pahoinvointia ja laihtumista. Herkistymisen tapahduttua tauti puhkeaa tyypillisesti äkillisenä kohtauksena 4-8 tunnin kuluttua allergeenille altistumisesta. Kroonistuessaan tauti voi aiheuttaa keuhkofibroosin, jossa keuhkokudos korvautuu vähitellen sidekudoksella. (Antti-Poika 2006) Sidekudos aiheuttaa ärsytystä, mikä ilmenee pitkäaikaisena, kuivana yskänä. Sidekudoksen seurauksena keuhkojen kyky hapettaa verta heikkenee, mikä ilmenee hiljalleen pahenevana hengenahdistuksena. Aluksi ahdistus tuntuu epätavallisena hengästymisenä ruumiillisessa rasituksessa, mutta taudin edetessä hengenahdistus alkaa vaivata myös levossa (Mustajoki, 2009).

Koska minkä tahansa orgaanisen materiaalin käsittelyssä ja varastoinnissa voi tapahtua mikrobien, kuten esim. homeiden kasvua, on työperäinen altistuminen tällöin aina mahdollista. Biopolttoaineiden työterveysvaaroja arvioitaessa on mikrobien havaittu olevan yksi merkittävimmistä työhygieenisistä vaaratekijöistä (Ajanko-Laurikko, 2009). Metsä- että peltobioenergiatoimialojen työntekijät voivat altistua bioenergian tuotantoketjujen eri vaiheissa mikrobeille; bakteereille ja bakteerien toksineille sekä homesienille. (Ajanko & Fagernäs, 2006) Myös viruksille (eläimistä ihmisiin tarttuvat taudit) ja eläinten allergeeneille (hyönteiset esim. hyttyset, pistiäiset, hirvikärpäset) altistumista voi tapahtua. Maataloustyöntekijöiden altistumista biologisille vaaratekijöille (mm. endotoksiinit, homeet) on kirjallisuuden perusteella tutkittu varsin paljon, mutta metsätaloustyöntekijöiden altistumista vähemmän ja bioenergiatuotantoprosessien aiheuttamaa työntekijöiden altistumista hyvin vähän. Orgaanisten pölyjen sisältämien mikrobien on kuitenkin useissa tutkimuksissa havaittu liittyvän työterveysongelmiin (esim. hengityselinoireet) hakkeen käsittelyssä sekä maataloustöissä kuten olkien, viljojen ja heinien käsittelyssä (esim. Swedish Work Environment Authority 1994, Madsen 2002, Madsen ym. 2004).

Mikro-organismien, kuten bakteerien määrää, sekä työntekijöiden altistumista niille, on tutkittu sekä metsä- että peltopolttolaitteiden tuotantoketjuissa, mutta tutkimusten määrä on varsin rajoitettu. (esim. Madsen 2002, Ajanko-Laurikko & Fagernäs 2006, Norden 2008, Ajanko-Laurikko 2009) Tutkimuksista suuri osa keskittyy biopolttolaitteita varastointiin, sillä ongelmalliseksi on havaittu mm. varastoinnin aikana tapahtuvat mikrobiologiset muutokset, jotka vaikuttavat polttoaineen laatuun (mm. hakkeen itsesytyminen) (kts. kuva 22).

Koska biopolttolaitteet ovat orgaanista materiaalia, joka sisältää luonnostaankin erilaisia mikrobeja, voi sekä raaka-aineiden että polttoaineiden varastoinnin aikana tapahtua mikrobien, erityisesti lahottajien ja homeiden kasvua (Hillebrand & Nurmi 2001, Hillebrand 2009). Sekä pelto- että metsäbioenergian raaka-aineita (hakkuutähteitä, risutukkeja, kantoja, runkopuuta, ruokohelpeä) varastoidaan ennen käyttöä: tuotantopaikalla (esim. palstalla tai pellolla), välivarastoissa ja terminaaleissa tai valmiina polttoaineena käyttöpaikoilla (lähinnä haketta). Varastoinnin tavoitteena on esim. hakkeen raaka-aineen osalta materiaalin kuivuminen ja sen laadun parantaminen. Koska varastointiajat voivat olla pitkiäkin, voivat ympäristöolosuhteet, erityisesti kosteus ja lämpötila, edesauttaa materiaalissa tapahtuvia biologisia muutoksia (esim. bakteerien, lahottajien ja -homeiden kasvua) ja altistaa polttoaineita käsittelevät työntekijät kohonneille mikrobimäärille. Olemassa olevien tutkimustulosten perusteella on esim. puupolttolaitteiden mikrobikasvun vähentämiseksi suositeltu mm. mahdollisimman tuoreen raaka-aineen käyttöä, hakkeen valmistamista kerralla pienissä erissä ja käyttötarpeen mukaan varastointiajan lyhentämiseksi, palahakkeen valmistamista hienohakkeen sijaan sekä puun ja hakkeen pitämistä mahdollisimman kuivana (Jirjis 1995, Ajanko & Fagernäs 2006, Norden 2008). Kuvassa 22 on kaavakuvamainen yhteenveto vaikutuksista, joita voi seurata esim. kostean hakkeen varastoinnissa (Norden 2008).



Kuva 22. Puupolttolaitteen varastoinnin aikana tapahtuvien prosessien vaikutuksia (Norden 2008).

3.2.1 Bakteerit ja aktinobakteerit

Bakteerit

Bakteerit ovat pieniä, yksisoluisia mikrobeja, joita on kaikkialla elinympäristössämme. (Black 2004) Ne lisääntyvät jakautumalla kahtia ja lisääntymisnopeus riippuu ympäristöolosuhteista, pääasiassa kosteudesta, lämpötilasta ja happamuudesta. Kasvumahdollisuuksien heikentyessä

jotkin bakteerit voivat muuttua itiömuotoon, joka on niiden säilymismuoto. Itiöt kestävät bakteerisoluja paremmin ympäristön olosuhteita, etenkin kuumuutta, kuivuutta ja kemiallisia aineita. Kun olosuhteet muuttuvat uudestaan suotuisiksi, muuttuvat itiöt jakautumiskykyisiksi bakteerisoluiksi. Eräät bakteerit voivat lisääntyessään tuottaa myrkyllisiä aineita, mykotoksiineja.

Bakteerit voidaan jaotella niiden soluseinän rakenteen perusteella gram-negatiivisiin ja gram-positiivisiin. (Black 2004) Gram-negatiivisten bakteerien soluseinä koostuu useasta kerroksesta ja ulkokalvon osana on toksinen lipopolysakkaridi (LPS) eli endotoksiini. Endotoksiinin toksisia vaikutuksia välittää lipidi A-osa, joka kiinnittää endotoksiinin bakteerisolun ulkokalvoon (mm. Järveläinen & Miettinen 2001, Liebers ym. 2006, Health Council of the Netherlands 2010). Gram-positiivisten bakteerien soluseinä on rakenteeltaan yksinkertaisempi kuin gram-negatiivisten. (Black 2004) Gram-positiivisilla bakteereilla jopa 90 % soluseinästä voi olla peptidoglykaania, hiilihydraatti- ja peptidiketjujen muodostamaa verkostoa, kun taas gram-negatiivisilla bakteereilla peptidoglykaanin osuus on 5–20 %. Gram-positiivisissa bakteereissa on usein myös hiilihydraattirakenteita, teikkohappoja, kiinnittyneenä peptidoglykaanikerrokseen. Solukalvossa kiinni olevia teikkohappoja kutsutaan lipoteikkohapoiksi.

Bakteereille ei ole Suomessa asetettu sitovia työhygieenisiiä HTP-arvoja. Suurin bakteerien normaalina pidettävä pitoisuus asuintilojen sisäilmassa on 4 500 CFU/m³ (CFU=Colony-Forming Unit eli pesäkkeitä muodostavia yksiköitä) (Husman ym. 2002, STM 2003). Työympäristössä bakteereja on erityisesti nesteissä, jotka voivat sisältää muitakin mikrobeja; esimerkiksi maatalousympäristössä todetut bakteerit ovat tavallisesti peräisin karjan iholta, ulosteista tai rehuista. (Reiman 2008) Puuteollisuudessa, kuten esim. sahoilla, märän puun käsittelyssä esiintyy pääasiassa mesofiilisiä eli huoneenlämmössä tai viileämmässä (lämpötila-alue 15–37 °C) viihtyviä bakteereja ja sieniä. Ulkoilman mikrobit ovat pääasiassa peräisin maaperästä ja kasvillisuudesta. Maa- ja metsätalouden työympäristöissä on todettuja mm. seuraavanlaisia bakteeripitoisuuksia:

- maatalous: sika-, kana- ja lypsykarjatilat 10³–10⁶ CFU/m³
- selluteollisuus (hakkeen käsittely) 10²–10⁵ CFU/m³
- polttihakkeen ja -turpeen käsittely lämpövoimalaitoksella 10³–10⁴ CFU/m³
- sahateollisuus (kuorimo, hakkuri, sahaamo) 10³–10⁴ CFU/m³ (Reiman 2008).

Aktinobakteerit

Aktinobakteerit eli sädesienet ovat itiöllisten, gram-positiivisten maaperäbakteerien ryhmä. (Eduard 2006) Ne muistuttavat kasvutavaltaan sieniä, mutta ovat kuitenkin bakteereja. Aktinobakteerit muodostavat rihmastoja ja ovat immunologisesti aktiivisia. Ne voivat allergisoida ja tuottaa toksiineja. Aktinobakteerit lisääntyvät suvuttomasti itiöitä tuottamalla. Kooltaan itiöt ovat pienempiä kuin sienten itiöt (0,5-1,5 µm). (Swedish Work Environment Authority 1994, Eduard 2006) Pienen kokonsa vuoksi ne voivat kulkeutua syvälle keuhkoihin ja aiheuttaa alveoliittia eli homepölykeuhkoa. Aktinobakteereille on tyypillistä voimakas "maakellarin" haju, joka ärsyttää hengitysteitä. Useimmat lajit ovat mesofiilisiä ja ne vaativat tavallisesti kasvaakseen enemmän vettä kuin sienet (Eduard 2006). Tärkeimmät aktinobakteerisuvut, joilla on terveydellistä merkitystä (esim. maanviljelijöiden homepölykeuhko), ovat *Streptomyces*- ja *Thermoactinomyces*-suvut (Husman ym. 2002).

Endotoksiinit

Endotoksiinit ovat gram-negatiivisten bakteerien ulomman soluseinämän rakenneosia ja niitä esiintyy kaikkialla missä bakteerejakin, esim. eläimissä, kasvien pinnoilla sekä luonnonvesissä (Black 2004, Health Council of the Netherlands 2010). Niitä vapautuu ympäristöön bakteerien aktiivisen kasvun aikana tai bakteerisolun hajoamisen yhteydessä

(Black 2004, Laitinen 2008). Endotoksiinit ovat molekyyli­paineiltaan suurimolekyyllisiä lipopolysakkaridikomplekseja, jotka koostuvat polysakkaridiketjusta ja rasvahappopäästä (Health Council of the Netherlands 2010). Lipopolysakkaridit (LPS), jotka muodostuvat lipidi- ja polysakkaridiosasta, vastaavat suurimmasta osasta endotoksiinien biologisista vaikutuksista. (Black 2004, Health Council of the Netherlands 2010). Lipidi-osa (ns. lipidi-A) vastaa lipopolysakkaridien toksisista vaikutuksista.

Väestön tausta-­altistus endotoksiinien osalta on normaalisti varsin vähäistä (Health Council of the Netherlands 2010). Taustapitoisuudet ulkoilmassa vaihtelevat sekä paikan että ajankohdan mukaan, mutta taustapitoisuudet ovat yleensä alle 10 EU/m³ (EU = Endotoxin Unit; 1 EU ≈ 0,1 ng) (Liebers ym. 2006a, Madsen 2006a, Health Council of the Netherlands 2010). Esimerkiksi Madsen (2006a) on tutkinut endotoksiinin taustapitoisuuksia Tanskassa. Tutkimuksessa kaupunki-­ilman endotoksiinipitoisuuksien (n=53) mediaani oli 0,33 EU/m³. Taustapitoisuuksia korkeampia pitoisuuksia todettiin mm. biopolttoaineita käyttävien voimalaitosten läheisyydessä (mediaani 5,3 EU/m³; n=20) ja teollisuusalueilla (mediaani 1,3 EU/m³; n=68) sekä pelloilla (mediaani 2,9 EU/m³; n=18). Keväällä ilman endotoksiinipitoisuudet olivat korkeampia kuin syksyllä otetuissa näytteissä.

Tietyissä työympäristöissä on todettu huomattavasti taustapitoisuuksia korkeampia endotoksiinipitoisuuksia; esimerkiksi maataloilla pitoisuudet ilmassa voivat olla jopa 10⁶ EU/m³ ja pölyssä 10⁶ EU/mg, kun esim. toimistoilmassa pitoisuudet ovat tavallisesti alle 10³ EU/m³ ja pölyssä alle 100 EU/mg (Laitinen, 2008). Maataloustöissä, kuten muussakin työperäisessä altistuksessa, endotoksiinialtistus liittyy orgaaniselle pölylle altistumiseen. Spaanin ym. (2006) tekemässä laajassa maatalousalan tutkimuksessa, jossa tutkittiin maataloustyöntekijöiden altistumista endotoksiineille (ja hengittyvälle pölylle), todettiin työntekijöiden altistuvan enemmän endotoksiineille kasvintuotannossa (hengitysilman endotoksiinipitoisuudet 2,3...149 060 EU/m³) kuin eläintuotannossa (endotoksiinipitoisuudet 2,0...8 120 EU/m³). Metsäteollisuuden työntekijöiden, kuten metsurien, saha-, sellu- ja paperiteollisuustyöntekijöiden, altistumisen on todettu olevan keskimääräisesti vähäisempää kuin maataloudessa; todettuja endotoksiinipitoisuuksia välillä <0,13...40 000 EU/m³ (Liebers ym. 2006b, Health Council of the Netherlands 2010).

Endoksiineille altistuminen työympäristössä tapahtuu yleisimmin hengitysteitse ja koska endotoksiinit ovat kooltaan pieniä, ne kulkeutuvat hengitysilman mukana aina keuhkorakkuloihin saakka (esim. Liebers ym. 2006a, Laitinen 2008, Health Council of the Netherlands 2010). Endotoksiineille ei ole Suomessa eikä EU:ssa asetettu sitovia työhygieenisii raja-arvoja. Hollannissa on aikaisemmin esitetty endotoksiinien työhygieeniseksi raja-arvoksi 200 EU/m³ ja terveysperusteiseksi raja-arvoksi 50 EU/m³ (Liebers ym. 2006b, Health Council of the Netherlands 2010). Vuonna 2010 hollantilainen DECOS (Dutch Expert Committee on Occupational Safety) esitti viimeisimpien tutkimustulosten perusteella terveysperusteiseksi, työperäisen altistumisen raja-arvoksi 90 EU/m³ (8 h keskiarvo; hengitys) (Health Council of the Netherlands 2010). Samaa arvoa on esitetty käytettäväksi myös Suomessa, koska endotoksiineille ei ole esitetty HTP-arvoa (Laitinen 2010). Kansainvälinen työlääkätieteen järjestö (ICOH) on arvioinut endotoksiinien aiheuttamia akuutteja terveysvaikutuksia aiheutuvan eri pitoisuuksista seuraavasti:

- 200–500 EU/m³: limakalvojen ärsytys
- 1 000–2 000 EU/m³: akuutti hengitysteiden supistuminen
- 10 000–20 000 EU/m³: ODTS eli Organic Dust Toxic Syndrome (Health Council of the Netherlands 2010).

Endotoksiinit ovat biologisesti erittäin aktiivisia ja niiden on todettu aiheuttavan ihmisen elimistössä monenlaisia immunologisia ja tulehduksellisia vasteita. (Laitinen 2008). Vaikutukset elimistössä riippuvat, kuten muidenkin biologisten altisteiden, mm. määrästä, altistustavasta sekä ihmisen omista perintötekijöistä, iästä ja vastustuskyvystä. Altistuneilla työntekijöillä on todettu esiintyvän hengitysteiden ärsytysoireina yskää, limannousua, nuhaa ja hengenahdistusta sekä silmien ärsytysoireita. (Douwes ym. 2003, Laitinen 2008, Liebers ym. 2006a, Spaan ym. 2006, Health Council of the Netherlands 2010) Yleisoireina voi esiintyä mm. kuumetta, väsymystä, päänsärkyä sekä lihas- ja nivelkipuja. Altistukseen liittyviä sairauksia ovat allerginen alveoliitti, astma, allerginen nuha, krooninen bronkiitti (keuhkoputkentulehdus) ja ODTs. Endoksiinialtistuksen on myös todettu liittyvän keuhkohtaumataudin (COPD, chronic obstructive pulmonary disease) syntyyn (Douwes ym. 2003, Spaan ym. 2005). On kuitenkin huomioitava, että em. sairauksien kehittymiseen liittyy yleensä myös muita orgaanisessa pölyssä olevia biologisia altisteita.

Toisaalta lapsuudessa tapahtuneen endotoksiinialtistuksen on osoitettu olevan myös suojaava tekijä myöhempiä atopiariskiä esim. allergioita ja astmaa vastaan (mm. von Mutius ym. 2000, Douwes ym. 2003, Spaan ym. 2006, Haahtela 2007, Liebers ym. 2006a, Liebers ym. 2006b).

3.2.1.1 Bakteri-, aktinobakteeri- ja endotoksiinipitoisuuksia biopolttoaineiden tuotantoprosesseissa

Tanskassa on tehty muutamia tutkimuksia biopolttoaineiden, kuten oljen ja hakkeen, varastoinnista, käytöstä ja työntekijöille aiheutuvasta altistumisriskistä (mm. Madsen ym. 2004, Madsen 2006b, Sebastian ym. 2006, Madsen ym. 2009). Tutkimuksissa bakteereja, mukaan lukien aktinobakteereja, sekä endotoksiineja on todettu esiintyvän korkeinkin määrinä biopolttoaineista muodostuvassa kokonais- ja hengittyvässä pölyssä. Madsen ym. (2004) tutkivat erilaisista biopolttoaineiden käsittelyssä syntyvää pölyä, sen mikrobiologista laatua sekä partikkelien määrä ja laatua (esim. endotoksiinit, bakteri- ja sienimassa). Tutkimuskohteina oli haketta (kuusi- ja mäntyhaketta), olkea (vehnä) sekä sahanpurusta valmistettuja brikettejä ja pellettejä. Pölyn muodostusta tutkittiin koeolosuhteissa, sekoittamalla materiaalia rummussa ja mittaamalla muodostuvan pölyn määrää ja laatua. Kokeissa todettiin oljesta lähtevän enemmän pölyä kuin muista tutkituista biopolttoaineista; mitattuna mm. bakteerien, aktinobakteerien, endotoksiinin ja muramiinihapon sekä partikkeleiden ja pölyn määränä. Tutkimuksen tuloksia on esitetty taulukoissa 5 ja 6. Bakteerien kokonaismäärät olki- ja hakepölynäytteissä olivat moninkertaisia ($9,3 \cdot 10^6$ - $46 \cdot 10^6$ kpl/mg pölyä) verrattuna briketti- ja pelletinäytteissä todettuihin. Vastaavasti myös elävien bakteerien määrät olki- ja hakepölyssä olivat korkeampia kuin briketti- ja pellettipölyssä. Endotoksiinipitoisuudet olkinäytteistä vapautuneessa pölyssä olivat maksimissaan 3 610 EU/mg pölyä, hakkeessa 1 280 EU/mg pölyä, pelletissä 27 EU/mg pölyä ja briketeissä alle määritysrajan. Mittaustulosten perusteella oli laskennallisesti arvioitu oljesta hengitysilmaan vapautuvan endotoksiinin ja bakteerien määrää, jos pölyn määrä ilmassa olisi 3 mg/m^3 , joka vastaa tanskalaista työhygienistä raja-arvoa orgaaniselle pölylle; endotoksiinin pitoisuus vaihtelisi välillä 2 860–10 840 EU/m³ ja bakteerien kokonaismäärä $70 \cdot 10^6$ - $140 \cdot 10^6$ kpl/m³. Tutkimustulosten perusteella Madsen ym. (2004) totesivat, että työntekijät voivat altistua biopolttoaineiden, erityisesti oljen ja hakkeen, käsittelyssä sellaisille bakteri- ja endotoksiinipitoisuuksille, jotka voivat aiheuttaa esim. silmä-, nenä ja hengityselinoireita sekä terveysvaikutuksia.

Sebastian ym. (2006) käyttivät tutkimuksissa samaa menetelmää kuin Madsen ym. (2004), tutkiessaan biopolttoaineiden pölyämistä koeolosuhteissa. Tutkittavina polttoaineina oli 11 kuukautta ulkona varastoitua paalattua olkea sekä peittämättömänä kasalla varastoitua mänty- ja kuusihaketta. Polttoaineista otettiin eri kohdista (esim. paalin tai kasan sisä- ja ulko-osista)

näytteitä neljä kertaa ja niistä analysoitiin mm. bakteerien ja endotoksiinien sekä sienten ja ergosterolin määrää. Kuten Madsenin ym. (2004) tutkimuksissa, todettiin bakteerien määrän olevan suurempaa olki- kuin hakepölyssä (taulukko 5). Sen sijaan sienten määrät eivät merkittävästi poikenneet olki- ja hakepölyissä. Sekä olkipaalien että hakekasojen sisältä otetuissa näytteistä muodostui enemmän pölyä kuin ulko-osista otetuissa näytteissä, joten tutkijat suosittelivat polttoaineiden säilyttämistä muuten kuin kasoissa tai aumoissa. Hakekasojen sisäosissa havaittiin myös merkittävää termofiilisen *A. fumigatus*-homesienen lisääntymistä, todennäköisesti hakekasan lämpenemisen seurauksena. Tutkimuksessa todettiin johtopäätöksensä, että biopolttoaineita käsittelevät työntekijät altistuvat pölylle, joka sisältää korkeita mikrobipitoisuuksia ja että biopolttoaineiden varastoinnin välttäminen kesällä ulkoilmassa vähentäisi pölyn määrää ja samalla myös työntekijöiden mikrobialtistusta.

Madsenin (2006b) selvityksessä työntekijöiden altistumisesta bakteereille ja endotoksiineille (sekä homesienille) biopolttoaineita käyttävissä voimalaitoksissa todettiin, että henkilöiden altistumistasot vaihtelevat käytettävästi polttoaineesta sekä työtehtävistä riippuen. Tarkastellut voimalaitokset käyttivät erilaista haketta (mm. kuori- ja metsähaketta) ja olkea. Tutkimuksessa mitattiin työntekijöiden henkilökohtaista altistumista sekä samanaikaisesti tutkittiin laitosalueen ilman pitoisuuksia. Mittauksia tehtiin keväällä ja syksyllä alueilla, joissa käsiteltiin, ja alueilla, joissa ei käsitelty polttoaineita sekä taustapitoisuuksia laitoksen ulkopuolella. Tuloksia on esitetty taulukoissa 5 ja 6. Kohonneita bakteeripitoisuuksia todettiin kaikilla biovoimalaitosten työskentelyalueilla, joissa haketta tai olkea käsiteltiin. Mediaanipitoisuus kaikilla laitosalueilla oli kokonaisbakteereille $118 \cdot 10^4$ kpl/m³ ja eläville bakteereille $2,3 \cdot 10^4$ CFU/m³. Meso- ja termofiilisten aktinobakteerien kokonaismäärä laitosalueen ilmassa oli $1 \cdot 10^4$ kpl/m³ (mediaani) ja elävien aktinobakteerien kokonaismäärä $1,8 \cdot 10^4$ CFU/m³. Taustapitoisuudet laitosten ulkopuolella sekä bakteereille ja aktinobakteereille olivat hyvin pieniä, useimmissa mittauksissa alle määritysrajojen. Työntekijät altistuivat voimakkaimmin bakteereille työskennellessään olkisilppurilla ja mitattujen bakteerien maksimipitoisuus henkilökohtaisessa altistusmittauksessa oli hyvin korkea, $32\,627 \cdot 10^4$ CFU/m³ (kokonaisbakteerimäärä noin $137\,000 \cdot 10^4$ kpl/m³). Kaikkien henkilökohtaisten altistusmittausten mediaanipitoisuus (n=32) oli $2,5 \cdot 10^4$ CFU/m³. Henkilökohtainen altistuminen termofiilisille aktinobakteereille oli keskimäärin (mediaani) $1,34 \cdot 10^4$ CFU/m³ ja mesofiilisille aktinobakteereille $0,73 \cdot 10^4$ CFU/m³.

Madsenin (2006b) tutkimuksessa työntekijöiden endotoksiinialtistus (n=32) vaihteli välillä 2-119 000 EU/m³ (mediaani 55 EU/m³ ja keskiarvo 5 355 EU/m³). Korkein endotoksiinien altistustaso mitattiin henkilöltä, joka työskenteli olkisilppurilla ja matalimmat tasot laitosten toimistotyöntekijöiltä. Kohonneita endotoksiinipitoisuuksia mitattiin ilmasta myös esim. hakekuljettimien alueelta. Tutkittujen laitosalueiden ilman endotoksiinipitoisuuksien mediaani oli 66 EU/m³ (maksimipitoisuus 21 000 EU/m³), kun samaan aikaan otettujen taustanäytteiden (n=20) mediaanipitoisuus oli vain 2,2 EU/m³ (0,45–14,9 EU/m³). Mediaanipitoisuudet eivät henkilökohtaisissa, eivätkä laitosalueen mittauksissa, ylittäneet ehdotettua endotoksiinien työhygieenistä raja-arvoa (90 EU/m³), mutta keskiarvopitoisuuksissa ylityksiä todettiin.

Jirjisin & Nordénin (2005) tutkivat paalatun hakkuutähdepaalien (risutukkien) varastoinnissa ja käsittelyssä ilmaan vapautuvien mikrobien (bakteerien ja sienten) määrää (taulukko 5). Mittauksissa havaittiin noin 5,5 kuukautta ulkona, peitettyinä varastoiduista risutukeista vapautuvan paalien käsittelyn ja haketuksen yhteydessä ilmaan bakteereja $0,7 \cdot 10^6$ - $1,2 \cdot 10^6$ kpl/m³ ja homesienten itiöitä lähes saman verran (elävien bakteerien määrä $0,03 \cdot 10^6$ - $0,6 \cdot 10^6$ ja sieni-itiöiden määrä $0,2 \cdot 10^6$ - $0,54 \cdot 10^6$ kpl/m³). Tutkimuksessa todettuja pitoisuuksia eivät kirjoittajat pitäneet terveydelle vaarallisina, vaikka todetut pitoisuudet olivat varsin korkeita. Näytteissä tutkituista bakteerilajeista 95 % oli *Streptomyces*-suvun lajeja. Ilmanäytteistä ei

määritetty endotoksiinipitoisuuksia, eikä bakteerien kokonaismääriä tutkittu hakuutähdepaaleista.

Metsätähdepaaleissa varastoinnin aikana tapahtuvia bakteerimäärien muutoksia on tutkittu Suomessa vertaamalla sisä- ja ulkotiloissa varastoituja paaleja (Ajanko-Laurikko & Fagernäs 2006). Tutkimuksissa todettiin mesofiilisten bakteerien lisääntyvän sisätiloissa aluksi (4 kk kuluttua aloittamisesta) nopeammin kuin ulkona, kun myöhemmin (10 kk kuluttua) ulkotiloissa varastoiduissa kasoissa pitoisuudet olivat korkeampia kuin sisätiloissa. Mesofiilisten bakteerien pitoisuudet olivat varsin korkeita kaikissa kasoissa; $1,4-4,0 \cdot 10^9$ kpl/kg kuiva-ainetta (taulukko 5). Termofiilisten bakteerien pitoisuudet kasvoivat ulkona varastoiduissa kasoissa vasta pidemmän varastoinnin jälkeen. Vaikka paalattu materiaali on varastoinnin jälkeen kuivaa ja pölyä käsittelyn aikana hyvin runsaasti ja pölyn mukana myös bakteerit voivat siirtyä hengitysilmaan, ei tutkimuksessa määritetty ilmassa esiintyviä pitoisuuksia.

Alvarez de Davillan (1999) selvitti ilman mikrobi- ja pölypitoisuuksia ruotsalaisissa lämpövoimalaitoksissa. Voimalaitokset käyttivät polttoaineena mm. puupellettejä ja olkea. Pölymittausten tuloksia on esitetty kappaleessa 3.3.3 ja sienianalyysointien tuloksia kappaleessa 3.2.2. Puupellettejä käyttävissä laitoksissa sisäilman kokonaisbakteerien määrät vaihtelivat välillä $6 \cdot 10^3-9,4 \cdot 10^4$ kpl/m³ (taulukko 5) Pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin Madsenin (2006b) tutkimuksissa havaitsemat. Laitosrakennusten ulkopuolella kokonaisbakteeripitoisuudet olivat noin $7 \cdot 10^3$ kpl/m³. Laitoksissa korkeimpia bakteeripitoisuuksia mitattiin polttoaineen vastaanottohalleissa. Ilmanäytteissä tunnistettiin mm. *Bacillus*-, *Streptomyces*- ja *Pseudomonas*-sukujen lajeja.

Ajanko-Laurikko & Fagernäs (2006) tutkivat työntekijöiden altistumista endotoksiineille biopolttoaineiden tuotantoprosessien eri vaiheissa. Tutkimuksessa mitattiin työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä endotoksiinien lisäksi myös mm. homesienten pitoisuuksia (kts. kappale 3.2.2.) ja hengittyvän pölyn (kts. kappale 3.3.1.) määrä. Kohonneita endotoksiinipitoisuuksia havaittiin kaikissa tutkituissa työvaiheissa ($9,3-1\,300$ EU/m³), mutta varsinkin risutukki- ja kantokuormien purkamisvaiheessa voimalaitoksella ilman pitoisuudet olivat korkeita (taulukko 6). Näissä työvaiheissa myös mesofiilisten bakteerien, ja erityisesti aktinobakteerien, pitoisuudet olivat korkeita (taulukko 5).

Toisessa Ajanko-Laurikon (2009) tutkimuksessa mitattiin endotoksiinien määrää ilmanäytteissä eri bioenergiamateriaalien käsittelyvaiheissa (taulukko 6). Tutkittavat näytteet oli kerätty työntekijän hengitysvyöhykkeestä tai koneen ohjaamon/hytin ilmasta. Ruokohelven käsittelyssä korkeimmat endotoksiinipitoisuudet (maksimi 110 EU/m³) todettiin niiton yhteydessä. Helven murskauksen aikana otetuissa näytteissä pitoisuudet olivat pienempiä. Kantojen osalta nostotilanteessa otetuissa näytteissä endotoksiinien pitoisuudet olivat huomattavasti pienempiä (<4 EU/m³) kuin murskaustilanteissa (maksimipitoisuus oli 440 EU/m³). Analysoiduissa näytteissä sekä mikrobien kokonaispitoisuuksissa että endotoksiinipitoisuuksissa todettiin kuitenkin varsin suurta vaihtelua. Risutukkien murskauksen aikana mitatut endotoksiinipitoisuudet olivat pienempiä kuin aikaisemmassa tutkimuksessa (Ajanko-Laurikko & Fagernäs, 2006), vaihdellen välillä $9,5-140$ EU/m³. Näissä kahdessa tutkimuksessa todettiin kuitenkin kaikissa tarkastelujen bioenergiamateriaalien käsittelyvaiheissa endotoksiinipitoisuuksia, jotka ylittivät ehdotetun endotoksiinien työhygieenisen raja-arvon (90 EU/m³).

Taulukko 5. Kirjallisuudessa ilmoitettuja bakteeripitoisuuksia bioenergian tuotantoprosesseissa.

Pitoisuus	Matriisi/mittaus-paikka	Lähde	Muuta huomioitavaa
$6 \cdot 10^6$ - $9,4 \cdot 10^6$ kpl/m ³	sisäilma; puupellettejä käyttävä voimalaitos	Alvarez de Davilla 1999	kokonais määrä
$7 \cdot 10^3$ kpl/m ³	ilma; laitosalueen ulkopuolella	Alvarez de Davilla 1999	kokonais määrä
$46 \cdot 10^6$ kpl/mg	olkipöly	Madsen ym. 2004	bakteerien kokonais määrä (n=4)
$9 \cdot 10^6$ kpl/mg	hakepöly	Madsen ym. 2004	bakteerien kokonais määrä (n=2)
<määrittäysrajan	briketti- ja pellettipöly	Madsen ym. 2004	bakteerien kokonais määrä
$8 \cdot 10^4$ - $3,1 \cdot 10^6$ CFU/mg	olki- ja hakepöly	Madsen ym. 2004	elävien bakteerien kokonais määrä
20–60 CFU/mg	briketti- ja pellettipöly	Madsen ym. 2004	elävien bakteerien kokonais määrä
$70 \cdot 10^6$ - $140 \cdot 10^6$ kpl/m ³	hengitysilma	Madsen ym. 2004	laskennallinen elävien bakteerien kokonaispitoisuus
$0,7 \cdot 10^6$ - $1,2 \cdot 10^6$ kpl/m ³	ilma; risutukkien käsittely/haketus	Jirjis & Nordén 2005	bakteerien kok. määrä
$0,03 \cdot 10^6$ - $0,6 \cdot 10^6$ CFU/m ³	ilma; risutukkien käsittely/haketus	Jirjis & Nordén 2005	elävien bakteerien määrä
$118 \cdot 10^4$ kpl/m ³ ($146 \cdot 10^6$ kpl/m ³)	biovoimalaitosten työskentelyalueet	Madsen ym. 2006b	bakteerien kokonais määrä; mediaani (keskiarvo), n=88)
$2,3 \cdot 10^4$ CFU/m ³ ($7,2 \cdot 10^4$ CFU/m ³)	biovoimalaitosten työskentelyalueet	Madsen ym. 2006b	elävien bakteerien kokonais määrä; mediaani (keskiarvo), n=88
$1 \cdot 10^4$ kpl/m ³ ($4,2 \cdot 10^4$ kpl/m ³)	biovoimalaitosten työskentelyalueet	Madsen ym. 2006b	mesof. ja termof. aktinobakteerit; mediaani (keskiarvo), n=66
$1,8 \cdot 10^4$ CFU/m ³ ($20 \cdot 10^4$ CFU/m ³)	biovoimalaitosten työskentelyalueet	Madsen ym. 2006b	elävät mesof- ja termof. aktinobakteerit; mediaani (keskiarvo), n=66
$137\,000 \cdot 10^4$ kpl/m ³	hengitysilman pitoisuus	Madsen ym. 2006b	bakteerien (elävien bakteerien)

Pitoisuus	Matriisi/mittaus-paikka	Lähde	Muuta huomioitavaa
(32 627*10 ⁴ CFU/m ³)	olkisilppurilla		maksimipitoisuus; henk. koht. altistus
2,5*10 ⁴ CFU/m ³ (1 109 CFU/m ³)	hengitysilman pitoisuus	Madsen ym. 2006b	henk.koht.altistus; mediaani (keskiarvo), n=32
0,73*10 ⁴ CFU/m ³ (91*10 ⁴ CFU/m ³)	hengitysilman pitoisuus	Madsen ym. 2006b	mesof.aktinobakteerit; henk. koht. altistus, mediaani (keskiarvo)
1,34*10 ⁴ CFU/m ³ (64*10 ⁴ CFU/m ³)	hengitysilman pitoisuus	Madsen ym. 2006b	termo f. aktinobakteerit; henk. koht. altistus, mediaani (keskiarvo)
1,4*10 ³ -4*10 ³ kp/mg	metsätähdepaalit; varastointi	Ajanko-Laurikko & Fagemäs 2006	mesof. bakteerien kokonais määrä
8*10 ⁴ CFU/m ³	hengitysilma/ruokohelven murskaus	Ajanko-Laurikko 2009	aktinobakteerien määrä

Taulukko 6. Kirjallisuudessa ilmoitettuja endotoksiinipitoisuuksia bioenergian tuotantoprosesseissa.

Pitoisuus (EU/m ³)	Matriisi/mittaus-paikka	Lähde	Muuta huomioitavaa
3 610	olkipöly	Madsen ym. 2004	maksimipitoisuus (n=4)
1 280	hakepöly	Madsen ym. 2004	maksimipitoisuus (n=2)
27	pellettipöly	Madsen ym. 2004	maksimipitoisuus (n=1)
2 680–10 840	hengitysilma	Madsen ym. 2004	laskennallinen pitoisuus
0,33	taustapitoisuus kaupunki-ilmassa	Madsen ym. 2006a	mediaani; n=53
5,3	taustapitoisuus biovoimalaitoksen läheisyydessä	Madsen ym. 2006a	mediaani; n= 20
1,3	taustapitoisuus teollisuusalueella	Madsen ym. 2006a	mediaani; n= 68
2,9	taustapitoisuus pellolla	Madsen ym. 2006a	mediaani; n= 18
66 (429)	biovoimalaitoksen laitosalue	Madsen ym. 2006b	mediaani (keskiarvo); n=88
2,2	taustapitoisuus laitosalueen ulkopuolella	Madsen ym. 2006b	mediaani; n=20
119 000 (mediaani 55)	hengitysilma biovoimalaitoksen alueella	Madsen ym. 2006b	maksimi henk.koht. altistusmittaus (mediaani; n=32)
9,3-1 300	hengitysilma; biopolttoaineiden tuotantoprosessit	Ajanko-Laurikko & Fagemäs 2006	henk. koht. mittaus
110	hengitysilma; ruokohelven niitto	Ajanko-Laurikko 2009	
<4	hengitysilma; kantojen nosto	Ajanko-Laurikko 2009	
440	hengitysilma: kantojen murskaus	Ajanko-Laurikko 2009	
9,5–140	hengitysilma; risutukkien murskaus	Ajanko-Laurikko 2009	

3.2.2 Homesienet ja hiivat

Sienet (*Fungi*) ovat laaja ryhmä organismeja, joihin luetaan sienet, homeet ja hiivat. (Black 2004, Fung & Clark 2004, Eduard 2006) Sienisolulla on tuma eli ne ovat eukaryootteja. Koska sienillä ei ole klorofylliä, ne ovat ravinnonsaantinsa turvatakseen riippuvaisia muista, joko elävistä tai kuolleista organismeista. Sienet kierrättävät tehokkaasti ravinteita, joten niillä on merkittävä rooli ekosysteemissä ja sieniä tavataan lähes kaikkialla. Ulkoilman sienistä suuri osa kuuluu *Deuteromyceetti*-luokkaan, kuten *Aspergillus*-, *Cladosporium*- ja *Penicillium*-homesukuihin (Kallunki ym. 2002). Sienet tarvitsevat eläkkeen orgaanisen materiaalin lisäksi happea ja vettä. Lisäksi lämpötilalla on merkittävä vaikutus sienten, kuten muidenkin mikrobien kasvuun. Suurin osa sienistä on mesofiilisiä eli optimaaliset kasvuolosuhteet ovat välillä +15...30 °C. (Eduard 2006) Termofiilisten sienten optimilämpötila on yli +30 °C. Sienet lisääntyvät pääasiassa itiöiden välityksellä, joko seksuaalisen tai ei-seksuaalisen mekanismin avulla (Balck 2004). Sienet vapauttavat itiöitä ilmaan ja pienen kokonsa (tyypillisesti 2-10 µm), ansiosta itiöt voivat kulkeutua ilmassa pitkiäkin matkoja. (Eduard 2006) Ilmassa olevat sienipartikkelit ovat joko yksittäisiä tai aggregoituneita itiöitä, mutta myös rihmaston kappaleita on todettu esiintyvän ilmassa. Koon lisäksi myös itiöiden muoto vaihtelee.

Sienten ja homeiden soluseinä on varsin ohut, tyypillisesti 0,2 µm. (Eduard 2006) Soluseinä sisältää glukaaneja, glykoproteiineja ja lipidejä, joita ympäröi kitiini- tai selluloosakuidut. Ergosterolia, joka on eräs steroli, esiintyy tyypillisesti sienien soluseinissä ja sitä käytetään usein sienibiomassan kemiallisena merkkiaineena. Sienet, kuten muutkin mikrobit tuottavat sekundäärimetaboliatuotteita, jotka eivät ole niille elintärkeitä, mutta ovat hyödyllisiä esim. kilpailutilanteessa. Sekundäärimetaboliatuotteita ovat mykotoksiinit eli sienimyrkyt (kts. oma kappale myöhemmin), entsyymit ja erilaiset orgaaniset haihtuvat yhdisteet (ns. MVOC:t eli mikrobien tuottamat orgaaniset haihtuvat yhdisteet). Esim. useat entsyymit, jotka ovat glykopeptidejä, ovat allergeenejä, ja voivat aiheuttaa allergiariskiä esim. työympäristössä.

Homeet

Homesienet ovat rihmastoina kasvavia mikrobeja ja ne lisääntyvät rihmaston kappaleiden ja itiöiden avulla. (Reiman 2008) Homesienet käyttävät ravinnokseen lähes mitä tahansa orgaanista aineista ja niiden itiöitä tavataan kaikkialla elinympäristössämme. Itiöt ovat kooltaan 2...120 µm ja muodoltaan tavallisimmin pyöreitä tai soikeita. Ulkoilmassa yleisimmin esiintyviä homeita ovat *Penicillium*-, *Cladosporium*-, *Alternaria*- ja *Aspergillus*-sukujen lajit, joita tavataan myös sisäilmassa (Husman ym. 2002, Eduard 2006).

Homeille ei ole asetettu HTP-arvoja. Työympäristöissä, joissa tavataan korkeita homesienipitoisuuksia (esim. maatalous, metsä- ja elintarviketeollisuus sekä jätteiden käsittely), on ilman pitoisuuksien todettu olevan tasolla 10^6 kpl/m³ (10^4 CFU/m³), mutta itiömäärät voivat nousta jopa tasolle 10^8 kpl/m³ (Eduard 2006). Seuraavassa on esitetty eräissä maa- ja metsätalouden työympäristöissä todettuja ilman homepitoisuuksia:

- maatalous: sika-, kana- ja lypsykarjatilat 10^3 – 10^6 CFU/m³
- selluteollisuus (hakkeen käsittely) 10^3 – 10^5 CFU/m³
- polttohakkeen ja -turpeen käsittely lämpövoimalaitoksella 10^3 – 10^6 CFU/m³
- sahateollisuus (kuorimo, hakkuri, sahaamo) 10^2 – 10^4 CFU/m³ (Reiman 2008).

Eduard (2006) on esittänyt sieni-itiöille ns. LOEL-arvoksi (Lowest Observed Effect Level eli alhaisin vaikutuksen aiheuttava altistumistaso) 10^5 kpl/m³. Tällä pitoisuustasolla on todettu alkavan esiintyä keuhkojen toiminnan heikentymistä, hengitystieoireita ja hengitysteiden tulehduksia esim. puuteollisuuden työntekijöillä.

Ulkoilman homeitiöiden kokonaispitoisuudet vaihtelevat vuodenajasta riippuen; talvella tasossa 10 kpl/m³ ja kesällä/syksyllä 10^4 kpl/m³. Elävien homeitiöiden määrä taas vaihtelee kasvukaudella välillä 10^3 – 10^4 CFU/m³ ([OSHA verkkojulkaisu], Swedish Work Environment Authority 1994, Eduard 2006). Homeille ei myöskään ole esitetty asumisympäristön sisäilman terveystasoisia ohjeita tai enimmäispitoisuuksia. Suomessa asunnoissa sisäilman homeiden pitoisuustasoja <150 CFU/m³ voidaan pitää tavanomaisina, 150–500 CFU/m³ kohonneina ja >500 CFU/m³ pitoisuuksia korkeina (Husman ym. 2002, STM 2003).

Sairauksia aiheuttavia homesienilajeja on useita, joista tavallisimpia ovat *Aspergillus*-suvun homesienet ja homesienimyrkkyjä eli mykotoksiineja tuottavat homesienilajit, kuten esim. *Stachybotrys chartarum* ja *Aspergillus versicolor* (Douwes ym. 2003, Haahtela & Reijula, 2009). Sieniallergeenejä on todettu sekä homeitiöissä että rihmastoissa, mutta altistumisen kannalta itiöt ovat tärkeämpiä (Reiman 2008). Homesienillä voi olla ärsyttäviä ja toksisia vaikutuksia limakalvoihin, ja ne voivat aiheuttaa allergista herkistymistä. Infektiota homesienet aiheuttavat vain harvoin (Haahtela & Reijula, 2009). Homeille hengitysteitse altistumiseen on todettu liittyvän mm. epäspesifisiä ärsytysoireita sekä respiratorisia ongelmia, joiden ilmentymiseen todennäköisesti liittyvät mykotoksiinit (Tuomi, 2008). Useiden homesienten, kuten *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum* ja *Aspergillus fumigatis*, tiedetään voivan aiheuttaa allergista herkistymistä ja IgE-syöttösoluvälitteisen yliherkkyyttä, joka ilmenee allergisena nuhana, silmätulehduksena ja astmana (Douwes ym. 2003, Hintikka ym. 2003, Fung & Clark 2003, Eduard 2006). Homesienet voivat aiheuttaa myös nuhan ja astman lisäksi vakavampia keuhkosairauksia, kuten allergista alveoliittia (homepölykeuhko), ODTS:aa sekä erityisesti *Aspergillus*-sienten aiheuttamia allergista bronkopulmonaarista aspergilloosia (ABPA) ja invasiivista aspergilloosia (Douwes ym. 2003, Fung & Clark 2004, Eduard 2006, Haahtela & Reijula, 2009).

Homeiden aiheuttama vakava sairaus, homepölykeuhko, on varsinkin maanviljelijöiden ja karjanhoitajien ammattitauti, mutta myös muissa ammattiryhmissä homepölylle altistuminen voi johtaa sairastumiseen. (Haahtela & Reijula 2009) Kun kosteaksi jäänyt heinä ja rehu homehtuvat, viljelijät altistuvat homepölylle käsitellessään pilaantunutta materiaalia. Vastaavasti puuteollisuudessa homeisen puutavaran käsitteleminen voi aiheuttaa altistumista. Esimerkiksi homehtuneen sahatavaran ja hakkeen on todettu aiheuttaneen niitä käsitteleville henkilöille homepölyaltistumista, ns. hakekasatautia. (Reiman 2008, Haahtela & Reijula 2009, Ajanko-Laurikko 2009) Sahateollisuudessa määrän puun käsittelyssä esiintyy pääasiassa mesofiilisiä sieniä, kun taas kuivan puun käsittelyssä esiintyy sekä mesofiilisiä että termofiilisiä sieniä. Myös haketta ja turvetta käyttävien lämpövoimaloiden työntekijät, jotka työskentelevät esim. lastausasemilla ja varastoissa voivat altistua normaalia korkeammille homepitoisuuksille (Reiman 2008). Homepölykeuhkopotilaista valtaosa toipuu viikkojen kuluessa altistumisen loppumisesta, osalla toipuminen vie kuukausia. (Haahtela & Reijula 2009) Tauti aiheuttaa noin neljännekselle pysyvinä keuhkovaurioina eriasteista fibroosia (sidekudoistumista) ja emfysemaa (ilmapöhö).

Hiivat

Hiivat ovat yksisoluisia, joskus epämääräisinä soluryhmittymänä esiintyviä mikrobeja (Black 2004). Hiivat lisääntyvät pääasiassa kuroutumalla mutta myös jakautumalla (Hintikka ym. 2003). Lisääntyäkseen ne tarvitsevat sokereita, ja sen vuoksi esim. monet elintarvikkeet ovat tyypillisiä hiivojen kasvualustoja. [EVIRA www-sivut]. Hiivat tarvitsevat happea, mutta ne pystyvät toimimaan myös hapettomassa, anaerobisessa ympäristössä.

Mykotoksiinit

Mykotoksiinit ovat homeiden ja hiivojen (ns. mikrosienten) tuottamia haitallisia sekundäärimetaboliitteja (Douwes ym. 2003, Tuomi 2008). Mykotoksiineja esiintyy mikrosienten kasvustoissa ja kasvualustoissa eli esim. homevaurioituneissa elintarvikkeissa ja rakennusmateriaaleissa, mutta myös itiöissä on todettu mykotoksiineja (Eduard 2006, Tuomi 2008). Mykotoksiineja tuottavia sienilajeja tunnetaan tällä hetkellä lajitasolla noin 350 ja yksittäisiä mykotoksiineja on tunnistettu yli 400 (Tuomi 2008). Mykotoksiinit jaotellaan kemiallisen rakenteen mukaan yli 20 mykotoksiiniluokkaan, joista toksisimpia ovat mm. aflatoksiinit, fumosiinit, okratoksiinit, patuliini ja trikotekeenit (Tuomi 2008, Fung & Clark 2004). Mykotoksiinien toksisuus vaihtelee; niiden on todettu olevan mm. toksisia keuhkoille (esim. *Stachybotrys*- ja *Aspergillus*-sukujen tuottamat mykotoksiinit), karsinogeenisia eli syöpää aiheuttavia (esim. *Aspergillus*- ja *Fusarium*-sukujen tuottamat mykotoksiinit) ja teratogeenisiä eli sikiövaurioita aiheuttavia (Douwes ym. 2003, Fung & Clark 2004, Eduard 2006). Ympäristössämme esiintyy kuitenkin useita toksiininmuodostajia ilman, että ne aiheuttaisivat sairastumista ja osa mykotoksiineista on lähinnä vaarallisia vain bakteereille, ja vain vähän ihmiselle (esim. antibiootit) (Eduard 2006, Tuomi 2008).

Maatalousympäristössä ja eräissä teollisuustöissä, joissa on todettu esiintyvän suuria homeitiöpitoisuuksia, on ilma- ja pölynäytteistä löydetty mm. aflatoksiinia (karsinogeeninen), okratoksiinia (aiheuttaa munuaisvaurioita), zearalenonia (estrogeeninen, mutta ei toksisia vaikutuksia) ja tremogeenisiä mykotoksiineja (Eduard 2006, Tuomi 2008). Esimerkiksi *Aspergillus fumigatus*, joka on ympäristössä hyvin tavallinen sieni, on todettu sahateollisuudessa tuottavat ns. tremogeenisiä mykotoksiineja, jotka saattavat aiheuttaa työntekijöille neurologisia oireita (Fung & Clark 2004, Tuomi 2008). Suomessa yleisiä ovat mm. *Fusarium*-, *Trichothecium*-, *Trichoderma*-, *Cephalosporium*- ja *Stachybotrys*-mikrosienille ominaiset trikoteeni-mykotoksiinit, joita on todettu esiintyvän mm. viljan jauhamisen yhteydessä (Tuomi 2008).

Homehtuneissa materiaaleista mykotoksiinit voivat kulkeutua hengitysilmaan materiaaleista vapautuvien homeitiöiden tai homerihmastojen kantamina (Fung & Clark 2004, Tuomi 2008). Mykotoksiinien on todettu aiheuttavan ihmisissä lukuisia akuutteja ja kroonisia oireita, joiden ilmenemistä ei voida selittää allergialla tai sieni-infektioilla (Fung & Clark 2004, Tuomi 2008). Useiden mykotoksiinien tiedetään olevan erittäin myrkyllisiä, joutuessaan ruansulatuskanavaan, mutta hengitystiealtistumisen annosvasteita ei tunneta (Fung & Clark 2004, Tuomi 2008). Todennäköisesti vaikuttavat pitoisuudet hengitysteitse altistuttaessa ovat huomattavasti alhaisempia. (Tuomi 2008) Työympäristön mykotoksiinien ilmapitoisuuksia voidaan määrittää altistumisen arvioinnin tueksi, vaikka annosvasteita hengitystiealtistumiselle ei tunneta, eikä yhdisteille ole käytettävissä kansallisia ohjearvoja.

3.2.2.1 Homesienten pitoisuuksia biopolttoaineiden tuotantoprosesseissa

Homesientien pitoisuuksia eri biopolttoaineiden tuotantoprosesseissa on mitattu useissa tutkimuksissa jo 1990-luvulta lähtien. Taulukossa 7 on esitetty yhteenveto tutkimusten tuloksista. Homesientien lisääntyminen hakkeessa varastoinnin aikana on todettu jo useissa vanhemmissa tutkimuksissa (mm. Kotimaa 1990, Jirjis 1995). Hakkeessa ja hakkeen käsittelyn aikana ilmassa on todettu runsaasti termofiilisiä homesieniä kuten esim. *Aspergillus fumigatus*-homesientä ja mesofiilisiä *Penicillium* spp.-homesieniä (Kotimaa 1990). Termofiilisten sienten lisääntyminen liittyy hakekasojen lämpenemiseen varastoinnin aikana (Kotimaa 1990). Mikrobin lisääntyminen hakekasoissa puolestaan aiheuttaa lämmön nousua ja samalla lisää mm. kasan itsesyttymisriskiä (Jirjis 1995, Norden 2008). Haketta tulisi varastoida myös kuivassa, sillä kosteus lisää homeen kasvua. (Swedish Work Environment Authority 1994, Ajanko & Fagnäs 2006, Norden 2008) Varastointiolosuhteita voidaan parantaa esim. hakekasojen ilmastuksella. Ellei ilmastusta ole mahdollista tehdä, tulisi haketta valmistaa kerrallaan vain tarvittava määrä ja hakkeen raaka-aineen tulisi olla mahdollisimman kuivaa.

Jirjis (1995) vertasi sienten kasvua hakeaumassa, joissa tuuletuksella lämpötila ja kosteus pyrittiin pitämään alhaisempina, normaaliin, tuulettamattomaan varastoaumaan. Aumoja seurattiin 10 viikon ajan, jolloin huomattiin, että sienten kokonaismäärä ilmastoidussa aumassa laski tasolta $4 \cdot 10^7$ kpl/g kuiva-ainetta (ka) tasolle $2 \cdot 10^6$ kpl/g ka. Samanaikaisesti elävien, termofiilisten sieni-itiöiden määrä nousi moninkertaiseksi: tasolta $5 \cdot 10$ kpl/g ka tasolle $13 \cdot 10^5$ kpl/g ka. Elävien, mesofiilisten sieni-itiöiden määrä kasvoi 10 viikon aikana noin 10-kertaiseksi. Ilmastoidussa varastoaumassa elävien, termofiilisten sienten määrä oli 4-kertainen ilmastoimattomaan normaaliin aumaan verrattuna. Ero johtuu todennäköisesti lämpötilan kohoamisesta ilmastoimattomassa aumassa yli $+60$ °C:een, jolloin mikrobiaktiivisuus laskee.

Alvarez de Davillan (1999) ruotsalaisissa lämpövoimalaitoksissa tekemissä mittauksissa todettiin puupellettejä käyttävissä laitoksissa ilman kokonaishomesienipitoisuuksien vaihtelevan välillä $9,7 \cdot 10^3$ – $6,2 \cdot 10^4$ kpl/m³. Kuten bakteeripitoisuudetkin, ovat sienipitoisuudet samaa suuruusluokkaa kuin esim. myöhemmin Madsenin (2006b) tutkimuksissa. Laitoksissa korkeimpia bakteeripitoisuuksia mitattiin polttoaineen vastaanottohalleissa. Näytteissä todettiin mm. *A. fumigatus* ja *A. niger* homesieniä sekä *Penicillium*-suvun lajeja. Pölymittausten tuloksia on esitetty kappaleessa 3.3.1. ja endotoksiinialyysien tuloksia kappaleessa 3.2.1.

Hillebrand & Nurmi (2001) tutkivat varastoitujen hakkuutähteiden mikrobipitoisuuksia. Hakkuutähteestä mitattiin mikrobin pitoisuudet ennen varastointia sekä varastoinnin päätyttyä, haketuksen yhteydessä. Tutkimuksessa todettiin mikrobipitoisuuksien olevan varsin korkeita jo varastoinnin alussa; luokkaa 10^7 kpl/g. Haketusvaiheessa mesofiilisten bakteerien määrä oli kaksinkertainen ja mesofiilisten sienten määrä yli kymmenkertainen hakuutähdevarastokasojen tekohetkeen verrattuna. Termotoleranttien sienten ja aktinobakteerien määrät olivat alhaisempia kuin mesofiilisten (tasolla 10^4 ... 10^5). Kasojen peittämisen todettiin vähentävän sienten ja bakteerien kasvua; peittämättömissä varastokasoissa mesofiilisten sienten pitoisuudet olivat noin 2,5-kertaiset ja mesofiilisten bakteerien noin 4,5-kertaiset, peitettyihin kasoihin verrattuna. Tutkimuksen aikana ei määritetty hengitysilmään joutuvien mikrobin pitoisuuksia.

Poikola ym. (2002) ovat raportoineet korkeita ilman mikrobipitoisuuksia risutukkien murskauksen yhteydessä. Mikrobipitoisuuksia mitattiin sekä murskatusta materiaalista että hengitysilmasta risutukkien varastokasojen purkamisen yhteydessä. Polttoaineen kokonaismikrobipitoisuudet olivat $1 \cdot 10^6$ – $30 \cdot 10^7$ CFU/g, eikä varastointiajalla tai kasojen

peittämisellä todettu olevan merkittävää vaikutusta pitoisuuksiin. Mesofiilisten sienten pitoisuus tiiviisti ladotuissa kasoissa oli kaksinkertainen verrattuna löyhästi ladottuihin. Sen sijaan termofiilisten sienten sekä mesofiilisten ja termofiilisten bakteerien määriin ladontatavalla ei havaittu vaikutusta. Varastokasojen purkamisen yhteydessä kuormaimen hytissä mikrobipitoisuudet olivat alhaisia, $36 \cdot 10^3$ CFU/m³, mutta ulkona risutukkien murskauksen yhteydessä näytteenottajan hengitysilmasta mitatut pitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia, $2 \cdot 10^6$ CFU/m³. Tulosten perusteella tekijät toteavat, että työntekijöiden suojautuminen hengitysilmasta mikrobeilta on tarpeen.

Person ym. (2003) tutkivat metsäkoneiden hyttien ilmanlaatua ja kuljettajien altistumista mm. orgaaniselle pölylle ja homeitiöille perinteisessä hakkuu- ja puunkorjuutyössä. Tutkimuksessa mitattiin homeitiöiden määrää yhteensä 13 ilmanäytteestä; viidestä hytin sisältä otetusta näytteestä, kolmesta ulkoilmanäytteestä sekä kolmesta taustanäytteestä. Homeitiöitä todettiin ohjaamojen sisäilmassa varsin vähän $5 \cdot 10^2$ – $3 \cdot 10^4$ CFU/m³, kun hytin ulkopuolella elävien itiöiden määrät ilmassa olivat noin 10-kertaisia; välillä $9 \cdot 10^3$ – $3 \cdot 10^4$ CFU/m³, joten tulosten perusteella koneiden ilmansuodatuksen voidaan todeta toimineen työn aikana hyvin. Hyttien sisäilmassa todettujen homeipitoisuuksien ei arvioida aiheuttavan työntekijöille terveysriskejä. Kuitenkin korjuutyöskentelyn voitiin todeta aiheuttavan homeiden määrän nousua ilmassa, sillä ulkoilman taustanäytteessä homeitiömäärät olivat selvästi matalampia kuin työmaalla. Lisäksi työmaan ulkoilmassa havaittiin hiukan enemmän eläviä homeitiöitä kuin taustailmassa, mikä arvioitiin johtuvan todennäköisesti siitä, että metsäkone vapauttaa työn aikana puuaineksesta ilmaan homeitiöitä.

Surakka ym. (2004) tutkivat hakkuutähteistä valmistettavan hakkeen tuotantoprosessissa (tähteiden lastaus, kuljetus, haketus ja hakkeen käsittely lämpövoimalassa) tapahtuvaa työntekijöiden altistumista pölylle ja homeitiöille. Tutkimuksessa mitattiin pölypitoisuuksia yhteensä 78 ilmanäytteestä (66 kokonais- ja 12 alveolijaepölynäytettä) ja homeitiöitä yhteensä 81 ilmanäytteestä. Tutkimuksen aikana haketta valmistettiin eri-ikäisestä hakkuutähteestä liikuteltavilla hakettimilla tai vaihtoehtoisesti hakkuutähte toimitettiin hakettavaksi lämpövoimalaan kuorma-autoilla. Hakkuutähteiden lastausvaiheessa todettiin korkeita homeitiöpitoisuuksia sekä kuormaimen hytissä että hytin ulkopuolella; elävien homeitiöiden määrä kuormaimen hytissä oli $2 \cdot 10^6$ CFU/m³ ja ulkoilmassa $4 \cdot 10^6$ CFU/m³. Näytteissä todettiin *Penicillium*-, *Cladosporium*- ja *Trichoderma*-homesienisukujen lajeja. Eri-ikäisiä (9–36 kk) hakkuutähteitä käsitellessä ulkoilman homeipitoisuuksissa havaittiin nousua, kun käsiteltiin vanhempaa materiaalia, mutta tutkimuksissa ei vaihtelun todettu olevan tilastollisesti merkittävää. Sen sijaan kuorma-autojen sisäilmasta mitatut homeipitoisuudet olivat pieniä.

Surakka ym. (2004) havaitsivat korkeita homeitiöpitoisuuksia haketuksen aikana sekä liikuteltavan hakettimen sisä- että ulkoilmassa. Elävien homeitiöiden määrä hakettimen hytissä oli keskimäärin $5 \cdot 10^5$ CFU/m³ (riippuen kasvatusalusta) ja ulkoilmassa $4 \cdot 10^6$ CFU/m³. Samaan aikaan mitattiin myös taustailman homeitiöpitoisuuksia, jotka olivat keskimäärin $6 \cdot 10^4$ CFU/m³. Kaikissa näytteissä todettiin samoja homesienisiä; *Penicillium*-, *Cladosporium*- *Aspergillus*-, *Mucor*- ja *Trichoderma*-sukujen lajeja. Tutkimuksessa mitattiin myös homeitiöiden määrää ilmassa, kun hakkuutähteitä murskattiin lämpövoimalassa kiinteällä murskaimella ja elävien homeitiöiden määräksi todettiin $2 \cdot 10^4$ CFU/m³. Haketta käsitellessä lämpövoimalassa, esim. lapioitaessa haketta polttoainetarastossa, homeitiöiden määrien ilmassa todettiin olevan hyvin korkeita: eläviä homeita $3 \cdot 10^6$ – $1 \cdot 10^7$ CFU/m³.

Jirjis & Nordén (2005) totesivat omissa tutkimuksissaan samaa suuruusluokkaa olevia homeitiöiden pitoisuuksia useita kuukausia varastoiduissa hakkuutähdepaaleissa varastoinnin jälkeen kuin Poikola ym. (kokonaispitoisuudet $2,3 \cdot 10^6$ – $36,5 \cdot 10^6$ kpl/g kuiva-ainetta). Tutkimuksissa verrattiin vihreitä ja ruskeita paaleja ja todettiin, että vihreissä paaleissa sekä

sieni-itiöiden kokonaismäärät, että elävien itiöiden määrät olivat suurempia kuin ruskeissa. Toisin kuin Poikolan ym. (2002) tutkimuksessa, Jirjisin & Nordénin tutkimuksessa havaittiin, että elävien itiöiden määrät olivat varastoinnin jälkeen huomattavasti korkeampia kuin ennen varastointia otetuissa näytteissä; mesofiilisten sieni-itiöiden määrät olivat jopa 200-kertaisia vihreissä paaleissa varastoinnin jälkeen ja termofiilisten jopa yli 2 500-kertaisia. Tutkimuksen yhteydessä mitattiin myös ilman sieni-itiöiden pitoisuuksia hakkuutähdepaalien murskauksen yhteydessä. Sieni-itiöiden kokonaismäärä oli $0,8 \cdot 10^6 - 1,2 \cdot 10^6$ kpl/m³ (eläviä $0,2 \cdot 10^6 - 0,5 \cdot 10^6$ kpl/m³). Näytteissä todettiin esim. *Aspergillus fumigatus*, *A. niger*, *Rhizopus* ja *Penicillium spp* homesienten itiöitä. Toisin kuin Poikola ym. (2002), Jirjis & Nordén totesivat tulosten perusteella, etteivät todetut homesienipitoisuudet ole terveydelle haitallisella tasolla.

Tanskassa on tutkittu työntekijöiden altistumista pölylle sekä biologisille altisteille biopolttoaineiden (mm. olki, hake, pelletit) käsittelyn aikana (mm. Madsen ym. 2004, Madsen 2006b, Sebastian ym. 2006, Madsen ym. 2009). Madsen ym. (2004) tutkivat kokeellisesti eri biopolttoaineita pölyämistä sekoittamalla polttoainetta rummussa ja mittaamalla polttoaineesta irtoavan pölyn määrää ja laatua. Mittauksissa havaittiin hakepölyn sisältävän olkeen, briketteihin ja pelletteihin verrattuna enemmän homesieniä mitattuna sekä kokonaismääränä että elävien itiöiden määränä. Biopolttoaineista todettiin mm. *Aspergillus fumigatus* (esim. olkipölyssä $1,6 \cdot 10^6$ CFU/g pölyä) ja *Cladosporium sp*:tä (esim. olkipölyssä $7,8 \cdot 10^7$ CFU/g pölyä), joka oli vallitseva homesienisuku olkipölyssä. Tutkimustulosten perusteella oli laskettu teoreettisesti, että oljen käsittelystä vapautuisi hengitysilmaan sieniä $0,5 \cdot 10^6 - 9 \cdot 10^6$ kpl/m³. Hengitysilmassa ko. tasolla olevat homesienipitoisuudet voivat aiheuttaa silmien ja nenän ärsytysoireita.

Madsenin (2006b) selvityksessä, jossa tutkittiin työntekijöiden altistumista bakteereille ja endotoksiineille (kts. kpl. 3.2.1.), selvitettiin myös homesienialtistusta. Tarkastellut voimalaitokset käyttivät sekä haketta (mm. kuori- ja metsähaketta) että olkea. Tutkimuksessa mitattiin sekä työntekijöiden henkilökohtaista altistumista homeille, että laitosalueen ilman homepitoisuuksia. Laitosten työskentelyalueilla homesieni-itiöiden keskimääräinen pitoisuus oli $12 \cdot 10^4$ kpl/m³ (mediaani) kun taustapitoisuudet laitosten ulkopuolella olivat välillä $0,4 \cdot 10^4 - 1,12 \cdot 10^4$ kpl/m³. Toisin kuin bakteerien ja endotoksiinien kohdalla, suurimmat sieni-itiöiden pitoisuudet todettiin hakkeen, erityisesti kuorihakkeen, käsittelyalueilla. Sieni-itiöiden kokonaismäärät henkilökohtaisissa mittauksissa olivat keskimäärin $21 \cdot 10^4$ kpl/m³ (mediaani), mutta todettu maksimipitoisuus oli erittäin korkea ($1 823 \cdot 10^4$ kpl/m³). Sieni-itiöiden LOEL-arvoksi ehdotetun pitoisuuden (10^5 kpl/m³), jossa on todettu esim. silmä- ja nenäoireita, ylitti henkilökohtaisista altistusmittauksista lähes 70 %. Termofiilisen *Aspergillus fumigatus*-homeen pitoisuudet olivat henkilökohtaisissa mittauksissa suurimpia haketta käyttävissä laitoksissa; maksimipitoisuus $132 \cdot 10^4$ CFU/m³ (mediaani kaikissa mittauksissa $0,7 \cdot 10^4$ ja keskiarvo $9,4 \cdot 10^4$ CFU/m³).

Ajanko-Laurikon & Fagnäsin (2006) suomalaisissa tutkimuksessa selvitettiin työhygieenisin mittauksin työntekijöiden mahdollisista altistumista biopolttoaineiden tuotantoprosessien eri vaiheissa mikrobeille. Työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä mitattiin mikrobien (mesofiiliset sienet ja bakteerit sekä termotolerantit sienet ja termofiiliset aktinobakteerit) ja endotoksiinien (kts. kpl 3.2.1.) lisäksi hengittyvän pölyn (kts. kappale 3.3.1.) määrä sekä ruokohelven käsittelyn osalta myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia (kts. kpl 3.3.2). Voimalaitoksella mitattiin ruokohelpi-kantoseoksen murskaimen sekä mursketta kuljettavan pyöräkuormaajan kuljettajien altistumista. Mikrobien kokonaispitoisuudet olivat murskaimen kuljettajan hengitysilmassa $0,9 \cdot 10^3$ CFU/m³ ja pyöräkoneen kuljettajan $2 \cdot 10^3$ CFU/m³. Ilmanäytteissä todettiin pääasiassa mesofiilisiä ja termotoleranteja sieniä (päälaji *Aspergillus fumigatus*). Toinen tutkimuskohde oli risutukkien käsittely; varastokasan kuormaus autoon ja kuormien purku voimalaitoksella sekä

risutukkikuormien siirtäminen/purku terminaalista kuljettimelle. Kaikki mittaukset tehtiin kuljettajien hengitysvyöhykkeellä. Varastokasan kuormausvaiheessa mikrobipitoisuus oli varsin korkea $0,6 \cdot 10^6$ CFU/m³ ja todetut mikrobit olivat pääasiassa mesofiilisiä ja termotoleranteja homesieniä (mm. *A. fumigatus*, *A. niger* ja *Penicillium*). Voimalaitoksella risutukkikuormien purkamisen yhteydessä mitatut kokonaismikrobipitoisuudet olivat myös korkeita; $6 \cdot 10^6$ - $9 \cdot 10^6$ CFU/m³. Myös näissä näytteissä todetut mikrobit olivat samoja homesieniä kuin edellä (mm. *A. fumigatus*, *A. niger*, *Trichoderma* ja *Penicillium*), mutta lisäksi myös mesofiilisten aktinobakteerien pitoisuus oli kohonnut. Kolmas mittauskohde oli kantojen kuormaus varastoalueella ja kuorman purku voimalaitoksella. Kuorman lastausvaiheessa mikrobien kokonaispitoisuus oli $37 \cdot 10^3$ CFU/m³, mutta voimalaitoksella kuorman purkamisen aikana huomattavasti korkeampi $0,8 \cdot 10^6$ CFU/m³. Myös näissä näytteissä todetut mikrobit olivat pääasiassa samoja mesofiilisiä ja termotoleranteja sienilajeja kuin muissa näytteissä, mutta *Penicillium*-suku oli valtalaji. Mesofiilisten bakteerien määrä oli huomattavasti alhaisempi kuin risutukkien käsittelyn aikana otetuissa näytteissä, mutta kuitenkin koholla. Tutkimustulosten perusteella tekijät suosittelivat työntekijöiden suojautumista mikrobeja vastaan (P3-luokan hengityksensuojain) sekä autojen ja kuormainten ohjaamojen ilmansuodatinlaitteiden kunnosta ja huollosta.

Ajanko-Laurikko (2009) selvitti edellä mainitun tutkimuksen jatkotutkimuksessa tarkemmin ruokohelven, kantojen ja risutukkien käsittelyn hengitysilman mikrobipitoisuuksia eri työvaiheiden aikana. Kantojen nostotilanteessa työntekijän hengitysilmaasta mitatut mikrobipitoisuudet olivat alhaisia, mutta sen sijaan kantojen murskaustiloissa havaittiin autonosturien hyttien sisäilmassa korkeitakin homesienipitoisuuksia; mesofiilisten sienten maksimipitoisuus oli lähes $1,7 \cdot 10^5$ CFU/m³. Ilmanäytteitä otettiin myös risutukkien murskauksen yhteydessä autonosturien hyttien sisäilmasta. Näytteissä todettiin mikrobeja, joiden pitoisuudet hengitysilmassa vaihtelivat huomattavasti. Myös risutukkien murskaustilanteessa ilmassa todettiin eniten mesofiilisiä sieniä, joiden maksimipitoisuus oli noin $1,1 \cdot 10^5$ CFU/m³. Näytteissä todettiin mm. *A. fumigatus*-homesientä. Ruokohelven tuotantoketjussa korjuuvaiheessa ilman mikrobipitoisuudet todettiin varsin alhaisiksi, mutta murskauksen aikana pitoisuudet kasvoivat merkittävästi. Eniten ilmanäytteissä todettiin mesofiilisiä sieniä (mm. *A. fumigatus*- ja *Penicillium*-sieniä); maksimipitoisuus noin $1,1 \cdot 10^5$ CFU/m³. Myös aktinobakteereja todettiin runsaasti (noin $8 \cdot 10^4$ CFU/m³). Ruokohelven käsittelyn yhteydessä oli silmämääräisestikin todettu helven voimakasta homehtumista.

Taulukko 7. Kirjallisuudesta löydettyjä homesieni-itiöiden pitoisuuksia/määriä biopolttoaineiden tuotantoprosesseissa.

Pitoisuus	Matriisi /mittaus paikka	Lähde	Huomioitavaa
$4 \cdot 10^4$ kpl/mg ka ($2,6 \cdot 10^3$ kpl/mg ka)	hake ennen varastointia (jälkeen)	Jirjis 1995	aumaa ilmastoitu 10 vkoa
$5 \cdot 10^3$ kpl/mg ka ($13 \cdot 10^2$ kpl/mg ka)	hake ennen varastointia (jälkeen)	Jirjis 1995	elävien termofiilisten homeiden itiöiden kokonais määrä
$9,7 \cdot 10^3$ - $6,2 \cdot 10^4$ kpl/m ³	ilma/puupellettajä polttava laitos	Alvarez de Davilla 1999	homeitiöiden kokonaispitoisuus
$5 \cdot 10^2$ - $3 \cdot 10^4$ CFU/m ³ ($3 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^5$ kpl/m ³)	ilma/metsäkoneen ohjaamo	Person ym. 2003	elävien itiöiden määrä (kokonais määrä)
$9 \cdot 10^3$ - $3 \cdot 10^4$ CFU/m ³ ($3 \cdot 10^5$ - $4 \cdot 10^5$ kpl/m ³)	ulkoilma/metsäkoneen ulkopuolella	Person ym. 2003	elävien itiöiden määrä (kokonais määrä)
$3 \cdot 10^4$ kpl/m ³	taustailma	Person ym. 2003	itiöiden kokonais määrä
$2 \cdot 10^6$ CFU/m ³ ($3 \cdot 10^6$ kpl/m ³)	ilma/kuormaimen ohjaamo (hakkuutähteen lastaus)	Surakka ym. 2004	elävien itiöiden määrä (kokonais määrä) mm. <i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i> -, <i>Trichoderma</i> -lajeja
$4 \cdot 10^6$ CFU/m ³ ($8 \cdot 10^7$ kpl/m ³)	ulkoilma/kuormaimen ulkopuolella	Surakka ym. 2004	elävien itiöiden määrä (kokonais määrä)
$5 \cdot 10^5$ CFU/m ³ ($9 \cdot 10^5$ kpl/m ³)	ilma/hakettimen ohjaamo (hakkuutähteen haketus)	Surakka ym. 2004	elävien itiöiden määrä (kokonais määrä) mm. <i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i> -, <i>Aspergillus</i> -, <i>Mucor</i> -, <i>Trichoderma</i> -lajeja
$4 \cdot 10^6$ CFU/m ³ ($6 \cdot 10^6$ kpl/m ³)	ulkoilma/hakettimen ulkopuolella (hakkuutähteen haketus)	Surakka ym. 2004	elävien itiöiden määrä (kokonais määrä)
$2 \cdot 10^4$ CFU/m ³ ($1 \cdot 10^5$ kpl/m ³)	ilma/lämpövoimala (hakkuutähteen murskaus)	Surakka ym. 2004	elävien itiöiden määrä (kokonais määrä)
$3 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^7$ CFU/m ³ ($6 \cdot 10^6$ - $2 \cdot 10^7$ kpl/m ³)	ilma/hakkeen lapiointi lämpövoimalassa	Surakka ym. 2004	elävien itiöiden määrä (kokonais määrä)
$7,3 \cdot 10^6$ kpl/mg ($4,15 \cdot 10^6$ CFU/mg)	hakepöly	Madsen ym. 2004	kokonais määrä (elävien itiöiden määrä)
$3 \cdot 10^6$ kpl/mg	olkipöly	Madsen ym. 2004	kokonais määrä
<määritysrajan (22-36 CFU/mg)	briketti- ja pellettipöly	Madsen ym. 2004	kokonais määrä (elävien itiöiden

Pitoisuus	Matriisi /mittaus paikka	Lähde	Huomioitavaa
			määrä)
$0,5 \cdot 10^6 - 9 \cdot 10^6$ kpl/m ³	hengitysilmassa	Madsen ym. 2004	laskennallinen kokonais määrä
$2,3 \cdot 10^3 - 36,5 \cdot 10^3$ kpl/mg ka	varastoidut hakkuutähdepaalit	Jirjis & Nordén 2005	itiöiden kokonais määrä
$2 \cdot 10 - 8,5 \cdot 10^3$ kpl/mg ka	vihreät hakkuutähdepaalit (varastoinnin jälkeen)	Jirjis & Nordén 2005	mesofiilisten homeiden itiöiden kokonais määrä
$0 - 2,6 \cdot 10^3$ kpl/mg ka	vihreät hakkuutähdepaalit (varastoinnin jälkeen)	Jirjis & Nordén 2005	termofiilisten homeiden itiöiden kokonais määrä
$0,2 \cdot 10^6 - 0,5 \cdot 10^6$ CFU/m ³ ($0,8 \cdot 10^6 - 1,2 \cdot 10^6$ kpl/m ³)	ilma/hakkuutähdepaalien murskaus	Jirjis & Nordén 2005	elävien itiöiden määrä (kokonais määrä); mm. <i>Aspergillus fumigatus</i> ja <i>niger</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Penicillium</i>
$12 \cdot 10^4$ kpl/m ³ ($47 \cdot 10^4$ kpl/m ³)	voimalaitoksen ilma	Madsen ym. 2006b	kokonaispitoisuus; mediaani (keskiarvo)
$0,4 \cdot 10^4 - 1,12 \cdot 10^4$ kpl/m ³	taustapitoisuus laitosten ulkopuolella	Madsen ym. 2006b	
$21 \cdot 10^4$ kpl/m ³ ($143 \cdot 10^4$ kpl/m ³)	hengitysilma/henkilökohtainen altistus	Madsen ym. 2006b	kokonaispitoisuus; mediaani (keskiarvo)
$1,7 \cdot 10^5$ CFU/m ³	hengitysilma/kantojen murskaus	Ajanko-Laurikko 2009	mesofiilisten sienten maksimipitoisuus
$1,1 \cdot 10^5$ CFU/m ³	hengitysilma/risutukkien murskaus	Ajanko-Laurikko 2009	mesofiilisten sienten maksimipitoisuus
$1,1 \cdot 10^5$ CFU/m ³	hengitysilma/ruokohelven murskaus	Ajanko-Laurikko 2009	mesofiilisten sienten maksimipitoisuus

3.2.2.2 Juurikäävän torjunta harmaaorvakkasienen avulla

Puubioenergian raaka-ainetta kerätään sekä päätehakkuutyömailta (hakkuutähteet) että energiapuuna esim. harvennushakkuissa. Puunkorjuun yhteydessä suositellaan Etelä-Suomessa kannot käsiteltäväksi juurikääpä-sienen (*Heterobasidion*-suku) leviämisen estämiseksi (Metsäteho 2000, Korhonen & Lipponen 2001). Nykyisin myös energiapuun hakkuussa suositellaan tehtäväksi juurikäävän torjuntaa (Viiri & Piri 2008). Juurikääpä on maailmalaajuisesti levinnyt ja sitä pidetään pahimpina talousmetsiämme lahottavana sienenä. (Metsäteho 2000, Kallunki ym. 2002, [Metla [www-sivut](#); MetInfo-/lahontorjunta]) Suomessa tavattavia juurikäävän lajeja on ns. P-tyyppi (*H. annosum sensu stricto*) eli männynjuurikääpä, joka aiheuttaa männyn tyvitervautia sekä S-tyyppi (*H. parviporum*) eli kuusenjuurikääpä, joka aiheuttaa kuusen tyvilahoa. Juurikäävän aiheuttama lahovikaisuus on runsasta Suomen eteläosissa; Kokkolan ja Kuopion pohjoispuolella sieni on melko harvinainen (Korhonen & Lipponen 2001).

Vanhastaan käytettyjä tehokkaita juurikäävän torjuntakeinoja ovat hakkuiden ajoittaminen talveen, korjuuvaurioiden välttäminen ja puulajin vaihto, mutta nykyisin käytetään pääasiassa kemiallista tai biologista kantokäsittelyä (Metsäteho 2000, Korhonen & Lipponen 2001). Käsittely tehdään nykyisin yleensä levittämällä torjunta-aine hakkuukoneeseen liitetyllä lisälaitteella kaadon yhteydessä suoraan kannon pinnalle, mutta se voidaan tehdä myös käsin esim. reppuruiskulla tai sivelemällä aine kannon pintaan ([Metla [www-sivut](#): MetInfo/lahontorjunta], Metsäteho 2000, Kallunki ym. 2002).

Juurikäävän torjuntaa voidaan tehdä biologisesti harmaaorvakkasienen (*Phanerochaete gigantea*) avulla tai kemiallisesti. (Metsäteho 2000, Korhonen & Lipponen 2001, Viiri & Piri 2008) Biologisena torjunta-aineena käytettävä, juurikäävän luontainen kilpailija, valkolahottajasieni, harmaaorvaka, esiintyy normaalistikin yleisesti Suomen luonnossa. Kantopinnalle levitettynä se estää juurikäävän itiöiden pääsyn kanton ja edelleen puun juuristoon. Suomessa kantokäsittelyainetta myydään kauppanimellä Rotstop (Korhonen & Lipponen 2001, Verdera Oy). Nykyisin käsittelyaine myydään nestemäisenä liuoksena, joka on pakattu annospulloihin, joista tehdään käyttöliuos hakkuukonetta varten sekoittamalla liuos väriaineen kanssa veteen. (Verdera Oy) Valmistajan ohjeissa suositellaan henkilösuojaimina suojakäsineiden käyttöä.

Aikaisemmin, kun käyttöliuos vielä valmistettiin jauheesta, saattoi aineelle altistumista tapahtua ihoaltistuksen lisäksi myös hengitysteitse pakkausten avaamisen yhteydessä. (Kallunki ym. 2002) Tutkimuksessa ei ole havaittu kuljettajien merkittävää altistumista harmaaorvakkasienelle, eikä muillekaan tutkituille mikrobeille (ulkoilman muut kantasienet sekä homesienet, bakteerit ja sädesienet). Todetut mikrobipitoisuudet hakkuukoneenkuljettajien hengitysvyöhykkeessä olivat samaa luokkaa kuin ulkoilmasta otetuissa vertailunäytteissä. Ilmanäytteiden homesienisukujen valtasuku oli *Penicillium*-homesieni. Osalle työhygieenisiin mittauksiin osallistuneista kuljettajista tehtiin vasta-ainetutkimus (IgE- ja IgG-luokan vasta-aineet) harmaaorvakkasientä, sekä muita ilmanäytteissä tunnistettuja mikrobeja vastaan. Ainetta käsitelneiden kuljettajien näytteissä ei todettu välitöntä allergiaa kuvaavan IgE-luokan vasta-ainetasojen nousua harmaaorvakkasienelle, joten käsittelyaineen käytön ei todettu aiheuttaneen herkistymistä ko. mikrobia kohtaan. Lievää IgG-luokan vasta-ainetasojen nousua havaittiin, mutta ero käsittelyainetta käyttämättömään ryhmään ei ollut merkittävä. Samassa tutkimuksessa tutkittiin myös mm. hakkuukoneiden teräketju- ja hydraulikkaöljyjen sekä kantokäsittelyaineen käyttöliuoksen mikrobipitoisuuksia.

3.2.3 Eläimistä ihmiseen tarttuvat taudit

Yleisesti maa- ja metsätaloustöihin liittyviä muita biologisia vaaratekijöitä ovat erilaiset eläimistä ihmiseen tarttuvat taudit eli zoonoosit [TTL www-sivut]. Eläinten levittämät taudinaiheuttajat voivat olla esim. viruksia, bakteereita, alkueläimiä ja loisia [zoonoosikeskus www-sivut]. Omassa isäntäeläimessään taudinaiheuttaja ei aina aiheuta oireista tautia, mutta ihmiseen tarttuessaan tauti voi aiheuttaa hyvin rajoituneen sairauden [THL www-sivut]. Ulkotöitä tekevät voivat työympäristössä altistua erilaisille hyönteisten puremille sekä hyönteisten ja selkärankaisten levittämille bakteereille ja viruksille, jotka aiheuttavat sairauksia. Esimerkiksi metsä- ja maataloustyöntekijät ovat yksi suurimmista riskiryhmistä altistua punkkien välityksellä leviävälle taudille (Buczek ym. 2009). Seuraavassa on lyhyesti käsitelty sellaisia eläinten välityksellä leviäviä tauteja sekä eläinten puremia, joille biopolttoaineiden parissa työskentelevät voivat mahdollisesti Suomessa altistua.

Hyönteisten levittämät taudit

Yksi mahdollinen hyönteisten levittämä tauti on puutiaisaivotulehdus (puutiaisaivokuume tai Kumlingen tauti), jota levittää Suomessa pääasiassa *Ixodes*-suvun puutiaisen (punken) puremasta tarttuva TBE-virus (Tick-Borne Encephalitis-virus). Puutiaisaivotulehduksen yhdeksi riskiryhmäksi Suomessa on katsottu mm. metsurit. (Kansanterveyslaitos 2003) Virus tarttuu jo pureman alkuvaiheessa punkin syljestä. Suomessa virusta levittävää *Ixodes ricinus* -punkkia esiintyy Kokkola-Ilomantsi-linjan eteläpuolella, paikoin myös pohjoisempana. Punkeista vain vajaa prosentti kantaa TBE-virusta. Taudin oireita ilmenee vain 10–30 %:lla tartunnan saaneista [THL www-sivut]. Vuosittain todetaan noin 10–40 puutiaisaivotulehdustapausta, erityisesti Ahvenanmaalla ja Turun saaristossa (Kansanterveyslaitos 2003) Puutiaisaivotulehdus on viruksen aiheuttama enkefaliitti eli aivokuume. Koska kyseessä virustauti, ei siihen ole tarjolla lääkehoitoa, mutta taudin ehkäisyyn on olemassa rokote. [THL www-sivut] Pureman jälkeen noin viikon kuumeettoman jakson jälkeen 20–30 % sairastuneista saa varsinaisen aivokuumeen, jonka hoito vaatii sairaalahoitoa. Kuolleisuus puutiaisaivotulehdukseen on hyvin pieni, noin 0,5–1 %. Suurelle osalle varsinaiseen aivokuumeeseen sairastuneista voi jäädä pitkäkestoisia ja osalle jopa pysyviä keskushermosto-oireita, mm. muisti- ja keskittymisvaikeuksia, kuulovaurioita, raajan halvauksia ja lihasheikkous. Kerran sairastettu tauti jättää elinikäisen suojan eli immunitetin.

Ixodes-suvun punkit levittävät myös *Borrelia*-sukuun kuuluvaa spirokeettabakteeria (*Borrelia burgdorferi*). [THL www-sivut] Bakteeri voi aiheuttaa ihmiselle infektiotaudin, jota kutsutaan borreliosiksi tai Lymen taudiksi. Eniten borreliositapauksia esiintyy Etelä-Suomessa ja Ahvenanmaalla ja tapausten on todettu lisääntyneen viime vuosien aikana. Suomessa borrelian esiintyvyys punkeissa vaihtelee välillä 10–50 %. Taudin itämisaika punkin puremasta ensioireisiin on 3–32 vuorokautta. Noin puolella tartunnan saaneista pureman alueelle kehittyy punoittava, laajeneva, tyypillisesti ympyrämäinen ihottuma. Taudin varhaisvaihe voi olla myös oireeton tai siihen liittyy vain flunssankaltaisia yleisoireita. Hoitamattomana borreliosio voi johtaa myöhäisborreliosiiin, jossa on hyvin monenlaisia oireita ihossa, hermostossa, nivelissä tai sydämessä. Tautiin ei ole rokotetta, mutta sitä voidaan hoitaa antibiooteilla.

Pogostantauti tarttuu hyttysenpistojen välityksellä. ([THL www-sivut, [zoonoosikeskus www-sivut]) Tautia aiheuttaa alfaviruksiin kuuluva *Sindbis*-virus, jonka isäntinä ovat linnut. Ensimmäiset oireet ilmaantuvat noin viikon kuluttua hyttysenpistosta ja tauti alkaa yleensä ihottumalla. Sairastuneelle voi tulla kuumetta ja samaan aikaan yksi tai muutama nivel kipeytyy. Ihottuma ja kuume häviävät muutamassa päivässä, mutta nivelkipu saattaa kestää

jopa kuukausia. Koska tauti on viruksen aiheuttama, ei siihen ole täsmälääkettä. Nivelkipuja ja ihottumaa lievitetään lääkkeillä. Suomessa pogostantautia esiintyy eniten Pohjois-Karjalassa, Savossa ja Keski-Suomessa. Tautia on esiintynyt runsaasti seitsemän vuoden välein ja huippuvuosina sairastuneita saattaa olla tuhansia.

Myyräkuume

Myyräkuume on munuaisoireinen verenvuotokuume, jota aiheuttaa metsämyyrien levittämä Puumala-virus ([THL www-sivut], [zoonosikeskus www-sivut]). Metsämyyrät erittävät Puumala-virusta virtsaansa ja ulosteisiinsa [THL www-sivut]. Ihmisiin virus tarttuu yleensä hengitysteitse, kun hengitysilmaan pääsee jyrksijöiden eritteitä sisältävää aerosolia/pölyä (Husman ym. 2002, Viiri & Piri 2008, [THL www-sivut]). Myyräkuume on rajuoireinen kuumesairaus, jonka oireita ovat päänsärky, lihaskivut sekä häiriöt munuaisten toiminnassa. (Husman ym. 2002) Taudin itämisaika on 2-4 viikkoa. Rokotetta tai lääkettä ei ole, mutta sairastettu tauti antaa todennäköisesti elinikäisen immuniteetin. Dialyysihoitoon joudutaan turvautumaan noin 1-5 %:ssa tapauksista. Myyräkuumekuolemat ovat hyvin harvinaisia. Myyräkuume on Suomen yleisimpiä infektioitauteja ja sitä esiintyy kaikkialla aivan pohjoista Lappia lukuun ottamatta. ([THL www-sivut], [zoonosikeskus www-sivut]) Vuosittain Suomessa todetaan tuhatkunta tapausta, eniten Järvi- ja Pohjois-Suomessa. Taudin ilmaantuvuus kuitenkin vaihtelee vuosittain myyräkannan mukaan. Vuonna 2008 työperäisten sairauksien rekisteriin kirjattiin yhteensä 71 myyräkuumetapausta (Oksa ym. 2010).

Jänisrutto

Jänisrutto eli tularemia on *Francisella tularensis*-bakteerin aiheuttama tartuntatauti. ([THL www-sivut, [zoonosikeskus www-sivut]) Suomessa jänisruttotartuntaa välittävät hyönteiset (esim. hyttyset, paarmat, punkit ja mäkärät), pienjyrksijät (esim. myyrät ja hiiret) sekä jänikset. Tavallisimmin tartunta saadaan hyttysenpistosta. Myös kontakti sairaaseen eläimeen ja bakteeria sisältävä ruoka tai juoma voi olla tartunnanlähde. Hengitysteiden kautta tartunnan voi saada hengittämällä bakteeria sisältävää pölyä. Bakteeri voi säilyä elinkykyisenä kuukausia maaperässä, vedessä ja eläinten raadoissa. Taudin itämisaika vaihtelee, ollen keskimäärin 3-5 vuorokautta. Myös taudinkuva vaihtelee tartuntatavasta riippuen. Tavallisin tartuntatapa, hyönteisenpisto, aiheuttaa kuumeen, pistokohtaan kehittyvän paikallisen haavauman ja tulehduksen läheisissä imusolmukkeissa. Keuhkokuumetta esiintyy tyypillisesti hengitysteitse saadussa tartunnassa. Muita tautimuotoja ovat nielun ja kaulan alueen imusolmukkeiden tulehdus tai silmien sidekalvontulehdus. Yli kolmasosalla sairastuneista esiintyy ihottumaa. Tartunta on oireeton 50 % tapauksista. Jänisrutto hoidetaan mikrobilääkkeillä. Jänisruttoa esiintyy jatkuvasti Keski-Suomessa ja Pohjanmaalla; eniten tapauksia ilmoitetaan elo-syyskuussa. Taudin ilmaantuvuus vaihtelee vuosittain muutamasta kymmenestä lähes tuhanteen tapaukseen. Vuonna 2008 työperäisten sairauksien rekisteriin kirjattiin yhteensä kahdeksan jänisruttotapausta (Oksa ym. 2010).

Maa- ja metsätaloussympäristössä toimimisen tiedetään lisäävän riskiä sairastua em. taudeista ainakin myyräkuumeeseen. Kun energiapuun korjuu ja käyttö lisääntyy, syntyy palstakasoihin ja tienvarsivarastoihin metsämyyrille suojaisia ja suotuisia turvapaikkoja. (Viiri & Piri 2008) Etenkin kanto- ja latvusmassakasojen on havaittu olevan metsämyyrien suosimia elinpaikkoja ja myyrien pesintä hakkuutähde- ja kantokasojen alle levittää myyrien mukanaan kuljettamia tauteja. Kuivien kanto- ja hakkuutähdekasojen käsittely ja liikuttelu aiheuttaa pölyämistä, joka aiheuttaa ilmakulkeuman kautta varaa energiapuun korjuussa ja kuljetuksessa työskenteleville työntekijöille.

Eläinten puremat

Maa- ja metsätalouden piirissä ja varsinkin ulkona työskentelevät altistuvat myös erilaisten lentävien hyönteisten (esim. ampiaiset, hyttysset, mäkärät, paarmat, hirvikärpäset) pistoilille ilman, että niistä aiheutuu tauteja. Ihmiset reagoivat hyönteisten pistoihin ja puremiin yksilöllisesti. (Hannuksela 2010) Useimpien hyönteisten pistot ja puremat aiheuttavat paikallista punoitusta, turvotusta ja paukamia, johtuen hyönteisten erittämästä myrkystä tai syljen sisältämistä ärsyttävistä aineista johtuen. Reaktiot kestävät tunneista päiviin, mutta allergiaan taipuvat henkilöt voivat myös herkistyä myrkyille tai syljen entsyymeille. Allergiset reaktiot ovat voimakkaampia ja kestävät kauemmin. Suomessa yleisimmin allergiaa aiheuttavia hyönteisiä ovat hyttysset. Tehokkaat hyönteiskarkotteet tehoavat hyttysiin sekä mäkäriin ja polttiaisiin, mutta hirvikärpäsiin ja pistiäisiin karkotteet eivät tehoa (Hannuksela 2010, Majamaa 2008).

Hirvikärpäset, joiden määrä ja levinneisyys on viime vuosikymmenien aikana voimakkaasti lisääntynyt, aiheuttavat ongelmia luonnossa liikkuville syyskesällä. (Reunala ym. 2008, Hannuksela 2010, Majamaa 2008) Ne hakeutuvat hiuspohjaan ja vaatteiden alle, joten niiden puremat sijaitsevat lähinnä pään alueella ja selässä. Hirvikärpäsen puremakohtaan tulee näppy, joka voi märkiä ja kestää useita vuorokausia, ja osalle kehittyy jopa kuukausia kestäviä kyhmyjä. Monet puremille altistuneet myös herkistyvät hirvikärpäsen puremille ja saavat kutisen, vuosittain toistuvan ihottuman. (Reunala ym. 2008) Esimerkiksi kaakkoissuomalaisista metsureista joka kolmannen on todettu saaneen hirvikärpäsihottumaa.

Pistiäiset eli ampiaiset, mehiläiset ja kimalaiset ovat allergisten reaktioiden aiheuttajina vaarallisia; pistiäisten myrkyille herkistyminen aiheuttaa vuosittain useita anafylaktisia eli äkillisiä yliherkkyysoireita ja jopa muutamia kuolemantapauksia. (Majamaa 2008, Hannuksela 2010) Useimmiten pistiäisten pisto aiheuttaa kuitenkin vain välittömästi kovan kivun ja pistoskohdan turvotuksen. Allergisen reaktion sattuessa käytetään antihistamiinia ja kortisonia. Useita samanaikaisia pistoja saanutta henkilöä on syytä tarkkailla yleisoireiden kehittymisen varalta.

Kyy on Suomen ainoa luonnonvarainen myrkyllinen käärme (Saarelma 2010). Kyy myrkky sisältää kudosta vaurioittavia aineita, jotka aiheuttavat alkuun purema-alueella kudostuhoa ja turvotusta ja myöhemmässä vaiheessa yleisoireita kuten oksennuksia, ripulia, päänsärkyä, jopa tajunnan häiriöitä (Saarelma 2010, Vuori 2010). Purema voi aiheuttaa allergisen reaktion seurauksena nopeasti vakavia oireita, kuten kurkunpään turvotusta ja hengenahdistusta. Pureman uhrille voidaan antaa puremapaikalla hydrokortisonia (ns. kyypakkaus) ja uhri toimitetaan aina lääkäriin.

3.3 KEMIALLISET VAARATEKIJÄT

Suomalaisten työntekijöiden yleisimmät kemialliset altisteet ovat nykyisin pesu- ja desinfiointiaineet, liuotinaineet, erilaiset orgaaniset ja epäorgaaniset pölyt sekä erilaiset kaasut, kuten esim. häkä ja pakokaasut. (Antti-Poika & Rantanen 2006, Hanhela & Yrjänheikki 2008) Pölyt ja muut ilman epäpuhtaudet sekä iholle haitalliset kemikaalit aiheuttavat sairauksia sekä vähentävät työviihtyvyyttä. Työntekijöiden altistumistasot ovat viime vuosien aikana merkittävästi laskeneet ja kemikaaleille altistuminenkin on useilla aloilla vähentynyt. Kuitenkin työympäristöön tuodaan koko ajan uusia aineita (esim. raaka-aineita, prosessien välituotteita ja epäpuhtauksia), jotka voivat olla hyvin reaktiivisia sekä biologisesti aktiivisia ja joiden vaikutuksia ei vielä tunneta.

Kemikaalille altistuminen ei vielä merkitse sairastumista, vaan sairastumisvaara riippuu mm. aineen vaikutuksista, imeytymisestä elimistöön, altistumisajasta ja -tasosta, työtavoista sekä henkilön yksilöllisistä ominaisuuksista (Antti-Poika & Rantanen 2006). Aineen olomuodolla on huomattava merkitys altistumisen kannalta (Riipinen 2008). Useimmat työympäristöissä esiintyvät aineet imeytyvät hengityselimistön kautta, jolloin imeytyvään ainemäärään vaikuttavat mm. aineen haihtuvuus ja siitä johtuva pitoisuus ilmassa sekä sisään hengitettävän ilman määrä. (Antti-Poika & Rantanen 2006, Rantanen 2009) Työn raskaus lisää imeytyntä ainemäärää lisäämällä sekä hengitetyn ilman määrää että keuhkoverenkiertoa. Eräät aineet, kuten esim. torjunta-aineet, imeytyvät tehokkaasti myös ihon läpi. Aineet voivat myös ärsyttää ja syövyttää ihoa tai limakalvoja tai silmien sidekalvoja joko nestemäisinä tai kaasumaisina. Eräät metallit, kuten esim. nikkeli, voivat herkistää ihoa myös metallisessa muodossa, vaikka tavallisimmin herkistäjinä toimivat metallisuolat. Äkillisestä altistumisesta ärsyttävälle kaasulle tai huurulle (esim. typen ja rikin oksidit) voi aiheutua astmaa, joka syntyy ilman herkistymistä ja latenssiaikaa, vuorokauden kuluessa altistumisesta.

Valtioneuvoston asetuksessa kemiallisista tekijöistä työssä (VNa 715/2001) edellytetään kemiallisille tekijöille altistumisen luonteen ja määrän selvittämistä siten, että työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle aiheutuvat riskit voidaan arvioida ja tarpeelliset torjuntatoimenpiteet suorittaa. Ensisijaisesti työpaikalla käytettävistä aineista saadaan tietoja käyttöturvallisuustiedotteista. Työhygieenisten mittausten, kuten esim. kemikaalin pitoisuuden ilmassa, perusteella voidaan selvittää työntekijöiden altistumista, ellei arvioita voida muuten (esim. haastattelut) tehdä luotettavasti. (Antti-Poika & Rantanen 2006, Riihimäki ym. 2008, Rantanen 2009) Kemikaalin pitoisuutta verrataan Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 557/2009 määrättyihin haitalliseksi tunnettuihin pitoisuuksiin (ns. HTP-arvot) tai valtioneuvoston määräämiin sitoviin raja-arvoihin (suurimpiin sallittuihin pitoisuuksiin). Työhygieenisia mittauksia voidaan täydentää biologisilla altistumismittauksilla (ns. biomonitorointi), joissa aineelle altistumista mitataan työntekijän veri-, virtsa- tai uloshengitysnäytteestä. Biomonitoroinnin avulla voidaan kemikaalialtistumisen osalta ottaa huomioon kaikki altistumisreitit (hengitysilma, iho ja ruuansulatuskanava) sekä henkilökohtaiset työskentelytavat, suojainten käytön vaikutukset ja työn kuormittavuuden. Työterveyslaitos on julkaissut kemikaalialtistumisen biomonitorointiin viitearvot altistumattomille sekä määrittänyt toimenpiteiden raja-arvot.

Vuonna 2008 työperäisten sairauksien rekisteriin kirjatusta ammattitauti- tai ammattitautiepäilytapauksesta kemialliset tekijät olivat aiheuttajina lähes 2 600 tapauksessa. (Oksa ym. 2010) Eniten tapauksia aiheuttivat erilaiset orgaaniset pölyt ja altisteet sekä mineraalipölyt, joista asbesti on edelleen yleisin yksittäinen ammattitautien aiheuttaja (760 tapausta). Kemiallisten tekijöiden aiheuttamista ammattitaudeista yleisimpiä ovat erilaiset ihotaudit (Antti-Poika & Rantanen 2006). Vuonna 2008 työperäisten sairauksien rekisteriin kirjatusta ammattitauti- tai ammattitautiepäilytapauksesta oli 20 % ihotauteja, kuten

ärsytyskosketus-, proteiini- ja allergisia kosketusihottumia. (Oksa ym. 2010) Tapauksia aiheuttivat mm. märkätyö, metallit, öljyt ja voiteluaineet, kumi ja kumikemikaalit sekä pesuaineet. Maa- ja metsätaloustoimialalla rekisteröitiin noin 100 ihotautitapausta. Kemiallisista altisteista mm. orgaaniset pölyt (viljat, puu, kasvit, eläimet) aiheuttavat asbestin lisäksi, hengitystieallergioita, joita maa- ja metsätaloustoimialalla rekisteröitiin vuonna 2008 noin 150 tapausta.

Käytännön työterveyshuollon kannalta tärkeimmät kemialliset altisteryhmät ovat hengitysteitä herkistävät sekä ihottumia ja syöpää aiheuttavat altisteet. (Antti-Poika & Rantanen 2006) Vähäisen altistumisen vaikutusta syöpäsairauksien syntyyn tai lisääntymiseen ei vielä tunneta tarpeeksi hyvin. Lisäksi useat kemikaalit aiheuttavat erilaisia työterveys- ja työturvallisuusriskejä palo- ja räjähdysvaarallisuutensa vuoksi. Seuraavassa on lyhyesti kuvattu tavallisimpia kemikaalialtistumisen aiheuttamia sairauksia (kts. myös kappale 3.2).

Hengitystieallergiat

Orgaaniset pölyt (esim. puupöly, eläinpiteelit) ovat tavallisimpia hengitysteitä herkistäviä tekijöitä työympäristössä, mutta myös muut kemikaalit sekä biologiset altisteet (homeet, sienet) voivat aiheuttaa herkistymistä. (Antti-Poika & Rantanen 2006) Oireiden alkamista edeltää aina oireeton latenssi- eli herkistymisaika. Herkistymisen jälkeen oireina voi esiintyä nuhaa, silmien sidekalvon tulehdusta tai astmaa. Nenä- ja sidekalvo-oireet saattavat edeltää keuhko-oireita. Eräät kemikaalit voivat orgaanisten pölyjen tapaan aiheuttaa herkistymistä IgE-välitteisellä mekanismilla, mutta suurimmaksi osaksi mekanismit ovat vielä tuntemattomia. Allergioita ja hengitysteiden yliherkkyysairauksia on lisäksi kuvattu kappaleessa 3.2.

Ihottumat

Allergiset ihottumat ovat suurimmaksi osaksi kosketusihottumia, jotka ovat ulkoisen ärsyttävän aineen tai allergeenin aiheuttamia tulehduksia (Antti-Poika & Rantanen 2006, Hannuksela 2007). Niitä ovat kosketusekseema (aiheuttajat pääasiassa kemikaaleja), kosketusurtikaria (aiheuttajat pääasiassa proteiineja, mutta myös kemikaaleja) ja proteiinikosketusihottuma (aiheuttajat proteiineja). Kosketusihottumia on hitaita ja nopeita. Hidas kosketusihottuma on ekseema, jossa ensimmäiset tulehduksen merkit voidaan havaita 6-12 tunnin kuluttua altistuksen alusta. Nopeat reaktiot sen sijaan voivat alkaa jo parissa minuutissa, saavuttavat huippunsa 15–120 minuutissa ja häviävät muutamassa tunnissa.

Tavallisin työstä johtuva ihottuma on ärsytyskosketusihottuma eli toksinen ekseema. (Antti-Poika & Rantanen 2006). Ärsytyskosketusihottuman syy voi olla esim. ärsyttävä aine kuten pesuaine tai liuotin, vesi, hankaus tai suojakäsineet. Ihottuma on seurausta ihon orvaskeden vaurioitumisesta. Iho kutisee ennen kuin ekseeman merkkejä havaitaan silmin. Sitten iho alkaa punoittaa ja hilseillä, ja siihen voi nousta pieniä, kirkkaita nesterakkuloita, ns. ekseemarakkuloita. Jos ärsytys poistuu, ihottuma parantuu parissa viikossa (Hannuksela 2007).

Allergisen kosketusekseeman aiheuttavat tavallisesti pienimolekyyliset kemikaalit, joskus isomolekyyliset proteiinit. (Hannuksela 2007) Tavallisia allergeeneja ovat mm. monet metallit tai niiden yhdisteet, hajusteet, kumituotteiden valmistuksessa käytettävät ns. kumikemikaalit sekä kosmetiikan ja teknokemian teollisuuden tuotteiden säilytteen. Allergisessa kosketusihottumassa elimistössä on kehittynyt allergia tietylle aineelle. Suurin osa niistä syntyy viivästyneen, soluvälitteisen yliherkkyuden seurauksena. (Antti-Poika & Rantanen 2006) Ekseema alkaa kehittyä 8–12 tunnin kuluttua altistuksesta, ja täyden laajuuden se saavuttaa muutamassa päivässä. Jos altistus loppuu pian ihottuman ilmaantumisen jälkeen, ihottuma häviää 1–2 viikossa. Allerginen ekseema voi myös kroonistua, jolloin ihottuma

jatkuu kuukaudesta ja vuodesta toiseen, vaikka potilas ei olisi tekemisissä allergeenin kanssa. (Hannuksela 2007) Kroonistumisen mekanisme ei tunneta.

Proteiinikosketusihottuma on yleistermi ruoka-aineiden, eläinten, siitepölyjen ja muiden valkuaisaineita sisältävien aineiden aiheuttamalle ihottumalle. (Hannuksela 2007) Ihottuman mekanismina voi olla ärsytys tai nopea tai hidas allergia.

Syöpä

Syöpävaarallisille eli karsinogeenisille aineille altistuu Suomessa noin 0,5 miljoonaa työntekijää. (Kauppinen & Kurppa 2005) Työperäisten syöpien todellista määrää ei Suomessa tunneta, mutta on arvioitu, että 2-3 % syövästä johtuisi työaltistumisesta. Yleisimpiä työperäisiä syöpätyyppejä ovat keuhkosityöpä ja keuhkopussin syöpä. Muita työssä altistumisen aiheuttamia syöpätyyppejä ovat mm. leukemia, ihosyöpä ja nenäsyöpä. Yleisimmät työpaikoilla syöpävaaraa aiheuttavat aineet Suomessa ovat kromi(VI)yhdisteet, nikkeli ja sen epäorgaaniset yhdisteet, asbesti, bentseeni ja polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet) (Antti-Poika & Rantanen 2006, Rantanen & Pääkkönen, 2008). Lisäksi muita syöpävaaralliseksi tunnettuja työperäisiä altisteita ovat esim. ympäristön tupakansavu, kvartsi ja puupöly sekä dieselpakokaasu. (Kauppinen & Kurppa 2005) Em. altisteista aiheutuvien ammattisyöpien määrän on arvioitu hitaasti vähenävän Suomessa tulevaisuudessa, sillä altistuneiden määrät ja osin altistumistasot ovat monien karsinogeenisten aineiden osalta laskeneet.

Työperäisen syövän tunnistaminen yksilötasolla on usein vaikeaa ja syy-yhteyttä voi olla hankala osoittaa. (Antti-Poika & Rantanen 2006) Ammattisyövän todennäköisyyttä arvioitaessa on otettava huomioon sekä työperäinen altistuminen että yleiseen syöpäriskiinkin vaikuttavat tekijät. On otettava huomioon mm. altistumisen kesto ja määrä, syövän latenssi-aika, kasvaimen laatu ja sijainti sekä altistuminen muille, elintapoihin liittyville karsinogeenisille (esim. tupakka).

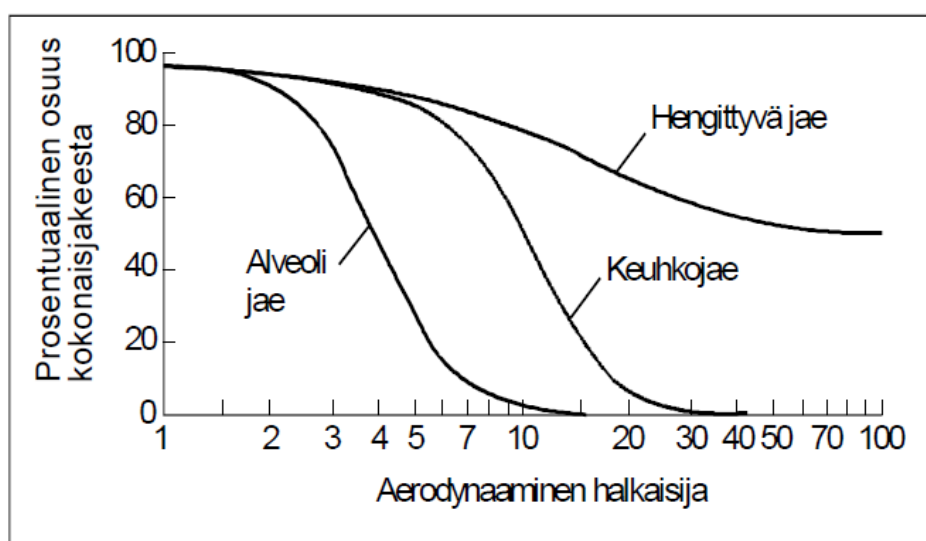
3.3.1 Pölyt

Työterveys- ja turvallisuuslainsäädännössä (mm. Ammattitautiasetus 1347/1988 ja VNa 1485/2001 terveystarkastuksista erityistä sairastumisen vaaraa aiheuttavissa töissä) eläin- ja kasvipölyt (esim. puupöly) luetaan kvartsin, asbestin ja keraamisten kuitujen tavoin kemiallisten altisteiden joukkoon (Antti-Poika 2006).

Aerosolilla tarkoitetaan kaasun, työhygieniassa ilman, ja hiukkasten seosta. (Säämänen ym. 2004, Rantanen & Pääkkönen, 2008) Aerosoleja ovat ilmassa leijuvat pölyt, elolliset hiukkaset (virukset, bakteerit, sieni-itiöt), nestesumut, savut, huurut jne. Pölyllä on useita eri käyttötarkoituksiin luotuja määritelmiä, mutta aerosolitieteissä ja työympäristössä käyttökelpoisen määritelmän mukaan "pölyt ovat kiinteitä partikkeleita, joiden halkaisija on 1 µm ja noin 100 µm välillä ja jotka voivat olla tai tulla ilmassa leijuviksi riippuen niiden alkuperästä, fysikaalisista ominaisuuksista ja ympäristön olosuhteista" (Säämänen ym. 2004, Riipinen 2008). Pölyä syntyy työympäristössä varsinkin erilaisissa mekaanisissa prosesseissa (esim. murskaus, jauhaminen, sahaus, hionta) sekä pölyävän materiaalin käsittelyssä, kuljetuksessa, sekoituksessa (Riipinen 2008, Rantanen & Pääkkönen, 2008). Edellä mainittuja prosesseja ja työvaiheita on useita sekä metsä- että peltobioenergian tuotannossa ja käytössä.

Hiukkasmaisten aineiden haitallisuuteen vaikuttavat hiukkaskoon lisäksi muoto ja pölyn biologinen aktiivisuus (ärsyttävyys, herkistävyys, fibrinogeenisuus) sekä hengitystiheys ja -tapa (työn rasittavuus). (Riipinen 2008, Rantanen & Pääkkönen, 2008) Pölyn kokonaispitoisuus ei yleensä anna riittävästi tietoa pölyn haittojen arvioimiseen, vaan

terveysvaikutukset riippuvat hiukkaskoon lisäksi myös pölyn laadusta eli orgaanisen ja epäorgaanisen aineksen suhteesta sekä kemiallisesta koostumuksesta (esim. kvartsi, metallit). Työpaikkojen ilman hiukkasmaisten epäpuhtauksien aiheuttaman terveysvaaran arvioimiseksi hiukkaset jaetaan kolmeen ryhmään niiden hengitysteihin kulkeutumisen ja kertymisen mukaan: hengittyvä jae eli hiukkaset (koko $>10\ \mu\text{m}$), jotka yleensä voivat joutua hengitysteihin, keuhkojake eli hiukkaset (koko $5\text{-}10\ \mu\text{m}$), jotka kertyvät keuhkoputkistoon sekä alveolijake eli hiukkaset (koko $<5\ \mu\text{m}$), jotka voivat kulkeutua keuhkojen kaasujenvaihto alueelle eli keuhkorakkuloihin asti (Säämänen ym. 2004, Antti-Poika & Rantanen 2006). Kuvassa 23 on esitetty hiukkasten (hengittyvä-, keuhko- ja alveolijake) suhteelliset prosentiosuudet hiukkasten aerodynaamisen halkaisijan funktiona eurooppalaisen standardin EN-481 mukaisesti (NEPSI 2006).



Kuva 23. Hengittyvä-, keuhko- ja alveolijakeet prosentiosuutena hiukkasten aerodynaamisen halkaisijan funktiona (NEPSI 2006).

Hiukkasmaisten ilman epäpuhtauksien työhygieeniset raja-arvot (HTP-arvot) on Suomessa annettu orgaaniselle ja epäorgaaniselle pölylle erikseen; kokonaispölylle ei ole erillistä HTP-arvoa (STM 2012). Yleensä HTP-arvot on asetettu hengittyvälle jakeelle, lukuun ottamatta esim. kvartsia, jonka raja-arvo on annettu alveolijakeelle (STM 2012, Säämänen ym. 2004). Ruotsissa ja Tanskassa on pölyn työhygieeninen raja-arvo annettu myös "ei-spesifiselle" hengittyvälle pölylle, eikä se siis ole spesifioitavissa erikseen orgaaniseksi tai epäorgaaniseksi pölyksi.

Kuitumaiset hiukkaset käyttäytyvät hengityselimissä toisin kuin muut hiukkaset. (Säämänen ym. 2004) Kuitumaisten pölyjen, kuten asbestin, kohdalla kuidun läpimitta ratkaisee pääseekö kuitu keuhkorakkuloihin. Paksuudeltaan alle $3\ \mu\text{m}$:n kuidut voivat tunkeutua keuhkorakkuloihin jopa yli $100\ \mu\text{m}$:n pituisinakin. Huurut puolestaan käyttäytyvät alveolitasolla kuten kaasut ja voivat imeytyä verenkiertoon. Hiukkaset voivat aiheuttaa alveolitasolla tulehdusreaktioita ja keuhkofibroosia. (Antti-Poika & Rantanen 2006) Ylemmissä hengitysteissä pölyt voivat aiheuttaa ärsytysoireita, tulehdusreaktioita ja allergiaa.

Pölyä vaaratekijänä tarkasteltaessa on huomioitavaa myös, että pölyt voivat muodostaa myös palo- ja räjähdysriskin. (Säämänen ym. 2004, Rantanen & Pääkkönen, 2008) Eräät pölylaadut, lähinnä palavasta materiaalista muodostuneet pölyt, voivat muodostaa ilman kanssa räjähtävän seoksen, mikäli pölyn pitoisuus on sopiva. Pölyräjähdysvaaraa aiheuttavia

pölylaatuja ovat esimerkiksi orgaaniset pölyt. Palo- ja räjähdysvaaraa käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.4.3.

Bioenergian parissa työskentelevät henkilöt voivat työssään altistua sekä orgaanisille (esim. ruokohelven ja metsätähteiden korjuu ja murskaus) että epäorgaanisille pölyille (esim. ruokohelpiviljelysten muokkaus ja kylvö sekä kantojen nosto ja käsittely). Kokonaispölypitoisuuksien on todettu useissa tutkimuksissa olevan maatalousympäristössä huomattavasti korkeampia (0,7-95,4 mg/m³) kuin ei-maatalousympäristössä (sisäilmassa 0,02-0,44 mg/m³) ja useissa tutkimuksissa on todettu myös työhygieenisten raja-arvojen ylityksiä (Lee ym. 2006). Altistuksen arviointia varten tulisi kuitenkin tarkastella pölyn partikkeleiden kokojakaumaa ja myös mitata henkilökohtaista altistumista, sen sijaan, että pölymittauksia tehdään usein kiinteissä mittauspisteissä. Pölyaltistumisen tutkimisen haasteena on, että usein altistutaan samanaikaisesti erilaisille pölyjen seoksille, eikä eri pölylaatuja ja niiden terveysvaikutuksia voida aina luotettavasti erottaa toisistaan (Schenker 2000). Lisäksi pölyn määrään ja laatuun vaikuttavat suuresti käytössä olevat työtavat ja -menetelmät sekä ilmasto- ja ympäristöolosuhteet. (mm. Nieuwenhuijsen ym. 1999, Kirkhorn & Garry 2000, Schenker 2000, Persson ym. 2003, Spaan ym. 2006) Altistumiseen vaikuttaa merkittävästi esim. maanmuokkauksen ja sadonkorjuun aikana käytettävien työkonien ja -laitteiden laatu ja kunto esim. traktoreiden ohjaamot, niiden ikkunat ja ovet sekä ilmansuodatus ja suodattimien kunto.

3.3.1.1 Orgaaninen (kasviperäinen) pöly

Laajasti määriteltynä kansainvälisen työlääkätieteen järjestön (International Commission on Occupational Health, ICOH) mukaan orgaaninen pöly määritellään pölyksi, joka koostuu kasvi-, eläin- ja mikrobiperäisistä osista, kuten esim. siitepölyt, kasvien osat, sienet, bakteerit, eläinten ihon osat sekä myko- ja endotoksiinit. (Louhelainen, 2008) Määritelmä kattaa siis sekä orgaanisen että biologisen osan ja raja on häilyvä, koska biologisten tekijöiden aineenvaihduntatuotteet tai rakenneosat, kuten myko- ja endotoksiinit ovat itsessään orgaanisia yhdisteitä. Esimerkiksi viljapöly on monimutkainen seos mm. kasvin kappaleita, hyönteisen osia, eläinten hilsettä ja ulosteita, mikro-organismeja, endotoksiineja ja siitepölyä (Kirkhorn & Garry 2000). Orgaaniselle pölylle on lisäksi ominaista hyvin laaja kokojakauma; <0,01-100 µm (Kirkhorn & Garry 2000, Louhelainen 2008). Seuraavassa kuvataan vain orgaanisen pölyn ja nimenomaan kasviperäisen pölyn aiheuttamia haittoja; biologisten vaaratekijöiden osuus on kappaleessa 3.2.

Bioenergian tuotannossa työskentelevät henkilöt voivat altistua kasviperäiselle orgaaniselle pölylle useissa eri työvaiheissa. Altistuminen on samankaltaista kuin muidenkin maa- ja metsätalouden työntekijöiden. Orgaaniselle pölylle on annettu HTP-arvot 5 mg/m³ (8 h raja-arvo) ja 10 mg/m³ (15 min raja-arvo) (STM 2012). Vertailun vuoksi, Tanskassa orgaaniselle kokonaispölylle raja-arvo on 3 mg/m³ ja Ruotsissa 5 mg/m³ (Danish Working Environment Authority 2007, Swedish Work Environment Authority 2005). Allerginen astma ja nuha ovat klassisia esimerkkejä orgaanisten pölyjen aiheuttamista työperäisistä taudeista. (Louhelainen 2008, Rantanen & Pääkkönen, 2008) Pölyt myös aiheuttavat erilaisia hengityselinten tulehdusreaktioita, hengitysfunktioiden muutoksia, silmäoireita ja muihin elimiin kohdistuvia tulehdusreaktioita. Orgaanisen pölyn ja sen usein sisältämien mikrobin sekä niiden toksiinien ja aineenvaihduntatuotteiden aiheuttamia oireita ja sairauksia on usein vaikea erottaa toisistaan (kts. kappale 3.2. biologiset vaaratekijät).

Puupölylle on nykyisin annettu erillinen HTP_{8h}-arvo, 2 mg/m³ (STM 2012). Puupöly aiheuttaa erilaisia hengitystieoireita, kuten hengenahdistusta sekä yskä- ja keuhkoärsytystä. (Liukkonen ym. 2005, Liukkonen & Lindroos, 2008, Rantanen & Pääkkönen, 2008) Kotimaisista puulajeista syntyvälle pölylle altistuvilla on havaittu pitkittynyttä nuhaa ja yskää

sekä nenän toiminnan muutoksia. Puupölyn on myös todettu aiheuttavan nenäsyöpää; puupöly luokitellaan syöpävaaralliseksi (IARC:n luokka 1). Homehtuneen puun pöly voi aiheuttaa allergisen alveoliitin (homepölykehkon). Puupöly voi myös aiheuttaa allergista ihottumaa ja ärsyttää ihoa mekaanisesti. Myös silmien sidekalvot voivat ärtyä ja herkistyä. Kotimaisten puulajien herkistävyys on todennäköisesti vähäisempää kuin trooppisten puulajien pöly. Puupölylle altistutaan erityisesti puuta työstettäessä, sahauksen, jyrinnän ja hionnan yhteydessä, kun esim. moottorisahatyötä tekevien metsurien altistumisen puupölylle arvioidaan olevan vähäistä. Bioenergian tuotantoprosesseissa ainakin haketusta ja murskausta tekevät sekä esim. haketta lämpö- ja voimalaitoksissa käsittelevät henkilöt voivat altistua puupölylle. Kuvasta 24, jossa haketetaan hakkuutähteitä ja murskataan ruokohelpeä, voidaan todeta, että molempien työvaiheiden aikana muodostuu runsaasti pölyä. Pölyn määrä riippuu esim. materiaalin kuivuudesta.



Kuva 24. Sekä hakkuutähteiden haketuksessa, että ruokohelplin murskauksessa muodostuu runsaasti orgaanista pölyä, jolle työntekijät voivat työvaiheen aikana altistua.

Työntekijöiden altistumista orgaaniselle pölylle perinteisissä metsätöissä, kuten metsäkonetöissä, on selvitetty muutamissa tutkimuksissa. Ruotsissa Persson ym. (2003) tekivät työhygienisiä pölymittauksia eri vuodenaikoina 12 metsäkoneen hytissä; yhteensä tutkittiin 32 pölynäytettä, jotka otettiin samanaikaisesti sekä hytti- että ulkoilmasta. Pölymittauksista suurin osa (26 näytettä) oli kokonaispölyn mittauksia ja osasta (6 näytettä) tutkittiin alveolijaepölyn osuutta. Mittauksen aikana koneissa oli käytössä ilmastointi ja ilma-suodatus. Metsäkoneiden hyttien pölypitoisuudet olivat pieniä, useimmat alle määritysrajan; keskiarvo $0,11 \text{ mg/m}^3$. Samanaikaisesti ulkoilman pölypitoisuuden olivat hieman korkeampia (keskiarvo $0,64 \text{ mg/m}^3$), joten koneiden ilmapuhdistusjärjestelmät toimivat mittausten aikana hyvin. Lisäksi pölyä mitattiin kahdeksasta hyttistä mittarilla, joka ilmoittaa ilman pölypitoisuuden välittömästi. Mittauksissa havaittiin hetkellisiä, korkeampia pölypitoisuuksia, mutta pitoisuudet eivät pahimpaan siitepölyaikaankaan ylittäneet ruotsalaista orgaanisen pölyn työhygienistä raja-arvoa, 5 mg/m^3 . Tekijät totesivat, etteivät tutkimuksessa mitatut pölypitoisuudet aiheuta terveystarve riskiä työntekijöille, mutta toisenlaisessa maastossa, erilaisilla hyteillä varustetuissa metsäkoneissa sekä huonosti huollettujen ilmansuodattimien ollessa kyseessä, voi altistumista tapahtua.

Surakka ym. (2004) mittasivat ilman pölypitoisuuksia hakkuutähteiden käsittelyn sekä hakkeen valmistuksen ja käytön aikana. Tienvarressa tehtävän hakkuutähteen lastauksen aikana mitatut kokonaispölyn ja alveolijaepölyn pitoisuudet olivat alhaisia sekä kuormaimen hytissä (6 mittauksen kokonaispölyn keskiarvo $0,6 \pm 0,3 \text{ mg/m}^3$ ja alveolijae $0,3 \pm 0,1 \text{ mg/m}^3$) että ulkoilmassa ($1,0 \pm 0,6 \text{ mg/m}^3$ ja alveolijae $0,3 \pm 0,2 \text{ mg/m}^3$). Myös kuorma-autojen hyttien pölypitoisuudet olivat pieniä sekä lastauksen että kuljetuksen aikana. Haketuksen aikana

liikuteltavan hakettimen hytissä kokonaispölypitoisuus oli jopa alhaisempi kuin hakkuutähteen lastauksen aikana (16 mittauksen keskiarvo $0,1 \pm 0,1 \text{ mg/m}^3$). Ulkoilman pölypitoisuus oli haketuksen aikana samalla tasolla kuin hakkuutähteen lastauksen aikana (6 mittauksen keskiarvo $0,6 \pm 0,3 \text{ mg/m}^3$). Sen sijaan hakkeen käyttöpaikalla, lämpövoimalassa ilman pölypitoisuudet olivat korkeita: hakevarastossa pitoisuudet olivat keskimäärin $3,2 \text{ mg/m}^3$ ($1,5\text{--}4,9 \text{ mg/m}^3$; 4 mittaus), joka ylittää puupölyn ruotsalaisen työhygieenisen raja-arvon (2 mg/m^3). Puupölyn työhygieeninen raja-arvo ylittyi myös lämpövoimalan piha-alueella tehdyissä mittauksissa. Korkeita pölypitoisuuksia mitattiin myös voimalan tuhkan varastohuoneessa; keskiarvo $13,4 \text{ mg/m}^3$, joka ylittää kokonaispölyn ruotsalaisen työhygieenisen raja-arvon (10 mg/m^3).

Tanskassa on tutkittu työntekijöiden altistumista pölylle sekä biologisille altisteille biopolttoaineiden (olki, hake, pelletit) käsittelyn aikana (mm. Madsen ym. 2004, Madsen ym. 2006b, Sebastian ym. 2006, Madsen ym. 2009). Madsen ym. (2004) totesivat tutkiessaan biopolttoaineiden pölyämistä kokeellisesti, että olki tuotti käsittelyn aikana eniten orgaanista pölyä; oljen muodostuneiden alveolijakeen partikkelien määrä oli moninkertainen hakkeesta muodostuneisiin partikkeleihin verrattuna.

Ajanko-Laurikko (2009) on selvittänyt työntekijöiden altistumista pölylle bioenergiamateriaalien käsittelyssä. Tutkimuksissa ruokohelven käsittelyvaiheessa työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä hengittyvän pölyn pitoisuudet todettiin pieniksi, suurimmillaan 2 mg/m^3 . Suurin pitoisuus todettiin helven murskauksen yhteydessä otetussa näytteessä. Samassa tutkimuksessa tutkittiin pölypitoisuuksia myös kantojen ja risutukkien murskauksen yhteydessä. Kantojen murskauksessa autonosturin ilman hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat myös varsin pieniä, suurimmallaan $7,3 \text{ mg/m}^3$. Risutukkien murskauksessa pölypitoisuudet olivat hyvin alhaisia; suurimmillaankin vain $0,5 \text{ mg/m}^3$. Tutkimuksissa mitattiin vain hengittyvän pölyn kokonaispitoisuuksia, eikä orgaanisen ja epäorgaanisen pölyn osuuksia tarkasteltu erikseen.

Sekä metsä- että peltobiopolttoaineita käytettäessä voivat työntekijät altistua myös turvepölylle, koska metsähaketta ja ruokohelpeä poltetaan usein turpeen kanssa. Selvitettäessä turvetuotannon parissa työskentelevien henkilöiden altistumista turvepölylle, on turvepölyn todettu olevan pääosin hienopölyä; esim. hengitysvyöhykkeen pölynäytteiden alle $5 \mu\text{m}$ hiukkasten osuus (ns. alveolijae) oli 55–99 %. (Louhelainen, 2008) Turvesuolla pölypitoisuudet ovat vähentyneet parantuneiden koneiden rakenteiden ja suojausten myötä, mutta pölyämiseen ja pölyn laatuun vaikuttaa esim. turpeen laatu ja tuotantomenetelmä. Turvetta käytävillä voimalaitoksilla suurimmat pölyongelmat liittyvät turpeen vastaanottoon ja kuljetinjärjestelmiin. Altistumista turvepölylle voi tapahtua polttoaineiden seostuksen yhteydessä tai seospolttoaineen syötössä voimalaitoksilla.

3.3.1.2 Epäorgaaninen pöly (mine raalipöly/kvartsi)

Epäorgaanisia pölyjä ovat erilaiset mineraali-, kivennäis-, metalli- ja lannoitepölyt. Epäorgaanista pölyä pidetään terveydelle vähemmän vaarallisena kuin orgaanista pölyä, mutta pölyn vaarallisuus lisääntyy, jos se sisältää haitallisia epäpuhtauksia kuten esim. kvartssia (Louhelainen ym. 2004). Merkittävää työperäistä altistumista aiheuttavat mm. erilaiset mineraalipölyt, kuten asbesti, teollisuuden käyttämät mineraalikuidut (esim. lasikuitu, lasi- ja vuorivilla) sekä kvartsi (Tossavainen, 2008). Koska bioenergiantuotantoprosesseissa työntekijöiden altistumista mineraalipölyistä aiheuttaa todennäköisesti vain kvartsi, pölyävän maa-aineksen muodossa, käsitellään tässä vain kvartssia.

Kvartsi

Kvartsi on yleisin kiteisen piidioksidin (SiO_2) muoto. (NEPSI 2006, Tossavainen 2008) Se on toiseksi yleisin mineraali maan pinnalla ja sitä löytyy lähes kaikista kivityypeistä. Piidioksidi, joka koostuu vain piistä ja hapestasta, on eräs yleisimmin luonnossa esiintyvistä yhdisteistä. Piidioksidi esiintyy useissa eri muodoissa; yleisesti kiteisessä tilassa mutta myös amorfisessa eli ei-kiteisessä tilassa. Kiteinen piidioksidi on kovaa, kemiallisesti inerttiä ja omaa korkean sulamispisteen, joten näiden ominaisuuksien vuoksi sillä on runsaasti erilaisia teollisia käyttötarkoituksia. Kvartsi on monien kivilajien ja hiekkojen pääainesosa; esim. kvartsiitti ja hiekkakivi ovat lähes yksinomaan kvartsia, tavallinen harjuhiekkä sisältää kvartsia 5-15 %, graniitti 20–40 % sekä savi 5-60 %.

Hengitettävä kiteinen piidioksidi on se ilmakulkuisen kiteisen piidioksidipölyn (esim. kvartsin) jae, joka voi tunkeutua keuhkojen alveolialueelle. (NEPSI 2006) Suuremmat, ei-hengittävät, hiukkaset asettuvat todennäköisemmin hengityselimien pääteihin, joista ne voivat poistua limanerityksen avulla. Kiteisen piidioksidipölyn kohdalla juuri alveolijae huolestuttaa terveysvaikutuksiansa takia, sillä hiukkaset ovat niin pieniä, ettei niitä näe paljaalla silmällä ja levitessään ilmaan, pölyn laskeutuminen kestää kauan. Yksittäinenkin pölypäästö työpaikan ilmaan saattaa johtaa merkittävään ammatilliseen altistumiseen.

Mineraalipölyn on todettu voivan aiheuttaa esim. akuuttia ja kroonista keuhkoputkentulehdusta, hengitysteiden ahtaumaa sekä keuhkojen kudossairauksia (esim. silikoosi), mutta ei orgaanisen pölyn aiheuttamia sairauksia kuten astmaa, homepölykeuhkoa tai ODTS:ää (Schenker, 2000). Pitkäaikainen ja voimakas altistuminen hienojakoiselle kvartsipölylle ($<0,5 \mu\text{m}$) voi aiheuttaa silikoosin eli fibroottisen pölykeuhkosairauden (pneumokonioosi eli pölykeuhko). (Säämänen ym. 2004, NEPSI 2006, Tossavainen 2008) Fibrosoivassa pölykeuhkossa keuhkoihin syntyy arpea eli sidekudosta (fibroosia) ja normaali keuhkokudos tuhoutuu, mikä johtaa hengitysvaikeuksiin ja jossain tapauksissa jopa kuolemaan. Työperäisin kvartsi-altistuminen on todettu lisäävän myös keuhkosyövän vaaraa. Altistuminen kiteiselle piidioksidille sekä sairastuminen silikoosiin lisäävät riskiä sairastua keuhkotuberkuloosiin. Lisäksi kirjallisuudessa on julkaistu tutkimuksia piidioksidialtistumisen mahdollisesta yhteydestä sklerodermaan (autoimmuunihäiriö) ja lisääntyneeseen munuaistaudin riskiin.

Ammatillinen altistuminen hengitettävälle kiteiselle piidioksidille voi tapahtua missä tahansa työtilanteessa, jossa syntyy ilmakulkuista pölyä, joka sisältää hengitettävää kiteistä piidioksidia. (NEPSI 2006) Työntekijät altistuvat kuitenkin harvoin vain puhtaalle kiteiselle piidioksidille, vaan hengitetystä pölystä on mukana myös muita materiaaleja. Kvartsipöly on yleinen haitta työpaikoilla, joilla käsitellään mm. kiveä, hiekkää ja mineraaleja. Altistuvia työntekijöitä on todettu olevan mm. kaivos-, louhinta-, kivi- ja rakennustöissä, ja esimerkiksi Suomessa työskentelee noin 70 000 työntekijää ammattissa, joissa merkittävää altistumista kvartseille voi tapahtua (Tossavainen 2008). Epäorgaaniselle pölylle on annettu $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvoksi 10 mg/m^3 (STM 2012). Erikseen on hienojakoisen kvartsin (alveolijae, hiukkaskoko $< 5 \mu\text{m}$) pitoisuudelle räjäytys- ja louhintatöissä sitova $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvo $0,2 \text{ mg/m}^3$ ja kiteiselle piidioksidille (mm. kvartsi) $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvo alveolijakeelle $0,05 \text{ mg/m}^3$.

Maa- ja metsätaloustyöntekijöiden altistumista epäorgaaniselle pölylle ja/tai kvartseille ei ole tutkittu samalla tavoin kuin altistumista kokonaispölylle (hengittävälle pölylle) tai orgaaniselle kasvi- ja eläinperäiselle pölylle. Lisäksi metsätaloustyöntekijöiden altistumista epäorgaaniselle pölylle on selvitetty vähemmän kuin maataloustyöntekijöiden altistumista. Epäorgaanista pölyä on ainakin maataloustyöntekijöiden kohdalla pidetty lähinnä epämiellyttävänä häirtana, kuin mahdollisena vaaratekijänä tai merkittävänä riskitekijänä (Kirkhorn & Garry 2000, Schenker 2000). Pölyaltistuminen on lisäksi usein altistumista

orgaanisen ja epäorgaanisen pölyn seoksille, eikä eri pölylaatujen terveystaikutuksia voida erottaa toisistaan (Schenker, 2000). Maataloustyöntekijät voivat altistua esim. maa-ainespölylle, joka voi sisältää runsaastikin kiteistä piidioksidia kuten kvartssia. (Kirkhorn & Garry 2000, Schenker, 2000) Maaperässä rapautuminen ja kemialliset reaktiot voivat kuitenkin tehdä kvart्सista vähemmän fibrinogeenisen, kun esim. kiviaineksen louhinnassa tai hiekkapuhalluksessa esiintyvän kvart्सin.

Maatalousympäristössä suurimmat epäorgaanisen pölyn pitoisuudet esiintyvät maanmuokkauksen, kylvön ja sadonkorjuun aikana (Kirkhorn & Garry 2000, Schenker, 2000). Swanepoel ym. (2010) julkaisemassa katsauksessa maataloustyöntekijöiden altistumisesta kvart्सille todetaan, että julkaistuja tutkimuksia on hyvin vähän. Katsauksessa kuitenkin todetaan, että vaikka henkilökohtaisia altistumismittauksia ja tutkimuksia on vain muutamia, voi korkeita pölyn aleolijakeen ja kvart्सin pitoisuuksia muodostua eri maataloustöissä ja työntekijöiden altistumista kvart्सille voi tapahtua. Maanmuokkauksessa syntyvä pöly on pääasiassa mineraalipölyä (jopa 95 %), jossa kvart्सin osuus hienopölystä (< 5 µm) voi olla merkittävä, jopa lähes 70 % (Louhelainen ym. 1987). Sekä epäorgaanisen pölyn että kvart्सin pitoisuudet kuitenkin vaihtelevat suuresti mm. ilmaston sekä maan laadun mukaan. (Swanepoel ym. 2010) Hiekkaisten maiden pölyn alveolijakeessa on todettu enemmän kvart्सia (10,5–44,5 %) kuin savimaiden alveolijakeessa (<4 %). Myös suljettujen eli kopillisten traktoreiden ja muiden koneiden käytön on useissa tutkimuksissa todettu vähentävän työntekijöiden altistumista epäorgaaniselle pölylle; epäorgaanisen pölyn määrä ohjaamossa on pienempi kuin ulkona, varsinkin kun ohjaamon ikkunat on kunnolla suljetut. (esim. Louhelainen ym. 1987, Nieuwenhuijsen ym. 1999, Kirkhorn & Garry 2000) Toisaalta epäorgaaniselle pölylle voi altistua myös sisätiloissa, kun esim. käsitellään satoa, jonka mukana on maa-ainesta.

Swanepoel ym. (2010) tutkivat eteläafrikkalaisten maatyöntekijöiden altistumista hiekkaisen maan pölylle ja kvart्सille erilaisissa maataloustöissä (esim. kylvötöissä, lannoitteiden levittämisessä, maan muokkauksessa). Tutkimuksessa havaittiin, että vaikka pölyn alveolijakeen pitoisuudet olivat varsin pieniä (maksimipitoisuus 6,49 mg/m³), kvart्सin alveolijakeen pitoisuuksista 13 % ylitti kvart्सin eteläafrikkalaisen työhygienian raja-arvon (0,1 mg/m³) ja 57 % ylitti paikallisen kynnyksarvon (0,025 mg/m³) Kvart्सin osuus pölyn alveolijakeesta vaihteli välillä 0,3-94,4 %, mediaanin ollessa 13,4 %.

Myös maataloustyöntekijöiden kvart्सialtistuksen liittyviä sairauksia on tutkittu vähän (Swanepoel, 2010). Schenker ym. (2009) ovat kuitenkin todenneet, että Kalifornian alueen maataloustyöntekijöillä on merkittävästi enemmän pölykeuhkoa ja fibroosia kuin henkilöillä, jotka eivät työskentele maatiloilla. Samassa tutkimuksessa havaittiin maataloustyöntekijöillä merkittävästi enemmän mm. keuhkohtaumatautia (COPD), ilmapölyä ja kroonista keuhkoputkentulehdusta kuin ei-maataloustyöntekijöillä. Keuhkoissa todetut patologisten muutokset olivat vahvasti yhteydessä mm. kvart्सin sekä piioksidi- ja silikaattimineraalipartikkeleiden määrään keuhkoista otetuissa näytteissä.

Bioenergiamateriaaleista esim. ruokohelven tai oljen tuotannossa työntekijät voivat altistua epäorgaaniselle pölylle (maa-aineksen kvart्सille) samalla tavalla kuin esim. viljan tai heinän tuotannossa. Metsäbioenergian tuotantoprosesseissa esiintyvää epäorgaanista pölyä, tai työntekijöiden mahdollista altistumista, ei ole kirjallisuuden perusteella tutkittu. Kuitenkin metsäbioenergian tuotantoprosesseista esimerkiksi kantojen nosto ja käsittely voisi olla työntekijöille mahdollinen kvart्सin altistumisreitti.

3.3.2 Kemikaalit

Tässä työssä tarkastellaan vain metsä- ja peltobioenergiapolttoaineiden tuotantovaiheiden aikana käytettäviä keskeisimpiä kemikaaleja ja niiden aiheuttamia vaaroja. Tarkastelusta on rajattu ulkopuolelle biopolttoaineen käytön eli polton päästöt, kuten pienhiukkaset, savukaasut ja tuhkat sekä niiden mahdollisesti aiheuttamat työterveys- ja työturvallisuusriskit.

3.3.2.1 Torjunta-aineet

Torjunta-aineilla tarkoitetaan kasvitautilien, tuhoeläinten ja rikkaruohojen torjuntaan, samoin kuin kasvun säätämiseen tai kasvien hävittämiseen tarkoitettuja valmisteita. (STM 2002, Kangas ym. 2005, Kangas 2008) Nykylainsäädännössä varsinaisia torjunta-aineita ovat maa-, metsä- ja puutarhataloudessa käytettävät kasvinsuojeluaineet. Torjunta-aineita käyttävät työntekijät voivat altistua mm. aineiden annostelussa, sekoituksessa ja levityksessä, levityslaitteistojen korjaus- ja huoltotöissä sekä hävitettäessä käytettyjä pakkauksia (Kangas 2008). Useissa tutkimuksissa on todettu, että altistumista torjunta-aineille tapahtuu enemmän seoksen valmistuksessa, kuin varsinaisen ruiskutuksen aikana, koska tällöin altistutaan laimentamattomalle valmisteelle (Karttunen ym. 2006). Torjunta-aineiden työntekijälle aiheuttamaan mahdolliseen terveyshaittaan vaikuttaa aineen myrkyllisyyden lisäksi elimistöön joutuneen annoksen suuruus (STM 2002). Merkittävin altistumisreitti useimmilla torjunta-aineilla on iho. (STM 2002, Kangas 2008) Lisäksi torjunta-aineet voivat joutua elimistöön hengitysteiden kautta tai nielemällä. Silmiin joutuneet torjunta-aineet voivat myös aiheuttaa haittaa.

Suurin torjunta-aineille altistuvien ryhmä Suomessa on maanviljelijät, mutta heidänkin altistuminen on yleensä satunnaista (Kangas 2008). Metsätaloustyöntekijät altistuvat maataloustyöntekijöitä vähemmän, sillä torjunta-aineita käytetään huomattavasti vähemmän: vuosittain myydyistä torjunta-aineista alle 1 % käytetään metsätaloudessa (Kangas ym. 2005). Iho-oireet, kuten ärsytysoireet ja herkistyminen, ovat tavallisimpia torjunta-aineiden aiheuttamia välittömiä terveyshaittoja. (Kangas 2008, Työturvallisuuskeskus 2010) Eräät torjunta-aineet voivat aiheuttaa myös äkillisiä myrkytyksiä esim. aineiden imeytyttyä ihon läpi. Tiedot pitkäaikaisvaikutuksista, kuten syöpäriskeistä, hermostovaurioista ja vaikutuksista lisääntymisterveyteen, ovat puutteellisia. Kangas ym. (2005) toteavat, että torjunta-aineet ovat nykyisin esimerkiksi maanviljelijöille käytännössä varsin pieni riskitekijä suhteessa muihin työterveys- ja työturvallisuusriskeihin. Tärkein tietolähde torjunta-aineiden käyttäjille torjunta-ainevalmisteen haitallisista ominaisuuksista ja mm. suojaintarpeesta ja -tyypistä on ko. valmisteen käyttöturvallisuustiedote (STM 2002, Työturvallisuuskeskus 2010). Tässä työssä tarkasteltavissa metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosesseissa työntekijöiden altistuminen torjunta-aineille on mahdollista ruokohelven viljelyssä, kun rikkaruohoja torjutaan viljelmiltä, sekä energiapuun korjuun yhteydessä juurikäävän kemiallisille torjunta-aineille.

Ruokohelven kasvatuksessa kasvinsuojelutoimenpiteet rajoittuvat rikkakasvien torjuntaan (Pahkala ym. 2005). Viljelmiltä torjutaan juolavehnää ja monivuotista nurmea sekä hukkakauraa jo kasvuston perustamista edeltävänä vuonna (Pahkala ym. 2005, Luoma ym. 2006, Lötjönen & Knuutila 2009). Juolavehnan torjunta-aineena voidaan käyttää glyfosaattia tai muuta juolavehnan torjuntaan tarkoitettua ainetta [MTT www-sivut]. Muiden rikkakasvien torjuntaan voidaan käyttää samoja torjunta-aineita kuin heinäkylvöksille eli esim. MCPA-valmisteita. (Pahkala ym. 2005, Luoma ym. 2006) Seuraavina vuosina rikkakasvien kemiallista torjuntaa ei yleensä tarvitse tehdä, sillä helpi kilpailee rikkakasvien kanssa tehokkaasti. Ruokohelpiviljelmillä rikkakasvien torjunta toteutetaan ruiskutustyönä, kuten muidenkin heinä- tai viljakylvösten.

Puunkorjuun yhteydessä on kannot Etelä-Suomessa suositellaan käsiteltäväksi juurikäpäsienien (*Heterobasidion*-suku) leviämisen estämiseksi. (Metsäteho 2000, [Metla www-sivut MetInfo]) Nykyisin torjuntakeinona käytetään joko kemiallista tai biologista kantokäsittelyä, jonka vaaratekijöitä on kuvattu kappaleessa 3.2.2. Kemiallista torjuntaa tehdään Suomessa nykyisin biologista vähemmän, vaikka molempien tehokkuus on tutkimusten mukaan samaa luokkaa (Korhonen & Lipponen 2001, Korhonen & Lipponen 2006). Suomessa myydään käyttövalmista 30–35 % urea-liuosta kantokäsittelyyn ainakin kauppanimillä PS-kantosuoja (valmistaja JL-tuotteet Oy) ja Urea-kantokate (valmistaja Yara Oy) [Metla www-sivut MetInfo]. Urealiuoksen käytöstä ko. tarkoitukseen, työssä urealle altistumisesta tai käytön haitoista ei kirjallisuudesta löydy tutkimustuloksia. Ureaa ei ole EU:ssa luokiteltu terveydelle tai ympäristölle vaaralliseksi, kuten ei ole luokiteltu kantokäsittelyainettaakaan. Käyttöliuosten käyttöturvallisuustiedotteissa kehoitetaan välttämään ihokosketusta ja käyttämään asianmukaisia henkilönsuojaimia (JL-tuotteet Oy, Yara Oy).

3.3.2.2 Lannoitteet

Lannoitteille altistumista voi tapahtua tässä työssä tarkastelluissa metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosesseissa lähinnä ruokohelven tuotannossa. Lannoitteita (typpi, fosfori ja kalium) helpiviljelmille levitetään perustamisen yhteydessä sekä myöhemmin keväisin korjuun yhteydessä. (Luoma ym. 2006) Käytettävät määrät vaihtelevat kohteittain maalajista riippuen. Helpiviljelmillä lannoitteita käytetään ja levitetään kuten rehuheinäviljelmille. Lannoitteille altistumista voi tapahtua lannoitteiden käsittelyn ja levityksen aikana. Altistus tapahtuu hengitysteitse tai ihokosketuksen kautta. Lannoitteille altistuminen voi aiheuttaa mm. ihon ja hengityselinten ärsytystä. Metsälannoituksessa käytetään Suomessa tuhkaa. Tuhkan lannoitekäytöstä mahdollisesti aiheutuvia vaaroja ei tässä työssä käsitellä, sillä metsän lannoituksen ei katsota kuuluvan metsäbioenergian tuotantoprosessiin samalla tavoin kuin esim. ruokohelpiviljelmien lannoituksen.

3.3.2.3 Koneiden polttoaineet ja koneiden pakokaasut

Metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien työntekijät voivat altistua eri työvaiheissa polttoaineille hengitysteitse (höyryjen hengittäminen) tai ihon kautta koneita ja ajoneuvoja tankatessaan tai huoltaessaan. Lisäksi työntekijät altistuvat pakokaasuille koneiden, ajoneuvojen ja laitteiden (esim. moottorisahat, hakkurit, murskaimet) käytön aikana.

Polttoaineet

Sekä metsä- että peltobioenergian tuotantoprosessien koneissa ja ajoneuvoissa (metsäkoneet ja -traktorit, maataloustraktorit, kuorma-autot) käytetään tavallisimmin polttoaineena dieselöljyä tai kevyttä polttoöljyä. Diesel- ja kevyt polttoöljy valmistetaan tislamalla fossiilisista polttoaineista, kivihiilestä ja maaöljystä (Heikkilä ym. 2005). Dieselöljy on maaöljytuotteiden ja lisäaineiden seos, joka koostuu pääasiassa C9-C25 hiilivedyistä. [OVA-ohje www-sivut; dieselöljy] Nykyisin dieselöljy voi sisältää myös biopohjaisia komponentteja. Dieselöljyssä parafiineja ja nafteneja on noin 65–95 %, aromaattisia hiilivetyjä 5-30 % ja olefiineja korkeintaan 10 %. Kevyt polttoöljy koostuu pääasiassa haarautumattomista C16-C19 hiilivedyistä. [OVA-ohje www-sivut; kevyt polttoöljy] Molemmat ovat helposti haihtuvia sekä syttyviä ja palavia nesteitä, jotka aiheuttavat palovaaran [OVA-ohjeet www-sivut; diesel- ja kevyt polttoöljy].

Diesel- että polttoöljyhöyryjen hengittäminen voi aiheuttaa väsymystä, pahoinvointia ja päänsärkyä. [OVA-ohjeet www-sivut; diesel- ja kevyt polttoöljy] Koska ko. öljyjen haihtuminen on kuitenkin varsin vähäistä, ei terveydelle haitallisia höyryjä normaalioloissa ja -käytössä (esim. tankkaustilanteessa) muodostu. Diesel- ja kevyt polttoöljyn höyryt, öljysumu ja roiskeet voivat ärsyttää silmiä. Öljysumut ärsyttävät myös hengityselimiä. Nieltynä ko.

öljyt saattavat aiheuttaa pahoinvointia, oksentelua, vatsakipua, ripulia, pyörrytystä ja väsymystä. Jos nielemisen yhteydessä ainetta joutuu keuhkoihin (aspiraatio), voi siitä aiheutua kemiallinen keuhkotulehdus. Myös keskushermostoa lamaavat vaikutukset voivat olla mahdollisia. Toistuva tai pitkäaikainen ihokosketus kanssa kuivattaa ihoa ja saattaa aiheuttaa ärsytysihottumaa. Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos (IARC) on arvioinut sekä diesel- että kevyt polttoöljyn kuuluvan ryhmään 3 eli aine ei ole luokiteltavissa ihmisen syöpävaaran suhteen. EU:ssa kevyt polttoöljy on kuitenkin luokiteltu mahdollisesti ihmisessä syöpää aiheuttavaksi aineeksi (Carc. Cat. 3).

Metsä- ja peltobioenergiatoimialoilla työskentelevien altistuminen polttoaineille on todennäköisesti samaa luokkaa kuin muillakin metsä- ja maatalousalan työntekijöillä. Polttoaineiden höyryille työntekijät voivat altistua tankkaustilanteissa. Hengitysilmaan joutuvat pitoisuudet ovat kuitenkin varsin pieniä ja ulkoilmassa tankattaessa höyryjen laimeneminen on nopeaa ja altistuminen on lyhytaikaista. Polttoaineita käsiteltäessä tankkauksen tai koneiden huollon ja korjauksen aikana on kuitenkin syytä noudattaa huolellisuutta ja käyttää käsineitä, ettei aineita joudu iholle.

Pakokaasut

Metsä- ja peltobioenergia-alalla työskentelevät henkilöt voivat altistua pakokaasuille kaikissa tuotantoprosessien vaiheissa. Pakokaasuja voi päästä koneiden ja ajoneuvojen ohjaamoihin, jos koneen ilmanvaihtojärjestelmä on puutteellinen. Lisäksi huolto- ja korjaustiloissa, joissa ei ole asianmukaista ilmanvaihtojärjestelmää, voivat pakokaasupitoisuudet nousta tasolle, jolla voi aiheutua terveyshaittoja. Myös moottorisahaa käyttävät metsurit voivat altistua pakokaasuille.

Dieselmoottorin pakokaasut ovat polttoaineen ja palamisprosessin ominaisuuksien vuoksi koostumukseltaan hyvin erilaisia verrattuna bensiinikäyttöiseen ottomoottoriin, joka on usein varustettu katalyyttisellä pakokaasun puhdistuksella (Laurikko, 2008). Dieselpakokaasun kaasufaasin pääkomponentit ovat hiilidioksidi, happi, typpi, vesihöyry, typen oksidit ja hiilimonoksidi, jotka kokonaisuudessaan kattavat >99 % kaasufaasin massasta (Anttila ym. 2009). Kuitenkin käsite ”dieselpakokaasu” ei ole yksiselitteinen, vaan pakokaasu on hyvin monimutkainen seos, jonka kaasu- ja hiukkasfaasi sisältää tuhansia yhdisteitä. (Laurikko 2008, Anttila ym. 2009) Kaasun koostumus vaihtelee useiden eri tekijöiden vaikutuksesta ja se saattaa sisältää epäpuhtauskomponentteja hyvin erilaisissa määräsuhteissa riippuen käytettävästä tekniikasta (mm. mahdolliset suodattimet ja katalyysaattorit), moottorista (tyyppi, rakenne, kunto) ja polttoaineesta.

Pakokaasut sisältävät aina hiilimonoksidia eli häkää (CO), jonka esiintyminen suurina pitoisuuksina voi johtaa jopa kuolemaan. (Schimberg & Lapinniemi 2005) Hiilimonoksidi on hiukan ilmaa kevyempi, väritön, hajuton ja mauton kaasu, joka voi helposti syttyä ja muodostaa ilman kanssa räjähtävän seoksen. Häkää syntyy orgaanisen aineen epätäydellisen palamisen yhteydessä, kun hapen saanti on liian vähäistä ja lämpötila liian alhainen tai joissakin tilanteissa myös liian korkea. Hiilimonoksidin työhygieeniset raja-arvot ovat HTP_{8h} 30 ppm (35 mg/m^3) ja HTP_{15min} 75 ppm (87 mg/m^3) (STM 2012). Työntekijöiden altistumista kohonneille CO-pitoisuuksille tapahtuu varsinkin metallialalla (esim. hitsaus) ja moottoriajoneuvojen käytön ja korjaamisen aikana, mutta myös esim. moottorisahaa käyttävät metsurit voivat altistua hiilimonoksidille. (Schimberg & Lapinlampi 2005) Hiilimonoksidin terveyshaitat liittyvät sen tehokkaaseen sitoutumiseen veren hemoglobiiniin ja karboksihemoglobiinin muodostumiseen. Hapen sitoutumisen estyminen seurauksena aiheutuu kudosten hapenpuutetta. Akuutit vaikutukset ovat sydämen ja verenkierron toimintahäiriöt, neurologiset vaikutukset sekä häiriöt aineenvaihdunnassa. Äkillisessä altistumisessa oireina on mm. hengenahdistus ja päänsärky. Suurissa pitoisuuksissa (>1 000

ppm) oireina on pahoinvointi ja tajunnan menetys, joka voi johtaa jopa kuolemaan. Esimerkiksi moottorisahaa käyttävän metsurien hengitysilman hiilimonoksidipitoisuus on keskimäärin 30–50 % HTP-raja-arvosta (2-5 ppm), mutta käytön aikana voi syntyä lyhytaikaisia tilanteita, joissa hiilimonoksidipitoisuus voi ylittää raja-arvon jopa kymmenkertaisesti.

Dieselpakokaasujen merkittävin erityispiirre on typen oksidien (NO, NO₂) runsaus, koska dieselmoottoreissa ei ole tehokasta katalyysaattoritekniikkaa oksidien poistamiseen (Anttila ym. 2009). Typen oksidit eivät aiheuta merkittäviä limakalvojen ja ylempien hengitysteiden ärsytystä. (Engström 2005) Typpidioksidin kriittinen vaikutus kohdistuu alempiin hengitysteihin ja keuhkojen toimintaan. Lisäksi dieselpakokaasulle ominaisia ovat poltto- tai voiteluaineen palamisprosessista peräisin olevat hiukkaset (Laurikko 2008). Hiukkaset koostuvat pääasiassa alkuainehiiltä sisältävästä ytimestä, jonka pinnalle adsorboituu hiilivetyjä, kuten esim. PAH-yhdisteitä. (Anttila ym. 2009) Halkaisijaltaan hyvin pienet (0,05-1 µm) hiukkaset muodostavat noin 80–90 % dieselpakokaasun hiukkasmassasta. Pienen kokonsa vuoksi siis suurin osa dieselpakokaasuhiukkasista pidättyy keuhkojen alveolialueelle, josta ne voivat jopa kulkeutua alveolien epiteelin läpi päätyen imusuonistoon ja verenkiertoon.

Dieselpakokaasuille altistumisen on todettu lisäävän riskiä sydän- ja verisuonitautien sairastumiseen ja lyhentävän näitä sairauksia jo potevien elinaikaa (Laurikko 2008). Lisäksi altistumisen on todettu lisäävän riskiä sairastua keuhkosyöpään, josta syystä dieselpakokaasut on luokiteltu IARC:n mukaan ryhmään 2A. (Laurikko 2008, Anttila ym. 2009) Dieselpakokaasuista on löydetty tunnettuja karsinogeenisiä yhdisteitä, kuten esim. bentseeniä ja formaldehydiä. Lisäksi hiukkasiin adsorboituneena on löydetty lukuisia hiilivety-yhdisteitä (esim. PAH-yhdisteitä) ja niiden johdannaisia, joilla todennäköisesti on karsinogeenisiä ominaisuuksia.

Työntekijöiden dieselpakokaasuille altistumista on selvitetty mm. erilaisissa tavaraterminaaleissa ja tehdashalleissa, kaivoksissa, rakennustyömailla, dieselkoneiden huolto- ja korjaustöissä sekä ajoneuvojen kuljettajien keskuudessa. (Anttila ym. 2009) Selvityksissä on mitattu mm. NO-, NO₂- ja CO-pitoisuuksia sekä hiukkaspitoisuuksia. Mittauksissa altistumisten on todettu olevan suurempia sisä- kuin ulkotöissä ja pitoisuuksien riippuvan mm. ilmanvaihdosta ja suodattimien käytöstä. Suomessa ei dieselpakokaasulla ole asetettu HTP-arvoa, mutta dieselpakokaasun eräille komponenteille on HTP-arvot: typpidioksidin HTP_{8h}-arvo 3 ppm (HTP_{15min}-arvo 6), typpimonoksidin 25 ppm (HTP_{15min}-arvoa ei määritetty) sekä hiilimonoksidin 30 ppm (HTP_{15min}-arvo 75 ppm) (STM 2012). Dieselpakokaasun vertailupitoisuutena on Suomessa käytetty sveitsiläistä ohjeraja-arvoa 100 µg/m³ (8 h/alveolijae, ilmaistu alkuainehiilenä). (Anttila ym. 2009) Työterveyslaitos on esittänyt mm. varastoissa, korjaamoissa ja terminaaleissa ja ulkotöissä dieselpakokaasun kahdeksan tunnin tavoitetasona käytettäväksi pitoisuutta 5 µg/m³ (alveolijae, ilmaistu alkuainehiilenä).

Metsä- ja peltobioenergiatoimialoilla työskentelevien altistumista polttoaineille tai pakokaasuille ei ole juuri selvitetty. Altistuminen on todennäköisesti samaa luokkaa kuin metsä- ja maatalousalan työntekijöillä, koska työmenetelmät ja koneet ovat samanlaisia. Persson ym. (2003) selvittivät metsäkonetyöntekijöiden altistumista koneiden pakokaasuille, mittaamalla typpidioksidipitoisuuksia hytti-ilmasta. Mittauksia tehtiin viidessä hytissä. Typpidioksidipitoisuudet olivat pieniä, lähellä menetelmän määrittäjärajaa. Pitoisuudet olivat välillä 0,01-0,06 mg/m³, selvästi alle ruotsalaisen typpioksidin työhygieenisen raja-arvon 2 mg/m³.

3.3.2.4 Hydraulikka- ja teräketjuöljyt

Metsä- ja maatalouskoneissa käytetään runsaasti erilaisia moottori- ja voiteluöljyjä. Koneissa perinteisesti käytetyt voiteluöljyt ovat olleet ns. mineraaliöljyjä, jotka ovat pitkälle jalostettujen perusöljyjen ja lisäaineiden seoksia. (Kallunki ym. 2002) Nykyisin käytetään, lähinnä ympäristösyistä paljon ns. biohajoavia öljyjä, jotka ovat ympäristössä biologisesti hajoavia. Biohajoavien öljyjen pääkomponentti voi olla kasviöljyä (esim. rypsi- tai mäntyöljy) tai osa- tai täyssynteettistä öljyä (esteri). Erilaisilla lisäaineilla, joita käytetään myös biohajoavissa öljyissä, parannetaan perusöljyn fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia tai säilyvyyttä. Useimmat öljyt sisältävät pieniä määriä ärsyttäviksi luokiteltuja yhdisteitä. Perinteisten öljyjen on todettu aiheuttavan pääasiassa ärsytysihottumia ja vain harvoin allergista ihottumaa, vaikka öljyt sisältävät jonkin verran allergeenejä, kuten antimikrobisia aineita (esim. formaldehydi).

Siirryttäessä käyttämään enemmän biohajoavia hydraulikka- ja teräketjuöljyjä, ovat eräät metsäkoneenkuljettajat kokeneet iho-oireiden ja ihottumien lisääntyneen. Koneiden ohjaamoissa tehdyissä öljysumumittauksissa öljyille altistuminen hakkuutöiden aikana on arvioitu pieneksi. Lähinnä öljylle altistumista on todettu koneiden huolto- ja korjaustöiden aikana; esim. teräketjuöljyä voi joutua käsiin ketjua tai laippaa huollettaessa/korjattaessa tai hydraulikkaöljyä iholle öljynvaihdon yhteydessä. Vanhemmat kasvipohjaiset biohajoavat öljyt olivat tarttuvampia ja siten vaikeampia puhdistaa iholta kuin mineraaliöljyt ja siten lisäsivät ja pidensivät altistumista. Lisäksi öljyn puhdistaminen iholta vaati enemmän hankaamista tai vahvasti emäksisten pesuaineiden käyttöä, jolloin ihon ärsytysvaikutus lisääntyi. Yleisesti ottaen koneiden ja laitteiden huollon ja korjauksen aikana on syytä käyttää suojakäsineitä ja -vaatteita, ettei öljyä pääse iholle.

Kallunki ym. (2002) selvittivät hakkuukoneen- ja puutavara-autojenkuljettajien (n; hakkuukoneet 376 kpl ja puutavara-autot 125 kpl) altistumista öljyille haastattelemalla ja kuva-analyysien avulla. Lähes kaikki hakkuukoneenkuljettajat käsitelivät teräketjuöljyjä päivittäin, jopa useita kertoja päivissä. Sen sijaan hydraulikkaöljyjä käsiteltiin selvästi harvemmin. Autonkuljettajat käsitelivät hydraulikkaöljyjä koneenkuljettajia useammin. Hakkuukoneiden teräketjuöljyistä noin 50 % oli mineraaliöljyjä ja hakkuukoneiden sekä autojen hydraulikkaöljyistä noin 60 %. Kasvispohjaisia, biohajoavia hakkuukoneiden teräketjuöljyistä oli noin 30 % ja hydraulikkaöljyistä 3 %. Tutkimuksessa todettiin, että hakkuukoneenkuljettajien altistuminen öljyille normaalin hakkuukonetyön aikana on vähäistä, mutta huolto- ja korjaustöiden yhteydessä altistuminen voi olla voimakastakin. Hakkuukoneenkuljettajilla esiintyi enemmän iho-oireita kuin puutavara-autojen kuljettajilla. Työhön liittyviä iho-oireita saaneet henkilöt epäilivät useimmiten syyksi öljyjen käsittelyn, mutta biohajoavan ja ei-biohajoavan öljyn käyttö ei vaikuttanut iho-oireiden esiintyvyyteen hakkuukoneenkuljettajilla.

3.3.2.5 Puutavaran värimerkkausaineet

Värimerkkausaineita käytetään puutavaran lajittelun helpottamiseksi. (Kallunki ym. 2002) Merkkaaminen tehdään yleensä puun leikkauskohtaan jo runkoa katkottaessa. Merkkaaminen tehdään koneellisesti, metsäkoneen hakkuupään kautta. Merkkausvärit ovat joko alkoholi-(etanoli, metanoli, isopropanoli, glykoli) tai öljypohjaisia. Väriaineet ovat elintarvikkeväreinäkin käytettäviä pigmenttivärejä.

Alkoholien roiskeet ja höyryt voivat ärsyttää ihoa, hengitysteitä, silmiä ja limakalvoja. (Kallunki ym. 2002) Altistuminen toistuvasti etanolipohjaisille aineille kuivattaa ja ärsyttää ihoa. Suuret etanolipitoisuudet (>1 000 ppm) hengitysilmassa voivat aiheuttaa päänsärkyä sekä silmien ja limakalvojen ärsytystä. Etanolipohjaiset merkkausvärit ovat aiheuttaneet metsäkoneenkuljettajille mm. ihon ärsytystä. Metanolipohjaisten aineiden suosio perustuu

muita alkoholipohjaisia aineita edullisempaan hintaan, vaikka metanoli on huomattavasti etanolia tai isopropanolia myrkyllisempää. Höyrystyneet metanolipitoisuudet hengitysilmassa (>250 ppm) aiheuttavat päänsärkyä, väsymystä, pahoinvointia ja limakalvojen ärsytystä.

Merkkausväriaineita käytettäessä työntekijät altistuvat eniten täyttäessään koneen väriainesäiliötä, koska varsinainen merkkaus tehdään metsäkoneen hakkuupään kautta, kaukana ohjaamosta. (Kallunki ym. 2002) Myös väriainesuuttimien puhdistaminen tukkeutumisen takia voi altistaa väriaineille. Kaiken kaikkiaan merkkausväriaineille altistumisen on arvioitu olevan varsin vähäistä perinteisissäkin metsätöissä, sillä käytettävät ainemäärät ovat pieniä. Väriainesäiliöiden täyttövaihe on myös lyhyt ja täyttö tehdään yleensä ulkona, jolloin väriaineliuos haihtuu helposti. Lisäksi alkoholipohjaisten aineiden käytössä on huomioitava, että ne voivat aiheuttaa tulipalon vaaraa, koska ne kaasuuntuvat ja syttyvät helposti.

Metsäbioenergian parissa työskentelevien altistumisen merkkausväriaineille voidaan olettaa olevan jopa vähäisempää kuin ainespuunhankinnan yhteydessä. Metsäbioenergiamateriaalin hankintavaiheessa käytetään merkkausvärejä vain tarvittaessa, lähinnä isompien, energiapuiksi menevien runkojen merkkaukseen.

3.3.2.6 Puupölyistä biopoltoaineista haihtuvat yhdisteet

Hakkeessa sekä sen raaka-aineessa tapahtuu ajan kuluessa biologisten muutosten lisäksi myös kemiallisia muutoksia. Puumateriaalin ainesosat ja kemialliset yhdisteet pilkkoutuvat varastoinnin aikana ja puusta haihtuu orgaanisia yhdisteitä. (Fagnäs ym. 2002) Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (esim. terpeenejä, rasva- ja hartsihappoja, alkoholeja) on todettu vapautuvan mm. kuoren ja pellettien kuivaamisen ja varastoinnin aikana, mutta muiden puupoltoaineiden (esim. metsätähteen ja hakkeen) osalta tutkimustietoa on vähemmän. Orgaaniset yhdisteet voivat aiheuttaa esim. hajuhaittoja. Hakkeesta haihtuville yhdisteille voivat työntekijät altistua esim. hakkeen valmistusvaiheessa sekä varastoinnin ja käytön aikana. Haketta käytetään suurten lämpö- ja voimalaitosten lisäksi myös kotitalouksissa ja maataloilla. Haihtuvia yhdisteitä voi vapautua itse biopoltoainemateriaalista suoraan tai materiaalin hajoamisen seurauksena. Varastotiloissa esiintyviin terveydelle vaarallisiin kaasumaisiin yhdisteisiin sekä yhdisteiden aiheuttamaan hapen puutteeseen (esim. hiilimonoksidi) liittyy työterveys- ja tapaturmariskejä. (Ahonen & Liukkonen 2008). Esimerkiksi pellettien varastointiin liittyen on todettu kuolemantapauksia mm. Suomessa.

Terpeenit

Esimerkiksi puuaineksen mekaanisessa käsittelyssä (hakkuu, haketus/murskaus, kuorinta, sahaaminen, pellettien valmistus), puun kuivaamisen sekä varastoinnin yhteydessä ilmaan pääsee haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (ns. VOC-yhdisteitä), kuten terpeenejä (Granström 2010). Terpeenit, jotka muodostuvat toisiinsa liittyneistä 2-metyyli-butadieeni- eli isopreeniyksiköistä (C₅H₈), kuuluvat rasvaliukoisiin isoprenoidi-johdannaisiin ja niitä esiintyy laajasti kasvi- ja eläinkunnassa sekä mikro-organismeissa. (Keskitalo ym. 2001) Kasvien sisältämiä terpenoideja on tunnistettu yli 22 000 erilaista ja ne voidaan jakaa primäärisiin ja sekundäärisiin aineenvaihduntatuotteisiin. Primäärisiä terpenoideja (esim. sterolit, karotenoidit) esiintyy pääsääntöisesti kaikissa kasveissa, kun sekundäärisiä (esim. mono-, seskvi- ja diterpeenit) esiintyminen saattaa olla rajoittunut, jopa tiettyihin kasvilajeihin. Monoterpeenit, joita esiintyy kasveissa hyvin laajasti, voidaan jakaa avoketjuisiin sekä yksi tai kaksi rengasta sisältäviin molekyyliin, joihin on tavallisesti liittynyt hydroksyyli-, okso-, aldehydi-, karboksyyli- tai esteriryhmä. Monoterpeenejä, kuten α- ja β-pineeni, esiintyy esimerkiksi *Pinaceas*-heimossa (mm. mänty ja kuusi). Seskviterpeenit ovat lukumääräisesti terpeenien suurin ryhmä ja ne ovat rakenteellisesti hyvin erilaisia yhdisteitä. Ne voivat olla avoketjuisia tai sykliisiä hiilivetyjä, alkoholeja tai ketoneja.

Havupuiden terpeenit ovat lähinnä pihkassa esiintyviä mono-, seskvi- ja diterpeenejä. (Granström 2010). Kuusen (*Picea abies*) ja männyn (*Pinus sylvestris*) pihkassa on 25–30 % monoterpeenejä ja vain muutama prosentti seskviterpeenejä. Terpeenien määrä puun eri osissa vaihtelee; kuoressa on enemmän kuin runkopuussa. Monoterpeenit, joiden kiehumispisteet vaihtelevat välillä +150–180 °C, muodostavat suurimman osan puusta haihtuvista orgaanisista yhdisteistä (Granström 2009, Granström 2010). Seskviterpeeneiden kaasunpaine ja kiehumispisteet on alhaisempi, mutta myös niitä haihtuu ilmaan havupuista (Granström 2010). Terpeenien haihtuminen puu-aineksesta esim. sahanpurusta, pelleteistä ja hakkeesta riippuu mm. materiaalista, lämpötilasta ja kosteudesta (Jirjis 1995, Rupar & Sanati 2005). Lisäksi monoterpeenien emissio tuoreesta puuaineksesta on suurempaa kuin vanhasta puusta (Granström 2010).

Työpaikoilla, joissa käsitellään puuta (esim. sahat ja puusepän verstaat), on terpeeneille altistumisen todettu aiheuttavan mm. hengitysvaikeuksia sekä silmä-, iho- ja limakalvoärsytystä (Rupar & Sanati 2005, Granström 2009, Granström 2010a). Terpeeneille ei ole Suomessa tällä hetkellä työhygienistä raja-arvoa (STM 2009). Ruotsissa on monoterpeeneille asetettu työpaikan hengitysilman raja-arvoksi (vastaa Suomen HTP-arvoa) työpäivän ajalle 150 mg/m³ ja raja-arvo lyhytkestoiselle (15 min) altistukselle 300 mg/m³. (Swedish Work Environmental Authority 2005) Raja-arvo on terpeenien summapitoisuudelle sekä eräille yksittäisille monoterpeeneille kuten α - ja β -pineeni sekä Δ -kareenille (=3-kareeni). Raja-arvo on annettu tärpätin ihoherkistävyyden perusteella, jonka lisäksi perusteluissa todetaan, ettei yksittäisten terpeenien ihoherkistävyyttä ole tieteellisesti todistettu, Δ -kareenia lukuun ottamatta. Suomessa tärpätin HTP_{8h}-arvo ihoaltistukselle on 140 mg/m³ (STM 2012).

Useissa tutkimuksissa on selvitetty terpeenien sekä muiden VOC-yhdisteiden esiintymistä puuperäisiä polttoaineita käsiteltäessä ja varastoitaessa (mm. Jirjis 1995, Edman ym. 2003, Ståhl ym. 2004, Svedberg ym. 2004, Rupar & Sanati 2005, Ajanko & Fagernäs 2006, Ahonen & Liukkonen 2008, Hagström ym. 2008, Granström 2009, Granström 2010a ja 2010b). Monet tutkimuksista kuitenkin keskittyvät lähinnä pellettien valmistuksessa ja varastoinnissa tapahtuvaan terpeenien haihtumiseen, koska pellettien valmistusta varten joudutaan raaka-ainetta (esim. sahanpurua, haketta) usein kuivaamaan, jolloin terpeenien (ja muiden VOC-yhdisteiden) haihtuminen ilmaan on mahdollista. Sen sijaan muista puuperäisistä biopolttoaineista tapahtuvaa terpeenien tai muiden VOC-yhdisteiden haihtumista on selvitetty vähemmän. Kuitenkin esim. hakkuutähde- ja hakekasoissa on todettu tapahtuvan lämmön nousua, joka voi edesauttaa mikrobien lisääntymisen lisäksi myös haihtuvien yhdisteiden vapautumista puuaineksesta (mm. Jirjis 1995, Fagernäs ym. 2002, Ajanko & Fagernäs 2006).

Ståhl ym. (2004) ovat tutkineet pellettien raaka-aineena käytettävien sahanpurujen terpeenipitoisuuksia ja purusta kuivatessa haihtuvien terpeenien määriä. Esimerkiksi määrässä männyn sahanpurussa monoterpeenien määrä vaihteli 1,0–3,9 g/kg, kuivauksen jälkeen 0,3–1,1 g/kg ja valmiissa pelleteissä 0,01–0,12 g/kg, joten valmistusprosessissa terpeenejä haihtuu puusta merkittäviä määriä.

Pellettejä ja niiden raaka-aineita (mm. sahanpurua) koskevissa tutkimuksissa on työntekijöiden terpeenialtistuksen todettu kuitenkin olevan varsin vähäistä. Esimerkiksi Edmanin ym. (2003) tekemässä tutkimuksessa, jossa tutkittiin työntekijöiden henkilökohtaista monoterpeenialtistusta (n=24 mittausta) kuudessa, sahanpurusta pellettejä tai brikettejä valmistavassa tehtaassa, havaittiin monoterpeenipitoisuuksien (α - ja β -pineeni ja Δ^3 -kareenin summa) vaihtelevan välillä 0,64–28 mg/m³. Ruotsalaisen raja-arvon ylityksiä ei todettu. Samankaltaisia monoterpeenipitoisuuksia on mitattu myös Hagströmin ym. (2008) tekemässä tutkimuksessa neljässä puupellejä tuottavassa laitoksessa; työntekijöiden henkilökohtainen α -pineenialtistus (n=66 mittausta) vaihteli välillä <0,23–25 mg/m³, β -pineenin ja Δ^3 -kareenin

pitoisuuksien ollessa usein alle määräysrajojen. Samaa suuruusluokkaa olevia terpeenipitoisuuksia todettiin myös Ahosen & Liukkosen (2008) tutkimuksessa, jossa mitattiin neljän pellettitehtaan työntekijöiden hengitysvyöhykkeen terpeenipitoisuuksia (n=8 mittausta); pitoisuudet vaihtelivat 0,4–16,1 mg/m³. Samassa tutkimuksessa terpeenipitoisuuksia mitattiin myös pellettien varastosiloista, joissa pitoisuudet vaihtelivat huomattavasti riippuen mittausta paikasta. Varastojen yläosissa, pellettien yläpuolella terpeenipitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia (0,7–52 mg/m³) kuin varastojen lattiatasossa (0,3–3,8 mg/m³).

Rupar & Sanati (2005) tutkivat hakkeesta varastoinnin aikana ilmaan vapautuvien mono-, seskvi- ja diterpeenien määriä. Mittauksia tehtiin kahdenlaisesta hakkeesta; kuori-/puuhakkeesta ja metsätähdehakkeesta. Hakkeita varastoitiin ulkona kasoissa kesätammikuussa, jona aikana näytteitä otettiin seitsemän kertaa. Kasoista ilmaan vapautuvien terpeeneiden määrät olivat suurimmallaan varastoinnin puolivälissä, kun myös kasojen lämpötilat olivat korkeimmillaan. Tekijät yhdistävät kohonneet terpeeniemissiöt mahdollisesti lisääntyneeseen mikrobiaktiivisuuteen, jota ei kuitenkaan työssä tutkittu, sekä sademääriin. Tutkimuksessa ei ole esitetty terpeenien pitoisuuksia ulkoilmassa, eikä laskettu hakkeesta haihtuvien terpeenien määriä.

Ajanko & Fagernäs (2006) mittasivat työntekijöiden altistumista biopolttoaineiden murskauksen aikana ilmaan vapautuville orgaanisille haituville yhdisteille, mukaan lukien monoterpeeneille. Työhygienisiä mittauksia tehtiin kantoja ja ruokohelpeä murskaavan mobiilimurskaimen kuljettajan ja mursketta kuljettavan pyöräkuormaajan kuljettavan hengitysilmaasta. Todetut VOC-kokonaispitoisuudet (0,5–2,7 mg/m³) kuin myös monoterpeenipitoisuudet olivat pieniä; esim. α -pineenin pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,009–0,031 mg/m³.

Biopolttoaineesta työntekijöiden hengitysilmaan haihtuvilla terpeeneillä on todennäköisesti haitallisia vaikutuksia (epämiellyttävän hajun lisäksi) lähinnä vain suljetuissa varastotiloissa (esim. silot) tai kuljettaessa polttoainetta suljetussa tilassa esim. laivojen ruumassa (Norden 2008). Ulkovarastoista tai muuten hyvällä ilmanvaihdolla varustetuista tiloista terpeenipäästöt laimenevat ulkoilmassa nopeasti tasolle, jolla ei ole terveydellistä haittaa.

Muita puuperäisistä biopolttoaineista haihtuvia yhdisteitä

Kun puuperäisiä biopolttoaineita varastoidaan, voi niistä haihtua ilmaan myös muita yhdisteitä, kuten hiilimonoksidia (hätä, CO) sekä erilaisia hiilivety-yhdisteitä kuten aldehydejä ja rasva- ja hartsihappoja (Svedberg ym. 2004, Arshadi & Gref 2005, Ernstgård ym. 2006, Ahonen & Liukkonen 2008, Svedberg ym. 2008, Svedberg ym. 2009, Granström 2010a ja 2010b). Terveydelle vaarallisten kaasumaisten yhdisteiden muodostuminen on tutkittu lähinnä pellettien varastoinnin ja kuljetuksen yhteydessä, mutta vastaavanlaisten yhdisteiden muodostuminen voi olla mahdollista myös muiden biopolttoaineiden, kuten hakkeen, kohdalla varastointiolosuhteista riippuen. Haitta-ainepitoisuuksien on todettu vaihtelevan riippuen mm. puulajista, varastotyypistä, ilmanvaihdosta, varastointiajasta sekä lämpötilasta. Pellettien varastointia tutkittaessa on ongelmaksi havaittu orgaanisen pölyn lisäksi hiilimonoksidin muodostuminen sekä samanaikainen hapen väheneminen varastojen ilmasta (Svedberg ym. 2008, Svedberg ym. 2009). Hiilimonoksidin ja -dioksidin sekä VOC-yhdisteiden, kuten erilaisten aldehydien, muodostumisen syyksi on esitetty puuaineksen rasvojen ja rasvahappojen auto-oksidatiivinen hajoaminen (Svedberg ym. 2004, Arshadi & Gref 2005, Ahonen & Liukkonen 2008, Svedberg ym. 2008, Svedberg ym. 2009).

Ahonen & Liukkonen (2008) mittasivat teollisuuden pellettivarastojen hiilimonoksidipitoisuuksia ja totesivat, että pitoisuudet olivat selvästi korkeampia varastoissa, joissa havaittiin pellettien hajoamista. Pitoisuudet olivat korkeampia varastosiloissa pellettien

yläpuolisissa tiloissa (1,5->900 ppm) kuin lattiatasossa (<5-13 ppm). Hiilimonoksidin HTP-arvojen ylityksiä todettiin kolmessa mittauksessa; suurin pitoisuus todettiin asiakasvarastossa, jossa ylittyi jopa analysaattorin mittausalue. Svedbergin ym. (2004) tutkimuksissa teollisuuden pellettivarastossa todettiin hiilimonoksiditason olevan 56 ± 4 mg/m³ (45±3 ppm; 18 tunnin mittauksen keskiarvo) ja kotitalousvarastossa 21 ± 8 mg/m³ (17±6 ppm; 3 kuukauden mittauksen keskiarvo). Myös Kuang ym. (2009) ovat tutkimuksissaan havainneet, että kun pellettejä varastoidaan suljetussa tilassa, hiilimonoksidin sekä -dioksidin pitoisuudet voivat nousta hyvinkin korkealle tasolle, kun samanaikaisesti tilan happipitoisuus voi laskea vaarallisen alas.

Erittäin korkeita hiilimonoksidipitoisuuksia on todettu myös pellettejä kuljettavien laivojen varasto- ja porrastiloissa. (Svedberg ym. 2008) Tutkimuksissa todettiin laivojen varastotilojen (esim. ruumat) hiilimonoksidipitoisuuksien voivan kohota ja vastaavasti happipitoisuuden laskea niin, että siitä aiheutuu vakava riski laivojen työntekijöille. Esim. ruuman hiilimonoksidipitoisuudet ylittivät hiilimonoksidin HTP-arvot enimmillään lähes 200-kertaisesti (5 850–14 650 ppm) ja samanaikaisesti happipitoisuus ilmassa laski alimmillaan vain 0,8 % :iin.

Svedberg ym (2009) ovat mitanneet myös haketta ja tukkeja kuljettavien laivojen varastotiloihin vievien portaikkojen hiilimonoksidi- ja happipitoisuuksia. Myös näissä tutkimuksissa havaittiin hapen merkittävää vähenemistä (keskiarvo 10 %; n=76) verrattuna normaaliin hengitysilmaan, jonka happipitoisuus noin 21 %. Laivan portaikkojen hiilimonoksidipitoisuudet (keskiarvo 46 ± 47 ppm; n=26) olivat alhaisempia kuin em. Svedbergin ym. (2008) tutkimuksessa ruumatiloissa, mutta samanaikaisesti mitattiin huomattavan korkeita hiilidioksidipitoisuuksia (keskiarvo $7,5\pm 5,2$ %; n=26). Tutkimuksessa korkeiden hiilidioksidipitoisuuksien oletettiin johtuvat hakkeen korkeasta mikrobiaktiivisuudesta. Sekä bakteerien, että sienten määrä hakkeessa on huomattavasti suurempi kuin pelleteissä, joten mikrobien kasvu, joka kuluttaa happea ja tuottaa hiilidioksidia, on merkittävämpi tekijä kuin pellettien varastoinnissa tapahtuva auto-oksidaatio, joka tuottaa hiilimonoksidia.

Orgaanisen aineen hajotessa voi syntyä myös aldehydejä. Yleisimmin varastojen ilmassa esiintyväksi aldehydiksi on useissa tutkimuksissa todettu heksanaali (Svedberg ym. 2004, Arshadi & Gref 2006, Ahonen & Laitinen 2008, Granström 2010b). Heksanaali (=heksaldehydi) on väritön, voimakkaan hajuisen neste, jonka hajukynnykseksi on raportoitu 2 ppm. (Kemian työsuojeluneuvottelukunta 2009) Heksanaali on, kuten sitä pienemmätkin aldehydit (esimerkiksi formaldehydi), jo varsin alhaisissa pitoisuuksissa silmiä ja hengitysteitä ärsyttävää. Suomessa heksanaalin työhygieninen raja-arvo on annettu sen ärsytysvaikutusten perusteella; HTP_{15min} on 10 ppm (42 mg/m³) (Sosiaali- ja terveysministeriö 2012).

Granström (2010b) totesi tutkimuksissaan, että pelleteistä ei juurikaan haihdu terpeenejä, koska ko. yhdisteet ovat haihtuneet jo sahajauhojen kuivaus- sekä pellettien valmistusvaiheessa. Pellettien varastoinnin aikana heksanaalipitoisuus pelleteissä nousi nopeasti, ollen korkeimmillaan noin 20 vrk kuluttua pellettien valmistuksesta (noin 26 mg/kg), jonka jälkeen pitoisuus laski.

Ahonen & Laitinen (2008) havaitsivat teollisuuden pellettivarastoja koskevassa tutkimuksessaan varastojen ilmassa esiintyvän tutkituista aldehydeistä eniten heksanaalia. Heksanaalin osuus aldehydien kokonaismäärästä vaihteli 40–84 %. Heksanaalipitoisuudet vaihtelivat, riippuen varastosäiliön tyypistä, mittauspaiosta (siilon yläosa/lattiataso) sekä pellettien hajoamisesta. Vaihteluväli viidessä eri siilossa oli kaiken kaikkiaan 0,01–200 mg/m³ (HPLC-analyysi); suurimmat heksanaalipitoisuudet todettiin siilojen yläosassa ja

varastoissa, joissa havaittiin pellettien hajoamista. Kolmessa siilon yläosassa tehdyssä mittauksessa todettiin heksanaalin HTP-arvon ylitys. Työntekijöiden altistusmittauksissa, jossa heksanaalin ja muiden aldehydien pitoisuuksia mitattiin hengitysvyöhykkeeltä, ei HTP-arvon ylityksiä todettu; pitoisuudet 0,003–0,24 mg/m³ (HPLC-analyysi). Myös muita aldehydejä, kuten formaldehydiä ja pentanaalia (9-23 % kokonais-aldehydipitoisuudesta) sekä orgaanisia happoja (esim. etikka- ja muurahaishappoa) mitattiin pellettisiilojen ilmassa, mutta pitoisuudet pääsääntöisesti alittivat HTP-arvot. Yhdessä näytteessä todettiin formaldehydin ja kolmessa akroleiinin HTP-arvon ylitys.

Svedberg ym. (2004) havaitsivat myös pellettivarastoissa samansuuruisia aldehydipitoisuuksia kuin Ahonen & Laitinen (2008). Svedberg ym. tutkivat sekä teollisuuden että kotitalouksien pellettivarastojen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia. Havaituista yhdisteistä suurin osa oli aldehydejä ja aldehydeistä havaittiin eniten heksanaalia (70–80 % kokonais-aldehydipitoisuudesta) ja pentanaalia (10–15 %). Mittauksissa havaittiin myös asetonia ja metanolia.

3.4 TAPATURMIEN VAARAT

Tapaturman vaaroihin liittyy äkillinen ja hallitsematon energian lähde; liikkuva esine, hallitsematon liike ja energia (Murtonen 2003). Työtapaturmalla tarkoitetaan tapahtumaa, jossa työntekijä loukkaantuu. (Lappalainen & Saarela, 2009) Syntyneen vamman vakavuus voi vaihdella lievästä vakavaan, ja pahimmillaan tapaturma voi johtaa kuolemaan. Tapaturman aiheuttavat tekijät voidaan jakaa teknisiin ja fyysisiin tekijöihin, henkilöiden toimintaan liittyviin tekijöihin sekä organisaatiotekijöihin. Tekniset ja fyysiset tekijät liittyvät koneisiin, laitteisiin, työympäristöön, materiaaleihin ja tuotteisiin. Henkilöiden toiminta, joka voi aiheuttaa tapaturmia, liittyy esim. suojainten puuttumiseen, henkilön turhaan riskinottoon sekä päihteiden käyttöön. Tapaturmavaaroihin liittyviä organisaatiotekijöitä ovat esim. työpaikan toimintatavat, ohjeet, työnsuunnittelu ja -johtaminen, työhön perehdyttäminen, tiedonkulku ja yhteistyö.

Työtapaturmien määrää ja kehitystä mitataan erilaisilla tunnusluvuilla, kuten tapaturmien vuosittaisella lukumäärällä, tapaturmataajuutena (lukumäärä/milj. työtuntia vuodessa) tai esiintyvyytenä (lukumäärä esim. 1 000 työntekijää kohti) sekä sairaspäivien lukumäärinä tai taajuuksina (Lappalainen & Saarela, 2009). Tapaturmavakuutuslaitosten liitto (TVL) tilastoi Suomessa lakisääteisen tapaturmavakuutusjärjestelmän perusteella palkansaajille ja yrittäjille korvattujen työtapaturmien lukumäärää, aiheuttajia ja seurauksia (TVL 2010, [TVL-www-sivut]). Maatalousyrittäjien eläkelaitos (Mela) puolestaan julkaisee maatalousyrittäjien työtapaturma tilastot. Lisäksi vuosittain Tilastokeskuksen julkaisemaan työtapaturmatilastoon tilastoidaan kaikki palkansaajille ja maatalousyrittäjille sattuneet työtapaturmat. [Suomen virallinen tilasto 2008, verkkojulkaisu] Tilasto sisältää myös tietoa muille yrittäjille sattuneista työtapaturmista sekä palkansaajille sattuneista työmatkatapaturmista. Lisäksi Suomessa tapahtuneet, kuolemaan johtaneet työtapaturmat tutkitaan eräitä poikkeustapauksia lukuun ottamatta Työpaikkaonnettomuuksien tutkintajärjestelmässä (TOT) (Lappalainen & Saarela 2009, [TVL www-sivut], [Suomen virallinen tilasto 2008, verkkojulkaisu]). Yrittäjille ja itsenäisille ammatinharjoittajille yhteisellä työpaikalla sattuneet tapaukset tutkitaan myös erikseen (YTOT).

Työtapaturmien määrät ovat viime vuosien aikana pysyneet lähes samalla tasolla (Lappalainen & Saarela 2009, Tilastokeskus 2010). Vuonna 2008 Suomessa sattui yhteensä noin 130 000 työpaikkatapaturmaa, joista palkansaajille sattui lähes 120 000 ja yrittäjille (mukaan lukien maatalousyrittäjät) reilu 11 000. (Tilastokeskus 2010) Vaikka tapaturmien määrä on pysytellyt samalla tasolla, on työpaikkakuoleman riski laskenut; vuonna 2008 keskimäärin 1,4 palkansaajaa sadastatuhannesta sai surmansa työpaikkatapaturmissa, kun vastaava luku oli 1,7 vuonna 2007. Vuonna 2008 sattui yhteensä 41 kuolemaan johtanutta työpaikkatapaturmaa, joista palkansaajille sattui 30, maatalousyrittäjille seitsemän ja muille yrittäjille neljä tapaturmaa. Noin 30 % kaikista palkansaajien vähintään 4 päivän työpaikkatapaturmista sattui vuonna 2008 tuotantoon, jalostukseen ja käsittelyyn liittyvissä työtehtävissä. (Tilastokeskus 2010, TVL 2010)

Henkilön liikkuminen on tyypillisin työsuoritus työkyvyttömyyteen johtaneissa työpaikkatapaturmissa; vuonna 2008 kaikista tapauksista 35,5 % sattui henkilön liikkumisen yhteydessä. Viidesosan kaikista tapauksista muodostavat tapaturmat siirrettäessä taakkaa käsivoimin (vuonna 2008 osuus 18,6 %) tai esineiden käsittelyn yhteydessä (osuus 19,8 % vuonna 2008). Käsikäyttöisillä työkaluilla työskentely oli syynä 12,5 %:ssa tapauksista. Yleisimpiä poikkeamia eli viimeisimpiä vahingoittumista edeltänyttä ja siihen johtanutta tapahtumia, olivat vuonna 2008 henkilön kaatuminen, hyppääminen, liukastuminen tai putoaminen (noin 30 %:ssa kaikista tapauksista), henkilön äkillinen fyysinen kuormittuminen

(noin 25 %:ssa tapauksista) tai leikkaavan, terävän, karheen esineen aiheuttama vahingoittuminen (noin 16 %:ssa tapauksista).

Vaikka koneellistumisen myötä maa- ja metsätalouden tapaturmien ja onnettomuuksien määrä on kaiken kaikkiaan vähentynyt, ovat ne tapaturmien määrällä mitattuna edelleen vaarallisimpia toimialoja mm. rakennus- ja kaivostoiminnan jälkeen ([EU-OSHA www-sivut], [TTL www-sivut: Työtapaturmat, ammattitaudit ja sairauspoissaolot]). Työt, joissa työolot ja töiden yksityiskohdat sekä toteutustavat muuttuvat jatkuvasti, kuten esim. metsätöissä sekä maataloudessa, aiheuttavat erityisiä vaatimuksia töiden järjestelyille ja valvonnalle ja laiminlyönnit kostautuvat vakavina työtapaturmina (Sinisalo 2007, Lappalainen & Saarela 2009). Vuonna 2008 metsätalouden palkansaajille sattui työtapaturmia noin 390 (27,5 työtapaturmaa/1 000 palkansaajaa) ja lisäksi omatoimisille metsänomistajille sattui yli 400 tapaturmaa. [TTL www-sivut: Työtapaturmat, ammattitaudit ja sairauspoissaolot]. Vastaavasti maataloustoimialalla (maa- ja riistatalous) tapahtui vuonna 2008 noin 550 työtapaturmaa (36,1 työtapaturmaa/1 000 palkansaajaa).

Bioenergiatoimialan tapaturmatarkastelun osalta ongelmana on, ettei toimialan tapaturmatilastoja kerätä erikseen, vaan tilastot sisältyvät metsä- ja maataloustoimialan tilastoihin. Toimialalla tapahtuneita työtapaturmia, niiden syitä tai seurauksia, ei kirjallisuuden perusteella ole toistaiseksi juurikaan selvitetty. Lepistön (2010) mukaan raportoituja lääkärihoitoa vaatineita työtapaturmia on tapahtunut erityisesti energiapuun hakkuussa, mutta myös haketuksessa sekä työkoneiden ja lämpölaitosten korjaus- ja huoltotöissä. Tiedotusvälineissä on aika ajoin uutisia, jotka liittyvät bioenergiatoimialaan. Uutisia liikenneonnettomuuksista (Ilta-Sanomat 3.10.2010 'Hakerekka romutti poliisiauton'; Kouvola Sanomat 7.1.2011 'Hakerekka suistui tieltä Kouvolassa'), tulipaloista (Satakunnan Kansa 20.10.2010 'Seikun sahalla paloi hakemurskain', Satakunnan Kansa 14.1.2011 'Hakevarasto kärehti Porissa', YLE/Etelä-Karjala 25.7.2009 'Vapon ruokohelpivarastot syttyivät tuleen Konnunsuolla') ja jopa työpaikkakuolemista (Ilta-Sanomat 11.2.2010 'Hakemurskain tappoi autonkuljettajan', Kainuun Sanomat 19.1.2010 'Hakkuriturmalla ei silminnäkijöitä'). Metsä- ja peltobioenergian tuotantoketjuissa korjuu- ja käsittelymenetelmät ovat pääasiassa samanlaisia kuin ainespuun tai esim. rehun tai heinän hankintaketjuissa, joten myös tapaturmien laatu on todennäköisesti samankaltainen. Tuotantoketjuissa on kuitenkin myös käytössä koneita ja laitteita sekä työvaiheita ja -menetelmiä, joita ei perinteisessä tuotantoketjuissa ole, kuten esim. kantojen nosto, erilaiset hakkurit/murskaimet. Uusien laitteiden tai menetelmien käyttö voi aluksi lisätä työntekijöiden tapaturmariskejä, elleivät esim. työhön perehdytys, työskentelyohjeet ja työnsuunnittelu ole asianmukaista ja riittävä. Uusia laitteita myös kehitellään ja rakennetaan koko ajan ja kehittäjien joukossa voi olla myös ns. 'tee-se-itse-miehiä' ja 'pelle pelottomia', jotka eivät välttämättä osaa huomioda kaikkia tapaturmien vaaroja. Huomioitavaa on myös, että bioenergian tuotantoprosesseista aiheutuu tapaturman vaaroja työntekijöiden lisäksi myös ulkopuolisille esim. kuljetusten (liikenneonnettomuudet) ja varastoinnin aikana (esim. varastokasojen sortuminen, tulipalot).

Tässä kappaleessa tarkastellaan erikseen metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien tapaturmavaaran tekijöitä. Lisäksi tarkastellaan varsinaisten tapaturmavaaratekijöiden lisäksi myös tulipalon ja räjähdyksen vaaraa.

3.4.1 Metsäbioenergian tuotantoprosessien tapaturmavaaroista

Metsäbioenergian tuotantoketjuissa työntekijät voi altistua tapaturmille tuotantoprosessien kaikissa vaiheissa. Euroopan työterveys- ja työturvallisuusviraston mukaan, metsätoimialalla kuolemaan johtavia tapaturmia aiheuttavat kaatuvat puut sekä onnettomuudet ajoneuvojen että työkoneiden ja laitteiden kanssa. [EU-OSHA www-sivut] Ei-kuolemaan johtavia tapaturmia aiheutuu kaatuvista puista ja oksista, kaatumisista ja liukastumisista sekä onnettomuuksista työkoneiden kanssa. Tavallisimpia vammoja ovat: ruhjeet ja mustelmat, nyrjähdykset ja venäytykset, haavat, murtumat sekä punkkien ja hyönteisten pistokset. Sekä aines- että energiapuunkorjuussa ja sen suunnittelussa on noudatettava Valtioneuvoston asetuksen 749/2001 puunkorjuutyön turvallisuudesta, määräyksiä korjuutyön turvallisuudesta (Metsäteho 2002).

Tapaturmamäärät mekaanisessa puunkaadossa (esim. harvesterit) ovat alhaisia, mutta nousevat, jos töitä tehdään moottorisahalla. (EU-OSHA 2008) Metsurin työssä tapaturmavaaraa aiheuttavat kaatumiset, liukastuminen, koneet ja laitteet sekä kiire. Miestyönä tehtävässä energiapuun korjuussa käytetään moottorisahaa, jonka käytössä tapahtuu edelleen varsin runsaasti työtapaturmia. Moottorisahahakkuussa on muistettava henkilökohtainen suojavarustus; turvakypärä, silmiensuojain, kuulonsuojaimet, suojavaatetus ja turvasaappaat (Lepistö 2010). Nykyisin metsurit käyttävät henkilökohtaisia suojaimia hyvin yleisesti, mikä on parantanut työturvallisuutta merkittävästi (Perkiö-Mäkelä ym. 2001).

Metsäkonetyössä tapaturmavaara ohjaamon ulkopuolella on suurempi kuin ohjaamon sisällä. Eri työvaiheet tulee suunnitella niin, että huomioidaan myös muiden samalla alueella työskentelevien, esim. metsureiden, turvallisuus. Moottorisahahakkuissa työntekijöiden, sekä muiden työmailla liikkuvien välinen turvaetäisyys, tulee olla vähintään kaksi kertaa kaadettavan puuston pituus. [Laitinen & Kallio] Päätehakkuissa se tarkoittaa keskimäärin noin 50 metrin matkaa. Myös ulkopuolisten, metsässä liikkuvien henkilöiden turvallisuus on varmistettava esim. hakkuutyömaasta varoittavilla merkeillä. (Metsäteho 2002) Käytettävien laitteiden ja koneiden vaara-alueet ja turvaetäisyydet on aina huomioitava sekä laitteiden sijoittelussa (esim. hakkurit, murskaimet) sekä koneita, kuten hakkuukoneita ja metsätraktoreita, maastossa lähestyttäessä. Koneellisessa puunkorjuussa turvaetäisyyden tulee olla kuormaimen pituus ynnä kaadettavan puuston kaksinkertainen pituus [Laitinen & Kallio]. Hakkuukoneen kohdalla se tarkoittaa yleisesti 50–70 m matkaa ja ajokoneella 20 m matkaa (Tapola 2000, [Laitinen & Kallio]). Hakemurskainten turvaetäisyys on vähintään 65 metriä syöttösuuntaan nähden (Lepistö, 2010). Oikea tapa lähestyä konetyömaata on ilmoittautua koneen kuljettajalle matkapuhelimella. (Tapola 2000) Kuljettajan tulee pysäyttää kone, mikäli havaitsee vaara-alueella ihmisiä. Hakkuukoneiden sahan ketjun irtoaminen tai katkeaminen (ns. 'ketjuluodit') voi aiheuttaa vaaratilanteen sekä ulkopuolisille henkilöille, että koneen kuljettajalle. Myös risujen, oksien, kantojen juurakoiden sekä kivien iskut koneen lasiin, työntekijään tai ulkopuolisiin henkilöihin voivat aiheuttaa vaaratilanteita.

Koneeseen nouseminen ja laskeutuminen ovat tapaturma-alttiita tilanteita. (Tapola 2000, Perkiö-Mäkelä ym. 2001, Pesonen ym. 2005) Etenkin syksyllä ja talvella koneen ulkopuoliset metalliosat voivat olla jäätyneitä ja liukkaita. Myös liukas maa ja lumi voivat aiheuttaa kaatumisia. Sopivat jalkineet, liukumista estävät pinnat ja tartuntakahvat vähentävät huoltojen ja korjausten sekä ohjaamoon nousun ja sieltä poistumisen aikaisia tapaturmia (Metsäteho 2002).

Metsäkoneiden huolto-, korjaus- ja kunnossapitotoimenpiteet ovat yleinen työtapaturmien aiheuttajia; tapaturmat vaihtelevat pienistä naarmuista kuolemantapauksiin. (EU-OSHA 2008, Tapola 2000, Perkiö-Mäkelä ym. 2001, Pesonen ym. 2005) Rasvaus, öljynlisäys ja teräketjun huolto ovat päivittäisiä toimenpiteitä esim. hakkuukoneille ja kuskin on tultava tekemään

nämä toimenpiteet ulos ohjaamosta. Huolto- ja korjaustoimenpiteistä mm. työkalujen lipsahdukset, koneesta putoamiset, puristavat ja leikkaavat koneenosat sekä paineilma ja rengastyöt aiheuttavat tapaturmia ja onnettomuuksia. Etenkin kädet ovat tapaturmaherkkiä erilaisissa huoltotöissä. On tärkeää käyttää tarvittavia suojaimia, kuten silmien- ja kuulonsuojaimia, suojakäsineitä ja -kypärää, huolto- ja korjaustöiden aikana. Tapaturmariskien vähentämiseksi vaarallisten huolto- ja korjaustoimenpiteiden tekemistä yksin ja metsässä tulisi välttää. Matkapuhelin tulee pitää mukana ohjaamosta noustessa, jolloin tapaturman sattuessa voi soittaa apua. Tapaturmariskiä voidaan pienentää myös valitsemalla käyttötarkoitukseen soveltuva kone ja pitämällä kone hyvässä kunnossa, jolloin metsässä tehtävät korjaustoimenpiteet vähenevät. Työkoneeseen asennetut lisälaitteet ja tehdyt rakennemuutokset eivät saa vaarantaa koneen käyttöturvallisuutta. Nykyaikaisissa metsäkoneissa ja -traktoreissa varsin hyvät turvajärjestelmät (esim. hätäpysäytin, turva-automatiikka), mutta niitä ei saa poistaa käytöstä tai vioittaa (Tapola 2000).

Myös tulipalot voivat aiheuttaa tapaturmia metsätöissä. Konepalojen syttymissyitä ovat esim. vuotava polttoainejärjestelmä tai hydraulikka, ylikuumenneet jarrut ja rumpujen päälle kertyneet roskat, koneen alla syttynyt maastopalo. Koneet tulee aina olla varustettu asianmukaisilla ja riittäväillä sammuttimilla. (Metsäteho 2002) Kuivana kesäaikana on huomioitava esim. kouran tai telaketjujen aiheuttama kipinävaara, joten koneessa tai palstalla on aina pidettävä vettä saatavilla syttyneiden maastopalonalkujen sammuttamiseen. Koneiden huoltopaikan tulisi olla erillään puutavaran varastopinoista tulipalovaaran vuoksi.

Sähkö- ja puhelinlinjojen läheisyydessä on noudatettava erityistä varovaisuutta sekä hakuksessa että kuormauksessa. (Tapola 2000, Metsäteho 2002, Pesonen ym. 2005, Lepistö 2010) Vaadittuja turvaetäisyyksiä sähkölinjoihin on noudatettava. Sähkölinjojen nimellisjännitteen suurus määrää vähimmäisturvaetäisyyden, avo- ja riippujohtojen läheisyydessä työskenneltäessä; esim. 20 kV avojohdoissa vähimmäisetäisyys on johdon alla 2 m ja sivulla 3 m, kun vastaavat etäisyydet 400 kV avojohdoilla ovat 5 m molemmissa tapauksissa. (Tapola 2000) Kuten ainespuun, myös energiapuun, metsätähteiden ja risutukkien varastopaikat tulee valita niin, etteivät kasat sijoitu sähkölinjojen alle. Sähköjohdon kosketus on aina hengenvaarallinen ja suurjännitejohdossa sähkö voi "hypätä" ilman kosketustakin aiheuttaen vaaratilanteen tai sähkötapaturman (Metsäteho 2002).

Koneellisessa korjuussa on myös huomioitava jo suunnitteluvaiheessa oikeat ajolinjat, jolloin vältetään esim. koneen kaatuminen hankalassa maastossa (esim. pehmeiköt, jyrkänteet, suuret sivukaltevuudet) (Metsäteho 2002). Oikea ajotekniikka ja oikein mitoitettut kuormat pienentävät metsäkuljetusten onnettomuusriskiä. (Metsäteho 2002, Lepistö 2010)

Energiapuun, hakkuutähteiden, risutukkien ja kantojen varastopinot tulee kasata niin, ettei niistä aiheudu vaaraa työntekijöille tai ulkopuolisille. (Metsäteho 2002, Lepistö 2010) Kasojen tulee olla vakaita, eivätkä ne saa olla liian korkeita, sortumavaaran ehkäisemiseksi. Kiipeäminen kasoihin on hyvä kieltää. Varastokasojen peittämisessä esim. muovilla tai paperilla on huolehdittava työturvallisuudesta. Kasojen pohja tulee olla kantava sortumavaaran estämiseksi. Väliavarastopaikka on valittava niin, että kasojen kuormaaminen ja materiaalin hakettaminen esim. tienvarressa sujuu ilman varaa työntekijöille, ulkopuolisille henkilöille tai muulle liikenteelle. Yleisen tien varressa oleva varastoalue on merkittävä varoitusmerkinnöin kuljetus- ja haketusvaiheen aikana.

Poltoa varten metsäbiomassa on hakettava tai murskattava. Hakettimien ja murskainten aiheuttamista tapaturmavaaroista ei ole tutkimustuloksia, mutta esim. laitteen tukkeutuminen voi aiheuttaa vaaratilanteita. Tukkeutumista voi aiheuttaa itse hakettava/murskattava materiaali sekä materiaalin joukossa olevan esineet kuten esim. hakkuutähteiden tai kantojen joukossa olevat kivet. Tukkeutumisen selvittämistä varten esim. murskain on aina pysäytettävä

ja sen käynnin annettava esim. kivi poistettava murskaimen syöttölaiteistosta. Hakkurin syöttölaitteen tukkeutumisen selvittäminen ennen laitteen pysähtymistä on aiheuttanut jopa työpaikkakuoleman (Kainuun Sanomat 19.1.2011). Kuvassa 25 on tilanne, jossa hakkuutähteen joukossa ollut kivi tukki hakettimen syöttöjärjestelmän ja tukkeuma jouduttiin selvittämään. Myös hakkureiden ja murskainten huoltaminen, korjaaminen kuten terien vaihtaminen ja huoltaminen voi aiheuttaa tapaturmariskejä.



Kuva 25. Hakkuutähteen joukossa ollut kivi on tukkinut hakettimen syöttöjärjestelmän. Hakkuri on pysäytetty tukkeuman selvittämisen ajaksi (kuva M. Ruokolainen).

Metsähakkeen varastoinnissa voimalaitoksilla sekä polttoaineen siirrossa varastoista polttoon voi myös tapahtua tapaturmia. Hapen loppumisen tai hapen korvautumisen muulla kaasumaisilla yhdisteillä (esim. hiilimonoksidi, heksanaali) varastoinnin aikana on todettu aiheuttavan tapaturmien vaaraa ja jopa aiheuttavan kuolemaan johtavia onnettomuuksia. Esimerkiksi pellettien varastoinnin yhteydessä on todettu hapen loppuminen siilosta ja työntekijän kuoleminen siiloon (kts kappale 3.3.2). Hakkeen varastoinnissa aiheutuvista työtapaturmista ei ole olemassa tutkimustuloksia, mutta tapaturvavaaraa voi aiheutua esim. hakesiiloja ja -varastoja täytettäessä sekä siirrettäessä haketta varaston sisällä tai polttoon. Hakkeen siirrossa käytetään erilaisia kuljettimia, joiden tukkeutuminen on mahdollista. Tukkeutumien selvittäminen voi aiheuttaa tapaturvariskejä, kuten esim. putoamisia, liukastumisia ja erilaisia muita onnettomuuksia. Myös kuljettimien huoltaminen ja korjaaminen on tehtävä huomioiden tapaturmien vaara. Talvella kostean hakkeen ja varastojen lattioiden jäätyminen aiheuttaa liukastumisvaaraa. Myös ahtaat tilat ja huonosti suunnitellut ajojärjestelyt aiheuttavat voima- ja lämpölaitepiha-alueilla tapaturmien ja liikenneonnettomuuksien vaaraa (Ryymim ym. 2008). Varastojen tulipalojen ja räjähdysvaaran riskejä on tarkastelu erikseen kappaleessa 3.4.3.

3.4.2 Peltobioenergian tuotantoprosessien tapaturmavaaroista

Kuten metsäbioenergiainkin tuotannossa, peltobioenergian tuotannossa tapaturman vaaraa aiheuttavat erityisesti koneet. Yleisesti ottaen maatalousalalla koneet ja laitteet aiheuttavat toiseksi eniten vakavia tapaturmia; eniten tapaturmia aiheuttaa työympäristö (esim. liukkaus tai epätasaisuus) (Sinisalo 2007). Koneita käytetään kaikissa bioenergiatuotannon työvaiheissa, mutta tavanomaisiin maatalousalan töihin verrattuna esim. ruokohelven tuotannossa käytetään esim. hakettimia ja murskaimia, joita ei perinteisessä viljan- tai rehuntuotannossa käytetä. Vaikka teknistyvä maatalous vähentää työn fyysistä

kuormittavuutta, voivat entistä tehokkaammat koneet lisätä tapaturmariskejä (Sinisalo 2007). Maatalousalan konetöissä sattuu eniten tapaturmia traktorin ja siihen liitettävien koneiden käsittelyssä [TTL www-sivut]. Tapaturmia sattuu erityisesti traktoriin noustessa ja poistuttaessa sekä työkoneiden kytkennässä. Häiriötilanteet ovat konetöissä aina vaarallisia ja myös maatalouskoneiden huollossa ja korjauksessa tapahtuu runsaasti tapaturmia samaan tapaan kuin kappaleessa 3.4.1 on kuvattu metsäbioenergian osalta (Karttunen ym. 2006, Sinisalo 2007, [TTL www-sivut]).

Ruokohelpipaalien käsittely- ja varastointitilanteissa voi tapahtua tapaturmia. Paalien varastointipaikan valinnassa on huomioitava, että alueen pohja on kantava ja että paalit pysyvät paikoillaan, eivätkä kasat pääse kaatumaan. (Lötjönen & Knuutila 2009) Huonosti kasatut varastokasat voivat aiheuttaa tapaturmavaaraa myös ulkopuolisille, jos esim. lapset pääsevät kiipeämään kasojen päälle. Varastokasoja ei myöskään saa sijoittaa sähkölinjojen alle. Myös kasan turvallinen purkaminen kuorma-autoon on huomioita sijoituspaikassa. Usein helpipaalit peitetään suojamuovilla paalien kastumisen estämiseksi. Peittäminen on myös huomioitava kasojen korkeudessa, sillä muovien asentaminen liian korkeiden kasojen päälle on hankalaa ja aiheuttaa myös tapaturman vaaraa. Muovien reunat tulee myös asentaa niin, ettei muovien alle tarvitse eikä niiden alle pääse ryömimään (esim. lapset), sillä muovien alle voi kertyä tukahduttavia kaasuja.

Ruokohelven murskaustilanteessa voi aiheutua vastaavanlaisia ongelmia kuin metsähakkeen tekemisessä. Helpimurskain voi tukkeutua paalinarujen tai -verkkojen takia ja tukkeutumien selvittäminen voi aiheuttaa tapaturman vaaraa. (Paappanen ym. 2008a) Joissakin murskaimissa tukkeutuminen on isompi ongelma, mutta lähes kaikista malleista naruja ja verkkoja joudutaan poistamaan. Murskaimen voi myös joutua kiviä tai muuta materiaalia, joka aiheuttaa tukkeutumisia. Kuten metsäbiopolttoaineiden hakettimien ja murskaimien osalta kone on aina pysäytettävä tukkeutumien selvittämistä varten. Myös murskaimen huollossa ja korjauksessa (esim. terien vaihdot) tulee noudattaa varovaisuutta ja huolellisuutta tapaturmien välttämiseksi.

Ruokohelven varastoinnista voima- ja lämpölaitoksilla voi aiheutua vastaavanlaisia tapaturmariskejä kuin metsähakkeen varastoinnista. Koska helpeä käytetään seospolttoaineena, voi esimerkiksi liian kostea tai huonosti murskattu helpi tai seospolttoaineiden lajittuminen varastoinnin aikana lisätä kuljettimien tukkeutumista ja holvaantumista (Paappanen ym. 2008a ja 2008b). Kuljettimien tukkeutumisten selvittämisessä on aina tapaturman vaara esim. putoamisen tai liukastumisen takia. Varastojen tulipalo ja räjähdysvaaroja on käsitelty kappaleessa 3.4.3.

3.4.3 Tulipalo- ja räjähdysvaara

Sekä metsä- että peltobiopolttoaineiden käsittely ja varastointi voi aiheuttaa tulipalo- ja räjähdysvaaran. Korjuuvaiheessa kuiva peltobiomassa (esim. ruokohelven korjuukosteus 10–15 %) on herkästi syttyvää. (Vapo Oy 2010) Niitto on yleisin ruokohelpipalon aiheuttaja. Kiveen osunut terä, paalaimen laakerivauriot ja traktorin pakosarjan päälle kertynyt pöly aiheuttavat kipinöintiä sytyttäen korsimassan tuleen. Palojen syttymisriskiä voidaan vähentää mm. puhdistamalla traktori ja työkoneet ennen korjuutöiden aloittamista sekä lopettamisen jälkeen, varustautumalla koneet asianmukaisilla sammuttimilla ja niittämällä mahdollisuuksien mukaan yöllä. Myös helpin varastointialueilla on syytä noudattaa varovaisuutta ja välttää kaikenlaista tulen käsittelyä tulipalojen estämiseksi (Lötjönen & Knuutila 2009).

Kuivan biopolttoaineen käsittelyssä ja varastoinnissa on aina huomioitava tulipalon mahdollisuus sekä ulkoisesta syttymislähteestä tai spontaanista itsesyttymisestä johtuen. Ulkoisia syttymislähteitä ovat esim. koneiden ja laitteiden moottorien kuumuus, kuljettimien ja syöttöjärjestelmien kitkan aiheuttama kuumuus, staattisesta sähköstä aiheutuvat kipinät sekä polttouunien ja -kattiloiden aiheuttama kuumuus, kipinät ja tuli (Norden 2008). Esimerkiksi ruokohelpi on herkästi syttyvä, joten helpin käsittely- ja kuljetusjärjestelmä on voima- ja lämpölaitoksissa varustettava asianmukaisilla ja kunnollisilla palonilmaisimilla ja sammutuslaitteilla (Lötjönen & Knuutila 2009). Kuivan biopolttoaineen hakettaminen/murskaaminen aiheuttaa erittäin runsaasti pölyä, joka käytön aikana kertyy moottoriin ja voi aiheuttaa tulipalon vaaraa. Tulipalon riskiä on vähennetty asentamalla uusiin laitteisiin esim. moottorien jäähdytysilman pölynerottimia, jotka vähentävät myös jäähdyttimien pölyn puhdistuksen tarvetta [Ideachip Oy www-sivut]. Koneissa on myös ylikuumenemissuoja, joka sammuttaa moottorin, jos se kuumenee liikaa. Kuumien moottoreiden ja laitteiden päälle kertyvä pöly voi myös syttyä helposti palamaan. Hakkureissa/murskaimissa tulee olla asianmukainen tarkastettu ja huollettu alkusammutuskalusto ja koneet/laitteet tulee puhdistaa pölystä säännöllisesti tulipalovaaran vähentämiseksi.

Kun biomassaa varastoidaan pidempi aika sopivissa olosuhteissa, voi seurauksena olla itsekuumenemisestä ja -syttymisestä aiheutuva tulipalo (Norden 2008, Ferrero ym. 2009, [Virtuaalisuo]). Itsesyttymisessä tapahtuu fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia reaktioita, jotka aiheuttavat aineen lämpenemistä. Jos systeemin lämmöntuotto on suurempi kuin lämpöhäviö, jatkaa lämpötila nousemistaan. Itsesytyminen voi tapahtua, jos tällaista ainetta varastoidaan hyvin lämpöeristetyssä tilassa (kasat, aumat) ja aine pääsee tekemisiin ilman hapen kanssa. Itsesytyviä aineita ovat mm. aineet, jotka tavallisessa lämpötilassa lämpenevät itsestään, kuten monet orgaaniset aineet; turve, vilja, hake, sahanpuru. Orgaaninen materiaali sisältää yhdisteitä (esim. aminohappoja, selluloosaa, hemiselluloosaa, ligniiniä), jotka kelpaavat hajottajien ravinnoksi. Mikrobiologisessa hajotusprosessissa muodostuu aina lämpöä ja mikäli lämpö ei pääse hajotusprosessin aikana vapautumaan ympäristöön, hajotettava aine alkaa kuumentua. Tällöin puhutaan orgaanisen aineen itsekuumenemisestä. Kuumeneminen voi tietyissä olosuhteissa johtaa avoimeen tulipaloon. Turpeen itsekuumenemistä ja -syttymistä varasto-omoissa on tutkittu paljon [Virtuaalisuo]. Myös muu kostea biomassa, kuten kasoihin varastoidut hakkuutähteet, kuori, tai valmis hake luovuttavat lämpöä, joka voi johtaa lämpötilan nousun seurauksena varastokasojen itsesyttymisriskin kasvamiseen (Jirjis 1995, Ajanko & Fagnäs, 2006, Norden 2008, Ferrero ym. 2009). Esim. hake- ja turvevarastojen tulipaloja tapahtuu silloin tällöin. Myös ruokohelpipolttaineen varastointi voi aiheuttaa kasan lämpötilan nousua ja tulipalon vaaraa (Lindh ym. 2000, Lötjönen & Knuutila 2009).

Pölyävä, hyvin kuiva biopolttoaine voi tietyissä tilanteissa aiheuttaa myös räjähdysvaaran. (Norden 2008) Lähinnä tällaisia tilanteita voi muodostua biomassan haketuksen/murskauksen aikana, mikäli materiaali on riittävän kuivaa ja pienipartikelista ja haketus/murskaus tehdään suljetussa tilassa esim. terminaalissa. Toinen mahdollinen tilanne on materiaalin varastointivaihe, jos polttoainetta käsitellään suljetuissa tiloissa.

Jos pölyn pitoisuus ilmassa on riittävän korkea (ylittää alemman räjähdysrajan), voi palavan materiaalin muodostama pöly syttyä kuten palava kaasu, ja johtaa suljetussa tilassa räjähdykseen (Säämänen ym. 2004, TUKES 2009). Yleisesti voidaan katsoa syntyvän räjähdysvaaran, jos syttyvän pölyn pitoisuus ylittää 10 g/m^3 (Säämänen ym. 2004.) Jo 1 mm:n hienojakoinen pölykerros, joka nousee 1 m:n korkuiseksi pölypilveksi, voi räjähtää. Syttymislähteitä voivat olla esim. lämpösäteily, kuumat pinnat, sähkölaitteet, mekaanisesti syttyvät kipinät ja staattisen sähkö (Säämänen ym. 2004, TUKES 2009). Kaasuräjähdyksen aiheuttamat paineaallot voivat nostaa pinnoille laskeutuneen pölyn ilmaan etenevän liekin edessä, jolloin räjähdys saattaa laajeta kauaksi alkuperäisestä syttymäpaikastaan. (Säämänen ym. 2004) Räjähdysvaaraan vaikuttaa voimakkaasti pölyn hiukkaskoko, sillä mitä hienompaa pöly on, sitä suurempi on räjähdysten mahdollisuus. Pölyn korkea kosteuspitoisuus ja ilman korkea suhteellinen kosteus voivat estää syttymisen ja sen seuraukset; jos pölyn kosteuspitoisuus ylittää 50 %, ei räjähdys ole mahdollinen. Kosteudella on siten merkittävä vaikutus vähennettäessä staattisen sähköön muodostumista ja palon etenemistä. Räjähdysvaaraa alentavina toimenpiteinä ovat räjähtävän pölypilven syntymisen estäminen sekä pölyn syttymisen estäminen (Säämänen ym. 2004, TUKES 2009). Laitteistojen/koneiden kunnolla, puhdistamisella ja huollolla on suuri merkitys sekä räjähtävän pölypilven syntymisen mahdollisuuteen että palon etenemiseen.

Puupölyn räjähdysvaaran muodostumisessa tärkeä asia on puupölyn hiukkaskoko (Laaksonen 2005, Norden 2008). Puupöly, jonka hiukkaskoko on alle 0,5 mm, voi aiheuttaa räjähdyskelpoisen pölyilmaseoksen. (Laaksonen 2005) Pölyilmaseos aiheuttaa räjähdysvaaran, vaikka siihen olisi sekoittunut karkeakin puuainesta, jos hienojakoisen puupölyn pitoisuus on yli alemman räjähdysrajan. Jos puupölyn hiukkasten koko on pääsääntöisesti suurempi kuin 0,5 mm (eli voidaan puhua lastuista ja purusta), räjähdysvaaraa ei ole. Puupölyn räjähdysvaarallisuutta arvioitaessa tulee ottaa huomioon, voiko pöly muodostaa pölyilmaseoksen, jossa puupölyn pitoisuus on riittävä. Pölyräjähdys on mahdollinen, kun puupölyn pitoisuus ilmassa on yli 20 g/m^3 . Lisäksi läsnä on oltava hapetta ja syttymislähde (Norden 2008).

EU:n direktiivit 94/9/EY (ATEX-laitedirektiivi) ja 1999/92/EY (ATEX-työolosuhdedirektiivi), koskevat räjähdysvaarallisia tiloja, niissä työskentelyä ja tiloissa käytettäviä laitteita (TUKES 2009). Em. direktiivien tavoitteet on huomioitu suomalaisessa lainsäädännössä asetuksessa 917/1996 ja kauppa ja teollisuusministeriön päätöksessä 918/1996 ATEX-laitedirektiivin ja valtioneuvoston asetuksessa 576/2003 ATEX-työolosuhdedirektiivi osalta. ATEX-työolosuhdesäädökset koskevat kaikkia niitä työnantajia, joiden työntekijät voivat joutua alttiiksi esim. pölystä aiheutuvalla räjähdysvaaralle. Räjähdysvaarallisiksi luokitelluissa tiloissa (ns. Ex-tilat), joita on mm. mm. energian tuotannossa ja puunjalostusteollisuudessa, on käytettävä laitteita ja koneita (ns. Ex-laitteita), jotka on tarkoitettu käytettäväksi Ex-tiloissa. Bioenergian tuotantoprosesseissa tällaisia Ex-tiloja voivat olla ainakin biopolttoaineiden varastotilat.

4 TYÖN TAVOITTEET

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan bioenergian tuotantoprosessien vaaratekijöitä sekä vaaratekijöiden aiheuttamia työterveys- ja työturvallisuusriskejä. Työssä keskitytään tarkastelemaan kiinteiden biopolttoaineiden tuotantoa metsä- ja peltobiomassoista. Edellä olevassa kirjallisuussosiossa käsiteltiin varsin laajasti bioenergiaa yleisellä tasolla; sen tuotantoa, käyttöä ja merkitystä mm. työllisyyteen nykyisin ja tulevaisuudessa. Lisäksi lähempään tarkasteluun valittuja metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosesseja on kuvattu tarkasti, sillä prosessien vaaratekijöiden tunnistaminen vaatii myös itse prosessin tuntemista ja ymmärtämistä. Vaaratekijöistä tarkasteluun valittiin fysikaaliset, biologiset ja kemialliset vaaratekijät sekä tapaturmien vaara.

Tämän pro gradu-työn painopiste on edellä olevassa kirjallisuussosiossa, sillä päätavoitteena on selvittää, kuinka hyvin valittujen bioenergian tuotantoprosessien vaaratekijät ja niiden mahdollisesti aiheuttamat riskit tunnetaan. Tavoitteena on arvioida ja priorisoida tutkimuskohteita ja -tarpeita siten, että tunnistettujen vaaratekijöiden aiheuttamia työterveys- ja työturvallisuusriskejä ja niiden merkittävyyttä pystyttäisiin myös arvioimaan.

Työn toisen osan tavoitteena on käydä läpi metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien fysikaaliset, biologiset ja kemialliset vaaratekijät sekä tapaturman vaaraa aiheuttavat tekijät ja tunnistaa tekijöistä merkittävimmät. Vaaratekijöiden tunnistamisen lisäksi arvioidaan, aiheuttaako tunnistettu tekijä haittaa tai varaa työntekijöiden terveydelle ja/tai turvallisuudelle prosessin eri vaiheissa sekä esitetään esimerkkien avulla, kuinka tekijän aiheuttamaa riskiä ja sen suuruutta voidaan arvioida. Työn laajuuden vuoksi tässä ei tarkastella kaikkia yksittäisiä tunnistettuja vaara- ja riskitekijöitä ja niiden aiheuttamien riskin suuruutta. Esitetyt arviot perustuvat kirjallisuudesta saatavissa oleviin tietoihin sekä prosessien tuntemiseen, koska työn aikana ei ollut mahdollisuutta esim. mitata työympäristön altisteiden määrää, altistumisen kestoa tai työntekijän henkilökohtaista altistusta.

Tunnistettujen vaaratekijöiden ja riskien perusteella laaditaan tuotantoprosesseittain työturvallisuusnäkökohtiin liittyvät tarkastuslistat ('safety check'-listat), joita voidaan käyttää työpaikoilla esim. vaaratekijöiden sekä riskien ja niiden hallinnan alustaviin kartoituksiin. Koska jo etukäteen tiedettiin, että bioenergiaan tuotantoprosessien työterveys- ja työturvallisuusriskeistä löytyy varsin vähän tutkittua tietoa, pyrittiin kirjallisuuskatsaukseen keräämään tietoa mahdollisimman laajasti. Mukaan tarkasteluun on valittu mm. sellaisia vaaratekijöitä, joiden merkittävyys todellisina työterveys- ja/tai työturvallisuusriskinä bioenergia toimialalla on todennäköisesti hyvin vähäinen, kuten esim. zoonootit, lannoitteet, tarjunta-aineet. Painopiste tarkastelussa oli kuitenkin niissä vaaratekijöissä, joiden arvioidaan olevan ominaisia metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosesseille. Useat vaaratekijät esiintyvät myös perinteisissä maa- ja metsätalouden prosesseissa, mutta erojakin on. Kirjallisuudesta saatavaa tietoa voidaan hyödyntää esim. laadittaessa yksityiskohtaisempia ohjeita bioenergian parissa työskentelevien työterveyden ja turvallisuuden parantamiseksi ja riskien hallintaan. Lisäksi työn yhtenä tärkeänä tavoitteena on löytää ne vaaratekijät, joiden osalta ei ole olemassa luotettavaa ja ajantasaista tutkimustietoa riskien arvioimiseksi. Työn tulosten perusteella voidaan arvioida lisätutkimusten tarvetta ja kohdistaa tutkimukset tulevaisuudessa oikeisiin prosesseihin ja/tai niiden osiin.

5 AINEISTO JA MENETELMÄT

5.1 AINEISTO JA TYÖN RAJAUS

Tämä pro-gradutyö tehtiin osana Itä-Suomen yliopiston, Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL), Ilmatieteenlaitoksen ja Työterveyslaitoksen (TTL) yhteistä Kantiva-hanketta. Jo ennen tämän työn aloittamista olivat tutkija Marika Lehtola ja vanhempi asiantuntija Kari Ojanen Työterveyslaitokselta laatineet bioenergian tuotantotavoista ja niihin liittyvistä tuotantoprosesseista ja tunnistetuista vaaratekijöistä prosessikaavioita, joiden työstämistä tämän työn puitteissa jatkettiin.

Bioenergian tuotanto on käsitteenä laaja; bioenergiaa voidaan tuottaa useista raaka-aineista, useilla eri prosesseilla, myös polttoaineen olomuoto vaihtelee (kaasu, neste tai kiinteä) ja lisäksi energian tuotantomenetelmät sekä yksittäisten laitosten prosessit, koko ja teho vaihtelevat suuresti. Edellä mainituista syistä johtuen, työssä jouduttiin tekemään joitakin rajauksia, käytettävissä olleen ajan ja työn laajuuden vuoksi.

Metsäbioenergian raaka-aineista tarkasteluun valittiin metsähake ja sen tuotantoprosessit eri raaka-aineiden mukaan; metsätähde, kannot ja pienpuu. Peltobioenergian osalta tarkastelun kohteeksi valittiin ruokohelpi ja sen tuotantoprosessit, sillä helpi on tällä hetkellä käytetyn peltobiopolttoaine Suomessa. Turve ja sen käyttö rajattiin myös ulkopuolelle, sillä sen osalta tuotantoprosessit ovat paremmin tunnettuja. Valittujen tuotantoprosessien tarkastelu rajattiin koskemaan ko. biomassojen tuotantoa (mm. korjuu, lähi- ja kaukokuljetus, välivarastointi), varsinaisten polttoaineiden valmistusta (mm. haketus/murskaus, seostus) sekä polttoaineiden käyttöä energian tuotantolaitoksilla (mm. varastointi, kuljetus, siirto polttoon). Tarkastelun ulkopuolelle rajattiin biopolttoaineiden käytöstä lämpö- ja voimalaitoksilla aiheutuvat päästöt, työntekijöiden altistuminen päästöille (mm. savukaasut, pienhiukkaset, tuhka) sekä niiden aiheuttamat työterveysriskit. Työterveys- ja työturvallisuusriskejä aiheuttavista vaaratekijöistä otettiin mukaan tarkasteluun fysikaaliset, biologiset ja kemialliset tekijät sekä tapaturmien vaara.

Valittujen biopolttoaineiden osalta tarkastelu toteutettiin prosesseittain siten, että tuotantoprosessit jaettiin osaprosesseihin, joihin tunnistetut vaaratekijät yhdistettiin. Kunkin biopolttoaineen tuotantoprosesseina käytettiin tavallisimpia, nykyisin yleisessä käytössä olevia menetelmiä sekä niihin liittyviä koneita ja laitteita, joita on kuvattu mm. alan kirjallisuudessa. Tuotantoprosesseja on yksityiskohtaisemmin kuvattu edellä kirjallisuuskatsauksessa, kappaleissa 2.2 ja 2.3, joissa on esitetty tuotantoprosessit myös yksinkertaistettuina prosessikaavioina sekä liitteissä 1-4.

5.2 MENETELMÄT

5.2.1 Vaaratekijöiden tunnistaminen ja luokittelu

Ensimmäisessä vaiheessa tunnistettiin kunkin biopolttoaineen tuotannon osaprosessien vaaratekijöitä. Vaaratekijöiden tunnistaminen perustui prosessin yleisten työvaiheiden ja -menetelmien tuntemiseen sekä kirjallisuudesta löydettävissä oleviin tietoihin. Prosesseista tunnistettiin seuraavia vaaratekijöitä:

- fysikaalisia vaaratekijöitä: melu, värinä ja muut tekijät esim. lämpö
- biologisia vaaratekijöitä: mikro-organismit, eläinten kautta tarttuvat taudit (zoonoosit)
- kemiallisia vaaratekijöitä: orgaaninen ja epäorgaaninen pöly, polttoaineet, pakokaasut, öljyt, puusta haihtuvat aineet jne.
- tapaturmien vaaroja: tapaturmat sekä liikenneonnettomuudet, tulipalo- ja räjähdysvaara.

Toisessa vaiheessa tunnistetut vaaratekijät jaettiin kolmeen luokkaan sen mukaan, kuinka hyvin ko. vaaratekijä ja sen aiheuttamat vaarat/haitat työterveydelle ja työturvallisuudelle tunnetaan. Luokittelu perustui kirjallisuuskatsauksessa saatuihin tietoihin (esim. löytykö kirjallisuudesta tutkimustuloksia osaprosessin tunnistetusta vaaratekijästä). Luokittelua pyrittiin havainnollistamaan väreillä, joten se toteutettiin ´liikennevalo´-periaatteella kuvaamalla saatavilla olevan tutkimustiedon tasoa eri väreillä (vihreä, keltainen ja punainen). Tämä väreillä ilmaistu luokittelu yhdistettiin edellisessä vaiheessa tuotettuihin bioenergian tuotannon prosessikaavioihin. Tehtyä luokittelua voidaan kuvata seuraavasti:

- **vihreä väri:** tunnistetusta vaaratekijästä ja sen aiheuttamista vaaroista/haitoista on olemassa tutkittua/mitattua tietoa ja tutkimustuloksia ko. bioenergian tuotantoprosessin osalta. Tietoa on saatavilla niin, että vaaratekijän aiheuttamia riskejä voidaan arvioida tietojen avulla.
- **keltainen väri:** tunnistetusta vaaratekijästä ja sen aiheuttamista vaaroista/haitoista on olemassa tietoa, mutta tutkimustuloksia ko. bioenergian tuotantoprosessin osalta ei ole saatavilla. Vaaratekijän aiheuttamia riskejä ei voida täysin luotettavasti arvioida tietojen avulla.
- **punainen väri:** tunnistetusta vaaratekijästä ja sen aiheuttamista vaaroista/haitoista ei ole saatavilla tietoa (ei tutkimustuloksia) ko. bioenergian tuotantoprosessin osalta. Vaaratekijästä tarvitaan tutkimustietoa riskien arvioimiseksi.

Väreillä esitetyn luokittelun lisäksi arvioitiin tunnistettujen vaaratekijöiden merkittävyyttä kolmiportaisella asteikolla. Kunkin tuotantoprosessin vaiheet käytiin läpi arvioimalla tunnistetun vaaratekijän osalta, aiheuttaako ko. tekijä haittaa tai vaaraa työntekijöiden terveydelle tai turvallisuudelle tai voidaanko vaaratekijän merkittävyyttä ylipäättänsä arvioida esim. vaaratekijästä saatavilla olevan tiedon vähäisyyden tai puuttumisen vuoksi. Kullekin vaaratekijälle valittiin yksi vaihtoehto kolmesta taulukon 8 vaihtoehtojen mukaisesti.

Taulukko 8. Työssä käytetyn vaaratekijöiden tarkastuslistan vaihtoehdot.

Vaaratekijöiden tarkastuslistan vaihtoehdot	
Ei vaaraa tai haittaa (1)	Vaaratekijää ei esiinny ko. työvaiheessa, tai siitä ei arvioida aiheutuvan vaaraa työntekijöiden terveydelle tai turvallisuudelle.
Ei tietoa (2)	Vaaratekijä esiintyy työvaiheessa ja tekijä on tunnistettu, mutta tekijän aiheuttamista vaikutuksista ei ole riittävästi tietoa. Sekä vaaratekijän että riskitason arvioimiseksi tarvitaan lisäselvityksiä, -tutkimuksia ja mittauksia.
Aiheuttaa vaaraa tai haittaa (3)	Vaaratekijä esiintyy työvaiheessa ja sen tiedetään voivan aiheuttaa vaaraa tai haittaa työntekijöiden terveydelle tai turvallisuudelle tai se edellyttää muusta syystä turvallisuustoimenpiteitä. Riskitason suuruutta voidaan arvioida.

Jokaisesta tuotantoprosessin vaiheesta pyrittiin tunnistamaan vaaratekijät liittyen normaaliin toimintaan ja normaaleihin työtehtäviin, mutta lisäksi pohdittiin harvinaisempiin ja/tai satunnaisempiin tilanteisiin sekä poikkeamiin ja häiriöihin liittyviä tekijöitä. On kuitenkin syytä huomata, että tässä arvioinnissa **prosessien työvaiheita tarkasteltiin vain hyvin yleisellä tasolla**. Erilaisten laitteiden tai työmenetelmien käytöstä voi aiheutua vaaratekijöitä, joita tässä tarkastelussa ei välttämättä ole huomioitu. Esim. haketuksen ja murskauksen osalta tarkastellaan vain yleisesti haketus- ja murskaustilannetta, eikä huomioida erilaisia haketin- tai murskaintyyppejä, joita on useita erilaisia ja joiden aiheuttamat vaaratekijät voivat poiketa toisistaan. Vaaralle altistuvista henkilöistä huomioitiin vain ko. työvaiheen työntekijät, vaikka vaaralle voi työtilanteissa altistua myös muita henkilöitä, kuten esim. kohteessa vierailijat ja ulkopuoliset henkilöt.

Lisäksi on huomattava, että myös **vaaratekijät tunnistettiin yleisellä tasolla**, koska tunnistaminen perustui vain kirjallisuudesta saatavissa oleviin tietoihin ja ko. prosessien tuntemiseen, ei kohteissa tehtyihin mittauksiin tai tutkimuksiin. Esimerkiksi biologisten vaaratekijöiden osalta on tarkasteltu mikro-organismien aiheuttamia vaaroja yleisellä tasolla, eikä yksilöity, mitä mikro-organismeja tai mitä yksittäisiä lajeja tuotantoprosessien vaiheisiin liittyy. Eri mikro-organismien aiheuttamia vaaroja on tarkasteltu kirjallisuudessa.

Näiden kahden em. vaiheen perusteella laadittiin valituille tuotantoprosesseille tarkastuslistat ('safety check'-tarkastuslistat). Tarkastuslistojen avulla voidaan helposti ja nopeasti arvioida biopolttoaineiden tuotannon ja käytön eri työvaiheissa tunnistettujen vaaratekijöiden huomioon ottamista. Listojen avulla voidaan osaprosessi- tai työvaihekohtaisesti selvittää, mitkä asiat ovat jo kunnossa, ja missä tarvittaisiin toimenpiteitä turvallisuuden parantamiseksi tai turvallisuusnäkökohtien tarkistamiseksi. Vastaavanlaisia safety check-tarkastuslistoja on TTL laatinut yhdessä TTK:n, STM:n, Työsuojelurahaston, yrittäjien ja järjestöjen kanssa mm. teollisuudesta, maataloudesta, metsäteollisuudesta, palveluista, rakentamisesta sekä kuljetuksista. [TTL www-sivut] Listoja voidaan käyttää mm. työpaikan turvallisuustason arviointiin, työturvallisuuden parantamiseen, työympäristön kehittämiseen sekä työnopastuksen apuna.

5.2.2 Työterveys- ja työturvallisuusriskien arviointi

Koska aiheen laajuudesta johtuen, olisi prosesseittain tehtävän ja yksityiskohtaisen riskinarvion tekeminen ollut ajankäytöllisesti mahdotonta toteuttaa, tarkasteltiin seuraavassa vaiheessa sitä, kuinka valittujen tuotantoprosessien työterveys- ja työturvallisuusriskejä

voidaan käytännössä arvioida. Riskinarviointimenetelmäksi valittiin ´Riskien arviointi työpaikalla -työkirja´. Menetelmän soveltamisen sekä bioenergian tuotantoprosesseista poimittujen malliesimerkkien avulla pyrittiin selvittämään, kuinka työterveys- ja työturvallisuusriskien arviointia voidaan käytännössä toteuttaa bioenergiaan liittyvillä työpaikoilla.

5.2.2.1 Yleistä riskien arvioinnista työpaikoilla

Työantajan on työturvallisuuslain (738/2002) perusteella huolehdittava työntekijöiden terveydestä ja turvallisuudesta työssä. Lakiin on sisällytetty velvollisuus työn vaarojen selvittämiseen sekä riskien arviointiin, huomioimalla mm. työtaturman ja muun terveyden menettämisen vaara, esiintyneet tapaturmat, ammattitaudit ja työperäiset sairaudet sekä vaaratilanteet, työntekijän ikä, sukupuoli, ammattitaito ja muut hänen henkilökohtaiset edellytyksensä, työn kuormitustekijät sekä mahdollinen lisääntymisterveydelle aiheutuva vaara.

Riskien arviointi on työpaikalla hyvän turvallisuustoiminnan perusedellytys. ([EU-OSHA www-sivut], [TTL www-sivut]) Sekä vaarojen tunnistamiseen, että riskien suuruuden määrittämiseen on käytävissä runsaasti erilaisia välineitä ja menetelmiä. Arvioinnissa voidaan käyttää erilaisia toimintamalleja ja menetelmiä sekä niiden yhdistelmiä. Menetelmien tulisi ohjata tunnistamaan ja arvioimaan erilaisia työn ja työympäristön tyypillisiä vaaratekijöitä ja lisäksi niissä on usein ohjeita riskien poistamiseksi tai pienentämiseksi. Riskinarviointimenetelmiä käytettäessä tulisi ottaa huomioon:

- vaarojen, altisteiden ja kuormitustekijöiden tunnistaminen
- vaaran torjumiseksi tai pienentämiseksi tehtävien menettelytapojen arviointi
- turvallisuuden johtamiskäytäntöjen ja prosessien tehokkuuden arviointi
- jäännösriskin arviointi, kokonaiskäsitys työpaikan riskitasosta.

Työturvallisuuslain (738/2002) mukaisesti työnantajan on suunniteltava, valittava, mitoitettava ja toteutettava työolosuhteiden parantamiseksi tarvittavat toimenpiteet. Tällöin on mahdollisuuksien mukaan noudatettava seuraavia periaatteita ja järjestystä:

1. vaara- ja haittatekijöiden syntyminen estetään
2. vaara- ja haittatekijät poistetaan tai jos se ei ole mahdollista, ne korvataan vähemmän vaarallisilla tai vähemmän haitallisilla
3. yleisesti vaikuttavat työsuojelutoimenpiteet toteutetaan ennen yksilöllisiä ja
4. tekniikan ja muiden käytävissä olevien keinojen kehittyminen otetaan huomioon.

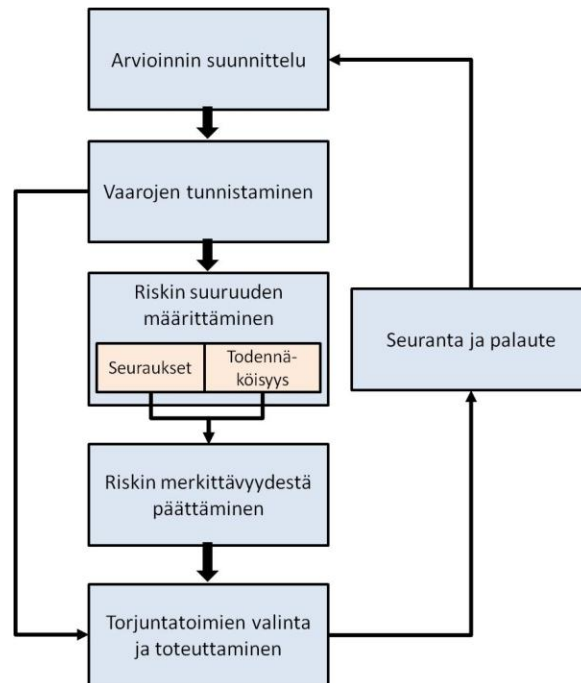
´Riski´ määritellään vaaratilanteen aiheuttamien vahinkojen vakavuuden ja todennäköisyyden yhdistelmäksi. (Murtonen 2003, Työsuojeluhallinto 2010, [EU-OSHA www-sivut], [VTT www-sivut]) Riski kuvaa vaaran suuruutta. Vaaralla puolestaan tarkoitetaan mahdollista vahingon lähdeä tai vahingon mahdollistavaa tilannetta. Työympäristössä vaaralla tai vaaratekijällä tarkoitetaan mitä tahansa tekijöitä, ominaisuuksia tai ilmiöitä, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai varaa työntekijöiden terveydelle tai turvallisuudelle, esimerkiksi tapaturman, onnettomuuden, ammattitaudin tai liiallista ruumiillista tai henkistä kuormittumista.

Riskien arviointi on riskianalyysin ja riskin merkityksen arvioinnin kokonaisprosessi. Työympäristössä riskien arvioinnilla tarkoitetaan työssä esiintyvien vaarojen tunnistamista, vaarojen aiheuttamien riskien suuruuden määrittämistä ja riskien merkityksen arviointia. Arviointi on systemaattinen, vaiheittainen prosessi, joka käsittää seuraavat vaiheet:

- vaarojen tunnistaminen,
- vaaroille alttiina olevien työntekijöiden (tai muiden henkilöiden) tunnistaminen,
- riskin laadullinen tai määrällinen arviointi,

- arvio siitä, voidaanko riski poistaa, ja jos ei
- arvio siitä, täytyykö ryhtyä lisätoimiin riskin torjumiseksi tai vähentämiseksi (European Commission, 1996).

Riskien arvioinnin ja hallinnan vaiheita voidaan kuvata myös kuvan 26 mukaisella kaaviolla (Työsuojeluhallinto 2010).



Kuva 26. Riskien arvioinnin vaiheet (Työsuojeluhallinto 2010).

Työympäristön riskinavointiin on kehitetty useita menetelmiä, jotka ohjaavat työnantajaa tunnistamaan ja arvioimaan erilaisia työn ja työympäristön tyypillisiä vaaratekijöitä ([TTL www-sivut], [EU-OSHA www-sivut], [VTT www-sivut]). Seuraavassa esitellään tarkemmin yhtä menetelmää, jota voidaan soveltaa myös bioenergian tuotantoprosessien riskinarvioinnissa. Tätä "Riskien arviointi työpaikalla" -työkirja – menetelmää käytetään Suomessa esim. pienyritysten työterveys- ja työturvallisuusriskien arvioinnissa.

5.2.2.2 "Riskien arviointi työpaikalla-työkirja" -menetelmä

"Riskien arviointi työpaikalla" -työkirja –menetelmä on STM:n laatima. Työkirjan perustana on käytetty brittiläistä työterveys- ja -turvallisuusjohtamisstandardia BS 8800 (British Standard), johon sisältyy ohje riskinarvioinnista (Antti-Poika ym. 2006). Työkirjamenetelmän tavoitteena on tunnistaa ja priorisoida vaara- ja haittatekijät ja etsiä toimenpiteitä riskien pienentämiseksi. (Murtonen 2003, [VTT www-sivut]) Menetelmän periaatteena on, että työpaikka jaetaan arviointikohteisiin, joista tunnistetaan tarkistuslistojen avulla:

- fyysiset kuormitustekijät,
- kemialliset ja biologiset altisteet,
- tapaturman vaarat,
- ruumiillista kuormittumisista aiheuttavat tekijät sekä
- henkistä kuormittumista aiheuttavat tekijät.

Työkirjan sisältämiä tarkistuslistoja voidaan käyttää joko sellaisenaan, niistä voidaan räätälöidä ko. kohteeseen sopivia sovellutuksia, tai aineistoa voidaan käyttää muiden menetelmien rinnalla, esimerkiksi työn turvallisuusanalyysin tukena vaaratekijöiden tunnistamisessa. [VTT www-sivut] Arvioinnin aikana täytetyistä tarkistuslistoista ja lomakkeista muodostuu työpaikan riskien arvioinnin dokumentaatio. Vaikka tarkistuslistojen avulla tunnistetaan yleisimmät vaaratekijät hyvin, ei yksikään lista ole täydellinen. Työkirjassa esitetyt valmiit tarkastuslistat on laadittu niin, että ne soveltuvat yleisellä tasolla erilaisten töiden ja työympäristöjen tarkasteluun. Lähes jokaisessa työssä esiintyy kuitenkin vaaratekijöitä, joita listassa ei ole mainittu, tai listassa on ko. työhön nähden turhia kohtia, joten listan soveltaminen on tehtävä aina tapauskohtaisesti.

Riskin suuruuden määrittäminen

Riskin suuruus muodostuu haitallisen tapahtuman todennäköisyydestä ja aiheutuneiden seurausten vakavuudesta. (Murtonen 2003) **Seurausten vakavuudella** tarkoitetaan haitallisen tapahtuman aiheuttamien terveys- tai turvallisuushaittojen vakavuutta. Seurausten vakavuuteen vaikuttavat mm. haitan luonne (lievä/vakava) ja sen palautuvuus sekä vaikutusten aikajänne. Haitallisen **tapahtuman esiintymistodennäköisyyteen** vaikuttavia tekijöitä ovat esim. tapahtuman esiintymistiheys ja kesto sekä mahdollisuudet ennakoida tai ehkäistä tapahtuma.

Yksinkertainen brittiläisen standardin BS 18004 mukainen 4x4-riskitaulukko, jota voidaan käyttää työturvallisuusriskitasojen määrittelyyn, on esitetty taulukossa 9. (BSI 2008) Taulukossa on **riskitaso** (asteikolla 1-5) määritelty haitan/vaaran todennäköisyyden (tasot 1-4) ja haitan/vaaran seurausten vakavuuden perusteella (tasot 1-3). Riskin suuruus arvioidaan riskitaulukon avulla siten, että ensin määritellään tilanteen aiheuttamien seurausten vakavuus ja sen jälkeen aiheutuneiden haittojen todennäköisyys. (Murtonen 2003). Riski on valittujen kohtien leikkauspisteessä olevan arvon suuruinen. Riskin suuruuden perusteella päätetään mahdollisesta toimenpidetarpeesta ja riskinhallintakeinosta. Tarkeimmat ohjeet toimenpidetarpeen määrittämisestä on esitetty myöhemmin, taulukossa 13. On kuitenkin huomattava, että näin määritellyn riskitason perusteella ei voida yksiselitteisesti arvioida terveysriskejä, sillä mm. yksilötason erot eivät tule huomioiduksi (Rantanen 2009). Esimerkiksi TTL käyttää soveltaen BS 18004 mukaista riskitasojen määrittelyä, mutta tasot määritellään erikseen ja tapauskohtaisesti kullekin vaaratekijälle (kts. taulukot 10, 12 ja 14).

Taulukko 9. Riskitasojen määrittely haitallisen (vaarallisen) tapahtuman seurausten vakavuuden ja esiintymistodennäköisyyden perusteella sekä esimerkkejä tapahtuman todennäköisyyden ja riskin merkittävydestä luokittelusta (BSI 2008).

Haitan/vaaran todennäköisyys	Haitan/vaaran seurausten vakavuus		
	Vähäiset (1)	Haitalliset (2)	Vakavat (3)
Erittäin epätodennäköinen (1) alle 1 % mahdollisuus tapahtua työuran aikana	1 Merkityksetön riski ei toimenpiteitä	1 Merkityksetön riski ei toimenpiteitä	4 Merkittävä riski toimenpiteet välttämättömiä
Epätodennäköinen (2) tapahtuu kerran työuran aikana	1 Merkityksetön riski ei toimenpiteitä	3 Kohtalainen riski toimenpiteitä tarvitaan	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet
Mahdollinen (3) tapahtuu joka 5. vuosi	2 Vähäinen riski seuranta	4 Merkittävä riski toimenpiteet välttämättömiä	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet
Todennäköinen (4) tapahtuu puolivuositain	2 Vähäinen riski seuranta	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet

Fysikaaliset tekijät

Fysikaalisten vaaratekijöiden aiheuttamien seurausten vakavuutta arvioidaan sekä mittaustulosten ja ohje- ja raja-arvojen (esim. melu/tärinä), että henkilöiden omien kokemusten ja tuntemusten perusteella. [VTT www-sivut] Todennäköisyys arvioidaan altistumistiheyden ja -ajan perusteella. Taulukossa 10 on yksinkertainen terveystarkkuuden luokittelu fysikaalisten tekijöiden suhteen (soveltaen Pääkkönen 2009). Luokittelu soveltaa standardia BS 18004.

Taulukko 10. Yksinkertainen terveystarkkuuden luokittelu fysikaalisten tekijöiden suhteen (soveltaen Pääkkönen 2009 ja BS 18004).

Haitan/vaaran todennäköisyys	Haitan/vaaran seurausten vakavuus		
	Vähäiset (1) esim. epämukavuus, ärsytys, ohimenevä lievä sairaus, vetoisuus	Haitalliset (2) esim. pitkäkestoiset vakavat vaikutukset, pysyvät lievät haitat, kuulovaurio, kuumaa ja kylmä, valkosormisuus, silmätulehdus	Vakavat (3) esim. työperäinen syöpä, astma, pysyvät vakavat vaikutukset, elämää lyhentävät sairaudet, ionisoiva säteily
Erittäin epätodennäköinen (1) alle 10 % ohjearvoista	1 Merkityksetön riski ei toimenpiteitä	2 Vähäinen riski seuranta	3 Kohtalainen riski toimenpiteitä tarvitaan
Epätodennäköinen (2) 10–50 % ohjearvoista	2 Vähäinen riski seuranta	3 Kohtalainen riski toimenpiteitä tarvitaan	4 Merkittävä riski toimenpiteet välttämättömiä
Mahdollinen (3) 50–100 % ohjearvoista	3 Kohtalainen riski toimenpiteitä tarvitaan	4 Merkittävä riski toimenpiteet välttämättömiä	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet
Todennäköinen (4) yli ohjearvojen	4 Merkittävä riski toimenpiteet välttämättömiä	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet

Tässä työssä tunnistetuista merkittävimmistä fysikaalisista vaaratekijöistä on ohjearvo melulla ja tärinällä. Näiden tekijöiden työntekijöille aiheuttaman vaaran todennäköisyyttä voidaan luokitella käyttäen melun ylempää toiminta-arvoa 87 dB(A) ja päivittäisen altistumisen raja-arvoa käsitärinälle 5 m/s^2 ja koko kehon tärinälle $1,15 \text{ m/s}^2$ taulukon 11 esittämällä tavalla (soveltaen Pääkkönen 2009).

Taulukko 11. Melun ja tärinän aiheuttamien haittojen luokitteluperusteita (soveltaen Pääkkönen 2009).

Vaaran/haitan todennäköisyys	Tekijä		
	Melu (dB)	Käsiin kohdistuva tärinä (m/s^2)	Koko kehoon kohdistuva tärinä (m/s^2)
Erittäin epätodennäköinen (1) alle 10 % ohjearvoista	<75	<0,5	<0,115
Epätodennäköinen (2) 10–50 % ohjearvoista	75–80 meluhuiput <125	0,5–2,5	0,115–0,58
Mahdollinen (3) 50–100 % ohjearvoista	80–85 meluhuiput 125–137	2,5–5,0	0,58–1,15
Todennäköinen (4) yli ohjearvojen	>85 meluhuiput >137	>5,0	>1,15

Kemialliset ja biologiset tekijät

Kemiallisten ja biologisen tekijöiden riskien arvioinnissa tulee käyttää apuna mittauksia ja altisteille määriteltyjä raja-arvoja (HTP-arvoja) arvioitaessa ilman epäpuhtauksien aiheuttamaa terveysriskiä. [VTT www-sivut] Ihoaltistumisen, tapaturmaan liittyvän kemikaalialtistumisen ja biologisille tekijöille, joille ei ole HTP-arvoja, altistumisen aiheuttamaa riskiä voidaan arvioida kuten tapaturmariskejä. Taulukossa 12 on TTL:n käyttämä yksinkertainen terveysriskien luokittelu, joka on tehty altistumismittausten ja aineille annettujen HTP-arvojen perusteella, soveltaen standardia BS 18004 (Tuomi 2010). Luokittelussa seurauksia kuvataan kemikaalin/aineen vaaralausekkeilla, ns. H-lausekkeilla (korvaavat aikaisemmat R-lausekkeet) ja muilla vaikutustiedoilla. (Rantanen 2009) Lisäksi on huomioitava esim. kemikaalin kertyvyys elimistöön, aineen suuri myrkyllisyys ja tapaturmaisen altistumisen merkitys. Riskin suuruus, toimenpiteiden tarve sekä kiireellisyys on arvioitava aina kokonaisuutena. On myös huomioitava, että aineen pitoisuus työympäristössä, suhteutettuna aineen HTP-arvoon, kuvaa haitan todennäköisyyttä vain viitteellisesti. Esimerkiksi tiukempaa asteikko voidaan käyttää, jos altistumisen vaikutukset ovat vakavat.

Taulukko 12. Yksinkertainen terveysriskien luokittelu kemiallisten tekijöiden suhteen altistumismittausten ja HTP-arvojen perusteella (Tuomi 2010).

Haitan/vaaran todennäköisyys	Haitan/vaaran seurausten vakavuus		
	Vähäiset (1) epämukavuus, ärsytys, ohimenevä lievä sairaus, esim. ihon punoitus H302, 312, 315, 319, 332, 335, 336	Haitalliset (2) pitkäkestoiset vakavat vaikutukset, pysyvät lievät haitat, esim. ihottumat H301, 311, 314, 317, 331, 341, 351, 361d, 361f, 362, 371, 372, 373	Vakavat (3) Pysyvät vakavat vaikutukset, elämää lyhentävät sairaudet, myrkytykset, syöpä, astma, näön menetys H300, 304, 310, 314, 318, 330, 334, 340, 350, 350i, 360d, 360f, 370
Erittäin epätodennäköinen (1) Kemikaaleja käsitellään harvoin. Altistumistasot alle 10 % HTP-arvosta.	1 Merkityksetön riski ei toimenpiteitä	2 Vähäinen riski seuranta	3 Kohtalainen riski toimenpiteitä tarvitaan
Epätodennäköinen (2) Kemikaaleja käsitellään harvoin. Altistumistasot 10–50 % HTP-arvosta.	2 Vähäinen riski seuranta	3 Kohtalainen riski toimenpiteitä tarvitaan	4 Merkittävä riski toimenpiteet välttämättömiä
Mahdollinen (3) Kemikaaleja käsitellään usein. Altistumistasot 50–100 % HTP-arvosta	3 Kohtalainen riski toimenpiteitä tarvitaan	4 Merkittävä riski toimenpiteet välttämättömiä	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet
Todennäköinen (4) Kemikaaleja käsitellään paljon. Altistumistasot yli HTP-arvon	4 Merkittävä riski toimenpiteet välttämättömiä	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet

Kaikilla bioenergian tuotantoprosesseista tunnistetuilla kemiallisilla tekijöillä ei ole HTP-arvoja (esim. terpeenit, dieselpakokaasut), joiden avulla riskejä voitaisiin arvioida. Myös erilaisilla aineiden seoksilla eli valmisteilla (mm. lannoitteet, torjunta-aineet, polttoaineet, öljyt) ei ole HTP-arvoa, vaan näille aineille altistumisen riskitasoa voidaan tarkastella valmisteen vaaraluokituksen (H-lausekkeet) avulla. Sekä HTP-arvot että vaaralausekkeet

löytyvät kemikaalien käyttöturvatiedoista. Eräiden tässä työssä tunnistettujen kemiallisten vaaratekijöiden HTP-arvoja on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Eräiden, tässä työssä tunnistettuja, bioenergian tuotantoprosesseihin liittyvien kemiallisten vaaratekijöiden HTP-arvoja (STM 2012).

Aine	HTP-arvo, 8 h (mg/m ³)	HTP-arvo, 15 min (mg/m ³)
orgaaninen pöly	5	10
epäorgaaninen pöly	10	-
piidioksidi, kiteinen mm. kvartsi (alveolijae)	0,05 / 0,2*	-
kokonaispöly	10*	-
puupöly (uudet laitokset)	2 (1)	
kovapuupöly	5	-
heksanaali	-	42 (10 ppm)
CO	35 (30 ppm)	87 (75 ppm)
CO ₂	9 100 (5 000 ppm)	-
NO	31 (25 ppm)	-
NO ₂	5,7 (3 ppm)	11 (6 ppm)

*sitova raja-arvo räjäytys- ja louhintatöissä

Biologisille tekijöille, kuten bakteereille ja homeille, ei HTP-arvoja ole esitetty, mutta bakteerien endotoksiineille on suositeltu käytettäväksi arvoa 90 EU/m³ (Laitinen 2011). Sekä endotoksiinit (ärsytys- ja muut hengitystievaikutukset) sekä alveolipöly (keuhkovaikutukset) on esitetty otettavaksi uusiksi nimikkeiksi vuonna 2014 ilmestyvään HTP-luetteloon (STM 2012).

Tapaturmariskit

Tapaturmariskien suuruuteen liittyvää todennäköisyyttä voidaan arvioida tapaturmien esiintymistiheyden tai läheltä piti -tilanteiden määrän ja esiintymistiheyden avulla. [VTT www-sivut] Seurausten vakavuutta voidaan tarkastella joko aiheutuneen poissaolon pituuden tai haittojen luonteen, vakavuuden ja palautuvuuden sekä vahingoittuneiden henkilöiden lukumäärän avulla. Taulukossa 14 on yksinkertainen terveystieteiden luokittelu tapaturman vaaraa aiheuttavien vaaratilanteiden suhteen (Lappalainen & Saarela 2009, Tuomi 2010). Luokittelu soveltaa standardia BS 18004.

Taulukko 14. Yksinkertainen tapaturmavaaroihin liittyvien riskitasojen luokittelu fyysikaalisten tekijöiden suhteen (soveltaen Lappalainen & Saarela 2009, Tuomi 2010 ja BS 18004).

Haitan/vaaran todennäköisyys	Haitan/vaaran seurausten vakavuus		
	Vähäiset (1) poissaolo <3 vrk, ohimenevät lievät vaikutukset; nyrjähdykset, mustelmat	Haitalliset (2) poissaolo 4-30 vrk, pitkäkestoiset vakavat vaikutukset, pysyviä lieviä haittoja; murtumia, palovammat	Vakavat (3) poissaolo >30 vrk, pysyvä työkyvyttömyys, kuolema
Erittäin epätodennäköinen (1) vaaratilanne hyvin harvinainen	1 Merkityksetön riski ei toimenpiteitä	1 Merkityksetön riski ei toimenpiteitä	4 Merkittävä riski toimenpiteet välttämättömiä
Epätodennäköinen (2) vaaratilanne satunnainen, esiintyy harvoin	1 Merkityksetön riski ei toimenpiteitä	3 Kohtalainen riski toimenpiteitä tarvitaan	4 Merkittävä riski toimenpiteet välttämättömiä
Mahdollinen (3) vaaratilanteet lähes päivittäisiä, läheltä piti -tapauksia sattunut	2 Vähäinen riski seuranta	4 Merkittävä riski toimenpiteet välttämättömiä	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet
Todennäköinen (4) vaaratilanteita esiintyy usein ja säännöllisesti, tapaturmia satunnaisesti	2 Vähäinen riski seuranta	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet	5 Sietämätön riski välittömät toimenpiteet

Riskin kasvaessa on ryhdyttävä tarvittaviin toimenpiteisiin, jotta työturvallisuutta ei vaarannettaisi. Karkeasti voidaan määritellä, että riskin suuruuden ollessa 1-2, ei riskinhallintatoimenpiteitä tarvita, mutta kun riskin suuruus on 3-5, tulee riskiä pienentää. Seuraavassa taulukossa 15, on esitetty ohjeita riskinhallintatoimenpiteiden päättämiseksi riskin merkittävyyden (1-5 perusteella) (Murtonen 2003, BSI 2008, Työsuojeluhallinto 2010).

Taulukko 15. Ohjeita riskin merkittävyydestä ja toimenpiteiden tarpeesta päättämiseksi (mukailtu BS 18004, BSI 2008).

Riskin suuruus	Tarvittavat toimenpiteet riskin pienentämiseksi
Merkityksetön riski (1)	<ul style="list-style-type: none"> Riski niin pieni, ettei toimenpiteitä tarvita
Vähäinen riski (2)	<ul style="list-style-type: none"> Toimenpiteitä ei välttämättä tarvita Tilannetta tulee seurata, että riski pysyy hallinnassa
Kohtalainen riski (3)	<ul style="list-style-type: none"> On ryhdyttävä toimenpiteisiin riskin pienentämiseksi Toimenpiteet tulee mitoittaa ja aikatauluttaa järkevästi Jos riskiin liittyy erittäin vakavia seurauksia, on tarpeen selvittää tapahtuman todennäköisyys tarkemmin
Merkittävä riski (4)	<ul style="list-style-type: none"> Riskin pienentäminen on välttämätöntä Toimenpiteet tulee aloittaa nopeasti Riskialtis toiminta pitää saada loppumaan nopeasti eikä sitä saa aloittaa, ennen kuin riskiä on pienennetty
Sietämätön riski (5)	<ul style="list-style-type: none"> Riskin poistaminen on välttämätöntä Toimenpiteet tulee aloittaa välittömästi Riskialtis toiminta tulee keskeyttää eikä sitä saa aloittaa, ennen kuin riski on poistettu

6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

6.1 VAARATEKIJÖIDEN TUNNISTAMINEN JA RISKIEN ARVIOIMINEN

Tarkastelujen metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien prosessikaaviot ja prosessien työvaiheista tunnistetut vaaratekijät yhdistettiin kaavioiksi, jotka on esitetty liitteissä 1-4. Kaaviot on laadittu erikseen metsätähteistä tuotettavalle hakkeelle (liite 1), pien- ja rankapuusta tuotettavalle hakkeelle (liite 2), kannoista tuotettavalle murskeelle (liite 3) sekä ruokohelpistä tuotettavalle murskeelle (liite 4). Tunnistettujen vaaratekijöiden perusteella laadittiin myös prosessikohtaiset 'safety check'-tarkastuslistat, jotka on vastaavasti esitetty liitteissä 5-8.

Seuraavassa on tarkastelu kunkin tuotantoprosessin vaaratekijöitä ja niiden luokittelua erikseen. Luokittelu tehtiin kappaleessa 5.2.1 olevassa taulukossa 8 esitettyjen vaihtoehtojen perusteella. Vaaratekijöiden lisäksi on tarkastelu niiden aiheuttamia riskejä ja riskien merkittävyyttä edellä olevan kirjallisuus selvityksen perusteella.

6.1.1 Metsätähdehakkeen tuotantoprosessit

Metsätähdehakkeen tuotantoprosessin tunnistetut vaaratekijät on esitetty liitteen 1 kaaviossa. Metsätähdehakkeen tuotantoprosessi voidaan jakaa osaprosesseihin eri tavoin, jos tarkastellaan metsätähdekorjuuta (paaleina/irtotavarana) tai haketuspaikkaa (käyttöpaikka-, tienvarsi- tai palstahaketus). Suurin osa metsätähteestä kerätään nykyisin irtotavara ja tavallisimmat haketuspaikat ovat käyttöpaikka tai tienvarsien välivarastot. Tunnistetut vaaratekijät ovat kuitenkin osaprosesseissa samoja, eikä eri osaprosessien välillä todettu merkittäviä eroja.

Fysikaaliset vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit

Fysikaalisia vaaratekijöitä todettiin esiintyvän lähes kaikissa tuotantoprosessin vaiheissa. Vain välivarastoinnin sekä valmiin hakkeen käytön aikana ei arvioitu esiintyvän fysikaalisia vaaratekijöitä merkittävässä määrin. Merkittävimmiksi fysikaalisiksi tekijöiksi arvioitiin kaikissa tunnistetuissa vaiheissa melu ja/tai värinä.

Sekä metsä- että kaukokuljetuksen tiedetään aiheuttavan kuljettajalle värinäaltistusta perinteisiin metsähakkuisiin liittyen, vaikka värinää ja sille altistumista on pystytty tutkimusten perusteella esimerkiksi metsätraktorien ja kuorma-autojen teknisillä ratkaisuilla (esim. istuimet, rengaspaineen säätäminen) vähentämään. Viimeaikaisten tutkimusten mukaan kuitenkin edelleenkin sekä metsäkone- että kuljetustöissä todetaan värinäaltistuksen raja-arvojen ylityksiä. Kuljetuksiin liittyy myös metsätähteiden lastaamista esim. välivarastoon, autoon tai hakkuriin. Lastausvaiheessa nosturit ja kuormaimet voivat aiheuttaa värinää, joka aiheuttaa terveysriskiä. Tutkimuksissa on todettu mm. puutavara-autojen kuljettajien värinäaltistuksen olevan suurempaa lastaus- kuin kuljetusvaiheessa. Kuljetus- ja lastausvaiheiden värinän aiheuttamia riskejä voidaan arvioida muista kuljetuksista saatavilla olevien tutkimusten perusteella, sillä kuljetuskalusto on samanlaista.

Metsätähteiden haketusvaiheessa myös tunnistettiin värinän olevan vaaratekijä, mutta sen merkitystä ja riskin suuruutta työntekijän terveydelle ei pystytä olemassa olevien tietojen perusteella arvioimaan. Hakkurin värinän aiheuttama vaara on riippuvainen käytetyn hakkurin ominaisuuksista (esim. laitteen käyttämä tekniikka, laitteen koko, ikä), joten sen arvioimiseksi tarvitaan tutkimus- ja mittaustuloksia. Hakkureita myös ilmeisesti rakennetaan jonkin verran itse, ainakin pienimuotoisempaan kotitalouskäyttöön, jolloin ko. laitteissa ei välttämättä osata huomioida värinän aiheuttamaa vaaraa.

Melun aiheuttamasta vaarasta vaikuttaisi olevan kirjallisuuden perusteella enemmän tietoa, mutta luotettavan riskinarvioinnin tekeminen ei melunkaan osalta arvioida olevan

mahdollista. Melulle asetettujen toiminta-arvojen ylityksiä on todettu mm. metsäkoneen ja puutavara-auton kuljettajan tutkittaessa, mutta esim. uusissa ohjaamoissa altistustasojen on kuitenkin jäävän alhaisiksi. Hakkurien osalta tutkimustietoa on vähemmän ja niiden osalta tulisi tehdä tutkimuksia riskien selvittämiseksi. Melu, kuten tärinäkin on suuresti riippuvainen käytettävästä laitteesta.

Biologiset vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit

Biologiset vaaratekijöiden esiintyminen arvioitiin mahdolliseksi lähes kaikissa metsätähdehakkeen tuotantoprosessin vaiheissa. Biologinen altistus, jonka aiheuttavat mikro-organismit (esim. sienet, homeet, bakteerit, endotoksiinit), liittyy erityisesti metsätähteen varastointiin ja varastoidun materiaalin käsittelyyn. Mikäli olosuhteet varastoinnin aikana esim. ennen haketusta ovat mikrobien kasvulle suotuisat (lämpö, kosteus), voi materiaali sisältää kirjallisuustietojen perusteella runsaasti mikrobeja. Mikrobit leviävät ilmaan metsätähdettä käsiteltäessä ja työntekijät voivat altistua mikrobeille hengitysilman välityksellä. Tutkimustietoa metsätähteessä tai siitä valmistetusta hakkeesta on saatavissa jonkin verran, mutta vaaratekijän aiheuttaman riskin luotettavaan arvioimiseen tutkimustietoa ei ole riittävästi. Metsätähteen ja siitä valmistetun hakkeen sisältämien mikro-organismien laatua ja määrää tulisi selvittää lisää. Altistumisen ja sen aiheuttamien riskien arvioimista vaikeuttaa se, ettei mikrobialtistukselle ole vielä asetettu työhygieenisiä raja-arvoja (HTP-arvoja) kuten esim. kemikaaleille. Mikrobien läsnäolo sekä metsätähteessä että siitä valmistetussa hakkeessa tulisi huomioida varastoinnin ja muun käsittelyn (varastojen purku, haketus, hakkeen siirto polttoon) aikana. Työntekijöiden suojautumisen tarvetta mikrobialtistusta vastaan tulisi selvittää koko tuotantoprosessissa ja sen perusteella myös antaa ohjeistusta henkilökohtaiseen suojautumiseen.

Toinen metsätähdehakkeen valmistuksen tunnistettu biologinen vaaratekijä ovat zoonoosit eli eläimistä ihmisiin tarttuvat taudit. Kirjallisuudessa on esitetty arvio, että metsätähteen, kuten muidenkin bioenergiaraaka-aineiden pitkiäkin aikoja kestävä varastointi, voisi lisätä esim. myyräkuumeen esiintymistä. Varastokasat esim. metsäteiden varsilla ovat sopivia pesä- ja suojapaikkoja myyrille, jolloin myyrien kantamat virukset myös voivat siirtyä varastoitavaan materiaaliin. Kun esim. metsätähdettä kuormataan tai haketetaan virukset voivat kulkueutua pölyn mukana ilmaan ja työntekijät altistua viruksille. Zoonoosien mahdollisesti aiheuttamasta työterveysriskistä ei löydy kirjallisuudesta tutkimustuloksia, joiden avulla riskin merkittävyyttä voitaisiin arvioida. Sairastumistapauksia voidaan seurata ammattitautirekisteriin kirjattujen tapausten määrän perusteella. Tämänhetkisten tietojen perusteella zoonoosien aiheuttaman terveysriskien ei kuitenkaan arvioida olevan kovin merkittäviä.

Kemialliset vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit

Kemiallisia vaaratekijöitä tunnistettiin kaikissa metsätähdehakkeen tuotantoprosessin vaiheissa, välivarastointia lukuun ottamatta. Kemiallisia vaaratekijöitä tiedetään perinteisten metsätalousprosessien tuntemisen perusteella voivan esiintyä monenlaisia. Useista kemiallisista vaaratekijöistä, kuten polttoaineista, pakokaasuista ja öljyistä, sekä niille altistumisesta voidaan metsätähdehakkeen tuotantoprosessien osalta tehdä varsin luotettavasti arvioita perinteisten metsätalousprosessien perusteella (esim. kuljetukset ja laitteiden käyttö ja huolto).

Tuotantoprosessin vaiheista tunnistettiin kuitenkin useita kemiallisia tekijöitä, joista ei ole olemassa vielä niin paljon tutkimustuloksia, että niiden perusteella voitaisiin tehdä luotettava arvio tekijän aiheuttamasta riskistä. Merkittävimmäksi vaaratekijäksi arvioidaan orgaaninen pöly, jota muodostuu erityisesti varastoitua metsätähdettä käsiteltäessä ja hakettaessa. Materiaalista ilmaan syntyvän orgaanisen pölyn määrään vaikuttaa mm. olosuhteet (kosteus,

lämpö) ja käsittelytekniikka. Työntekijöiden altistumiseen vaikuttavat mm. kuormaimen/auton/hakettimen ohjaamo, ohjaamon ilmansuodatus ja suodattimien kunto sekä käsittelypaikka (ulkona/sisällä terminaalisissa). Orgaaniselle pölylle työntekijät voivat altistua myös lämpö- ja voimalaitoksilla valmista polttoainetta käsitellessä. Orgaanisen pölyn esiintymiseen liittyvät usein myös mikro-organismit, sillä niitä esiintyy yleensä orgaanisessa pölyssä (bioaerosolit), joten työntekijöihin kohdistuvaa riskiä tarkasteltaessa tulisi molemmat tekijät ottaa huomioon. Kirjallisuudesta löydettyissä tutkimuksissa on kuitenkin yleensä mitattu hengitysilma- kokonaispölyn pitoisuuksia, eikä eritelty erikseen orgaanisen pölyn osuutta, jolloin esim. orgaanisen pölyn HTP-arvoa ei voida riskin merkittävyyden arvioimisessa käyttää. Orgaanisen pölyn, kuin muiden partikkelimuodossa esiintyvien haitta-aineiden aiheuttamaan vaaraan, vaikuttaa aina partikkelikoko. Mitä pienempi partikkelikoko (<5 µm), sitä haitallisempaa pölylle altistuminen on, sillä pienet partikkelit kulkeutuvat syvälle hengityselimiin.

Kaikenlaisesta puuaineksestä tiedetään käsittelyn tai varastoinnin aikana haihtuvan ilmaan erilaisia orgaanisia yhdisteitä (esim. terpeenejä, aldehydejä, kuten heksanaalia). Metsätähdehakkeesta itsestään ei ko. yhdisteiden osalta löydy kirjallisuudesta tutkimustietoja, joiden avulla työturvallisuusriskejä voitaisiin arvioida. Voidaan kuitenkin arvioida, etteivät haihtuvat orgaaniset aineet aiheuta kovin merkittävää riskiä metsätähteiden varastoinnin tai käsittelyn aikana, varsinkin jos varastointi ja käsittely tehdään ulkotiloissa, jolloin haihtuvien yhdisteiden pitoisuudet pääsevät laimenemaan nopeasti. Sen sijaan pienissä ja suljetuissa hakesiiloissa olisi ehkä syytä tehdä tutkimuksia, sillä esim. pellettisiiloissa on todettu muodostuvan mm. korkeita heksanaalipitoisuuksia. Siiloissa ja muissa suljetuissa varastotiloissa happea syrjäyttävien kaasujen (esim. häkä ja hiilidioksidi) muodostuminen voi olla mahdollinen vaaratekijä, joka aiheuttaa riskiä. Riskien merkittävyyden arvioimiseksi olisi kuitenkin oltava pitoisuustietoja, joita voitaisiin verrata aineiden HTP-arvoihin.

Työtapaturmien vaara ja niiden aiheuttamat riskit

Kaikissa metsätähdehakkeen tuotannon osaprosesseissa ja niiden vaiheissa todettiin työtapaturmien vaaran olevan mahdollinen. Työtapaturmien laatua voidaan osin arvioida perinteisten metsätaloustöiden perusteella (esim. metsä- ja kaukokuljetus), sillä käytettävät menetelmät ja laitteet ovat samankaltaisia. Mutta metsähakkeen tuotannossa on myös vaiheita, jotka eivät kuulu perinteisiin metsätaloustöihin, kuten haketus. Haketuksessa aikana tiedetään tapahtuneen jopa kuolemaan johtaneita onnettomuuksia, joten haketusvaiheen työtapaturmia tulisi tutkia vaarojen ja riskien selvittämiseksi ja hallintakeinojen parantamiseksi. Esimerkiksi hakettimien tukkeutuminen materiaalin sisältämien epäpuhtauksien (esim. kivet) vuoksi, voi aiheuttaa vaaratilanteita, kun tukkeutumaa selvitetään. Myös liikenneonnettomuuksien vaara on olemassa useissa eri vaiheissa, kun sekä metsätähdettä, että siitä valmistettua haketta kuljetetaan metsästä tai välivarastolta käyttöpaikoille.

Tulipalot muodostavat vaaratekijän lähinnä prosessin loppuvaiheessa, varastoinnin aikana, mutta myös haketuksessa voi laitteiden ylikuumeneminen aiheuttaa tulipaloja. Lisäksi jos esim. haketuksessa muodostuu hyvin hienojakoista pölyä, voi myös räjähdysvaara olla olemassa. Hakkeen varastoinnin aikana on yhdeksi vaaratekijäksi tunnistettu itse-syttyminen, mikäli olosuhteet kasassa tai varastoaukussa ovat tapahtumalle suotuisat (esim. kosteus ja lämpö, jolloin mikrobitoiminta käynnistyy).

Työtapaturmien aiheuttamien vaarojen arviointi vaikeuttaa vielä nykyisin se, ettei bioenergiatoimialan työtapaturmia seurata ja tilastoida erikseen, vaan ne rekisteröityvät tapaturmien seurantajärjestelmään muiden toimialojen alle (esim. maa- ja metsätalous).

Yhteenveto

Taulukossa 16 on esitetty yhteenveto edellä tarkastelluista vaaratekijöistä; tiedetäänkö ko. vaaratekijän (tai vaaratekijäryhmän) aiheuttavan vaaraa (3) tai ei (1) vai onko vaaratekijästä saatavilla olevat tiedot niin puutteellisia, ettei arviota mahdollisesta vaarasta tai riskin merkittävyydestä voida tehdä (2). Luokittelu on kuvattu tarkemmin taulukossa 8.

Taulukon perusteella voidaan todeta, että *lisätutkimuksia tarvitaan erityisesti haketuksesta ja siihen liittyen kaikista tarkastelluista vaaratekijöistä*. Myös hakkeen varastoinnin ja käytön osalta on riskinarviointia varten tarvittavissa tiedoissa puutteita. Kuten aikaisemmin jo todettiin, on esim. kuljetusvaihe ja siihen liittyvät vaaratekijät varsin hyvin tunnettu, sillä sen ei arvioida eroavan merkittävästi perinteisistä metsätalouden kuljetuksista.

Taulukko 16. Metsätähdehakkeen tuotannon osaprosessien vaaratekijöiden luokittelu. Luokka 1; ei arvioida olevan vaaraa ja luokka 3; arvioidaan aiheuttavan vaaraa. Vaaratekijät, joiden riskien arvioimiseksi tarvitaan lisätutkimuksia ja –selvityksiä, on merkitty punaisella (luokka 2).

Tuotantoprosessin vaihe	Vaaratekijä			
	fysikaalisia	biologisia	kemiallisia	työtapaturmien vaara/ tulipalon vaara/ liikenneonnettomuudet
Hakkuutähteen kerääminen: paalaus tai irtorisut	3	1	3	3
Metsäkuljetus	3	1	3	3
Välivarastointi/kuivaus tienvarressa	1	1	1	3
Kaukokuuljetus välivarastoon tai käyttöpaikalle: irto/paalit/hake (mu kaan lukien kuorman teko ja purku)	3	2	2/3*	3
Haketus välivarastolla tai käyttöpaikalla	2	2	2	2
Hakkeen varastointi ja käyttö käyttöpaikalla (pois lukien poltto)	1	2	2	3

(* saman vaararyhmän tunnistetuista vaaratekijöistä osan tiedetään aiheuttavan vaaraa ja osan tutkimustiedot ovat puutteellisia)

6.1.2 Pien-/rankapuuhakkeen tuotantoprosessit

Pien-/rankapuuhakkeen tuotantoprosessin tunnistetut vaaratekijät on esitetty liitteen 2 kaaviossa. Pien-/rankapuuhakkeen tuotantoprosessi voidaan jakaa osaprosesseihin haketuspaikan perusteella (käyttöpaikka-, tienvarsi- tai terminaalihaketus). Suurin osa ko. hakkeesta tuotetaan käyttöpaikalla, mutta myös terminaalihaketusta käytetään enenevässä määrin. Tunnistetut vaaratekijät ovat kuitenkin osaprosesseissa samoja, eikä eri osaprosessien välillä todettu merkittäviä eroja. Lisäksi pien-/rankapuuhakkeen tuotantoprosessi on hyvin samankaltainen kuin edellä kuvatun metsätähdehakkeen.

Fysikaaliset vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit

Fysikaalisia vaaratekijöitä todettiin esiintyvän lähes kaikissa tuotantoprosessin vaiheissa. Vain välivarastoinnin sekä valmiin hakkeen käytön aikana ei arvioitu esiintyvän fysikaalisia vaaratekijöitä merkittävässä määrin. Merkittävimmitseksi fysikaalisiksi tekijöiksi arvioitiin kaikissa tuotantovaiheissa melu ja/tai tärinä, kuten metsätähdehakkeenkin kohdalla (kts. kappale 6.1.1).

Pien-/rankapuuta saadaan yleensä harvennushakkuusta, joka toteutetaan joko metsäkoneella tai metsurityönä. Erityisesti metsurityön vaaratekijöinä sekä moottorisahan melu että tärinä ovat edelleenkin merkittäviä, vaikka molempien tekijöiden aiheuttamaa työterveysriskiä on onnistuttu pienentämään koneiden ja laitteiden teknisiä ominaisuuksia perantamalla.

Biologiset vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit

Biologiset vaaratekijöiden esiintyminen arvioitiin mahdollisiksi lähes kaikissa pien-rankapuuhakkeen tuotantoprosessin vaiheissa, kuten metsätähdehakkeenkin tuotannossa. Kuten metsähakkeen kohdalla biologiset vaaratekijät liittyvät erityisesti materiaalin varastointiin ja varastoidun materiaalin käsittelyyn (kts kappale 6.1.1).

Myös zoonosit voivat olla vaaratekijä, kuten metsätähteen kohdalla. Riskin ei kuitenkaan oleteta olevan merkittävä.

Kemialliset vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit

Kemiallisia vaaratekijöitä tunnistettiin kaikissa pien-rankapuuhakkeen tuotantoprosessin vaiheissa, väli-varastointia lukuun ottamatta. Kuten metsätähdehakkeen tuotannossa kemiallisia vaaratekijöitä todettiin esiintyvän monia erilaisia (kts. kappale 6.1.1). Mikäli pien-/rankapuu hankitaan harvennushakkuun yhteydessä metsurityönä, voivat moottorisahan pakokaasut olla yksi merkittävä kemikaalialtistumisen aiheuttaja.

Työtapaturmien vaara ja niiden aiheuttamat riskit

Kaikissa pien-rankapuuhakkeen tuotannon osaprosesseissa ja niiden vaiheissa todettiin työtapaturmien vaaran olevan mahdollinen (kts. kappale 6.1.1). Kuten metsätähdehakkeenkin tuotannossa, on tuotannossa vaiheita, jotka eivät kuulu perinteisiin metsätaloustöihin, kuten haketus.

Yhteenveto

Taulukossa 17 on esitetty yhteenveto tarkastelluista vaaratekijöistä; tiedetäänkö ko. vaaratekijän (tai vaaratekijä ryhmän) aiheuttavan vaaraa (3) tai ei (1) vai onko vaaratekijästä saatavilla olevat tiedot niin puutteellisia, ettei arviota mahdollisesta vaarasta tai riskin merkittävyydestä voida tehdä (2). Luokittelu on kuvattu tarkemmin taulukossa 8.

Taulukon perusteella voidaan todeta, että *lisätutkimuksia tarvitaan erityisesti haketukselta ja siihen liittyen kaikista tarkastelluista vaaratekijöistä*. Myös hakkeen varastoinnin ja käytön osalta on riskinarviointia varten tarvittavissa tiedoissa puutteita. Kuten metsätähdehakkeen tuotannon kohdalla, on esim. kuljetusvaihe ja siihen liittyvät vaaratekijät varsin hyvin tunnettu, sillä sen ei arvioida eroavan merkittävästi perinteisistä metsätalouden kuljetuksista.

Taulukko 17. Pien-rankapuuhakkeen tuotannon osaprosessien vaaratekijöiden luokittelu. Luokka 1; ei arvioida olevan vaaraa ja luokka 3; arvioidaan aiheuttavan vaaraa. Vaaratekijät, joiden riskien arvioimiseksi tarvitaan lisätutkimuksia ja –selvityksiä, on merkitty punaisella (luokka 2).

Tuotantoprosessin vaihe	Vaaratekijä			
	fysikaaliset	biologiset	kemialliset	työtapaturmien/ tulipalon vaara/ liikenneonnettomuudet
Harvennushakkuu: metsuri/kone	3	3	3	3
Metsäkuljetus	3	1	3	3
Väli-varastointi/kuivaus tienvarressa	1	1	1	3
Kaukokuljetus väli-varastoon tai käyttöpaikalle (mukaan lukien kuorman teko ja purku)	3	2	2/3*	3
Haketus tienvarressa tai terminaalissa	2	2	2	2
Hakkeen varastointi ja käyttö käyttöpaikalla (pois lukien poltto)	1	2	2	3

(* saman vaararyhmän tunnistetuista vaaratekijöistä osan tiedetään aiheuttavan vaaraa ja osan tutkimustiedot ovat puutteellisia)

6.1.3 Kantomurskeen tuotantoprosessit

Kantomurskeen tuotantoprosessin tunnistetut vaaratekijät on esitetty liitteen 3 kaaviossa. Tuotantoprosessi voidaan jakaa osaprosesseihin eri tavoin, jos tarkastellaan kantojen murskauspaiikkaa (käyttöpaikka, tienvarsi tai terminaali). Pääosin murskausta tehdään nykyisin terminaaleissa tai tienvarsien välivarastoissa. Tunnistetut vaaratekijät ovat kuitenkin osaprosesseissa samoja, eikä eri osaprosessien välillä todettu merkittäviä eroja.

Fysikaaliset vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit

Fysikaalisia vaaratekijöitä todettiin esiintyvän lähes kaikissa tuotantoprosessin vaiheissa. Vain välivarastoinnin sekä valmiin murskeen käytön aikana ei arvioitu esiintyvän fysikaalisia vaaratekijöitä merkittävässä määrin. Kuten metsä- ja pien/rankapuuhakkeenkin kohdalla, merkittävimiksi fysikaalisiksi tekijöiksi arvioitiin kaikissa työvaiheissa melu ja/tai tärinä (kts. kappale 6.1.1)

Kantojen nosto on työmenetelmänä varsin uusi ja nostoa kaivukoneella on tehty vasta noin 10 vuotta. Kuten maarakentamisen perusteella tiedetään, työskentely kaivukoneella aiheuttaa työntekijän altistumista tärinälle. Kantojen noston voidaan arvioida aiheuttavan jopa suuremman tärinäaltistuksen, sillä maa-ainesta poistetaan kannoista ravistelemalla kantoja kaivukoneen avulla. Maa- ja kiviaines on poistettava kannoista, koska ne voivat vaurioittaa murskaukseen käytettäviä laitteita. Myös maasto-olosuhteet voivat poiketa perinteisistä maarakennuskohteista ja lisäten työnaikaista tärinää. Kantojen noston aiheuttamaa tärinää ei ole kirjallisuuden perusteella tutkittu, joten tutkimustarve on ilmeinen, koska kantoja nostetaan nykyisin runsaasti. Tärinän aiheuttaman riskin merkittävyttä ei voida arvioida ilman luotettavia mittaustietoja tärinän suuruudesta.

Kantojen murskauksessa käytettävät laitteet ovat suurempia ja tehokkaampia kuin esim. metsätähdehakkeen valmistukseen käytettävät hakettimet. Näin ollen murskainten aiheuttama tärinä, kuten myös melu, voi olla voimakkaampaa. Murskaimen melun ja tärinän aiheuttamat vaarat ovat riippuvaisia käytetyn laitteen ominaisuuksista (esim. laitteen käyttämä tekniikka, ikä), joten tärinän ja melun sekä niiden aiheuttamien riskien merkittävyuden arvioimiseksi tarvitaan tutkimus- ja mittaustuloksia.

Biologiset vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit

Biologiset vaaratekijöiden esiintyminen arvioitiin mahdollisiksi lähes kaikissa kantomurskeen tuotantoprosessin vaiheissa, kuten metsätähde- ja pien/runkopuuhakkeenkin tuotannossa (kts. kappale 6.1.1). Koska kantoja on käytetty bioenergian raaka-aineena varsin vähän aikaa, ei tutkimustietoa kantojen tai niistä valmistetun murskeen aiheuttamista biologisista vaaratekijöistä ole riittävästi riskien luotettavaa arvioimista varten.

Kemialliset vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit

Kemiallisia vaaratekijöitä tunnistettiin kaikissa kantomurskeen tuotantoprosessin vaiheissa, välivarastointia lukuun ottamatta. Useat tunnistetut kemialliset vaaratekijät ovat vastaavia kuin metsätähde- ja pien/rankapuuhakkeenkin tuotantoprosesseissa (polttoaineet, pakokaasut ja öljyt).

Kantomurskeen tuotantoprosessissa tunnistettiin muista tarkastelluista prosesseista poiketen yhdeksi mahdolliseksi vaaratekijäksi epäorgaaninen pöly. Epäorgaanista pölyä, joka voi sisältää terveydelle haitallista kvartssia, voi joutua ilmaan kantojen noston yhteydessä. Kvartssia esiintyy aina maa-aineksen joukossa, joten esimerkiksi jos kantojen noston aikana maa-aines pölyy, voi kvartssia vapautua ilmaan. Kvartssia voi päästä ilmaan myös kantojen käsittelyn tai murskauksen aikana, tosin todennäköisesti vähäisempiä määriä kuin nostotyön aikana, koska suurin osa maa-aineksesta pyritään poistamaan noston aikana. Kvartsin

esiintymisestä kantojen noston tai käsittelyn aikana ei ole tutkimustuloksia, joten kvartsin aiheuttaman riskin merkittävyuden arvioiminen ei tässä vaiheessa ole mahdollista.

Myös orgaanista pölyä esiintyy useissa kantomurskeen tuontovaiheissa. Kuten muidenkin bioenergian tuotantoprosessien osalta, tutkimustuloksia on löydettävissä jonkin verran, mutta luotettavasti pölyn aiheuttamia terveystriskejä ei tietojen avulla pystytä arvioimaan (kts. kappale 6.1.1).

Kannoista sekä kantomurskeesta voi vapautua ilmaan käsittelyn ja varastoinnin aikana erilaisia orgaanisia yhdisteitä (esim. terpeenejä), mutta esim. työntekijöiden hengitysilmaan kulkeutuvista pitoisuuksista ei ole tutkimustietoja. Kuten myös esim. metsätähdehakkeen tuotannossa, voidaan kantojen käsittelyn osalta haihtuvien orgaanisten aineiden pitoisuudet arvioida varsin pieniksi, varsinkin jos varastointi ja käsittely tehdään ulkotiloissa, jolloin yhdisteiden pitoisuudet laimenevat nopeasti. Mikäli mursketta kuitenkin varastoidaan pienissä ja suljetuissa siiloissa, voi siiloon vapautua haihtuvia orgaanisia yhdisteitä tai kaasuja (esim. häkä, hiilidioksidi) joiden läsnäolo on syytä huomioida työturvallisuudessa.

Työtapaturmien vaara ja niiden aiheuttamat riskit

Kaikissa kantomurskeen tuotannon osaprosesseissa ja niiden vaiheissa todettiin työtapaturmien vaaran olevan mahdollinen. Kuten esim. metsätähdehakkeenkin tapauksessa, voidaan työtapaturmien laatua arvioida perinteisten metsätaloustöiden perusteella (esim. kuljetukset), mutta kantomurskeen tuotannossa on myös työmenetelmiä ja -vaiheita, jotka eivät kuulu perinteisiin metsätaloustöihin, kuten kantojen nosto sekä murskaus.

Kantojen nostovaiheessa tapahtuvia työtapaturmia ei kirjallisuuden perusteella ole tutkittu erikseen, eikä niitä, kuten ei toimialan muitakaan työtapaturmia seurata ja tilastoida erikseen. Murskaus kuten haketuskin, voivat aiheuttaa työtapaturmien vaaraa esim. murskainten tukkeutumisen yhteydessä. Liikenneonnettomuuksien vaara on olemassa useissa eri vaiheissa, sillä sekä kantoja, että mursketta kuljetetaan välivarastolta tai terminaaleista käyttöpaikoille.

Tulipalot muodostavat vaaratekijän lähinnä prosessin loppuvaiheessa, varastoinnin aikana, mutta myös murskauksessa voi laitteiden ylikuumeneminen aiheuttaa tulipalojen vaaraa.

Yhteenveto

Taulukossa 18 on esitetty yhteenveto tarkastelluista vaaratekijöistä sen mukaan; tiedetäänkö ko. vaaratekijän (tai vaaratekijä ´ryhmän´) aiheuttavan vaaraa (3) tai ei (1), vai onko vaaratekijästä saatavilla olevat tiedot niin puutteellisia, ettei arviota mahdollisesta vaarasta tai riskin merkittävydestä voida tehdä ilman lisätutkimuksia (2). Luokittelu on kuvattu tarkemmin taulukossa 8.

Taulukon perusteella voidaan todeta, *että lisätutkimuksia tarvitaan erityisesti kantojen nostovaiheen osalta*, mutta myös murskausvaiheeseen liittyy paljon epävarmuuksia, eikä tutkimustietoja luotettavaan riskinarviointiin ole. Kuten metsätähdehakkeen tuotannonkin kohdalla, on esim. kuljetusvaihe ja siihen liittyvät vaaratekijät varsin hyvin tunnettu, sillä sen ei arvioida eroavan merkittävästi perinteisistä metsätalouden kuljetuksista. Välivarastoinnin vaaratekijät liittyvät lähinnä työtapaturmiin (esim. aumojen sortuminen).

Taulukko 18. Kantomurskeen tuotannon osaprosessien vaaratekiöiden luokittelu. Luokka 1; ei arvioida olevan vaaraa ja luokka 3; arvioidaan aiheuttavan vaaraa. Vaaratekiöt, joiden riskien arvioimiseksi tarvitaan lisätutkimuksia ja –selvityksiä, on merkitty punaisella (luokka 2).

Tuotantoprosessin vaihe	Vaaratekiö			
	fysikaaliset	biologiset	kemialliset	työtaturmien/ tulipalon vaara/ liikenneonnettomuudet
Kantojen nosto, paloittelu, kasaus	2/3*	2	2/3*	3
Metsäkuljetus	3	1	3	3
Välivarastointi/kuivaus tienvarressa	1	1	1	2
Kaukokuljetus välivarastoon tai käyttöpaikalle (mukaan lukien kuorman teko ja purku)	3	2	3	3
Murskaus välivarastolla tai käyttöpaikalla	2	2	2	2
Murskeen varastointi ja käyttö käyttöpaikalla (pois lukien poltto)	1	2	2	3

(* saman vaararyhmän tunnistetuista vaaratekiöistä osan tiedetään aiheuttavan vaaraa ja osan tutkimustiedot ovat puutteellisia)

6.1.4 Ruokohelpimurskeen tuotantoprosessit

Ruokohelpimurskeen tuotantoprosessin tunnistetut vaaratekiöt on esitetty liitteen 4 kaaviossa. Helpimurskeen tuotantoprosessi voidaan jakaa osaprosesseihin murskauspaikan perusteella (käyttöpaikka tai välivarastoalue, tavallisimmin suo). Tällä hetkellä pääosa murskauksesta toteutetaan välivarastoalueilla, jotka usein ovat Vapon suoalueita, joissa tehdään myös helpimurskeen seostaminen turpeeseen. Seostaminen voidaan toteuttaa myös käyttöpaikalla, mutta tämä vaihtoehto harvinaisempi. Helpeä poltetaan myös esim. hakkeeseen seostettuna, mutta poltto turpeen kanssa on tavallisin. Tuotantoprosesseissa on myös jonkin verran eroja sen suhteen, kuinka helpeä korjataan: irtoheinänä vai paaleina. Korjuu, säilytys ja kuljetus paaleina on tällä hetkellä Suomessa tavallisin tapa.

Tunnistetut vaaratekiöt ovat kuitenkin osaprosesseissa samoja, eikä eri osaprosessien välillä todettu merkittäviä eroja.

Fysikaaliset vaaratekiöt ja niiden aiheuttamat riskit

Fysikaalisia vaaratekiöitä todettiin esiintyvän lähes kaikissa tuotantoprosessin vaiheissa. Vain välivarastoinnin sekä valmiin murskeen (tai seospolttoaineen) käytön aikana ei arvioidu esiintyvän fysikaalisia vaaratekiöitä merkittävässä määrin. Merkittävimmiksi fysikaalisiksi tekijöiksi arvioidtiin kaikissa tuotannon vaiheissa melu ja/tai tärinä. Ruokohelpin viljely- ja korjuuvaiheen fysikaalisia vaaratekiöitä ja niiden aiheuttamia riskejä voidaan arvioida perinteisten maataloustöiden perusteella, sillä käytettävät menetelmät (esim. maan muokkaus, kylvä, korjuu, paalaus), koneet ja laitteet ovat samoja. Maataloustyöntekijöiden osalta altistuminen sekä tärinälle että melulle on tunnistettu. Kuitenkin esim. traktorien kuljettajien tärinä- ja melualtistusta on pystytty vähentämään teknisillä ratkaisuilla (ohjaamot, istuimet), mutta altistumista tapahtuu edelleen ja riskit voivat olla merkittäviä.

Tärinä aiheuttaa varaa myös kuljetusvaiheessa, sillä helpeä joudutaan kuljettamaan useissa vaiheissa. Kuljetukset toteutetaan lähinnä kuorma-autoilla, joissa kuljettajien tiedetään altituvan tärinälle ja tärinän aiheuttavan vaaraa kuljettajille. Kuljetuksiin liittyy myös helpipaalien lastaus autoon ja pois autosta, joten myös lastausvaiheessa arvioidaan tapahtuvan tärinäaltistusta. Kuljetusvaiheen tärinän aiheuttamaa varaa ja riskin merkittävyyttä voidaan arvioida varsin luotettavasti muiden kuljetustöiden ja ajoneuvojen perusteella, sillä käytettävä kalusto on samanlaista.

Sen sijaan ruokohelpin murskausvaiheessa, jossa myös tunnistettiin tärinän ja melun olevan vaaratekijä, ei ole tehty mittauksia tai tutkimuksia, eikä riskin merkittävyyttä työntekijän terveydelle voida olemassa olevien tietojen perusteella luotettavasti arvioida. Murskaimen tärinän ja melun aiheuttama vaara on suuresti riippuvainen käytetyn laitteen ominaisuuksista (esim. laitteen koko, tekniikka, ikä), joten sen arvioimiseksi tarvitaan laitekohtaisia tutkimus- ja mittaustuloksia. Murskaimia myös ilmeisesti rakennetaan jonkin verran itse, ainakin pienimuotoiseen käyttöön, jolloin ko. laitteissa ei välttämättä osata huomioida tärinän ja melun aiheuttamia varoja.

Biologiset vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit

Biologiset vaaratekijöiden esiintyminen arvioitiin mahdollisiksi lähes kaikissa ruokohelpimurskeen tuotantoprosessin vaiheissa. Biologinen vaara, jonka aiheuttavat mikro-organismit (esim. sienet, homeet, bakteerit, endotoksiinit), liittyy erityisesti ruokohelpin varastointiin ja varastoidun materiaalin käsittelyyn. Mikäli varastointiolosuhteet esim. välivarastoissa ovat mikrobien kasvulle suotuisat (lämpö, kosteus), voi helpimateriaali homehtua, jolloin mikrobien määrä lisääntyy. Varastoinnissa tulisi noudattaa huolellisuutta, esim. pitämällä paalit irti maasta, jolloin estetään kosteuden pääseminen maasta paaleihin ja suojaamaan paalit vesisateelta. Mikäli paalit alkavat homehtua, pääsevät mikrobit leviävät ilmaan paaleja käsiteltäessä ja työntekijät voivat altistua mikrobeille hengitysilman välityksellä. Tutkimustietoa ruokohelpin käsittelyssä esiintyvistä mikro-organismien määrästä ja laadusta on olemassa hyvin vähän, joten vaaratekijän aiheuttaman riskin merkittävyyden luotettavaa arvioimista ei voida tehdä.

Mikrobien läsnäolo sekä helpimateriaalissa että murskeessa tulisi huomioida sekä varastoinnin että muun käsittelyn (varastojen purku, murskaus, murskeen seostus ja polttoainesten siirto polttoon) aikana. Kuten muidenkin tuotantoprosessien osalta terveystekijöiden arvioiminen on hankalaa, koska mikrobeille ei ole asetettu työhygieeniä raja-arvoja. Vaikka mikro-organismien haitallisuutta ei voida ilman tutkimuksia todeta, on kuitenkin syytä välttää helpin käsittelyä tai noudattaa käsittelyssä erityistä huolellisuutta (henkilökohtainen suojautuminen), jos helpessä havaitaan silmämääräisesti homeita.

Kemialliset vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit

Kemiallisia vaaratekijöitä tunnistettiin kaikissa ruokohelpimurskeen tuotantoprosessin. Kemiallisia vaaratekijöitä kasvatusvaiheessa (viljely, korjuu) tiedetään perinteisten maatalousprosessien tuntemisen perusteella voivan esiintyä monia erilaisia. Useista näistä vaaratekijöistä (mm. lannoitteista, torjunta-aineista) sekä niille altistumisesta, voidaan ruokohelpin kasvatusvaiheen osalta tehdä varsin luotettavasti arvioita perinteisten metsätalousprosessien perusteella. Myös kuljetuksiin sekä erilaisten laitteiden käyttöön, korjuuseen ja huoltoon liittyvät kemialliset vaaratekijät (esim. polttoaineet, pakokaasut, öljyt) voidaan tunnistaa ja niiden aiheuttamien riskien merkittävyyttä arvioida varsin luotettavasti.

Myös orgaanista pölyä esiintyy useissa ruokohelpimurskeen tuotannon vaiheissa. Kuten muidenkin bioenergian tuotantoprosessien osalta, tutkimustuloksia on esim. Suomesta löydettävissä, mutta niiden avulla ei orgaanisen pölyn aiheuttamia terveystekijöitä pystytä luotettavasti arvioimaan. Orgaanisen pölyn muodostuminen ja määrä eri työvaiheissa riippuu esim. olosuhteista (sää, sisä-/ulkotila) sekä helpin ominaisuuksista, kuten kosteudesta. Orgaanisen pölyn, kuten muunkin pölyn haitallisuus riippuu suuresti pölyn partikkelikoosta – pienet (<5 µm) partikkelit ovat haitallisimpia, sillä ne pääsevät kulkeutumaan syvemmälle hengityselimiin.

Ruokohelpin tuotantoprosessissa tunnistettiin myös yhdeksi mahdolliseksi vaaratekijäksi epäorgaaninen pöly. Epäorgaanista pölyä, joka voi sisältää terveydelle haitallista kvartssia, voi

aiheuttaa vaaraa esim. maanmuokkauksen tai helpin korjuun aikana. Kvartsia esiintyy aina maa-aineksen joukossa, joten esimerkiksi tilanteissa, joissa maa-aines pääsee pölyämään, voi kvartsia vapautua ilmaan. Maanmuokkauksen ja helpin korjuun lisäksi kvartsia voi päästä ilmaan myös helpin käsittelyn tai murskauksen aikana, jos materiaali sisältää maa-ainesta. Todennäköisesti helpimateriaalista hengitysilmaan vapautuvan kvartsin määrä on kuitenkin vähäisempää kuin esim. maanmuokkauksen aikana. Kvartsin esiintymisestä maataloustyöntekijöiden hengitysilmassa (esim. maanmuokkaus, juuresten käsittely) on olemassa tutkimustuloksia, mutta varsinaisesti ruokohelpin tuotannossa esiintyviä kvartsipitoisuuksia ei ole tutkittu. Olemassa olevien tietojen perusteella, ei epäorgaanisen pölyn (kvartsin) kuitenkaan arvioida olevan merkittävä vaaratekijä tai aiheuttavan merkittävää riskiä työntekijöille.

Ruokohelpistä ilmaan käsittelyn ja varastoinnin aikana vapautuvista, haihtuvista orgaanista yhdisteistä, ei kirjallisuudesta ole löydettävissä tietoja, kuten ei tietoja ole myöskään muista maatalouden heinäkasveista. Helpin tiedetään aiheuttavan työntekijöissä herkistymistä (allergia), eräiden muiden heinäkasvien tapaan.

Helpipaalit peitetään usein muovilla välivarastoinnin ajaksi. Kirjallisuudessa on esitetty arvio, että muovien alle voi varastoinnin aikana muodostua kaasuja, jotka voivat aiheuttaa vaaraa (kaasut syrjäyttävät hengitysilman hapen), mikäli muovien alle mennään. Myös tilanteissa, joissa helpimursketta varastoitaisiin pienissä ja suljetuissa siiloissa, voisi siiloon vapautua kaasuja (esim. häkä, hiilidioksidi), joiden läsnäolo olisi syytä huomioida työturvallisuudessa. Ruokohelpimursketta tai seospolttoainetta ei kuitenkaan tavallisesti varastoida pienissä siiloissa, vaan ulkona tai avoimissa tiloissa, joten riskien voidaan arvioida olevan vähäisiä.

Työtaturmien vaara ja niiden aiheuttamat riskit

Kaikissa ruokohelpimurskeen tuotannon osaprosesseissa ja niiden vaiheissa todettiin työtaturmien vaaran olevan mahdollinen. Työtaturmien vaaraa ja laatua voidaan osin arvioida perinteisten maataloustöiden perusteella (esim. viljely, korjuu, kaukokuljetus), sillä käytettävät menetelmät ja laitteet ovat samankaltaisia. Kuten muissakin edellä olevien bioenergiamateriaalien käsittelyssä, myös ruokohelpimurskeen tuotannossa on vaiheita, jotka eivät kuulu perinteisiin maa- tai metsätaloustöihin. Murskausvaiheessa työtaturmien vaara on ilmeinen, joten sen osalta on olemassa selkeä lisätutkimustarve riskien selvittämiseksi.

Myös liikenneonnettomuuksien vaara on olemassa useissa eri vaiheissa, sillä sekä helpeä, että siitä valmistettua mursketta ja seospolttoainetta kuljetetaan välivarastoihin ja käyttöpaikoille. Liikenneonnettomuuksien vaara ja riskit eivät todennäköisesti eroa muusta, esim. puutavaran tai heinien maantiekuljetuksesta.

Tulipalot ja myös räjähdykset muodostavat vaaratekijän ruokohelpimurskeen tuotantoprosessissa useissa vaiheissa. Helpi korjataan ja sitä käsitellään yleensä hyvin kuivana, joten se on erittäin herkästi syttyvää. Näin ollen kaikissa käsittelyvaiheissa on tulipalon vaara otettava huomioon ja siihen on varauduttava. Esimerkiksi koneiden ja laitteiden kuumeneminen voi aiheuttaa helpin tai helpimurskeen syttymisen. Kasoihin varastoitu murske voi myös itse-syttyä, mikäli kasassa pääsee käynnistymään mikrobitoiminta. Pölyävä helpi tai helpimurske voi myös aiheuttaa räjähdysvaaran suljetuissa tiloissa esim. lämpö- ja voimalaitoksella.

Yhteenveto

Taulukossa 19 on esitetty yhteenveto tarkastelluista vaaratekijöistä sen mukaan; tiedetäänkö ko. vaaratekijän (tai vaaratekijä ´ryhmän´) aiheuttavan vaaraa (3) tai ei (1), vai onko vaaratekijästä saatavilla olevat tiedot niin puutteellisia, ettei arviota mahdollisesta vaarasta tai

riskin merkittävyydestä voida tehdä ilman lisätutkimuksia (2). Luokittelu on kuvattu tarkemmin taulukossa 8.

Taulukon perusteella voidaan todeta, että *lisätutkimuksia tarvitaan erityisesti ruokohelpin murskausvaiheesta sekä murskeen käsittelystä ja varastoinnista*, sillä niiden vaiheiden osalta joko riskinarviointiin tarvittavia tietoja ei ole tai tiedot ovat puutteellisia. Sen sijaan viljely- ja korjuuvaiheen vaaratekijöistä tiedetään, johtuen menetelmien sekä koneiden ja laitteiden samankaltaisuudesta perinteisten maatalousprosessien kanssa.

Taulukko 19. Ruokohelpimurskeen tuotannon osaprosessien vaaratekijöiden luokittelu. Luokka 1; ei arvioida olevan vaaraa ja luokka 3; arvioidaan aiheuttavan vaaraa. Vaaratekijät, joiden riskien arvioimiseksi tarvitaan lisätutkimuksia ja –selvityksiä, on merkitty punaisella (luokka 2).

Tuotantoprosessin vaihe	Vaaratekijä			
	fysikaalisia	biologisia	kemiallisia	työtaturmien/ tulipalon vaara/ liikenneonnettomuuksia
Viljely: maanmuokkaus, lannoitus, kylvö, kasvinsuojelu	3	3	3	3
Korjuu: niitto, paalaus/irtokorjuu	3	3	3	3
Välivarastointi pellolla tai käyttöpaikalla (paalit/irtosilppu)	1	1	2	3
Kaukokuuletus välivarastoon tai käyttöpaikalle (mukaan lukien kuorman teko ja purku)	3	2/3*	2/3*	3
Murskaus välivarastolla tai käyttöpaikalla	2	2	2	2
Seostaminen turpeeseen/hakkeeseen välivarastolla tai käyttöpaikalla	1	2	2	3
Murskeen varastointi ja käyttö käyttöpaikalla (pois lukien polton päästöt)	1	2	2	3

(* saman vaararyhmän tunnistetuista vaaratekijöistä osan tiedetään aiheuttavan vaaraa ja osan tutkimustiedot ovat puutteellisia)

6.2 TARKASTUSLISTAT JA NIIDEN KÄYTTÖ

Tarkastelluista bioenergian tuotantoprosesseista tunnistettujen vaaratekijöiden perusteella laadittiin kullekin prosessille ns. ´safety check´-tarkastuslistat. Tarkastuslistat kullekin prosessille on esitetty liitteissä 5-8. Kussakin tarkastuslistan kohdassa on esitetty kolme vaihtoehtoa, kuinka vaara- tai riskitekijä on huomioitu kyseessä olevassa kohteessa tai työvaiheessa: ´vaaratekijä huomioitu´, ´vaaratekijää ei huomioitu´ tai ´vaaratekijä ei sovellu kohteeseen/työvaiheeseen´.

Listoja voidaan käyttää **vain alustavina tarkastuslistoina** työsuojelutekijöiden tarkastamiseen ja työturvallisuuden kehittämiseen tuotannon eri vaiheissa. **Tarkastuslistat eivät ole täydellisiä**, eivätkä yksityiskohtaisia, vaan niihin on otettu mukaan vain merkittävimmiksi arvioituja vaara- ja riskitekijöitä, yleisellä tasolla. Listoissa ei toisaalta ole pyrittykään täydellisyyteen, vaan niiden on lähinnä tarkoitus toimia esim. muistin tukena ja huomion herättäjänä, kun työvaiheita ja prosesseja käydään läpi. Seuraavassa on käyty läpi joitakin näkökohtia, jotka on otettava huomioon tarkastuslistojen käytössä todellisissa työkohteissa.

Tuotantoprosesseista on listoissa käyty läpi vain keskeisimmät osaprosessit ja työvaiheet, vastaavasti kuin vaaratekijöiden tunnistamisessakin kappaleessa 6.1. Listoissa ei ole yksityiskohtaisesti läpikäyty esimerkiksi kaikkia mahdollisia työvaiheissa käytettäviä koneita ja laitteita. Samaan tehtäväänkin soveltuviissa koneissa ja laitteissa voi esim. fysikaalisten vaaratekijöiden (melu/tärinä) osalta olla suuriakin eroja, riippuen mm. laitteen iästä ja käytettävästä tekniikasta. Esimerkiksi haketuksen ja murskauksen osalta tarkasteltiin vain yleisesti hakettimia ja/tai murskaimia, eikä tarkastuslistoissa ole eritelty kaikkia mahdollisia käytettävissä olevia laitetyppejä. Kuitenkin biopoltoaineiden tuotannossa tiedetään käytettävän useita erilaisia laitetyppejä, joiden vaaratekijät ja niiden aiheuttamat riskit voivat poiketa toisistaan suuresti.

Edellä mainittu koskee myös kemiallisia vaaratekijöitä; usein on valittavana kuhunkin tarkoitukseen useita vaihtoehtoisia kemikaaleja (esim. valmisteita kuten torjunta-aineita, lannoitteita), joiden vaarallisuus voi merkittävästikin erota toisistaan. Käytettävän kemikaalin valinnalla voidaan siis vaikuttaa vaaratekijän altistumiseen ja riskin suuruuteen. Vaaratekijöiksi useissa tuotantoprosesseissa tunnistetuissa pölyissä (sekä orgaaninen että epäorgaaninen) on syytä huomata, ettei tarkastuslistoissa ole huomioitu esimerkiksi partikkelikokoa tai muuta pölyjen vaarallisuuteen vaikuttavia seikkoja. Myös biologisia vaaratekijöitä on käsitelty listoissa erittäin yleisellä tasolla; tunnistettu vain biologisten vaaratekijöiden mahdollinen esiintyminen, mutta ei ole esim. eritelty mitä mikro-organismeja (lajeja) voi kussakin prosessissa esiintyä.

Myös kulloiseenkin työvaiheeseen valittavalla työmenetelmällä voidaan vaikuttaa vaaratekijöiden aiheuttamiin riskeihin; esimerkiksi käytetäänkö pien-/rankapuun keräämiseen harvennushakkuualueilta metsäkonetta vai tekeekö työn metsuri.

Tarkastuslistoja eri tuotantoprosesseissa ja kohteissa käytettäessä on siis huomioitava useita epävarmuustekijöitä, sillä työmenetelmän, laitteiden ja koneiden sekä kemikaalien käytöstä voi aiheutua sellaisia vaaratekijöitä, joita tässä tarkastelussa ei välttämättä ole huomioitu. Lisäksi vaaralle altistuvista henkilöistä on listoissa huomioitu vain ko. työvaiheen työntekijät, vaikka vaaralle voi työtilanteen ja -paikan mukaan altistua myös muita henkilöitä, kuten esim. kohteessa vierailijat ja ulkopuoliset henkilöt. Näistä em. syistä on tarkastuslistoja käytettäessä kohdekohtaisesti tarpeen mukaan kirjattava ylös myös muut kuin listassa esiintyvät vaaratekijät ja havainnot.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Bioenergian käytön lisääminen kasvattaa biopolttoaineprosessien tuotanto- ja käyttöketjujen parissa työskentelevien määrää niin, että biomassojen käytön lisääntymisen arvioidaan laskutavasta riippuen tarjoavan enimmillään jopa lähes 12 000 työpaikkaa vuonna 2020. Alan arvioidaan työllistävän uusia työntekijöitä, erityisesti pienissä ja keskisuurissa yrityksissä. Tässä kehityksessä voi olla riskinä, ettei pienissä yrityksissä osata tai kyetä huolehtimaan työturvallisuudesta riittävästi, eikä sitä aina osata ottaa riittävästi huomioon uudella toimialalla esim. kehitettäessä uusia laitteita joko omaan tai muiden käyttöön.

Bioenergia-alan kasvavien työntekijämäärien työterveyden ja työturvallisuuden varmistamiseksi on tärkeää tuntee bioenergian tuotantoprosessit ja niihin liittyvät vaaratekijät. Vaikka metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessit ovat usein samankaltaisia kuin perinteisissä metsä- ja maatalouden tuotantoprosesseissa, on prosesseissa siltä nähtävissä myös eroavaisuuksia käytettävissä laitteissa ja menetelmissä. Tämän pro-gradutyön aikana huomattiin, että metsä- ja peltobioenergian tuotantoprosessien vaaratekijät ja niiden aiheuttamat haitat ja riskit tunnetaan varsin huonosti ja kirjallisuudesta löytyvä tutkimustieto liittyy enimmäkseen perinteisiin metsä- ja maataloustöihin.

Työssä havaittiin tarkastelluissa tuotantoprosesseissa useita työvaiheita, joiden vaaratekijöiden aiheuttamia vaaroja tai haittoja, eikä riskien suuruutta/merkittävyyttä tunneta riittävän hyvin. Erityisesti tällaisia työvaiheita todettiin olevan biomassojen haketus ja murskaus sekä kantojen nosto. Kaikkien tarkastelujen biomassojen haketuksessa ja murskauksessa esiintyy useita vaaratekijöitä, joiden merkitystä ei tällä hetkellä tunneta riittävän hyvin.

Fysikaalisista vaaratekijöistä olisi tärkeää tutkia haketuksessa ja murskauksessa syntyvää melua ja tärinää, sillä niitä ei todellisissa työtilanteissa ja erilaisissa työympäristöissä ole mitattu, eikä näin altistuksen merkitystä ko. työvaiheessa tunneta.

Haketuksen ja murskauksen aikana työntekijät voivat altistua myös useilla biologisille ja kemiallisille vaaratekijöille. Biologisista altisteista erityisesti erilaisten bakteerien ja niiden metaboliatuotteiden (esim. endotoksiinit) sekä homesienten pitoisuudet, voivat varastoinnin aikana lisääntyä sekä biomassoissa, että valmiissa polttoaineissa huolestuttavalle tasolle. Kun biomassoja käsitellään, vapautuu esim. bakteereja ja homesienten itiöitä ilmaan, erityisesti haketus- ja murskausvaiheessa, mutta myös esim. käyttöpaikoilla lämpölaitoksissa ja -voimaloissa. Haketus ja murskaus tuottavat ilmaan myös orgaanista pölyä, joka näyttäisi kirjallisuuden perusteella olevan kemiallisista altisteista työterveysriskien kannalta merkittävien. Biologisten ja kemiallisten vaaratekijöiden pitoisuuksia esim. hengitysilmassa, eikä niiden mahdollisia vaikutuksia esim. työntekijöiden hengityselimiin, tunneta riittävän hyvin. Biologisten vaaratekijöiden aiheuttamien riskien merkittävyyden arviointia vaikeuttaa se, ettei niille ole tällä hetkellä asetettu lainsäädännöllisiä työhygieeniä raja-arvoja (HTP-arvoja), kuten useille kemiallisille tekijöille. Näillä em. altisteilla kuitenkin tiedetään olevan vakaviakin terveysvaikutuksia esim. perinteisissä metsä- ja maatalousammateissa.

Kantojen käyttö bioenergian raaka-aineena on varsin uutta, ja tähän tuotantoprosessiin liittyvistä vaaratekijöistä ei löydy kirjallisuudessa tutkimustuloksia. Tässä työssä todettiin varsinkin kaksi tärkeää tekijää, joiden merkitystä tulisi nopeasti selvittää. Kantojen nostoon käytetään kaivukoneita ja nostoon liittyvä tärinä poikkeaa todennäköiset perinteisen maanrakennustyön aiheuttamasta tärinästä, sillä kannoista irrotetaan maa-aines tärinän avulla. Toinen, vielä selvittämätön vaaratekijä on epäorgaaninen pöly, erityisesti kvartsi, joka voi aiheuttaa hengityselimistöissä vakavia terveysvaikutuksia. Maa- ja hiekka-aines sisältää aina kvartsia, jota voi kantojen noston ja myös murskauksen yhteydessä joutua ilmaan ja

mahdollisesti edelleen työntekijöiden hengitysilmaan. Työntekijöiden altistumista kvartsille voi tapahtua myös muiden biopolttoaineiden tuotannossa, jos maa-ainesta pääsee hengitysilmaan (esim. ruokohelpeltojen muokkaus).

Kaiken kaikkiaan tutkimus- ja selvityskohteita sekä -tarpeita havaittiin bioenergian tuotantoprosesseissa työn aikana useita. Edellä mainitut vaiheet on arvioitu tämän työn yhteydessä merkittävimmiksi ja niiden osalta tutkimusten, mittausten sekä työntekijöiden altistumisen selvittämisen tekeminen olisi kiireellistä. Työssä tuotettuja 'safety-check'-tarkastuslistoja voidaan käyttää helpoina ja nopeina, mutta vain alustavina, tarkastuskeinoina bioenergian tuotantovaiheissa. Laaditut tarkastuslistat ovat huomattavasti yksinkertaistettuja ja niitä käytettäessä on aina syytä huomioida kulloisenkin työvaiheen erityispiirteet, kuten käytössä oleva laitteet, koneet sekä työntekijöiden suojautuminen.

Lähdeluettelo

- Ahonen, I. & Liukkonen, T. 2008. Pellettivarastojen ilman epäpuhtaudet ja niiden aiheuttamien vaarojen ehkäiseminen. Työympäristötutkimuksen raporttisarja 32. Työterveyslaitos. 23 s. + 4 liitettä.
- Ajanko-Laurikko, S. 2009. Ruokohelven, kantojen ja risutukkien käsittelyketjujen terveysriskit ja torjuntakeinot. VTT tutkimusraportti VTT-R-08773-08. 24.2.2009. 34 s.
- Ajanko S. & Fagernäs, L. 2006. Uusien biopolttoaineiden käsittelyn työhygieeniset riskit. VTT tutkimusraportti VTT-R-00358-06. 13.2.2006. 44 s.
- Alakangas, E., Erkkilä, A., Flyktman, M., Helynen, S., Hillebrand, K., Kallio, M., Lappalainen, I., Marjaniemi, M., Nystedt, Å., Oravainen, H., Puhakka, A. & Virkkunen, M. R. 2007. Teoksessa Lappalainen, I. (toim.). Puupolttoaineiden pienkäyttö. Tekes. Frenckellin Kirjapaino Oy, Espoo. 87 s.
- Alm, M. 2010. Pk-bioenergia. Toimialaraportti 8/2010. Työ- ja elinkeinoministeriö. 91 s.
- Alm, M. 2009. Pk-bioenergia. Toimialaraportti 5/2009. Työ- ja elinkeinoministeriö. 85 s.
- Alm, M. 2008. Pk-bioenergia-alan toimialaraportti. Toimialaraportti 2/2008. Työ- ja elinkeinoministeriö. 71 s.
- Alvarez de Davila, E. 1999. Arbetsmiljön vid hantering av träpellets för energiproduktion samt arbetsmiljöerfarenheter vid eldning av olivkross och halm. Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning. ILV Rapport B 1315. 23 s. + liitteet.
- Antti-Poika, M. 2006. Biologiset hättatekijät työssä. Teoksessa Martimo, K-P. & Husman, K (toim.). 2006. Työterveyshuolto. 2. uudistettu painos. s. 97–104. Kustannus Oy Duodecim. Karisto Oy, Hämeenlinna. 299 s.
- Antti-Poika, M. & Rantanen, S. 2006. Kemialliset hättatekijät työssä. Teoksessa Martimo, K-P. & Husman, K (toim.). 2006. Työterveyshuolto. 2. uudistettu painos. s. 83–96. Kustannus Oy Duodecim. Karisto Oy, Hämeenlinna. 299 s.
- Arshadi, M. & Gref, R. 2005. Emission of Volatile Organic Compounds from Softwood Pellets During Storage. Forest Products Journal 55(12): 132-135.
- Asplund, D., Flyktsman, M. & Uusi-Penttilä, P. 2009. Arvio mahdollisuuksista saavuttaa uusiutuvien energialähteiden käytön tavoitteet vuonna 2020 Suomessa. Benet Oy. Loppuraportti. FINBION julkaisu 42. 55 s.
- Asplund, D., Korppi-Tommola, J & Helynen, S. 2005. Uusiutuvan energian lisäysmahdollisuudet vuoteen 2015. 10.5.2005. 45 s+1 liite. Saatavissa: [http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/E5063805F1B754D5C22570190028414D/\\$file/34642005.pdf](http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/E5063805F1B754D5C22570190028414D/$file/34642005.pdf)
- Aybek, A., Kamer, H. A. & Arslan S. 2010. Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. Applied Ergonomics 41: 274-281.
- Bioenergia.fi-verkkopalvelu. [www-sivut] <http://www.bioenergia.fi/>
- Black, J. G. 2004. Microbiology. Principles and Explorations. The 6th Edition. John Wiley & Sons, Inc. 807 s.

British Standards Institution (BSI). 2008. Guide to achieving effective occupational health and safety performance (BS 18004:2008). BSI 2008.

Brueck, L. 2008. Noise emissions and exposure from mobile woodchippers. Health and Safety Executive RR618 Research Report. 43 s.

Buczek, A., Rudek, A., Bartosik, K., Szymńska, J. & Wójcik-Fatla, A. 2009. Seroepidemiological Study of Lyme Borreliosis among Forestry Workers in Southern Poland. *Ann. Agric. Environ. Med.* 16: 257-261.

Danish Working Environmental Authority (Arbejdstilsynet). 2007. Grænseværdier for stoffer og materialer -C.0.1. (tanskaksi). August 83 s. Saatavissa: <http://www.at.dk/~media/3FA26655715740ED84EA28EC1191FB62.ashx>

Dpuwes, J., Thorne, P., Pearce, N. & Heederik, D. 2003. Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects. *Ann. occup. Hyg.* 47(3): 187-200

Edman, K., Löfstedt, H., Berg, P., Eriksson, K., Axelsson, S., Bryngelsson, I. & Fedeli, C. 2003. Exposure Assessment to α - and β -pinene, Δ^3 -Carene and Wood Dust in Industrial Production of Wood Pellets. *Ann. occup. Hygiene* 47(3): 219-226.

Eduard, W. 2006. Fungal spores. The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks for Chemicals Nr 2006:21. Arbetslivsinstitutet, National Institute for Working Life, Sweden. 145 s.

Ernstgård, L., Iregren, A., Sjögren, B., Svedberg, U. & Johansson, G. 2006. Acute Effects of Exposure to Hexanal Vapors in Humans. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 48(6): 573-580.

European commission. 1996. Guidance on Risk Assessment at Work. Luxemburg: Office for Official Publication of the European Communities. Printed in German. 57 s. Saatavissa: <http://osha.europa.eu/en/topics/riskassessment/guidance.pdf>

European Network on Silica (NEPSI). 2006. Hyvä käytäntö -opas työntekijöiden terveyden suojelusta kiteisen piidioksidin ja sitä sisältävien tuotteiden oikean käsittelyn ja käytön avulla. Julkaistu 25.10.2006. 162 s. [verkkójulkaisu] Saatavissa: <http://www.nepsi.eu/media/2158/good%20practice%20guide%20-%20finnish%20disclaimer.pdf> (Luettu 14.8.2010)

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 25.6.2002/44/EY terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä (tärinä) aiheutuville riskeille. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:177:0013:0019:FI:PDF> (Luettu 15.10.2010)

Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA). [www-sivut]. Riskinarvioinnin teemasivusto: <http://osha.europa.eu/fi/topics/riskassessment> (Luettu 9.8.2010)

Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA). [www-sivut] Noise in agriculture and forestry. <http://osha.europa.eu/en/sector/agriculture/noise> (Luettu 19.9.2010)

Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA). 2010. Risk assessment for biological agents. E-Facts 53. s. 14. 25.10.2010. [verkkójulkaisu] Saatavissa: <http://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/efact53> (12.12.2010)

- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA). 2008. Occupational safety and health in Europe's forestry industry. E-Facts 29. s. 13. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <http://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/efact29> (Luettu 8.9.2010)
- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA). 2005. Johdanto työperäiseen meluun. Fact sheet 56. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <http://osha.europa.eu/fi/publications/factsheets/56/> (Luettu 19.9.2010)
- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA). 2003. Biologiset tekijät. Fact sheet 41. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <http://osha.europa.eu/fi/publications/factsheets/41/> (Luettu 16.7.2010)
- Fagnäs, L., Impola, R. & Kuoppamäki, R. 2002. Puupolttoaineiden kemialliset muutokset varastoinnissa ja kuivauksessa - PUUT29. Teoksessa Alakangas, E. (toim). Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2002. s.231–239. VTT Symposium 221. Otamedia Oy, Espoo. 428 s.
- Ferrero, F., Lohrer, C., Schmidt, B. M., Noll, M. & Malow, M. 2009. Amathematical model ro predict the heating-up of large -scale wood piles. Journal of Loss Prevention in the process Industries 22: 439-448.
- (Franklin, R. C., Depczynski, J., Challinor, K., Williams, W., & Fragar, L.J. 2006. Factors affecting farm noise during common agricultural activities. Journal of Agricultural Safety and Health 12(2): 117-125.
- Fung, F. & Clark, R., F. 2004. Health Effects of Mycotoxins: A Toxicological Overview. Journal of Toxicology. Clinical Toxicology 42(2): 217-234.
- Granström, K. M. 2010a. Underestimation of Terpentine Exposure in the Nordic Wood Industry. Journal of Occupational and Environmental Hygiene 7:144-151.
- Granström K. M. 2010b. Emissions of Hexanal and Terpenes during Storage of Solid Wood Fuel. Forest Products Journal 60(1):27-32.
- Granström, K. M. 2009. Emission of sesquiterpenes from spruce sawdust during drying. Eur. J. Wood. Prod. 67:343–350.
- Haahtela, T. & Reijula, K. 2009. Homesienten aiheuttamat hengityselinsairaudet. Terveyskirjasto 19.1.2009. Artikkelin tunnus seh00071. Saatavissa: www.terveyskirjasto.fi (Luettu 15.9.2010)
- Haahtela, T. 2007. Miksi maatalousympäristö suojaa? Teoksessa Haahtela, T., Hannuksela, M., Mäkelä, M. & Terho, E. O. (toim.). Allergia. s. 24–26. 1. painos. Kustannus Oy Duodecim. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 456 s.
- Haahtela, T. & Hannuksela, M. 2007. Mitä allergia on? Teoksessa Haahtela, T., Hannuksela, M., Mäkelä, M. & Terho, E. O. (toim.). Allergia. s. 8-10. 1. painos. Kustannus Oy Duodecim. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 456 s.
- Hagström, K., Axelsson, S., Arvidsson, H., Bryngelsson, I-L-, Lundholm, C. & Eriksson K. 2008. Exposure to Wood Dust, Resin Acids, and Volatile Organic Compounds During Production of Wood Pellets. Journal of occupational and Environmental Hygiene 5: 296-304.

- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Tekes. Teknologiaohjelmaraportti 5. 135 s.
- Halonen, P., Helynen, S., Flyktman, M., Kallio, E., Kallio, M., Paappanen, T & Vesterinen, P. 2003. Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyysvaikutukset. VTT Tiedotteita 2219. VTT. Otamedia Oy, Espoo. 51 s.
- Hanhela, R. & Yrjänheikki, E. 2008. Työhygieniä muuttuvassa yhteiskunnassa. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim). Työhygieniä. s. 9-38. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.
- Hannuksela, M. 2010. Tietoa potilaalle: Lentävien hyönteisten pistot ja puremat. Lääkärikirja Duodecim 5.10.2010. Saatavissa: <http://www.terveysportti.fi/dtk/ltk/> (Luettu 3.11.2010)
- Hannuksela, M. 2007. Kosketusihottumat. Teoksessa Haahtela, T., Hannuksela, M., Mäkelä, M. & Terho, E. O. (toim.). Allergia. 1. painos. s. 161–186. Kustannus Oy Duodecim. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 456 s.
- Health Council of the Netherlands. 2010. Endotoxins. Health-based recommended occupational exposure limit. No. 2010/04OSH. The Hague. 15.7.2010. 100 s Saatavissa: www.healthcouncil.nl
- Heikkilä, P., Vainiotalo, S., Engström, K., Riipinen, H., Rantala, K. & Laitinen, J. 2005. Orgaaniset liuottimet ja moottoripolttoaineet. Teoksessa: Vainio, H., Liesvuori, J., Lehtola, M., Louekari, K., Engström, K., Kauppinen, T., Kurppa, K., Riipinen, H., Savolainen, K. & Tossavainen, A (toim). Kemikaalit ja työ. Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä. 2. korjattu painos. s. 97–111. Työterveyslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala. 318 s.
- Helynen, S., Flyktman, M., Asikainen, A. & Laitila, J. 2007. Metsätalouteen ja metsäteollisuuteen perustuvan energialiiketoiminnan mahdollisuudet. VTT tiedotteita 2397. VTT. Edita Prima Oy, Helsinki. 66 s.
- Hietanen, M. 2008. Sähkömagneettiset säteilyt. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim). Työhygieniä. s. 296-298. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.
- Hillebrand, K. & Nurmi J. 2001. Hakkuutähteiden laadunhallinta - PUUT09. Teoksessa Alakangas, E. (toim). Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001. s. 285–295. VTT Symposium 216. Otamedia Oy, Espoo. 459 s.
- Hillebrand, K. 2009. Energiapuun kuivaus ja varastointi. Yhteenvedo aikaisemmista tutkimuksista. VTT tutkimusraportti VTT-R-07261-09. 17 s.
- Hintikka, E.-L., Tuomi, T., Johnsson, T. & Reijula, K. 2003. Sisäilman sieni-itiöt ja mykotoksiinit. Suomen Lääkärilehti: 58(1):33–36.
- Husman, T., Roto, P. & Seuri, M. 2002. Sisäilma ja terveys - tietoa rakentajille. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B14/2002. Kuopion yliopiston painatuskeskus. 42 s.
- Hyytinen, T. & Vasara, J. 2007. Tärinäntorjunta koneurakointiyrityksissä. Loppuraportti. Tampereen teknillinen yliopisto, turvallisuustekniikka. Tampere. 14 s + liitteet 1-5.
- Ideachip Oy [www-sivut] Jenz-murskaimet. Saatavissa: <http://www.ideachip.com/jenz>. (Luettu: 20.12.2010)

- Jirjis, R. & Nordén, B. 2005. Bränslekvalitet och arbetsmiljö vid lagring och hantering av grotstockar. Fuel quality and working environment during storage and handling of composite residue logs. Institutionen för bioenergi. Uppsala, Sweden rapport no 7. 41 s.
- Jirjis, R. 1995. Storage and drying of wood fuel. *Biomass and Bioenergy* 9(1-5):181-190.
- Jouhiahho, A. 2010. Kannonnoston kustannustehokkuus puntarissa. *BioEnergia* 4: 12–14.
- JL-tuotteet Oy. Käyttöturvallisuustiedote PS-kantosuoja-2. 20.1.2010. Saatavissa: <http://personal.inet.fi/yritys/jl-tuotteet/kantosuoja.html> (Luettu 15.11.2010)
- Kallunki, H., Kangas, J., Laitinen, S., Mäkinen, M., Ojanen, K. & Susitaival P. 2002. Hakkuukonetyön kemialliset ja biologiset altisteet. *Työterveyslaitos*. 51 s.
- Kangas, J. 2008. Torjunta-aineet. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim). *Työhygienia*. s. 250–254. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.
- Kangas, J., Mäkinen, M. & Liesivuori, J. 2005. Torjunta-aineet. Teoksessa: Vainio, H., Liesvuori, J., Lehtola, M., Louekari, K., Engström, K., Kauppinen, T., Kurppa, K., Riipinen, H., Savolainen, K. & Tossavainen, A (toim). *Kemikaalit ja työ. Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä*. 2. korjattu painos. s. 240–244. Työterveyslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala. 318 s.
- Karttunen, J., Suutarinen, J., Leppälä, J., Louhelainen K. & Tuure, V.-M. 2006. Suhteellisesti vaarallisimmat maataloustyöt - Töiden organisoinnilla turvallisuutta ja tehokkuutta maitotiloille. *Työtehoseuran julkaisuja* 397. Helsinki. 75 s. + liitteet. Saatavissa: <http://www.tts.fi/tts/julkaisut/files/tj397.pdf>
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 27.11.1996/918 räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitettuista laitteista ja suojausjärjestelmistä. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960918> (Luettu 18.5.2011)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön asetus 22.11.1996/917 räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitettuista laitteista ja suojausjärjestelmistä. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960917> (Luettu 18.5.2011)
- Kauppinen, T. & Kurppa, K. 2005. Työperäinen sairastuvuus Suomessa. Teoksessa Vainio, H., Liesvuori, J., Lehtola, M., Louekari, K., Engström, K., Kauppinen, T., Kurppa, K., Riipinen, H., Savolainen, K. & Tossavainen, A (toim). *Kemikaalit ja työ. Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä*. 2. korjattu painos. s. 30–34. Työterveyslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala. 318 s.
- Kemian työsuojeluneuvottelukunta (Ketsu). 2009. HTP-arvojen perustelumuiotio; heksanaali. 3.9.2009. Saatavissa: <http://www.tyosuojelu.fi/upload/perustelumuiotiot.pdf> (Luettu 4.11.2010)
- Keskitalo, M., Linnala, M., Holopainen, J. & Hyvärinen, H. 2001. Yleistä terpeeneistä. Teoksessa; Hyvärinen, H. (toim.) 2001. *Kasvipäriset biomolekyylit - fenoliset yhdisteet ja terpeenit*. Kirjallisuuskatsaus. MTT:n julkaisuja. Sarja A 100. Jyväskylän yliopistopaino. 97 s.
- Kirkhorn, S. R. & Garry, V. F. 2000. Agricultural Lung Disease. *Environmental Health Perspectives* 108(4): 705-712.

- Kittusamy, N. K & Buchholz, B. 2004. Whole-body vibration and postural stress among operators of construction equipment: A literature review. *Journal of Safety Research* 35: 255-261.
- Koljonen, T., Ruska, M., Flyktman, M., Forsström, J., Kiviluoma, J., Kirkinen, J., Lehtilä, A & Pahkala, K. 2009. Energiaresurssit ja -markkinat. VTT tiedotteita 2489. VTT. Edita Prima Oy, Helsinki. 110 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2489.pdf>
- Korhonen, K. & Lipponen, K. 2006. Kantokäsittely - urealla vai harmaaorvakalla? *KoneYrittäjä* 10:39–40.
- Korhonen, K. & Lipponen, K. 2001. Juurikäpää - lajit, levinneisyys ja torjunnan nykytilanne. *Metsätieteen aikakauskirja* 3: 453–457. Saatavissa: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff01/ff013453.pdf>
- Kotimaa, M. 1990. Occupational exposure to fungal and actinomycete spores during the handling of wood chips. *Grana* 29:153–156.
- Kuang, X., Shankar, T., J., Sokhansanj, S., Lim, C., J., Bi, X. T. & Melin, S. 2009. Effects of Headspace and Oxygen Level on Off-gas Emissions from Wood Pellets in Storage. *Am. Occup. Hyg.* 53(8): 807–813.
- Kärhä, K. 2010. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa 2009. *BioEnergia* 4: 34-35.
- Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T., Keskinen, S., Saijonmaa, P., Heiskanen, H., Strandström, M. & Pajuoja, H. 2010. Kiinteiden puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. *Energia ja ilmasto* 66/2010. Edita Publishing Oy. 68 s.
- Kärhä, K & Häkkinen, K. 2002. Miestyönä tehty energiapuun hakkuu. Teoksessa: Kärhä, K. (toim.) Nuoren metsän hoitotyön pienteknologia. Työtehoseuran julkaisuja 387. 82 s.
- Laaksonen, E. 2005. Puupölyjen aiheuttama palo- ja räjähdysvaara ja sen torjuminen mekaanisessa puunjalostusteollisuudessa. If vahinkovakuutusyhtiö, Riskienhallinta. 1/2005. 28 s. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/atex/atex_tietoa/Documents/puupoly.pdf
- Laitila, J. 2010. Kantojen korjuun tuottavuus. Metlan työraportteja 150. Metsäntutkimuslaitos. 29 s. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp150.pdf>
- Laitila, J. 2008. Nykyisten kannonnostomenetelmien soveltuvuus mäntykantojen nostoon. Raportti VTT:lle. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö 27.11.2008. [verkkojulkaisu] Saatavissa: http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/F5043B9C-C1C5-49A1-B8F8-34A27DF316F1/11561/Metla_Nostomenetelmien_soveltuvuus_mannyn_kannoill.pdf (Luettu 14.9.2010)
- Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. Energiapuutarat. Teoksessa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset. s. 6-12. Tapion ja Metlan julkaisuja. 74 s. [verkkojulkaisu] Saatavissa: www.metsavastaa.net/energiapuun/raportti (Luettu 6.8.2010)

- Laitila, J., Ala-Fossi, A., Vartiamäki, T., Ranta, T. & Asikainen, A. 2007. Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus. Metlan työraportteja 46. 26 s. [verkkojulkaisu] Saatavissa: www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp046.htm (Luettu 14.9.2010)
- Laitinen, T. & Kallio, J. Yhteinen työpaikka metsälalla. Työturvallisuuskeskus (TTK). [verkkojulkaisu] Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14013/PowerPoint_tyoturvaluisuus.pdf?sequence=3 (Luettu 24.1.2011)
- Laitinen, S. 2010. Suositus endotoksiinien työhygieeniseksi raja-arvoksi Suomessa. Suullinen tiedonanto 7.2.2011.
- Laitinen, S. 2008. Endotoksiinit. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim) 2008. Työhygieniä. s. 267–269. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Ou, Keuruu. 619 s
- Lappalainen, J. & Saarela, K. L. 2009. Tapaturmavaarat, väkivallan uhka ja ammattitaudit. Teoksessa: Kämäräinen, M., Lappalainen, J., Oksa, P., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Saarela, K. L., Sillanpää, J. & Soini, S. 2009. Työsuojelun perusteet. 5. korjattu painos. s. 38–58. Työterveyslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy, Sastamala. 197 s.
- Lauhanen, R. & Laurila, J. 2007. Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet. Metlan työraportteja 42. Metsäntutkimuslaitos. 58 s. [verkkojulkaisu] Saatavissa: www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.htm (Luettu 10.6.2010)
- Laurikko, J. 2008. Dieselhenkilöautojen ympäristöystävällisyys. Ajoneuvohallintokeskuksen tutkimuksia ja selvityksiä 12/2008. Ajoneuvohallintokeskus, Helsinki. 64 s.
- Lee, S.-A., Adhikari, A., Grinshpun, S. A., McKay, R., Shukla, R. & Reponen, T. 2006. Personal Exposure to Airborne Dust and Microorganisms in Agricultural Environment. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 3: 118–130.
- Lepistö, T. (toim.) 2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. Kehittyvä Metsäenergia-hanke. Metsäkeskus Etelä-Pohjanmaa. Vammalan kirjapaino, Sastamala. 44 s.
- Liebers, V., Brüning, T. & Rauf-Heimsoth, M. 2006a. Health effects due to endotoxin inhalation (review). *Arc. Toxicol.* 82:203-210.
- Liebers, V., Brüning, T. & Rauf-Heimsoth, M. 2006b. Occupational Endotoxin-Exposure and Possible Health Effects on Humans. Review. *American Journal of Industrial Medicine* 49:474–491.
- Liikenne- ja viestintäministeriön asetus 7.4.2006/274 traktorien, moottorityökoneiden ja maastoajoneuvojen, niiden perävaunujen sekä hinattavien laitteiden rakenteesta ja varusteista. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060274> (Luettu 18.5.2011)
- Lindblad, J., Äijälä, O. & Koistinen, A. 2010. Energiapuun mittaussuunnitelma. Päivitetty 27.9.2010. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäntutkimuslaitos. 31 s. [verkkojulkaisu] Saatavissa: http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketti/mittaus/aineistoja/energiapuun_mittausopas_EMT_hyvaksyty_27092010.pdf (Luettu 15.11.2010)
- Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E., Käyhkö, V., Kaipainen, H., Hokkanen, M. & Leinonen, A. 2000. Korsihiomassojen irtokorjuumenetelmän kehittäminen seospolttoaineiden

tuotantoon. Teoksessa: Salo, R. (toim.) Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Tutkimuksen loppuraportti, osa II. Ruokohelven korjuu, tuotantokustannukset ja polttotekniikka. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 85. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. Jyväskylän yliopistopaino. 169 s.

Lindholm, H., Simonen, R., Rissanen, S., & Ilmarinen, R. 2009 Kuumassa työskentely. Tietokortti 3. Työterveyslaitos. [verkkójulkaisu] Saatavissa: <http://www.ttl.fi/fi/tietokortit/Documents/Tietokortti%203.pdf> (Luettu

Liukkonen, T. & Lindroos, L. 2008. Puupölyt. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim). Työhygienia. s. 148–152. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.

Liukkonen, T., Zittig, A., Heikkilä, P. & Husgafel-Pursiainen, K. 2005. Teoksessa: Vainio, H., Liesvuori, J., Lehtola, M., Louekari, K., Engström, K., Kauppinen, T., Kurppa, K., Riipinen, H., Savolainen, K. & Tossavainen, A (toim). Kemikaalit ja työ. Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä. 2. korjattu painos. s. 54–61. Työterveyslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala.

Louhelainen, K. 2008. Orgaaniset pölyt. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim). Työhygienia. s. 134–140. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.

Louhelainen, K., Mäkinen, M. & Rissanen, P. 2004. Biologinen ja kemiallinen altistuminen ja sen vähentäminen perunan ja sipulin kauppakunnostuksessa. Loppuraportti Maatalousyrittäjien eläkelaitokselle. Kuopion aluettyöterveyslaitos. 48 s.

Louhelainen, K., Kangas, J., Husman, K. & Terho, E. O. 1987. Total Concentrations of Dust in the Air During Farm Work. Teoksessa: Terho, E.O., Husman, K. & Vohlonen I. (toim) Work-related Respiratory Diseases among Finnish Farmers. Publications of the Social Insurance Institution, Finland, ML:69. Helsinki 1987. 225 s.

Luoma, H., Peltonen, S., Helin, J. & Teräväinen H. (toim.) 2006. Maatilyrityksen bioenergian tuotanto. ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja nro 1027. Tieto tuottamaan 115. 95 s.

Lötjönen, T. & Knuutila, K. 2009. Pelloilta energiaa - opas ruokohelven käyttäjille. Jyväskylä Innovation Oy ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. ER-Paino/Kariteam, Jyväskylä. 44 s.

Lötjönen, T. 2008. Ohjeita ruokohelven korjuuseen. MTT Ruukki 7.2.2008. [verkkójulkaisu] Saatavissa: https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/www/Hankkeet/Ruokohelvest%E4%20energiaa/Viljelyoppaat%20ja%20raportit1/korjuuohjeet_2_2008.pdf (Luettu 12.7.2010)

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTK). [www-sivut]. Ruokohelvestä energiaa-hanke. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/www/Hankkeet/Ruokohelvest%E4%20energiaa> Luettu

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 2010. Uusi pienpuun energiatuki lisää uusiutuvan metsäenergian käyttöä. Tiedote 25.11.2010. Saatavissa: http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/tiedotteet/101125_pienpuu.html (Luettu 29.11.2010.)

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 2008. Maa- ja metsätalousministeriön bioenergiatuotannon työryhmä. Bioenergia maa- ja metsätaloudessa. Muistio 5.5.2008. 54 s. Saatavissa:

<http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/muutjulkaisut/5xAvVwfhQ/bioenergiamuistio.pdf>

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 2007. Peltobiomassa, liikenteen biopolttonesteet ja biokaasu-jaosto. Loppuraportti. Työryhmämuistio 2007:2. 64 s. Saatavissa: http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/tyoryhmuistiot/2007/5IYTgDdW9/trm2007_2.pdf

Maa- ja metsätalousministeriön asetus 13.2.2007/12 lannoitevalmisteista. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/28518> (Luettu 18.5.2011)

Maaseutuvirasto. 2010. Hakuopas 2010. Tilatuki, maatalouden ympäristötuki, luonnonhaittakorvaus, kansalliset tuet. Maaseutuviraston julkaisuja: hakuoppaita ja ohjeita. Helsinki 2/2010. Edita Prima Oy, Helsinki. 153 s.

Madsen, A.M., Schlünssen, V., Olsen, T., Siggaard, T. & Avci, H. 2009. Airborne Fungal and Bacterial Components in PM₁ Dust from Biofuel Plants. *Ann. Occup. Hyg.* 53(7):749-757.

Madsen, A.M. 2006a. Airborne endotoxin in different background environments and seasons. *Ann. Agric. Environ. Med.* 13:81-86.

Madsen, A. M. 2006b. Exposure to Airborne Microbial Components in Autumn and Spring During Work at Danish Biofuel Plants. *Ann. Occup. Hyg.* 50(8):821-831.

Madsen, A. M., Mårtensson, L., Schneider, T. & Larsson, L. 2004. Microbial Dustiness and Particle Release of Different Biofuels. *Ann. Occup. Hyg.* 48(4):327-338.

Madsen, A. M. 2002. Eksponering for luftbårne mikroorganismer or nedotxiner ved arbejde med biobrændsel. AMI Litteraturstudie. Arbejds miljøinstituttet København. 19s

Majamaa, H. 2009. Hyönteisten pistot ja puremat. Lääkäriin käsikirja 5.6.2009. Saatavissa: <http://www.terveysportti.fi/dtk/ltk/koti> (Luettu 3.11.2010)

Metsäntutkimuslaitos (Metla). 2010. Puun energiakäyttö. Päivitetty 27.4.2010. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/laatu/puupolttoaine.htm> (Luettu 20.7.2010)

Metsäntutkimuslaitos (Metla). 2009. Pientalojen polttopuun käyttö 2007/2008. Metsätilastotiedote 26/2009. 2.7.2009. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: www.metla.fi/hanke/3006/index.htm (Luettu 22.7.2010)

Metsäntutkimuslaitos (Metla). [www-sivut]. MetINFO metsien terveys, lahontorjunta/kantokäsittely. <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lahontorjunta/kannot.htm> (Luettu 28.10.2010)

Metsäteho Oy. 2010. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2009. Metsätehon tulosalvosarja 9/2010. [verkkojulkaisu] Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tulosalvosarja/Tulosalvosarja_2010_09_Metsahakkeen_tuotantoketjut_Suomessa_2009_kk.pdf (Luettu 13.12.2010)

Metsäteho Oy. 2010. Terminaali- ja käyttöpaikkahaketus kasvoivat. Metsätehon tiedote 8/2010. 7.6.2010. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/tiedotteet/tiedote?id=17540631&year=2010> (Luettu 9.11.2010)

Metsäteho Oy. 2009. Metsähakkeen tuotannon kalusto- ja työvoimatarve Suomessa 2020. Metsätehon katsaus nro 41. Käpylä Print Oy, Helsinki. 4 s. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Katsaus/Katsaus_041_Metsahakkeen_tuotannon_kalusto- ja_tyovoima_kk.pdf

Metsäteho Oy. 2007. Metsähakkeen tuotantokalusto vuonna 2007 ja tulevaisuudessa. Metsätehon katsaus nro 28. Käpylä Print Oy, Helsinki. 4 s. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Katsaus/Katsaus_028.pdf

Metsäteho Oy. 2002. Koneellisen puunkorjuun vastuut ja työturvallisuus. Uudistettu painos. Käpylä Print Oy, Helsinki. 24 s. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Opas/Koneellisen_puunkorjuun_vastuutjatyoturvallisuus_opas.pdf

Metsäteho Oy. 2000. Juurikäävän torjunta kantokäsittelyllä. Metsätehon opas. Käpylä Print Oy, Helsinki. 22 s. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Opas/Juurikaavan_torjunta_kantokasittelylla_opas.pdf

Monteseirín, J., Pérez-Formoso, J.L., Sánchez-Hernández, M., Bonill, I., Camacho, M.J., Guardia, P. & Conde, J. 2002. Occupational contact dermatitis from canary grass seed. Contact Point 47(4):247.

Motiva Oy. [www-sivut] Sivut uusiutuva energia ja taustatietoa kansainvälisistä ja kansallista ohjauskeinoista, joiden avulla parannetaan energiatehokkuutta, edistetään uusiutuvan energian käyttöä ja hillitään ilmastomuutosta aiheuttavia päästöjä. <http://www.motiva.fi/>. (Luettu 12.8.2010)

Murtonen M. 2003. Riskien arviointi työpaikalla - työkirja. Sosiaali- ja terveysministeriö, Työsuojeluosasto.

Neitzel, R. & Yost, M. 2002. Tasked-Based Assessment of Occupational Vibration and Noise Exposures in Forestry Workers. AIHA Journal 63(5): 617-627.

Nordic Innovation Centre (Norden). 2008. Guidelines for storing and handling of solid biofuels. Nordtest method, NT Envir 010. Hyväksytty 2008-10. Oslo, Norway. 16 s. Saatavissa: http://www.nordicinnovation.net/_img/envir010.pdf

Nordman, H., Hytönen, M & Keskinen, H. 1999. Ammattinuha ja -astma. Teoksessa Haahntela, T., Hannuksela, M & Terho. E.O. (toim) Allergologia. 2. painos. s. 372-390. Kustannus Oy Duodecim. Gumemrus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 576 s.

Nieuwhuijsen, M. J., Noderer, K. S., Schenker, M. B., Vallyathan, V. & Olenchock, S. 1999. Personal Exposure to Dust, Endotoxin and Crystalline Silica in California Agriculture. Am. occup.Hyg 43 (1): 35-43.

Occupational Safety & Health Administration (OSHA). OSHA Technical Manual (OTM) - section III: chapter 2: Indoor Air Quality Investigation. [verkkojulkaisu] Saatavissa: http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_2.html (Luettu 23.8.2010)

- Ojanen, K., Vähänikkilä, A. & Kariniemi, A. 2010. Kehotärinän mittaamisen standardiradan testaus. Metsätehon katsaus nro 44. Metsäteho Oy, Helsinki. 4 s. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Katsaus/Katsaus_044_Kehotarinan_mittaamisen_standardiradan_testaus_aka.pdf
- Oksa, P., Palo, L., Saalo, A., Jolanki, R., Mäkinen, I. & Kauppinen, T. 2010. Ammattitaudit ja ammattitautiepäilyt 2008. Työperäisten sairauksien rekisteriin kirjatut uudet tapaukset. Työterveyslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy. 130 s. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/ammattitaudit/Documents/29610_AM_taud_2008_WEB.pdf
- Oksanen, M. & Rytönen, E. 2009. Rengaspaineiden vaikutus puutavara-auton tärinään. Metsätehon raportti 209. 4.12.2009. 21 s.
- Oksanen, M. & Sorainen, E. 2006. Puutavarakuorma-autojen melu ja tärinä. Työterveyslaitos. 32 s.
- Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohjeet (OVA-ohjeet); dieselöljy ja kevyt polttoöljy. [www-sivut] Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/index.html> (Luettu 27.1.2011)
- Paappanen, T., Lindh, T., Kärki, J., Impola, R. & Rinne, S. 2008a. Ruokohelven tuotanto- ja toimitusketju ja käyttö polttoaineena voimalaitoksissa. Julkaisussa: Maataloustieteen Päivät 2008. Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedotteita no 23. Toim. Anneli Hopponen. Julkaistu 9.1.2008. [verkkojulkaisu] Saatavissa: www.smts.fi (Luettu: 16.6.2010)
- Paappanen, T., Lindh, T., Kärki, J., Impola, R., Rinne, S., Lötjönen, T., Kirkkari, A.-M., Taipale, R. & Leino, T. 2008b. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. VTT Tiedotteita 2452. 158 s.
- Pahkala, K., Isolahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A.-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman M. 2005. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. 2. korjattu painos. Maa- ja elintarviketalous 1. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 31 s.
- Palokallio, J. 2010. Kannon hinta lisää kiinnostaa metsäenergiaan. Maaseudun Tulevaisuus. 8.12.2010.
- Pelli, P. 2010. Kiinteisiin biopolttoaineisiin liittyvä liiketoiminta Keski-Suomessa. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Alueiden kehittäminen 59/2010. Edita Publishing Oy. 152 s.
- Peltobiomassa, liikenteen biopolttonesteet ja biokaasu -jaosto. 2007. Peltobiomassa, liikenteen biopolttonesteet ja biokaasu -jaoston loppuraportti. Helsinki 2007. Työryhmämuistio MMM 2007:2. 66 s.
- Perkiö-Mäkelä, M., Rytönen, H., Laulainen, S., Peurala M. & Penttinen, J. 2001. Metsurien ja metsäkoneenkuljettajien ammatissa pysymiseen vaikuttavat tekijät. LEL Työeläkekassan julkaisuja 38:2001. Helsinki. 77 s.
- Persson, G., Olsson, A., Åberg, P., Aringer, L., Wålander, R., Surakka, J. & Synwoldt, U. 2003. Hyttmiljö - Luftkvalitet. En undersökning av ventilationssystem och luftkvalitet i skogsmaskiner. Arbetsmiljöverket. Rapport 2003:7. 31 s.
- Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2008. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto 36/2008. Edita Publishing Oy. 159 s.

Pesonen, M., Iittiläinen, P., Immonen, K., Jaakkola, S., Kariniemi, A., Korpilahti, A., Nieminen, T., Roininen, K., Strandström, M. & Vartiamaa, T. 2005. Korjuun suunnittelu- ja toteutus -opas. Metsäteho Oy, Helsinki. Käpylä Print Oy. 100 s. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Opas/Korjuun_suunnittelu_ja_toteutus_ver02.pdf

Planora Oy. 2010. Ruokohelven toimitus- ja vastaanottotapaselvitys Toppilan voimalaitokselle. Loppuraportti 31.5.2010. Oulunkaaren kuntayhtymä. Uusiutuvan energian yrityskeskus-hanke. 29 s. Saatavissa: http://www.oulunkaari.com/tiedostot/Uusiutuvaenergia/raportit/Ruokohelpiselvitys_1.7.2010.pdf

Poikola, J., Backlund, C., Korpilahti, A., Hillebrand, K. & Rinne, S. Risutukkitekniikan edellytykset suurimittaisessa puupolttoainehankinnassa - PUUT19. 2002. Teoksessa Alakangas, E. (toim). Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2002. s. 141–156. VTT Symposium 221. Otamedia Oy, Espoo 428 s.

Päijät-Hämeen metsänhoitoyhdistys. Energiapuun korjuu. [www-sivut] http://www.mhy.fi/paijathame/puumarkkinat/fi_FI/energiapuun/ (Luettu 28.10.2010)

Pääkkönen, R. 2009. Fysikaaliset tekijät. Teoksessa: Kämäräinen, M., Lappalainen, J., Oksa, P., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Saarela, K. L., Sillanpää, J. & Soini, S. (toim) Työsuojelun perusteet. 5. korjattu painos. s. 148–172. Työterveyslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy, Sastamala. 197 s.

Pöyry. Polttoaineiden hintataso lokakuu 2010. BioEnergia 6: 48.

Rantanen, S. 2009. Kemiaaliset tekijät. Teoksessa: Kämäräinen, M., Lappalainen, J., Oksa, P., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Saarela, K. L., Sillanpää, J. & Soini, S. (toim) Työsuojelun perusteet. 5. korjattu painos. s. 124–147. Työterveyslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy, Sastamala. 197 s.

Rantanen, S. & Oksa, P. 2009. Biologiset tekijät. Teoksessa: Kämäräinen, M., Lappalainen, J., Oksa, P., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Saarela, K. L., Sillanpää, J. & Soini, S. (toim). Työsuojelun perusteet. 5. korjattu painos. s. 173–179. Työterveyslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy, Sastamala. 197 s.

Rantanen, S. & Pääkkönen, R. 2008. Työhygienia. Kemiaaliset ja fysikaaliset tekijät. Työsuojelujulkaisuja 86. Työsuojeluhallinto, Tampere. Multiprint. 109 s. Saatavissa: http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2009/09/TSJ_86.pdf

Reiman, M. 2008. Altistuminen biologisille tekijöille. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim) 2008. Työhygienia. s. 262–267. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.

Reunala, T., Laine, M., Vornanen, M. & Härkönen, S. 2008. Hirvikärpäsihottuma - maanlaajuinen riesa. Duodecim 124: 1607–1613.

Rautiala, S. 2004. Microbial exposure in remediation work. Doctoral dissertations. Kuopio University publication C. Natural and Environmental Sciences 171.

Rieppo K. 2006. Rengaspaineiden säädön merkitys puutavaran kuljetuksissa. Kirjallisuuskatsaus. Metsätehon raportti 192. 17.8.2006. Metsäteho Oy, Helsinki. 35 s. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_192.pdf

- Riihimäki, V., Zittig, A. & Santonen, T. 2008. Kemiallisten tekijöiden raja-arvot. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim). Työhygieniä. s. 41–60. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.
- Riipinen, E. 2010. Käytännön laatumittarit kantojen korjaukseen. Nostosta tienvarsivarastointiin. Opinnäytetyö Mikkelin ammattikorkeakoulu. 31 s. + liitteitä 12s.
- Riipinen, H. 2008. Altistuminen kemiallisille tekijöille. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim). Työhygieniä. s. 115-118. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.
- Rintala, J., Alen, R., Lahti-Nuutila, T., Lund, P., Nyrönen, T., Pietola, K., Sipilä, K. & Turpeinen, H. 2007. Arvio biomassan pitkän aikavälin hyödyntämismahdollisuuksista Suomessa: asiantuntijatyöryhmän loppuraportti 12.2.2007. 40 s. + liitteet 4. Saatavissa: [http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/D63221D46DD9F4CCC22572B100424FE9/\\$file/284642006.pdf](http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/D63221D46DD9F4CCC22572B100424FE9/$file/284642006.pdf)
- Rintamäki, H. 2010. Kylmässä työskentely. Tietokortti 2. Työterveyslaitos. [verkkojulkaisu] Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tietokortit/Documents/Tietokortti%202%20_kylmätyö.pdf (Luettu 12.1.2011)
- Rupar, K. & Sanati, M. 2005. The release of terpenes during storage of biomass. Biomass and Bioenergy 28: 29-34.
- Ryymän, R., Pohto, P., Laitila, J., Humala, I., Rajahonka, M., Kallio, J., Selosmaa, J., Anttila, P. & Lehtoranta, T. 2008. Metsäenergian hankinnan uudistaminen. Loppuraportti 12/2008. Jyväskylän Energia Oy. 81. s.
- Saarela, O. 2010. Tietoa potilaalle: Kyyn purema. Lääkärikirja Duodecim 17.5.2010. Saatavissa: <http://www.terveysportti.fi/dtk/ltk/koti> (Luettu 3.11.2010)
- Schimberg, R. & Lapinlampi, T. 2005. Hiilimonoksidi. Teoksessa: Vainio, H., Liesvuori, J., Lehtola, M., Louekari, K., Engström, K., Kauppinen, T., Kurppa, K., Riipinen, H., Savolainen, K. & Tossavainen, A (toim). Kemikaalit ja työ. Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä. 2. korjattu painos. s. 140-143. Työterveyslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala. 318 s.
- Sebastian, A., Madsen, A. M., Mårtensson, L., Pomorska, D. & Larsson, L. 2006. Assessment of Microbial Exposure Risk from Handling of Biofuels Wood Chips and Straw - Effects of Outdoor Storage. Ann Agric Environ Med 13:139-145.
- Shenker, M. B., Pinkerton, K. E., Mitchell, D., Vallyathan, V., Elivine-Kreis, B. & Green, F. H. Y. 2009. Pneumociniosis from Agricultural Dust Exposure among Young Californian Farmworkers. Environmental Health Perspectives 117 (6): 988-994.
- Sherwin, L. M., Owende, P.M.O., Kanali, C.L., Lyons, J. & Ward, S.M. 2004. Influence of tyre pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber harvest. Applied Ergonomics 35: 253-261.
- Schenker, M. 2000. Exposures and Health Effects from Inorganic Agricultural Dust. Environmental Health Perspectives 108(4):661-664.
- Sinisalo, A. 2007. Tapaturmien riski-indeksin määrittäminen suomalaisilla maatiloilla. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. MTT:n selvityksiä 149. 65 s. + 4 liitettä.

- Soirinsuoja, J. & Mäkinen, P. 2010. Puunkorjuu- ja kuljetusyrietykset. Kasvulle yllättävä este. Teho 4:4-5.
- Solmio, H. 2010. Lämpöyrittäjät käyttävät yli miljoona hakekuutiota vuodessa. Teho 4:24-26.
- Sorainen, E., Oksanen, M., Vähänikkilä, A. & Rytönen, E. 2007. Exposure of Timber Truck Drivers to Whole-Body Vibration and Noise. 14th International Congress on Sound & Vibration. 9-12 July 2007, Cairns, Australia.
- Sorainen, E., Vähänikkilä, A., Taattola, K. & Rytönen, E. 2006. Vibration of Agricultural Tractors. Inter-Noise 2006. 3-6 December 2006, Honolulu, Hawaii, USA.
- Sorainen, E., Vähänikkilä, A., Pasanen, T. & Rytönen, E. 2005. Vibration and Noise of Forest Machine Drivers. The 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering. 7-10 August 2005, Rio de Janeiro, Brazil.
- Sosiaali- ja terveysministeriö (STM). 2012. HTP-arvot 2012. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2012:5. 93 s.
- Sosiaali- ja terveysministeriö (STM). 2003. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fyysiset, kemialliset ja biologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita: 2003. 88 s.
- Sosiaali- ja terveysministeriö (STM). 2002. Torjunta-aineiden työhygieniä. Työsuojeluoppaita ja -ohjeita 13. Sosiaali- ja terveysministeriö. Työsuojeluosasto. 36 s.
- Sosiaali- ja terveysministeriö. Ammattitautiasetus 29.12.1988/1347. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1988/19881347#a30.12.2002-1315> (Luettu 18.5.2011)
- Spaan, S., Wouters, I. M., Oosting, I., Dockers, G. & Heederik, D. 2006. Exposure to Inhalable Dust and Endotoxins in Agricultural Industries. Journal of Environmental Monitoring 8:63-72.
- Starck, J. 2008. Melu. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim) 2008. Työhygieniä. s. 61-67. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2008. Työtaturmat [verkkójulkaisu]. Laatuseloste: Työtaturmatilastot. Helsinki: Tilastokeskus. Päivitetty 30.11.2010. Saatavissa: http://www.tilastokeskus.fi/til/ttap/2008/ttap_2008_2010-11-30_laa_001_fi.html (Luettu 11.1.2010)
- Surakka, J. Villy, G., Åberg, P. & Karlsson, R. 2004. Exponering for mögeldamm vid GROT-hantering. Arbetsmiljöverket. Rapport 2004:6. 36 s.
- Suphioglu, C. 2000. What are the important allergens in grass pollen that are linked to human allergic disease? Clinical and Experimental Allergy 30:1335-1341.
- Svedberg, U., Petrini, C. & Johansson, G. 2009. Oxygen Depletion and Formation of Toxic Gases following Sea Transportation of Logs and Wood Chips. Ann. occup. Hyg. 53(8): 779-787.

Svedberg, U., Samuelsson, J. & Melin, S. Hazardous Off-Gassing of Carbon Monoxide and Oxygen Depletion during Ocean Transportation of Wood Pellets. *Ann. occup. Hyg.* 52(4): 259-266.

Svedberg, U. R. A., Högberg, H.-E., Högberg, J. & Galle, B. 2004. Emission of Hexanal and Carbon Monoxide from Storage of Wood Pellets, a Potential Occupational and Domestic Health Hazard. *Ann. occup. Hyg.* 48(4):339-349.

Swanepoel, A. J., Rees, D., Renton, K., Swanepoel, C., Kromhout, H. & Gardiner, K. 2010. Quartz Exposure in Agriculture: Literature Review and South-Africa Survey. *Am. Occup. Hyg.* 54(3): 281-292.

Swedish Work Environment Authority (Arbetsmiljöverket). 2005 Occupational Exposure Limit Values and Measures against Air Contaminants. AFS 2005:17. 132 s.

Swedish Work Environment Authority (Arbetsmiljöverket, AFS). 1994. Organic dust in agriculture. General Recommendations of the Swedish National Board of Occupational Safety and Health on Organic Dust in Agriculture. AFS 1994:11. 15.6.1994. 20 s.

Säämänen, A., Riipinen, H., Kulmala, I. & Welling, I. 2004. Pölyntorjunta. Työsuojelurahasto 30.1.2004. Tampere. 141 s. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/index.htm>

Tapaturmavakuutuslaitosten liitto (TVL). 2010. Työtapaturmat, tilastovuodet 2000–2009. 48 s. Saatavissa: http://www.tvl.fi/www/page/tvl_www_8811 (Luettu 10.1.2011)

Tapaturmavakuutuslaitosten liitto (TVL). [www-sivut: tilastot ja työturvallisuus] Saatavissa: www.tvl.fi (Luettu 10.1.2011)

Tapola, H. 2000. Metsäkoneala. Työturvallisuusopas. Koneyrittäjien liitto, Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, Työturvallisuuskeskus. 24 s.

Terho, E.O. 2007. Allerginen keuhkorakkulatulehdus ja sitä muistuttavat yliherkkyyssairaudet. Teoksessa Haahtela, T., Hannuksela, M., Mäkelä, M. & Terho, E. O. (toim.). Allergia. 1. painos. s. 271-280. Kustannus Oy Duodecim. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 456 s.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). [www-sivut] http://www.ktl.fi/portal/suomi/tietoa_terveydesta/terveys_ ja_sairaudet/infektiaudit/elainten_valityksella_tarttuvat_taudit (Luettu 3.11.2010)

Tilastokeskus. 2010. Energiatilastot. [www-sivut] <http://www.stat.fi/til/ehkh/kuv.html> (Luettu 17.1.2011)

Tilastokeskus. 2010. Työtapaturmat 2008. Helsinki 30.11.2010. 36 s. [verkkojulkaisu] Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ttap/2008/ttap_2008_2010-11-30_fi.pdf (Luettu 11.1.2011)

Toppila, E. 2008. Tärinä. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim). Työhygieniä. s. 67-72. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.

Tossavainen, A. 2008. Pölyt. Mineraalipöly: kvartsi. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim) 2008. Työhygieniä. s. 119-121. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.

Tuomi, T. 2010. Erityistä huolta aiheuttavat aineet ja riskinarvio. Luontomateriaali 'Kemiallisen altistumisen arvioiminen'-kurssi. 11.11.2010. Työterveyslaitos, Kuopio.

Tuomi, T. 2008. Mykotoksiinit. Teoksessa: Starck, J., Kalliokoski, P., Kangas, J., Pääkkönen, R., Rantanen, S., Riihimäki, V. & Karhula A.-L. (toim). Työhygieniä. s. 269-273. Työterveyslaitos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 619 s.

Tuomisto, H. 2005. Biokaasun ja peltoenergian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset. 25.10.2005. 41 s. [verkkojulkaisu] Saatavissa:

http://www.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2006/siirto/trm2006_1_biokaasun%20ja%20Opeoenergian%20tuotannon%20ja%20k%C3%A4yt%C3%B6n%20ymp%C3%A4rist%C3%B6vaikutukset.pdf (Luettu 17.8.2010)

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2010. Suomen kansallinen toimintasuunnitelma uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian edistämisestä direktiivin 2009/28/EY mukaisesti. Työ- ja elinkeinoministeriö, energiaosasto. 30.6.2010. Saatavissa: <http://www.tem.fi/index.phtml?s=3988> (Luettu 24.8.2010)

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2008. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. 2008. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto 36/2008. Edita Publishing Oy. 159 s. http://www.tem.fi/files/21079/TEMjul_36_2008_energia_ja_ilmasto.pdf

Työsuojeluhallinto. 2010. Riskin arviointi. Työsuojeluoppaita ja -ohjeita 14. Tampere. Multiprint Oy, Tampere. 14 s.

Työsuojeluhallinto. 2007. Tärinä ja sen torjunta työssä. Työsuojeluoppaita ja -ohjeita 43. Tampere. Multiprint Oy, Tampere. 18 s.

Työterveyslaitos (TTL). [www-sivut] Riskien arviointi ja hallinta. http://www.ttl.fi/fi/tyoturvaluisuus_ja_riskien_hallinta/riskien_hallinta/Sivut/default.aspx (Luettu 15.8.2010)

Työterveyslaitos (TTL). [www-sivut]. Safety Check – ammattialakohtaiset työsuojelun tarkistuslistat pientyöpaikoille. http://www.ttl.fi/fi/tyoturvaluisuus_ja_riskien_hallinta/tapaturmien_ehkaisy/tyoturvaluisuuden_edistamiskeinoja/safety_check/Sivut/default.aspx (Luettu 30.5.2011)

Työterveyslaitos (TTL). [www-sivut]. Työtapaturmat, ammattitaudit ja sairauspoissaolot. http://www.ttl.fi/fi/tilastot/tyotaturmat_ammattitaudit_ja_sairauspoissaolot/sivut/default.aspx (Luettu 8.12.2010)

Työturvallisuuskeskus. 2010. Kasvinsuojeluaineet ja työturvallisuus. Työturvallisuuskeskus TTK, maatalousalojen ja metsäalan työalatoimikunnat. Painojussit Oy. 34 s.

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738> (Luettu 18.5.2011)

Ylitalo, E. 2010. Puun energiakäyttö 2009. Metsätalastiedote 16/2010, 28.4.2010. Metsätutkimuslaitos. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2010/puupolttoaine2009.htm> (Luettu: 15.7.2010)

Valtioneuvoston asetus (VNa) 12.6.2008/400 koneiden turvallisuudesta. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080400> (Luettu 18.5.2011)

Valtioneuvoston asetus (VNa) 9.11.2006/953 ulkona käytettävien laitteiden melupäästöistä annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060953> (Luettu 18.5.2011)

Valtioneuvoston asetus (VNa) 26.1.2006/85 työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060085> (Luettu 18.5.2011)

Valtioneuvoston asetus (VNa) 27.1.2005/48 työntekijöiden suojelemisesta tärinästä aiheutuvilta vaaroilta. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050048> (Luettu 18.5.2011)

Valtioneuvoston asetus (VNa) 18.6.2003/576 räjähdyskehoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030576> (Luettu 18.5.2011)

Valtioneuvoston asetus (VNa) 27.12.2001/1485 terveystarkastuksista erityistä sairastumisen vaaraa aiheuttavissa töissä. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20011485> (Luettu 18.5.2011)

Valtioneuvoston asetus (VNa) 23.8.2001/749 puunkorjuutyön turvallisuudesta. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20010749> (Luettu 18.5.2011)

Valtioneuvoston asetus (VNa) 9.8.2001/715 kemiallisista tekijöistä työssä. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20010715> (Luettu 18.5.2011)

Valtioneuvoston asetus (VNa) 5.7.2001/621 ulkona käytettävien laitteiden melupäästöistä. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20010621> (Luettu 18.5.2011)

Valtioneuvoston päätös (VNp) 9.12.1993/1155 työntekijöiden suojelemisesta työhön liittyvältä biologisten tekijöiden aiheuttamalta vaaralta. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931155> (Luettu 18.5.2011)

Vapo Oy. 2010. Ruokohelven viljely-, korjuu- ja varastointiohjeet. Vapo paikalliset polttoaineet. Saatavissa: http://www.vapo.fi/filebank/4729-ruokohelpiviljelysite_01_2010_www.pdf

Vapo Oy. Ruokohelppi polttoaineena. Vapo paikalliset polttoaineet. Saatavissa: <http://www.vapo.fi/filebank/3260-polttoesite.pdf>

Vapo Oy. 2004. Faktaa paikallista polttoaineista. Saatavissa: http://www.vapo.fi/filebank/1622-vapo_vtt_09_2004_fin.pdf

Viiri, H. & Piri, T. 2008. Metsien terveys ja tuhot. Teoksessa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset. s. 47–52. Tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja. 74 s. [verkkopublication] Saatavissa: www.metsavastaa.net/energiapuunraportti (Luettu 10.9.2010)

Villa, A. & Saukkonen, P. 2010. Bioenergia 2020 - arvioita kasvusta, työllisyydestä ja osaamisesta. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Työ ja yrittäjyys 6/2010. Edita Publishing Oy. 68 s.

Virtanen, H. 2010. Energiapuun hintahaitari on laaja. Maaseuduntulevaisuus. 8.12.2010.

Virtuaalisuo [www-sivut] Jyväskylän yliopisto, Agora Center.
<http://agl.cc.jyu.fi/visu/index.php?id=1>, (Luettu 19.1.2011)

Verdera Oy. 2010. Biologinen kantokäsittelyaine Rotstop® SC. Saatavissa:
<http://www.rotstop.fi/> (Luettu 8.11.2010)

Vesterinen R. 2010. Energiapuuta voidaan korjata monella menetelmällä. Maaseuduntulevaisuus. 22.3.2010.

von Mutius, E., Braun-Fahrländer, C., Schierl, R., Riedlers, J., Ehlermann, S., Maisch, S. & Nowak, D. 2000. Exposure to endotoxins or other bacterial components might protect against the development of atopy. *Clinical and Experimental Allergy* 30: 1230-1234.

VTT. Riskianalyysi-sivusto [www-sivusto] <http://www.vtt.fi/proj/riskianalyysit/index.jsp>

Vuori, A. 2010. Kynyn purema. Lääkärin käsikirja 4.6.2010. Saatavissa:
<http://www.terveysportti.fi/dtk/ltk/koti> (Luettu 3.11.2010)

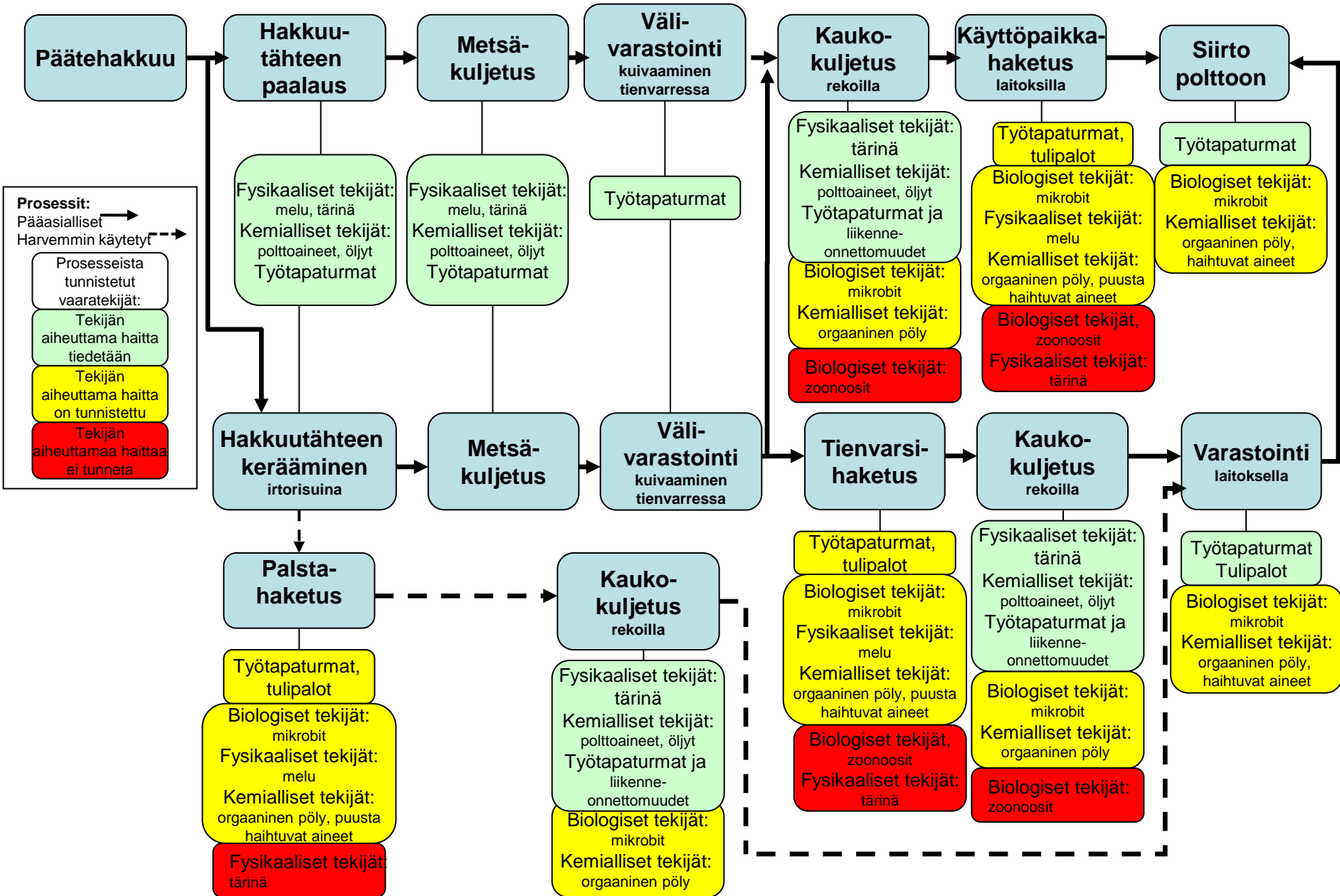
Vähänikkilä, A., Sorainen, E., Taattola, K. & Rytönen, E. 2006. Maatalouskoneiden tärinä ja melu. Työterveyslaitos. 35 s.

Vähänikkilä, A., Sorainen, E., Rytönen, E. & Pasanen, T. 2004. Metsäkoneiden tärinä ja melu. Kuopion aluetyöterveyslaitos. Kuopio 36 s.

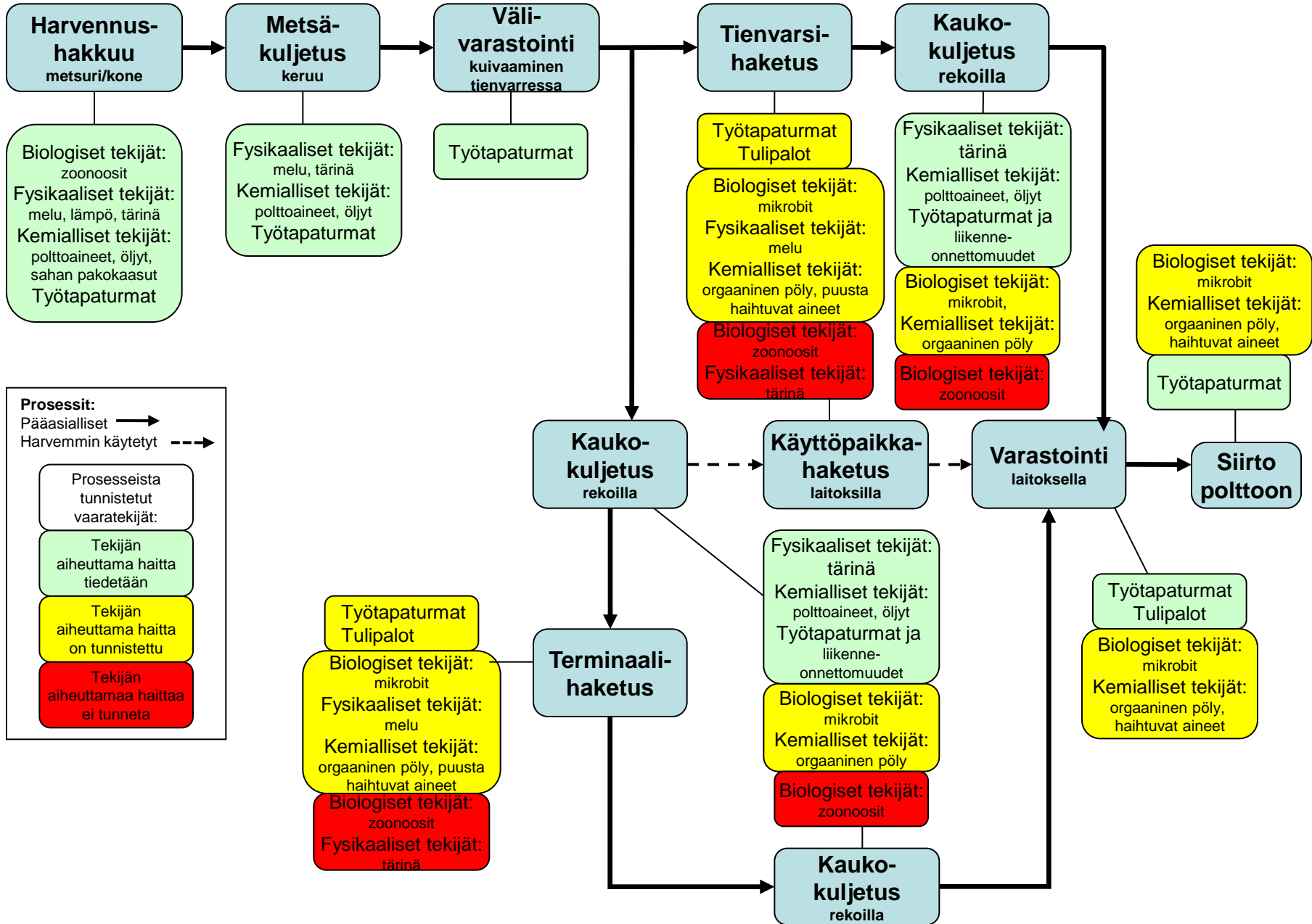
Zoonosikeskus. [www-sivut] <http://www.zoonosikeskus.fi/portal/fi/zoonosit> (Luettu 3.11.2010)

Ylitalo, E. 2009. Energia. Teoksessa: Peltola, A. (toim). Metsätilastollinen vuosikirja 2009. s. 271-291. Metsäntutkimuslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy, Sastamala. 452 s. Saatavissa:
<http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2009/index.html>

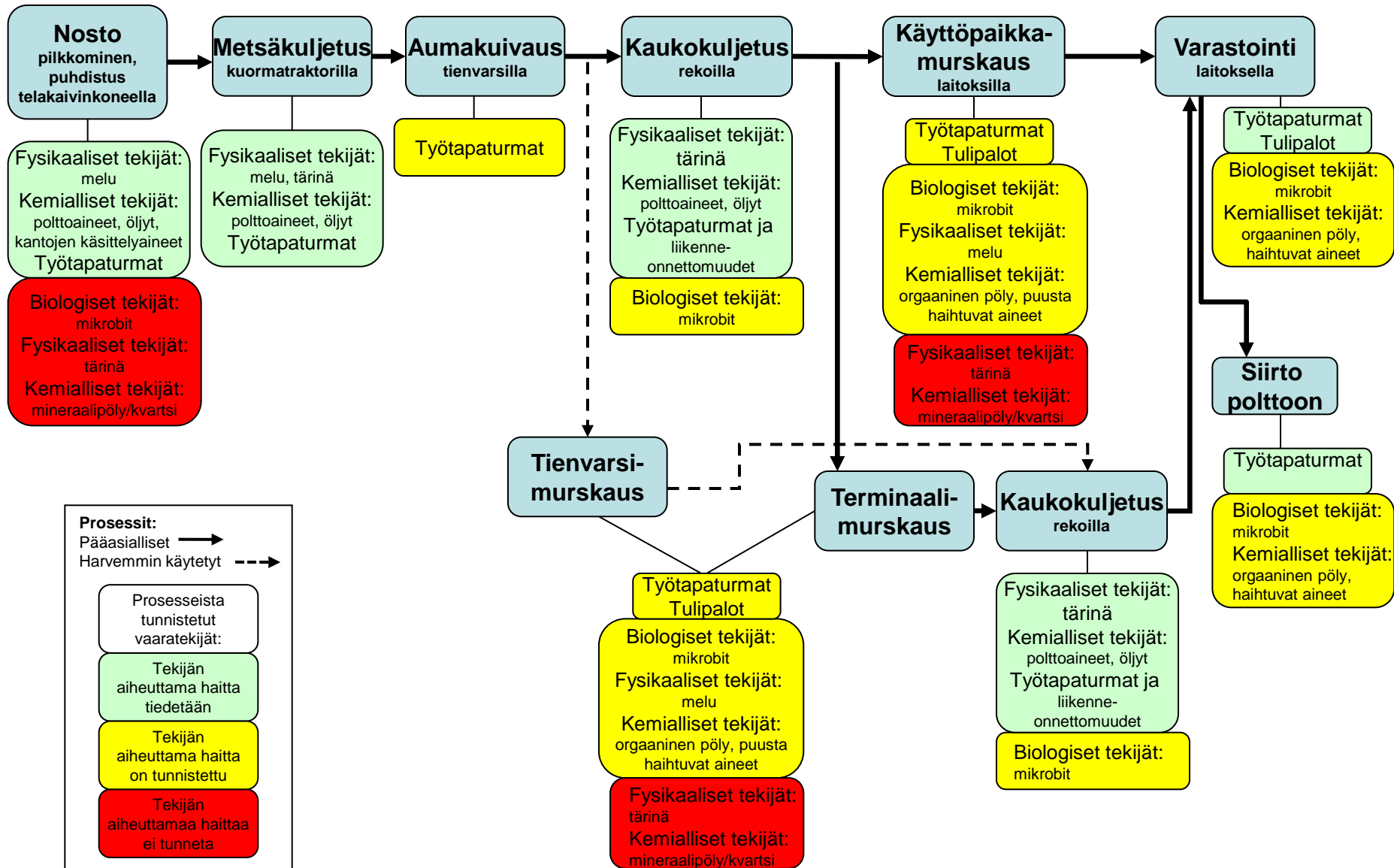
Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. (toim). 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 31 s.



LIITE 2: Pien-/rankapuuhakkeen tuotantoprosessin vaaratekijät

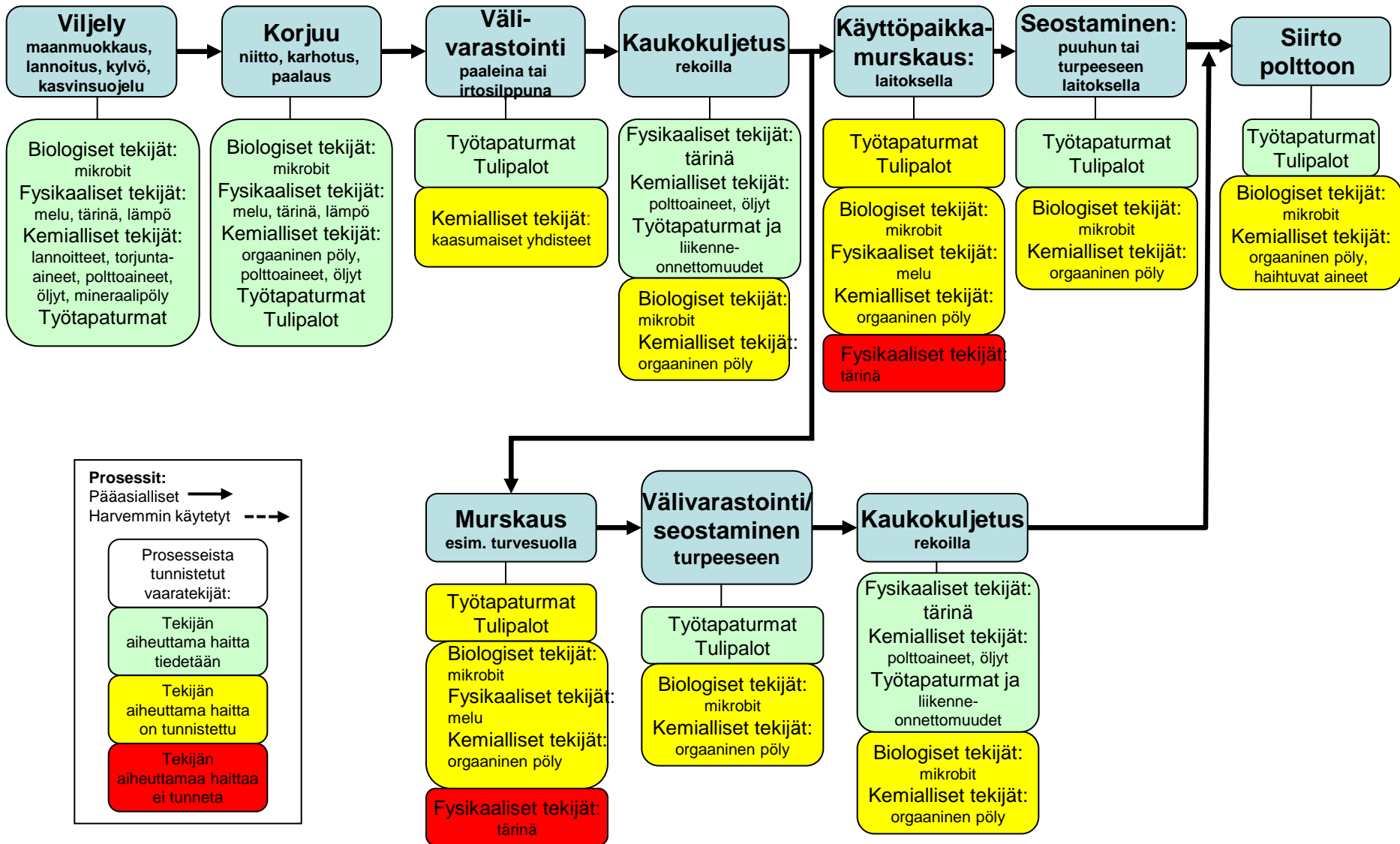


LIITE 3: Kantomurskeen tuotantoprosessin vaaratekijät



LIITE 4: Ruokohelpimurskeen tuotantoprosessin vaaratekijät

1(1)



LIITE 5

Taulukossa on yhteenveto tässä pro gradu-työssä tunnistetuista **metsätähteistä valmistettavan hakkeen** tuotantoprosesseihin liittyvistä vaaratekijöistä ja riskeistä. Listaa voidaan käyttää alustavana tarkastuslistana työsuojeluasioiden tarkastamiseen ja työturvallisuuden kehittämiseen tuotannon eri vaiheissa. Tarkastuslista ei ole täydellinen, eikä kovin yksityiskohtainen, vaan siihen on otettu mukaan merkittävimmiksi arvioituja vaara- ja riskitekijöitä yleisellä tasolla. Listaa käytettäessä on huomioitava, että tuotantoprosesseissa voi olla eroja esim. kulloisestakin kohteesta (esim. mistä metsätähteitä kasataan) sekä käytössä olevista menetelmistä ja laitteista riippuen.

Prosessin vaihe	Tunnistettu vaaratekijä/riski	Huomioitu /kunnossa	Ei huomioitu/ ei kunnossa	Ei soveltu kohteeseen
Metsätähteiden kasaus päätehakkuualueelta: irtotavarana/paalaus	koneiden (esim. metsätraktori, paalain) melu			
	koneiden (esim. metsätraktori, paalain) tärinä			
	kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut			
	työtapaturmat: esim. koneiden korjaus- ja huoltotyöt, koneen kaatuminen, sähkölinjat			
Metsäkuljetus (irtorisut/paalit)	koneiden (esim. metsätraktori) melu			
	koneiden (esim. metsätraktori) tärinä			
	kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut			
	työtapaturmat: esim. koneen kaatuminen, sähkölinjat			
Välivarastointi (kuivaus) tienvarressa				
	työtapaturmat: kasojen turvallisuus			
Haketus/murskaus (välivarasto tai käyttöpaikka)	hakkurin melu			
	hakkurin tärinä			
	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, zoonoosit			
	orgaaninen pöly			
	kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut, puusta haihtuvat aineet			
	työtapaturmat: esim. hakkurin tukkeutuminen, hakkurin korjaus- ja huoltotyöt			
tulipalojen vaara: hakkurin ylikuumentuminen				
Kaukokuljetus (irto/paalit/hake): mukaan lukien kuorman teko/purku	kuormaimen ja auton tärinä			
	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, zoonoosit			
	orgaaninen pöly			
	kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut			
	työtapaturmat: esim. autojen korjaus- ja huoltotyöt			
	liikenneonnettomuudet			
Hakkeen varastointi ja käyttö (pois lukien poltto)				
	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, zoonoosit			
	orgaaninen pöly			
	kemikaalit: esim. pakokaasut, puusta haihtuvat aineet			
	työtapaturmat: esim. kuljettimien tukkeutuminen			
tulipalojen vaara: hakkeen itse-syttymisen vaara, muut syttymislähteet				

LIITE 6

Taulukossa on yhteenveto tässä työssä tunnistetuista **pien-/rankapuusta valmistettavan metsähakkeen** tuotantoprosesseihin liittyvistä vaaratekijöistä ja riskeistä. Listaa voidaan käyttää alustavana tarkastuslistana työsuojeluasioiden tarkastamiseen ja työturvallisuuden kehittämiseen tuotannon eri vaiheissa. Tarkastuslista ei ole täydellinen, eikä yksityiskohtainen, vaan siihen on otettu mukaan merkittävimmiksi arvioituja vaara- ja riskitekijöitä yleisellä tasolla. Listaa käytettäessä on myös huomioitava, että tuotantoprosesseissa voi olla eroja esim. kulloisesta kohteesta (esim. harvennushakkuualueen sijainti) sekä kulloinkin käytössä olevista menetelmistä ja laitteista riippuen.

Prosessin vaihe	Tunnistettu vaaratekijä/riski	Huomioitu/ kunnossa	Ei huomioitu /ei kunnossa	Ei sovelu kohteeseen
Harvennushakkuu (metsuri/konetyö)	moottorisahan/metsäkoneen melu			
	moottorisahan/metsäkoneen tärinä			
	kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, moottorisahan pakokaasut, kantojen käsittelyaineet			
	työtapaturmat: esim. metsurin asianmukaiset suojavarusteet, koneiden korjaus- ja huoltotyöt, koneen kaatuminen, sähkölinjat			
Metsäkuljetus	koneen melu			
	koneen tärinä			
	kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut			
	työtapaturmat: esim. koneen kaatuminen, sähkölinjat			
Välivarastointi (kuivaus) tienvarressa	työtapaturmat: kasojen turvallisuus			
Haketus (välivarasto/käyttöpaikka)	hakkurin melu			
	hakkurin tärinä			
	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, zoonoosit			
	orgaaninen pöly			
	muut kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut, puusta haihtuvat aineet			
	työtapaturmat: esim. hakkurin tukkeutuminen, korjaus- ja huoltotyöt			
	tulipalojen vaara: hakkurin ylikuumentuminen			
Kaukokuljetus (puu/hake): mukaan lukien kuorman teko/purku	kuormaimen ja auton tärinä			
	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, zoonoosit			
	orgaaninen pöly			
	muut kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut			
	työtapaturmat: esim. autojen korjaus- ja huoltotyöt			
	liikenneonnettomuudet			
Hakkeen varastointi ja käyttö käyttöpaikalla (pois lukien poltto)	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, zoonoosit			
	orgaaninen pöly			
	muut kemikaalit: esim. pakokaasut, puusta haihtuvat aineet			
	työtapaturmat: esim. kuljettimien tukkeutuminen			
	tulipalojen vaara: hakkeen itse-syttymisvaara, muut syttymislähteet			

LIITE 7

Taulukossa on yhteenveto tässä työssä tunnistetuista **kantomurskeen tuotantoprosesseihin** liittyvistä vaaratekijöistä ja riskeistä. Listaa voidaan käyttää alustavana tarkastuslistana työsuojeluasioiden tarkastamiseen ja työturvallisuuden kehittämiseen tuotannon eri vaiheissa. Tarkastuslista ei ole täydellinen, eikä kovin yksityiskohtainen, vaan siihen on otettu mukaan merkittävimmiksi arvioituja vaara- ja riskitekijöitä yleisellä tasolla. Listaa käytettäessä on myös huomioitava, että tuotantoprosesseissa voi olla eroja esim. kulloisestakin kohteesta (esim. mistä kantoja nostetaan) sekä kulloinkin käytössä olevista menetelmistä ja laitteista riippuen.

Prosessin vaihe	Tunnistettu vaaratekijä/riski	Huomioitu /kunnossa	Ei huomioitu /ei kunnossa	Ei sovellu kohteeseen
Kantojen nosto, paloittelu, kasaus	kaivukoneen melu			
	kaivukoneen tärinä			
	biologiset altisteet: mikrobit			
	epäorgaaninen pöly: kvartsi			
	muut kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut			
	työtapaturmat: esim. koneen kaatuminen, sähkölinjat			
Metsäkuljetus	koneen melu			
	koneen tärinä			
	kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut			
	työtapaturmat: esim. koneen kaatuminen, sähkölinjat			
Välivarastointi (kuivaus) tienvarressa				
	työtapaturmat: kasojen turvallisuus			
Murskaus (välivarasto/käyttöpaikka)	murskaimen melu			
	murskaimen tärinä			
	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, zoonoosit			
	orgaaninen pöly			
	epäorgaanien pöly: kvartsi			
	muut kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut, puusta haihtuvat aineet			
	työtapaturmat: esim. murskaimen tukkeutuminen, korjaus- ja huoltotyöt			
	tulipalojen vaara: murskaimen ylikuumentuminen			
Kaukokuljetus (kannot/murske): mukaan lukien kuorman teko/purku	kuormaimen ja auton tärinä			
	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, zoonoosit			
	orgaaninen pöly			
	epäorgaanien pöly: kvartsi			
	muut kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut			
	työtapaturmat: esim. autojen korjaus- ja huoltotyöt			
	liikenneonnettomuudet			
Murskeen varastointi ja käyttö (pois lukien poltto)				
	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, zoonoosit			
	orgaaninen pöly			
	muut kemikaalit: esim. pakokaasut, puusta haihtuvat aineet			
	työtapaturmat: esim. kuljettimien tukkeutuminen			
	tulipalojen vaara			

LIITE 8

Taulukossa on yhteenveto tässä työssä tunnistetuista **ruokohelven tuotantoprosesseihin** liittyvistä vaaratekijöistä ja riskeistä. Listaa voidaan käyttää alustavana tarkastuslistana työsuojeluasioiden tarkastamiseen ja työturvallisuuden kehittämiseen ruokohelven tuotannon eri vaiheissa. Tarkastuslista ei ole täydellinen, eikä kovin yksityiskohtainen, vaan siihen on otettu mukaan merkittävimmiksi arvioituja vaara- ja riskitekijöitä yleisellä tasolla. Listaa käytettäessä on myös huomioitava, että tuotantoprosesseissa voi olla eroja esim. kulloisestakin kohteesta (esim. millaisella pellolla viljelyä tehdään) sekä kulloinkin käytössä olevista menetelmistä ja laitteista riippuen.

Prosessin vaihe	Tunnistettu vaara- tai riskitekijä	Huomioitu/ kunnossa	Ei huomioitu/ ei kunnossa	Ei soveltu kohteeseen
Viljely: maanmuokkaus, lannoitus, kylvö, kasvinsuojelu	koneiden melu			
	koneiden tärinä			
	epäorgaaninen pöly			
	muut kemikaalit: esim. lannoitteet, torjunta-aineet, öljyt, polttoaineet, pakokaasut			
	työtapaturmat: esim. koneiden korjaus- ja huoltotyöt			
Korjuu: niitto, paalaus/irtokorjuu	koneiden melu			
	koneiden tärinä			
	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet			
	orgaaninen pöly			
	muut kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut työtapaturmat: esim. koneiden korjaus- ja huoltotyöt			
Välivarastointi (pellolla, välivarastossa): paaleina/irtosilppuna	oikeanlainen varastointi: kastumisen estäminen homehtumisen vähentämiseksi			
	kemikaalit: muovitetuihin kasoihin muodostuvat kaasumaiset aineet			
	työtapaturmat: esim. kasojen turvallisuus			
	tulipalon vaara			
Kaukokuljetus (helpi tai valmis polttoaine): mukaan lukien kuorman teko/purku	kuormaimen ja auton tärinä			
	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet			
	orgaaninen pöly			
	muut kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut			
	työtapaturmat: esim. autojen korjaus- ja huoltotyöt liikenneonnettomuudet			
Murskaus (välivarasto/käyttöpaikka)	murskaimen melu			
	murskaimen tärinä			
	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, bakteerit			
	orgaaninen pöly			
	muut kemikaalit: esim. öljyt, polttoaineet, pakokaasut työtapaturmat: esim. murskaimen tukkeutuminen, korjaus- ja huoltotyöt tulipalojen vaara: murskaimen ylikuumeneminen			
Seostaminen (välivarasto/käyttöpaikka)	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, bakteerit			
	orgaaninen pöly			
	työtapaturmat			
	tulipalojen vaara: itse-syttymisen vaara, muut syttymislähteet			
Helpimurskeen varastointi ja käyttö käyttöpaikoilla (pois lukien poltto)	biologiset altisteet: esim. homeet, sienet, bakteerit			
	orgaaninen pöly			
	muut kemikaalit: esim. pakokaasut, haihtuvat/kaasumaiset yhdisteet työtapaturmat: esim. kuljettimien tukkeutuminen			

LIITE 8

	tulipalojen ja räjähdysten vaara: itse-syttymisen vaara, muut syttymislähteet			
--	--	--	--	--