

97

*Jukka Mäittälä, Helvi
Heinonen-Tanski, Sirpa
Herve, Juhani Kangas, Kyös-
ti Louhelainen, Tiina Nik-
kola, Merja Paasonen,
Maarit Puumala, Sirpa
Rautiala, Markku Seuri ja
Anja Veijanen*

**Turve kestopuikkeenä
sikaloissa**

*Jukka Mänttälä, Helvi Heinonen-Tanski, Sirpa Herve, Jubani Kangas,
Kyösti Louhelainen, Tiina Nikkola, Merja Paasonen, Maarit Puumala,
Sirpa Rautiala, Markku Seuri ja Anja Veijanen*

Turve kestopuivikkeena sikaloissa

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus

ISBN 951-729-620-7 (Painettu)
ISBN 951-729-621-5 (Verkkójulkaisu)
ISSN 1239-0852 (Painettu)
ISSN 1239-0844 (Verkkójulkaisu)
<http://www.mtt.fi/asarja>

Copyright

MTT

Jukka Mäittälä, Helvi Heinonen-Tanski, Sirpa Herve, Juhani Kangas,
Kyösti Louhelainen, Tiina Nikkola, Merja Paasonen, Maarit Puumala,
Sirpa Rautiala, Markku Seuri ja Anja Veijanen

Julkaisija

MTT, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

MTT, Tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen
Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339
sähköposti julkaisut@mtt.fi

Painatus

Jyväskylän yliopistopaino 2001

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen Joutsenmerkki.
Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

Mäittälä, J.¹⁾, Heinonen-Tanski, H.²⁾, Herve, S.³⁾, Kangas, J.¹⁾, Louhelainen, K.¹⁾, Nikkola, T.⁴⁾, Paasonen, M.⁵⁾, Puumala, M.⁵⁾, Rautiala, S.¹⁾, Seuri, M.¹⁾ & Veijanen, A.⁴⁾ 2001. Turve kesto-kuivikkeena sikaloissa. MTT:n julkaisuja. Sarja A 97. Jokioinen: MTT. 64 p. + 9 app. ISSN 1239-0852 (Painettu), ISSN 1239-0844 (Verkkojulkaisu), ISBN 951-729-620-7 (Painettu), ISBN 951-729-621-5 (Verkkojulkaisu). <http://www.mtt.fi/asarja>

¹⁾ Kuopion aluetyöterveyslaitos, PL 93, 70701 Kuopio, jukka.maittala@occuphealth.fi, juhani.kangas@occuphealth.fi, kyosti.louhelainen@occuphealth.fi, sirpa.rautiala@occuphealth.fi, markku.seuri@occuphealth.fi

²⁾ Kuopion yliopisto, Ympäristötieteiden laitos, PL 1627, 70211 Kuopio, Helvi.HeinonenTanski@uku.fi

³⁾ Keski-Suomen ympäristökeskus, PL 110, 40101 Jyväskylä, sirpa.herve@vyh.fi

⁴⁾ Jyväskylän yliopisto, PL 35, 40351 Jyväskylä, tiina.nikkola@vtt.fi, veijanen@cc.jyu.fi

⁵⁾ MTT, Maatalousteknologian tutkimus, Vakolantie 55, 03400 Vihti, merja.paasonen@mtt.fi, maarit.puumala@mtt.fi

Tiivistelmä

Avainsanat: sikalat, turve, kuivikkeet, työterveys, työturvallisuus, mikro-organismit, ympäristövaikutukset

Tutkimuksessa selvitettiin turvepohjaisen kompostisikalan vaikutuksia ympäristöön, ympäristön viihtyisyyteen ja viljelijöiden terveyteen.

Tulosten perusteella turve edellytti pihattotyypisissä sikaloissa vähemmän työtä kuin esimerkiksi purupohjasikaloissa. Työlistävin vaihe oli turvepohjan perustaminen. Sen sijaan pohjan ylläpito oli helpompaa, koska kääntämistarve väheni. Turpeen todettiin lisäksi kestävästä suurempaa lantakuormaa kuin purun. Turvepohjan arvo ravinteiden perusteella laskettuna on korkeampi kuin siihen käytettyjen kuivikemateriaalien arvo. Jos turvepohjaa käännetään säännöllisesti, siitä aiheutuvat kustannukset ylittävät sen ravinteina lasketun arvon.

Puhdas turve itsessään ei sisällä suolistomikrobeja. Sikojen kuivikepohjana turve sitoo itseensä suuren määrän siansontaa ja siten myös suolistomikrobeja, joiden lukumäärä kuivikepohjassa voi olla käytön aika-

na erittäin korkea. Käytetty turvekuivikepohja kompostoituu kuitenkin helposti.

Turvepohjaisen kompostisikalan ympäristövaikutukset olivat perinteistä lietelantasikalaa vähäisemmät. Hyvin toimivassa turvesikalassa hajupäästöt ympäristöön vähenivät selvästi. Turvesikalan kuivalannan levityksen aiheuttama hajuhaitta todettiin erittäin vähäiseksi lietelannan levitykseen verrattuna. Turvesikaloidella ei voitu osoittaa olevan haitallisia vaikutuksia pinta- ja pohjavesiin ainakaan lyhyellä aikavälillä.

Turvesikaloiden ammoniakkipitoisuudet olivat perinteistä lietelantasikalaa pienempiä. Sikaloitten työilmassa oli lisäksi haisevia yhdisteitä selvästi vähemmän kuin lietelantasikalassa. Sen sijaan työilman suuri hengittävän pölyn pitoisuus sekä mikrobien (sienet, bakteerit) korkeat ilmapitoisuudet olivat selkeä ongelma lähinnä kuiviketurpeen pölyämisen takia.

Pienen aineiston vuoksi luotettavien

johtopäätösten teko turvepohjasikaloiden terveysvaikutuksista on vaikeaa. Jos turvepohjaiset kompostisikalat yleistyvät, tulee

työntekijöiden oireita kuitenkin seurata toiminnan aloittamisen yhteydessä tavallista tarkemmin.

Esipuhe

Tämän tutkimuksen ovat toteuttaneet Kuopion aluetyöterveyslaitos, Keski-Suomen ympäristökeskus, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT), Jyväskylän yliopisto, Kuopion yliopisto ja Vapo Oy vuosina 1999–2001. Tutkimusta rahoittivat maa- ja metsätalousministeriö, Keski-Suomen TE-keskus ja Vapo Oy. Tulosten

raportointia on lisäksi rahoittanut Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliiton eläkelaitos (MELA).

Tutkijaryhmä haluaa kiittää rahoittajia ja tutkimukseen osallistuneita viljelijöitä. Lisäksi tutkijat kiittävät kehityspäällikkö Markus Pyykköstä sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosastolta avusta tutkimuksen suunnittelussa ja raportointivaiheessa.

Kuopiossa 15.6.2001

Tutkijaryhmä

Sisällys

Tiivistelmä	3
Esipuhe	4
1 Johdanto	7
2 Turvepohjan kokeet laboratoriossa	9
2.1 Aineisto ja menetelmät	9
2.1.1 Yleiskuvaus laboratorioskokeesta	9
2.1.2 Koeastiasto	10
2.1.3 Kestokuivikepohjat	10
2.1.4 Lietteen lisäys ja kuivikepohjien kääntö	11
2.1.5 Mittaukset ja näytteet	12
2.1.5.1 Mittaukset	12
2.1.5.2 Analyysit	13
2.2 Tulokset ja niiden tarkastelu	13
2.3 Johtopäätökset	15
3 Tutkittavat tilat	15
3.1 Tila 1	15
3.2 Tila 2	16
3.3 Tila 3	16
3.4 Tila 4	17
3.5 Tila 5	17
4 Tutkimuksen käytännön toteutus	17
4.1 Turvepohja	18
4.1.1 Pohjan toimivuus	18
4.1.1.1 Turvepohjan toiminta ja olosuhteet sikaloissa	18
4.1.1.2 Lämpötila	19
4.1.1.3 Kompostipohjanäytteet	19
4.1.2 Pohjan mikrobit	20
4.2 Työympäristö	20
4.2.1 Hengittävä pöly	20
4.2.2 Ammoniakki ja hiilidioksidi	21
4.2.3 Rikkiyhdisteet	21
4.2.4 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	21
4.2.5 Ilman ja kuivikkeiden mikrobit	21
4.2.5.1 Ilmanäytteet	21
4.2.5.2 Materiaalinäytteet	22
4.2.6 Endotoksiinit	22
4.2.7 Terveysseuranta	23
4.3 Ympäristöselvitykset	24
4.3.1 Sikaloiden vaikutukset pinta- ja pohjavesiin	24
4.3.2 Päästöt ilmaan	24
4.3.3 Ympäristöhaittakyselyt	25
4.3.4 Hajupaneelitutkimus	26
4.4 Turvepohjan taloudellinen kannattavuus	26

5	Tulokset ja niiden tarkastelu	27
5.1	Turvepohja	27
5.1.1	Pohjan toimivuus	27
5.1.1.1	Pohjan toiminta ja olosuhteet sikaloissa	27
5.1.1.2	Lämpötila	31
5.1.1.3	Kompostipohjanäytteet	33
5.1.2	Pohjan mikrobit	34
5.2	Työympäristö	35
5.2.1	Hengittyvä pöly	35
5.2.2	Ammoniakki ja hiilidioksidi	37
5.2.3	Rikkiyhdisteet	38
5.2.4	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	39
5.2.4.1	Tulosten yhteenveto	48
5.2.5	Ilman ja kuivikkeiden mikrobit	50
5.2.5.1	Ilmanäytteet	50
5.2.5.2	Materiaalinäytteet	51
5.2.6	Endotoksiinit	53
5.2.7	Terveysseuranta	53
5.3	Ympäristöselvitykset	53
5.3.1	Sikaloiden vaikutukset pinta- ja pohjavesiin	53
5.3.2	Päästöt ilmaan	55
5.3.3	Ympäristöhaittakyselyt	55
5.3.4	Hajupaneelitutkimus	56
5.4	Turvepohjan taloudellinen kannattavuus	56
6	Johtopäätökset ja suositukset	59
6.1	Johtopäätökset	59
6.2	Suosituks	61
	Kirjallisuus	61
	Liitteet	

1 Johdanto

Kuopion aluetyöterveyslaitos, Jyväskylän yliopisto ja MTT toteuttivat vuosina 1995–97 tutkimuksen, jossa selvitettiin, muodostuuko purupohjasikalassa haitallisia kemiallisia ja mikrobiologisia epäpuhtauksia ja arvioitiin niiden vaikutuksia hajupäästöihin ja sikalan työntekijöiden terveyteen. Tutkimuksessa todettiin, että hyvin toimivassa purupohjasikalassa ammoniakki- ja rikkiyhdistepitoisuudet olivat pienempiä kuin vastaavissa perinteisissä sikaloissa. Samoin pienivät sikalan hajupäästöt.

Sekä perinteisessä että purupohjasikalassa endotoksiinipitoisuudet olivat samaa tasoa, mutta purupohjasikalassa ilman mikrobipitoisuudet olivat suurempia kuin perinteisissä sikaloissa. Ongelmana useissa purupohjasikaloissa oli pohjan huono kompostoituminen. Syynä tähän oli liian suuri sikamäärä pinta-alayksikköä kohti sekä talviaikaan lisälämmön puute ja huono ilmanvaihto, jolloin purupohja kostui liikaa ja kompostoitumisprosessi hiipui (Louhelainen et al. 1998).

Koska pohjan liiallinen kosteus on merkittävä syy kompostoitumisen hiipumiseen, tässä tutkimuksessa kokeiltiin turpeen ja oljen seosta kompostisikalan pohjan materiaalina. Olettamuksena oli, että hyvän imukykynsä ansiosta turve voisi tarjota ainakin osittaisen ratkaisun purupohjassa esiintyneeseen kuivikkeen kostumisongelmaan. Myös viime aikoina julkaistut muut tutkimukset turve-olkiseoksesta kuivikepohjana tukivat edellä esitettyä olettamusta.

Kapuisen (1996) tutkimusten perusteella olki/turve -seokset toimivat hyvin emolehmiä kuivikepohjina. Emolehmillä on enemmän tilaa kuin lihasioilla eli 3–6 m²/lehmä. Lihasioilla tilaa on 1–1,2 m²/sika. Lisäksi emolehmiä tuottavat suhteellisesti vähemmän ja kuivempaa lantaa kuin lihasiat. Emolehmillä 40–60 % turvetta sisältävät seokset sitoivat hyvin lannan hajotusolosuhteina vapautuneen ammoniakki- ja kompostoituminen lähti seoksissa nopeasti käyntiin olkisilpun toimiessa hiilen lähteenä.

Teoreettiset laskelmat osoittavat, että turve-olkiseos voisi toimia purupohjaa paremmin sikaloissa. Turve-olkiseoksella eläintä kohti tarvittava pinta-ala on 1–1,3 m², mikä tekee turve-olkiseoksesta sikalasta taloudellisesti kilpailukykyisen lietelantasikalaa verrattuna (Puumala & Pyykkönen 1998). Purupohjasikalassa eläintä kohti tarvitaan 1,6 m², jotta purupohja kompostoituisi.

Suuri pinta-alavaatimus tekee purupohjasta taloudellisesti hyvin huonon vaihtoehdon. Turve-olkiseoksia käyttämällä kompostoituva kuivikepohja näyttäisi olevan taloudellisestikin edullinen vaihtoehto. Turve-olkiseoksella vältetään joka tapauksessa purupohjille tyypillinen kasvatuskauden lopun kuivikkeen kostumisongelma. Jos turve-olkiseos kostuu, seoksen lisääminen kuivattaa pohjaa ja kompostoituminen jatkuu.

Kompostipohjasikalan perustamiskustannukset ovat eräiden arvioiden mukaan 25 % pienemmät kuin perinteisen sikalan, mikä myös osaltaan lisää tarvetta selvittää sen toimivuutta käytännössä.

Sikojen käyttäytymisen perusteella kuivikepohjakarsina ilmeisesti täyttää paremmin niiden perustarpeet kuin betonipohjainen karsina. Kuivikepohjalla siat kaivavat itselleen hyvin usein makuupesän ja käyttävät paljon aikaa kuivikkeen (purun) tonkimiseen ja purkavat näin toiminnan tarvettaan luonnollisella tavalla. Sikojen hyvinvointia kuvaa se, että tutkimuksissa purupohjasikaloissa hännänpurenta ei yleensä ole ongelma. Jalkaviat ovat purupohjalla harvinaisia eikä etupolvissa ja kinnernivelissä esiinny kulumia.

Hyvin toimiva kompostipohja on ympäristön ja työntekijän kannalta hyvä vaihtoehto. Kompostoituva kuivikepohja parantaa lannan käsiteltävyyttä ja poistaa lannanlevityksen hajuhaitat. Lisäksi kompostoituva pohja vähentää hajuja sikalan sisällä ja samalla poistoilman mukana ympäristöön leviävä haju vähenee olennaisesti. Käyttämällä kuivikeoksessa turvetta voidaan todennäköisesti kuivikepohjasta vapautuvan ammoniakki määrää vähentää ratkaisevasti. Aiemmissa selvityksissä on

osoitettu, että turve absorboi ammoniakkia ja rikkivetyä tehokkaammin kuin muut materiaalit (Manninen et al. 1989). Täten parantunut ilman laatu lisää työviihtyvyyttä kompostipohjasikaloissa. Kompostointi vähentää typpipäästöjä vesistöihin, sillä kompostoitumisen jälkeen typpi ei enää ole helppoliukoisessa muodossa.

Kompostoinnissa voidaan erottaa neljä vaihetta: mesofiilinen (ympäristön lämpötilainen), termofiilinen (lämpenemisvaihe), jäähtyminen sekä kypsyminen. Kompostoitumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat purupohjan hapettuminen, lämpötila, kosteus sekä hiili-typpi-suhde. Kompostoitumisen edetessä lämpötila saattaa nousta jopa yli 60 °C:een. Koska kompostoituminen on mikrobiologinen sukseksiivinen prosessi, muodostuu kompostiin sen eri vaiheissa kuhunkin lämpötila-, happamuus- ja ravinnelosuhteisiin sopeutuva lajisto, joka koostuu pääosin sienistä ja bakteereista (Sterritt & Lester 1988). Vaikka korkea lämpötila tuhoaaakin edeltävien vaiheiden mikrobiston, komposti kontaminoituu tavallisesti jäähtymisvaiheen aikana uudelleen joko lämpöresistenttien itiöiden avulla säilyneistä sienistä tai ulkoa päin tulevista mikrobeista.

Ulosteen mikrobit ja niiden mahdollinen pitkä säilyminen sikaloiden kuivikkeessa muodostavat selvän terveusriskin karjanhoitajille, sikaloiden ympäristössä asuville ihmisille ja myös eläimille itselleen. Erilaisia suolistopatogeenisiä viruksia ja bakteereita on hyvin monia. Koska niitä kaikkia ei voida osoittaa ulosteesta tai hajoamisvaiheessa olevasta ulostemassasta, hygienisoitumista mitataan indikaattorimikrobien avulla.

Virukset ovat suhteellisen eläinspesifisiä. Sian viruksista harvat tarttuvat ihmisiin, joten virusten säilyminen kuvaa lähinnä tautiriskin säilymistä sioille itselleen. Virukset jaetaan DNA-viruksiin ja RNA-viruksiin, joita ilmentävät DNA-kolifaagit (somaattiset faagit) ja RNA-kolifaagit.

Kokonaiskoliformit ja fekaalikoliformit ovat lähellä mm. salmonellaa. Tähän ryhmään kuuluvat myös enterohemorrhagiset *Escherichia coli*-kannat (ns. EHEC-kannat),

jotka 1990-luvulla ovat Suomessakin aiheuttaneet pikkulasten sairauksia ja kuolemia (Paunio et al. 1999). Nämä kaikki tuhoutuvat suunnilleen samoissa olosuhteissa.

Enterokokit (fekaalistreptokokit) säilyvät ympäristössä paremmin ja *Yersinia* tai *Mycobacterium* voisivat olla esimerkkejä tällaisista säilyvimmistä bakteereista, joilla olisi merkitystä sianhoitajan omaan terveyteen. Fekaaliset klostridit (sulfiittia pelkistävät klostridit) ovat itiöllisiä ja niiden säilyminen kuvaa vielä paremmin säilyviä suolistobakteereja, joita on mm. aika tavallinen ruokamyrkytysbakteeri *Clostridium perfringens*.

Haisevia yhdisteitä muodostuu ruuan sulatuskanavassa tapahtuvassa proteiinien, hiilihydraattien ja rasvojen anaerobisessa hajoamisessa (Mackie et al. 1998, Sutton et al. 1999). Jos hajoaminen on täydellistä, lopputuotteita ovat ammoniakki, hiilidioksidi ja metaani. Epätäydellinen hajoaminen johtaa hajoamisväliuotteiden kasaantumiseen ja haisevien orgaanisten yhdisteiden muodostumiseen. Haisevia orgaanisia yhdisteitä, kuten haihtuvia rasvahappoja, tyypeä ja rikkiä sisältäviä yhdisteitä, haihtuu sian lannasta heti ulostamisen jälkeen. Virtsan urea puolestaan vapautuu ilmaan ammoniakkinä lyhyen ajan kuluttua virtsaamisesta (Sutton et al. 1999).

Eläinten ravinnon ja kehon hajuja ei pidetä niin vastenmielisinä kuin lannasta ja sen hajoamisesta aiheutuvia hajuja (lannan keräys, käsittely, säilytys ja levitys). Lanta on monimutkainen seos sulamattomia ruuanjäänteitä, sisäeritteitä, bakteerisoluja ja niiden metabolian lopputuotteita. Lannan anaerobisessa hajoamisessa muodostuu haisevia, haihtuvia yhdisteitä. Nämä yhdisteet aiheuttavat hajun lisäksi mukavuus- ja terveyshaittoja työnteekijöille ja eläimille sekä saattavat alentaa tuotantotehokkuutta (Mackie et al. 1998).

Kaasumaisia ilman epäpuhtauksia on tutkittu 1980-luvulla suomalaisissa perinteisissä navetoissa, kanaloissa ja sikaloissa. Keskimääräiset ammoniakkipitoisuudet olivat sikalassa noin 18 ppm talvella ja noin 36 ppm kesällä (Kangas et al. 1987). Viime

vuosina on tutkittu kompostipohjasikaloi-
ta, jolloin toimivissa purupohjasikaloi-
ssa keskimääräiset ammoniakkipitoisuudet oli-
vat 8 ppm. Joitakin satunnaisia korkeita
ammoniakkipitoisuuksia (45 ppm) mitat-
tiin varsinkin käanttöjen aikana. Mikäli poh-
jan kompostoituminen ei toiminut, olivat
ammoniakkipitoisuudet korkeampia (Lou-
helainen et al. 2001).

Ilman mikrobipitoisuuksia on kompos-
tisikaloiissa selvitetty vain muutamissa tut-
kimuksissa. Englannissa purupohjasikaloi-
den ilmasta määritettiin vain termofiilisten
aktinobakteerien pitoisuudet, jotka olivat
ennen purupohjan käanttöä 102 cfu/m³ (cfu
= colony forming unit = pesäketä muo-
dostava yksikkö) ja käanttöä aikana 104
cfu/m³ (Kay & Thomas 1993). Suomessa
tehdyssä vastaavanlaisessa tutkimuksessa
termofiilisten aktinobakteerien pitoisuudet
olivat alle 100 cfu/m³ sekä taustatilanteessa
että purupohjan käanttöä aikana. Yleensä
ilman mikrobipitoisuudet kasvoivat selvästi
siirryttäessä perinteisestä sikalasta puru-
pohjasikaloon. (Louhelainen et al. 1998)

Keskimääräiset kokonaispölypitoisuu-
det ovat kompostipohjasikaloiissa vaihdel-
leet 1–3 mg/m³ (Bönsch ja Hoy 1996, Lou-
helainen et al. 1998).

Sieni-itiöt ja aktinobakteerit sekä niiden
rakenneosat voivat aiheuttaa hengitystieal-
lergioita, gram-negatiiviset bakteerit ja nii-
den sisältämät endotoksiinit ovat ilmeisesti
etiologisena tekijänä ODS:ssa (orgaanisen
pölyn aiheuttamassa toksisessa oireistossa)
(Rask-Andersen 1989).

Sikaloiissa työskentelevillä on tavanomais-
ta enemmän hengitystieoireita (Donham et
al. 1989, Crook et al. 1991). Sikalapöly ai-
heuttaa altistuneiden henkilöiden hengitys-
teissä tulehdusreaktion (Larsson et al. 1992)
ja joidenkin tutkimusten mukaan myös
muutoksia keuhkojen toimintakokeissa
(Dosman et al. 1988, Larsson et al. 1999).
Purupohjasikaloi-
ta koskevassa tutkimuk-
sessa ei saatujen tulosten perusteella voitu
osoittaa, että sikalan muuttaminen puru-
pohjaiseksi oleellisesti lisää viljelijän riskiä
hengitystiesairauksille (Louhelainen et al.
1998).

Koska kompostoituva purupohja vä-
hentää sikatalouden ympäristöhaittoja ja li-
sää sikojen elinympäristön virikkeellisyttä,
oli syytä tutkia myös turve-olkipohjarat-
kaisut perusteellisesti, jotta saataisiin selvil-
le, missä määrin purupohjien yhteydessä
esiintyneet ongelmat ovat menetelmästä
johtuvia ja mitkä ongelmat johtuvat pohjan
materiaalista. Tutkimus tehtiin Keski-Suo-
messa, mikä sijainniltaan sopi erinomaisesti
tarkoitukseen. Alueella on paljon turvesoi-
ta, joten kuljetusmatkat eivät aiheuta yli-
määräisiä lisäkustannuksia turpeen hankin-
taan. Tämän lisäksi alueella on useita tuot-
tajia, jotka olivat halukkaita kokeilemaan
uudentyyppistä tuotantomenetelmää siko-
jen kasvatukseen.

Tutkimus aloitettiin laboratorionkokeil-
la, joissa selvitettiin kenttäkokeita varten
erilaisten turve-olkiseosten toimivuutta si-
kojen kasvualustana. Tehtyjen kokeilujen
pohjalta valittiin sopivat pohjamateriaalit
toiseen vaiheeseen tutkimuskohteena ollei-
siin sikaloihin. Vuoden ajan seurattiin käy-
tännön olosuhteissa pohjan toimivuutta ja
turve-olkipohjasikalan vaikutuksia ympä-
ristöön, vesistöön ja työympäristöön sekä
työympäristötekijöiden vaikutusta viljeli-
jöiden hengityselinoireisiin.

2 Turvepohjan kokeet laboratoriossa

2.1 Aineisto ja menetelmät

2.1.1 Yleiskuvaus laboratorionkokeesta

Laboratorionkokeen tavoitteena oli selvittää
neljän erilaisen kestokuivikepohjaseoksen
toimivuutta sikojen kasvatusalustana. Koe-
seoksina oli vaalea kuiviketurve- ja olkiseos,
väliturve- ja olkiseos sekä sahanpuru. Vaa-
lealle kuiviketurveelle ja oljelle käytettiin
kahta erilaista tilavuussuhdetta 40/60 ja
60/40. Väliturpeen ja oljen tilavuussuhde
oli 40/60. Kerranteita oli kaksi.

Koeastiasto sijoitettiin betonilattialle

huoneeseen, jonka suhteellinen ilmankosteus oli koko tutkimuksen ajan 85 %. Kokeen alussa tutkimustilan lämpötila oli + 13,5 °C (22.1. – 29.4.1999), jonka jälkeen lämpötila nostettiin + 14,5 °C:een (30.4. – 16.7.1999). Laboratoriokoe tehtiin kahdessa 12 viikon jaksossa 22.1. – 15.4. ja 23.4. – 16.7. Jaksojen välillä oli viikon tauko. Koeastiaston laatikoihin lisättiin vakiolämpöistä lietettä suunnitelman mukaisesti siten, että päivässä lisättävä lietemäärä kasvoi tutkimusjakson loppua kohti. Lietteen lisäyksen jälkeen laatikoiden pintakerros sekoitettiin ja tiivistettiin painolla. Kuivikepohjien perusteellinen sekoitus tehtiin molempien koejaksojen alussa ensin kahden ja sen jälkeen yhden viikon välein.

Kuivikepohjien lämpötilaa seurattiin rekisteröivällä tiedonkeruulaitteella ja kosteuspitoisuutta aistinvaraisesti. Näytteitä kuivikepohjista otettiin ennen kokeen aloittamista sekä ensimmäisen ja toisen tutkimusjakson lopussa. Lisäksi toisen koejakson aikana otettiin välinäytteet. Kuivikepohjista vapautuvan haihtuvan ammoniakkin määrää mitattiin aktiivisilla ilmaisinputkilla (Dräger) ensimmäisen koejakson aikana kaksi kertaa ja toisen jakson aikana yhden kerran. Laboratoriokokeen päätteeksi punnittiin kuivikepohjien massat.

2.1.2 Koeastiasto

Laboratoriokokeessa käytettiin koeastias-
toa, jossa oli kahdeksan lokeroa. Jokaisen lokeron koko oli 60 cm × 60 cm. Lokerot oli lämpöeristetty kaikilta sivuilta, pohjaa lukuun ottamatta, 10 cm paksulla polystyreenilevyllä. Koeastiastoa kiersi lisäksi 10 cm paksu polystyreenieriste. Koeastiaston pohjalla oli 5 cm paksu eristelevy, jonka päällä oli 12 mm:n vahvuinen vaneri. Tämän päälle oli asennettu syrjälleen viereen 50 mm × 100 mm soivot. Polystyreenieristekerrosten päällä oli lokeroiden pohjalevynä vaneri. Tämän päällä oli 15 cm:n kerros soraa.

2.1.3 Kestokuivikepohjat

Kestokuivikepohjien seossuhteiden laskentaa varten määritettiin tutkimuksessa käytetyille kuivikkeille tilavuuspainot. Kukin kuivike punnittiin viisi kertaa tunnetun tilavuuden omaavassa saavissa, ja näin saaduista tilavuuspainoista laskettiin keskiarvo.

Koeastiaston lokeroihin lisättiin kesto-
kuivikepohjien seoksia siten, että laatikoissa numero 1 ja 7 oli vaaleaa kuiviketurvetta ja olkea tilavuussuhteessa oli 40/60. Laatikoissa numero 2 ja 8 oli vaaleaa kuiviketurvetta ja olkea tilavuussuhteessa 60/40. Laatikoissa numero 3 ja 5 oli väliturvetta ja olkea tilavuussuhteessa 40/60 sekä laatikoissa 4 ja 6 sahanpurua. Laatikot oli valittu siten, että jokaiselle kuivikeseokselle tuli sekä kulma- että keskilaatikko (Kuva 1).

	L6	L5	L2	L1
1		4	2	3
2		3	1	4
	L8	L7	L4	L3

L = lokero (1-8)

1 Sahanpurua

2 Vaalea kuiviketurve ja olki tilavuussuhteessa 60/40

3 Vaalea kuiviketurve ja olki tilavuussuhteessa 40/60

4 Väliturve ja olki tilavuussuhteessa 40/60

Kuva 1. Kestokuivikepohjat koeastiaston lokeroissa 1–8.

Lokerot täytettiin kuivikeseoksilla siten, että kerrospaksuus oli kaikissa lokeroissa 50 cm. Täytön jälkeen kuivikekerros tiivistettiin painolla. Painoa pidettiin paikallaan 60 sekuntia. Tiivistämisen jälkeen mitattiin kuivikekerroksen paksuus uudelleen. Kuivikeseoksen lisäystä jatkettiin, kunnes kerrospaksuus oli tiivistämisen jälkeen 50 cm. Laatikoihin lisättyjen kuivikeseosten massat on esitetty taulukossa 1

Tiivistämisessä käytettiin painoa, jonka massa määritettiin seuraavasti: Kaavalla 1

Taulukko 1. Koeastioihin tiivistettyjen 50 cm paksujen kestokuivikepohjien

Lokero	Massa, kg	Kestokuivikepohja
1	25	kuiviketurve/olki, 40/60
2	30	kuiviketurve/olki, 60/40
3	22	väliturve/olki, 40/60
4	53	sahanpuru
5	24	väliturve/olki, 40/60
6	54	sahanpuru
7	26	kuiviketurve/olki, 40/60
8	30	kuiviketurve/olki, 60/40

laskettiin täysikasvuisen makaavan sian tarvitsema pinta-ala. Täysikasvuisen sian painoksi oletettiin 105 kg. Makaavasta siasta oletettiin olevan lattiakontaktissa noin 20 % (kaava 2). Tästä laskettiin edelleen sian yhteen laatikkoon aiheuttama kuormitus. Tiivistämisessä käytetyn painon massaksi saatiin 103,42 kg (kaava 3).

Täysikasvuisen makaavan sian tarvitsema pinta-ala (Esmay & Dixon 1986)

$$A = 0,0974 \times W^{0,63} \quad (1)$$

W = täysikasvuisen sian paino, kg, oletus 105 kg

$$A = 0,0974 \times 105^{0,63} = 1,8277 \text{ m}^2$$

Tarvittava pinta-ala, jos makaavasta siasta on 20 % lattiakontaktissa (Esmay & Dixon 1986)

$$A = 0,2 \times 1,8277 \text{ m}^2 = 0,36554 \text{ m}^2 = 3655 \text{ cm}^2 \quad (2)$$

Yhteen laatikkoon (60 cm × 60 cm) kohdistuva kuormitus

$$\frac{105 \text{ kg}}{3655 \text{ cm}^2} = 0,02873 \text{ kg/cm}^2 \quad (3)$$

$$M = (60 \times 60) \text{ cm}^2 \times 0,02873 \text{ kg/cm}^2 = 103,42 \text{ kg}$$

2.1.4 Lietteen lisäys ja kuivikepohjien kääntö

Laboratoriokokeessa käytetty liete haettiin läheisestä lihasikalasta. Kuljetussäiliöön lantakuilusta imetty tuore lietelanta jaettiin kannellisiin muoviasiastioihin, joita oli yhteensä 42 kappaletta. Lietteasiat säilytettiin kokeen ajan tilassa, jonka lämpötila oli noin + 15 °C. Lietteastia tuotiin tutkimustilaan ensimmäistä lisäyspäivää edeltävänä päivänä. Lietteen lämpötilan annettiin tällä tavoin tasaantua yön yli laboratorion lämpötilaan. Jokaista kahden päivän liete-erää varten oli käytössä uusi muoviasiastia.

Muoviastiassa ollut liete sekoitettiin poraan kiinnitetyllä sekoittimella ennen jokaista lisäyskertaa. Lietettä lisättiin lihaskojen kasvatusjaksonsa aikana päivittäin tuottaman lietemäärän mukaisesti (Taulukko 2). Laatikoihin lisättävät lietemäärät punnittiin joka kerta. Lietteen lisäykset tehtiin aamulla työpäivän alkaessa. Perjantaisin lisättiin myös lauantain ja maanantaisin myös sunnuntain lietemäärä. Nämä lisäykset tehtiin iltapäivällä. Lietteen lisääminen aloitettiin jokaisesta laatikosta vuorotellen siten, että ensimmäisellä kerralla aloitettiin laatikosta 1, toisella kerralla laatikosta 2, jne. Näin menetellen lisättiin lietettä vuorotellen ensimmäisenä jokaiseen kahdeksaan laatikkoon jossain vaiheessa.

Lisätty liete sekoitettiin kuivikepohjan pintakerrokseen, kun 30 minuuttia oli kulunut lietteen lisäämisen aloittamisesta.

Taulukko 2. Päivää kohden laskettu lisättävä lietemäärä kahdentoista viikon aikana.

Aika	Tilavuus, l	Paino, g	Aika	Tilavuus, l	Paino, g
viikko 1	0,4	350	viikko 7	1,5	1500
viikko 2	0,5	500	viikko 8	1,5	1500
viikko 3	0,8	750	viikko 9	1,6	1600
viikko 4	0,9	900	viikko 10	1,6	1600
viikko 5	1,1	1100	viikko 11	1,8	1800
viikko 6	1,3	1250	viikko 12	1,8	1800

Sekoitusvyvyys sai maksimissaan olla 20 cm. Sekoittaminen aloitettiin laatikosta, johon lietettä oli ensimmäisenä lisätty ja edettiin lisäysjärjestyksessä. Sekoittamisen jälkeen jokaisen laatikon kuivikepohjat tiivistettiin samaa järjestystä noudattaen kuin lietteen lisääminen ja kuivikepohjien sekoittaminen oli tapahtunut. Tiivistämisessä käytettiin samaa painoa kuin kuivikepohjien perustamisessa. Paino laskettiin laatikkoon vinssin avulla ja sen annettiin olla paikallaan jokaisessa laatikossa 60 sekuntia.

Kestokuivikepohjien perusteellisessa sekoituksessa pintakerrokseen kertynyt liete sekoitettiin koko kuivikepohjaseokseen. Sekä ensimmäisessä että toisessa koejaksoissa kolme ensimmäistä perusteellista sekoitusta tehtiin kahden viikon välein ja seuraavat kuusi sekoitusta viikon välein. Perusteellinen kestokuivikepohjien sekoitus tehtiin myös ensimmäisen koejakson jälkeen. Tässä yhteydessä lisättiin laatikoihin uutta kuiviketta siten, että kuivikekerrosten paksuus oli tiivistämisen jälkeen 50 cm. Lisättyjen kuivikeseosten määrät punnittiin.

2.1.5 Mittaukset ja näytteet

2.1.5.1 Mittaukset

Koeastioissa olevien kestokuivikepohjien lämpötilaa seurattiin tietokoneeseen yhdistetyllä rekisteröivällä tiedonkeruulaitteella (Datataker 200 Datalogger). Mitta-antureina käytettiin T-tyyppin termoelementti-

lankoja, joita pujotettiin muoviputkeen kolme kappaletta. Muoviputkia oli yksi jokaiseen laatikkoon. Muoviputkiin porattiin kolmelle eri korkeudelle ulostuloreiät mittausantureille, jolloin lämpötiloja voitiin mitata 15 cm, 20 cm ja 25 cm syvyydestä. Muoviputkille pistettiin metallipuikolla reiät laatikoiden keskikohtiin. Tiedonkeruulaite ohjelmoitiin mittaamaan lämpötilat 10 minuutin välein koko tutkimusjakson ajan. Lämpötilatulosten analysoinnissa otettiin huomioon vain klo 00.00 – 06.00 välinen aika. Mitta-anturit poistettiin laati-koista lietteen lisäyksen ja kuivikepohjien sekoittamisen ajaksi.

Kuivikepohjien kosteuspitoisuutta seurattiin aistinvaraisesti. Pintakerroksen ollessa märkä tehtiin puristuskoe, jossa kuivikeseosta otettiin käteen kourallinen ja käsi puristettiin nyrkkiin. Mikäli kuivikeseoksesta erottui nestettä, oli kuivike liian märkää ja siitä otettiin näyte kosteuspitoisuuden määrittämistä varten.

Haihtuvan ammoniakkin määrää kestokuivikepohjista mitattiin ensimmäisen tutkimusjakson aikana kaksi kertaa ja toisen tutkimusjakson aikana yhden kerran. Mittaukset tehtiin aktiivisilla ilmaisinputkilla (Dräger). Dräger-putken päähän liitettiin kumiletku, jonka päässä oli rei'itetty metalliputki. Metalliputken ympärille kiinnitettiin kaulus, joka esti vapaasta ilmatilasta tulevat virtaukset. Mittauksen ajaksi metalliputken pää painettiin kuivikepohjaan noin 2 cm:n syvyyteen.

Taulukko 3. Laboratoriokokeessa käytettyjen kuivikepohjien seosaineiden ja lietteen kuiva-aine-, tuhka- ja kokonaistypen pitoisuudet.

Näyte	Kuiva-aine, %	Tuhka, %	N-kok, g/kg
Olki	92	6,8	4,8
Kuiviketurve	54	0,7	4,8
Väliturve	69	3,7	11
Sahanpuru	44	0,1	0,3
Liete	6,6	1,4	5,8

2.1.5.2 Analyysit

Lähtömateriaaleista analysoitiin laboratorioissa kuiva-aine-, tuhka- ja kokonaistyyppi-pitoisuudet kokoomanäytteistä (Taulukko 3). Seuraavat näytteet kestokuivikepohjista otettiin ensimmäisen koejakson lopussa. Edellä mainittujen parametrien lisäksi analysoitiin näistä näytteistä myös pH. Samat analyysit tehtiin myös toisen koejakson aikana käytetystä lietteestä, joka oli eri erää kuin ensimmäisessä jaksossa käytetty.

Toisen koejakson aikana otettiin kaikista kuivikepohjista näytteet, kun koelaatikoista alkoi valua nestettä lattialle. Näistä tehtiin samat analyysit kuin ensimmäisen koejakson lopussa otetuista näytteistä. Toisen jakson lopussa otetuista näytteistä analysoitiin pH sekä kuiva-aine-, tuhka- ja tyyppi-

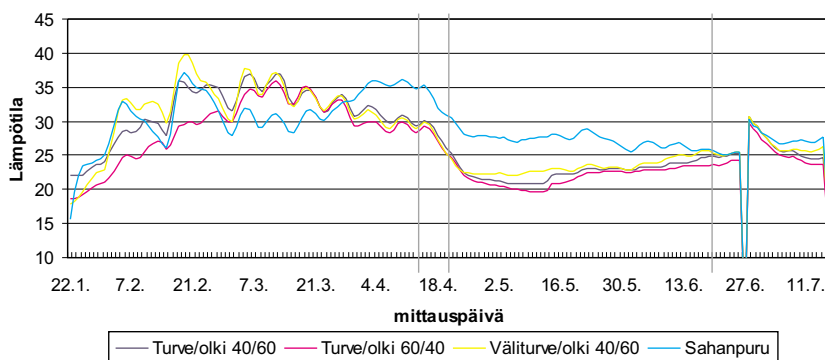
pitoisuudet. Lisäksi tutkimuksen aikana laatikoista suotautuneesta nesteestä määritettiin typpipitoisuus ja pH.

Kaikki laboratorioanalyysit teetettiin Novalab Oy:ssä. Kuiva-ainepitoisuus analysoitiin lämpökaappimenetelmällä. Kuiva-aineesta määritettiin tuhkapitoisuus hehkuttamalla näyte 550 °C:ssa. Näytteiden typpipitoisuuden määrittämisessä käytettiin Kjeldahl-menetelmää ja pH mitattiin ioniselektiivisellä elektrodilla.

2.2 Tulokset ja niiden tarkastelu

Lämpötilan kehittyminen kuivikeseoksissa koejaksojen aikana on esitetty kuvassa 2.

Ensimmäisellä jaksolla kaikkien kuivikeseosten lämpötilat nousivat neljän koevi-



Kuva 2. Lämpötilojen kehittyminen eri kuivikeseoksissa koejaksojen aikana. Poikkiviivoilla on osoitettu jaksojen vaihtuminen sekä seosten vettyminen toisella jaksolla.

kon ajan. Tämän jälkeen ne tasaantuivat 30 ja 35 °C:een välille. Viimeisten kolmen viikon aikana turveseosten lämpötilat alkoivat hitaasti laskea, sen sijaan sahanpurukuivikkeen lämpötila nousi hieman. Kuivikepohjien perusteellisten kääntöjen vaikutus lämpötilaan on nähtävissä selvästi kuvaajan aaltomaisesta muodosta. Kääntöajankohdat osuvat säännönmukaisesti aaltojen pohjaan.

Toisella jaksolla seosten lämpötilat laskevat huomattavasti. Turveseosten lämpötilat olivat 20 ja 25 °C:een välillä ja sahanpurun 25 ja 30 °C:een välillä. Toisella koejaksolla seosten perusteellisella käännöllä ei enää ollut havaittavaa merkitystä lämpötiloihin. Kesäkuun loppuun ajoittuva lämpötilapiikki johtuu laboratoriotilan lämpenemisestä viikonlopun sähkökatkoksen aikana.

Kuivikeseosten kuiva-aine- ja tuhkapitoisuudet kohosivat koejaksojen aikana (Taulukko 4). Kuiva-aineen kokonaismäärä ei kohonnut niin paljon kuin laskennallisesti olisi voinut odottaa. Sen sijaan tuhkan määrä koejaksojen lopussa oli huomattavasti laskennallista suurempi. Tulosten perusteella kaikissa kuivikeseoksissa on tapahtunut kompostoitumista.

Kokonaistypen määrä kuivikeseoksissa kasvoi hitaammin kuin mitä niihin lisättiin (Taulukko 5), eli seoksista haihtui typpeä. Typen hävikki oli vähäisin (55 %) välitur-

vetta sisältäneessä seoksessa, joskin turpeiden keskinäinen ero oli hyvin pieni. Suurinta typen hävikkiä (70 %) oli sahanpurussa, mikä vastaa Kaufmannin et al. (1998) käytännön mittakaavan kokeesta saamaa tulosta (74,1 %). Kun kokeen aikainen typpihävikki muunnetaan aikayksikköön, saadaan kuiviketurve-olki 40/60 -seoksen typpihävikki vuorokaudessa 4,9 g ja vastaavasti kuiviketurve-olki 60/40 -seoksen 4,5 g, väliturve-olki 40/60 -seoksen 4,1 g sekä sahanpurun 5,6 g.

Typpihävikkiä selvitettiin myös vapautuvan ammoniakkin mittauksilla (Taulukko 6). Taulukossa esitetyt arvot ovat kultakin mittauskerralta useamman mittauksen keskiarvoja. Myös nämä tulokset osoittavat, että eniten typpeä vapautui sahanpurusta. Eri turveseosten keskinäinen ero näissäkin mittauksissa on pieni. Tulokset ovat saman suuntaisia kuin Jeppsson (1998) on mitannut omassa kokeessaan. Hänen mukaansa turve-olki -seos (60/40) vähentää ammoniakkin haihtumista noin 72 % sahanpurun verrattuna. Persson (1996) on mitannut purupohjan ammoniakkiemission määräksi 512 g/h, mikä on huomattavasti enemmän kuin tästä kokeesta tehty typpitappiolaskelma osoittaa. Yhtenä syynä eroon on Perssonin kokeen korkeammat lämpötilat sekä sikalan sisällä että purupohjassa.

Taulukko 4. Kuivikeseosten kuiva-aineen ja tuhkan määrät laboratorioskokeen eri vaiheissa sekä laskennallinen lopputilanne.

	Lähtötilanne		I jakson loppu		II jakson loppu		Laskennallinen lopputilanne II	
	Kuiva- aine kg	Tuhka kg	Kuiva- aine kg	Tuhka kg	Kuiva- aine kg	Tuhka kg	Kuiva- aine kg	Tuhka kg
Kuiviketurve 40/60	22	1,1	22	2,5	27	3,6	35	0,6
Kuiviketurve 60/40	21	0,9	24	2,3	29	3,8	35	0,5
Väliturve 40/60	19	1,3	22	2,7	29	4,0	35	0,6
Sahanpuru	23	0,1	27	1,5	32	3,1	37	0,4

Taulukko 5. Kuivikeseosten kokonaistypen määrät laboratoriokekeen eri vaiheissa sekä laskennallinen lopputilanne I ja II jakson jälkeen.

	Lähtötilanne Typeä, g	I jakson loppu Typeä, g	Laskennallinen lopputilanne I Typeä, g	II jakson loppu Typeä, g	Laskennallinen lopputilanne II Typeä, g
Kuiviketurve 40/60	120	510	710	450	1300
Kuiviketurve 60/40	140	590	740	530	1300
Väliturve 40/60	170	520	760	580	1300
Sahanpuru	18	220	610	440	1400

Taulukko 6. Kuivikeseoksista mitattuja vapautuvan ammoniakkin keskimääräisiä pitoisuuksia, ppm.

Seos/mittauspäivä	12.2.1999	25.3.1999	25.5.1999
Kuiviketurve 40/60	6,0	0,7	0,5
Kuiviketurve 60/40	5,0	2,0	0,2
Väliturve 40/60	9,0	2,5	0,9
Sahanpuru	11	2,0	1,0

2.3 Johtopäätökset

Kaikkien kompostipohjien lämpötilat olivat ensimmäisellä koejaksolla keskimäärin yli + 30 °C, jolloin kaikissa tapahtui kompostoitumista. Kääntö nosti lämpötiloja jonkin verran ensimmäisellä jaksolla, mutta toisella jaksolla mitattavissa ollutta nousua ei enää lämpötiloissa tapahtunut. Typpihäviö oli turveseoksilla pienempi kuin purulla. Turpeen ja oljen seossuhteella ei ollut vaikutusta typpihäviöön.

Laboratoriokekeen perusteella maatalamittakaavan kokeeseen päädyttiin suosittelemaan kuiviketurve-olkiseosta tilavuussuhteella 50/50. Kuivikepohjia ei esitetty käännettäviksi, koska käännöllä ei ollut havaittu olevan pitkäaikaista vaikutusta pohjien toimintaan.

3 Tutkittavat tilat

Tutkimukseen osallistui viisi sikalaa Keski-Suomesta. Sikalat toimivat kekeen alkuvaiheessa purupohjalla, mutta vaihtoivat purun turve-olkiseokseen syksyllä 1999. Turvepohjan aikana tiloilla tehtiin erilaisia mittauksia talvella ja kesällä kolmesta viiteen kertaan tilaa kohti. Viides tila sai turvesikalansa valmiiksi huhtikuussa 2000, joten tämän tilan osalta mittaukset rajoittuivat turvepohjan vaikutusten seurantaan keksäaikana.

3.1 Tila 1

Tilalla toimivat kasvatus- ja emakkosikala, joiden lannankäsittely oli toteutettu lietelantaperiaatteella. Näiden viereen oli rakennettu kompostipohjasikala, jossa kesto-

kuivikepohjan periaatteiden mukaisesti lanta ja virtsa imeytettiin noin 60 cm:n paksuiseen purukerrokseen sikojen alla. Syys-lokakuun vaihteessa 1999 purupohja muutettiin turve-olkipohjaksi. Kompostisikala oli jatkuvatäyttöinen kasvatussikala, jossa oli viisi karsinaa (a' 30 m²). Jokaisessa karsinassa oli karsinan päädyssä ruokintaruuhi, jonka päällä oli vesinipat. Veden saanti oli rajoitettua. Sikalassa oli lieimiruokinta, jossa seossuhde oli kolme osaa vettä ja yksi osa jauhoja. Ruokinnassa ei tapahtunut tutkimuksen aikana muutoksia. Mittauskerroilla sikojen määrä vaihteli 74:stä 132:een sikaan.

Kompostisikalan ilmanvaihto oli toteutettu katolle sijoitetuin lämmönvaihtimin (2 kpl) ja seinien korvausilma-aukoin. Talvella kahdella ensimmäisellä mittauskerralla turvepohjan aikana lämmönvaihtimet olivat ns. talviasennossa eli korvausilma ja poistoilma ohjattiin saman kokeen kautta lämmön talteenottoa hyväksikäyttäen. Kesällä lämmönvaihtimet toimivat poistopuhaltimina, ja korvausilma ohjattiin sikalaan seinillä olleiden aukkojen kautta. Purupohjan mittausten aikana ilmanvaihto oli ns. kesäasennossa. Lämmönvaihtimet toimivat lämpötilaohjatusti. Kompostisikalassa oli hoitokäytävissä lisälämmitysmahdollisuus, jota käytettiin kovilla pakkasilla.

3.2 Tila 2

Tilalla oli yhdistelmäsikala, jossa oli käytössä lietelantajärjestelmä. Tämän vieressä erillisessä rakennuksessa toimi kompostipohjasikala, jossa käytettiin aluksi purua kestokuivikkeena. Pohja vaihdettiin turve-olkiseokselle marraskuussa 1999, mutta turvepohjan alle jätettiin vanhaa purupohjaa. Kompostisikala oli jatkuvatäyttöinen kasvatussikala, jossa oli kolme 48 m²:n karsinaa käytössä ja kaksi samankokoista tyhjillään. Jokaisessa karsinassa oli kaksi kuivaruokkijaa, joissa oli vesinipat. Vesi oli jatkuvasti saatavilla. Tutkimuksen aikana ei ruokinnassa tapahtunut muutoksia.

Mittauskerroilla sikojen määrä vaihteli

35:stä 90:een sikaan. Muista tiloista poiketen kompostisikalassa ei ollut välikattoa, joten ilmatila karsinoiden yläpuolella oli huomattavan suuri.

Kompostisikalan ilmanvaihto oli toteutettu kahden katolle sijoitetun lämmönvaihtimen ja seinien korvausilma-aukkojen avulla. Talvella kahdella ensimmäisellä mittauskerralla turvepohjan aikana ilmanvaihto toimi lämmönvaihtimien kautta, kesällä korvausilma otettiin seiniltä. Purupohjan mittausten aikana ilmanvaihto oli ns. kesäasennossa. Lisälämmityksenä käytettiin kovilla pakkasilla hoitokäytävien kohdalla olevaa lattialämmitystä.

3.3 Tila 3

Tilalla oli yhdistelmäsikala, jossa oli käytössä kuivalantajärjestelmä. Kuivalanta varastoitettiin sikalan takapihalle betonilaatalle. Vieressä oli kompostisikala, jossa aluksi pohjamateriaalina ollut puru vaihdettiin turve-olkiseokseen syyskuussa 1999. Kompostisikala toimi yhdistelmäsikalana, jossa oli samassa tilassa sekä lihasika- (120 m²) että joutilasemakkokarsinat (125 m²). Lihasioja oli mittauskerroilla 100–105 ja emakoita 41–49. Lihasiat olivat ensimmäisellä mittauskerralla yhdessä isossa karsinassa. Iso karsina jaettiin kahdeksi karsinaksi väliaidalla ja muut mittaukset tehtiin kahdesta karsinasta. Isommassa karsinassa oli viisi ja pienemmässä kaksi kuivaruokkijaa. Kuivaruokkijoissa oli vesinipat. Vesi oli vapaasti saatavilla. Emakot olivat ensimmäisellä mittauskerralla viidessä karsinassa. Muilla mittauskerroilla emakot oli jaettu neljään karsinaan.

Kompostisikalan ilmanvaihto oli toteutettu lämmönvaihtimin (2 kpl katolla) ja korvausilma-aukoin. Kaikkien mittauskerrojen aikana lämmönvaihtimet toimivat pelkästään poistopuhaltimina ja korvausilma otettiin seinillä olleiden luukkujen kautta. Kesäaikana oli lisäksi käytössä sikalan päädyssä sijainnut poistopuhallin. Kompostisikalassa oli päätyseinällä vesipatterilla toiminut lisälämmitysmahdollisuus.

3.4 Tila 4

Tilalla oli lietelantajärjestelmällä toimiva kasvatussikalala, jonka jatkeena oli 240 m²:n kokoinen kompostisikalala. Mittauskerroilla sikoja oli neljässä karsinassa 210–280. Aluksi pohjamateriaalina toiminut puru vaihdettiin turve-olkiseokseen syys-lokuun vaihteessa 1999. Kompostisikalala toimi kertatäyttöisenä kasvatussikalana. Ensimmäisellä käynnillä jokaisessa karsinassa oli kolme kuivaruokkijaa. Näiden lisäksi oli karsinoissa irrallinen rehukaukalo ja vesiastia. Kaikissa kuivaruokkijoissa oli vesinipat. Vesi ja rehu olivat jatkuvasti saatavilla. Ennen toista mittauskertaa oli kuhunkin karsinaan lisätty kaksi vesinipallista kuivaruokkijaa. Rehukaukalot ja vesiastiat oli poistettu karsinoista. Muilta osin ruokinta pysyi koko tutkimuksen ajan samana.

Kompostisikalalan ilmanvaihto oli toteutettu katon poistoilmapuhaltimien ja seinien korvausilmaluukuina. Kolmesta puhaltimesta keskimäinen piti yllä minimi-ilmanvaihtoa, muut käynnistyivät lämpötilaohjatusti. Talvella mittauksen aikana vain osa korvausilmaluukuista oli auki, kesällä kaikki luukut olivat auki. Lisälämmitystä varten oli kiinteä 30 kW:n lämpöpuhallin seinällä, jota käytettiin vain talvella sikalan ollessa tyhjillään.

3.5 Tila 5

Tilalla oli yhdistelmäskalala, jossa oli kuivlantajärjestelmä, ja turpeeseen imeytetty lanta ja virtsa varastoitettiin pihalla betonilaa-talla. Samassa rakennuksessa, tosin omissa hallissa, toimi jatkuvatäyttöisenä kasvatussikalana turvepohjainen kompostisikalala. Kompostisikalala valmistui vasta tutkimuksen käynnistyttyä huhtikuussa 2000, ja ensimmäiset mittaukset sikalassa tehtiin noin kaksi viikkoa toiminnan aloittamisesta. Pohjaratkaisu oli muista tiloista poikkeava, sillä kestokuivikemateriaalina käytettiin pelkkää turvetta. Lisäksi pohjan paksuus, 15–30 cm, oli reilusti alle puolet muiden tilojen vastaavasta. Kuudessa karsinassa kar-

sina-alaa oli 300 m², josta puolet oli turvepohjaa keskellä karsinaa. Karsinoiden molemmissa päissä oli leveä ruokintakynnyks. Kompostisikalassa oli liemiruokinta ja rehua jaettiin kolme kertaa päivässä. Jokaisessa karsinassa oli yksi vesinippa väliaidassa turvepohjan päällä. Vesi oli vapaasti saatavilla. Ensimmäisellä mittauskerralla oli vain karsinan toisen päädyn ruokintaruuhi käytössä. Toisella mittauskerralla olivat molemmat ruokintaruuhet käytössä. Syyskesän mittauksessa oli kahdesta karsinasta toisen päädyn ruokintakynnyks pois käytöstä. Mittauskerroilla sikoja oli karsinoissa 89–154.

Kompostisikalalan ilmanvaihto toimi neljän katolle sijoitetun poistoilmapuhaltimen ja korvausilmaluukkujen avulla. Korvausilmaluukut oli sijoitettu sisäkattoon poistoilmapuhaltimien molemmille puolille. Korvausilma otettiin sikalaa hieman lämmentyneenä ullakkotilan kautta. Puhaltimista kolme toimi jatkuvasti hoitaen minimi-ilmanvaihdon tarvetta, neljäs käynnistyi tarvittaessa lämpötilaohjatusti. Lisälämmityksenä ruokintakynnyksien lattialämmitys oli mittauksen aikana päällä.

4 Tutkimuksen käytännön toteutus

Tutkimukseen osallistuneilta tiloilta kerättiin purupohjan toiminnan aikana työympäristönäytteitä sekä tehtiin ympäristöselvityksiä vertailukohdaksi turvepohjan toiminnalle (Kuva 3). Puru- ja turvepohjan aikana työympäristön tilaa seurattiin ns. taustatilanteessa ja lisäksi arvioitiin eri työvaiheiden vaikutusta työilman laatuun. Tutkittavana työvaiheena oli eri tiloilla pohjan kääntö, sikojen siirto karsinoista tai pohjan osittainen uudistaminen määrän massan poisviennillä ja uuden turpeen levityksellä.

Työhygieenisinä selvityksinä sikaloitten ilmasta määritettiin kemiallisia ja mikrobiologisia työympäristötekijöitä. *Ympäristösel-*

	1999							2000								
	K	H	E	S	L	M	J	T	H	M	H	T	K	H	E	S
Ympäristönäytteet																
- vesinäytteet	-					-			-			-			-	
- päästöt ilmaan			-			-						-		-	-	
- kertakysely					-					-				-	-	
Työhygieeniset näytteet			-			-				-			-		-	
Pohjan toiminta						-			-					-	-	
Terveyskysely			-				-			-						

Kuva 3. Turvepohjasikaloiden näytteenottoaikataulu. Kesä-elokuussa 1999 näytteet kerättiin purupohjan toiminnan aikana. Purupohja vaihdettiin turvepohjaksi lokakuussa 1999. K = kesäkuu jne.

vityksinä tutkittiin sikaloiden vaikutuksia pinta- ja pohjavesiin, sikaloiden ammoniakki- ja hajuyhdisteiden päästöjä poistoilmakanavasta ympäristöön sekä kyseltiin lomakkeella tilojen naapuruston kokemia mahdollisia ympäristöhaittoja. *Terveysseurantaa* toteutettiin oirekyselyllä, oireseurannalla ja uloshengityksen huippuvirtausseurannalla. Lisäksi selvitettiin *turvepohjan toimintaa* ja *taloudellisuutta* erilaisin mittauksin ja analyysin.

4.1 Turvepohja

4.1.1 Pohjan toimivuus

Kompostisikaloiden pohjien toimivuutta seurattiin mittaamalla lämpötiloja ja tutkimalla turvepohjanäytteistä kompostoitumista kuvaavia parametrejä. Pohjien toimivuutta seurattiin sikalakäynnein siten, että sikaloissa 1–3 käytiin neljä kertaa ja sikaloissa 4–5 kolme kertaa koejakson aikana. Lämpötilamittausten ja näytteistä tehtyjen analyysien lisäksi seurattiin sikalakäyntien yhteydessä pohjaan kohdistuvaa kuormitusta, ilmanvaihdon yleistä toimintaa, sikojen käyttäytymistä, lantakerroksen paksuutta sekä karsinoiden lanta-alueiden pinta-aloja.

4.1.1.1 Turvepohjan toiminta ja olosuhteet sikaloissa

Ensimmäisen tilakäynnin yhteydessä selvitettiin kompostipohjan täyttöön ja kasvatustason toimintaan liittyvät asiat. Jatkossa seurattiin näissä toiminnoissa tapahtuvia muutoksia. Lisäksi jokaisen sikalakäynnin yhteydessä selvitettiin pohjan hoitoa, kasvatustason täyttöä ja sikojen käyttäytymistä sekä terveyttä koskevat asiat. Aistinvaraisesti arvioitiin sikalan siisteyttä ja hajua, sikojen puhtautta ja käyttäytymistä.

Pohjan täyttöä koskevissa tiedoissa selvitettiin kompostipohjalla käytetyt seosaineet (turve, olki), niiden käyttömäärät ja seossuhde. Lisäksi selvitettiin millaisia laitteita ja menetelmiä täytössä käytettiin sekä kuinka paljon aikaa täyttöön kului. Kokemukset kuivikkeen käsittelystä sikatiloilla kirjattiin ylös ensimmäisestä käyntikerrasta lähtien.

Jokaisen käyntikerran yhteydessä selvitettiin, millaisia pohjan hoitotoimenpiteitä sikalassa oli tehty edellisen käynnin jälkeen ja kuinka paljon hoitotoimenpiteet veivät työaikaa. Hoitotoimenpiteitä olivat pohjan sekoittaminen, kostutus, kuivikkeiden vaihto ja lisäys. Lisäksi kirjattiin pohjaan käytettyjen kuivikkeiden määrä ja kompostipohjan paksuus täytön jälkeen.

Pohjaan kohdistuvaa kuormitusta seurattiin laskemalla karsinoittain sikamäärät ja arvioimalla keskipainot. Näiden tietojen ja pohjan pinta-alan perusteella laskettiin karsina-ala sikaa kohti ja karsinaneliöön kohdistuva keskimääräinen kuormitus. Pohjan toiminnan seurannassa kiinnitettiin huomiota myös karsinoiden lanta- ja upotavien alueiden kokoon. Kasvatusosastoista laadittuihin pohjapiirustuksiin merkittiin edellä mainittujen alueiden sijainnit ja prosenttiosuudet karsina-alasta jokaiselta sikalakäynniltä. Samassa yhteydessä selvitettiin lantakerroksen keskimääräinen paksuus kaivamalla pistolapiolla kompostipohjaa lanta-alueen kohdalta kuivaan kerrokseen asti. Lisäksi aistinvaraisesti tehtiin havaintoja kasvatusosaston siisteydestä ja hajusta.

Turvepohjan vaikutusta sikojen terveyteen ja käyttäytymiseen seurattiin tiloilta saatujen tietojen ja mittauskäyntien yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella. Käyttäytymisessä kiinnitettiin erityisesti huomiota sikojen rauhallisuuteen/aggressiivisuuteen ja mahdolliseen hännänpuretaan. Käyttäytymisen lisäksi arvioitiin myös sikojen puhtautta.

4.1.1.2 Lämpötila

Ensimmäisen käyntikerran yhteydessä valittiin karsinoiden pohjien lämpötilojen mittauskohdat siten, että ne olivat karsinassa tasaisin välimatkoin edustaan sekä makuu- että lanta-alueiden lämpötiloja. Pohjan lämpötilamittaukset pyrittiin tekemään ensimmäisen käynnin yhteydessä valituista mittauspisteistä kaikilla käyntikerroilla. Mittauspisteiden määrän valintaan vaikutti karsinan koko. Lihaskojen karsinoissa oli mittauspisteitä 6–10 ja emakkokarsinoissa 3–5 kappaletta.

Pohjien lämpötilat mitattiin lämpömittariin (Wallac) kiinnitetyllä metrin mittaisella puikkoanturilla. Lämpömittarin lukemataarkkuus oli 1 °C ja mittausvirhe +37 °C:ssa 1,6 %. Pohjien lämpötilojen mittausvyvyys valittiin sikalan turvepohjan paksuuden perusteella. Sikaloissa 1–3 mitattiin

pohjan lämpötila 20 cm:n syvyydestä ja sikaloissa 4–5 10 cm:n syvyydestä. Sikalassa 5 oli pohjan paksuus osassa karsinoita toisella ja kolmannella mittauskerralla paikoin alle 10 cm, jolloin lämpötilamittaukset tehtiin 5 cm:n syvyydestä.

Lämpötilamittauksessa työnnettiin anturi, sikalasta riippuen 10 tai 20 cm:n merkkiviivaan asti kompostipohjaan. Lämpötilan annettiin tasaantua ja saatu mitaustulos kirjattiin ylös 1 °C:een tarkkuudella. Jokaisesta mittauspisteestä tehtiin käyntikerralla vain yksi mitaus.

4.1.1.3 Kompostipohjanäytteet

Mittauskäynneillä otettiin sikalakohtaisesti kokoomanäytteet karsinoiden makuu- ja lanta-alueilta sekä lannan alta. Kaikilla käyntikerroilla ei saatu jokaisesta karsinasta näytteitä lanta-alueelta ja lantakerroksen alta. Makuualueiden näytteet otettiin noin 10 cm:n syvyydestä kolmesta kohdasta kutakin karsinaa. Lanta-alueelta otettiin lantanäytettä pintakerroksen alapuolelta siten, ettei näytteenä ollut ”tuoretta” lantaa. Lannan alapuolelta otettu näyte oli lantakerroksen alla olevaa kuivaa kompostipohjaa. Emakkokarsinoista otettiin ainoastaan yksi kokoomanäyte, koska selvää makuu – tai lanta-alueelta ei ollut havaittavissa. Näytteet kerättiin karsinoista 10 litran muovipäriihin, joista huolellisen sekoituksen jälkeen jokaista kokoomanäytettä laitettiin kahteen muoviseen 0,2 litran näytepurkkiin.

Kompostipohjista otetut näytteet säilytettiin kylmiössä ennen analysointia. Näytteiden analysointi pyrittiin tekemään seuraavana päivänä näytteenotosta. Näytteistä tutkittiin kuiva-aine-, hiili- ja orgaanisen aineen pitoisuus.

Kuiva-ainepitoisuuden määrittämisessä käytettiin standardista SFS 5542 mukailtua menetelmää (Kempainen 1984), (Kuusava 1995). Makuualueelta, lantakerroksesta ja lantakerroksen alta otetut näytteet anosteltiin foliovuokiin ja punnittiin niissä. Punnitut näytteet laitettiin kuivausuuniin

105 °C:een yhdeksi vuorokaudeksi, jonka jälkeen kuivien näytteiden painot punnittiin. Punnittujen näytteiden painoista vähennettiin foliovuokien painot. Punnitukset tehtiin vaa'alla (Mettler PE 6000), jonka mittaustarkkuus on 0,1 g. Näytteistä laskettiin kuiva-ainepitoisuus.

Orgaanisen aineen pitoisuuden määrittämistä varten näytteet tuhkaattiin (Kuusava 1995). Ennen näytteiden tuhkaamista tyhjiä haihdutusmaljoja poltettiin 550 °C:ssa yksi tunti. Polton jälkeen haihdutusmaljat jäädytettiin eksikaattorissa ja punnittiin. Haihdutusmaljoihin annosteltiin kuivattua näytettä ja niiden painot punnittiin. Punnituksen jälkeen näytteitä poltettiin 550 °C:ssa kolme tuntia. Polton jälkeen näytteet siirrettiin eksikaattoriin jäähtymään ja ne punnittiin jäädytyksen jälkeen. Punnitukset tehtiin vaa'alla (Precisa 310 M), jonka mittaustarkkuus on 0,001 g. Näytteistä laskettiin orgaanisen aineen prosenttiosuus sekä hiilen prosenttiosuus jakamalla orgaanisen aineen prosenttiosuus 1,8:lla.

4.1.2 Pohjan mikrobit

Pohjan mikrobin avulla tutkittiin ulosteen hygienisoitumista. Neljästä sikalasta saatiin alkunäytteet ennen turpeen käyttöä. Näytteitä otettiin kuivikepohjista turpeen käytön aikana eri vaiheista kaikilta viideltä tutkitulta tilalta. Näytteet otettiin erikseen sekä märältä puolelta että kuivalta puolelta, jolloin kuivalta puolelta tutkittiin 16 ja märältä 13 näytettä. Lisäksi tutkittiin kolme osin kompostoitunutta, jo eläinten alta poistettua kuivikepohjanäytettä, jotka olivat peräisin kahdelta eri tilalta.

Näytteet kuljetettiin mahdollisimman nopeasti laboratorioon ja säilytettiin ennen tutkimusta kylmässä (noin 5–6 °C) ja määrittäminen aloitettiin 24 h:n sisällä näytteenotosta. Hygieniaa tutkittiin määrittämällä sekä suolistovirusia että suolistobakteereita indikoivia mikrobeja. Jokainen näyte tutkittiin ottamalla kolme osanäytettä, jotka tutkittiin erikseen. Tulokset laskettiin geo-

metrisina keskiarvoina. Jos tulos jäi jostakin osanäytteestä alle määritysalarajan, geometrisen keskiarvon ja tilastollisen merkitsevyyden laskemisessa käytettiin määritysalarajan puolikasta.

Kokonaiskoliformit määritettiin pintaviljelytekniikalla vesi- ja ulostetutkimuksissa käytetyn standardin SFS 3016 mukaisesti maljoille (m-ENDO-agarLES, Difco 0736-17-2). Pintaviljelyllä määritettiin myös fekaalikoliformit standardin SFS 4088 mukaisesti käyttäen mFC-agar-alustaa (Difco, 0677-17-3); ja enterokokit (fekaalistreptokokit) standardin SFS 3014 mukaisesti sappi-eskuliini-atsidi-agarilla (Difco 0525-17) sekä fekaaliklostridit standardin EN 26461 kuvaamalla, itse tehdyillä agar-alustamaljoilla, joita inkuboitiin anaerobiastioissa (Oxoid, Anaerobic Jar). Kolifaagimääritykset tehtiin kaksikerrostekniikalla isäntinä *Escherichia coli* ATCC 13706 ja 15597 (Rajala-Mustonen & Heinonen-Tanski 1994) DNA-kolifaageille sekä lähinnä RNA-kolifaageille. Fekaalikoliformit ja enterokokit inkuboitiin 1 vrk vesihauteessa 44,5 °C ja muut mikrobit lämpökaapissa 37 °C (Memmert). Menetelmät sallivat klostrideilla ja kolifaageilla 0,1 g:n ja muilla 0,01 g:n näyte-erän tutkimisen eli määrittämisen alarajat olivat 10 kpl/g tai 100 kpl/g tuotetta näytettä.

4.2 Työympäristö

4.2.1 Hengittävä pöly

Sikaloiden ilman hengittävän pölyn pitoisuudet mitattiin turvepohjalla kahdesta kiinteästä mittauspisteestä sekä työvaiheen aikana näiden lisäksi työntekijän hengitysvyöhykkeeltä. Pölynäytteet kerättiin IOM-keräimellä selluloosa-asetaattisuodattimelle (Mark & Vincent 1986). Näytteenotto-pumpun (SKC-224) tilavuusvirta oli 2 l/min. Näytteenottoaika oli tunti taustanäytteiden osalta ja 30–60 min työvaiheiden aikana. Näytteiden pölypitoisuudet määritettiin gravimetrisesti.

4.2.2 Ammoniakki ja hiilidioksidi

Työilman ammoniakki- ja hiilidioksidipitoisuus määritettiin suoraanosoittavilla diffuusioputkilla (Dräger 20/a-D ja Dräger 500/a-D). Putket asetettiin kahteen kiinteään mittauspisteeseen taustan ja työvaiheiden aikana. Näytteenottoaika oli tunti, jonka jälkeen pitoisuus luettiin välittömästi putken pitoisuusasteikolta.

4.2.3 Rikkiyhdisteet

Orgaaniset rikkiyhdisteet kerättiin näytteenottopumpulla (SKC-224) vakuumiteknikalla muovilaminaattipussiin kiinteästä mittauspisteestä taustan ja työvaiheen aikana. Näytteet analysoitiin liekkifotometridetektorilla varustetulla kaasukromatografilla (AID Model 621-19, USA) (Kangas et al. 1987).

4.2.4 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli ns. VOC-yhdisteet (=Volatile Organic Compounds) kerättiin imemällä pumpun (SKC tai Gilian) avulla sikalan ilmaa kiinteästä mittauspisteestä työntekijän hengityskorkeudelta adsorptiohartsia (Tenax GR, 200 mg) sisältävien lasiputkien läpi tilavuusvirralla 100 ml/min, jolloin haihtuvat, haisevat orgaaniset yhdisteet jäivät hartsiin kiinni. Näytemäärät olivat 2–7 litraa (taustamittauksessa tavallisimmin 6 l). Haihtuvat, haisevat orgaaniset yhdisteet irrotettiin adsorptiohartsista kuumentamalla adsorptioputkea 180 °C:ssa ja puhaltamalla sen läpi puhdasta heliumia (terminen desorptio-menetelmä).

Yhdisteet johdettiin kaasukromatografi/massaspektrometri-laitteistoon (Hewlett Packard 5890 series II / VG AutoSpec Mass Spectrometer), johon oli yhdistetty samanaikainen haistelu (Veijanen 1990). Analyysilaitteistossa haihtuvien aineiden seoksesta yhdisteet eroteltiin ja erottuneet yh-

disteet haisteltiin yksitellen haistelusuppilosta. Haistelun perusteella keskityttiin tunnistamaan erityisesti pahanhajuisia yhdisteitä (Louhelainen et al. 2001). Tietokoneelle tallennettiin yhdisteistä saadut massaspektrit, joiden avulla yhdisteiden kemiallinen rakenne voitiin selvittää. Sikalailmasta tunnistettujen haihtuvien yhdisteiden pitoisuudet laskettiin määritysrajan ollessa alimmillaan 0,5 µg/m³.

4.2.5 Ilman ja kuivikkeiden mikrobit

Tutkimuksessa määritettiin sikaloiden ilmasta elinkykyisten mikrobien pitoisuudet ja kokonaisitiöpitoisuudet. Näytteitä kerättiin taustatilanteessa sekä työvaiheiden aikana. Lisäksi kerättiin materiaalinäytteitä mikrobimäärityksiä varten puhtaista ja sikojen karsinasta kuivikkeena olevista materiaaleista. Tulokset laskettiin geometrisina keskiarvoina.

4.2.5.1 Ilmanäytteet

Elinakykyiset mikrobit

Elinakykyisten mikrobien näytteet otettiin ilmasta 6-vaiheimpaktorilla (Andersen 10–800) tilavuusvirralla 28,3 l/min kiinteästä mittauspisteestä (Andersen 1958). Näytteenottoaika oli 1–3 minuuttia. Taulukossa 7 on esitetty mikrobien määrittämisessä käytetyt kasvatusalustat, -lämpötilat ja -ajat. Näytteistä määritettiin mesofiilisten eli huoneen lämmössä viihtyvien, kserofiilisten eli kuivemmissa oloissa viihtyvien ja termotoleranttien eli lämpösietoisten sienitiöiden, gram-negatiivisten bakteerien ja termofiilisten eli lämpöhakuisten aktinobakteerien pitoisuudet. Sienipesäkkeet tunnistettiin kasvatuksen jälkeen mikroskopimalla laji/sukutasolle. Termofiiliset aktinobakteerit tunnistettiin lajitasolle. Tulokset ilmoitetaan yksikössä cfu/m³ (cfu = colony forming unit = pesäkkeen muodostava yksikkö).

Taulukko 7. Elinkykyisten mikrobien määrittämisessä käytetyt kasvatusalustat, -lämpötilat ja -ajat.

Mikrobiryhmä	Kasvatusalusta	T (° C)	Aika (vrk)
Mesofiiliset sieni-itiöt	Rose Bengal-mallasuute-agar (Hagem)	25	7
Kserofiiliset sieni-itiöt	Dikloranglyseroli-18-agar (DG18)	25	7
Termotolerantit sieni-itiöt	Dikloranglyseroli-18-agar (DG18)	40	5
Termofiiliset aktinobakteerit	1/2-vahva Nutrient-agar	55	3
Gram-negatiiviset bakteerit	Eosiinimetyleenisini-agar (EMB)	37	2

Kokonaisitiöt

Kokonaisitiöpitoisuuden määrittämistä varten sikaloista kerättiin ilmanäytteitä kalvosuodattimelle (Nuclepore 0,4 µm) SKC:n pumpulla tilavuusvirralla 2 l/min. Näytteenottoaika oli 0,5–1,5 h. Näytteenoton jälkeen suodattimilta määritettiin kokonaisitiöpitoisuudet akridiini-oranssi-värjäykseen perustuvalla Camnea-menetelmällä (Palmgren et al. 1986). Tulokset ilmoitetaan yksikössä kpl/m³.

4.2.5.2 Materiaalinäytteet

Materiaalinäytteet pilkottiin pienemmiksi paloiksi ja niitä punnittiin 1–5 grammaa. Näytteisiin lisättiin laimennosliuosta, minkä jälkeen liuoksia pidettiin ultraäänihauteessa 15 minuuttia ja ravistelijassa 30 minuuttia. Liuoksista tehtiin laimennossarjat, jotka viljeltiin kasvatusalustoille. Näytteistä määritettiin elinkykyisten mesofiilisten, kserofiilisten ja termotoleranttien sieni-itiöiden sekä mesofiilisten ja termofiilisten aktinobakteerien pitoisuudet (cfu/g)

(Taulukko 8). Sienipesäkkeet tunnistettiin kasvatuksen jälkeen mikroskoipoimalla laji/sukutasolle. Mesofiilisten bakteerien näytteistä määritettiin kokonaispitoisuuden lisäksi aktinobakteerien pitoisuus. Termofiiliset aktinobakteerit tunnistettiin lajitasolle. Tulokset ilmoitetaan yksikössä cfu/g.

4.2.6 Endotoksiini

Endotoksiininäytteet kerättiin kuumasteriloiduille IOM-keräimessä (Mark & Vincent 1986) oleville lasikuitusuodattimille soveltaen SFS-EN 689 -standardia. Taustanäytteet otettiin kiinteästä mittauspisteestä 1,5 metrin korkeudelta ja työvaiheiden aikaiset näytteet kiinteiden mittauspisteiden lisäksi työntekijäkohtaisesti hengitysvyöhykkeeltä. Näytteenottoaika oli 1 tunti. Näytteistä määritettiin endotoksiinipitoisuudet Limulus Amebosyytti Lysaatti-entsyymiin perustuvalla spektrofotometrisellä menetelmällä (Laitinen et al. 1994). Tulokset ilmoitetaan yksikössä ng/m³.

Taulukko 8. Materiaalinäytteiden mikrobien määrittämisessä käytetyt kasvatusalustat, -lämpötilat ja -ajat.

Mikrobiryhmä	Kasvatusalusta	T (° C)	Aika (vrk)
Mesofiiliset sieni-itiöt	Rose Bengal-mallasuute-agar (Hagem)	25	7
Kserofiiliset sieni-itiöt	Dikloranglyseroli-18-agar (DG18)	25	7
Mesofiiliset aktinobakteerit	Tryptoni-hiivauute-glukoosi- agar (THG)	25	7
Termotolerantit sieni-itiöt	Dikloranglyseroli-18-agar (DG18)	40	5
Termofiiliset aktinobakteerit	1/2-vahva Nutrient-agar	55	3

4.2.7 Terveysseuranta

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, liittykö työskentelyyn turvepohjaisessa kompostisikalassa ja etenkin sikalan pohjan kääntöön välittömiä terveysvaikutuksia kuten kuumeilua, hengitystieoireilua ja keuhkojen toimintakokeiden heikkenemistä.

Kompostisikalan pohjan kääntöön liittyviä oireita selvitettiin oirekyselyllä, oireseurannalla ja uloshengityksen huippuvirtausseurannalla. Kaikki tutkimukseen osallistuneet viljelijät haastateltiin ennen sikalan muuttamista turvepohjaiseksi. Haastattelu tehtiin strukturoidusti ja siinä käytettiin pohjana ns. Tuohilampi-kysymyssarjaa. Aloitushaastattelun teki kaikille sama henkilö. Hän myös neuvoi seuranta-kyselyn käytön ja opetti uloshengityksen huippuvirtausmittarin käytön.

Uloshengityksen huippuvirtausseurannassa (PEF-seuranta) käytettiin mini- Wright-mittaria. Kukin tutkittava käytti koko tutkimusjakson ajan samaa mittaria. PEF-seurannassa kahden viikon ajan tutkittava puhalsi kolmesti vuorokaudessa kolme puhallusta ja merkitsi kaikki kolme puhallusta lomakkeelle. Kustakin kolmen puhalluksen sar-

jasta valittiin paras ja vuorokauden maksimi-arvona pidettiin näin saaduista arvoista parasta ja koko vuorokauden huonoimpana arvona näin saaduista arvoista huonointa. Vaihtelun prosenttiosuus koko jaksolla saatiin laskemalla jakson parhaimman ja huonoimman puhallusarvon erotuksen osuus parhaimmasta arvosta. Oirekyselyssä tiedusteltiin hengitystieoireiden, kuumeilun, vilunväreiden, päänsäryn, pahoinvoinnin, lihassäryn ja ihottumaoireiden esiintymistä kunakin päivänä. Oireiden esiintyminen piti luokitella ryhmiin `ei lainkaan`, `vähän, mutta ei haitannut työtä`, `jonkin verran ja haittasi työtä` sekä `paljon`. Oireet summattiin niin, että kustakin vähäisestä oireesta tuli yksi piste, jonkin verran oirehtiminen tuotti kultakin oireelta 2 pistettä ja paljon oireita tuotti kukin 3 pistettä.

Tutkittavat mittasivat heti herättyään aamulämpötilan kainalosta samalla kotona olevalla mittarilla ja merkitsivät tuloksen yhden desimaalin tarkkuudella lomakkeelle.

Oireseuranta tehtiin ennen sikalan muuttamista turvepohjaiseksi, ja sen jälkeen kaksi kertaa varsinaisen turvesikalan

toiminnan aikana siten, että siihen osui ainakin yksi kääntö.

4.3 Ympäristöselvitykset

4.3.1 Sikaloiden vaikutukset pinta- ja pohjavesiin

Tutkimuksen aikana selvitettiin projektiin kuuluneiden sikaloiden jätevesien ja jätteen mahdollisia vaikutuksia pinta- ja pohjavesiin ottamalla näytteitä sikalatiilojen kai-voista ja sikaloiden mahdollisessa lähivaikutuspiirissä olevista vesistöosista.

Vesinäytteet otettiin tavanomaisilla juomaveden tutkimuksiin yleisesti sovelletuilla menetelmillä. Määritykset on tehty Keski-Suomen ympäristökeskuksen akkreditoitussa laboratoriossa (T155) ympäristöhallinnon käyttämällä analyysimenetelmillä. Näytteistä tehtiin seuraavat määritykset:

- lämpötila, °C
- sameus, FNU
- sähkönjohtavuus, mS/m
- pH
- väriluku
- kemiallinen hapentarve, COD_{Mn} , mg/L
- kokonaistyppi, $\mu\text{g/L}$
- nitriittityppi, $\mu\text{g/L}$
- nitraattityppi, $\mu\text{g/L}$
- ammoniumtyppi, $\mu\text{g/L}$
- kokonaisfosfori, $\mu\text{g/L}$
- fosfaattifosfori, $\mu\text{g/L}$
- kloridit, mg/L
- fekaaliset streptokokit, kpl/100 ml
- kolimuotoiset bakteerit (44 °C), kpl/100 ml
- kolimuotoiset bakteerit (35 °C), kpl/100 ml

Vesistönäytteet otettiin yleensä pinta-kerroksesta (0–1 metristä paikasta riippuen). Yhdestä järvestä otettiin näytteitä myös eri syvyyksistä. Näytteistä tehtiin samat määritykset kuin pohjavesistäkin. Havaintopaikkojen mataluudesta johtuen näytteistä ei yleensä määritetty vesistö-

kimuksiin tavallisesti kuuluvia happi- ja klorofyllipitoisuuksia yhtä poikkeusta lukuunottamatta.

4.3.2 Päästöt ilmaan

Sikaloiden katolla olevista poistoilmakanavista kerättiin ammoniakkinäytteitä imemällä poistoilmaa pumpulla (SKC-224) impinger-pulloon, jossa oli laimeaa rikkihappoa. Näytemäärät olivat 30–60 litraa. Ammoniakki vapautettiin keräysliuksesta väkevällä natriumhydroksidilla ja mitattiin ammoniakkipesifisellä elektrodilla (Maninen 1989).

VOC-näytteet imettiin poistokanavien yläosasta (n. 10 cm ulkoreunan alapuolelta) pumpun avulla adsorptioputkiin ja analysoitiin kuten sikalan sisältä kerätty näyte (luku 4.2.4). Näytemäärät olivat kompostisikaloiden poistokanavista 4–5 l ja lietesikaloiden poistokanavista 2 l.

Jokaisesta poistoilmakanavasta mitattiin lisäksi poistoilman virtausnopeus ja lämpötila mittarilla (TSI) sekä määritettiin poistokanavan koko. Taulukossa 9 on esitetty mitatut yhdisteet sekä ajankohdat mittauksille.

Tilalla 1 mitattiin päästöjä kaksi kertaa turvepohjan aikana, joista jälkimmäisellä kerralla (9/00) turvepohja oli ollut käytössä jo vuoden verran ja oli siksi erittäin kostea. Tämä näkyy ko. mittauskerran ammoniakkipitoisuuksissa ja siten myös leviämismallinnuksessa. Ensimmäisellä mittauskerralla (5/00) tilan 1 turvepohjan päästöt olivat erittäin pienet, koska pohja toimi tuolloin hyvin. Muita poikkeavuuksia päästömittausten aikana ei havaittu. Tilojen 2, 3 ja 5 turvepohjan aikana tehtiin kahdet ammoniakkinäytteenotukset, joista laskettiin keskiarvot leviämismallinnusta varten.

Tiloilla 1 ja 4 mitattiin ammoniakkin lisäksi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuudet sekä turvesikaloiden lietesikaloiden piipuista, koska haluttiin vertailla turvesikaloiden ja lietesikaloiden aiheuttamia ympäristöpäästöjä. Turvesikaloiden lietesikaloiden päästöt mallinnettiin yhdes-

Taulukko 9. Päästömittausten ajankohdat ja mitatut yhdisteet (NH₃ = ammoniakki, VOC = haihtuvat orgaaniset yhdisteet).

Tila	Purupohja syksy 1999	Turvepohja kesä 2000	Lietesikala kesä 2000	Turvepohja syksy 2000	Lietesikala syksy 2000
1	NH ₃	NH ₃ + VOC	NH ₃ + VOC	NH ₃	NH ₃
2	NH ₃	NH ₃		NH ₃	
3	NH ₃	NH ₃		NH ₃	
4		NH ₃ + VOC	NH ₃ + VOC		
5		NH ₃		NH ₃	

sä ja erikseen.

Mallinnettaviksi hajuyhdisteiksi valittiin ammoniakkin lisäksi p-kresoli, etikka-happo ja butaanihappo. Nämä yhdisteet valittiin, koska ne ovat epämiellyttävän hajuisia, niillä on alhaiset hajukynnykset ja / tai niitä esiintyy yleisesti sikaloissa. Kirjallisuuden perusteella tärkeimpiä sikaloitten hajuhaittayhdisteitä ovat haihtuvat karboksyylihapot, p-kresoli, indoli, skatoli, 2,3-butaanidioni ja ammoniakki (O'Neill & Phillips 1992). Näistä p-kresolin ja haihtuvien rasvahappojen (C2-C9-karboksyylihapot) arvioidaan korreloivan parhaiten sikalan hajun kanssa (Schaefer 1977, Zahn et al. 1997, Louhelainen et al. 2001). Zahn katsoi C2-C9-karboksyylihapojen olevan suurin huoli ilmanlaadun kannalta, koska näiden happojen pitoisuudet ovat sikaloissa yleensä korkeita, niiden hajukynnykset ovat alhaisia ja niillä on korkeat ilmakulkeutumiskertoimet (Zahn et al. 1997).

Saadut ammoniakkipitoisuudet ja malliaineiksi valittujen hajuyhdisteiden pitoisuudet sekä päästökorkeudet, päästöjen virtausnopeudet ja lämpösisällöt syötettiin Jyväskylän yliopiston Ympäristöntutkimuskeskuksen käytössä olevaan ISCST-leviämismalliohjelmaan (Industrial Source Complex Short-Term Model), joka laskee kunkin sikalan aiheuttamat suurimmat ammoniakkin ja muiden haisevien malliyhdisteiden suurimmat tuntipitoisuudet sikalan lähiympäristössä hengityskorkeudella. Ohjelma on nimensä mukaisesti suunniteltu monimutkaisten teollisten päästölähteiden

mallintamiseen. Ohjelma sisältää alunperin neljä eri ohjelmavaihtoehtoa erilaisille leviämisolosuhteille (Silander 1993). Sikaloitten päästöjen leviämismallintamisessa käytettiin kuitenkin alkuperäisistä poikkeavaa ohjelmaa, joka on laadittu Suomen olosuhteisiin sopivaksi (Niskanen 2000).

Haisevien yhdisteiden pitoisuudet laskettiin kunkin sikalan lähiympäristössä 100 metrin välein sijoitettuihin hilapisteisiin. Laskenta-alueiden laajuudet vaihtelivat alueittain. Erilliset laskentapisteen sijoitettiin sikatilojen asuinrakennusten kohdalle sekä lähimpien naapureiden kohdalle. Kullekin hilapisteelle laskettiin tuntipitoisuuksia kolmen vuoden jaksolle. Leviämismalliin syötettiin myös kunkin sikalan lähialueen maaston korkeustiedot, jotka malli otti huomioon päästövanan korkeutta laskiessaan. Leviämismallissa käytettiin Jyväskylän lentosääaseman vuosien 1979, 1983 ja 1984 säähavaintoja ilman lämpötilasta, tuulen suunnasta ja nopeudesta sekä pilvisyydestä. Leviämismallissa tuulettomat säätilanteet on korvattu satunnaisella tuulen suunnalla ja tuulennopeudella 1 m/s. Säähavaintoaineisto on käsitelty SAAKAS-ohjelmalla, joka muokkaa sääaineiston ISCST-ohjelmiston vaatimaan muotoon (Niskanen 2000).

4.3.3 Ympäristöhaittakyselyt

Ympäristöhaittakyselyt sikatilojen lähinaapureille järjestettiin ensimmäisen kerran

vanhan purupohjan aikana syys-lokakuussa 1999. Toisen kerran kysely järjestettiin helmi-maaliskuussa 2000, jolloin tiloilla oli jo siirretty turve-olkikompostointiin tilaa 5 lukuunottamatta, jossa turvekompostisikalarakennus ei ollut vielä valmis. Viimeinen kyselykierros oli heinä-elokuussa 2000.

Kertakysely ei ole kovin tarkka hajun määritysmenetelmä. Kertakyselyluonteisen tutkimuksen tulokset perustuvat yksilön muistikuvaan ja yleiseen käsitykseen ympäristön ilmanlaadusta, joten tulokset eivät ole niin luotettavia kuin esimerkiksi pidemmän aikaa kestävässä asukaspaneelitutkimuksissa tai koulutetun hajupaneelin tekemisissä kenttähavainnoinneissa, joissa tulokset perustuvat samanaikaisesti tehtyihin jatkuviin havaintoihin (Arnold 1995). Lisäksi asukkaiden havaitsemat hajut saattavat olla peräisin jostakin muualta kuin tutkimuksen kohteena olevalta tilalta. Useimmat osanottajat osasivat kuitenkin tässä tutkimuksessa kuvailla, minkälaisia hajut ovat ja mistä koetut hajut ovat peräisin.

Lähinaapureiden tehtävänä oli arvioida, minkälaisia ympäristöhaittoja heidän ympäristössään esiintyy, miten usein hajua esiintyy ja miten vakavana haittana hajua koetaan. Kyselykirjeet lähetettiin kaikkiin tutkimukseen kuuluvien sikatilojen lähitalouksiin, joissa asuttiin vakituisesti ja jotka sijaitsivat n. 1,5 km säteellä tutkittavista sikaloista. Lähitalouksia tutkimukseen kuuluneilla viidellä tilalla oli yhteensä 34 (4–14/tila). Vastausprosentin parantamiseksi vastaamatta jättäneille ja nimettömänä vastanneille lähetettiin muistutuskirjeet ja uudet kyselylomakkeet vastausajan umpeuduttua. Kyselylomake laadittiin VTT:n julkaisun pohjalta (Arnold 1995).

Ympäristöhaittakyselyn ensimmäisellä kierroksella syys-lokakuussa 1999 vastausprosentti oli n. 94. Kyselykirjeitä lähetettiin 36 kpl ja vastauksia oli muistutuskirjeiden (19 kpl) lähettämisen jälkeen saapunut 34 kpl. Näistä seitsemään oli vastattu nimettömänä. Ensimmäisen kyselykierroksen vastaajista kaksi jätettiin seuraavien kyselykierrosten ulkopuolelle heidän omasta

aloitteestaan. Toisella kyselykierroksella helmi-maaliskuussa 2000 vastausprosentti oli n. 97. Tällöin kyselykirjeitä lähetettiin 34 kpl. Muistutuskirjeiden (15 kpl) lähettämisen jälkeen vastauksia oli saapunut 33 kpl, joista kuuteen oli vastattu nimettömänä. Kolmannella kyselykierroksella heinä-elokuussa 2000 vastausprosentti oli n. 88. Tällöin kyselykirjeitä lähetettiin 34 kpl ja vastauksia oli muistutuskirjeiden (9 kpl) lähettämisen jälkeen saapunut 30 kpl, joista kolmeen oli vastattu nimettömänä.

4.3.4 Hajupaneelitutkimus

Turvekompostoidun kuivalannan levityksen aiheuttamaa hajuhaittaa arvioitiin siten, että koottiin neljästä henkilöstä koostuva hajupaneeli, joka teki havaintoja yhdellä tilalla syyskuussa 2000 tapahtuneen turvekompostoidun kuivalannan levityksen aikana. Hajupaneelissa kuivalanta-aumaa ja peltoa, jolle kuivalantaa levitettiin, lähesyttiin kävellen tuulen alapuolelta ja tehtiin havaintoja hajun voimakkuudesta ja kuvailtiin havaittua hajua eri etäisyyksillä.

4.4 Turvepohjan taloudellinen kannattavuus

Turvepohjan taloudellista kannattavuutta arvioitiin laskemalla turvepohjasta aiheutuvat kustannukset kuivikemateriaalien mekin ja käytetyn työajan perusteella. Tuotto laskettiin turvepohjaan sitoutuneiden ravinteiden arvona. Kompostin maanparannusvaikutusta ei huomioitu. Kustannusten selvittämiseksi tutkimukseen osallistuneilla maatiloilla kirjattiin ylös turvepohjaan käytettyjen kuivikkeiden määrä. Lisäksi isännät arvioivat turvepohjan perustamiseen ja hoitoon käytettyä työaikaa, mikä merkittiin muistiin mittauskäyntien yhteydessä. Teurastamoiden raporteista saatiin tiedot seurantajakson aikana kasvatettujen sikojen määrästä ja niiden keskimääräisistä painoista. Sikalan 4 osalta tehtiin oletus, että siat olivat 60 kg:n painoisia, kun ne siirret-

Taulukko 10. Turvepohjan taloudellisen kannattavuuden laskennassa käytetyt yksikköhinnat.

Turve	Olki	Miestyö	Traktori ja peräkärri	Traktori ja etukuormaaja
mk/m ³	mk/m ³	mk/h	mk/h	mk/h
37,5	20	37,41	85	85
Traktori ja ruuvisekoitin	N	P	K	
mk/h	mk/kg	mk/kg	mk/kg	
78	3	11	2,14	

tiin jatkokasvatukseen.

Turvepohjaan sitoutuneiden ravinteiden arvo laskettiin lanta-analyyysien mukaisista typen, fosforin ja kaliumin kokonaisravinnemääristä, käyttäen kullekin ravinteelle keskimääräistä markkinahintaa. Lanta-analyytit teetettiin Novalab Oy:ssä. Kokonaistyyppi analysoitiin Kjeldahl-menetelmällä, kokonaisfosforin pitoisuus määritettiin kuivapolton ja suolahappoliuotuksen jälkeen spektrofotometrillä ja kaliumipitoisuus atomiabsorptiospektrometrisesti liekitekniikalla.

Kustannukset ja tuotot laskettiin sekä tuotettua lihasikaa että tuotettua sianlihakiloa kohti. Laskennassa käytetyt yksikköhinnat on esitetty taulukossa 10.

5 Tulokset ja niiden tarkastelu

5.1 Turvepohja

5.1.1 Pohjan toimivuus

5.1.1.1 Pohjan toiminta ja olosuhteet sikaloissa

Sikala 1

Kompostipohjan seosaineet ajettiin sikalaan kerroksittain traktorin etukuormaajal-

la. Pohjan tekoon kului aikaa noin kaksi päivää. Kompostipohjaa sekoitettiin ruuvisekoittimella kolmen viikon välein. Sekoittaminen vei aikaa noin kaksi tuntia. Tarvittaessa poistettiin ennen pohjan sekoittamista märät alueet. Sekoituksen jälkeen lisättiin makuualueelle 10–15 cm:n kerros olkea. Pohjan seosaineiden suhdetta muutettiin tutkimusjakson loppupuolella siten, että oljen määrää kuivikepohjassa vähennettiin. Turve-olki suhde oli muutoksen jälkeen 80/20, kun se oli ollut ennen muutosta 60/40.

Kompostipohja oli ollut käytössä vähän alle kaksi kuukautta ennen ensimmäisiä mittauksia. Pohja oli sekoitettu neljä vuorokautta ennen mittauksia. Toinen ja kolmas mittaus tehtiin noin kolme viikkoa määrän alueen poiston ja pohjan sekoituksen jälkeen. Viimeiset mittaukset tehtiin pohjalta, jossa karsinan lanta-alue oli sekoitettu kaksi vuorokautta aikaisemmin. Sekoituksen yhteydessä ei märkää aluetta poistettu. Kompostipohjalta poistettiin koko tutkimusjakson aikana yhteensä noin 35 m³ märkää massaa.

Talvikäyntien aikana sikalan lämpötila oli +17 °C. Sikalan sisälämpötila oli ensimmäisen kesäkäynnin aikana +12 °C ja toisen +20 °C.

Ensimmäisessä mittauksessa olivat lanta-alueet kaikissa karsinoissa käännettävien aitojen vieressä karsinan keskiosasta kapeana kaistana takaosaan asti. Kaikilla muilla

Taulukko 11. Keskimääräinen eläintiheys ja pohjan kuormitus mittauskerroittain sikalassa 1.

Mittauskerta	11/99	2/00	6/00	8/00
m ² /lihasika	1,5	1,4	2,7	1,3
kg/m ²	60	27	35	43

mittauskerroilla alkoi lanta-alue karsinan takaosasta ja rajoittui melko tasaisesti karsina-aitojen väliin. Toisella mittauskerralla oli yksi karsinoista tyhjä. Upottavia alueita oli karsinoissa toisessa mittauksessa kahdessa ja kolmannessa mittauksessa neljässä karsinassa. Neljännellä mittauskerralla olivat karsinoiden lanta-alueet laajimmat.

Kompostipohjan kuormituksessa oli eri mittauskertojen välillä huomattavia eroja, vaihtelu 15–81 kg/m². Samoin sikojen käytettävissä olleessa pinta-alassa oli huomattavaa vaihtelua. Suuri vaihtelu aiheutui sikalan jatkuvatäyttöisyydestä. Keskimääräinen lihasikatiheys ja pohjan kuormitus mittauskerroittain on esitetty taulukossa 11.

Sikala 2

Sikalassa oli turvepohjan alle jätetty vanhaa purupohjaa 15–20 cm. Seosaineet oli kipattu sikalaan traktorin peräkärjellä. Aikaa pohjan tekemiseen oli kulunut noin puoli tuntia. Pohjan pintakerrosta sekoitettiin kauhakuormaajalla tutkimuksen alussa kuukauden välein. Seurannan aikana vaihdettiin kahteen karsinaan kokonaan uusi kompostipohja. Pohjan vaihdon yhteydessä poistettiin ko. karsinoista myös alla ollut vanha purupohja. Turvetta ja olkea oli alussa tehdyillä pohjilla samassa suhteessa (50/50). Uusilla pohjilla oli turpeen osuus olkeen nähden hieman suurempi (60/40). Kahden karsinapohjan uusimisen jälkeen ei kompostipohjia enää sekoitettu tutkimusjakson aikana.

Ensimmäiset mittaukset turvepohjalta tehtiin kolmen viikon käytön jälkeen. Pohja oli painunut tuona aikana 15–20 cm. Kuu-kausi ennen toista mittauskertaa oli kompostipohjan pintaosaa sekoitettu. Lisäksi

karsinoiden makuualueille oli lisätty kerroksittain turvetta ja olkea. Noin neljä viikkoa ennen kolmatta mittauskertaa oli kahteen karsinaan vaihdettu uusi kompostipohja. Ennen viimeisen kerran mittauksia ei pohjalle ollut tehty mitään.

Talvikäyntien aikana oli sikalan lämpötila noin +10 °C. Kesäkäynneillä oli lämpötila ensimmäisellä kerralla noin +10 °C ja toisella kerralla +16 °C.

Ensimmäisessä mittauksessa oli karsinoiden takaosassa lanta-aluetta 20–30 % pinta-alasta. Toisessa mittauksessa oli pohja etenkin lanta-alueilla tiivistynyttä. Lanta-aluetta oli kahdessa karsinassa lähes 60 % alasta. Kaikissa karsinoissa oli karsinoiden takaosassa upottavia kohtia. Kahteen karsinaan vaihdettiin ennen kolmatta mittauskertaa uusi turvepohja. Kolmannessa ja neljännessä mittauksessa oli vanhalla pohjalla lanta-alue märkää turvepohjan alla olevaan purupohjaan asti. Pohja oli myös erittäin tiivis. Uuden turvepohjan karsinoista oli neljännessä mittauksessa lanta-aluetta vain toisessa karsinassa. Kuivaan karsinaan oli siirretty edellisenä päivänä lihasikoja. Sitä ennen karsina oli ollut noin kuukauden tyhjä.

Karsinoiden kuormitus ja sikatiheys vaihtelivat huomattavasti eri käyntien välillä. Kuormitusvaihtelu oli 17–53 kg/m² ja eläintiheyden vaihtelu 1,4–4,4 m²/lihasika. Vaihtelut johtuivat jatkuvatäyttöisyydestä. Keskimääräinen lihasikatiheys ja pohjan kuormitus mittauskerroittain on esitetty taulukossa 12.

Sikala 3

Turvepohjaan ajettiin seosaineet kerroksittain traktorin etukuormaajalla. Pohjan te-

Taulukko 12. Keskimääräinen eläintiheys ja pohjan kuormitus mittauskerroittain sikalassa 2.

Mittauskerta	11/99	3/00	6/00	8/00
m ² /lihasika	2,0	1,6	3,3	1,7
kg/m ²	45	42	25	30

Taulukko 13. Keskimääräinen eläintiheys ja pohjan kuormitus mittauskerroittain sikalassa 3.

Mittauskerta	11/99	3/00	6/00	9/00
m ² /lihasika	1,2	1,1	1,1	1,1
kg/m ²	70	76	61	55
m ² /emakko	2,6	3,2	3,2	3,1
kg/m ²	60	49	48	54

kemiseen sekä lihasioille että emakoille kului aikaa noin kaksi tuntia. Kuivikepohjalta poistettiin märkää 2–3 viikon välein. Pohjaa ei käännetty tutkimuksen aikana. Kuivikkeen seossuhde oli koko tutkimuksen ajan sama 50/50.

Ensimmäinen mittaus tehtiin noin kaksi kuukautta käytössä olleesta turvepohjasta. Tänä aikana pohjalta oli poistettu yhden kerran märkää seosta. Toista mittauskertaa ennen oli märkää massaa poistettu kolme kertaa. Viimeisimmästä märän seoksen poistosta oli aikaa viikko. Ennen kolmatta ja neljättä mittausta oli märkää seosta poistettu karsinoista noin kaksi viikkoa aikaisemmin. Pohjalle tuotiin jokaisen poiston jälkeen uutta kuivikeseosta. Lisäksi pohjalle lisättiin väliaikoina pelkkää olkea.

Ensimmäisellä mittauskerralla oli sikalan lämpötila +17 °C ja toisella +12 °C. Kolmannella ja neljännellä mittauskerralla lämpötila oli noin +15 °C.

Lihasiat olivat ensimmäisellä mittauskerralla yhdessä karsinassa. Karsinasta oli lanta-aluetta noin 20 %. Muilla mittauskerroilla oli karsina jaettu kahdeksi karsinaksi. Lanta-alueen pinta-ala oli karsinoissa kaikilla mittauskerroilla lähes sama. Ainoastaan neljännessä mittauksessa

oli pienemmässä karsinassa lanta-alue pieni aiempiin mittauskertoihin verrattuna. Turvepohjassa oli upottavia alueita ensimmäisellä ja toisella mittauskerralla. Kolmannessa ja neljännessä mittauksessa oli koko kompostipohja tiivis.

Emakkokarsinoissa eivät lanta-alueet olleet kaikilla mittauskerroilla selkeitä ja niiden alat vaihtelivat huomattavasti eri mittauskertojen välillä. Ensimmäisessä mittauksessa ei karsinoissa ollut lanta-alueita ollenkaan. Niiden pinta-ala oli suurin kolmannella ja neljännellä mittauskerralla. Neljännessä mittauksessa oli pohja kaikissa emakkokarsinoissa tiivis ja osasta karsinoita tuli lanta-alueesta virtsan hajua.

Lihasikakarsinoiden kuormituksen ja eläintiheyden vaihtelu oli melko vähäistä, vaikka sikala oli jatkuvatyttöinen. Myös emakkokarsinoissa olivat kuormitus ja eläintiheys samalla tasolla jokaisella mittauskerralla (Taulukko 13).

Sikala 4

Turvepohjaan ajettiin seosaineet kerroksittain traktorin etukuormajalla. Kompostipohjan alimmainen ja päällimmäinen kerros oli turvetta. Pohjan tekemiseen kului ai-

kaa yksi päivä. Kompostipohjalta poistettiin lanta-alue aina ennen uutta kasvatuserää. Turvepohjan osittaiseen vaihtoon kului aikaa noin viisi tuntia. Lisäksi pohjaa kostutettiin muutaman kerran kesällä. Päivittäin heitettiin karsinoihin sioille syötäväksi olkea. Kompostipohjan seossuhde oli koko tutkimuksen ajan 50/50.

Ensimmäisellä mittauskäynnillä kompostipohjalla oli kasvamassa kolmas porsaserä. Turvepohjan osittaisesta vaihdosta oli aikaa noin puolitoista kuukautta. Koko kompostipohja oli uusittu neljä viikkoa ennen toista mittauskäyntiä. Uusittua pohjaa oli kostutettu vedellä kerran viikossa pölyämisen vähentämiseksi. Viisi viikkoa ennen kolmatta mittausta oli turvepohjaa vaihdettu. Pohjaa oli kostutettu lähes päivittäin kahden viikon ajan. Kostutus oli lopetettu, koska lanta-alue laajeni aiempaan verrattuna.

Sisälämpötila oli talvimittauksissa +13 °C ja kesämittauksissa +22° ja +16 °C.

Ensimmäisessä ja toisessa mittauksessa lanta-alueet olivat joko karsinoiden takaosassa tai reuna-aitojen vieressä. Kolmannella mittauskerralla ulottui lanta-alue kahdessa karsinassa ruokintakynnyksen edustalle. Näistä toisessa oli koko ruokintakynnyksen edusta lanta-alueetta. Turvepohjan kostuttaminen oli aiheuttanut lanta-alueen paikan siirtymisen karsinan takaosasta ruokintakynnyksen eteen. Lantakerros oli paikoittain pohjaan asti märkä ensimmäisessä mittauksessa kolmessa karsinassa sekä toisessa ja kolmannessa mittauksessa kaikissa karsinoissa.

Karsinoiden kuormitus pysyi lähes samana kaikilla mittauskerroilla, koska mittauskäynnit osuivat samaan kasvatusajan kohtaan. Toisella mittauskäynnillä oli kahdessa karsinassa sikoja vain puolet normaalimäärästä, mikä näkyy keskimääräisen

kuormituksen sekä eläintiheyden laskuna (Taulukko 14).

Sikala 5

Sikalan kuivikepohja oli kokonaan turvetta. Se oli ajettu traktorin peräkärjellä karsinoihin. Aikaa pohjan tekoon oli kulunut noin kolme tuntia. Pohjan vaihtotarve määrättyi märän alueen pinta-alan ja upottavuuden mukaan. Tutkimusjakson aikana pohjaa kostutettiin yhden kerran pölyämisen vähentämiseksi. Pohjan paksuutta muutettiin tutkimusjakson lopussa. Alussa ajettiin karsinoihin yhteensä 60 m³ turvetta, kun lopussa karsinoihin ajettun turpeen määrä oli yhteensä 20 m³.

Ennen ensimmäistä mittausta kuivikepohjaa oli käytetty alle kolme kuukautta. Pohjalta oli vaihdettu kerran märkää massaa yhteensä 20 m³. Pölyämisen vähentämiseksi oli pohjaa kostutettu kerran. Pohjan paksuus oli reuna-aitojen vieressä 20–25 cm ja keskellä 10–15 cm. Paikoin oli keskellä karsinaa kuiviketta jopa alle 10 cm. Ennen toista mittausta ei märkää massaa ollut poistettu, vaan lanta-alueetta oli kuivitetty turpeella. Pohjan paksuus oli toisella mittauskerralla useasta kohdasta alle 10 cm. Viisi päivää ennen syyskesän mittausta oli koko karsinapohjalle vaihdettu uusi kuivike. Pohjan paksuus oli ollut täytön jälkeen keskimäärin 15 cm. Mittauksessa oli pohjan paksuus useissa kohdissa alle 10 cm.

Ruokintakynnysten lattialämmitys oli päällä, jotta kynnys pysyi kuivana. Ensimmäisessä mittauksessa oli sisälämpötila +21 °C, toisessa +16 °C ja kolmannessa +13 °C.

Ensimmäisellä mittauskerralla olivat karsinoiden lanta-alueet reuna-aidan vieressä vesinipan kohdalla. Kolmessa kar-

Taulukko 14. Keskimääräinen eläintiheys ja pohjan kuormitus mittauskerroittain sikalassa 4.

Mittauskerta	3/00	6/00	8/00
m ² /lihasika	1,1	1,7	1,1
kg/m ²	50	31	41

Taulukko 15. Keskimääräinen eläintiheys ja pohjan kuormitus mittauskerroittain sikalassa 5.

Mittauskerta	6/00	8/00	9/00
m ² /lihasika	2,5	0,9	1,6
kg/m ²	25	28	26

sinassa oli reuna-aidan vieressä myös toinen lanta-alue. Vesinippojen kohdalla olevat lanta-alueet olivat pohjaan asti märkiä ja upottavia. Yksi karsinoista oli tyhjä ja yhdessä oli vain kaksi sikaa. Näissä karsinoissa ei ollut selviä lanta-alueita. Toisella mittauskerralla oli karsinoista neljä käytössä. Kahdessa karsinassa oli lanta-aluetta puolet pinta-alasta ja kahdessa oli pohja pelkkää lanta-aluetta. Upottavia alueita oli kolmessa karsinassa. Kokonaan märissä karsinoissa oli kompostipohjassa runsaasti karpäsen toukkia. Kolmannessa mittauksessa ei lanta-alueita ollut kuin kahdessa karsinassa. Näihin sekä yhteen muuhun karsinaan oli lantaa kertynyt myös ruokintakynnykselle.

Sikalan keskimääräinen kuormitus pysyi tasaisena, vaikka karsinakohtaisesti kuormitukset vaihtelivat. Keskimääräinen eläintiheys laski tutkimuksen aikana, koska sikojen keskimääräinen koko pieneni (Taulukko 15). Kuudesta karsinasta oli koko tutkimuksen ajan 1–3 karsinaa tyhjiään tai vajaassa käytössä.

5.1.1.2 Lämpötila

Sikalan 1 turvepohjan keskilämpötila oli talvimittauksissa makuualueella +39 °C ja +41 °C sekä kesämittauksissa +35 °C ja +35 °C. Talvella saatiin lanta-alueen keskimääräiseksi lämpötilaksi +23 °C. Kesällä lämpötilat olivat +26 °C ja +24 °C. Turvepohjan keskilämpötilat olivat makuualueella talvella hieman korkeammat kuin kesällä, joskin keskihajonta oli talvimittauksissa kesällä tehtyihin mittauksiin verrattuna huomattavasti suurempi. Lanta-alueen keskimääräisillä talvi- ja kesälämpötiloilla ei ollut merkittävää eroa. Karsinoittain makuu-

alueiden lämpötilat laskivat turvepohjan vanhenemisen myötä. Lanta-alueiden lämpötilat pysyivät koko tutkimusjakson samalla tasolla.

Sikaloiden keskimääräiset karsinakohittaiset lämpötilat on esitetty liitteessä 1.

Sikalan 2 keskimääräiset talvilämpötilat makuualueilla olivat +39 °C ja +25 °C sekä kesälämpötilat +31 °C ja +34 °C. Kaikissa karsinoissa makuualueen lämpötila oli laskenut huomattavasti toisella talvimittauskerralla.

Lanta-alueelta mitatut lämpötilat olivat talvella huomattavasti alhaisemmat kuin kesällä. Lanta-alueen talvilämpötilaksi mitattiin +12 °C. Kesäjaksolla olivat lanta-alueen lämpötilat +17 °C ja +17 °C. Suuri ensimmäisen kesämittauksen keskihajonta johtui osittaisesta kompostipohjan vaihtamisesta.

Turvepohjan toimimattomuus näkyi karsinakohtaisissa mittauksissa sekä makuu- että lanta-alueilla. Muutoin lämpötilat pysyivät seurantajakson ajan lanta-alueilla tasaisina ja laskivat makuualueilla hiukan turvepohjan vanhentumisen myötä.

Sikalan 3 lihasikakarsinoiden makuualueen keskimääräiset lämpötilat olivat talvella +42 °C ja +45 °C sekä kesällä +46 °C ja syyskesällä +45 °C. Lanta-alueiden keskilämpötilat olivat talvella +41 °C, kesällä +29 °C ja syyskesällä +33 °C. Kaikissa lihasikakarsinoissa lämpötilat makuualueilla olivat yli +40 °C ja pysyivät tasaisina koko tutkimuksen ajan. Lanta-alueiden lämpötilat sen sijaan laskivat hieman.

Emakkokarsinoissa olivat makuualueiden keskimääräiset lämpötilat talvella +33 °C ja +26 °C sekä kesällä +27 °C ja +29 °C. Lanta-alueen keskimääräiset lämpötilat olivat talvella +26 °C, kesällä +24 °C ja

syyskesällä +23 °C. Keskihajonta oli kesämittauksissa huomattavasti suurempi kuin talvella.

Sikalassa 4 makuualueen keskimääräiset lämpötilat olivat talvella +35 °C sekä kesällä +29 °C ja +35 °C. Toisen mittauskeran lämpötilat olivat alhaisemmat kahteen muuhun kertaan verrattuna, mikä saattoi johtua koko turvepohjan vaihtamisesta ennen ko. mittauskertaa. Lanta-alueilla olivat keskimääräiset lämpötilat talvella +27 °C ja kesällä +28 °C. Karsinoittain sekä makuu- että lanta-alueiden lämpötilat pysyivät seurantajakson tasaisina.

Sikalassa 5 makuualueen keskimääräiset lämpötilat olivat kesän mittauskerroilla +27 °C ja +26 °C. Lanta-alueen keskilämpötilat olivat +28 °C ja +20 °C. Syyskesän mittauksessa oli makuualueen keskilämpötila +13 °C. Kolmannen mittauksen tulokset eivät ole vertailukelpoisia muiden kanssa turvepohjan ohentumisen takia. Karsinoittain lämpötilat pysyivät ensimmäisellä ja toisella mittauskerralla makuualueilla tasaisina. Sen sijaan lanta-alueiden lämpötilat laskivat hieman.

Turvepohjan lämpötilojen vertailu sikaloitten kesken on hankalaa, koska tuotanto-olosuhteissa on suuria eroja. Sikaloissa 1, 2 ja 3 oli turvepohjan paksuus suunnilleen sama, 50–70 cm. Makuualueiden keskimääräinen lämpötila pysyi tasaisimpana ja korkeimpana sikalassa 3. Sikalan 1 alun korkeat lämpötilat hiipuivat säännöllisestä pohjan sekoituksesta huolimatta turvepohjan vanhetessa. Samoin kävi sikalassa 2, joskin lämpötilojen lasku oli voimakkaampaa. Sikalassa 4 oli pohjan paksuus ohuempi (30 cm), mutta seosaineet samoja kuin sikaloissa 1, 2 ja 3. Sikalan 4 makuualueen keskimääräiset lämpötilat olivat alemmat kuin sikaloissa 1 ja 3, mutta korkeammat kuin sikalassa 2. Sikala 5 oli muista sikaloista poikkeava pohjaratkaisultaan. Kompostipohja oli ohut (15–30 cm) ja kokonaan turvetta. Lämpötilat sikalassa 5 olivat muihin lihasikaloihin verrattuna koko tutkimusjakson alhaisempia.

Lanta-alueiden keskilämpötila oli koko tutkimusajanjakson ajan korkein sikalassa 3

ja alin sikalassa 2. Sikaloitten 1, 4 ja 5 lanta-alueen lämpötilat olivat keskenään samalla tasolla. Poikkeuksena oli sikalan 5 keskimääräisen lämpötilan huomattava lasku toisessa kesämittauksessa.

Kompostipohjan vaihto nosti sikaloitten 2 ja 5 pohjan lämpötiloja. Myös sikalassa 4 pohjan vaihdolla oli vaikutusta ainakin yhden mittauskeran tuloksiin. Sikaloitten 1 ja 3 märän massan vaihto sekä pohjan sekoitus sikalassa 1 pitivät lämpötilat tasaisina. Pohjan sekoitus ruuvilla sikalassa 1 piti myös pohjan kuohkeana, sitä vastoin pohjan tiivistyminen oli ongelma sikaloissa 2 ja 3, joissa ruuvisekoitusta ei ollut.

Vuodenajalla ei havaittu olevan yhteyttä kompostipohjan lämpötilan vaihteluihin. Sikalassa 1 oli kompostipohjan keskimääräinen lämpötila makuualueilla talvella korkeampi kuin kesällä. Sen sijaan sikalassa 3 oli tilanne päinvastainen. Muissa sikaloissa keskimääräiset lämpötilat vaihtelivat eri mittauskertojen välillä vuodenajasta riippumatta.

Koska mittauskertoja oli vähän ja kuormitus vaihteli mittauskerroittain ja karsinoittain huomattavasti, on korrelaation löytäminen kuormituksen ja lämpötilojen välillä epävarmaa. Sikaloissa 1 ja 2 kuormitus ei vaikuttanut merkittävästi kompostipohjan lämpötiloihin. Sikalan 3 lihasikakarsinoissa kuormituksen kasvaessa lanta-alueiden lämpötilat laskivat. Selkeimmin tämä ilmiö havaittiin kesällä tehdyissä mittauksissa. Makuualueilla kuormituksen ja lämpötilan välillä ei tätä yhteyttä havaittu. Emakkokarsinoissa kuormituksen kasvaessa makuualueiden lämpötilat nousivat ja lanta-alueiden lämpötilat laskivat.

Sikalassa 4 makuualueiden lämpötilat olivat korkeampia niillä kerroilla, joilla karsinan kuormitus oli myös korkea. Lanta-alueilla kuormituksen kasvua seurasi keskimääräisen lämpötilan lasku. Sikalassa 5 kuormituksen kasvaessa kohosi makuualueiden lämpötila hieman. Lanta-alueen lämpötiloihin kuormituksella ei ollut yhteyttä.

Kaikissa sikaloissa lanta-alueen pinta-alan kasvaessa sen lämpötilat laskivat.

Lisäksi sikalassa 3 sekä lihasika- että emakkokarsinoissa makuualueiden lämpötilat nousivat lanta-alueiden pinta-alan kasvaessa. Sitä vastoin sikalassa 2 lanta-alueen kasvaessa makuualueen lämpötilat hieman lasivat.

5.1.1.3 Kompostipohjanäytteet

Sikalosta mittauskerroittain otetuista kokoomanäytteistä analysoidut kuiva- ja orgaanisen aineen sekä hiilen pitoisuudet on esitetty liitteessä 2.

Sikalasta 1 otettiin neljä kokoomanäytettä makuualueelta ja lantakerroksesta, kaksi talvella ja kaksi kesällä, sekä lantakerroksen alta yksi kesä- ja talvinäyte. Orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuudet olivat korkeimmat toisella mittauskerralla sekä makuu- että lanta-alueilla. Kolmannella ja neljännellä mittauskerralla olivat orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuudet alhaisempia. Tämä viittaa turvepohjan kompostoitumiseen. Kompostipohjan lämpötila ja orgaanisen aineen sekä hiilen pitoisuudet eivät kuitenkaan korreloi keskenään.

Pohjan kuiva-ainepitoisuudessa ei sikalassa 1 tapahtunut muutoksia. Makuualue oli kuivimmillaan ensimmäisellä kerralla ja kostui tutkimusjakson aikana. Tämä oli luonnollinen seuraus siitä, että sikalassa oli käytössä koko tutkimuksen ajan sama kompostipohja. Lanta-alueen pinnalla kehitys oli päinvastainen. Lanta-alueen sekoittaminen paria päivää ennen viimeistä näytteenottoa nosti alueelta otetun näytteen kuiva-ainepitoisuutta. Lanta-alueen pohja kostui myös tutkimuksen aikana.

Sikalasta 2 otettiin neljä kokoomanäytettä makuualueelta ja lantakerroksesta, kaksi talvella ja kaksi kesällä. Lantakerroksen alta otettiin kolme näytettä, yksi talvella ja kaksi kesällä. Sikalassa 2 olivat toisella mittauskerralla sekä makuu- että lanta-alueiden orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuudet korkeita. Kolmannella ja neljännellä mittauskerralla olivat orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuudet laskeneet molemmilla alueilla. Pohjan lämpötilalla ja orgaanisen

aineen sekä hiilen pitoisuuksilla oli tämän perusteella sikalassa 2 vaikutusta toisiinsa. Keskimäärin orgaanisen aineen pitoisuudet olivat alempia kuin muissa sikaloissa. Sikalassa 2 turvepohjan kuiva-ainepitoisuudet sekä makuu- että lanta-alueella pysyivät melko tasaisina ja korkeina koko seurannan ajan.

Sikalasta 3 otettiin lihasikakarsinoista kokoomanäytteet makuualueilta ja lantakerroksesta neljä kertaa; kaksi talvella ja kaksi kesällä. Lantakerroksen alta otettiin kolme kokoomanäytettä, yksi talvella ja kaksi kesällä. Orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuudet vaihtelivat melko paljon, vaikka kompostipohjan lämpötiloissa ja hoidossa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Toisella mittauskerralla orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuudet olivat todella korkeita. Lämpötila ja turvepohjan orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuudet eivät tutkimustulosten perusteella korreloi keskenään.

Sikalan 3 lihasikakarsinoiden makuualueet kuivuivat vähitellen kolmanteen mittauskertaan asti. Neljännellä mittauskerralla makuualueet olivat kostuneet huomattavasti. Lanta-alueella kehitys oli vastaava, tosin kuivuminen vähäisempää kuin makuualueilla. Lantakerroksen alaosa oli talvella kuivempaa kuin kesällä.

Emakkokarsinoiden makuualueilta otettiin yhteensä kolme näytettä, yksi talvella ja kaksi kesällä. Orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuudet laskivat makuualueilla tutkimusjakson loppua kohti. Emakkokarsinoissa turvepohjan lämpötilan nousu ja orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuuden lasku ovat tulosten perusteella sidoksissa toisiinsa. Makuualueiden kuiva-ainepitoisuus oli ensimmäisellä mittauskerralla suurin ja laski seurannan aikana.

Sikalasta 4 otettiin makuualueelta ja lantakerroksesta kolme kokoomanäytettä, yksi talvella ja kaksi kesällä, sekä lantakerroksen alta yksi talvinäyte. Orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuudet laskivat koko tutkimusjakson ajan sekä makuu- että lanta-alueella. Sikalassa 4 sekä makuu- että lanta-alue olivat kuivimmillaan toisella mittauskerralla, mikä johtunee siitä, että

ennen toista mittauskertaa oli sikalaan vaihdettu kokonaan uusi kuivikepohja.

Sikalasta 5 otettiin makuualueelta ja lantakerroksesta kolme kokoomanäytettä ja lantakerroksen alta kaksi. Kaikki näytteet otettiin kesällä. Kolmannen mittauskerran näytteet eivät ole vertailukelpoisia muiden kanssa, koska kompostipohja oli ollut käytössä vain viisi vuorokautta. Toisella mittauskerralla turvepohjan orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuudet olivat hieman alhaisemmat kuin ensimmäisellä kerralla. Sekä makuualue että lantakerros olivat ensimmäisellä mittauskerralla kuivempia kuin toisella kerralla. Lantakerroksen alla oli toisella mittauskerralla lähes yhtä kuiva kerros kuin saman mittauskerran makuualue.

5.1.2 Pohjan mikrobit

Puhdas turve ennen eläintiloihin tuontia ei sisältänyt tutkittuja suolistomikrobeja joko ollenkaan tai pitoisuudet olivat erittäin pieniä. Täten sikalan 3 ulkoa kesällä (8/00) otetusta turvenäytteestä ei voitu osoittaa mitään tutkittavista mikrobeista. Sikalasta 1 (9/00) ja sikalasta 2 (9/00) syksyllä otetuista turvenäytteistä kolmesta eri osanäytteestä ei voitu osoittaa yhtään kolifaageja, kokonaiskoliformeja, fekaalisia koliformeja tai enterokokkeja. Sikalasta 1 löytyi vain fekaalisia klostrideja kahdesta osanäytteestä

(18 ja 45 kpl/g) ja sikalan 2 yhdestä osanäytteestä (27 kpl/g), jolloin sikalassa 1 geometriset keskiarvot olivat 16 kpl/g ja sikalassa 2 puolestaan 9 kpl/g, mitkä ulostetta sisältäviin näytteisiin verrattuina ovat erittäin pieniä ja voivat olla hyvin peräisin maapölystä taikka kasvijätteistä. Ero on tilastollisesti erittäin merkitsevä verrattuna kaikkiin ulostetta sisältäviin näytteisiin (Taulukot 16 ja 17).

Taulukossa 16 on esitetty eri tilojen tulokset alunäytteistä purupohjan käytön aikana. Niistä osa on enemmän ulostetta sisältävältä ns. märältä puolelta ja osa sikojen makuualueeseen käyttämältä ns. kuivalta puolelta.

Turvekuivikepohjan hygieniatulokset on esitetty taulukossa 17.

Joka tilalla ulostemikrobien lukumäärät ovat selvästi suurempia jatkuvasti ulostetta saavilla märillä puolilla kuin kuivilla puolilla. Taulukon 17 mikrobiluvut ovat osin suurempia kuin samoilla tiloilla ennen turpeen käyttöä (Taulukko 16). Se johtune siitä, että turve sitoo itseensä enemmän nestettä, joten turvetta käyttäen kuivikepohjan vaihtoväli pitenee ja siihen voi tulla isompi sontakuorma. Hygieniaa indikoivien mikrobien pitoisuudet kuitenkin vaihtelivat suuresti eri tilojen kuivikepohjanäytteissä, sillä tuoreen lannan, käyttämättömän turpeen sekä jo kompostoituneen pohjan osuudet vaihtelevat suuresti sikojen koon ja määrän vaihdellessa.

Taulukko 16. Hygieniatulokset purupohjan käytön aikana syksyllä 1999. Geometrisia keskiarvoja. Luvut ovat kpl/g tuoretta lantaa kohti. K = kuiva, M = märkä.

Sikala	Kolifaagi Isäntä ATCC 13706	Kolifaagi Isäntä ATCC 15597	Kokonais- koliformit	Fekaaliset koliformit	Enterokokit	Fekaaliset klostridit
1	75 000	67 000	84 000	84 000	140 000	58 000
2 K	600	1 500	22 000	38 000	580 000 000	40 000
2 M	75 000	3 500	2 300 000	3 000 000	37 000 000	48 000
3	24 000	7 700	350 000	380 000	64 000 000	30 000
4 K	310	20 000	88 000	220 000	85 000 000	13 000
4 M	71 000	180 000	230 000	240 000	60 000 000	5 100

Taulukko 17. Hygieniatulokset turvepohjan käytön aikana. Geometriset keskiarvot eri määrittäyksistä. Luvut ovat kpl/g tuoretta lantaa kohti. K = kuiva, M = märkä, (näytteiden lukumäärä su-luissa).

Sikala	Kolifaagi Isäntä ATCC 13706	Kolifaagi Isäntä ATCC 15597	Kokonais- koliformit	Fekaaliset koliformit	Entero- kokit	Fekaaliset klostridit
1 K (4)	3 000	1 100	4 300 000	4 200 000	520 000	11 000
1 M (3)	390 000	93 000	31 000 000	19 000 000	3 000 000	86 000
2 K(5)	6 300	3 500	5 400 000	8 100 000	38 000 000	24 000
2 M(4)	160 000	430 000	25 000 000	22 000 000	19 000 000	140 000
3 K (4)	39 000	11 000	50 000 000	25 000 000	20 000 000	8 100
3 M (3)	22 300 000	1 700 000	29 000 000	38 000 000	78 000 000	86 000
4 K (1)	15 000	12 000	330 000	320 000	450 000	9 100
4 M (1)	990 000	850 000	1 000 000	1 800 000	17 000 000	130 000
5 K (3)	1 700	9 400	11 000 000	2 900 000	14 000 000	21 000
5 M (2)	22 000	81 000	5 700 000	7 900 000	8 200 000	140 000
Minimi-arvot kokeen aikana	17 (Sikala 5 K 9/00)	11 (Sikala 5 K 9/00)	330 000 (Sikala 4 K 3/00)	320 000 (Sikala 4 K 3/00)	810 000 (Sikala 1 K 9/00)	1 700 (Sikala 3 K 3/00)

Koska toisaalta myös turvekuivikepohjissa voitiin saavuttaa matalia ulostemikrobipitoisuuksia, on syytä uskoa, että jo kar-sinoissa voi tapahtua merkittävää ulostemikrobien hygienisoitumista kompostoitumisen kautta, mihin viittaavat myös pohji-en lämpiämiset (kohta 5.1.1). Tuloksissa on havaittavissa jonkin verran mikrobiarvojen pienentymistä kokeen aikana varsinkin kui-villa puolilla, kun tilat mahdollisesti oppi-vat paremmin turvepohjamateriaalin käy-tön. Täten mikrobien minimiarvot saavu-tettiin yleensä kokeen loppuvaiheessa.

Kompostointivaiheessa olevien eräiden turvekuivikealustojen pitoisuudet on esitetty taulukossa 18.

Jos verrataan sikaloiden 3 tai 5 kunnolla kompostoituneita (Taulukon 18 kaksi alinta riviä) turvekuivikealustoja saman tilan turvekuivikkeisiin käytön aikana (Taulukko 17), erot ovat hyvin selviä. Hygienisoinnin onnistuminen näkyi kaikin tutkituin mikrobein – myös erittäin hyvin säilyvin enterokokein ja klostridein.

Nämä 8/00 ja 9/00 sikaloista 3 ja 5 otetut kompostinäytteet olisivat täyttäneet

mm. valmisteilla olevan Euroopan unionin lietedirektiivin (Working document on sludge, 2000), jossa ehdotetaan kompostoidulle lietteelle *Escherichia coli* (= fekaaliset koliformit) suhteen rajaa 5000 kpl/g.

5.2 Työympäristö

5.2.1 Hengittyvä pöly

Kaikissa sikaloissa oli turvepölyä kertynyt tasopinnoille ja käytäville. Turvesikaloiden sisäilmasta mitatut hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat taustatilanteessa keskimäärin 4,0 mg/m³, mutta pitoisuudet vaihtelivat erittäin paljon välillä 0,4–34 mg/m³ (Taulukko 19). Työvaiheen aikaiset kiinteistä mittauspisteistä mitatut pitoisuudet olivat keskimäärin 7,5 mg/m³, vaihdellen välillä 3,5–41 mg/m³. Samojen työvaiheiden aikaisissa hengitysvyöhykenäytteissä hengittyvän pölyn pitoisuus oli keskimäärin 10 mg/m³ (5,3–15 mg/m³). Nämä pitoisuudet ovat selvästi suurempia kuin purupoh-

Taulukko 18. Kompostointivaiheessa olevien turvealustojen pitoisuudet. Mikrobin lukumäärin geometrisia keskiarvoja kpl/g alustan tuorepaino. * = alle määrittäysrajan (10 kpl kolifaageille ja 100 kpl fekaalisille koliformeille).

Tila ja näytteenottoaika, kompostoinnin kestoarvio ja tilanne	Kolifaagi Isäntä ATCC 13706	Kolifaagi Isäntä ATCC 15597	Kokonaiskoliformit	Fekaaliset koliformit	Enterokokit	Fekaaliset klostridit
Sikala 3. (9/00), noin viikkoa, ei valmiiksi kompostoitunut		140 000	6 500 000	7 200 000	1300 000	83 000
Sikala 3. (8/00), kompostoitu noin 1-4 viikkoa, haisi vielä vähän	1 300	70	200	300	9 000	9 000
Sikala 5. (9/00), noin 2,5 kk, ei hajua	*	*	3 500	*	800	30

jasikaloissa mitatut pitoisuudet taustatilanteessa tai työvaiheen aikana (Louhelainen et al. 1998).

Orgaanisen pölyn haitalliseksi tunnettu pitoisuus (HTP) on kahdeksan tunnin altistumisajalle 5 mg/m³ (Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus 2000). Työvaiheiden aikaiset keskimääräiset pitoisuudet ylittivät tuon ohjearvon selvästi. Työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä määritetyt hengittyvän pölyn pitoisuudet ylittivät aina työpäivän ohjearvon, ja usein myös lyhyen ajan altistumisen ohjearvon, 10 mg/m³ (HTP_{15min}). Myös taustatilanteessa pitoisuudet olivat yli puolessa mittauksista kahdeksan tunnin ohjearvon yläpuolella. Suurin yksittäinen hengittyvän pölyn pitoisuus taustatilanteessa mitattiin kesällä, 34 mg/m³ (tila 2). Tilojen vä-

linen vaihtelu pölypitoisuuksissa oli erittäin suurta. Tiloilla 2, 4 ja 5 kaikki taustatilanteissa mitatut keskimääräiset hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat lähes kaksi kertaa HTP_{8h} -arvo, ja viisinkertaisia tilaan 1 verrattuna (Liite 3).

Taustatilanteen mittaukset eivät olleet täysin "rauhoitettuja", sillä mittaajien läsnäolo aiheutti usein havaittavaa levottomuutta ja liikehdintää sikojen keskuudessa. Tähän vaikutti myös sikojen määrä ja ikä; nuorimmat porsaasivat olivat aktiivisimpia, myös pelkästään isäntävien läsnäollessa. Ilman hengittyvän pölyn pitoisuuksiin vaikutti todennäköisesti eniten sikojen liikkumisesta sekoittama, yleensä erittäin kuiva turvepohjan pintakerros.

Oljen käyttö turpeen seassa pölyä sito-

Taulukko 19. Hengittyvän pölyn määrä turvepohjaisten kompostisikaloiden työilmassa taustatilanteessa, tietyn työvaiheen aikana sekä työntekijän hengitysvyöhykkeellä kyseisen työvaiheen aikana. GM = geometrinen keskiarvo, AM = aritmeettinen keskiarvo, N = mittausten lukumäärä.

Hengittyvä pöly, mg/m ³	GM	AM	Vaihteluväli	N
Taustatilanne (kiinteä mittauspiste)	4,0	6,6	0,4 - 34,0	37
Työvaihe (kiinteä mittauspiste)	7,5	9,8	3,5 - 41,0	15
Työvaihe (hengitysvyöhykenäyte)	10,0	11,0	5,3 - 15,0	5

Taulukko 20. Kiinteistä mittauspisteistä mitatut ammoniakkipitoisuudet (ppm) tiloilla purupohjan aikana elokuussa 1999 sekä turvepohjan aikana eri mittauskerroilla marraskuusta -99 syyskuuhun 2000. Määritysraja 1 ppm.

NH ₃ , ppm	Puru	11/99	3/00	4/00	6/00	8/00	9/00
Tila 1	45	20	10		2		18
Työvaihe	15		5		2		
Tila 2	15	30	20		< 1	< 1	
Työvaihe	5		10				
Tila 3	20	20	2		10	2	
Työvaihe	20		< 1				
Tila 4	15		15		< 1		
Työvaihe			15				
Tila 5				1	3	10	7

vana materiaalina vaihteli tiloittain. Tilalla 5, missä mitattiin keskimäärin korkeimmat pölypitoisuudet, ei käytetty lainkaan olkea.

Turvepohjan kompostoitumisesta johtuva massan lämpötilan nousu ilmeisesti kuivatti pintakerrosta, ja lisäsi siten turpeen pölyämistä. Turvetta kuivattava vaikutus oli todennäköisesti myös lattialämmityksellä, jota käytettiin etenkin tiloilla 2 ja 5, jälkimmäisellä myös kesäaikaan. Tilalla 5 oli lattialämmitys käytävien lisäksi leveillä ruokintatasoilla, joilla turvekerroksen pakkaus oli vain muutamia senttejä.

Turvesoilta kerättävän turpeen kosteuteen vaikuttaa olennaisesti korjuuajan sää, ja kesä 1999 oli poikkeuksellisen kuiva. Tiloille toimitettujen turve-erien kosteuspitoisuudet vaihtelivat 31–48 %. Ruotsalaisien laboratorio-oloissa tekemien kokeiden perusteella turpeen kosteuden pitäisi olla noin 50 %, jotta ilman pölypitoisuudet pysyisivät riittävän alhaisina (Larsson et al. 1999). Turpeen kosteusprosentin kasvattaminen kolmestakymmenestä viiteenkymmeneen vähensi ilman pölypitoisuutta kymmenenteen osaan laboratorio-olosuhteissa.

Tässä tutkimuksessa ei yksittäisten mitattujen pölypitoisuuksien ja turve-erien kosteusprosenttien välillä todettu tilastollista riippuvuutta. Toisaalta tilatasolla taustanäytteiden keskimääräinen pölypitoisuus ja tilalle toimitettujen eri turve-erien keski-

määräinen kosteus korreloivat melko hyvin. Mitä kosteampaa turvetta tilalle oli toimitettu, sitä vähemmän ilmassa oli hengittyvää pölyä koko seurantajakson ajalla tarkasteltuna.

Tutkimuksessa käytettiin ensimmäistä kertaa Suomessa maatalouden tuotantorakennusten ilman hengittyvän pölyn pitoisuuksien määrittämiseen IOM -keräintä. IOM -keräimen etu perinteiseen ns. kokonaispölyä määrittävään menetelmään (SFS 3860) verrattuna on sen parempi edustavuus hengitysteihin pääsevän pölyn keräämisessä. Parempi keräystehokkuus suurempikokoisten hengittyvien pölyhiukkasten suhteen nostaa suodattimelle kertyvän pölyn massan perinteiseen menetelmään verrattuna noin kaksinkertaiseksi pölyn hiukaskokojakaumasta riippuen (Liden et al. 2000). Toisaalta verrattaessa tuloksia orgaanisen pölyn HTP -arvoon tulee tulkinassa käyttää nimenomaan hengittyvän pölyn pitoisuutta (Sosiaali- ja terveysministeriö 2000).

5.2.2 Ammoniakki ja hiilidioksidi

Tutkittavista sikaloista purupohjan aikana mitatut taustatilanteen ammoniakkipitoisuudet olivat keskimäärin 24 ppm, ja pohjan käännön aikana keskimäärin 13 ppm (Taulukko 20). Turvepohjan aikana mita-

tut taustapitoisuudet olivat keskimäärin 9 ppm, ja työvaiheiden aikana 6 ppm. Suurin yksittäinen ammoniakkipitoisuus mitattiin purupohjan aikana 45 ppm. Turvepohjalla ammoniakkipitoisuudet olivat noin puolet purupohjasikaloidissa sekä perinteisissä lietalantasikaloidissa mitatuista pitoisuuksista (Kangas et al. 1987 ja Louhelainen et al. 1998). Talvella turvepohjan aikana sekä ammoniakki- että hiilidioksidipitoisuudet olivat korkeampia kuin kesällä mitatut, mikä kertoo lähinnä ilmanvaihdon tehokkaammasta toiminnasta kesällä. Kesällä ei yhtä poikkeusta lukuunottamatta ylitetty 10 ppm:n ammoniakkipitoisuutta. Tällöin tilan 1 turvepohja oli jo kostunut ja odotti vaihtamista. Työvaiheiden aikana molempien kaasujen pitoisuudet yleensä laskivat taustatilanteeseen verrattuna, koska tuuletus sikaloissa oli tehostunut avoimien päätyovien takia.

Ammoniakin HTP_{8h} -arvo on 25 ppm ja lyhytaikaisen altistumisen ohjearvo 40 ppm. Keskimäärin pitoisuudet jäivät alle ohjearvojen. Tilalla 1 molemmat ohjearvot ylittyivät purupohjan aikana ja tilalla 2 pidemmän ajan ohjearvo kerran talvella turvepohjan aikana.

Hiilidioksidipitoisuudet olivat purupohjan aikana 2000–2500 ppm ja turvepohjan aikana 500–3500 ppm (Taulukko 21). Keskimääräinen pitoisuus turvepohjan taustatilanteessa oli 2000 ppm. Hiilidioksi-

dipitoisuudet olivat turvepohjalla hieman pienempiä kuin aiemmin purupohjan aikana mitatut (Louhelainen et al. 1998).

Hiilidioksidin HTP_{8h} -arvo on 5000 ppm. Kaikki mitatut pitoisuudet jäivät selvästi alle ohjearvon.

5.2.3 Rikkiyhdisteet

Neljältä tilalta määritettyjen rikkiyhdisteiden pitoisuudet on esitetty taulukossa 22. Näytteistä analysoitiin rikkivedyn, metyylimerkaptaanin, dimetyylisulfidin ja dimetyylidisulfidin pitoisuudet. Vain rikkivedyn pitoisuudet ylittivät analyysimenetelmän määrittämissä rajat eri yhdisteille. VOC-yhdisteiden analyysimenetelmällä (massaspektrometri) pystyttiin myös dimetyylisulfidi ja dimetyylidisulfidi määrittämään sikaloiden ilmanäytteistä (ks. kappale 5.2.4). Purupohjan taustatilanteessa rikkivetyypitoisuus oli keskimäärin 0,05 ppm, ja käynnön aikana 2,7 ppm. Samansuuntaisia tuloksia on saatu aiemmin purupohjia tutkittaessa (Louhelainen et al. 1998). Turvepohjan aikana taustapitoisuudet jäivät yhtä poikkeusta lukuunottamatta alle määrittämissä rajat. Eri työvaiheiden aikainen rikkivetyypitoisuus oli keskimäärin 0,6 ppm.

Rikkivedyn HTP_{8h} -arvo on 10 ppm. Määritetyt rikkivetyypitoisuudet jäivät etenkin turvepohjalla selvästi alle ohjearvon. Koska mitatut rikkiyhdisteiden pitoisuudet

Taulukko 21. Kiinteistä mittauspisteistä mitatut hiilidioksidipitoisuudet (ppm) tiloilla purupohjan aikana elokuussa 1999 sekä turvepohjan aikana eri mittauskerroilla marraskuusta -99 syyskuuhun 2000.

CO ₂ , ppm	Puru	11/99	3/00	4/00	6/00	8/00	9/00
Tila 1		3000	3500		1500		1300
Työvaihe			3000		3000		
Tila 2		3000	2200		800	1000	
Työvaihe			2000				
Tila 3	2500	3500	3500		2000	1100	
Työvaihe	2000		2500				
Tila 4	2000		3500		1500		
Työvaihe			2500				
Tila 5				1400	500	1000	1100

Taulukko 22. Rikkivetypitoisuudet (ppm) kompostisikaloissa purupohjan ja turvepohjan aikana sekä taustatilanteessa että työvaiheen aikana kiinteissä mittauspisteissä. * kääntö, ** määrän massan ulosvienti.

H ₂ S, ppm	Purupohja		Turvepohja	
	tausta	kääntö	tausta	työvaihe
Tila 1	0,02	8,40 2,80	<0,02 0,05	0,17 0,09 1,96*
Tila 2	0,05	0,51	<0,02	
Tila 3	0,05	1,20	<0,02	0,08**
Tila 4	<0,02 0,03 0,02	0,50		

turvepohjalla jäivät ensimmäisillä mittauskerroilla näin alhaisiksi, niitä ei katsottu tarpeelliseksi mitata enää myöhemmin.

5.2.4 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Sikaloiden ilmasta kerätyt näytteet analysoitiin kaasukromatografi/massaspektrometrialitteistolla, johon oli yhdistetty samanaikainen haistelu. Sikaloiden ilmasta tunnistettiin massaspektrien perusteella yhteensä noin 150 haihtuvaa orgaanista yhdistettä (VOC), jotka on luetteloitu liitteessä 4. Liitteen taulukkoon on kirjattu yhdisteiden molekyylikaavat, molekyylipainot, retentioajat kaasukromatogrammeista, kirjallisuudesta löydetty hajukynnykset ja hajunkuvaukset sekä joidenkin yhdisteiden ärsytuskynnykset. Sikaloiden ilmassa esiintyi myös useita yhdisteitä (mm. alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä), joita ei kyetty tunnistamaan tarkasti pelkkien massaspektrien perusteella.

Sikaloiden ilmassa esiintyneiden tärkeimpien hajuyhdisteiden pitoisuudet määritettiin kaikista ilmanäytteistä, jotta voitiin seurata kompostipohjan toimivuutta ja hajupäästöjen vähenemistä. Seuraavissa kappaleissa käsitellään yksitellen kunkin sikatilan tärkeimpien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden analyysituloksia. Tarkempaan

tarkasteluun valittiin seuraavat yhdisteet: etikkahappo, propaanihappo, butaanihappo, p-kresoli, α -pineeni, dimetyyliidisulfidi, 2,3-butaanidioni, 3-hydroksi-2-butanoni ja trimetyyliamiini. Nämä yhdisteet valittiin, koska niitä on löydetty tyypillisesti sikaloiden ilmasta ja niiden on todettu olevan pahan hajuisia ja / tai niillä on alhaiset hajukynnykset (O'Neill & Phillips 1992, Mackie et al. 1998, Louhelainen et al. 2001).

O'Neill ja Phillips määrittivät, että haihtuvat karboksyylihapot, p-kresoli, indoli, skatoli, 2,3-butaanidioni ja ammoniakki ovat karjasuojan ilman tärkeimpiä hajuyhdisteitä, koska niitä esiintyy suhteellisen korkeina pitoisuuksina tai koska niillä on alhaiset hajukynnykset (O'Neill & Phillips 1992). Mackie työryhmineen listasivat sikalan pääasiallisiksi hajuyhdisteiksi ammoniakin, amiinit, rikkiä sisältävät yhdisteet, haihtuvat rasvahapot, indolit, skatolin, fenoliset yhdisteet, alkoholit ja karbonyyliyhdisteet (Mackie et al. 1998). Tässä tutkimuksessa indolia ja skatolia esiintyi vain muutamissa, talviaikana otetuissa näytteissä erittäin pieninä pitoisuuksina. Skatolin pitoisuus näissä näytteissä ylitti sille kirjallisuudesta löydetyn alimman hajukynnyksen, mutta kummankaan yhdisteen kohdalla ei havaittu hajuja haisteluissa.

Sikala 1

Kuvassa 4 on esitetty tärkeimpien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden taustapitoisuudet tilalla 1 eri ajankohtina. Kuvaa 1 käsitellään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

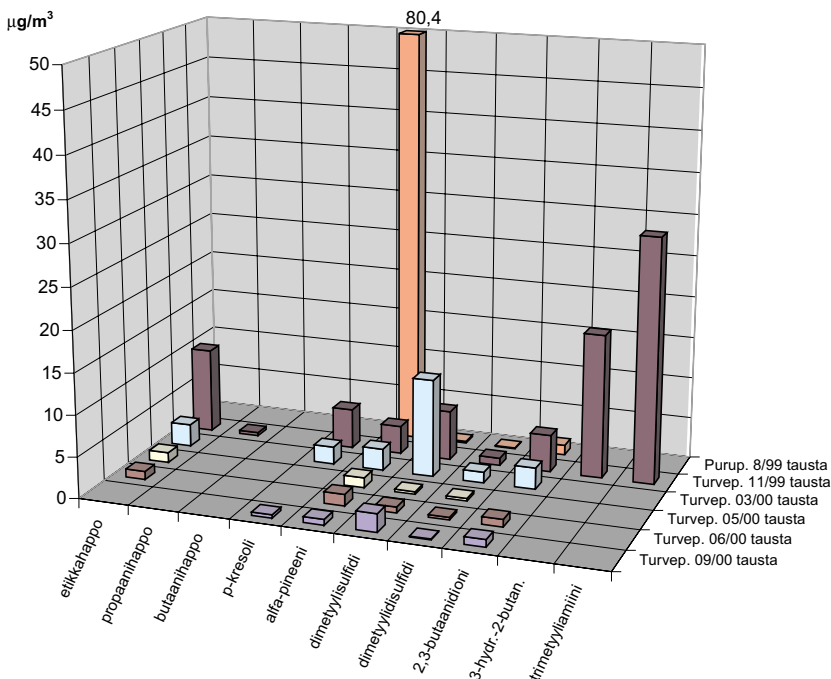
Vanhan purupohjan aikana kerätyissä näytteissä kesällä (8/99) terpeenien pitoisuudet olivat selvästi korkeampia kuin muiden yhdisteiden pitoisuudet. Saman havainnon teki Louhelainen tutkiessaan purupohjaisia kompostisikaloita (Louhelainen et al. 2001). Terpeenit, kuten α -pineeni, kamfeeni, β -pineeni, 3-kareeni ja limoneeni, ovat peräisin kuivikemateriaalina käytetystä purusta. Sikala 1:n purupohjan ilmanäytteiden haisteluissa havaittiin muutamia hajuja pääasiassa terpeenien kohdalla (mm. puumaisia, sitruunamaisia, tunkkaisia hajuja).

Ensimmäisissä turvepohjan aikana kerätyissä ilmanäytteissä syksyllä (11/99) useiden haihtuvien, haisevien yhdisteiden pitoisuudet olivat kasvanneet purupohjaan ver-

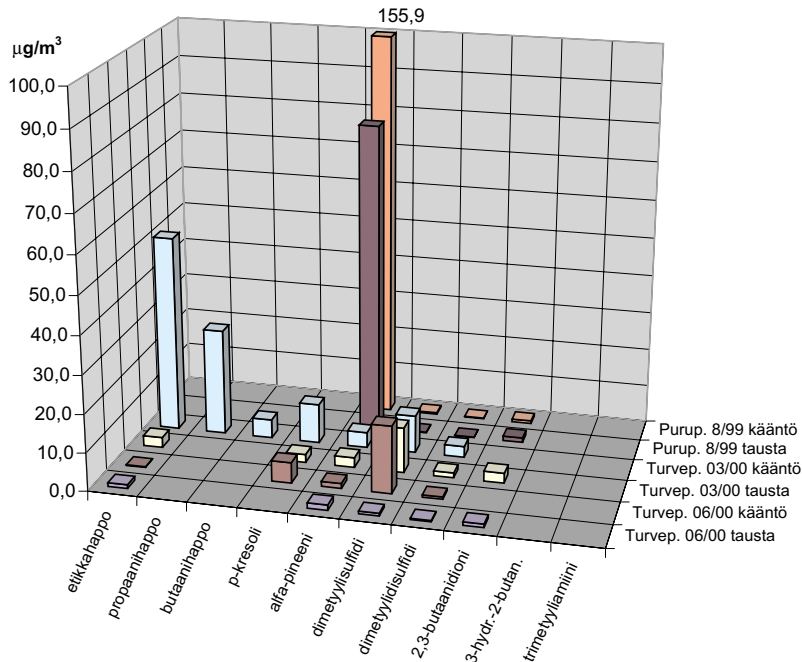
rattuna. Sen sijaan terpeenien pitoisuudet olivat selvästi vähentyneet turvepohjaan siirryttäessä. Hajuja havaittiin marraskuun näytteissä selvästi enemmän kuin elokuun näytteissä, esim. trimetyyliamiinin aiheuttama paha, kalamainen haju, p-kresolin aiheuttama paha, lantamainen ja hevosmainen haju sekä 2,3-butaanidionin aiheuttama toffeen haju.

Talvella (3/00) otetuissa turvepohjan ilmanäytteissä haisevien yhdisteiden pitoisuudet olivat hiukan vähentyneet dimetyylisulfidin ja dimetyyldisulfidin pitoisuuksia lukuunottamatta, jotka olivat kasvanneet marraskuuhun 1999 verrattuna. Pahimmat hajut havaittiin haisteluissa p-kresolin kohdalla.

Kesällä (5/00) ja (6/00) otetuissa taustanäytteissä haisevien yhdisteiden pitoisuudet olivat erittäin alhaisia eikä pahoja hajuja juurikaan havaittu. Molemmista taustanäytteistä havaittiin turvemainen, kamferimainen haju, mutta hajun kohdalla ei esiintynyt kromatogrammeissa tunnistetta-



Kuva 4. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sikalan 1 taustamittauksissa.



Kuva 5. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sikalan 1 taustamittauksissa ja käännön aikana.

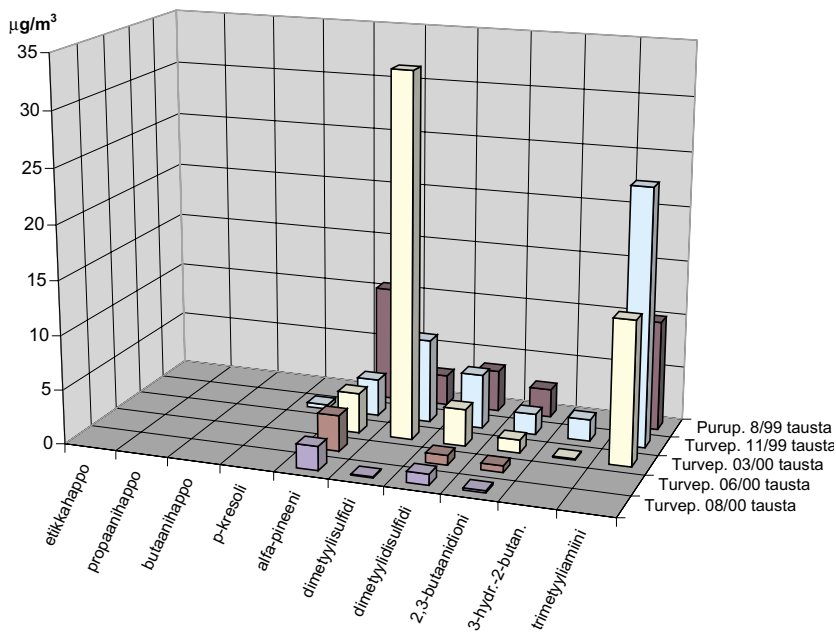
via piikkejä. Kyseisen yhdisteen/yhdisteiden hajukynnys on todennäköisesti niin alhainen, että haju voitiin havaita, vaikka yhdisteen piikki ei näkynyt kromatogrammissa. Kyseistä turvemaista ja kamferimaista hajua kuvattiin samanlaiseksi kuin turvesikalalan sisällä näyteenottohetkellä havaittua hajua.

Syksyllä (9/00) turvepohja oli kostunut ja haju sikalassa oli voimistunut. Haihtuvien yhdisteiden pitoisuudet olivat kuitenkin edelleen alhaisia – ainoastaan dimetyylisulfidin pitoisuus oli kohonnut kesän mittauksiin verrattuna. Haisteluissa havaittiin mm. 2,3-butaanidionin ja p-kresolin hajut sekä likainen, sienimäinen haju, jonka aiheuttajaa ei tunnistettu. Sikalan voimistuneen hajuun suurimpana syynä oli todennäköisesti ammoniakki, jonka pitoisuus oli selvästi kohonnut vuoden aikaisempiin mittauksiin verrattuna (ks. taulukko 20).

Kuvassa 5 on esitetty tärkeimpien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden taustan ja käännön aikaiset pitoisuudet tilalla 1.

Purupohjan käännön aikana kesällä (8/99) otetuissa ilmanäytteissä terpeenien pitoisuudet olivat korkeammat kuin ennen kääntöä otetuissa taustanäytteissä. Lisäksi käännön aikaisista näytteistä tunnistettiin useita traktorin pakokaasusta peräisin olevia alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä. α -Pineenin aiheuttama purumainen, puumainen haju voimistui. Käännön aikana otetuista näytteistä havaittiin myös mm. pakokaasumaista hajua, jota ei havaittu taustanäytteestä.

Turvepohjan käännön aikana talvella (3/00) haisevien yhdisteiden pitoisuudet kasvoivat selvästi taustanäytteisiin verrattuna. Etenkin etiikkahappoa, propaniinihappoa, butaanihappoa ja p-kresolia esiintyi käännön yhteydessä enemmän. Myös alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä esiintyi, aivan kuten purupohjankin käännön aikana otetuissa ilmanäytteissä. Pahimmat hajut havaittiin p-kresolin ja karboksyylihapojen kohdalla (etenkin butaanihapon ja metyylibutaanihapojen aiheuttamat happa-



Kuva 6. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sikalan 2 taustamittauksissa.

mat, härskit ja hikiset hajut). Turvepohjan käännön aikana otetuista näytteistä havaittiin myös mm. paha, sienimäinen haju ja pakokaasumaisia hajuja, joita ei havaittu taustanäytteiden haisteluissa. Pakokaasumainen haju aiheutuu todennäköisesti traktorin pakokaasusta peräisin olevista alifaattisista ja/tai aromaattisista hiilivedyistä.

Kesällä (6/00) tehdyn käännön aikana p-kresolin ja dimetyylisulfidin pitoisuudet kasvoivat ja hajuja havaittiin hiukan enemmän kuin taustanäytteiden haisteluissa. p-Kresolin hajun lisäksi havaittiin kamferimainen, maamainen haju, jonka aiheuttajaa ei löydetty. Traktorin pakokaasusta peräisin olevat hiilivedyt esiintyivät näissäkin näytteissä.

Tilalta 1 otettiin keväällä (5/00) vertailun vuoksi ilmanäytteet myös perinteisestä lietesikalasta. Lietesikalan ja kompostisikalan hajuyhdisteiden eroja käsitellään tämän luvun kohdassa Tulosten yhteenveto.

Sikala 2

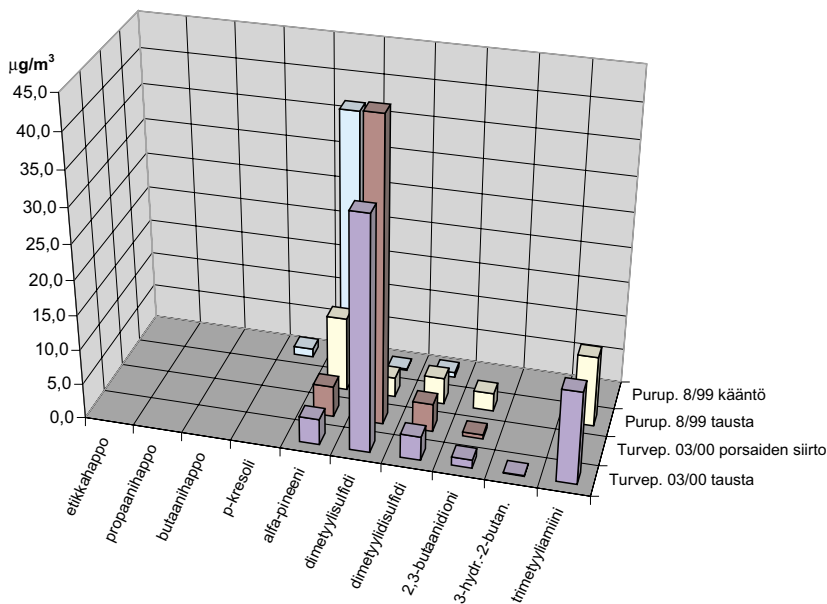
Kuvassa 6 on esitetty tärkeimpien haihtuvi-

en orgaanisten yhdisteiden taustapitoisuudet tilalla 2 eri ajankohtina.

Vanhan purupohjan aikana kesällä (8/99) otetuissa ilmanäytteissä havaittiin purusta peräisin olevia, puun hajuisia terpeenejä sekä mädäntyneen hajuista dimetyylisulfidia, dimetyylidisulfidia, kalanhajuista trimetyyliamiinia ja toffeen hajuista 2,3-butaanidionia. Haisteluissa havaittiin myös mätä, viemärimäinen haju, jonka aiheuttajaa ei tunnistettu.

Syksyllä (11/99) otetuissa turvepohjan taustanäytteissä terpeenien ja 2,3-butaanidionin pitoisuudet olivat vähentyneet, mutta trimetyyliamiinin, dimetyylisulfidin, dimetyylidisulfidin, 3-hydroksi-2-butanonin ja p-kresolin pitoisuudet olivat kasvaneet purupohjaan verrattuna. Haisteluissa havaittiin mm. trimetyyliamiinin, dimetyylisulfidin, 2,3-butaanidionin, α -pineenin ja p-kresolin hajut sekä yksi likainen, mätä haju, jonka aiheuttajaksi epäillään dimetyylitrisulfidia. Pahanhajuisia karboksyylihappoja ei havaittu sikala 2:n ilmanäytteistä milloinkaan.

Talvella (3/00) dimetyylisulfidin pitoi-



Kuva 7. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sikalan 2 taustamittauksissa ja työvaiheiden aikana.

suus oli entisestään kasvanut ilmeisesti pohjan kostumisen ja toimimattomuuden seurauksena. Muiden hajuyhdisteiden pitoisuudet olivat kuitenkin pääsääntöisesti laskeneet syksyyn (11/99) verrattuna. Haistelussa havaittiin trimetyyliamiinin, 2,3-butaanidionin ja dimetyylidisulfidin hajut sekä paha, ulostemainen haju, jonka aiheuttajaa ei tunnistettu.

Kesällä (6/00 ja 8/00) mittaukset tehtiin uudistetulla turvepohjalla, joka toimi hajuyhdisteiden vähentämisessä paremmin kuin edellinen turvepohja ja sitä edeltänyt purupohja. Kesällä ilmanäytteissä oli vain vähän haihtuvia ja haisevia yhdisteitä eikä pahoja hajuja havaittu.

Kuvassa 7 on esitetty tärkeimpien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden taustan ja työvaiheiden aikaiset pitoisuudet tilalla 2.

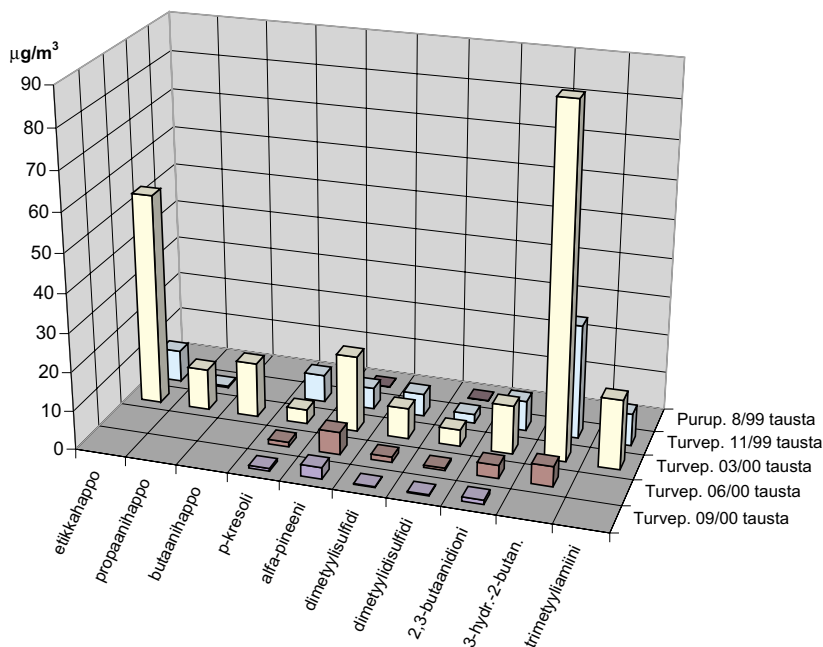
Purupohjan käännön aikana kesällä (8/99) terpeenien ja p-kresolin pitoisuudet kasvoivat sekä niiden aiheuttamat hajut voimistuivat taustanäytteisiin verrattuna. Trimetyyliamiinin, dimetyylisulfidin, dimetyylidisulfidin ja 2,3-butaanidionin pitoisuudet laskivat käännön aikana todennä-

köisesti siitä syystä, että sikalan ulko-ovet olivat auki, jolloin tuulettuminen lisääntyi. Purupohjan käännön aikana otetuissa näytteissä esiintyi myös traktorin pakokaasusta peräisin olevia alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä sekä muutamia pakokaasumaisia hajuja ja yksi mädäntynyt, rikkimäinen haju, joita ei havaittu taustanäytteistä.

Työvaiheena mitattiin porsaiden siirto sikalan sisällä karsinasta toiseen talvella (3/00). Porsaiden siirron aikana dimetyylisulfidin ja dimetyylidisulfidin pitoisuudet kasvoivat, mutta trimetyyliamiinin pitoisuus laski nolnaan taustatilanteeseen verrattuna. Trimetyyliamiinin vähenemisen syytä ei tiedetä, mutta sillä saattaa olla yhteys porsaiden virtsaamisen vähenemiseen mitauspisteen edessä porsaiden siirron aikana. Haisteluissa havaittiin happaman maidon ja rikin hajua dimetyylisulfidin kohdalla, mutta muuten hajuja havaittiin melko vähän työvaiheen aikana.

Sikala 3

Kuvassa 8 on esitetty tärkeimpien haihtuvi-



Kuva 8. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sikalan 3 taustamittauksissa.

en orgaanisten yhdisteiden taustapitoisuudet tilalla 3 eri ajankohtina.

Vanhan purupohjan aikana kesällä (8/99) otetuissa näytteissä ei esiintynyt juuri lainkaan haihtuvia yhdisteitä eikä hajuja. Sikalassa oli tuolloin selvästi tehokkaampi ilmanvaihto kuin syksyllä 1999 ja talvella 2000 otetuissa turvepohjan ilmanäytteissä.

Syksyllä (11/99) pahimpia hajuja sikalaan aiheuttivat p-kresoli, trimetyyliamiini, dimetyylisulfidi ja 2,3-butaanidioni. Talvella (3/00) trimetyyliamiinin, dimetyylisulfidin, dimetyylidisulfidin, karboksyylihappojen, 2,3-butaanidionin ja 3-hydroksi-2-butanonin pitoisuudet olivat edelleen kasvaneet ja niiden aiheuttamat hajut voimistuneet. Trimetyyliamiinin kohdalla haisi pahalta kalalta. 3-Hydroksi-2-butanonin ja 2,3-butaanidionin kohdalla puolestaan havaittiin härskin voim ja toffeen hajua. Propanihapon kohdalla oli mätä, paha haju. Butaanihapon ja 3-metyylibutaanihapon kohdalla havaittiin paha, härski ja hapan haju, 2-metyylibutaanihapon kohdalla havaittiin hapan, karvas ja hikinen haju.

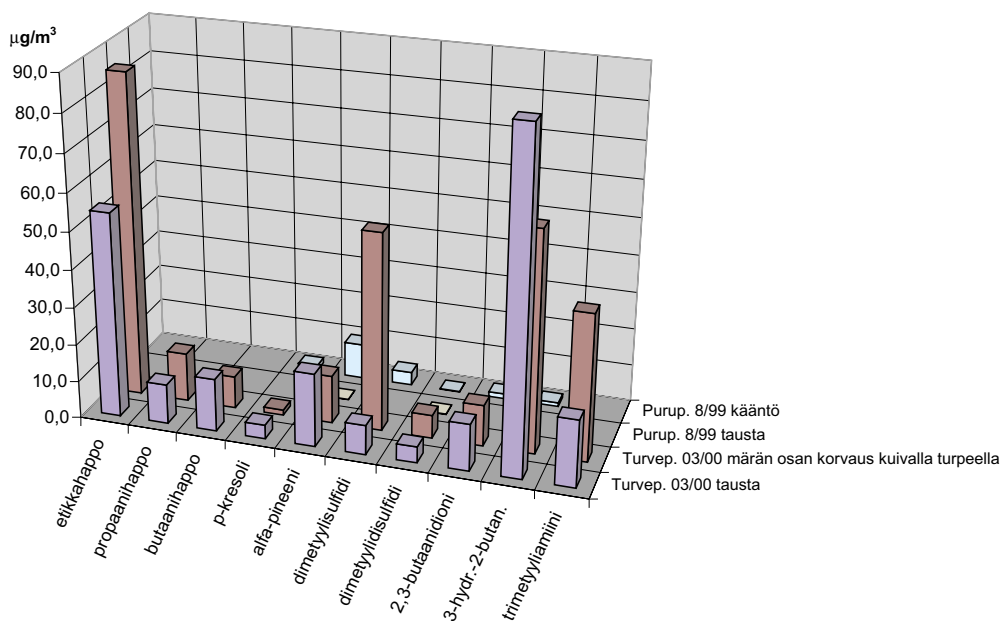
p-Kresoli aiheutti näytteisiin pahan, lantamaisen hajun.

Kesällä ja syksyllä (6/00 ja 9/00) haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet olivat selvästi alhaisemmat kuin talvella otetuissa näytteissä ja hajujakin havaittiin vain vähän. Pahin haju aiheutui p-kresolista, joka haisee alhaisen hajukynnyksensä takia erittäin pienissäkin pitoisuuksissa. Lisäksi havaittiin 2,3-butaanidionin haju sekä paha, sienimäinen haju, jonka aiheuttajaa ei tunnistettu.

Kuvassa 9 on esitetty tärkeimpien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden taustan ja työvaiheiden aikaiset pitoisuudet tilalla 3.

Vanhan purupohjan käynnön aikana kesällä (8/99) mm. terpeenien, dimetyylisulfidin, 2,3-butaanidionin, 3-hydroksi-2-butanonin ja p-kresolin pitoisuudet kasvoivat. Myös hajuja havaittiin enemmän käynnön aikana otetuista näytteistä kuin taustanäytteistä.

Turvepohjan kunnostuksen aikana (määrän osan korvaaminen kuivalla turpeella) talvella (3/00) hajuyhdisteiden pitoisuudet



Kuva 9. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sikalan 3 taustamittauksissa ja työvaiheiden aikana.

pääsääntöisesti kasvoivat – esimerkiksi trimetyyliamiinin, dimetyylisulfidin, dimetyylidisulfidin, etikkahapon ja propaanihapon pitoisuudet kasvoivat. Muutamien yhdisteiden pitoisuudet puolestaan laskivat työvaiheen aikana, koska ulko-ovet olivat auki. Lisäksi turvepohjan työvaiheen ilmanäytteistä tunnistettiin furuaani- ja furfuuraaliyhdisteitä, joita ei esiintynyt taustanäytteissä. Yhdisteet saattavat olla peräisin turpeesta tai mahdollisesti traktorin pakokaasusta. Muilla tiloilla ei havaittu kyseisiä yhdisteitä. Pahimmat hajut havaittiin työvaiheen aikaisista näytteistä trimetyyliamiinin, dimetyylisulfidin ja p-kresolin kohdalta. Lisäksi havaittiin paha, sienimäinen ja viemärimäinen haju, jonka aiheuttajaa ei tunnistettu.

Sikala 4

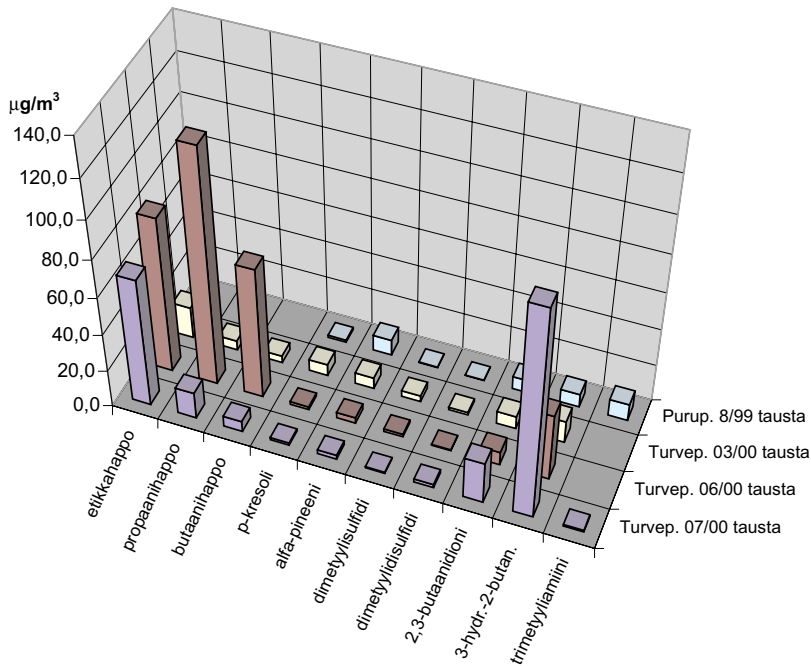
Kuvassa 10 on esitetty tärkeimpien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet tilalla 4 eri ajankohtina.

Vanhan purupohjan aikana kesällä (8/99) otetuissa näytteissä esiintyi terpeene-

jä sekä trimetyyliamiinia, p-kresolia, dimetyylisulfidia, dimetyylidisulfidia, 2,3-butaanidionia ja 3-hydroksi-2-butanonia. Haisteluissa havaittiin pääasiassa trimetyyliamiinin, 2,3-butaanidionin, α -pineenin ja p-kresolin hajut. Lisäksi havaittiin mm. paha viemäriin haju, jonka aiheuttajaa ei tunnistettu.

Talvella (3/00) otetuissa turvepohjan näytteissä oli edellisessä kappaleessa lueteltujen yhdisteiden lisäksi karboksyylihappoja, joita ei havaittu purupohjan ilmanäytteistä. Trimetyyliamiinia esiintyi turvepohjan aikana ainoastaan heinäkuun 2000 näytteissä. Karboksyylihappoista ainakin propaanihappo, butaanihappo ja 3-metyylibutaanihappo aiheuttivat näytteisiin paha hajua. Myös p-kresolin haju oli maaliskuun näytteissä voimakkaampi kuin purupohjan aikana otetuissa näytteissä.

Kesällä (6/00) paha hajua aiheuttavien karboksyylihappojen ja 3-hydroksi-2-butanonin pitoisuudet olivat selvästi suuremmat kuin aikaisemmillä mittauskerroilla. Kaikki sikalassa olleet porsaas olivat tuolloin kahden viikon ikäisiä. Kirjallisuuden



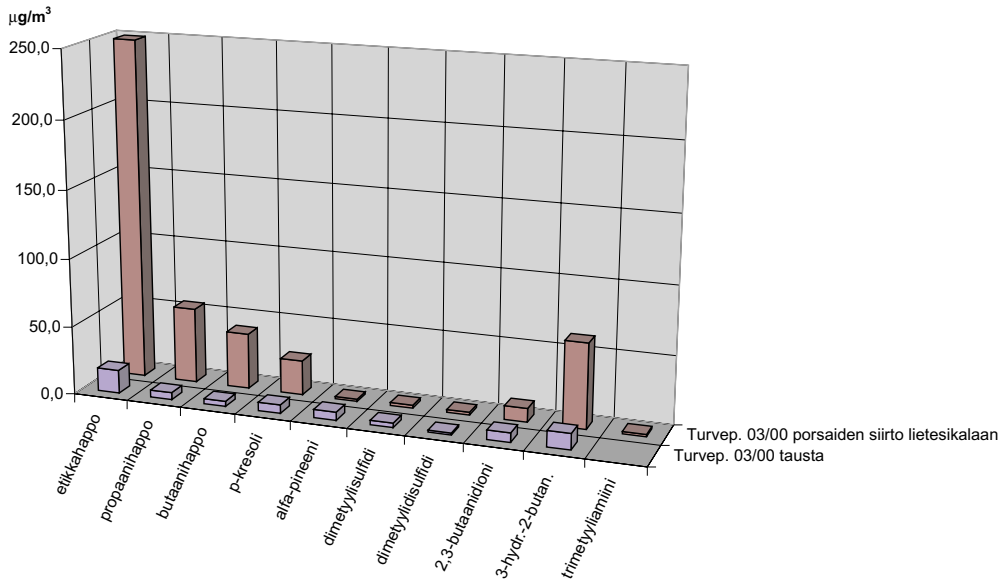
Kuva 10. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sikalan 4 taustamittauksissa.

perusteella pienten porsaiden ulosteiden haju ja haihtuvien yhdisteiden koostumus on erilainen ja monimutkaisempi kuin vanhemmilla sioilla (Yasuhara & Fuwa 1980 ja Yasuhara et al. 1984). Karboksyylihapponen ja 3-hydroksi-2-butanonin kohonneet pitoisuudet saattavatkin johtua juuri siitä, että sikalassa oli pelkästään pieniä porsaita, joiden ulosteet olivat voimakkaamman hajuisia ja koostumukseltaan erilaisia kuin aikaisemmilla mittauserroilla, jolloin sikalassa oli vanhempia sikoja. Karboksyylihapponen hajujen lisäksi havaittiin mm. 2,3-butaanidionin ja p-kresolin hajut sekä yksi navettamainen, likainen haju ja yksi sienimäinen haju, joiden aiheuttajia ei tunnistettu.

Myös myöhemmin kesällä (7/00) sikalassa oli hyvin pieniä porsaita ja tällöinkin 3-hydroksi-2-butanonin ja etikkahapon pitoisuudet olivat korkeammat kuin talvella (turvepohja) ja kesällä 1999 (purupohja) mitatut pitoisuudet. Hajuja havaittiin heinäkuun näytteiden haisteluissa vähemmän kuin kesäkuun näytteistä. Hajuja aiheuttivat karboksyylihapot, p-kresoli ja 2,3-bu-

taanidioni. Lisäksi havaittiin mm. paha, sienimäinen haju, jonka aiheuttajaa ei tunnistettu.

Heinäkuussa 2000 tilalta 4 otettiin ilmanäytteet vertailun vuoksi myös perinteisestä lietesikalasta. Myös tilan 1 lietesikalasta otettiin ilmanäytteet toukokuussa 2000. Karboksyylihapponen, p-kresolin, 3-hydroksi-2-butanonin, 2,3-butaanidionin ja useiden muiden hajuyhdisteiden pitoisuudet olivat tutkituissa puru- ja turvekompostisikaloidissa selvästi alhaisemmat kuin vertailun vuoksi tutkituissa perinteisissä lietesikaloidissa. Lietesikaloiden ja kompostisikaloiden ilmanäytteiden eroavaisuuksia käsitellään lisää kohdassa 5.2.4.1. Liitteessä 5 on esitetty vertailuna tilan 4 lietesikalalan ja turvesikalalan ilmanäytteiden totaali-ionivirtakromatogrammit tärkeimpien yhdisteiden ja hajuineen. Liitteessä hajujen voimakkuutta kuvataan merkinnöillä: + = heikko haju, ++ = selvä haju, +++ = voimakas haju ja ++++ = erittäin voimakas haju. Liitteen kaksi kromatogrammia ovat keskenään vertailukelpoisia,



Kuva 11. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sikalan 4 taustamittauksissa ja työvaiheen aikana.

eli näytemäärät ja analysilaitteiston herkkyys on huomioitu rinnakkaisia kromatogrammeja tulostettaessa.

Kuvassa 11 on esitetty tärkeimpien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden taustan ja työvaiheen aikaiset pitoisuudet tilalla 4.

Tilalla 4 tehtiin työvaihemittaus talvella (3/00), jolloin turvesikalasta siirrettiin sikojen loppukasvatukseen lietesikalan puolelle. Turvesikalan ja lietesikalan välinen sisäovi oli työvaihemittauksen ajan auki, jolloin lietesikalan haju havaittiin myös turvepuolella. Työvaiheen aikana useimpien haihtuvien yhdisteiden pitoisuudet kasvoivat. Etenkin karboksyylihappojen, 3-hydroksi-2-butanonin ja p-kresolin pitoisuudet kasvoivat ja niiden aiheuttamat hajut voimistuivat turvesikalan taustanäytteisiin verrattuna.

Sikala 5

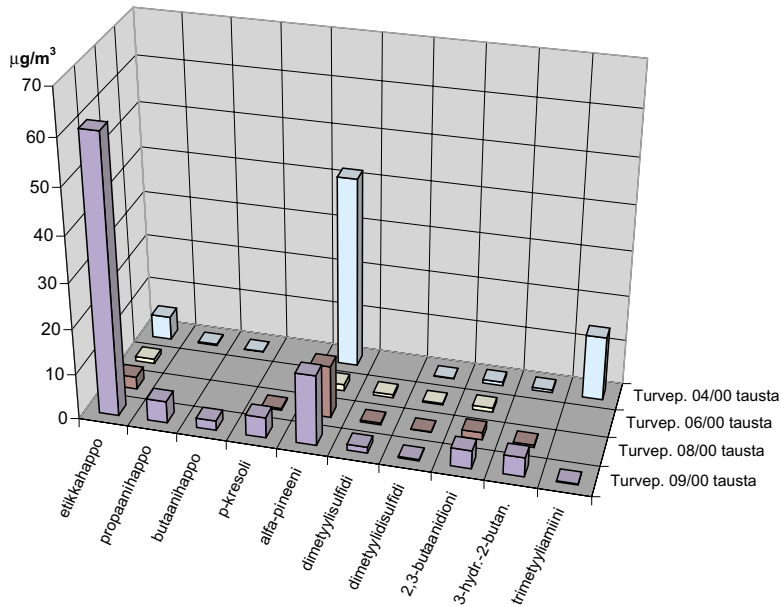
Kuvassa 12 on esitetty tärkeimpien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet tilalla 5 eri mittauskäynneillä.

Tilan 5 sikalarakennus valmistui huhtikuussa 2000, jolloin mitattiin ensimmäisen kerran turvepohjalla. Vertailua purupohjaan ei siten saatu tältä tilalta. Keväällä ter-

peenien pitoisuudet olivat korkeammat kuin muilla mittauskerroilla. Terpeenit olivat tuolloin todennäköisesti peräisin uuden rakennuksen puisista rakennusmateriaaleista ja / tai uudesta kuiviketurpeesta. Haisteluissa havaittiin mm. trimetyyliamiinin, 2,3-butaanidionin ja α -pineenin hajut sekä yksi kasvimainen, perunanvarsien haju ja yksi sienimäinen haju, joiden aiheuttajia ei tunnistettu.

Kesällä (6/00) turvepohja toimi edelleen hyvin ja haihtuvien yhdisteiden pitoisuudet olivat alhaisia ja hajuja havaittiin haistelussa erittäin vähän. Trimetyyliamiinin, terpeenien ja karboksyylihappojen määrät olivat selvästi vähentyneet huhtikuuhun verrattuna.

Myöhemmin kesällä (8/00) turvepohja oli kostunut ja se vaihdettiin mittauskäynnin yhteydessä. Hajuyhdisteiden pitoisuudet eivät kostumisesta huolimatta olleet kasvaneet merkittävästi – ainoastaan p-kresolia, etikkahappoa, α -pineeniä, 3-hydroksi-2-butanonia ja 2,3-butaanidionia havaittiin elokuun 2000 taustamittauksessa enemmän kuin kesäkuussa 2000. Haisteluissa havaittiin pääasiassa 2,3-butaanidionin ja p-kresolin hajut.



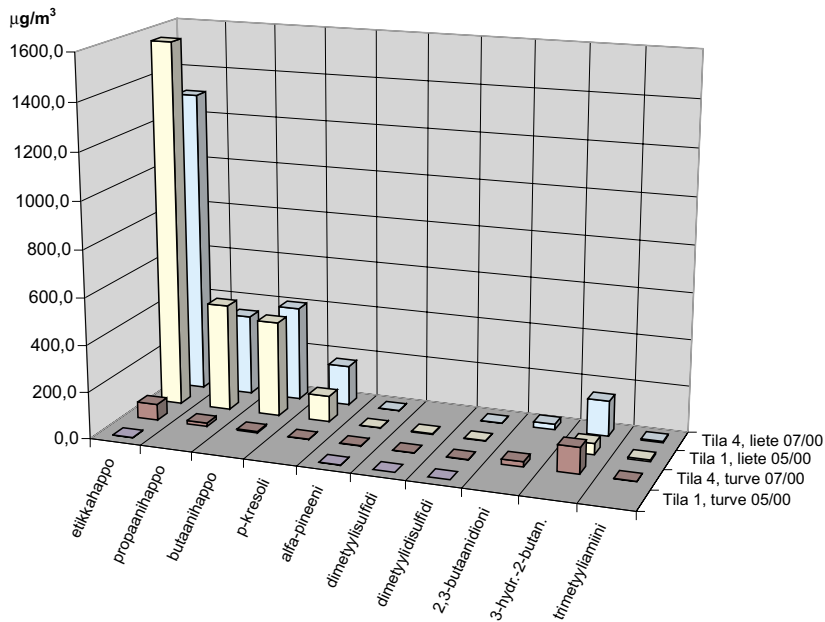
Kuva 12. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sikalan 5 taustamittauksissa.

Syksyllä (9/00) pohja oli jälleen kostunut ja hajuyhdisteiden määrät olivat kohonneet. Etenkin etikkahappoa esiintyi runsaammin kuin edellisillä kerroilla. Hajuja havaittiin pääasiassa 2,3-butaanidionin, α -pineenin ja p-kresolin kohdalla. Lisäksi havaittiin paha, sienimäinen haju, jonka aiheuttajaa ei tunnistettu.

Tilalla 5 tehtiin työvaihemittaus elokuussa 2000, jolloin turvepohja tyhjennettiin traktorin etukuormaajalla kokonaan ja tilalle tuotiin uusi turvekuorma. Hajun määrä sikalassa lisääntyi työvaiheen alussa selvästi, mutta tyhjentämisen edistyessä hajut vähenivät, koska ulko-ovet olivat koko ajan auki ja koska hajulähteen määrä pieneni kuorma kuormalta. Tästä syystä lähes kaikkien haihtuvien yhdisteiden pitoisuudet olivat työvaiheen aikana otetuissa ilmanäytteissä pienemmät kuin taustanäytteissä. Poikkeuksena olivat traktorin pakokaasusta peräisin olevat alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt, joita esiintyi ainoastaan työvaiheen aikana otetuissa näytteissä.

5.2.4.1 Tulosten yhteenveto

Tässä tutkimuksessa käytetyllä menetelmällä etsittiin sikaloiden ilmanäytteistä yksittäisiä, hajua aiheuttavia yhdisteitä ja määritettiin niiden pitoisuudet. Saatuja pitoisuuksia verrattiin yhdisteiden kirjallisuudesta löydettyihin hajukynnyksiin. Tunnistettuja orgaanisia hajuyhdisteitä olivat mm. p-kresoli, karboksyylihapot (C2-C6), trimetyyliamiini, dimetyylisulfidi, dimetyyidisulfidi, 2,3-butaanidioni ja 3-hydroksi-2-butanoni. Useissa näytteissä esiintyi myös paha, sienimäinen haju, jonka aiheuttajaa ei tunnistettu. Sienimäinen haju saattaa olla peräisin C8-alkoholista (esim. 1-okten-3-oli) tai C8-ketonista. Nämä yhdisteet voivat aiheuttaa hajua erittäin pienissä pitoisuuksissa ja sen vuoksi niitä ei välttämättä löydy kromatogrammeista. Sikalailmasta löytyi myös useita sellaisia yhdisteitä, joiden hajukynnykset eivät ylittyneet (esim. alkoholit, alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt, esterit sekä monet ketonit ja aldehydit). Edellä mainittujen yhdisteiden yhteisvaikutus saattaa kuitenkin ylittää hajukynnyksen



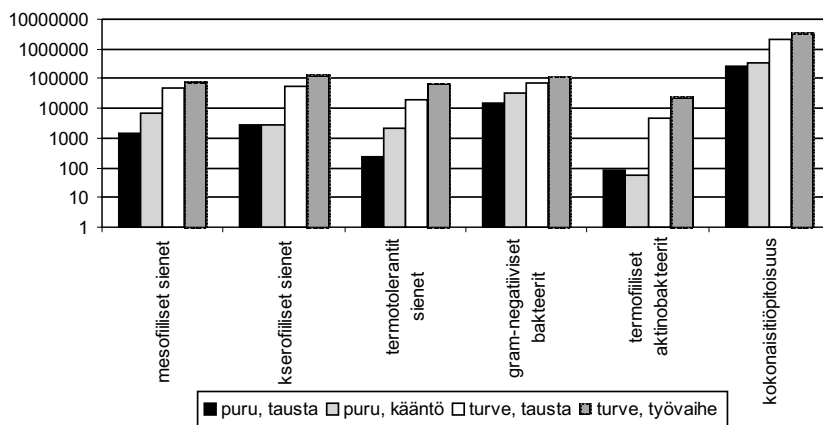
Kuva 13. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet tilojen 1 ja 4 turve- ja lietesikaloissa.

(yhdisteet voivat voimistaa toistensa hajua tai vastaavasti heikentää sitä). Myös yhdisteiden yhteishajun kuvaus voi olla pahempi (tai parempi) kuin yksittäisten hajujen kuvaukset.

Kuvassa 13 on esitetty graafisesti tärkeimpien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet tilojen 1 ja 4 liete- ja turvekompostisikaloissa kesän 2000 mittauksissa. Liettesikaloissa etikkahapon pitoisuus oli yli 1 mg/m^3 ja muiden karboksyylihappojen pitoisuudet olivat useita satoja $\mu\text{g/m}^3$. p-Kresolin pitoisuus lietesikaloissa oli useita kymmeniä $\mu\text{g/m}^3$. Hyvin toimivissa puru- ja turvekompostisikaloissa karboksyylihappoja ja p-kresolia ei havaittu lainkaan tai havaittiin hyvin vähän (muutamia $\mu\text{g/m}^3$). Talviaikana ja pohjan hoitotoimenpiteiden aikana etikkahapon pitoisuus saattoi kohota turvesikalossa jopa $80 \mu\text{g/m}^3$, lukuunottamatta tilan 4 turvekompostisikalaa, jossa etikkahappoa esiintyi enemmän (n. $60\text{--}80 \mu\text{g/m}^3$) nimenomaan kesän mittauksissa. Kesäkuussa 2000 tilan 4 turvekompostisikalassa esiintyi propaanihappoa enemmän kuin etikkahappoa, mikä oli epätavallista. Yleisesti ottaen kaikkien sikaloitten, sekä liete- että kompostisikaloiden, il-

massa oli eniten etikkahappoa, toiseksi eniten propaanihappoa ja kolmanneksi eniten butaanihappoa. Kompostisikalossa happoja esiintyi pääasiassa talviaikana, työvaiheiden aikana tai silloin, kun pohja toimi huonosti. Sikalassa 4 happojen epätavalliseen pitoisuuskoostumukseen saattoi olla syynä edellä mainittu pienten porsaiden ulosteiden erilainen koostumus vanhempien sikojen ulosteisiin verrattuna.

Tutkittujen kompostipohjaisten sikaloitten ilmanäytteissä oli hyvin vähän haihtuvia yhdisteitä verrattuna lietesikaloista otettuihin ilmanäytteisiin. Hyvin toimivassa puru- ja turveolkipohjaisessa kompostisikalassa hajupäästöt työilmaan vähenevät ja työviihtyisyys paranee tältä osin. Mikäli pohja pääsee kostumaan ja kompostoituminen hiipuu, hajuyhdisteiden pitoisuudet kohoavat. Myös pohjan hoitotoimenpiteiden aikana hajuyhdisteiden pitoisuudet usein kohosivat. Talviaikana hajuyhdisteiden pitoisuudet olivat korkeammat kuin muina vuodenaikoina, koska ilmasto on kylmänä aikana sää-



Kuva 14. Elinkykyisten sieni-itiöiden ja aktinobakteerien pitoisuuksien sekä kokonaisitiöpitaisuuksien geometriset keskiarvot puru- ja turvepohjasikaloissa. Elinkykyisten mikrobien pitoisuudet on esitetty yksikössä cfu/m³ ja kokonaisitiöpitaisuudet yksikössä kpl/m³.

detty pienemmälle teholle. Tässä tutkimuksessa tutkituissa puru- ja turvekompostisikaloissa hajuyhdisteiden pitoisuudet eivät yltäneet huonoimmista tilanteista lietesikalosta mitattuihin pitoisuuksiin.

5.2.5 Ilman ja kuivikkeiden mikrobit

5.2.5.1 Ilmanäytteet

Purupohjasikaloista otetuissa taustanäytteissä elinkykyisten sieni-itiöiden pitoisuudet vaihtelivat välillä $<2-10^3$ cfu/m³ ja termofiilisten aktinobakteerien pitoisuudet välillä $<2-10^2$ cfu/m³ (liite 6, taulukko 1). Gram-negatiivisten bakteerien pitoisuudet olivat suurempia kuin muiden mikrobien. Pitoisuudet olivat 10^3-10^5 cfu/m³. Kokonaisitiöpitaisuudet olivat kaikissa taustanäytteissä 10^5 kpl/m³ (Liite 6; taulukko 5). Mikrobipitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin purupohjasikaloissa aikaisemmin mitatut pitoisuudet (Louhelainen et al. 1998).

Purupohjasikaloiden käännön aikana mesofiilisten ja termotoleranttien sieni-itiöiden ja gram-negatiivisten bakteerien pitoisuudet olivat suurempia kuin taustapi-

toisuudet (Liite 6; taulukko 2). Pitoisuudet nousivat keskimäärin 2–10 -kertaisiksi taustatilanteeseen verrattuna (Kuva 14). Kserofiilisten sieni-itiöiden ja termofiilisten aktinobakteerien pitoisuuksissa ei ollut eroja taustan ja käännön aikaisissa mittauksissa. Myös purupohjan käännön aikaiset mikrobipitoisuudet olivat samansuuruisia kuin muissa purupohjasikaloissa käännön aikana tehdyissä tutkimuksissa (Louhelainen et al. 1998).

Purupohjasikaloista otetuissa ilmanäytteissä mesofiilististä ja kserofiilististä sienistä esiintyi yleisimmin *Aspergillus*-, *Cladosporium*- ja *Penicillium*-sienisukujen lajeja sekä hiivoja (Liite 6; taulukko 9). Termotoleranteista sienistä yleisimpiä olivat *Aspidia*-, *Aspergillus*-, *Paecilomyces*- ja *Penicillium*-sukujen lajit. Termofiilististä aktinobakteereista esiintyi *Thermoactinomyces candidus*- ja *Thermoactinomyces vulgaris*-lajeja. Mikrobisuvusto oli pääasiassa samanlainen kuin aikaisemmin purupohjasikaloissa tehdyissä tutkimuksissa (Louhelainen et al. 1998).

Turvepohjasikaloista taustatilanteessa otetuissa näytteissä mesofiilisten ja kserofiilisten sieni-itiöiden ja gram-negatiivisten bakteerien pitoisuudet olivat 10^3-10^5 cfu/m³ (Liite 6; taulukko 3). Myös termoto-

leranttien sieni-itiöiden ja termofiilisten aktinobakteerien pitoisuudet olivat lähes yhtä korkeita (Kuva 14). Turvepohjasikaloiden taustanäytteiden sieni-itiö- ja aktinobakteeripitoisuudet olivat keskimäärin 20–80 -kertaisia ja gram-negatiivisten bakteerien pitoisuudet nelinkertaisia purupuolen taustanäytteisiin verrattuna (Kuva 14). Turvepohjasikaloiden taustanäytteiden elinkykyisten mikrobien pitoisuudet olivat myös huomattavasti korkeampia kuin aikaisemmin perinteisissä lietelantasikaloissa mitatut mikrobipitoisuudet (Louhelainen et al. 1998). Kokonaisitiöpitoisuudet olivat turvepohjasikaloissa 10^5 – 10^7 kpl/m³. Pitoisuudet olivat keskimäärin kymmenen kertaa korkeampia kuin purupohjasikaloiden taustanäytteissä ja perinteissä lietelantasikaloissa mitatut pitoisuudet.

Turvepohjasikaloissa työvaiheiden aikaiset elinkykyiset sieni-itiö- ja aktinobakteeripitoisuudet olivat 10^3 – 10^5 cfu/m³ ja gram-negatiivisten bakteerien pitoisuudet 10^4 – 10^5 cfu/m³ (Liite 6; taulukko 4). Sieni-itiö- ja aktinobakteeripitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa, mitä on aikaisemmin mitattu polttoturpeen noston aikana (Kotimaa 1990a) ja navetoissa heinän jakamisen aikana (Kotimaa 1990b). Kokonaisitiöpitoisuudet olivat kaikissa näytteissä 10^6 kpl/m³. Mikrobipitoisuudet nousivat turveolksikaloiden työvaiheiden aikana keskimäärin 2–5 -kertaisiksi taustatilanteisiin verrattuna. Purupohjasikaloiden käynnön aikaisiin mikrobipitoisuuksiin verrattuna turvepohjasikaloiden pitoisuudet olivat keskimäärin 3–500 -kertaa korkeampia. Lappalaisen (1993) tekemissä tutkimuksissa talli-ilman kokonaisitiöpitoisuudet olivat taustan, ruokinnan ja kuivikkeiden käsittelyn aikana noin kaksi kertaa korkeampia turvetta kuivikkeena käyttävissä talleissa kuin purua käyttävissä talleissa.

Turvepohjasikalosta otetuissa ilmanäytteissä sienisuvusto oli monipuolisempi kuin purupohjasikalosta otetuissa näytteissä (Liite 6; taulukko 9). Mesofiilistä ja kserofiilistä sienistä yleisimmin esiintyi *Aspergillus*- ja *Penicillium*-sienisukujen lajeja sekä hiivoja. *Aspergillus*-sienistä näytteissä oli eri-

tyisesti *Aspergillus flavus*-lajeja. Termotoleranteista sienistä yleisimpiä olivat *Absidia* ja *Aspergillus flavus*. Termofiilistä aktinobakteereista esiintyi *Thermoactinomyces candidus*- ja *Thermoactinomyces vulgaris*-lajeja.

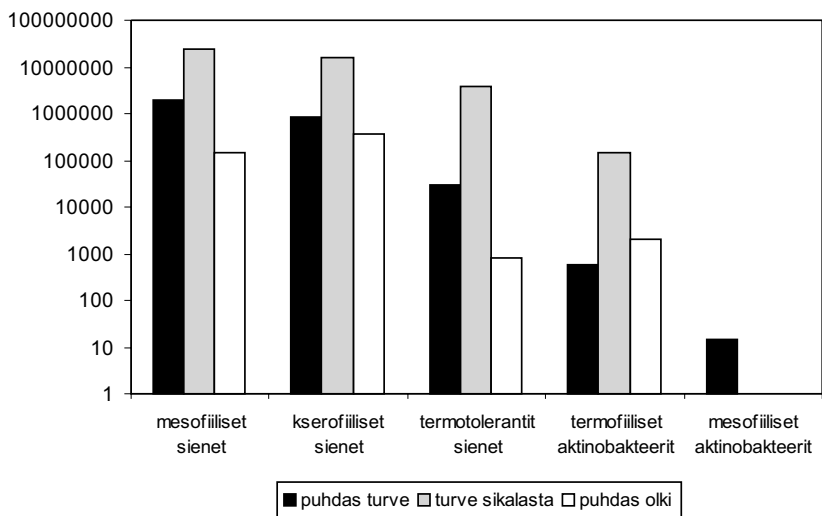
5.2.5.2 Materiaalinäytteet

Puhtaasta, käyttämättömästä turpeesta otetuissa materiaalinäytteissä elinkykyisten mesofiilisten ja kserofiilisten sieni-itiöiden pitoisuudet vaihtelivat välillä 10^2 – 10^7 cfu/g ja termotoleranttien sieni-itiöiden pitoisuudet välillä 10^3 – 10^5 cfu/g (Liite 6; taulukko 6). Termofiilisten aktinobakteerien pitoisuudet olivat 10^2 – 10^3 cfu/g ja mesofiilisten aktinobakteerien < 100 – 10^7 cfu/g. Myös muissa tutkimuksissa puhtaan turpeen mikrobipitoisuudet ovat olleet korkeita. Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Larsson et al. 1999) puhtaassa turpeessa esiintyi erityisesti kserofiilisiä sieniä, joiden pitoisuudet olivat 10^6 – 10^7 cfu/g. Lappalaisen (1993) tutkimuksessa puhtaassa turpeessa mesofiilisten ja kserofiilisten sieni-itiöiden pitoisuudet olivat keskimäärin 10^4 – 10^5 cfu/g.

Sikojen karsinasta otetuissa turvenäytteissä mikrobipitoisuudet olivat korkeampia kuin puhtaasta turpeesta otetuissa näytteissä (Liite 6; taulukko 7). Pitoisuudet olivat keskimäärin 12–250 -kertaisia puhtaisiin turvenäytteisiin verrattuna (Kuva 15). Hevostalleissa tehdyissä tutkimuksissa hevosten karsinoista otetuissa turvenäytteissä mikrobipitoisuudet ovat olleet 10–100 -kertaa korkeampia kuin puhtaassa turpeessa (Lappalainen 1993).

Puhtaasta oljesta otetuissa materiaalinäytteissä sieni-itiöiden ja mesofiilisten aktinobakteerien pitoisuudet olivat keskimäärin 2–35 -kertaa pienempiä kuin puhtaasta turpeesta otetuissa näytteissä (Liite 6; taulukko 8). Termofiilistä aktinobakteereja oli puolestaan oljessa enemmän kuin turpeessa (Kuva 15).

Puhtaassa turpeessa mesofiilistä ja kserofiilistä sienistä esiintyi yleisimmin *Oidiodendron*- ja *Penicillium*-sienisukujen lajeja sekä hiivoja (Liite 6; taulukko 10).



Kuva 15. Elinkykyisten sieni-itiöiden ja aktinobakteerien pitoisuuksien sekä kokonaisitiöpitoisuuksien geometriset keskiarvot turve- ja olkinäytteissä. Tulokset on esitetty yksikössä cfu/g.

Aikaisemmissa tutkimuksissa hiivat ovat olleet yleisimpiä sieniä (Lappalainen 1993). Termotoleranteista sienistä yleisimpiä olivat *Paecilomyces*- ja *Penicillium*- sukujen lajit sekä hiivat. Hiivat ovat olleet puhtaan turpeen yleisimpiä termotoleranteja sieniä myös muissa tutkimuksissa (Lappalainen 1993). Termofiilististä aktinobakteereista esiintyi *Thermoactinomyces candidus*- ja *Thermoactinomyces vulgaris*-lajeja.

Sikojen karsinasta otetuissa turvenäytteissä sienisuvusto oli erilainen kuin puhtaassa turpeessa. Mesofiilististä ja kserofiilististä sienistä yleisimpiä olivat *Absidia*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium* ja hiivat. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin ruotsa-

laisessa tutkimuksessa, jossa puhtaan turpeen yleisin sienisuku oli *Penicillium* ja sikojen karsinassa kuivikkeena olleen turpeen *Aspergillus flavus* (Larsson et al. 1999). Termotoleranteista sienistä sikojen karsinasta otetuissa näytteissä yleisimpiä olivat tässä tutkimuksessa *Absidia*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus* sp. ja hiivat.

Puhtaassa oljessa mesofiilististä ja kserofiilististä sienistä yleisimmin esiintyi *Cladosporium*- ja *Penicillium*- sienisukuja, steriilejä sieniä sekä hiivoja. Termotoleranteista sienistä yleisimpiä olivat *Aspergillus*-sienen lajit. Termofiilististä aktinobakteereista näytteissä esiintyi *Thermoactinomyces candidus*- ja *Thermoactinomyces vulgaris*-lajeja.

Taulukko 23. Endotoksiinipitoisuudet ng/m³. kp = kiinteä mittauspiste, hv = hengitysvyöhyke, AM = aritmeettinen keskiarvo, GM = geometrinen keskiarvo.

Tunnusluku	Puru, tausta	Puru, kääntö, kp	Puru, kääntö hv	Turve, tausta	Turve, työvaihe, kp	Turve, työvaihe, hv
AM	1800	770	1700	940	1500	940
GM	1400	670	1400	605	1200	760
min	320	320	760	170	320	360
max	2500	1400	2700	4900	3100	2200

5.2.6 Endotoksiinit

Purupohjasikalosta otetuissa taustanäytteissä endotoksiinipitoisuudet vaihtelivat välillä 320–2500 ng/m³ ja pohjan käännön aikaisissa näytteissä välillä 320–2700 ng/m³ (Taulukko 23). Nämä pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa, mitä on aikaisemmin havaittu purupohjasikalossa, mutta pienempiä kuin perinteisissä lietelantasikalossa mitatut pitoisuudet (Louhelainen et al. 1998). Parsi- ja pihattonavettoihin verrattuna endotoksiinipitoisuudet ovat huomattavasti suurempia (Haatainen et al. 1996).

Turveolkisikalosta otetuissa näytteissä endotoksiinipitoisuudet olivat taustanäytteissä 170–4900 ng/m³ ja työvaiheiden aikaiset pitoisuudet 320–3100 ng/m³. Pitoisuuksissa ei ollut juurikaan eroa purupohjasikaloiden näytteisiin verrattuna.

Eri mittauskertojen tilakohtaiset tulokset on esitetty liitteessä 7.

Suomessa ja muualla maailmassa ei ole virallisia ohjevoja työilman endotoksiinipitoisuuksille. Suurimmaksi sallituksi työilman endotoksiinipitoisuudeksi on ehdotettu 20–30 ng/m³ (Palchak et al. 1990, Rylander 1994 ja Laitinen 1999). Tässä tutkimuksessa nämä arvot ylittyivät selvästi.

5.2.7 Terveysseuranta

Tutkimuksen alussa kukaan viljelijöistä ei sairastanut astmaa eikä heillä ollut astmaan viittaavaa hengityksen vinkumista. Toistuvaa limannousua ja yskää oli vain yhdellä henkilöllä. Neljällä viljelijällä oli joskus ollut orgaanisen pölyn aiheuttamaan toksiseen oireyhtymään (ODTS) viittaavia oireita ja useimmiten kyseiset oireet liittyivät puintiin tai viljan käsittelyyn. Vain yhdellä oli allergista nuhaa ja kolmella työhön liittyviä kurkkuoireita, mutta työhön liittyvää silmäoireilua peräti kuudella viljelijällä. Käsi-ihottumaa oli ollut neljällä viljelijällä, joista yhdellä ihottumaa oli tutkimushetkellä.

Tutkimukseen liittyvä oire seuranta toteutui vain osittain. Viisi henkilöä suoritti

seurannan toivotulla tavalla. Tilalta 5 ei saatu yhtään seurantatulosta ja tilalta 4 jäi puuttumaan yksi seuranta. Yksi tutkimushenkilö teki kaksi ylimääräistä seuranta tutkimuksen aikana ilmaantuneiden hengenahdistusoireiden takia (Liite 8).

Tutkimukseen osallistuneilla viljelijöillä ei ennen tutkimusta ollut oirekyselyssä astmaan viittaavia oireita. Yhdellä osallistujalla oli ensimmäisen seurantajakson aikana huomattavan korkea uloshengityksen huippuvirtausarvojen vaihtelu (koko jakson vaihtelu 25 %). Kyselyssä todettiin sen sijaan runsaasti työhön liittyviä ODS-oireyhtymään sopivia oireita, joista suurin osa paheni viljan käsittelyssä sopien hyvin tyypilliseksi työperäiseksi oireeksi. Lisäksi silmien ajoittaisia ärsytysoireita oli runsaasti.

Seurannassa yhdellä henkilöllä todettiin uloshengityksen huippuvirtausarvojen huomattava aleneminen, jonka takia hänet lähetettiin ammattiastmaepäilyn takia sairaalaututkimuksiin. Muutoin uloshengityksen huippuvirtausarvoissa ei tapahtunut oleellisia muutoksia.

Samalla henkilöllä, joka lähetettiin ammattiastmaepäilynä jatkotutkimuksiin, todettiin myös huomattava oireilun lisääntyminen. Muutoin seurannan aikana ei oireiden lisääntymistä todettu. Tutkimushenkilöiden välillä oli huomattavia eroja oirepiteissä. Tutkimushenkilöllä, joilla oli korkeat oirepistemäärät, oli kaikissa kyselyissä jokin päiväisiä ja osin hankalia tuki- ja liikuntaelinoireita, jotka eivät liity sikalan ilman laatuun. Aamulämpötilojen vaihtelu jaksosen aikana oli pääosin alle 1 °C. Ainoan poikkeuksen muodosti henkilö, joka astmaepäilyn takia lähetettiin jatkotutkimuksiin. Hänen aamulämpötilansa kohosi oireisen jaksosen aikana.

5.3 Ympäristöselvitykset

5.3.1 Sikaloiden vaikutukset pinta- ja pohjavesiin

Tutkimustuloksia tarkasteltaessa on ensimmäisenä todettava, ettei tutkimuksen kesto

anna teoriassakaan kovin suuria mahdollisuuksia etsiä ja tunnistaa kyseisen kompositikalatoiminnan mahdollisia negatiivisia tai positiivisia vaikutuksia pohjavesiin ja vesistöihin. Mitään hälyttäviä, akuutteja vaikutuksia ei kuitenkaan tutkimuksen aikana voitu havaita. Tutkimuksen yhteydessä aikaansaatu materiaali antaa kuvan nykyisin vallitsevasta tilanteesta ja se voi toimia erinomaisena vertailuaineistona tarkasteltaessa pitemmän ajan kuluttua toiminnan mahdollisia ympäristövaikutuksia kokonaisuudessaan. Eri sikaloiden vaikutuksista voidaan todeta lyhyenä yhteenvetona seuraavaa:

Tila 1

Kaivo on porakaivo, jonka veden laatu on hyvää. Vesistönäytteet on otettu Virtalanojasta, johon tilan pellot pääosin rajoittuvat. Virtalanoja laskee Pälämään, joka on Keski-Suomen ympäristökeskuksen aiempien tulosten mukaan laadultaan hyvää ja fosforipitoisuudeltaan karua vesistöä ilmentävää. Virtalanojan vesi on lievästi hapanta ja humuspitoista. Fosforipitoisuudet ovat jokivedeksi pieniä eivätkä ilmaise sellaiseen rehevöitymistä.

Tila 2

Kaivon vesi tulee lähteestä. Sen laatu on kemiallisesti muuten hyvää, mutta nitraattipitoisuudet ovat jo huomattavan korkeita. Pitoisuus on ollut korkeimmillaan keväällä lumen sulamisen jälkeen. Hygieeniseltä laadultaan vesi on kuitenkin vielä hyvää.

Tila 3

Näytteitä on otettu vain pihapiirissä olevasta käytössä olevasta kaivosta. Veden kemiallinen laatu on vaihdellut eri vuodenaikoina. Veden kemiallinen laatu on ollut hyvää ja vain hieman kohonneet nitraattipitoisuudet ilmentävät jossain määrin pitkän ajan kuluessa tapahtunutta pohjaveden nuhraantumista. Hygieeniseltä laadultaan kaivovesi on ollut yleensä täysin moitteetonta.

Kaivon veden laatua kannattaa kuitenkin tarkkailla ja seurata erityisesti veden hygieenisyyttä ja myös nitraattipitoisuuden mahdollisia muutoksia.

Tila 4

Näytteitä on otettu pihapiirissä olevasta kaivosta, joka ei ole ollut käytössä kymmenen vuoteen. Kaivoveden nitraattipitoisuus on ollut selvästi kohonnut. Veden hygieeninen tila on ollut muutamilla näytteenottokerroilla arveluttava.

Vuosjärven Hilmonlahdelta oleva vanhempi tulosaineisto ilmaisee lahden lievästi rehevöitymistä. Sen sijaan itse Vuosjärvi on vähäravinteista, laadultaan hyvää vettä. Vesi sisältää kohtalaisesti väriä aiheuttavia luontaisia humusaineita. Tämän tutkimuksen yhteydessä Hilmonlahdelta havaittiin myös kohonneita fosforipitoisuuksia. Myös elokuussa 2000 mitattu klorofyllipitoisuus ilmaisee lievästi järven rehevöitymistä. Talvelta havaittiin selvää hapen vajausta kolmen ja neljän metrin syvyydeltä otetuissa näytteissä. Tähän voi osaltaan vaikuttaa myös luontainen humuspitoisuus. Hilmonlahden tarkkailua kannattaa jatkaa erityisesti sen mahdollista rehevöitymiskehitystä seuraten.

Tila 5

Vesi tilalle johdetaan Valkealammesta. Vesi on pohjaveteen verrattuna vähäsuolaista ja sisältää humusaineita. Kaivon kansi on näytteenoton yhteydessä todettu huonoksi. Kaivoon voi joutua varsinkin huuhtoutumakausina keväisin ja syksyisin likaavia pintavesiä, mitkä heikentävät veden hygieenistä laatua.

Osa tilan pelloista sijaitsee Iso-Heteen laskevan Papinpuron varressa. Aiempien tutkimustulosten mukaan Iso-Hete on ollut rehevä, esimerkiksi sen fosforipitoisuus on ollut jo lähellä 60 µg/L. Papinpuron fosfori- ja typpipitoisuudet ovat olleet korkeita. Ne muodostavat selvän rehevöitymisuhkan Iso-Heteen, johon Papinpuro laskee. Myös Papinpuron hygieeninen tila on huo-

no.

Rehevöityminen näkyy jo Iso-Heteen veden laadussa. Fosfori- ja typpipitoisuudet ovat kohonneet jo huomattavan suuriksi. Rehevöityminen näkyy varmasti jo lisääntyneenä leväkasvustona. Järven seuranta olisi syytä tehostaa ja seurata erityisesti rehevöitymistä ja siihen liittyviä ilmiöitä. Turvepohjaisen sikalaratkaisun mahdolliset positiiviset vaikutukset näkyvät vasta vuosien toiminnan jälkeen.

5.3.2 Päästöt ilmaan

Laskennassa käytetyt päästömäärät ja muut tarvittavat tiedot on esitetty liitteessä 9. Kaikille tiloille on esitetty ammoniakkin päästöt (g/s). Lisäksi tiloille 1 ja 4 on esitetty etikkahapon, butaanihapon ja p-kresolin päästöt (g/s).

Leviämismallinnuksen suurimmat tuntipitoisuudet on esitetty pitoisuusvyöhykkeinä sekä erillisten laskentapisteen pitoisuusarvoina Jyväskylän yliopiston tutkimusraportissa (Niskanen 2000).

Leviämismallinnusten perusteella ammoniakkin suurimmat tuntipitoisuudet puru- ja turvesikaloiden lähiympäristössä eivät ylittäneet kirjallisuudesta löydetyn ammoniakkin hajukynnyksen alarajaa (26,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Hajukynnys saattaa kuitenkin ylittyä tunnin aikana hetkellisesti, sillä suurin tuntipitoisuus jättää hetkelliset pitoisuushuiput huomioimatta. Huonosti toimivassa turvepohjasikalassa ammoniakkipäästöt kohosivat. Sama havainto on tehty myös purupohjasikalossa (Louhelainen et al. 2001).

Lietesikaloiden etikkahappo-, butaanihappo- ja p-kresolipäästöt olivat selvästi suuremmat kuin turvekompostisikalossa. p-Kresolin kirjallisuudesta löydetty alin hajukynnys (0,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyi myös useiden lähinaapureiden kohdalla, jotka sijaitsivat 400–500 metrin etäisyydellä sikalasta. Sen sijaan butaanihapon alin hajukynnys (0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyi vain lietesikaloiden pihapiirissä. Etikkahapon alin hajukynnys (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ei ylittynyt kertaakaan tutkittujen tilojen lä-

hiympäristössä.

Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että leviämismalli laskee hajuyhdisteille ainoastaan suurimmat tuntipitoisuudet, jolloin hajuyhdisteen hetkelliset pitoisuushuiput jäävät huomioimatta. Pitoisuushuipun aikana yhdisteen haju voidaan havaita, vaikka tuntipitoisuus olisikin hajukynnyksen alapuolella (Rantakrans et al. 1995). Hetkellisten huippupitoisuuksien ja tuntipitoisuuksien suhteen (peak-to-mean = P/M) on arvioitu vaihtelevan välillä 1–5, mikäli päästölähde ja laskentapisteen ovat samalla korkeudella. Sikaloitten leviämismallituksissa poistokanavat sijaitsivat suhteellisen lähellä maanpintaa ja erilliset laskentapisteen (lähinaapurit) sijaitsivat suhteellisen kaukana päästökohteista, joten hetkellisten huippupitoisuuksien ja tuntipitoisuuksien suhteen voidaan arvioida olevan luokkaa 1–5 (Niskanen 2000).

Edelleen on huomioitava, että tässä tutkimuksessa käytetyllä menetelmällä määritettiin sikaloitten poistoilmanäytteistä ainoastaan muutamien yksittäisten, hajua aiheuttavien yhdisteiden pitoisuudet, joiden leviämismallilaskennan perusteella voidaan arvioida hajuyhdisteiden kulkeutumista sikaloitten lähiympäristössä. Mallinnuksen perusteella saatuja hajuyhdisteiden pitoisuuksia eri laskentapisteeissä verrattiin kyseisten yhdisteiden kirjallisuudesta löydettyihin hajukynnyksiin ja katsottiin, ylittyykö hajukynnys ko. laskentapisteeissä. Sikalan poistoilman kokonaishaju on kuitenkin todennäköisesti voimakkaampi kuin malliaineiksi valittujen yhdisteiden hajujen yhteenlaskettu voimakkuus. Toisaalta hajuyhdisteet saattavat hajota ja muuntua toiseksi yhdisteiksi ilmassa, jolloin sikalasta peräisin oleva kokonaishaju heikentyy tai muuttuu. Tulokset ovat siten suuntaa antavia.

5.3.3 Ympäristöhaittakyselyt

Kyselyjen perusteella hajuhaittojen kokeminen ja häiritsevyys väheni kolmen kyselykierroksen aikana (15–20 %-yksikköä),

mutta meluhaitat lisääntyivät jonkin verran (5–10 %-yksikköä). Hajun aiheuttamia oireita (esim. ruokahaluttomuus, päänsärky, ärtymys, nukahtamisvaikeudet, pahoinvointi) koettiin erittäin vähän – suurin osa vastaajista (80–100 %) ei kokenut em. oireita lainkaan. Kuitenkin hajun aiheuttaman ärtymyksen kokeminen lisääntyi hie-man kyselykierrosten aikana, mutta muiden oireiden kokeminen väheni. Hajun voimakkuuden arvioimisessa esiintyi suuriakin vaihteluita riippuen siitä, olivatko vastaajat arvioineet sitä tilannetta, kun hajua on hetkellisesti runsaasti (esim. lietelannan levityksen aikana) vai ns. normaalia, jokapäiväistä tilannetta, jolloin hajua ei esiinny juuri lainkaan.

Ympäristöhaittakyselyiden perusteella sikaloista ei aiheudu sanottavasti haittaa lähinaapureille. Kyselyn perusteella sikatilojen lähinaapureita häiritsee eniten muutama kerran vuodessa tehtävä sikalalietteen levitys pelloille, jolloin lietteen haju saattaa tunkeutua asuinhuoneistoonkin. Hajuhaivaintoihin suhtauduttiin yleensä melko ymmärtäväisesti ja niiden sanottiin aiheutuvan normaalista maaseudun toiminnasta. Yhdellä paikkakunnalla viihtyisyshaittaa aiheuttaa sikatilaa enemmän lähistöllä sijaitseva lihakarjatilalla, mikä oli mainittu useissa kyseiseltä paikkakunnalta saapuneissa vastauksissa. Turvekompostoidun kuivalannan levityksestä ei ollut aiheutunut juurikaan hajuhaittoja tai havaintoja ei ollut tehty.

5.3.4 Hajupaneelitutkimus

Kuivalannan levityksen aiheuttamaa hajuhaittaa haluttiin arvioida myös siten, että koottiin neljästä henkilöstä koostuva hajupaneeli, joka teki havaintoja yhdellä tilalla syyskuussa 2000 tapahtuneen turvekompostoidun kuivalannan levityksen aikana. Turvekompostoitu kuivalanta oli ollut pelolla aumassa 1,5 viikkoa sikalasta tyhjentämisen jälkeen. Auman toisessa päässä oli sikojen lanta-alueelta tyhjennettyä kosteampaa kompostimateriaalia ja toisessa päässä

oli makuualueelta tuotua kuivempaa ja puhtaampaa kompostimateriaalia.

Kuivalannan kärryille kuormauksen ja peltoon levityksen aikana hajuhavainnot olivat hyvin vähäisiä. Sää oli lähes tuuleton, tyyni syyssää. Aumaa lähestyttäessä (tuulen alapuolelta) kuormauksen aikana lannan haju havaittiin selvästi vasta n. 15 metrin etäisyydellä. Hajua kuvailtiin auman kosteammassa päässä lehmän lannan hajuksi, tunkiomaiseksi, mutta tyypillistä pistävää sian lannan hajua ei havaittu. Auman kuivassa päässä havaittiin kasvimaista ja maatunutta hajua sekä turpeen ja kamferin hajua. Kuivalannan peltoon levityksen aikana, pellon laidalla seistessä, havaittiin vain lievästi lannan hajua. Voimakkaimmat hajuhavainnot tehtiin ainoastaan auman kosteamman pään vieressä seistessä, kun traktorin etukuormaajalla nostettiin lantakuormia kärryille. Tuolloin nenään pöllähti melko voimakas ja paha, tunkiomainen haju.

Mikäli kuivalannan olisi annettu jälki-kompostoitua aumassa pidempään, hajuyhdisteiden määrä olisi todennäköisesti vähentynyt entisestään. Kyseisen tilan isäntä aikoi kompostoida osan kuivalannasta talven yli ja käyttää sitä keväällä viherrakentamiseen omassa pihapiirissään.

Turvekompostoidun kuivalanta-auman molemmista päistä, pinnan yläpuolelta, otettiin myös ilmanäytteet laboratorioanalyysiä varten (VOC-analyysi). Näytteistä löytyi samoja yhdisteitä kuin aikaisemmin sikalan sisältä, mutta erittäin pieninä pitoisuuksina.

5.4 Turvepohjan taloudellinen kannattavuus

Turvepohjasta aiheutuneet kustannukset selvitettiin kaikilta tiloilta. Tutkimustiloilla käytetyt kuivikemäärät ja kuivikepohjan materiaalikustannukset on esitetty taulukossa 24. Tilojen välillä on huomattavaa vaihtelua käytetyn turpeen ja oljen määrissä. Kun kustannukset lasketaan tuotettua sianlihakiloa kohti, kaikilla muilla paitsi tilalla 4 kustannus on 40 penniä/sianlihakiloa.

Taulukko 24. Turvepohjien seosaineiden kustannukset tutkimustiloilla. * oljen tilavuuspainona käytetty 100 kg/m³, ** kasvatus välitysporsasta 60 kg:n elopainoon.

Tila	Seosaineet Turve, m ³	Olki, kg *	Karsina-ala m ²	Kustannukset mk/lihasika	mk/lihakilo
1	200	3000	160	23,6	0,39
2	139	930	144	21,9	0,37
3					
lihasiat	210	2333	120	23,1	0,37
emakot	419	4667	125	29,6	0,72
4 **	310	5364	308	9,1	0,24
5	118	-	300	24,4	0,42

Taulukko 25. Turvepohjan perustamiseen ja hoitoon käytetyt työtunnit eri sikaloissa kokonaisuudessaan ja tuotettua lihasikaa kohti sekä työkustannus. * käytetty aika välitysporsasta kohti, ** työkustannus tuotettua välitysporsasta kohti.

Tila	Pohjan perustaminen			Pohjan hoito			Kokonais- työkustannus	
	Tuntia	min / sika	mk	tuntia	min / sika	mk	mk / sika	mk / lihakilo
1	16	2,79	1958	32	5,59	3693	16,47	0,27
2	1	0,24	122	4,5	1,09	550	2,73	0,04
3								
lihasiat	2	0,33	244	8,5	1,41	1040	3,56	0,06
emakot	2	0,21*	244	17	1,81*	2080	4,13 **	0,10
4	16	0,68	1958	30	1,28	3672	4,02	0,10
5	9	2,98	1101	-	-	-	6,08	0,10

Sikalan 4 puolet alhaisempi kustannus johtuu siitä, että turvepohjalla kasvatetaan välitysporsaat vain 60 kiloon saakka ja siirretään sitten ritilälle. Sikalan 3 emakoiden turvepohjan kustannus on laskettu tuotettujen välitykseen menneiden porsaiden mukaan. Emakoilla kuivikepohjaa jouduttiin vaihtamaan paljon useammin kuin lihasioilla, jolloin kuivikemenekki muodostui kaksinkertaiseksi. Turvepohjan materiaalikustannus oli kaikkein suurin tuotettua lihakiloa kohti sikalassa, jossa käytettiin pelkkää turvetta.

Turvepohjan perustamiseen ja hoitoon käytetyt työtunnit tiloittain sekä niistä aiheutuneet kustannukset on esitetty taulukossa 25. Pohjan perustamiseen tiloilla käytetty

työaika vaihteli huomattavasti käytetystä työtekniikasta johtuen. Nopeimmin pohja on perustettu, kun kuivikkeet on viedä sikalaan traktorin perävaunulla ja kipata kuorma tyhjäksi. Eniten aikaa on mennyt, kun pohjamateriaalit on kannettu traktorin etukuormajalla pohjaan kerroksittain useana kerroksena.

Turvepohjan hoitoon sikalassa 1 käytettiin ruuvisekoitusta joka toinen tai kolmas viikko. Tilalla 2 sekoitettiin pohjaa seurannan aikana muutaman kerran traktorin etukuormaimella. Muilla tiloilla hoitotyö oli määrän turvepohjan osittaista vaihtamista uuteen. Pohjan hoitoon käytetty työmäärä oli suurin tilalla 1. Myös tilalla 4 oli hoitotyötä paljon, koska puolet turvepohjasta

Taulukko 26. Turvepohjan kokonaisravinnepitoisuudet määritettynä tulokosteasta näytteestä ja kokonaisravinteisiin perustuva turvepohjan arvo.

Sikalat		Turvepohjan ravinteet, g/kg			Turvepohjan arvo	
		N	P	K	mk/lihasika	mk/lihakilo
1	Makuualue	7,24	2,14	4,83	28,8	0,48
	lanta-alue	7,61	2,12	3,36		
4	Makuualue	11,7	4,17	7,78	13,8	0,37
	lanta-alue	12	3,94	6,06		

vaihdettiin jokaisen kasvatuserän jälkeen. Koska tilalla 4 oli välikasvatusmenetelmää johtuen turvepohjalla kasvatettu nelinkertainen sikamäärä ja yli kaksinkertainen lihamäärä sikalaan 1 verrattuna, jäivät kustannukset tuotettua yksikköä kohti huomattavasti pienemmiksi suuresta kokonais-työmäärästä huolimatta.

Turvepohjan tuotot arvioitiin kahdesta sikalasta (sikalat 1 ja 4) pohjaan sitoutuneiden ravinteiden määrän perusteella. Ravinneanalyysiä varten turvepohjista otettiin kokoomanäytteet sekä makuu- että lanta-alueilta. Lanta-analyysin tulokset ja turvepohjien ravinteiden arvot, jotka on laskettu kokonaisravinnepitoisuuksista taulukon 10 yksikköhintoja käyttäen, on esitetty taulukossa 26. Ravinnepitoisuudet olivat sikalan 4 turvepohjassa huomattavasti korkeammat kuin sikalassa 1. Tämä johtuu sikalan 4 erilaisesta tuotantotavasta. Makuualueen ja lanta-alueen välillä ei pohjan ravinnepitoisuuksissa ollut suurta eroa. Sikalojen kompostipohjien arvo tuotettua lihakiloa kohti oli lähes yhtä suuri, vaikka sikalan 1 lihasikaa kohti laskettu turvepohjan arvo on kaksinkertainen sikalaan 4 verrattuna.

Turvepohjien arvo ravinteiden perusteella laskettuna on korkeampi kuin niihin käytettyjen kuivikemateriaalien arvo. Kun lasketaan mukaan pohjan perustamiseen ja hoitoon käytetty työ, sikalassa 1 kustannukset ovat 18 p/lihakilo suuremmat kuin pohjan arvo. Sikalassa 4 sitä vastoin kustannukset ovat 3 p/lihakilo pienemmät kuin pohjan arvo. Sikalan 1 negatiivinen lopputase johtuu säännöllisen pohjan käännon

mukanaan tuomasta suuremmasta työmäärästä. Jos tiloilla 2 ja 3 (lihasikojen osalta) pohjan arvo oletetaan samaksi kuin sikalan 1, mikä on perusteltua samanlaisen tuotantotavan ja pohjan koostumuksen takia, niissä kokonaiskustannukset jäävät pienemmiksi kuin turvepohjan arvo. Tämä johtuu vähäisestä pohjan hoitotyöstä molemmilla tiloilla.

Purupohjasikalassa kuivikekustannuksen on laskettu olevan noin 18 mk lihasikaa kohti, mikä vastaa 23 p/lihakilo. Työmenekiksi uuden purupohjan perustamiselle on saatu 0,34 min/lihasika. Purupohjan hoidon työmenekiksi, kun pohjaa sekoitetaan keskimäärin kerran viikossa ruuvisekoittimella, on saatu 6,7 min/lihasika ja kaivurilla vastaavasti 13,7 min/lihasika. Purupohjan osittaisen vaihdon työmenekiksi on saatu 0,34 min/lihasika (Klemola 1998). Pyykkösen (1994) mukaan purupohjan hoitoon kuluu kaivurilla noin 4 min/lihasika ja jyrsimellä noin 2,5 min/lihasika.

Turvepohjan materiaalikustannukset olivat sikalaa 4 lukuun ottamatta suuremmat kuin purupohjan vastaavat. Tiloilla 2 ja 3 kuivikepohjan perustamiseen kului keskimäärin vähemmän aikaa kuin purupohjan tekoon, muilla huomattavasti enemmän. Tähän suurimpana syynä on kahden eri materiaalin käyttäminen yhden sijasta. Turvepohjan hoitoon kului kaikilla tiloilla, myös ruuvisekoitusta käyttäneellä tilalla, huomattavasti vähemmän aikaa kuin purupohjan hoitoon.

6 Johtopäätökset ja suositukset

6.1 Johtopäätökset

Tutkituissa sikaloissa turpeen ja oljen seos kompostoitui paremmin kuin puru. Turvepohja kesti noin vuoden sikojen kuivikepohjana. Pohjan perustamiseen kului työtavasta riippuen aikaa 0,2–3 min/lihasika, mikä on keskimäärin enemmän kuin purupohjan perustamiseen käytettävä aika. Pohjan hoitoon kului aikaa 1–5,5 min/lihasika, mikä sitä vastoin on vähemmän kuin purupohjalla. Purupohjasta poiketen turvepohja ei vaadi säännöllistä kääntöä. Säännöllinen kääntö tosin tasaa kosteutta ja siten vähentää märän massan poistotarvetta.

Turvepohjan arvo ravinteiden perusteella laskettuna on korkeampi kuin siihen käytettyjen kuivikemateriaalien arvo. Mikäli turvepohjaa käännetään säännöllisesti, siitä aiheutuvat kustannukset ylittävät sen ravinteina lasketun arvon.

Turvepohjan lämpötilat olivat sikojen makuualueilla keskimäärin + 35–40 °C ja lanta-alueilla + 25–30 °C. Turvepohja toimi hyvin korkeallakin kuormituksella. Vaikka kuormitus nousi 70–80 kg/m², lämpötilat pysyivät + 40 °C:ssa. Matalalla kuormituksella lämpötilat pyrkivät laskemaan.

Puhdas, uusi turve oli ulosteperäisten mikrobien osalta todella puhdasta. Karsinassa turvepohja, jolle tulee jatkuvasti uutta siansontaa, saastuu ulostemikrobeilla koko ajan. Täten märkien puolien mikrobi-pitoisuudet olivat koko ajan korkeita ja ulostemikrobeja kulkeutui kuivillekin puolille sikojen liikkeessä. Pohjien toiminta kuitenkin ilmeisesti parani kokeen aikana.

Jos käytettyjen turvepohjien kompostointi tehdään siten, että jo kompostoituneeseen massaan ei sekoiteta enää kompostoitumatonta, suolistomikrobien lukumäärät laskevat jälkikompostoinnin aikana täysin hyväksyttävälle tasolle.

Vaikuttaa siltä, että kesäoloissa 2,5

kuukauden aika riittäisi hyvin tuomaan toivottavan hygienisoitumisen. Todennäköisesti lyhyempikin aika riittäisi, mutta sitä ei kuitenkaan selvitetty tässä tutkimuksessa. Kompostoitua kuivikepohjaa voitaisiin myös käyttää vaativien kasvien tuotantoon taikka myydä sitä kompostituotteena, jolta vaaditaan tiettyä hygieniatasoa.

Ilman mikrobipitoisuudet olivat korkeita. Pitoisuudet olivat taustatilanteissa ja työvaiheiden aikana keskimäärin yhdestä kahteen kertaluokkaa korkeampia kuin purupohjasikaloissa ja perinteisissä lietelantasikaloissa. Turvepohjasikaloiden ilmassa esiintyi runsaasti mm. termotolerantteja sieni-itiöitä ja termofilisiä aktinobakteereja, joita pidetään homepölykeuhkon aiheuttajina. Lisäksi turvepohjasikaloissa mikrobisuvusto oli monipuolisempi kuin purupohjasikaloissa.

Turvepohjasikaloiden endotoksiinipitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa, mitä on aikaisemmin havaittu purupohjasikaloissa, mutta pienempiä kuin perinteisissä lietelantasikaloissa mitatut pitoisuudet. Pitoisuudet olivat selvästi suurempia kuin ehdotetut raja-arvot.

Korkeiden ilman mikrobipitoisuuksien ohella kuivan turpeen voimakasta pölyämistä voidaan pitää tutkimuksen perusteella suurimpana ongelmana turvesikalan työolosuhteita ajatellen. Purupohjaiseen kompostisikalaan verrattuna ilman pölypitoisuudet olivat moninkertaisia. Erityisen voimakasta pölyäminen oli eri työvaiheiden aikana. Työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä määritetyt hengittyvän pölyn pitoisuudet ylittivät aina kahdeksan tunnin työajalle annetun ohjearvon, 5 mg/m³ ja usein myös lyhyen ajan altistumisen ohjearvon, 10 mg/m³ (HTP_{15min}). Toisaalta tutkittujen työvaiheiden kesto harvoin ylittää tuntia, ja ne toistuvat keskimäärin vain kymmenkunta kertaa vuodessa. Tutkitut työvaiheet olivat sikojen siirto karsinoista, sikojen siirtely karsinoista toisiin ja pohjan kääntö sekä pohjan osittainen uudistaminen märän massan poisviennillä ja uuden turpeen levityksellä.

Tiloille toimitettujen turve-erien kos-

teuspitoisuudet vaihtelivat 31–48 %:n välillä. Ruotsalaisten laboratorio-oloissa tekemien kokeiden perusteella turpeen kosteuden pitäisi olla noin 50 %, jotta ilman pölypitoisuudet pysyisivät riittävän alhaisina.

Kaasumaisten epäpuhtauksien pitoisuudet olivat turvepohjalla pienempiä kuin purupohjalla. Ammoniakkipitoisuus jäi keskimäärin selvästi alle HTP-arvon, 25 ppm. Talvella sekä ammoniakkia että hiilidioksidia oli sikaloissa enemmän kuin kesäaikana, mikä kertoo lähinnä ilmanvaihdon tehokkaammasta toiminnasta kesällä. Rikkiyhdisteiden pitoisuudet olivat turvepohjalla pääsääntöisesti pieniä, rikkivetyä esiintyi hieman turvepohjan käännon aikana.

Kompostipohjaisten sikaloiden (puru ja turve) ilmanäytteissä oli selvästi vähemmän haisevia yhdisteitä kuin lietesikalosta otetuissa ilmanäytteissä. Myös kompostipohjasikaloiden poistoilmasta mitatut hajuyhdisteiden pitoisuudet olivat selvästi pienemmät kuin lietesikaloiden poistoilmasta mitatut pitoisuudet. Toimivan turvepohjaisen ja purupohjaisen sikalan haihtuvien yhdisteiden koostumuksessa ja hajussa ei esiintynyt huomattavia eroja – terpeenejä esiintyi turvepohjasikalossa vähemmän kuin purupohjasikalossa. Talvella sekä pohjan hoitoimenpiteiden aikana hajuyhdisteiden pitoisuudet kasvoivat, mutta huonoimmassakin tilanteissa pitoisuudet olivat huomattavasti pienempiä kuin lietesikalosta mitatut.

Hyvin toimivassa puru- ja turvekompostisikalassa hajupäästöt työilmaan ja ympäristöön vähenevät selvästi. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet olivat kompostisikalossa kaiken kaikkiaan erittäin alhaisia eivätkä ne ylittäneet kirjallisuudesta löydettyjä ärsytyskynnyksiä, jotka voivat olla useitakin kertaluokkia korkeampia kuin yhdisteiden alimmat hajukynnykset. Kuivalannan levityksen aiheuttama hajuhaitta todettiin erittäin vähäiseksi.

Leviämismallinnuksen perusteella kompostisikaloiden päästöt yksinään eivät näytä aiheuttavan hajuhaittoja lähiympäristössä, mutta lietesikaloiden päästöt saattavat aiheuttaa hajuhaittoja sikatilan pihapiirin lisäksi myös lähinaapureiden pihossa.

Ympäristöhaittakyselyn perusteella sikatilojen lähiasukkaita häiritsee eniten muutama kerran vuodessa tapahtuva lietalannan levitys pelloille. Pelkän kompostisikalalan aiheuttamaa ympäristöhaittaa on kyselyjen perusteella vaikea arvioida, sillä yhtä tilaa lukuunottamatta kaikilla tiloilla on myös perinteinen lietesikala. Hajuhaittojen kokeminen ja häiritsevyyden väheni kolmen kyselykierroksen aikana.

Tutkimustuloksia tarkasteltaessa on todettava, ettei tutkimuksen kesto anna teoriassakaan kovin suuria mahdollisuuksia etsiä ja tunnistaa turvekompostisikalatoiminnan mahdollisia negatiivisia tai positiivisia vaikutuksia pohjavesiin ja vesistöihin. Mitään hälyttäviä, akuutteja vaikutuksia ei kuitenkaan tutkimuksen aikana voitu havaita. Tutkimuksen yhteydessä aikaansaatu materiaali antaa kuvan nykyisin vallitsevasta tilanteesta ja se voi toimia erinomaisena vertailuaineistona tarkasteltaessa myöhemmin pidemmän ajanjakson sikalatoiminnan mahdollisia ympäristövaikutuksia kokonaisuudessaan.

Terveysvaikutusten arviointia vaikeuttaa se, että tutkimuksessa oli mukana vain 5 tilaa ja 9 henkilöä, ja seurannan toteutti vain viisi henkilöä kolmelta tilalta. Siten aineisto on aivan liian pieni varmojen ja tieteellisesti pitävien johtopäätösten tekoon turvekompostisikalalan terveysvaikutuksista.

Kuitenkin yhdellä tutkimushenkilöllä todettiin tutkimuksen aikana kehittyneen astmaan viittaavia oireita ja uloshengityksen huippuvirtausarvojen muutoksia. Kyseisen henkilön oireilu ja hengityslöydökset liittyivät sikalatyöhön. On kuitenkin mahdollonta sanoa, liittyvätkö kyseiset oireet nimenomaisesti tämän tyyppisen sikalan toimintaan, sillä tällä henkilöllä oli jo ennen turpeen käytön aloittamista pitkäaikaista yskää ja limannousua, jotka voivat olla alkanut astman oireita.

Turvepohjaan oltiin kaikilla tiloilla melko tyytyväisiä. Turveolkipohjan teko koettiin joillakin tiloilla työläemmäksi, mutta työ itsessään kevyemmäksi kuin purupohjan teko. Turpeen kosteuden imukykyä pi-

dettiin hyvänä, eikä upottavia alueita karsoihin juurikaan muodostunut. Turve esti isäntien mukaan kohtuullisen hyvin sikalamaisen hajun muodostumista. Osassa tiloista turvepohjan hoito koettiin helpommaksi kuin aiemmin käytössä ollut purupohja. Isännät pitivät turvetta pellolle parempana lannoitteena kuin purua. Tärkeänä pidettiin sitä, että kompostipohja oli sioille mielekäs kasvuympäristö niiden saadessa tonkia ja syödä kuiviketta. Ongelmaksi koettiin kaikilla tiloilla turpeen pölyäminen. Märän massan poistossa ongelmana oli turve-olkiseoksen vaikea kuormattavuus, koska pohja tiivistyi käytössä ja pitkä olki vaikeutti pohjan käsittelyä.

6.2 Suositukset

Mikäli turvepohjaiset kompostisikalat yleistyvät, tulee työntekijöiden oireita seurata toiminnan aloittamisen yhteydessä ta-

vallista tarkemmin. Työterveyshuollossa on syytä parin ensimmäisen vuoden aikana tarkastaa viljelijät puolivuositain ja liittää terveystarkastuksiin PEF-seuranta, mikäli alempien hengitysteiden oireita ilmenee.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että ilman korkeat pöly- ja mikrobipitoisuudet edellyttävät hengityksensuojaimen käyttöä turvepohjaisessa kompostisikalassa työskennellessä. Erityisesti tulee suojautua voimakkaasti pölyävien työvaiheiden kuten sikojen siirtelyn, pohjan käännön tai vaihdon aikana. Hengityksensuojaimen suodatinluokan tulee olla vähintään P2.

Jatkossa tulee pyrkiä kosteamman turpeen käyttöön, mikäli turpeen pölyämistä kompostisikaloidissa halutaan vähentää. Tämä ei todennäköisesti vielä riitä, vaan turpeen laadun tulisi olla mahdollisimman karkeata. Lisäksi sumuttamalla vettä tai veden ja ruokaöljyn seosta voitaneen sikalan ilman pölypitoisuutta alentaa.

Kirjallisuus

Andersen, A. 1958. New sampler for collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *Journal of Bacteriology* 76: 471–484.

Arnold, M. 1995. Hajuohjearvojen perusteet. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tiedotteita 1711. Espoo: VTT. 83 p. ISSN 1235-0605, ISBN 951-38-4865-5.

Bönsch, S. & Hoy, S. 1996. Untersuchungen der Schwebstaubkonzentration bei Tiefstreuhaltung unter Berücksichtigung der Aktivität von Mastschweinen und bei Anwendung einer aerosolapplikation. *Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift* 109: 333–391.

CE 26461. Water quality – detection and enumeration of the spores of sulfite-reducing anaerobes (clostridia) – Part 2. Method by membrane filtration. Brussels: Council of Europe, 1993. 7 p.

Crook, B., Robertson, J., Travers Glass, S., Botheroyd, E., Lacey, J. & Topping, M. 1991. Airborne dust, ammonia, micro-organisms, and antigens in pig confinement houses and the respiratory health of exposed farm workers. *American Industrial Hygiene Association Journal* 52: 271–279.

Donham, K., Haglund, P., Pererson, Y., Rylander, R. & Belin, L. 1989. Environmental and health studies of farm workers in Swedish swine confinement buildings. *British Journal of Industrial Medicine* 46: 31–37.

Dosman, J., Graham, B., Hall, D., Pahwa, P., McDuffie, H. & Lucewicz, M. 1988. Respiratory symptoms and alternations in pulmonary function tests in swine producers in Saskatchewan: results of a survey of farmers. *Journal of Occupational Medicine* 30: 715–720.

ENV.E.3/L.M. Working document on sludge 2000. 2nd draft. Brussels. 17 p.

Esmay, M. & Dixon, J. 1986. Environmental control for agricultural buildings. AVI, Publishing Company, Inc. 287 p. ISBN 0-87055-469-7.

Haatainen, S., Husman, T., Kalliokoski, P., Kallionpää, M., Kallunki, H., Kangas, J., Kotimaa, M., Louhelainen, K., Nevala-Puranen, N., Ojanen, K. & Pasanen, A-L. 1996. Työympäristö nyky-aikaisella lypsykarjatilalla. Maatalousyrittäjien eläkelaitoksen julkaisuja 1/96. 108 p. ISBN 951-9402-85-3.

Jeppsson, K. 1998. Ammonia emission from different deep-litter materials for growing-finishing pigs. Aerial Environment in Uninsulated Livestock Buildings. Release of ammonia, carbon dioxide and water vapour from deep litter and effect of solar heat load on the interior thermal environment. In Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria 245: 197–206. ISSN 1401-6249. ISBN 91-576-5751-3.

Kangas, J., Louhelainen, K. & Husman, K. 1987. Gaseous health hazards in livestock confinement buildings. Journal of Agricultural Science in Finland. 57: 57–62.

Kapuniin, P. 1996. Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjien toimivat vaihtoehdot. Vakolan tutkimusselostus 74. 119 p. ISSN 0782-0054.

Kaufmann, R., Hartmann, C., Maurer, D. & Schlatter, M. 1998. Kompoststall für Mastschweine. Gesamturteil mehrheitlich positiv. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik. FAT-Berichte Nr. 520. CH-8356 Tänikon TG. 15 p.

Kay, R & Thomas, A. 1993. In situ composting of pig manure: potential environmental and health risks. In: ASEA Livestock Environment IV, International Conference, Coventry, England, p. 875–881.

Kemppainen, E. 1984. Karjanlannan ravinnepitoisuus ja syyt sen vaihteluihin. Biologisen typensidonnann ja ravinnetyypin hyväksikäytön projekti. Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto. Julkaisu 11. 80 p. ISBN 951-563-079-7.

Klemola, E. 1998. Purupohjaiset sikalat. Työtehoseuran julkaisuja 358. 81 p. ISSN 0355-0710, ISBN 951-788-261-0.

Kotimaa, M. 1990a. Altisteet työssä 8. Bioaerosolit. Helsinki: Työterveyslaitos, Työsuojelurahasto. 47 p.

– 1990b. Spore exposure arising from stored hay, grain and straw. Journal of Agricultural Science in Finland 62: 285–291.

Kuusava, A. 1995. Sian lietalannan ja tukiaineena käytetyn turpeen rumpukompostointi. Espoon-Vantaan teknillinen oppilaitos. 82 p. Lopputyö.

Laitinen, S. 1999. Exposure to airborne bacteria in occupational environments. Kuopio: Kuopion yliopisto. 67 p. Väitöskirja. ISBN 951-781-731-2, ISSN 1235-0486.

–, **Kangas, J., Kotimaa, M., Liesivuori, J., Martikainen, P., Nevalainen, A., Sarantila, R. & Husman, K.** 1994. Bacteria and endotoxins in air and workers' symptoms at wastewater treatment plants. American Industrial Hygiene Association Journal 55: 1055–1060.

Lappalainen, S. 1993. Erilaisten kuivikkeiden käytön vaikutus hevostallien ilmanlaatuun. Kuopio: Kuopion yliopisto. 65 p. Pro gradu-tutkielma.

Larsson, K., Eklund, A., Malmberg, P. & Belin, L. 1992. Alternations in bronchial lavage fluid but not in lung function and bronchial responsiveness in Swedish swine confinement workers. Chest 101: 767–774.

–, **Rodhe, L., Jakobsson, K-G., Johansson, G. & Svensson, L.** 1999. Torv som strö i smågrisproduktionen-effekt på miljö och djurhälsa. JTI Rapport No. 257. Uppsala: Jordbrukstekniska institutet. 75 p. ISSN 1401-4963.

Liden, G., Melin, B., Lidblom, A., Lindberg, K. & Noren J. 2000. Personal sampling in parallel with open-face filter cassettes and IOM samplers for inhalable dust – implications for occupational exposure limits. Applied Occupational and Environmental Hygiene 15: 263–276

Louhelainen, K., Kangas, J., Seuri, M., Veijanen, A., Reiman, M., Pyykkönen, M., Rautiala, S. & Viilos, P. 1998. Terveydelle haitalliset päästöt purupohjasikaloissa. Loppuraportti Maatalousyrittäjien eläkelaitokselle. 23 p.

–, **Kangas, J., Viilos, P. & Veijanen, A.** 2001. Effect of in situ composting on reducing offensive odours and harmful volatile organic compounds in piggeries. American Industrial Hygiene Association Journal 62: 159–167.

Mackie, R., Stroot, P. & Varel, V. 1998. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. Journal of Animal Science 76: 1331–1342.

Manninen, A. 1989. Exposure to and toxicity of ammonia vapour. Kuopio: Kuopion yliopisto, 56 p. Väitöskirja. ISBN 951-780-268-4, ISSN 0781-0555.

–, **Kangas, J., Linnainmaa, M. & Savolainen, H.** 1989. Ammonia in Finnish poultry houses: effects of

litter on ammonia levels and their reduction by technical binding agents. *American Industrial Hygiene Association Journal* 50: 210–215.

Mark, D. & Vincent, J. 1986. A new personal sampler for airborne total dust in workplaces. *Annals of Occupational Hygiene* 30: 89–102.

Niskanen, I. 2000. Sikaloiden hajupäästöjen leviämisen mallintaminen. Ympäristötutkimus-keskuksen tutkimusraportti 127/2000. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. 5 p.

O'Neill, D. & Phillips, V. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings. Part 3, Properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. *Journal of Agricultural Engineering Research* 53: 23–50.

Palchak, R., Cohen, R. & Jaugstetter, J. 1990. A threshold for airborne endotoxin associated with industrial-scale production of proteins in gram-negative bacteria. *Development of Microbiology* 31: 199–203.

Palmgren, U., Ström, G., Blomqvist, G. & Malmberg, P. 1986. Collection of airborne micro-organisms on nuclepore filters: estimation and analysis-CAMNEA-method. *Journal of Applied Bacteriology* 61: 401–406.

Paunio, M., Pebody, R., Keskimäki, M., Kokki, M., Ruutu, P., Oinonen, S., Vuotari, V., Siitonen, A., Lahti, E. & Leinikki, P. 1999. Swimming-associated outbreak of *Escherichia coli* 0157:H7. *Epidemiology and Infection* 122: 1–5

Persson, S. 1996. Uppförming av slaktsvin på sågspånsbädd – En studie av djurmiljö och djurproduktion. Examenarbete. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för jordbrukets biosystem och teknologi. 40 p.

Puumala, M. & Pyykkönen, M. 1998. Estimating the Energy Balance of a Composting Deep Litter System for Pigs. In XXXVI Conference Agricultural Machinery, Buildings and Energy Engineering. Tartu. Seminaariesitelmä. 8 p.

Pyykkönen, M. 1994. Alustava selvitys purupohjan toiminnasta sikalassa. Sisäinen raportti. 11 p. (Saatavana MTT/Vakola, Vihti).

Rajala-Mustonen, R.L. & Heinonen-Tanski, H. 1994. Sensitivity of host strains and host range of coliphages isolated from Finnish and Nicaraguan wastewaters. *Water Research* 28: 1811–1815

Rantakrans, E. & Savunen, T. 1995. Hajuyhdisteiden leviämisen arviointi. Ilmansuojelun julkaisuja 21. Helsinki: Ilmatieteen laitos. 70 p. ISSN

0782-6095, ISBN 951-697-416-3.

Rask-Andersen, A. 1989. Organic dust toxic syndrome among farmers. *British Journal of Industrial Medicine* 46: 233–238.

Rylander, R. 1994. Organic dusts-from knowledge to prevention. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 20: 116–122.

Schaefer, J. 1977. Sampling, characterization and analysis of malodours. *Agriculture and Environment* 3: 121–127.

SFS 3014. Veden fekaalisten streptokokkien lukumäärän määrittäminen pesäkemenetelmällä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto, 1984. 7 p.

SFS 3016. Veden kokonaiskoliformisten bakteerien määrittäminen kalvosuodatusmenetelmällä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto, 1984. 3 p.

SFS 3860. Työpaikan ilman pölypitoisuuden mittaaminen suodatinmenetelmällä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto, 1988. 8 p.

SFS 4088. Veden lämpökestoisten (fekaalisten) koliformisten bakteerien määrittäminen kalvosuodatusmenetelmällä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto, 1988. 4 p.

SFS 5542. Kiinteät lannoitevalmisteet. Kosteuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto, 1989. 2 p.

SFS-EN 689. Työpaikan ilma. Ohje hengitysteitse tapahtuvan kemiallisille tekijöille altistumisen arvioimiseksi raja-arvojen avulla sekä ohje mittaussstrategiaksi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto, 1995. 48 p.

Silander, E. 1993. Leviämismallivertailu turvevoimalaitoksen päästöille. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu: Energiatekniikan osasto. 69 p. Diplomityö.

Sosiaali- ja terveysministeriö 2000. HTP-arvot 2000. Tampere: Kemian työsuojeluneuvottelukunta. 50 p. ISBN 952-00-0821-7.

Sterritt R. M. & Lester J. N. 1988. Microbiology for environmental and public health engineers. London: E.&F.N. Spon Ltd. p. 184–201. ISBN 0419-12770-4.

Sutton, A., Kephart, K., Verstegen, M., Canh, T. & Hobbs, P. 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *Journal of Animal Science* 77: 430–439.

Veijanen, A. 1990. An Integrated Sensory and Analytical Method for Identification of Off-Flavour Com-

pounds. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto: Kemian laitos. 70 p. Väitöskirja. ISSN 0357-346X, ISBN 951-680-317-2.

Yasuhara, A. & Fuwa, K. 1980. Isolation and characterization of odorous components in solid swine manure. *Agricultural and biological chemistry* 44: 10. 2379–2385.

–, **Fuwa, K. & Jimbu, M.** 1984. Identification of odorous compounds in fresh and rotten swine ma-

nure. *Agricultural and biological chemistry* 48: 12. 3001–3010.

Zahn, J., Hatfield, J., Do, Y., DiSpirito, A., Laird, D. & Pfeiffer, R. 1997. Characterization of volatile organic emissions and wastes from a swine production facility. *Journal of Environmental Quality* 26: 1687–1696.

Taulukko 1. Karsinoiden makuualueiden keskimääräiset lämpötilat ja lämpötilojen keskihajonta.

Makuualue		I talvi		II talvi		III kesä		IV kesä		syyskesä	
Sikala	Karsinat	°C	σ	°C	σ	°C	σ	°C	σ	°C	σ
1	1	31	4,8	44	5,4	32,0	2,5	36,0	1,2		
	2	49	7,7	38	9,5	38,0	2,4	33,0	3,3		
	3	44	3,8	49	3,1	33,0	2,4	36,0	0,6		
	4	38	8,5	37	10,9	35,0	2,3	41,0	2,6		
	5	38	5,9		1)	38,0	2,9	32,0	2,1		
2	1	39	7,0	29	5,1	27,0	5,2	34,0	9,5		
	2	37	6,0	23	6,5	35,0	5,6	33,0	4,7		
	3	41	5,9	20	1,6	31,0	3,2	23,0	2,9		
3	<i>Lihasikakarsinat</i>										
	1	42,0 ²⁾	8,2	43,0	5,2	47,0	5,8			47,0	2,4
	2			49,0	5,3	45,0	8,1			44,0	6,4
	<i>Emakkokarsinat</i>		33,0	5,9	26,0	3,1	27,0	2,1		29,0	3,1
4	1			36,0	3,5	31,0	3,3	36,0	5,0		
	2			34,0	2,6	30,0	3,8	34,0	1,5		
	3			35,0	2,8	30,0	3,9	38,0	3,5		
	4			34,0	2,2	28,0	4,0	33,0	5,3		
5	1					27,0	0,8	27,0	1,9	14,0 ³⁾	0,6
	2					28,0	4,4	25,0	2,5	17,0 ³⁾	4,9
	3					25,0	1,0	4)		12,0 ³⁾	0,6
	4					28,0	1,9	4)		12,0 ³⁾	0,5
	5					1)		1)		12,0 ³⁾	0,9
	6					1)		1)		1)	

1) Karsina tyhjä, turvepohjan lämpötilaa ei mitattu

2) Lihasiat yhdessä karsinassa

3) Pohja vaihdettu viisi päivää aikaisemmin, pohjan paksuus noin 10 cm

4) Karsinassa ei makuualueita

Taulukko 2. Karsinoiden lanta-alueiden keskimääräiset lämpötilat ja lämpötilojen keskihajonta.

Lanta-alue		I talvi		II talvi		III kesä		IV kesä		syyskesä	
Sikala	Karsinat	°C	σ	°C	σ	°C	σ	°C	σ	°C	σ
1	1		1)	22,0	2,6	31,0	3,5	24,0	2,5		
	2		1)	21,0 ³⁾		26,0	2,3	22,0	2,1		
	3		1)	24,0	3,2	26,0	2,5	26,0	2,9		
	4		1)	25,0	1,7	22,0	1,0	24,0	1,2		
	5		1)		2)	29,0	6,0	22,0	1,3		
2	1				2)	14,0	5,3	17,0	3,9		
	2			10,8	0,8	17,0	5,3	14,0 ³⁾			
	3			13,0	4,8	30,0 ³⁾		2)			
3	<i>Lihasikakarsinat</i>										
	1			36,0	5,3	27,0	2,5			33,0	6,7
	2			45,0	3,0	39,0 ³⁾				2)	
	<i>Emakkokarsinat</i>				26,0	0,7	24,0	2,0		23,0	5,4
4	1			24,0	1,5	31,0 ³⁾		27,0	1,7		
	2			27,0	2,1	2)		28,0	1,7		
	3			29,0	6,1	2)		32,0	4,7		
	4			26,0	3,2	2)		25,0	0		
5	1					25,0 ³⁾		16,0	0,7	2)	
	2					33,0 ³⁾		17,0	1,4	2)	
	3					27,0 ³⁾		21,0	7,0	2)	
	4					2)		21,0	8,1	2)	
	5					2)		2)		2)	
	6					2)		2)		2)	

1) Lämpötiloja ei mitattu lanta-alueilta

2) Ei lanta-alueita tai pieni lanta-alue, josta lämpötiloja ei mitattu

3) Lanta-alueelta vain yksi lämpötilamittaus

LIITE 2

Sikaloiden turvepolhjen kuiva-ainepitoisuudet sekä orgaanisen aineen ja hiilen pitoisuudet.

Sikala	Kokoomanäyte	Kuiva-ainepitoisuus (%)				Orgaanisen aineen pitoisuus (%)				Hiilipitoisuus (%)					
		Talvi I	Talvi II	Kesä III	Kesä IV	Syyskesä	Talvi I	Talvi II	Kesä III	Kesä IV	Syyskesä	Talvi I	Talvi II	Kesä III	Kesä IV	Syyskesä
1	makuualue	50,0	46,0	47,0	42,0	75,0	92,0	82,0	74,0	42,0	51,0	45,0	41,0		
	lantakerros	24,0	23,0	24,0	28,0	78,0	88,0	80,0	80,1	43,0	49,0	44,0	45,0		
	lantakerroksen alta	1)	36,0	28,0		1)	93,0	81,0		1)	52,0	45,0			
2	makuualue	60,0	52,0	67,0	62,0	72,0	85,0	68,0	67,0	40,0	47,0	38,0	37,0		
	lantakerros	30,0	31,0	36,0	30,0	69,0	83,0	78,0	68,0	38,0	46,0	43,0	38,0		
	lantakerroksen alta	1)	37,0	39,0	35,0	1)	84,0	83,0	80,0	1)	47,0	46,0	44,0		
3	<i>Lihusikakarsinat</i>														
	makuualue	51,0	64,0	68,0	48,0	68,0	96,0	71,0	87,0	38,0	53,0	40,0	48,0		
	lantakerros	34,0	34,0	38,0	31,0	70,0	92,0	68,0	87,0	39,0	51,0	38,0	49,0		
	lantakerroksen alta	1)	58,0	48,0	49,0	1)	92,0	77,0	90,0	1)	51,0	43,0	50,0		
	<i>Emakkokarsinat</i>														
makuualue	1)	50,0	39,0	40,3	1)	93,0	80,0	80,0	77,0	1)	51,0	44,0	43,0		
4	makuualue	53,0	66,0	60,4	86,0	86,0	86,0	74,0	48,0	48,0	48,0	41,0			
	lantakerros	33,0	34,0	30,7	85,0	80,0	80,0	71,0	47,0	47,0	44,0	40,0			
	lantakerroksen alta	39,0	2)	2)	83,0	2)	2)	2)	46,0	2)	2)	2)			
5	makuualue	62,0	50,4	49,0	88,0	88,0	77,0	96,0	49,0	49,0	43,0	53,0			
	lantakerros	29,0	26,0	19,0	84,0	84,0	72,0	91,0	47,0	47,0	40,0	50,0			
	lantakerroksen alta	2)	2)	30,5	77,0	77,0	95,0	2)	2)	2)	43,0	53,0			

1) Näytteitä ei otettu lantakerroksen alta, eikä emakkokarsinoista

2) Ei näytteitä, lantakerros näytteenotokohdassa poljiaan asti märkä

Hengittävän pölyn pitoisuudet (mg/m³) turvesikaloissa 1999-2000.

	11/1999	3/2000	4/2000	6/2000	8/2000	9/2000
Tila 1	TA	1,3 / 6,5	0,8 / 0,8	0,9 / 1,7		1,0 / 0,4
	TV		5,4 / 3,5	3,5 / 3,8		
	HV		12,1	5,3		
Tila 2	TA	5,1 / 15,4	2,5 / 2,8	6,0 / 6,8	33,6 / 5,8	
	TV		8,2 / 21,5			
	HV		9,4			
Tila 3	TA	1,4 / 2,3	8,8 / 5,2	6,2 / 4,6 / 4,1	2,0 / 0,5	
	TV		9,8 / 6,8			
	HV		13,2			
Tila 4	TA		2,0 / 7,9	12,2 / 14,6		
	TV		6,6 / 9,7			
	HV		15,4			
Tila 5	TA		20,2 / 10,9	5,3 / 7,5	9,3 / 2,0	6,9 / 20,5
	TV		41,0 / 7,6		9,9 / 6,1 / 4,1	

TA = taustatilanne

TV = tietty työvaihe (pohjan kääntö, sikojen siirto, massan vaihto)


HV = hengitysvyöhykenäyte työvaiheen aikana

LIITE 4 (1/15)




Taulukko sikaloiden ilmasta tunnistetuista haihtuvista yhdisteistä ja niiden retentioajoista sekä yhdisteiden kirjallisuudesta löydetystä hajunkuvauksista, hajukynnyksistä sekä joidenkin yhdisteiden ärsytyksynnyksistä ilmassa mg/m³:

YHDISTE	RT (min)	MOLEKYYLIKAAVA	MP	HAJUNKUVAUS	HAJUKYNNYS (ilmassa mg/m ³)	ÄRSYTYSKYNN- NYS (mg/m ³) *
<u>Karboksyylihapot</u>						
etikkahappo	3:06	CH ₃ COOH	60,1	hapan, etikkainen ^{1,13}	0,012 – 10 ^{1,7,9,12,16}	24,9 – 25,0 ^{1,10}
propaanihappo	5:12	CH ₃ CH ₂ COOH	74,1	hapan, epämiellyttävä ¹	0,003 – 0,89 ^{1,6,11,16}	-
2-metyylipropaanihappo	7:00	(CH ₃) ₂ CHCOOH	88,1	eltaantunut voi ¹³	0,005 – 29,2 ^{1,3,5,16}	-
butaanihappo	8:04	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	88,1	härski, hapan, hikinen, kuvottava ^{1,13,14}	0,0004 – 0,14 ^{1,3,8,10,11,16}	-
3-metyylibutaanihappo	9:58	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COOH	102,1	vuohimainen, hikinen ^{1,13}	0,00022 – 0,021 ^{1,3,16}	-
2-metyylibutaanihappo	10:10	CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)COOH	102,1	hikinen, kehon haju ^{1,13}	0,0079 – 0,053 ^{1,3,5}	-
pentaanihappo	11:23	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	102,1	hikinen ¹³	0,0008 – 0,12 ^{1,3,11,16}	-
heksaanihappo	14:50	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH	116,2	hikinen ¹³	0,02 – 0,52 ^{2,5,11}	-


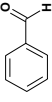
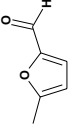

LIITE 4 (2/15)

Ketonit									
asetoni	1:45	CH_3COCH_3	58,1	makea, liuotinmainen ^{1,18}	0,94 – 1550 ^{1-6,9}	474,7 ¹			
2,3-butaanidioni	2:48	$(\text{CH}_3\text{CO})_2$	86,1	voimainen, toffee ^{13,17,18}	0,000007 – 0,005 ^{15,7}	-			
2-butanoni	2:53	$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$	72,1	makea, asetonimainen ¹	0,74 – 250 ^{1,7,9}	590 ¹			
3-metyyli-2-butanoni	4:08	$\text{CH}_3\text{COCH}(\text{CH}_3)_2$	86,1	karniferimäinen ¹³	6,8 – 16,2 ^{3,6}	-			
2-pentanoni	4:55	$\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	86,1	etterimäinen ¹³	5,5 – 39,3 ^{1,3,5,7}	-			
3-pentanoni	5:02	$(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{CO}$	86,1	etterimäinen ¹³	1,1 – 33 ^{1,2,4,6}	-			
3-hydroksi-2-butanoni	5:50	$\text{CH}_3\text{COCH}(\text{OH})\text{CH}_3$	88,1	voimainen, toffee ^{13,18}	-	-			
metyyli-isobutyyliketoni	6:18	$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	100,2	makea, terävä, liuotin, maali, minttu ^{1,13,14}	0,4 – 32 ^{1,2,5,6}	410 ¹			
2-metyyli-3-pentanoni	6:41	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCOCH}_2\text{CH}_3$	100,2	minttu ¹³	-	-			
3-metyyli-2-pentanoni	6:46	$\text{CH}_3\text{COCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$	100,2	-	-	-			
syklopentanoni	7:57		84,1	piparminttu ⁹	5,9 – 1120 ^{2,4,5}	-			
2-heksanoni	8:04	$\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	100,2	etterimäinen ¹³	0,28 – 4,7 ^{2,3,6,7}	-			
2-metyylisyklopentanoni	9:50		98,1	-	-	-			

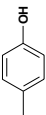
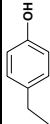

LIITE 4 (3/15)

3-metyylisyklopentanon	10:05		98,1	-	-	-
heptanoni	11:27	$\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	114,2	banaani, makea, liuotin, saippuamainen ^{9,13,14}	0,094 – 1,7 ^{1,3,5,7}	-
sykloheksanoni	11:47		98,1	makea, piparminttu ^{1,9}	0,21 – 880 ^{1,2,5,6}	100 ¹
3-oktanoni	14:54	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CO}(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	128,2	piikkainen, mielo, hedelmäinen ^{1,9}	0,0013 – 31,2 ^{1,2,5,6}	260 ¹
6-metyyli-5-hepten-2-oni	14:58	$\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$	126,2	pistävä ^{1,3}	0,20 – 0,3 ^{2,5}	-
asetofenoni	17:58		120,2	makea, manteli ¹	0,01 – 1,8 ^{1,5}	-
Aldehydit						
asetaldehydi	1:20	CH_3CHO	44,1	pistävä, vihreä, makea, hedelmäinen ^{1,13}	0,0002 – 1 ^{1,6,8,9}	90 ¹
butanaali	2:50	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHO}$	72,1	pistävä, härski, makea ^{1,13}	0,00084 – 0,20 ^{1,5,7}	-
2-butenaali	3:55	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCHO}$	70,1	pistävä, tukahduttava ¹	0,105 – 1,7 ^{1,7}	23,0 ¹
3-metyylibutanaali	4:00	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CHO}$	86,1	maltaainen ^{1,3}	0,0016 – 0,0081 ^{3,5}	-

LIITE 4 (4/15)

2-metyylibutanaali	4:23	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CHO}$	86,1	paahdettu kaakao ¹³	-	-
pentanaali ?	5:12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$	86,1	pistävä ¹³	0,0025 – 0,10 ^{2,7}	-
heksanaali	8:20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CHO}$	100,2	leikattu ruoho, kurpitsa, lehtisalaatin sisus ^{13,14}	0,028 – 0,067 ^{2,5,7}	-
furfuraali	9:35		96,1	manteli ^{1,9,13}	0,008 – 3,2 ^{1,3,5,6}	48 ¹
heptanaali	12:00	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CHO}$	114,2	rasvainen, talimainen ¹³	0,006 – 0,26 ^{1,5,7}	-
bentsaldehydi	14:08		106,1	miellyttävä, karvasmanteli, makea ^{1,13,14}	0,0008 – 4,3 ^{1,24,5 b}	20,1 ¹
5-metyyli-2-furfuraali	14:15		110,1	manteli ¹³	-	-
oktanaali	15:32	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CHO}$	128,2	saippuamainen ¹³	0,0072 – 0,0078 ^{2,5,7}	-
nonanaali	18:59	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CHO}$	142,2	kuiva heinä, saippua ^{13,14}	0,0003 – 0,045 ^{2,5,7}	-
dekanaali	22:16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CHO}$	156,3	saippuamainen ¹³	0,00025 – 0,0059 ^{2,5,7}	-
Fenoliset yhdisteet						
fenoli	14:42		94,1	lääkemäinen, makea ¹	0,017 – 4 ^{1,6,10,11,16}	19,5 – 182,4 ^{1,10}





LIITE 4 (5/15)

p-kresoli	17:58		108,1	kresosotti, lääkemäinen, terva, lanta, hevonen ^{1,13,18}	0,00005 – 0,024 ^{1,5,10,11,16}	-
4-etyyifenoli ?	21:00		122,2	kresolimainen, tunkkainen, nahkamainen ¹⁸	-	-
<u>Alkoholit</u>						
etanoli	1:33	CH ₃ CH ₂ OH	46,1	makea, alkoholi ^{1,13}	0,64 – 1350 ^{1-6,9}	9500 ¹
2-propanoli	1:48	(CH ₃) ₂ CHOH	60,1	miellyttävä, alkoholi ^{13,17}	2,5 – 57,4 ^{1-6,16} b	490 ¹
2-metyyli-2-propanoli	2:19	(CH ₃) ₃ COH	74,1	kamferimainen ¹⁹	10 – 219 ^{1-3,5,6}	-
1-propanoli	2:33	CH ₃ (CH ₂) ₂ OH	60,1	makea, alkoholi ^{1,13}	0,075 – 140 ^{1-6,16}	-
2-butanoli	3:04	CH ₃ CH ₂ CH(OH)CH ₃	74,1	viinirypälemäinen, vahva, miellyttävä ^{1,13}	0,4 – 131,2 ^{1-6,11}	-
2-metyyli-1-propanoli	3:40	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ OH	74,1	mieto, viinimäinen ^{1,13}	0,0027 – 8,1 ^{1-6,16}	300 ¹
1-butanoli	4:25	CH ₃ (CH ₂) ₃ OH	74,1	makea, alkoholi, liuotin, lääkemäinen ^{1,13,14}	0,15 – 33 ^{1-6,16}	75 ¹
syklopentanoli ?	5:02		86,1	-	195,0 – 8700 ^{2,5}	-
2-pentanoli	5:11	CH ₃ CH(OH)(CH ₂) ₂ CH ₃	88,1	vihreä ¹³	-	-






LIITE 4 (6/15)

3-metyyli-1-butanoli	6:20	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$	88,1	viskimäinen ¹³	0,08 – 126 ^{1,2,4,6}	-
2-metyyli-1-butanoli	6:24	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{OH}$	88,1	viini, hapan, terävä ^{1,13}	0,045 – 0,85 ^{1,2,5}	-
1-pentanol	7:18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{OH}$	88,1	makea, alkoholi ¹	0,1 – 35 ^{1,5,16}	-
2-furanmetanol	10:19		98,1	palanut ¹³	32 – 32,6 ^{1,2,6}	-
1-heksanol	10:42	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{OH}$	102,2	pihka, makea, alkoholi ^{1,13}	0,01 – 1,93 ^{1,4}	-
2-etyyli-1-heksanol ?	16:28	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CHOH}$	130,2	ummehtunut, ruusu ^{1,13}	0,40 – 1,3 ^{1,2,4,5}	-
fenyylietiyylialkoholi	19:40		122,2	humaja ¹³	0,00035 – 35 ^{1,2,4,5}	-
<u>Esterit</u>						
etyyliasetatti	3:12	$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$	88,1	miellyttävä, hedelmäinen, ananas ^{1,13}	0,0196 – 180 ^{1,6,9}	350 ¹
n-propyyliasetatti	5:40	$\text{CH}_3\text{COO}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	102,1	makea, esteri ¹	0,2 – 70 ^{1,2,4,6}	-
n-propyylipropionaatti ?	8:45	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	116,2	ananas ¹³	0,23 – 0,25 ^{2,5}	-
n-butyylasetatti	8:54	$\text{CH}_3\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	116,2	hedelmäinen, päätymä ^{1,13}	0,03 – 33,1 ^{1,6} b	473,3
<u>Typiivhisteet</u>						
ammoniakki ^a	-	NH_3	17,1	pistävä, ärsyttävä ^{1,8}	0,027 – 37,8 ^{1,6,8,10,15}	17,7 – 72 ^{1,10}


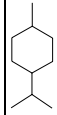



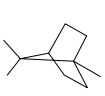
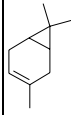
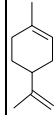
LIITE 4 (7/15)

trimetyyliamiini	~1:31	(CH ₃) ₃ N	59,1	kalamainen, pistävä ^{1,8}	0,00026 – 2,1 ^{1,6,8}	-
metyyli-pyrroli (NI)	9:42	-	81,1	-	-	-
indoli	25:10		117,2	koipallo ¹³	0,00015 – 0,0071 ^{2,5}	-
3-metyyli-indoli (skatoli)	26:45		131,2	uloste, koipallo ^{8,13}	4,0x10 ⁻⁷ – 0,0031 ^{1-5,8,16}	-
<u>Rikkiyhdisteet</u>						
vety sulfidi ^a	-	H ₂ S	34,1	mätä kanannuna ^{1,8}	0,0001 – 0,27 ^{1-6,8,10,15}	14,1 ^{1,10}
metaanioli ^a	-	CH ₃ SH	48,1	rikkimäinen, mätä kaali ^{1,8}	3x10 ⁻⁷ – 0,038 ^{1-6,8,10}	-
dimetyylisulfidi	1:59	(CH ₃) ₂ S	62,1	mädäntynyt kaali, paha, sipuli ^{1,8,13,14}	0,0003 – 0,16 ^{1-5,8,10,15}	2,6 ¹⁰
tiofeeni	4:24		84,1	aromaatti, valkosipuli ^{11,13}	0,0026 – 21 ^{1-3,5}	-
dimetyylidisulfidi	6:30	(CH ₃ S) ₂	94,2	paha, mätä, tunkkainen ^{8,14}	0,0001 – 0,048 ^{1-5,15}	-
metyylitiofeeni (NI)	7:22- 7:37		98,2	rikkimäinen (2-metyyli-tiofeeni) ¹³	-	-
2,4-dithiapentaani	11:32	(CH ₃ S) ₂ CH ₂	108,2	-	-	-
metyyli-pentyyli-sulfidi ?	12:28	CH ₃ S(CH ₂) ₄ CH ₃	118,2	-	-	-






LIITE 4 (8/15)

dimetyylitrisulfidi	14:39	(CH ₃ S) ₂ S	126,2	valkospulvi, mätä, tunkkainen, sipulinen ¹⁴	0,0062 – 0,0087 ^{12,23,5,16}	-
<u>Furaanit ja eetterit</u>						
furaani	1:50		68,1	eetteri- ja lääkemäinen ¹⁸	-	-
2-metyylifuraani	3:02		82,1	-	90,5 ¹	-
3-metyylifuraani	3:11		82,1	-	-	-
metyyli-tert.pentyylietteri	4:47	CH ₃ CH ₂ C(CH ₃) ₂ OCH ₃	102,2	-	-	-
etyylifuraani (NI)	5:14	-	96,1	-	-	-
dimetyylifuraani (NI)	5:23	-	96,1	-	-	-
<u>Terpeenit</u>						
α-thujeeni ?	12:53		136,2	-	-	-
α-piineeni	13:11		136,2	mianty ¹³	0,016 – 64 ^{2,3,15}	-

LIITE 4 (9/15)

kamfeeni	13:45		136,2	kamferi, pihka ^{13,18}	-	-
p-mentaani	14:40		140,3	-	-	-
β-pineeni	14:50		136,2	pihkamainen ¹³	-	-
p-3-menteeni ?	14:57		138,3	-	-	-
terpeeni (NI)	15:01	-	138,3	-	-	-
β-myrrseeni ?	15:06		136,2	palsaminen ¹³	-	-
bornaani ?	15:32		138,3	-	-	-
3-kareeni	15:59		136,2	sitruuna ¹³	-	-
limoneeni	16:39		136,2	sitruuna, sitrusmainen ^{13,14}	0,01 – 6 ^{2,3,5,15}	-

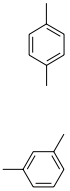



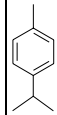



LIITE 4 (10/15)

2-kareeni ?	18:39		136,2	-	-	-	
fenkoni ?	18:49		152,2	eukalyptus, kamferi ¹⁸	0,59 – 2,3 ^{2,5}	-	
kamferi	20:50		152,2	kamferi ¹³	0,016 – 13 ^{12,5,6}	10,6 ¹	
isoborneoli ?	21:29		154,3	ummehtunut, homeinen ¹³	-	-	
seskviterpeenit (NI)	27:29		204,3	-	-	-	
<u>Alifaattiset hiilivedyt</u>							
1-okteeni	7:56	$\text{CH}_2=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$	112,2	-	0,29 – 5 ^{2,5}	-	
okteeni (NI)	8:14	-	112,2	-	-	-	
etyylisykloheksaani	9:35		112,2	-	-	-	
nonaani	11:47	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$	128,3	hiilivetyminen ¹³	6,8 – 3412,5 ^{1,5,6}	-	
dekaani	15:21	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$	142,3	hiilivetyminen ¹³	4,4 ⁵	-	


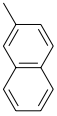
LIITE 4 (11/15)

undekaani	18:50	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{CH}_3$	156,3	hiilivetymäinen ¹³	7,8 ³	-
dodekaani	22:02	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3$	170,3	hiilivetymäinen ¹³	14,5 – 50 ^{2,5}	-
tridekaani	25:00	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{CH}_3$	184,4	hiilivetymäinen ¹³	16,6 ³	-
tetradekaani	26:40	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{CH}_3$	198,4	hiilivetymäinen ¹³	5 ²	-
pentadekaani	27:55	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{CH}_3$	212,4	hiilivetymäinen ¹³	-	-
heksadekaani	28:51	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_3$	226,4	hiilivetymäinen ¹³	0,5 ³	-
heptadekaani ?	30:32	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{CH}_3$	240,5	hiilivetymäinen ¹³	-	-
oktadekaani ?	31:30	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CH}_3$	254,5	hiilivetymäinen ¹³	0,02 ³	-
nonadekaani ?	32:40	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{CH}_3$	268,5	hiilivetymäinen ¹³	-	-
eikosaani ?	34:09	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{CH}_3$	282,6	hiilivetymäinen ¹³	-	-
lisäksi useita haaroituneita alkaaneja ja alkeeneja sekä sykklisiä hiilivetyjä						
<u>Aromaattiset hiilivedyt</u>						
bentseeni	4:12		78,1	makea, liuotinmainen ¹	1,5 – 380 ^{1,6,9,12}	9000 ¹
tolueeni	7:13		92,1	maali, kumimainen, liima, koipallo, liuotin ^{1,13,14}	0,08 – 600,8 ^{1,6,9,12}	750 ¹
etyyliibentseeni	10:29		106,2	aromaattinen, makea ^{1,18}	0,013 – 10,1 ^{12,5,6,12}	870 ¹

LIITE 4 (12/15)

m- ja p-ksyyleeni	10:46		106,2	makea, liuottimmainen ^{1,14}	0,35 – 86 ^{1,6,12}	435 (kaikki isomeerit) ¹
styreeni	11:33		104,2	lennokkiilima, liuotin, kumimainen ^{1,14}	0,02 – 8 ^{1,3,5,6,12}	430 ¹
o-ksyyleeni	11:39		106,2	geranium (pelargonia) ¹³	0,77 – 23,6 ^{2,5}	(katso m- ja p-ksyyleenit)
propyylibentseeni	13:53		120,2	liuotin, imelä, tunkkainen ¹⁷	-	-
p-symeeni ?	16:29		134,2	liuotin, sitruunankuori ^{13,18}	0,012 ^{2,5}	-
indaani ?	16:54		118,2	lakka, kivihiihterva ¹⁴	-	-
dekahydronaftaleeni	17:38		138,3	-	565 ¹	565 ¹
metyyli-indaani (NI)	18:39	-	132,2	-	-	-
metyylidekahydro-naftaleenit (3) (NI)	19:37-20:26	-	152,3	-	-	-
tetrahydronaftaleeni	21:11		132,2	-	97,2 ¹	-

LIITE 4 (13/15)

dimetyylidekahydro-naftaleenit (3) (NI)	21:27-21:58	-	166,3	-	-	-
naftaleeni	22:01		128,2	koipallo, terva, liuotinmainen 1,1,3,14	0,05 – 1,5 ^{1,6}	75 ¹
dimetyyli-indaani (NI)	22:27	-	146,2	-	-	-
metyylitetrahydro-naftaleenit (5) (NI)	22:59-25:10	-	146,2	-	-	-
metyylinaftaleenit (2) (NI)	25:14-25:37	 (2-met.naftaleeni)	142,2	-	0,058 (2-metyyli-naftaleeni) ¹	-
dimetyylitetrahydro-naftaleenit (4) (NI)	25:17-26:55	-	160,3	-	-	-
dimetyylinaftaleenit (2) (NI)	27:06-27:18	-	156,2	-	0,043 ¹	-
lisäksi C3-, C4- ja C5-alkyylibentseeniä ja -alkenylibentseeniä sekä erilaisia tumistamattomia naftaleenin johdannaisia						

* Ärsytyksynnys on otettu taulukkoon siinä tapauksessa, että se on löydetty samasta lähteestä kuin hajukynnyskin. Lisää tietoa yhdisteiden ärsytyksynnysistä löytyy mm. Työterveyslaitoksen julkaisuista (esim. <http://www.occuphealth.fi/ttl/> projekti/hrp/).

- a) Yhdiste on analysoitu eri menetelmällä kuin muut taulukossa esiintyvät yhdisteet, jotka on tunnistettu massaspektrien perusteella.
- b) Kirjallisuudesta löytyi kyseiselle yhdisteelle yksi selvästi muita korkeampi hajukynnysarvo, joka ylitti myös yhdisteen ärsytyskynnyksen.
Kyseinen hajukynnysarvo jätettiin pois taulukosta.

NI = not identified; rakennetta ei ole tunnistettu tarkemmin

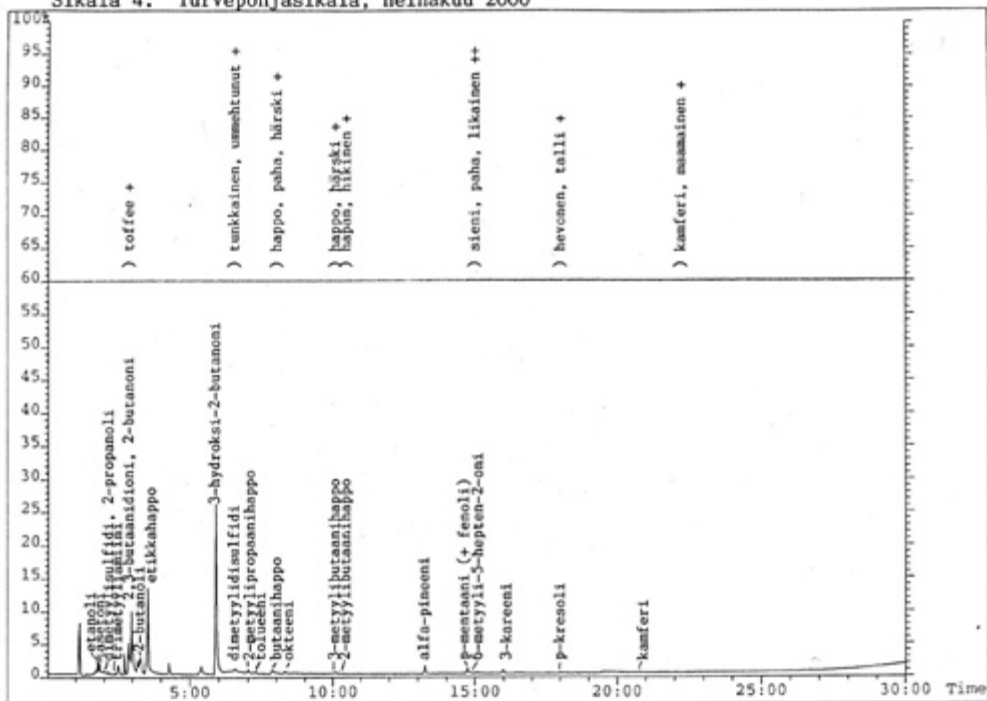
? = yhdistettä ei ole pystytty tunnistamaan varmasti pelkän massaspekttrin perusteella

VIITTEET TAULUKKON:

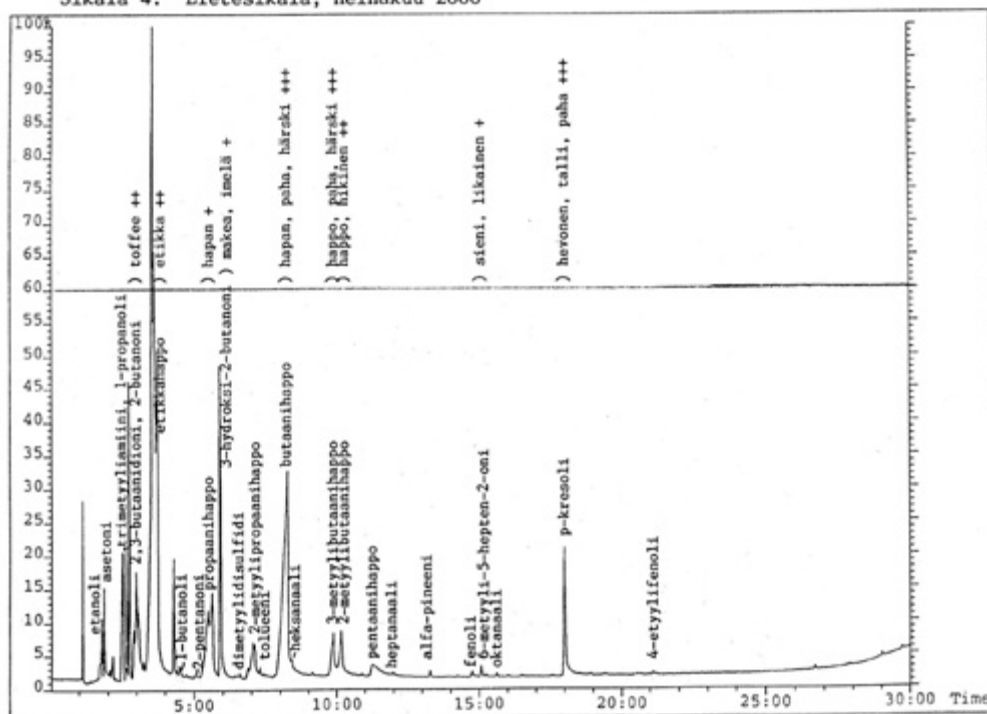
- 1) J. H. Ruth, Odor Thresholds and Irritation Levels of Several Chemical Substances: A Review, *American Industrial Hygiene Association Journal* 47 (1986) 142-151.
- 2) L. J. van Gemert and A. H. Nettenbreijer (Eds.), *Compilation of Odour Threshold Values in Air and Water*, Central Institute for Nutrition and Food Research TNO, Zeist, Netherlands (1977).
- 3) L. J. van Gemert, *Compilation of Odour Threshold Values in Air, Supplement V*, Report No. A 84.220/090070, Division of Nutrition and Food Research TNO, Zeist, Netherlands (1984).
- 4) D. H. O'Neill and V. R. Phillips, A Review of the Control of Odour Nuisance from Livestock Buildings: Part 3, Properties of the Odorous Substances which have been Identified in Livestock Wastes or in the Air around them, *Journal of Agricultural Engineering Research* 53 (1992) 23-50.
- 5) M. Devos, F. Patte, J. Roualt, P. Laffort and L. J. van Gemert (Eds.), *Standardized Human Olfactory Thresholds*, Oxford Univ. Press, New York, 165 p. (1990).
- 6) J. E. Amore and E. Hautala, Odor as an Aid to Chemical Safety: Odor Thresholds Compared with Threshold Limit Values and Volatilities for 214 Industrial Chemicals in Air and Water Dilution, *Journal of Applied Toxicology* 3 (1983) 272-290.
- 7) G. Hall and J. Andersson, Volatile Fat Oxidation Products. I. Determination of Odour Thresholds and Odour Intensity Functions by Dynamic Olfactometry, *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie* 16 (1983) 354-361.
- 8) F. C. Miller and B. J. Macauley, Odours Arising from Mushroom Composting: A Review, *Australian Journal of Experimental Agriculture* 28 (1988) 553-560.
- 9) Chemfinder (<http://www.chemfinder.com/> ; Hakusana: yhdisteen nimi).
- 10) R. I. Mackie, P. G. Stroot and V. H. Varel, Biochemical Identification and Biological Origin of Key Odor Components in Livestock Waste, *Journal of Animal Science* 76 (1998) 1331-1342.
- 11) J. A. Zahn, J. L. Hatfield, Y. S. Do, A. A. DiSpirito, D. A. Laird and R. L. Pfeiffer, Characterization of Volatile Organic Emissions and Wastes from a Swine Production Facility, *Journal of Environmental Quality* 26 (1997) 1687-1696.
- 12) L-Y. Chen, F-T. Jeng, M-W. Chang and S-H. Yen, Rationalization of an Odor Monitoring System: A Case Study of Lin-Yuan Petrochemical Park, *Environmental Science and Technology* 34 (2000) 1166-1173.
- 13) Flavornet (<http://www.nysaes.comell.edu/flavornet/chemsens.html>).
- 14) L. Schweitzer and I. H. Suffet, Exposure Assessment of Taste and Odor Standards Used in the Method of Flavor Profile Analysis, *Water Science and Technology Vol. 40* 6 (1999) 209-215.
- 15) G. P. van Durme, B. F. McNamara and C. M. McGinley, Bench-Scale Removal of Odor and Volatile Organic Compounds at a Composting Facility, *Water Environment Research* 64 (1992) 19-27.

- 16) A. Yasuhara, K. Fuwa and M. Jimbu, Identification of Odorous Compounds in Fresh and Rotten Swine Manure, *Agricultural and Biological Chemistry Vol. 48* 12 (1984) 3001-3010.
- 17) K. Louhelainen, J. Kangas, P. Viilos and A. Veijanen, Effect of in situ Composting on Reducing Offensive Odours and Harmful Volatile Organic Compounds in Piggeries, *American Industrial Hygiene Association Journal* 62 (2001) 159-167.
- 18) Hajunkuvaus on taulukon laatijan ja hänen työtovereidensa antama tai tarkistama.

Sikala 4. Turvepohjasikala, heinäkuu 2000



Sikala 4. Lietesikala, heinäkuu 2000



LIITE 6 (1/4)

Taulukko 1. Purupohjasikaloiden taustatilanteessa mitattujen ilman mikrobipitoisuuksien (cfu/m³) geometriset keskiarvot (GM) ja minimi- ja maksimiarvot.

Tunnusluku	Mesofiiliset sienet	Kserofiiliset sienet	Termotolerantit sienet	Termofiiliset aktinobakteerit	Gram-negatiiviset bakteerit
GM	1500	2700	230	80	1500
min	740	890	< 2	< 2	2200
max	2900	5100	2700	640	105000

Taulukko 2. Purupohjasikalosta käynnön aikana mitattujen ilman mikrobipitoisuuksien (cfu/m³) geometriset keskiarvot (GM) ja minimi- ja maksimiarvot.

Tunnusluku	Mesofiiliset sienet	Kserofiiliset sienet	Termotolerantit sienet	Termofiiliset aktinobakteerit	Gram-negatiiviset bakteerit
GM	7300	2700	2100	56	34000
min	1400	1900	370	50	14000
max	27700	4400	12000	70	160000

Taulukko 3. Turvepohjasikaloiden taustatilanteessa mitattujen ilman mikrobipitoisuuksien (cfu/m³) geometriset keskiarvot (GM) ja minimi- ja maksimiarvot.

Tunnusluku	Mesofiiliset sienet	Kserofiiliset sienet	Termotolerantit sienet	Termofiiliset aktinobakteerit	Gram-negatiiviset bakteerit
GM	47000	59000	19000	4900	69000
min	3700	1300	1500	300	7500
max	340000	340000	340000	130000	450000

Taulukko 4. Turvepohjasikaloiden työvaiheiden aikana mitattujen ilman mikrobipitoisuuksien (cfu/m³) geometriset keskiarvot (GM) ja minimi- ja maksimiarvot.

Tunnusluku	Mesofiiliset sienet	Kserofiiliset sienet	Termotolerantit sienet	Termofiiliset aktinobakteerit	Gram-negatiiviset bakteerit
GM	78000	140000	72000	27000	120000
min	5600	24000	14000	5800	46000
max	350000	350000	180000	120000	350000

Taulukko 5. Puru- ja turvepohjasikaloista mitattujen ilman kokonaisitiöpitoisuuksien (kpl/m³) geometriset keskiarvot (GM) ja minimi- ja maksimi-arvot.

Tunnusluku	Puru, tausta	Puru, kääntö	Turveolki, tausta	Turveolki, työvaihe
GM	250000	350000	2000000	3400000
min	110000	130000	640000	2600000
max	840000	620000	14000000	4000000

Taulukko 6. Puhtaiden turvenäytteiden mikrobipitoisuuksien (cfu/g) geometriset keskiarvot (GM) ja minimi- ja maksimi-arvot.

Tunnusluku	Mesofiiliset sienet	Kserofiiliset sienet	Termotolerantit sienet	Termofiiliset aktinobakteerit
GM	1900000	860000	30000	1900
min	2400	900	1700	180
max	18000000	17000000	418182	3500

Taulukko 7. Sikojen karsinasta otettujen turvenäytteiden mikrobipitoisuuksien (cfu/g) geometriset keskiarvot (GM) ja minimi- ja maksimi-arvot.

Tunnusluku	Mesofiiliset sienet	Kserofiiliset sienet	Termotolerantit sienet	Termofiiliset aktinobakteerit
GM	23000000	15000000	2900000	150000
min	2300000	1800000	780000	90
max	320000000	270000000	110000000	34000000

Taulukko 8. Puhtaiden olkinäytteiden mikrobipitoisuuksien (cfu/g) geometriset keskiarvot (GM) ja minimi- ja maksimi-arvot.

Tunnusluku	Mesofiiliset sienet	Kserofiiliset sienet	Termotolerantit sienet	Termofiiliset sienet
GM	150000	360000	840	2070
min	6000	170000	100	270
max	890000	1700000	20000	7020

Taulukko 9. Mikrobisukujen ja -lajien esiintyminen sikaloista otetuissa ilmanäytteissä (%).

Mesofiliset sienet	%	Kserofiliset sienet	%	Termotolerantit sienet	%	Termofiiliset aktinobakteerit	%
Puru, tausta							
<i>Acremonium</i>	25	<i>Absidia</i>	25	<i>Absidia</i>	50	<i>Thermoactinomyces</i>	
<i>Aspergillus flavus</i>	50	<i>Aspergillus candidus</i>	25	<i>Aspergillus niger</i>	25	<i>candidus</i>	75
<i>Aspergillus</i>	50	<i>Aspergillus flavus</i>	75	<i>Aspergillus</i>	50	<i>Thermoactinomyces</i>	
<i>Cladosporium</i>	50	<i>Aspergillus versicolor</i>	75	<i>Paecilomyces</i>	50	<i>vulgaris</i>	75
hiivat	75	<i>Aspergillus</i>	50	<i>Scopulariopsis</i>	25		
<i>Oidiodendron</i>	25	<i>Cladosporium</i>	75				
<i>Penicillium</i>	75	<i>Eurotium</i>	50				
steriilit	25	hiivat	75				
		<i>Penicillium</i>	75				
		<i>Sporobolomyces</i>	25				
Puru, kääntö							
<i>Absidia</i>	33	<i>Absidia</i>	33	<i>Aspergillus</i>		<i>Thermoactinomyces</i>	
<i>Aspergillus flavus</i>	66	<i>Aspergillus flavus</i>	66	<i>fumigatus</i>	33	<i>candidus</i>	100
<i>Aspergillus</i>		<i>Alternaria</i>	33	<i>Aspergillus</i>	66	<i>Thermoactinomyces</i>	
<i>fumigatus</i>	66	<i>Aspergillus</i>	100	<i>Mucor</i>	33	<i>vulgaris</i>	66
<i>Aspergillus</i>	33	<i>Cladosporium</i>	100	<i>Paecilomyces</i>	66		
<i>Cladosporium</i>	100	<i>Eurotium</i>	33	<i>Penicillium</i>	66		
hiivat	66	hiivat	100				
<i>Monocillium</i>	33	<i>Penicillium</i>	100				
<i>Penicillium</i>	66	steriilit	33				
		<i>Verticicladium</i>	33				
Turve,tausta							
<i>Absidia</i>	28	<i>Absidia</i>	72	<i>Absidia</i>	94	<i>Thermoactinomyces</i>	
<i>Acremonium</i>	6	<i>Acremonium</i>	6	<i>Aspergillus flavus</i>	89	<i>candidus</i>	94
<i>Aspergillus flavus</i>	78	<i>Aspergillus flavus</i>	89	<i>Aspergillus</i>		<i>Thermoactinomyces</i>	
<i>Aspergillus fumigatus</i>	33	<i>Aspergillus niger</i>	11	<i>fumigatus</i>	11	<i>vulgaris</i>	89
<i>Aspergillus niger</i>	17	<i>A. penicillioides</i>	6	<i>Aspergillus niger</i>	6		
<i>Aspergillus</i>	50	<i>Aspergillus versicolor</i>	6	<i>Aspergillus</i>			
basidiomykeetit	6	<i>Aspergillus</i>	50	<i>ochraceus</i>	6		
<i>Cladosporium</i>	17	<i>Cladosporium</i>	33	<i>Aspergillus</i>	50		
<i>Eurotium</i>	6	<i>Eurotium</i>	28	Hiivat	56		
<i>Geomyces</i>	6	hiivat	94	<i>Mucor</i>	6		
hiivat	100	<i>Monocillium</i>	6	<i>Paecilomyces</i>	39		
<i>Monocillium</i>	17	<i>Mucor</i>	6	<i>Penicillium</i>	50		
<i>Oidiodendron</i>	11	<i>Oidiodendron</i>	6	Steriilit	6		
<i>Paecilomyces</i>	44	<i>Paecilomyces</i>	39				
<i>Penicillium</i>	100	<i>Penicillium</i>	94				
steriilit	22	<i>Rhizopus</i>	6				
<i>Trichoderma</i>	44	steriilit	6				
		<i>Wallemia</i>	11				
		<i>Verticicladium</i>	6				
Turve,työvaihe							
<i>Absidia</i>	40	<i>Absidia</i>	60	<i>Absidia</i>	100	<i>Thermoactinomyces</i>	
<i>Aspergillus flavus</i>	80	<i>Aspergillus flavus</i>	80	<i>Aspergillus flavus</i>	100	<i>candidus</i>	100
<i>Aspergillus fumigatus</i>	40	<i>Aspergillus niger</i>	20	<i>Aspergillus</i>		<i>Thermoactinomyces</i>	
<i>Aspergillus</i>	60	<i>A. penicillioides</i>	20	<i>fumigatus</i>	40	<i>vulgaris</i>	100
<i>Eurotium</i>	20	<i>Aspergillus</i>	40	<i>Aspergillus niger</i>	20		
hiivat	100	<i>Eurotium</i>	20	<i>Aspergillus</i>	80		
<i>Monocillium</i>	20	hiivat	60	Hiivat	80		
<i>Penicillium</i>	100	<i>Paecilomyces</i>	40	<i>Paecilomyces</i>	40		
steriilit	20	<i>Penicillium</i>	100	<i>Penicillium</i>	40		
<i>Trichoderma</i>	60	steriilit	20				

Taulukko 10. Mikrobisukujen ja -lajien esiintyminen turve- ja olkinäytteissä (%).

Mesofiiliset sienet	%	Kserofiiliset sienet	%	Termotolerantit sienet	%	Termofiiliset Aktinobakteerit	%
Puhdas turve							
<i>Acremonium</i>	10	<i>Acremonium</i>	10	<i>Aspergillus</i>		<i>Thermoactinomyces</i>	
<i>Aspergillus flavus</i>	20	<i>Aspegillus flavus</i>	10	<i>Aspergillus flavus</i>	20	<i>Candidus</i>	30
<i>Aureobasidium</i>	10	<i>Aureobasidium</i>	10	<i>Aspergillus</i>	20	<i>Thermoactinomyces</i>	
<i>Aspergillus</i>	10	<i>Cladosporium</i>	10	<i>Absidia</i>	10	<i>Vulgaris</i>	40
<i>Chrysonilia</i>	10	hiivat	80	hiivat	30		
<i>Fusarium</i>	10	<i>Mucor</i>	10	<i>Paecilomyces</i>	70		
<i>Geotrichum</i>	10	<i>Aspergillus</i>	30	<i>Penicillium</i>	30		
hiivat	90	<i>Penicillium</i>	90	<i>Scopulariopsis</i>	10		
<i>Monocillium</i>	10	<i>steriilit</i>	10	steriilit	20		
<i>Mucor</i>	30	<i>Cladosporium</i>					
<i>Oidiodendron</i>	50	hiivat					
<i>Paecilomyces</i>	30	<i>Penicillium</i>					
<i>Penicillium</i>	90	steriilit					
steriilit	30						
<i>Phialophora</i>	10	<i>flavus</i>					
<i>Trichoderma</i>	10						
<i>Tritirachium</i>	10						
Turve sikojen karsinasta							
<i>Absidia</i>	29	<i>Absidia</i>	71	<i>Absidia</i>	71	<i>Thermoactinomyces</i>	
<i>Aspergillus flavus</i>	71	<i>Aspergillus</i>	71	<i>Aspergillus</i>	71	<i>Candidus</i>	100
<i>Aspergillus</i>	14	<i>Aspergillus</i>	29	<i>Aspergillus</i>	29	<i>Thermoactinomyces</i>	71
hiivat	100	hiivat	100	hiivat	71	<i>Vulgaris</i>	
<i>Paecilomyces</i>	29	<i>Paecilomyces</i>	29	<i>Paecilomyces</i>	29		
<i>Penicillium</i>	71	<i>Penicillium</i>	43	<i>Penicillium</i>	14		
<i>Trichoderma</i>	14						
Puhdas olki							
<i>Acremonium</i>	33	<i>AbsidiaA c r e m o n i u m</i>					
<i>Aspergillus fumigatus</i>	33						
<i>Aspergillus</i>	33						
<i>Cladosporium</i>	100						
<i>Fusarium</i>	33						
hiivat	66						
<i>Penicillium</i>	66						
steriilit	33						

LIITE 7

Taulukko 1. Endotoksiinipitoisuudet (ng/m³) eri mittauskerroilla purupohjasikaloissa. kp = kiinteäpistenäyte, hv = hengitysvyöhykenäyte

Tila	9/99 tausta	9/99 työ, kp	9/99 työ, hv
1	320	680	
2	2500	660	760
3	2000	320	2700
4	2400	1400	

Taulukko 2. Endotoksiinipitoisuudet (ng/m³) eri mittauskerroilla turvepohjasikaloissa. kp = kiinteäpistenäyte, hv = hengitysvyöhykenäyte

Tila	11/99 tausta	3/2000 tausta	3/2000 työ,kp	3/2000 työ, hv	4/2000 tausta	6/2000 tausta	6/2000 työ,kp	6/2000 työ, hv	8/2000 tausta	8/2000 työ, kp	9/2000 tausta
1	170	240	1100	840		230	3100	430			780
2	510	440	1600	860		360			2200		
3	380	490	320	360		1700			420		
4		840	870	2200		250					
5					520	710			1800	1900	4900

Kahden viikon PEF-, oire- ja aamulämpötilan seurannan tulos eri tutkimusjaksoilla.

	Tila 1 Isäntä	Tila 1 emäntä	Tila 2 isäntä	Tila 3 isäntä	Tila 3 emäntä	Tila 4 isäntä	Tila 4 emäntä
1. jakso							
Kääntöjen lkm jaksolla	2	2	1	1	1	0	0
Aloituspäivämäärä	19.8. 1999	19.8. 1999	19.8. 1999	19.08. 1999	19.8. 1999	20.8. 1999	20.8. 1999
PEF-vaihtelu, %	6 %	11 %	9 %	10 %	8 %	25 %	11 %
Oirepisteiden summa	17	0	3	3	22	40	66
Aamulämpötilojen vaihtelu jakson aikana, °C	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
2. jakso							
Kääntöjen lkm jaksolla	1	1	0	0	0	?	?
Aloituspäivämäärä	6.12. 1999	6.12. 1999	28.11. 1999	17.11. 1999	17.11. 1999	3.7. 2000	3.7. 2000
PEF-vaihtelu, %	11 %	7 %	3 %	6 %	10 %	20 %	18 %
Oirepisteiden summa	9	1	0	8	25	34	55
Aamulämpötilojen vaihtelu jakson aikana, °C	0,5	0,5	0,3	0,8	0,8	0,8	0,7
3. jakso							
Kääntöjen lkm jaksolla	1	1	1	1	?		
Aloituspäivämäärä	6.3. 2000	6.3. 2000	5.5. 2000	16.4. 2000	19.4. 2000	.	.
PEF-vaihtelu, %	6 %	2 %	6 %	6 %	12 %	.	.
Oirepisteiden summa	1	2	2	0	69	.	.
Aamulämpötilojen vaihtelu jakson aikana, °C	0,4	0,2	0,5	0,5	1,1	.	.
1. lisäjakso							
Kääntöjen lkm jaksolla					1		
Aloituspäivämäärä	.	.	.	.	10.6. 2000	.	.
PEF-vaihtelu, %	.	.	.	.	13 %	.	.
Oirepisteiden summa	.	.	.	.	79	.	.
Aamulämpötilojen vaihtelu jakson aikana, °C	.	.	.	.	1,3	.	.
2. lisäjakso							
Kääntöjen lkm jaksolla					1		
Aloituspäivämäärä	.	.	.	.	1.8. 2000	.	.
PEF-vaihtelu, %	.	.	.	.	8 %	.	.
Oirepisteiden summa	.	.	.	.	22	.	.
Aamulämpötilojen vaihtelu jakson aikana, °C	.	.	.	.	0,6	.	.

LIITE 9 (1/4)

Taulukko 1. Sikaloiden päästöjen mallintaminen: päästötiedot

	sikala	poistokanava nro	poistokanavat			maa kork.	piippu		nopeus m/s	poistoilman	
			koord. x	koord. y	koord. m		alk. m	lt K		päästö g/s	
Sikala 1											
Tilanne 1: Purupohjasikalan ammoniaki											
Päästömittaus 17.9.1999											
	purupohjasikala	piippu 1	2560495	6848930	95	8.4	0.53	3.2	290.15	0.005083	
	purupohjasikala	piippu 2	2560480	6848930	95	8.4	0.53	3.1	289.65	0.006694	
Tilanne 2: Turve- ja lietesikalan ammoniaki											
Päästömittaus 25.5.2000											
	turvesikala	piippu 1	2560495	6848930	95	8.4	0.53	9.4	292.45	0.005806	
	turvesikala	piippu 2	2560480	6848930	95	8.4	0.53	8.5	292.45	0.004111	
	lietesikala	piippu 1	2560500	6908980	95	8.4	0.46	7.8	293.65	0.005250	
	lietesikala	piippu 2	2560500	6908975	95	8.4	0.46	7.9	294.65	0.007639	
	lietesikala	piippu 3	2560490	6908975	95	8.4	0.46	3.2	294.65	0.003139	
	lietesikala	piippu 4	2560490	6908980	95	8.4	0.46	8.0	293.65	0.007222	
Tilanne 3: Turve- ja lietesikalan etikkahappo											
Päästömittaus 25.5.2000											
	turvesikala	piippu 1	2560495	6848930	95	8.4	0.53	9.4	292.45	0.000001	
	turvesikala	piippu 2	2560480	6848930	95	8.4	0.53	8.5	292.45	0.000001	
	lietesikala	piippu 1	2560500	6908980	95	8.4	0.46	7.8	293.65	0.002079	
	lietesikala	piippu 2	2560500	6908975	95	8.4	0.46	7.9	294.65	0.002549	
	lietesikala	piippu 3	2560490	6908975	95	8.4	0.46	3.2	294.65	0.000878	
	lietesikala	piippu 4	2560490	6908980	95	8.4	0.46	8.0	293.65	0.001273	
Tilanne 4: Turve- ja lietesikalan butaanihappo											
Päästömittaus 25.5.2000											
	turvesikala	piippu 1	2560495	6848930	95	8.4	0.53	9.4	292.45	0.000000	
	turvesikala	piippu 2	2560480	6848930	95	8.4	0.53	8.5	292.45	0.000000	
	lietesikala	piippu 1	2560500	6908980	95	8.4	0.46	7.8	293.65	0.000552	
	lietesikala	piippu 2	2560500	6908975	95	8.4	0.46	7.9	294.65	0.000766	
	lietesikala	piippu 3	2560490	6908975	95	8.4	0.46	3.2	294.65	0.000182	
	lietesikala	piippu 4	2560490	6908980	95	8.4	0.46	8.0	293.65	0.000213	
Tilanne 5: Turve- ja lietesikalan p-kresoli											
Päästömittaus 25.5.2000											
	turvesikala	piippu 1	2560495	6848930	95	8.4	0.53	9.4	292.45	0.000000	
	turvesikala	piippu 2	2560480	6848930	95	8.4	0.53	8.5	292.45	0.000000	
	lietesikala	piippu 1	2560500	6908980	95	8.4	0.46	7.8	293.65	0.000123	
	lietesikala	piippu 2	2560500	6908975	95	8.4	0.46	7.9	294.65	0.000123	
	lietesikala	piippu 3	2560490	6908975	95	8.4	0.46	3.2	294.65	0.000034	
	lietesikala	piippu 4	2560490	6908980	95	8.4	0.46	8.0	293.65	0.000046	

LIITE 9 (2/4)

	sikala	poistokanava nro	Poistokanavat		maa		Piippu		poistoilman				
			Koord. X	koord. y	korok. m	korok. m	korok. m	Halk. m	nopeus m/s	nopeus m/s	It K	päästö g/s	
Tilanne 6: Turvesikalan ammoniakiikki erikseen													
Päästömittaus 25.5.2000	turvesikala	piippu 1	2560495	6848930	95	8.4	0.53	9.4	292.45	0.005806			
	turvesikala	piippu 2	2560480	6848930	95	8.4	0.53	8.5	292.45	0.004111			
Tilanne 7: Lietesikalan ammoniakiikki erikseen													
Päästömittaus 25.5.2000	lietesikala	piippu 1	2560500	6908980	95	8.4	0.46	7.8	293.65	0.005250			
	lietesikala	piippu 2	2560500	6908975	95	8.4	0.46	7.9	294.65	0.007639			
	lietesikala	piippu 3	2560490	6908975	95	8.4	0.46	3.2	294.65	0.003139			
	lietesikala	piippu 4	2560490	6908980	95	8.4	0.46	8.0	293.65	0.007222			
Tilanne 8: Turve- ja lietesikalan ammoniakiikki													
Päästömittaus 7.9.2000	turvesikala	piippu 1	2560495	6848930	95	8.4	0.53	9.5	291.15	0.020944			
	turvesikala	piippu 2	2560480	6848930	95	8.4	0.53	9.4	290.65	0.019667			
	lietesikala	piippu 1	2560500	6908980	95	8.4	0.46	7.8	292.15	0.006389			
	lietesikala	piippu 2	2560500	6908975	95	8.4	0.46	8.3	293.15	0.007361			
	lietesikala	piippu 3	2560490	6908975	95	8.4	0.46	2.6	293.15	0.003250			
	lietesikala	piippu 4	2560490	6908980	95	8.4	0.46	8.0	292.15	0.006944			
Tilanne 9: Turvesikalan ammoniakiikki erikseen													
Päästömittaus 7.9.2000	turvesikala	piippu 1	2560495	6848930	95	8.4	0.53	9.5	291.15	0.020944			
	turvesikala	piippu 2	2560480	6848930	95	8.4	0.53	9.4	290.65	0.019667			
Tilanne 10: Lietesikalan ammoniakiikki erikseen													
Päästömittaus 7.9.2000	lietesikala	piippu 1	2560500	6908980	95	8.4	0.46	7.8	292.15	0.006389			
	lietesikala	piippu 2	2560500	6908975	95	8.4	0.46	8.3	293.15	0.007361			
	lietesikala	piippu 3	2560490	6908975	95	8.4	0.46	2.6	293.15	0.003250			
	lietesikala	piippu 4	2560490	6908980	95	8.4	0.46	8.0	292.15	0.006944			
Sikala 2													
Tilanne 1: Purupohjasikalan ammoniakiikki													
Päästömittaus 17.9.1999	purupohjasikala	piippu 1	2544170	6908900	164	8.5	0.53	4.7	289.65	0.006639			
	purupohjasikala	piippu 2	2544150	6908900	164	8.5	0.53	8.4	289.15	0.007917			
Tilanne 2: Turvesikalan ammoniakiikki													
Päästömittaukset 21.6. ja 6.9.2000 (keskiarvo)	turvesikala	piippu 1	2544170	6908900	164	8.5	0.53	9.8	294.65	0.001583			
	turvesikala	piippu 2	2544150	6908900	164	8.5	0.53	8.3	293.75	0.001708			

LIITE 9 (3/4)

Sikalat	poistokanava nro	poistokanavat			maa kork.	piippu		nopeus m/s	poistoilman	
		koord. x	koord. y	koord. z		kork. m	halk. m		lt K	päästö g/s
Sikala 3										
Tilanne 1: Purupohjasikalan ammoniakiikki										
Päästömittaus 11.9.1999										
purupohjasikala	piippu 1	3471936	6918790	105	7	0.53	5.3	288.15	0.001833	
	piippu 2	3471944	6918790	105	7	0.53	5.6	288.15	0.003333	
	piippu 3	3471940	6918802	105	7	0.40	6.8	288.15	0.002778	
turvesikala	piippu 1	3471936	6918790	105	7	0.53	8.0	293.15	0.005556	
	piippu 2	3471944	6918790	105	7	0.53	8.6	293.15	0.009653	
	piippu 3	3471940	6918802	105	7	0.40	13.0	293.15	0.005319	
Sikala 4										
Tilanne 1: Turve- ja lietesikalan ammoniakiikki										
Päästömittaus 20.7.2000										
lietesikala	piippu 1	2568004	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.005417	
	piippu 2	2567997	6991330	111	6.5	0.50	7.9	297.15	0.005278	
	piippu 3	2567990	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.006333	
turvesikala	piippu 1	2568030	6991330	111	7.5	0.60	7.5	295.15	0.003389	
	piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.002833	
lietesikala	piippu 1	2568004	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.001166	
	piippu 2	2567997	6991330	111	6.5	0.50	7.9	297.15	0.001119	
	piippu 3	2567990	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.001253	
turvesikala	piippu 1	2568030	6991330	111	7.5	0.60	7.5	295.15	0.000053	
	piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.000013	
lietesikala	piippu 1	2568004	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000257	
	piippu 2	2567997	6991330	111	6.5	0.50	7.9	297.15	0.000305	
	piippu 3	2567990	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000369	
turvesikala	piippu 1	2568030	6991330	111	7.5	0.60	7.5	295.15	0.000007	
	piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.000002	
lietesikala	piippu 1	2568004	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000114	
	piippu 2	2567997	6991330	111	6.5	0.50	7.9	297.15	0.000113	
	piippu 3	2567990	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000106	
turvesikala	piippu 1	2568030	6991330	111	7.5	0.60	7.5	295.15	0.000001	
	piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.000001	
Tilanne 3: Turve- ja lietesikalan butaanihappo										
Päästömittaus 20.7.2000										
lietesikala	piippu 1	2568004	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000257	
	piippu 2	2567997	6991330	111	6.5	0.50	7.9	297.15	0.000305	
	piippu 3	2567990	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000369	
turvesikala	piippu 1	2568030	6991330	111	7.5	0.60	7.5	295.15	0.000007	
	piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.000002	
lietesikala	piippu 1	2568004	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000114	
	piippu 2	2567997	6991330	111	6.5	0.50	7.9	297.15	0.000113	
	piippu 3	2567990	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000106	
turvesikala	piippu 1	2568030	6991330	111	7.5	0.60	7.5	295.15	0.000001	
	piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.000001	
Tilanne 4: Turve- ja lietesikalan p-kresoli										
Päästömittaus 20.7.2000										
lietesikala	piippu 1	2568004	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000114	
	piippu 2	2567997	6991330	111	6.5	0.50	7.9	297.15	0.000113	
	piippu 3	2567990	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000106	
turvesikala	piippu 1	2568030	6991330	111	7.5	0.60	7.5	295.15	0.000001	
	piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.000001	

LIITE 9 (4/4)

turvesikala		piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.000000
sikala	poistokanava	ma	poistokanavat		ma	piippu		nopeus	poistoliman	
	nro	koord.	x	y	koord.	kor.	halk.	m/s	it	päästö
						m	m		K	astetta
									g/s	
Tilanne 5: Lietesikalan ammoniakiikki erikseen										
Päästömittaus 20.7.2000										
lietesikala	piippu 1	2568004	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.005417	
lietesikala	piippu 2	2567997	6991330	111	6.5	0.50	7.9	297.15	0.005278	
lietesikala	piippu 3	2567990	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.006333	
Tilanne 6: Lietesikalan etikkahappo erikseen										
Päästömittaus 20.7.2000										
lietesikala	piippu 1	2568004	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.001166	
lietesikala	piippu 2	2567997	6991330	111	6.5	0.50	7.9	297.15	0.001119	
lietesikala	piippu 3	2567990	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.001253	
Tilanne 7: Lietesikalan butaanihappo erikseen										
Päästömittaus 20.7.2000										
lietesikala	piippu 1	2568004	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000257	
lietesikala	piippu 2	2567997	6991330	111	6.5	0.50	7.9	297.15	0.000305	
lietesikala	piippu 3	2567990	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000369	
Tilanne 8: Lietesikalan p-kresoli erikseen										
Päästömittaus 20.7.2000										
lietesikala	piippu 1	2568004	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000114	
lietesikala	piippu 2	2567997	6991330	111	6.5	0.50	7.9	297.15	0.000113	
lietesikala	piippu 3	2567990	6991330	111	6.5	0.50	9.5	297.15	0.000106	
Tilanne 9: Turvesikalan ammoniakiikki erikseen										
Päästömittaus 20.7.2000										
turvesikala	piippu 1	2568030	6991330	111	7.5	0.60	7.5	295.15	0.003389	
turvesikala	piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.002833	
Tilanne 10: Turvesikalan etikkahappo erikseen										
Päästömittaus 20.7.2000										
turvesikala	piippu 1	2568030	6991330	111	7.5	0.60	7.5	295.15	0.000053	
turvesikala	piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.000013	
Tilanne 11: Turvesikalan butaanihappo erikseen										
Päästömittaus 20.7.2000										
turvesikala	piippu 1	2568030	6991330	111	7.5	0.60	7.5	295.15	0.000007	
turvesikala	piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.000002	
Tilanne 12: Turvesikalan p-kresoli erikseen										
Päästömittaus 20.7.2000										
turvesikala	piippu 1	2568030	6991330	111	7.5	0.60	7.5	295.15	0.000001	
turvesikala	piippu 2	2568023	6991330	111	7.5	0.60	5.0	295.15	0.000000	
Sikala 5										
Tilanne 1: Kompostisikalan ammoniakiikki										
Päästömittaukset 21.6. ja 6.9.2000 (keskiarvo)										
turvesikala	piippu 1	2558470	6911360	131	7.4	0.55	13.4	298.15	0.005792	
turvesikala	piippu 2	2558470	6911365	131	7.5	0.65	3.6	298.15	0.001444	
turvesikala	piippu 3	2558470	6911375	131	7.4	0.55	12.9	298.15	0.005000	
turvesikala	piippu 4	2558470	6911380	131	7.4	0.55	13.0	298.15	0.003861	



31600 JOKIOINEN

		Julkaisun sarja ja numero MTT:n julkaisuja. Sarja A 97	
		Julkaisuaika (kk ja vuosi) Elokuu 2001	
Tekijä(t) Jukka Mäittälä, Helvi Heinonen-Tanski, Sirpa Herve, Juhani Kangas, Kyösti Louhelainen, Tiina Nikkola, Merja Paasonen, Maarit Puumala, Sirpa Rautiala, Markku Seuri ja Anja Veijanen		Tutkimushankkeen nimi	
		Toimeksiantaja(t) MTT	
Nimike Turve kestokuivikkeena sikaloissa			
Tiivistelmä Tutkimuksessa selvitettiin turvepohjaisen kompostisikalan vaikutuksia ympäristöön, ympäristön viihtyisyyteen ja viljelijöiden terveyteen. Tulosten perusteella turve edellytti pihattotyypissä sikaloissa vähemmän työtä kuin esimerkiksi purupohjasikaloissa. Työllistävin vaihe oli turvepohjan perustaminen. Sen sijaan pohjan ylläpito oli helpompaa, koska kääntämistarve väheni. Turpeen todettiin lisäksi kestävänsä suurempaa lantakuormaa kuin purun. Turvepohjan arvo ravinteiden perusteella laskettuna on korkeampi kuin siihen käytettyjen kuivikemateriaalien arvo. Jos turvepohjaa käännetään säännöllisesti, siitä aiheutuvat kustannukset ylittävät sen ravinteina lasketun arvon. Puhdas turve itsessään ei sisällä suolistomikrobeja. Sikojen kuivikepohjana turve sitoo itseensä suuren määrän siansontaa ja siten myös suolistomikrobeja, joiden lukumäärä kuivikepohjassa voi olla käytön aikana erittäin korkea. Käytetty turvekuivikepohja kompostoituu kuitenkin helposti. Turvepohjaisen kompostisikalan ympäristövaikutukset olivat perinteistä lietelantasikalaa vähäisemmät. Hyvin toimivassa turvesikalassa hajupäästöt ympäristöön vähenivät selvästi. Turvesikalan kuivalannan levityksen aiheuttama hajuhaitta todettiin erittäin vähäiseksi lietelannan levitykseen verrattuna. Turvesikaloidella ei voitu osoittaa olevan haitallisia vaikutuksia pinta- ja pohjavesiin ainakaan lyhyellä aikavälillä. Turvesikaloiden ammoniakkipitoisuudet olivat perinteistä lietelantasikalaa pienempiä. Sikaloitten työilmassa oli lisäksi haisevia yhdisteitä selvästi vähemmän kuin lietelantasikalassa. Sen sijaan työilman suuri hengittävän pölyn pitoisuus sekä mikrobien (sienet, bakteerit) korkeat ilmapitoisuudet olivat selkeä ongelma lähinnä kuiviketurpeen pölyämisen takia. Pienen aineiston vuoksi luotettavien johtopäätösten teko turvepohjasikaloiden terveysvaikutuksista on vaikeaa. Jos turvepohjaiset kompostisikalat yleistyvät, tulee työntekijöiden oireita kuitenkin seurata toiminnan aloittamisen yhteydessä tavallista tarkemmin.			
Avainsanat sikalat, turve, kuivikkeet, työterveys, työturvallisuus, mikro-organismit, ympäristövaikutukset			
Toimintayksikkö Kuopion aluetyöterveyslaitos, PL 93, 70701 Kuopio			
ISSN 1239-0852 1239-0844		ISBN 951-729-620-7 (Painettu) 951-729-621-5 (Verkojulkaisu)	
		Saatavuus http://www.mtt.fi/asarja	
Myynti MTT, Tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN Puhelin (03) 4188 2327 Telekopio (03) 4188 2339 Sähköposti julkaisut@mtt.fi			Sivuja 64 s. + 9 liitettä

Jyväskylän yliopistopaino 2001

ISBN 951-729-620-7 (Painettu)
ISBN 951-729-621-5 (Verkkajulkaisu)
ISSN 1239-0852 (Painettu)
ISSN 1239-0844 (Verkkajulkaisu)

<http://www.mtt.fi/asarja>