



Mona Arnold, Sari Kuusisto, Kari Wellman,
Tuula Kajolinna, Jaakko Räsänen, Jorma Sipilä,
Maarit Puumala, Sanna Sorvala, Harri Pietarila &
Katja Puputti

Hajuhaitan vähentäminen maatalouden suurissa eläintuotantoyksiköissä

Hajuhaitan vähentäminen maatalouden suurissa eläintuotantoyksiköissä

Mona Arnold, Sari Kuusisto, Kari Wellman,
Tuula Kajolinna, Jaakko Räsänen & Jorma Sipilä

VTT

Maarit Puumala & Sanna Sorvala

MTT, Maatalousteknologia

Harri Pietarila & Katja Puputti

Ilmatieteen laitos

ISBN 951-38-6764-1 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2006

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

VTT, Biologinkuja 7, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7026

VTT, Biologgränden 7, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7026

VTT, Biologinkuja 7, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7026

Arnold, Mona, Kuusisto, Sari, Wellman, Kari, Kajolinna, Tuula, Räsänen, Jaakko, Sipilä, Jorma, Puumala, Maarit, Sorvala, Sanna, Pietarila, Harri & Puputti, Katja. Hajuhaitan vähentäminen maatalouden suurissa eläintuotantoyksiköissä. Espoo 2006. VTT Tiedotteita – Research Notes 2323. 74 s. + liitt. 12 s.

Avainsanat emissions, odour annoyance, livestock farming, pig farms, poultry farms, agriculture, odour reduction, measurement, modelling, slurry storage

Tiivistelmä

Suomen maatalouden aiheuttamaa hajukuormaa, hajupäästöihin vaikuttavia tekijöitä sekä hajun aiheuttamaa viihtyisyyshaittaa tutkittiin esimerkkimaatilojen avulla. Emakko- ja yhdistelmäsikalan sekä kahden broilerikasvattamon eläinsuojien hajupäästöt mitattiin kesä- ja talviolosuhteissa ja hajupäästöjen leviäminen arvioitiin leviämismallinnuksen avulla. Ympäristön asukkaiden kokemaa viihtyisyyshaittaa tutkittiin asukas-kyselyillä. Hajun leviämisen ja viihtyisyyshaittatulosten perusteella määritettiin vähimmäisetäisyydet eläinsuojan ja asutuksen välille, mikä on kotieläintuotannossa eniten käytetty tapa estää viihtyisyyshaitta. Lisäksi selvitettiin eräiden yksinkertaisten ja edullisten hajunvähentämistekniikoiden tehokkuus.

Tehtyjen mittausten sekä soveltavien hajuhaitan hyväksyttävyyksirajojen perusteella oli mahdollista arvioida sikaloiden ja broileritilojen vähimmäisetäisyys eläinpaikan mukaan. Broileri- ja emakkokasvatuksen suhteen tulokset poikkesivat merkittävästi ympäristöministeriön laatimasta suosituksesta vähimmäisetäisyyksiksi. Esimerkkituloista ison emakkosikalan hajuhaitta ulottui yli kilometrin etäisyydelle. Tilalla ei ollut toteutettu mainittavia päästöjä vähentäviä toimia. Keskikokoisen sikalan hajuhaitta ulottui noin 300 metrin etäisyydelle. Asukaskyselytulokset eivät osoittaneet, että broileritilojen ympäristössä esiintyisi merkittävää hajuhaittaa.

Päästömittaukset osoittivat avoimien lietesäiliöiden suuren merkityksen kokonaishajupäästöistä. Kattamalla lietesäiliö voidaan täten merkittävästi vähentää tilan hajuhaittaa. Lietesäiliön kevyt kate, esimerkiksi EPS-rouhe tai luonnollinen kuorettuma, vähentää tehokkaasti säiliöstä haihtuvaa hajua. Myös lietteeseen lisätty turve vähentää hajua. Merkittävä vaikutus edellyttää noin 40 % lisäyksen. Ilmapoistojen korottamisen ja yhdistämisen positiivista vaikutusta ei voitu selkeästi osoittaa. Ilmanvaihdon ja hajupäästön välillä ilmeni selvä korrelaatio, joten ilmanvaihdon optimoinnilla on mahdollista vähentää tarvittavaa ilmamäärää ja samalla haisevan poistoilman virtaa.

Tutkimuksessa tuotettua aineistoa ja kehitettyjä leviämismallinnusmenetelmiä voidaan hyödyntää myöhemmin hajukuorman arvioinneissa esim. ympäristöluvituksen yhteydessä, kun suunnitellaan uusia kotieläinyksiköitä tai kun vertaillaan erilaisten hajua vähentävien toimenpiteiden tehokkuutta ympäristön hajukuorman pienentämisessä. Menetelmillä voidaan arvioida myös nykyisten kotieläinyksiköiden hajukuormaa maankäytön suunnittelussa tai esimerkiksi kaavoitettaessa uusia kotieläinyksiköitä.

Arnold, Mona, Kuusisto, Sari, Wellman, Kajolinna, Tuula, Kari, Räsänen, Jaakko, Sipilä, Jorma, Puumala, Maarit, Sorvala, Sanna, Pietarila, Harri & Puputti, Katja. Hajuhaitan vähentäminen maatalouden suurissa eläintuotantoyksiköissä. Espoo 2006. VTT Tiedotteita – Research Notes 2323. 74 p. + app. 12 p.

Keywords emissions, odour annoyance, livestock farming, pig farms, poultry farms, agriculture, odour reduction, measurement, modelling, slurry storage

Abstract

This study aimed to answer to the demand for scientifically justified guidelines to assess and reduce odour annoyance. The study includes determination of the odour load from different livestock farming units and investigations in feasible odour reducing technologies. Ultimately the project aims to the elaboration of lines for placement of large production units.

To determine the dose response relationship for odour annoyance of pig and poultry, odour measurement was made at two pig farms of different size and two broiler production units. The investigations included olfactometric emission measurements in three seasons, dispersion calculation and population surveys in the surroundings.

Emission factor data for pig and broiler production was established for future odour impact assessments.

The project also focused on identifying simple and robust measures to diminish the odour load from agricultural sources. The study showed the contribution of slurry storage on the total odour load and specified the benefits of covering manure tanks. Decent reduction in the odour load is achievable by simple floating covers. Further odour reduction measures are peat amendment in the manure and the optimisation of the ventilation rate in the sheds.

Alkusanat

Hajuhaitan vähentäminen maatalouden suurissa eläintuotantoyksiköissä (HAJURAKO) -tutkimus tehtiin vuosina 2003–2004 ja siinä tuotettiin uutta suomalaista tietoa eläinsuojien hajuhaitasta sekä sen vähentämisestä. Hankkeen tärkeimpinä tavoitteina oli selvittää ja edesauttaa isojen eläinsuojien ympäristölupamenettelyä.

Hanketta rahoittivat maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö, Vapo Oy ja Suomen Broileryhdistys ry sekä hankkeeseen osallistuneet tutkimuslaitokset. Ohjausryhmään kuuluivat

Markku Järvenpää	maa- ja metsätalousministeriö
Kjell Brännäs	maa- ja metsätalousministeriö
Heikki Latostenmaa	ympäristöministeriö
Anneli Karjalainen	ympäristöministeriö
Olli Reinikainen	Vapo Oy
Varpu Kujanpää	Länsi-Suomen ympäristökeskus
Juha Kylämäki	Suomen Broileryhdistys ry
Markku Raevuori	Lihateollisuuden tutkimuskeskus.

Tutkimus toteutettiin yhteistyönä VTT Prosessien, MTT Maatalousteknologian tutkimuksen ja Ilmatieteen laitoksen välillä. Projektipäällikkönä toimi VTT Prosessien Mona Arnold. Tutkimusryhmässä olivat mukana myös Sari Kuusisto, Kari Wellman, Tuula Kajolinna, Jaakko Räsänen ja Jorma Sipilä VTT Prosesseista, Maarit Puumala ja Sanna Sorvala MTT Maatalousteknologian tutkimuksesta sekä Harri Pietarila ja Katja Puputti Ilmatieteen laitoksesta. Tutkimuksessa VTT Prosessit vastasi hajupäästömittauksista ja hajuhaitan arvioinnista, Ilmatieteen laitos hajunpäästön leviämismallilaskelmista ja MTT eläinsuojien olosuhdemittauksista.

Haluan kiittää tutkimuksen esimerkkitulojen omistajia hyvästä yhteistyöstä sekä aktiivista ohjausryhmää, jonka kommentit ja ehdotukset olivat arvokkaita tulosten kattavuuden ja hyödyntämisen kannalta.

Mona Arnold, VTT Prosessit

”Stercus cuique bene olat”

Michel de Montaigne *Essais III* (1533–1592)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
Terminologia.....	9
1. Johdanto.....	11
2. Hajun ohjeistuksen mahdollisuudet.....	13
3. Tutkimuksen suoritus.....	14
3.1 Esimerkkitalat.....	15
3.1.1 Esimerkkitala 1: 850 emakon sikala.....	15
3.1.2 Esimerkkitala 2: Yhdistelmäsikala (50 emakkoa ja 900 lihasikaa).....	17
3.1.3 Esimerkkitala 3: 60 000 linnun broileritila.....	18
3.1.4 Esimerkkitala 4: 60 000 linnun broileritila.....	19
4. Tutkimusmenetelmät.....	21
4.1 Hajupäästön määrittäminen.....	21
4.2 Olosuhdemittaukset.....	22
4.3 Hajun esiintyminen ympäristössä – mallintaminen.....	23
4.4 Viihtyisyyshaitta.....	25
5. Tulokset.....	26
5.1 Hajupäästömittaukset.....	26
5.1.1 Esimerkkisikalat.....	26
5.1.2 Esimerkkibroileritilat.....	29
5.2 Eläinkohtaiset päästöt.....	31
5.3 Olosuhdemittaukset.....	33
5.3.1 Hajun esiintyminen ympäristössä – mallilaskelmien tulokset.....	39
5.3.2 Hajupäästöjen leviäminen sikaloista.....	39
5.3.3 Hajupäästöjen leviäminen broileritiloista.....	40
5.4 Ympäristön hajuhaitta.....	40
5.4.1 Esimerkkitala 1: 850 emakon sikala.....	41
5.4.2 Esimerkkitala 2: Yhdistelmäsikala.....	43
5.4.3 Esimerkkitala 3: Broileritila (turvepohja).....	44
5.4.4 Esimerkkitala 4: Broileritila (kutteripohja).....	46
5.4.5 Tulosten tarkastelu.....	47

6. Hajukuorman ja hajuhaitan välinen yhteys.....	49
7. Vähimmäisetäisyyden arviointi	51
7.1 Vertailu ympäristöministeriön ehdotukseen vähimmäisetäisyydestä.....	54
8. Hajupäästöön vaikuttavat tekijät.....	56
8.1 Sikalarakennukset.....	56
8.1.1 Ilmanvaihdon vaikutus hajupäästöön.....	56
8.1.2 Sisätilan olosuhteiden yhteys hajuun	57
8.2 Broilerikasvattamot	58
8.2.1 Ilmanvaihdon vaikutus hajuun	58
8.2.2 Sisätilan olosuhteiden yhteys hajuun	60
9. Hajua vähentävät toimet	61
9.1 Lietelannan hajupäästön vähentäminen.....	61
9.2 Turpeen hajua vähentävä vaikutus	61
9.3 Vähennystekniikoiden vaikutus ympäristössä – poistojen korottaminen ja niputtaminen.....	64
10. Johtopäätökset.....	67
11. Jatkosuositukset	70
Lähdeluettelo	71

Liitteet

1. Suomen ympäristöministeriön ehdotus kotieläinsuojien ympäristölupamenettelyjen selkeyttämiseksi
2. 31 000 linnun osaston ilmanvaihdon ohjaus
3. Esimerkkitalan 1 (emakkosikala) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. 50 % ihmisistä aistii hajua (hajukynnys 1 hy/m³)
4. Esimerkkitalan 1 (emakkosikala) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. Melko voimakas tunnistettavissa oleva hajua (hajukynnys 5 hy/m³)
5. Esimerkkitalan 2 (yhdistelmäsiikala) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. 50 % ihmisistä aistii hajua (hajukynnys 1 hy/m³)

6. Esimerkkitalan 2 (yhdistelmäsikala) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. Melko voimakas tunnistettavissa oleva haju (hajukynnys 5 hy/m³)
7. Esimerkkitalan 3 (broileritila, turvepohja) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. 50 % ihmisistä aistii hajua (hajukynnys 1 hy/m³)
8. Esimerkkitalan 3 (broileritila, turvepohja) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. Melko voimakas tunnistettavissa oleva haju (hajukynnys 5 hy/m³)
9. Esimerkkitalan 4 (broileritila, kutteripohja) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. 50 % ihmisistä aistii hajua (hajukynnys 1 hy/m³)
10. Esimerkkitalan 4 (broileritilan, kutteripohja) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. Melko voimakas tunnistettavissa oleva haju (hajukynnys 5 hy/m³)
11. Mittausdatan perusteella muokattu sikaloiden vähimmäisetäisyys ehdotus häiriintyvistä kohteista
12. Mittausdatan perusteella muokattu broileritilojen vähimmäisetäisyys ehdotus häiriintyvistä kohteista

Terminologia

<i>Hajupitoisuus</i>	Hajun voimakkuuden mitta. Ilmaisee, montako kertaa ilmaa tai kaasua täytyy laimentaa, jotta se olisi hajutonta. Ilmaistaan hajuyksikkönä kuutiometriä kohti (hy/m^3) tai englanniksi odour unit/ m^3 (ou/m^3). Hajupitoisuus määritetään aistinvaraisesti olfaktometrisellä menetelmällä laboratoriossa.
<i>Hajukuorma</i>	Hajun esiintymistiheys, joka lasketaan prosentteina kokonaisajasta tai ilmaistaan hajuyksikkönä kuutiometriä kohti (ou/m^3 , ou = odour unit) tiettyinä prosenttiosuutena. Esimerkiksi $1 \text{ ou}/\text{m}^3$ 98 prosenttiosuutena (C_{98}) tarkoittaa havaittavan hajun esiintymistä korkeintaan 2 % kokonaisajasta. $5 \text{ ou}/\text{m}^3 > C_{99}$ taas tarkoittaa selvän hajun esiintymistä korkeintaan 1 % kokonaisajasta.
<i>Hajuhaitta</i>	Hajun aiheuttama viihtyisyyshaitta ympäristössä. Ilmaistaan usein asukasosuutena (%), joka kokee hajun selvästi häiritsevänsä.

1. Johdanto

Maataloustuotannon rakenne muuttui 1990-luvulla monessa maassa. Suomessa, kuten muualla Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa, eläintuotanto keskittyy yhä suurempiin yksikköihin. Ympäristöministeriön arvion mukaan kotieläintuotantoyksikköjen keski-
koko kaksinkertaistuu vuoteen 2010 mennessä. Intensiivisessä kotieläintuotannossa toiminnan ympäristövaikutukset korostuvat. Erityisen konkreettinen ja ajankohtainen ympäristöhaitta on haju. Suuria tuotantorakennuksia ja asuintaloja rakennetaan lähelle toisiaan, ja tämän ilmiön sekä maaseudun väestöpohjan muuttumisen seurauksena hajuhaitan merkitys korostuu entisestään.

Kotieläinrakennusten ympäristöluvista syntyy yhä enemmän valituksiin johtavia erimielisyyksiä. Tuotantoyksiköiden hajuhaittojen hallinnasta ei toisaalta vielä ole yhtenäistä käytäntöä. Sekä viranomaiset että maataloustuottajat tarvitsevat päätöksenteon pohjaksi objektiivista tutkimustietoa hajuun vaikuttavista tekijöistä.

Suomessa, kuten monessa muussa Euroopan maassa, ympäristössä esiintyvään hajuun voidaan puuttua lainsäädännön perusteella, jos voidaan todeta, että haju koetaan selvästi häiritseväksi tai että siitä aiheutuu terveydellistä haittaa. Tarkempi ohjeistus selvän viihtyisyshaitan ehkäisemiseksi puuttuu. Viihtyisyshaitta on lukuisista hyvin monitahoisista tekijöistä koostuva suure, ja mahdollisuudet vaikuttaa haitan ehkäisemiseen vaihtelevat. Ohjeistuksen tavoite on selvä: asukkaiden viihtyisyshaitan vähentäminen tai ehkäiseminen. Tuotannonharjoittajan kannalta on kyse myös tuotantotoiminnan laajentamisedellytysten selvittämisestä mahdollisimman hyvissä ajoin.

Vähimmäisetäisyyden määrittäminen eläinsuojan ja asutuksen välille on kotieläintuotannossa eniten käytetty tapa estää viihtyisyshaitta. Vähimmäisetäisyysperiaatetta käytetään mm. useassa Euroopan maassa, Australiassa ja eräissä Yhdysvaltojen osavaltioissa. Myös Suomen ympäristöministeriö laati keväällä 2001 ehdotuksen eläinsuojien suojaetäisyyksistä. Ehdotuksessa esitetään kotieläinsuojan suositeltava etäisyys häiriintyviin kohteisiin eläinyksikömäärän ja olosuhteiden funktiona. Käyrästä on tehty kokemukseräisen tiedon perusteella siitä, miten pitkälle eläinyksiköstä peräisin oleva haju leviää. (Ks. liite 1.)

Suomessa ei kuitenkaan ole tähän asti merkittävästi tutkittu maatalouden aiheuttamia hajupäästöjä tai niiden vaikutusta ympäristöön. Hajuhaittoja vähentävät menetelmät tulevat jatkossa entistä ajankohtaisemmiksi. Hajukuorman arvioimiseksi tarvitaan tietoa toimenpiteiden hajua vähentävästä vaikutuksesta.

Vuonna 2002 valmistui selvitys muissa maissa sovellettavista käytännöistä hajuhaittojen estämiseksi sekä eläinsuojien hajuhaittoihin ja niiden vähentämiseen liittyvistä tut-

kimustiedoista (Arnold 2002). Selvityksessä arvioidaan mm. merkittävän hajuhaitan ja hajukuorman kriteereitä. Hajun vähentämiskeinoja ja niiden kustannuksia käsitellään myös 2004 valmistuneessa selvityksessä kotieläintalouden ympäristökuormituksen vähentämisestä (Puumala & Grönroos 2004). Tehdyt selvitykset nojautuvat pääasiassa olemassa olevaan kirjallisuuteen ja tutkimusaineistoon.

Suomen sääolosuhteet ja maaseututuotannon rakenne, ruokinta ym. poikkeavat kuitenkin merkittävästi Keski-Euroopan tilanteesta, joten muissa maissa tehtyjä tutkimuksia ei tulisi suoraan soveltaa Suomessa.

Tässä esiteltävässä hankkeessa haettiin vastausta edellä esiteltyihin kysymyksiin. Hankkeen tavoitteena oli tuottaa objektiivista ja oikeaa tietoa eläintuotannon hajukuormasta ja sen vähentämisestä. Julkaisussa esitetään tuloksia suomalaisissa olosuhteissa tehdyistä päästömittauksista ja hajupäästöjen vaikutuksesta tilojen ympäristöön.

Hajuhaitan ja hajupäästön välistä yhteyttä hyväksikäyttäen luodaan perusteet hajuhaitan ohjeistukselle. Tavoitteena on ollut, että kootut tulokset antaisivat viranomaisille tutkituun tietoon perustuvia työkaluja ympäristölupaprosessiin ja riitatapauksien selvittämiseen. Samalla tieto tukisi myös maataloustuottajia hajukuorman vähentämisessä ja ympäristölupien hakemisessa.

2. Hajun ohjeistuksen mahdollisuudet

Suomen nykyisen lainsäädännön mukaan on ensisijaisesti ehkäistävä hajupäästön haittavaikutusta. Laki kieltää hajun esiintymisen ainoastaan silloin, jos hajut aiheuttavat viihtyisyys- tai terveydellistä haittaa. Ohjeistuksen edellytyksenä on kokonaisvaltainen kuva hajun esiintymistiheyden ja haittavaikutuksen välisestä suhteesta. Asukkaiden kokemana hajuhaitta muodostuu kuitenkin monimutkaisesta syy-seurausyhteydestä, johon vaikuttavat sekä fysikaaliset että henkilökohtaiset tekijät.

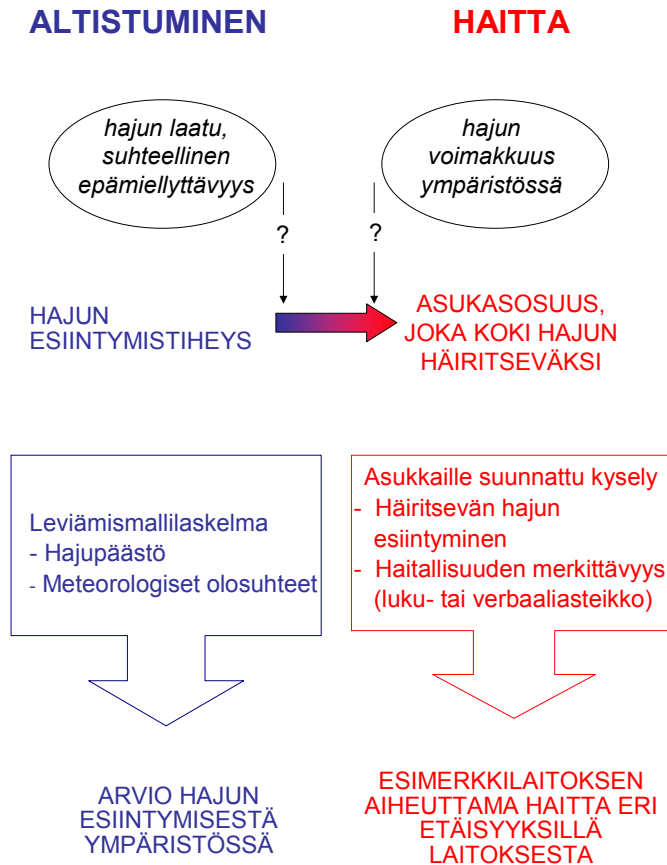
Hajun mittaukseen liittyvä tekninen kehitys tuo uusia mahdollisuuksia ohjeistaa ja seurata eri lähteiden hajupäästöjä ja hajukuormaa. Haasteena on hajuhaitan objektiivinen mittaaminen ja merkittävän viihtyisyyshaitan määrittäminen. Muualla tehdyissä epidemiologisissa tutkimuksissa, joissa mm. on verrattu hajun ja melun haittavaikutuksia, on kuitenkin saatu indikaatiota viihtyisyyshaitan rajoista: Viihtyisyyshaitan taustatasona (ns. no-effect-taso) pidetään 10 %:n asukasosuutta, joka kokee hajun häiritseväksi. Hajuhaittatutkimuksissa on todettu tietyn ”perushajuhaittatason” olemassaolo, eli tietty osuus (noin 10 %) väestöstä kokee hajuhaittaa alueilla, joissa ei ole hajuyhdisteitä päästävää teollisuutta (van Broeck ym. 2001, Hangartner 1988, Köster ym. 1986). Merkittävän viihtyisyyshaitan rajana taas pidetään 25–50 %:n asukasosuutta (Arnold 1995).

Kotieläintuotannon hajun haittavaikutuksesta on tehty noin viisi laajempaa eurooppalaista tutkimusta 1980- ja 1990-luvuilla. Näiden tutkimusten mukaan hajun 3–5 %:n esiintymistiheys aiheuttaa ympäristön asukkaiden keskuudessa selvää viihtyisyyshaittaa. Vastaavasti turvallisena hajukuorman rajana pidetään ulkoilmassa havaittavaa tai tunnistettavaa 2 %:n esiintymistiheyttä. Edellä mainituissa tutkimuksissa hajun mallinnustulokset ilmoitetaan yleensä tunnin keskiarvona. (Arnold 2002.)

Muissa maissa tehtyjen hajun haittavaikutuksia koskevien tutkimusten tulokset antavat hyvää indikaatiota hajun ja haitan syy-seuraussuhteesta. Suomen asukastiheys, maatalouden luonne ja ilmasto eroavat kuitenkin Keski-Euroopan tilanteesta. Tässä hankkeessa haettiin esimerkkilaitoksessa tehtyjen mittausten perusteella suomalaista tietoa hajupäästön ja haitan suuruudesta.

3. Tutkimuksen suoritus

Hankkeessa määritettiin esimerkkitapausten avulla sika- ja broilerituotannon hajupäästö eli se, miten pitkälle hajut leviävät ympäristössä ja miten häiritseväksi tilojen ympäristön asukkaat kokevat tilalta lähtöisin olevan hajun (kuva 1). Mittaustuloksista arvioitiin esimerkkituloille perustellut vähimmäisetäisyydet ja niiden yleistettävyys vastaaviin tiloihin.



Kuva 1. Hajukuorman ja hajuhaitan välisen suhteen selvittäminen.

Päästötietojen perusteella määritettiin myös hajupäästön riippuvuus eläinsuojan eläinmäärään "hajupäästö/eläinpaikka", minkä perusteella jatkossa olisi mahdollista arvioida erikokoisten eläintuotantoyksiköiden hajuvaikutus ilman mittavia hajumittauksia.

Hankkeessa selvitettiin myös valittujen vähäpäästöisten kotieläinsuojien hajuhaitta verrattuna perinteiseen tuotantotekniikkaan. Tarkastelun kohteeksi otettiin seuraavat seikat:

- Ilmanvaihdon vaikutus hajupäästöihin
Ilmanvaihdon vaikutus arvioitiin eri osastoissa eri aikoina tehtyjen poistoilma- ja hajupäästömittausten perusteella.
- Lietesäiliön kelluvat ja kevyet katteet
Lietesäiliön kevyiden katteiden vaikutus hajupäästöön määritettiin hajupäästömitauksilla katetun ja kattamattoman lietteen pinnalta. Tutkimuksen kohteena olivat EPS-rouhe sekä luonnollinen kuorettuma.
- Turpeen lisääminen sikalalietteeseen hajupäästön vähentämiseksi
Turpeen vaikutus haju- ja ammoniakkipäästöön selvitettiin erillisillä laboratorioissa tehdyillä kokeilla. Selvityksessä seurattiin lietteen pH:ta sekä ilman haju- ja ammoniakkipitoisuutta lietteen pinnalta kuuden viikon ajan. Kokeet tehtiin vaalealla ja tummalla turpeella.
- Tilan ilmanvaihdon poistohormien yhdistäminen ja korottaminen
Lisäksi ilmanvaihdon poistojen yhdistämisen ja korottamisen vaikutus ympäristössä esiintyvään hajuun mallitettiin esimerkkitalan 1 päästötiedoilla.

3.1 Esimerkkitalat

Esimerkkitalaukset olivat kaksi sikalaa ja kaksi broilerikasvattamoa. Kohdevalinnan kriteereinä oli, ettei tuotantolaitosten lähiympäristössä olisi vastaavia tuotantolaitoksia, mikä vaikeuttaisi esimerkkitalojen ympäristövaikutusten arviointia. Lisäksi kriteereinä olivat mm. tuotantotekniikan nykyinen ja tuleva yleisyys sekä tuotantotavan kannattavuus.

3.1.1 Esimerkkitala 1: 850 emakon sikala

850 emakkopaikan sikalassa on 26 osastoa (joutilas-, ensikko-, tiineytys-, karju-, porsitus- ja vieroitusosastot). Sikala on osittain kaksikerroksinen. Osastojen ilmanvaihdon poistoja on 38, joista 12 oli seinässä ja 26 katolla. Tilalla rakennuksen lähellä on kolme avointa lietelantasäiliötä (\varnothing 18 m, \varnothing 23 m, \varnothing 28 m). (Kuva 2.)

Joutilaspihaton pinta-ala on $1\,649\text{ m}^2$, ja siinä on 28 karsinaa kolmessa rivissä. Karsinoiden välissä olevan käytävän lattia on kiinteä. Kasvatusjärjestelmä on osaritilä siten, että karsinoiden päissä on betoniritilä lietekuilun päällä. Koko osaston ritilälattian pinta-ala on 532 m^2 eli 32 % osaston lattia-alasta.

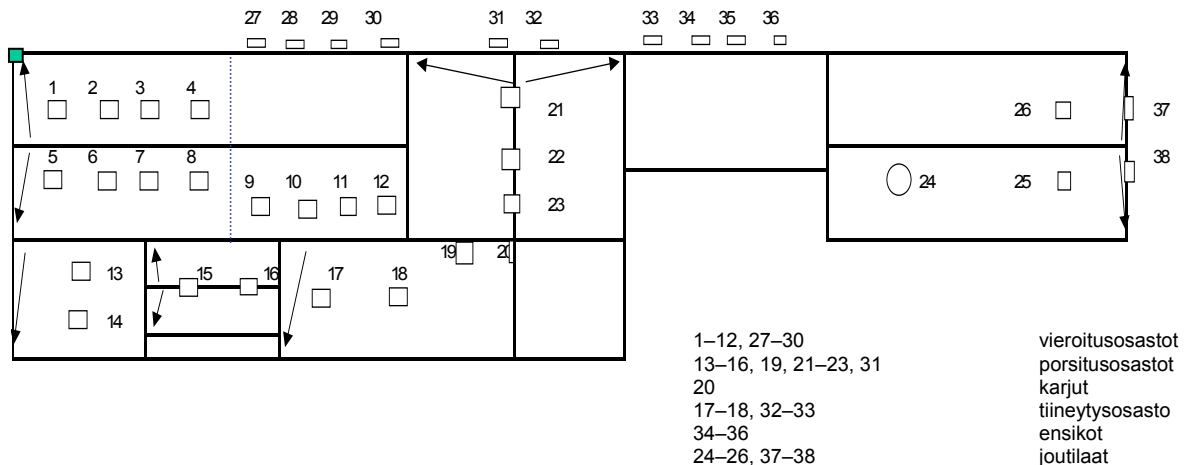
Ensikoille on kolme osastoa, joista kunkin pinta-ala on 146 m². Jokaisessa ensikko-osastossa on 16 karsinaa. Karsinoissa on täysritilälattiat. Karsinoiden yhteispinta-ala on 136 m² eli koko lattian pinta-alasta 93 %.

Sikalassa on kolme tiineytysosastoa. Osastoissa on täysritilälattiat. Kahdessa tiineytysosastossa, joista molemmat ovat pinta-alaltaan 146 m², on kahdessa rivissä yhteensä 36 tiineytyshäkkiä. Kolmannen tiineytysosaston pinta-ala on 511 m², ja siinä on 200 emakopaikkaa.

Karjuosastossa on kymmenen karsinaa, ja osaston kokonaispinta-ala on 92 m². Osaston lattia on täysritilä.

Porsitusosastoja on sikalan yläkerrassa kolme ja alakerrassa neljä. Alakerrassa olevien porsitusosastojen pinta-alat ovat 154 m² (porsituspaikkoja 33), 203 m² (porsituspaikkoja 40), 68 m² (porsituspaikkoja 14) ja 120 m² (porsituspaikkoja 24). Yläkerran kahdessa porsitusosastossa on 36 porsituspaikkaa ja yhdessä 16 porsituspaikkaa. Kaikissa porsitusosastoissa on täysritilä ja yhden porsituskarsinan pinta-ala on 4,5 m².

Vieroitusosastoja sikalassa on yhteensä 12, ja niissä kaikissa on osaritulä. Neljän vieroitusosaston lattian pinta-ala on 163 m², josta ritilä-alaa on 64 m² eli 39 % lattia-alasta. Neljän seuraavan vieroitusosaston lattian pinta-ala on 51 m², josta ritilä-alaa on 24 m² eli 47,4 % lattia-alasta. Neljän viimeisen vieroitusosaston pinta-ala on 88 m², josta ritilä-alaa on 40 m² eli 45,5 % lattia-alasta.



Kuva 2. Esimerkkitala 1:n rakennuksen päästokohteet.

3.1.2 Esimerkkitala 2: Yhdistelmäsikala (50 emakkoa ja 900 lihasikaa)

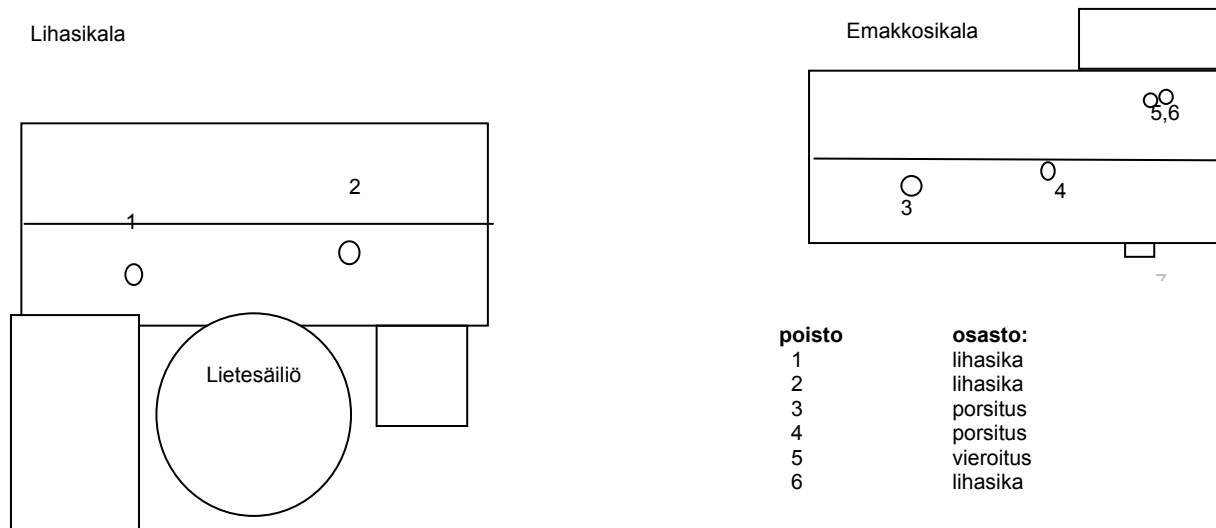
Lietelantaperiaatteella toimiva yhdistelmäsikala on kahdessa rakennuksessa (kuva 3). Osastojen ilmanvaihdon poistoja on 6, ja ne sijaitsevat kaikki katolla. Rakennuksen kyljessä oleva lietesäiliö (\varnothing 17 m) oli peitetty EPS-rouheella.

Yksikkö koostuu kahdesta rakennuksesta, joista toinen on kokonaan lihasikala ja toinen yhdistetty liha- ja emakkosikala. Lihasikaosastoissa olevat siat ovat 30–110 kg painoisia. Lihasikalan käytössä oleva lattiapinta-ala on 484 m². Kiinteän lattian pinta-ala on 398 m². Osastossa on 35 karsinaa kahdessa rivissä. Järjestelmä on osaritulä, jossa karsinoiden päissä on muoviritilät lietekuilun päällä. Ritulälattian pinta-ala on 93 m² ja osuus koko lattian pinta-alasta on 19 %. Karsinoiden välissä oleva käytävä on kokonaan kiinteä.

Lihasikojä on myös emakkosikalarakennuksen alakerrassa sijaitsevilla kasvatusosastossa ja lastaushuoneessa. Kasvatusosaston pinta-ala on 123 m² ja järjestelmänä on täysritilä. Kahdessa rivissä olevien karsinoiden välissä on käytävä, jossa täysritilä on katettu irtonaisilla levyillä. Käytävän pinta-ala on 10 m². Karsinoissa on täysbetoniritilä, jonka yhteispinta-ala on 113 m², ja sen osuus koko lattian pinta-alasta on vastaavasti 92 %. Lastaushuoneen pinta-ala on 42 m² ja siinä on neljä karsinaa. Lastaushuoneessa on betoninen täysritilä.

Vieroitusosasto sijaitsee emakkosikalarakennuksen alakerrassa. Sen pinta-ala on 227 m². Osastolla on betonista kiinteää lattiaa 16 m². Karsinoiden väliset käytävät (yht. 40 m²) on rakennettu filmivanerilevystä. Kiinteää lattiaa on yhteensä 56 m² ja sen osuus koko lattian pinta-alasta on vastaavasti 25 %. Karsinoiden lattiana on lietekuilun päällä oleva metallinen täysritilä. Ritulän pinta-ala on 171 m² ja osuus koko lattiapinta-alasta 75 %.

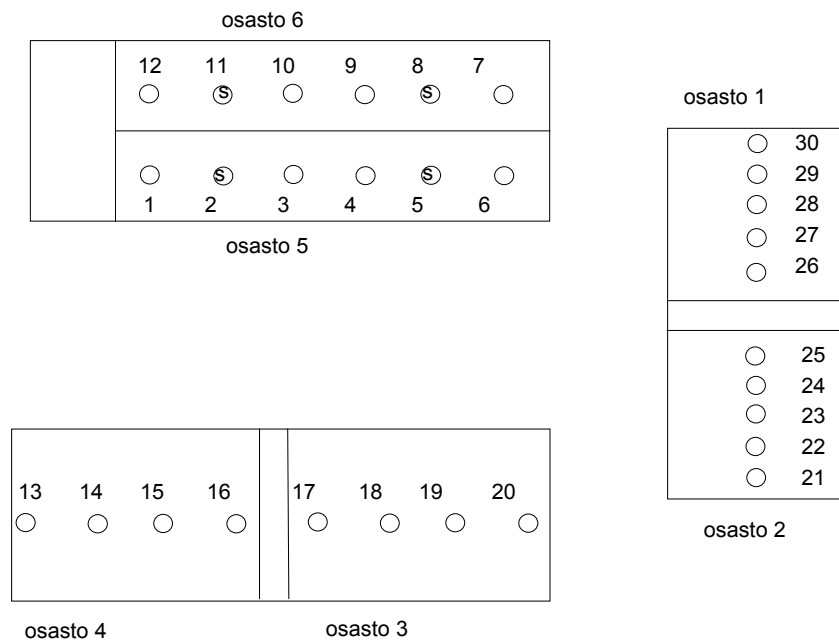
Porsitusosasto sijaitsee emakkosikalan yläkerrassa. Porsitusosaston pinta-ala on 350 m². Osastossa on 50 porsituskarsinaa, joista jokaisen pinta-ala on 4,5 m². Porsituspaikkojen yhteispinta-ala on 225 m² ja osuus koko osaston lattia-alasta on 64 %. Porsituskarsinoissa on pääosin täysritilä. 13 karsinassa 1 m² suuruinen alue on kiinteää lämpölevyä (3,7 % koko osaston lattia-alasta).



Kuva 3. Esimerkkitala 2 ja sen päästökohteet.

3.1.3 Esimerkkitala 3: 60 000 linnun broileritila

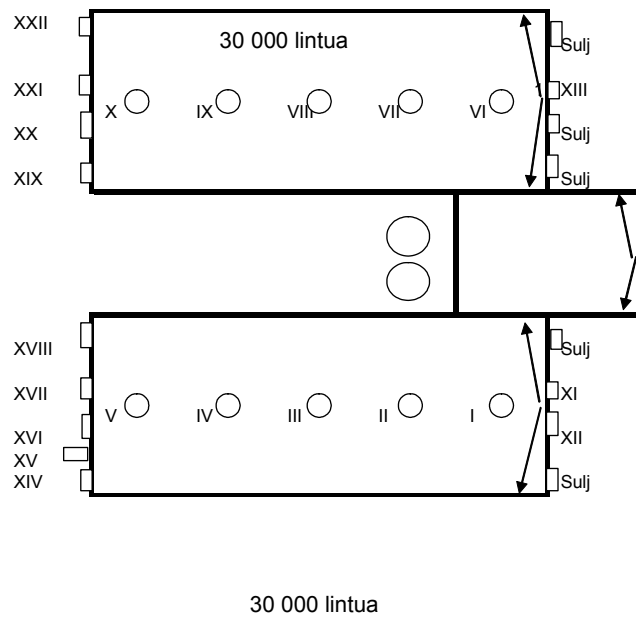
Esimerkkitalalla on kolme erillistä kasvatushallia, joissa on yhteensä 60 000 lintupaikkaa. Jokaisessa hallissa on kaksi kasvatusosastoa. Hallien yhteispinta-ala on 3 120 m². Osastojen 1 ja 2 pinta-ala on 408 m², ja kumpaankin mahtuu 7 500 lintua. Osastot 3 ja 4 on myös suunniteltu 7 500 linnulle, ja niiden molempien pinta-ala on 372 m². Osastot 5 ja 6 on mitoitettu 15 000 linnulle, ja niiden pinta-alat ovat 780 m². Kaikissa osastoissa käytetään kuivikkeena turvetta. Kasvatuserää kohti turvetta käytetään 130–140 m³/3 120 m², joten kasvatuksen alkaessa turvekerroksen paksuus on 4,2–4,5 cm. Kasvatusjakson lopussa turvepehkoa ajetaan osastoista ulos 200–240 m³. Laskennallisesti turvepehkon paksuus on tällöin 6,4–7,6 cm. Ilmanvaihdon poistot sijaitsevat katolla (viisi/osasto). Rakennuksen päädyissä on lisäksi lisäimurit tuuletustehon lisäämiseksi kesällä. (Kuva 4.)



Kuva 4. Esimerkkitila 3. Broileritila ja tilan päästökohteet.

3.1.4 Esimerkkitila 4: 60 000 linnun broileritila

Linnut kasvatetaan kahdessa osastossa, jotka sijaitsevat kumpikin omassa rakennuksessaan. Molempien osastojen pinta-ala on $1\,550\text{ m}^2$. Kuivikkeena broilereilla käytetään kutterilastua, jota käytetään kasvatuserää kohden noin $49\text{ m}^3/3\,100\text{ m}^2$. Tällöin kasvatusjakson alkaessa kutterilastukerroksen paksuus on 1,6 cm. Kasvatusjakson lopussa kutterilastualustaa poistetaan osastoista yhteensä noin 130 m^3 , joten kuivikepohjan laskennallinen paksuus on noin 4,2 cm. Katoilla on viisi poistoa/osasto ja kummassakin päädyissä on neljä poistoa. Rakennuksen päädyissä olevia imureita käytetään lähinnä kasvatuserän loppuvaiheessa tehostamaan ilmanvaihtoa. (Kuva 5.)



Kuva 5. Esimerkkilaitos 4. Broileritila ja tilan päästökohteet.

4. Tutkimusmenetelmät

4.1 Hajupäästön määrittäminen

Mittaus- ja näytteenottoperiaatteet

Kotieläinyksikön hajupäästö saadaan kertomalla poistokaasun hajupitoisuus kaasun tilavuusvirralla. Molemmat määritetään yleensä kertaluonteisina mittauksina. Hajunäytteet otettiin näytteenottopusseihin ns. evakuointitekniikkaa käyttäen tuotantorakennusten ilmanvaihdon poistoista sekä lietesäiliöiden pinnasta. Pintanäytteenotto lietesäiliöiden päältä tehtiin VTT Prosessien kehittämällä pintanäytteenottolaitteistolla (kuva 6). Kaasunäytteet analysoitiin seuraavana päivänä laboratoriossa 24 tunnin sisällä näytteenotosta. Mittaukset ajoitettiin sekä talvi- että kesäaikaan, jotta saatiin kattavaa tietoa hajun leviämisestä. Broileritiloilla määritettiin päästöt lisäksi lintuerän kasvatuksen alku- ja loppuvaiheessa.

Pintalähteiden hajupäästö (hajuyksikköä/tunti) näytteenottimesta laskettiin kertomalla kohteen hajupitoisuus näytteenottolaitteiston puhaltimen tuottaman hajuttoman huuhteluilman tilavuusvirralla. Ominaishajupäästö (hajuyksikköä/pinta-ala-m² tunnissa) saatiin jakamalla hajupäästö näytteenottimen pinta-alalla.



Kuva 6. Hajunäytteenotto lietteen pinnalta.

Hajupitoisuus

Kotieläinsuojan haiseva ilma sisältää yleensä hyvin monia eri epäpuhtauksia, joiden pitoisuudet ovat erittäin pieniä ja vaikeita mitata, eikä eri yhdisteiden vaikutus koko-

naishajuun ole tiedossa. Hajupitoisuuden mittana käytetään tällöin hajuyksikköä kuutiometriä kohti (engl. ou/m^3 , odour unit/ m^3), joka kertoo suoraan, montako kertaa haiseva ilma on laimennettava, jotta se tulisi hajuttomaksi. Kaasun hajupitoisuus määritetään laboratoriossa olfaktometrillä, ja määrittämisessä on mukana useasta koehenkilöstä koostuva hajupaneeli.

Näytteiden hajukynnykset määritettiin olfaktometrillä standardin SFS EN 13725 periaatteiden mukaisesti (SFS 2003). Hajupitoisuudet määritettiin Olfactomat OLF-N1-e-olfaktometrillä. Neljän koehenkilön arvioinnin perusteella olfaktometri laskee näytteen hajupitoisuuden muodossa hajuyksikköä/ m^3 (hy/m^3).

Tilavuusvirta

Päästökohteiden poistoilman tilavuusvirta ja lämpötila määritettiin kuumalankaanemometrillä (TSI). Mittaukset olivat pääasiassa kertaluonteisia. Poistoilman tilavuusvaihtelun selvittämiseksi seurattiin esimerkkilaitoksella 2 lihasikalaosaston poistoilmanvirtausta vuorokauden ajan.

4.2 Olosuhdemittaukset

Eläintilojen lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mitattiin Tinytag Ultra -tiedonkeruulaitteilla. Jokaisella mittauskerralla mitattiin lämpötilaa ja suhteellista kosteutta jokaisesta osastosta myös Vaisala HM 41 -lämpötila- ja kosteusmittarilla samoista kohdista, joihin rekisteröivät laitteet oli kiinnitetty.

Tiedonkeruulaitteet sijoitettiin tuotantotiloihin siten, että ne mittasivat kosteutta ja lämpötilaa hieman broilerin tai sian pääntason yläpuolella. Lisäksi ne sijoitettiin eri puolille sikala- ja broileriosastoja. Sikalassa 1 tiedonkeruulaitteita sijoitettiin kesällä joutilaspihattoon ja vieroitusosastoon kuhunkin neljä kappaletta. Syksyllä ja talvella mittarit sijoitettiin joutilasosastoon, tiineytysosastoon, karjuosastoon, porsitusosastoon ja kahteen vieroitusosastoon kuhunkin kolme laitetta. Sikalassa 2 tiedonkeruulaitteita sijoitettiin jokaisella mittauskerralla lihasikalaan kuusi kappaletta, kasvatusosastoon, porsitusosastoon ja vieroitusosastoon kuhunkin neljä kappaletta sekä lastaushuoneeseen kaksi kappaletta. Broilerikasvattamossa 1 tiedonkeruulaitteet sijoitettiin kesällä osastoihin 4 ja 6 kumpaankin kuusi mittaria; syksyllä ja talvella keruulaitteita sijoitettiin jokaiseen halliin mutta vain toiseen osastoon kuhunkin kuusi mittaria. Broileritilalla 2 tiedonkeruulaitteet, kahdeksan kappaletta, sijoitettiin kasvatushallin toiseen osastoon.

Ammoniakkipitoisuutta mitattiin Drägerin diffuusioputkilla (Dräger ammonia 20/a-D). Ammoniakkia mitattiin samoista broileri- ja sikaosastoista kuin lämpötilaa ja suhteellista kosteutta.

Eläintilojen sisäilman nopeuksia mitattiin Envic DM 100 -kuumalanka-ilmanopeusmittarilla. Sisäilman nopeudet mitattiin samoista broileriosastoista ja sikalaosastoista kuin lämpötila ja suhteellinen kosteus. Ilmanopeudet mitattiin eri puolilta osastoa, korkeuksilta 0,5 m, 1 m ja 2 m lattiapinnasta mitattuna. Ilmanopeudet mitattiin sikalaosastoista 3–4 pisteestä ja broileritiloista 9 pisteestä. Jokaisesta pisteestä katsottiin ilmanopeudeksi suurin mittarin osoittama nopeus (m/s).

Tuotantotilojen siisteys arvioitiin sikalan 1 joutilasosastosta ja sikalan 2 lihasikalasta. Lattian likaisuus (kiinteällä lattialla olevan lannan määrä) tarkastettiin jokaisesta karsinasta ja piirrettiin osaston pohjapiirustukseen. Piirustuksista arvioitiin likaisen lattian pinta-alaa suhteessa koko karsina-alaan.

Jokaisesta sikalaosastosta laskettiin mittausajankohdan eläinmäärä. Broileriosastoista kirjattiin kasvatuserän alkuperäinen lintumäärä ja mittauskertaan mennessä kuolleiden lintujen määrä, joiden erotuksesta saatiin mittausajankohdan lintumäärä.

4.3 Hajun esiintyminen ympäristössä – mallintaminen

Mallilaskelmissa tarkasteltiin hajujen leviämistä kahden esimerkkisikalan ja kahden broileritilan ympäristössä, jossa määritettiin hajutilanteiden esiintyminen eli ns. hajutuntien määrä vuoden aikana. Arvio tehtiin Ilmatieteen laitoksessa kehitetyllä hajuyhdisteiden leviämismallilla (ODO-FMI) (Rantakrans & Savunen 1995). Mallilaskelmien tuloksena saatiin aluejakauma hajun esiintyvyydestä. Tulokset ilmoitettiin hajufrekvensseinä eli niiden tuntien prosentuaalisena osuutena vuoden tunneista, joina 0,5 minuutin pitoisuus on ylittänyt tarkastellun hajukynnyksen. Esimerkiksi 10 %:n hajufrekvenssi tarkoittaisi sitä, että vuodessa on 876 tuntia, joiden aikana hajuja esiintyy vähintään 0,5 minuutin ajan. Tällä hajufrekvenssiarvolla kuvataan siis lyhytaikaisen (30 s) hajun esiintymistä. Lisäksi hajun esiintymistiheys määritettiin vastaavasti pitoisuuksien tunti-keskiarvoista, jolloin tulos kuvaa pitkäaikaisen (1 h) hajun esiintymistä.

Mallilaskelmissa käytettiin kolmen vuoden tunneittaisten arvojen meteorologista aikasarjaa. Meteorologisina tietoina käytettiin tutkimusaluetta lähimpinä sijaitsevien kolmen sääaseman etäisyyspainotettua yhdistelmäaineistoa, joka edusti kunkin tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita ja oli muodostettu vuosien 2000–2002 havainnoista.

Hajun esiintymistiheys laskettiin erikseen kullekin tarkasteluvuodelle ja tuloksina esitettiin näistä määritetty keskiarvo.

Mallilaskelmien avulla tarkasteltiin myös hajunvähennystekniikoiden vaikutusta hajun esiintymiseen esimerkkisikalan 1 (850 emakon tila) osalta. Leviämislaskelmat tehtiin

kolmella erilaisella hajukynnyksen arvolla (1, 3 ja 5 hy/m³), joilla pyrittiin kuvaamaan hajun voimakkuutta. Perushajukynnys 1 hy/m³ tarkoittaa hajua, jonka puolet ihmisistä aistii laboratorio-olosuhteissa. Hajukynnyksillä 3 ja 5 hy/m³ kuvataan voimakkaampaa, selkeästi tunnistettavissa olevaa hajua. Laskelmissa tarkasteltiin sekä lyhytaikaisien (30 s) että pitkäaikaisien (1 h) hajutilanteiden esiintymistä.

Mallin tuloksista valittiin tarkastelun kohteeksi selvän hajun (5 hy/m³) 30 s:n keskiarvo. Nicellin mukaan arvoa 5 hy/m³ voidaan pitää selkeänä hajuna, jota useimmat ihmiset pitävät häiritsevänä (Nicell 1994, ref. Arnold 2002). Hajun häiritsevyyttä koskevissa tutkimuksissa on todettu, ettei lievän hajun lyhytaikaista esiintymistä välttämättä pidetä häiritsevänä. Mallituksen tuloksista on myös tarkasteltu arvoja 1 hy/m³ C_{98, 1 tunti}, joka eräissä maissa on sikalahajun esiintymien suositusarvo (van Langehove & de Bruyn 2001).

Leviämislaskelmat tehtiin esimerkkitulojen merkittävimpien hajulähteiden aiheuttamille hajupäästöille. Sikaloista vapautuu hajupäästöjä suoraan ulkoilmaan lietealtaista sekä rakennusten katoilla ja seinillä olevista poistoista. Mallilaskelmissa lietesäiliötä käsiteltiin pintalähteinä ja poistoja pistelähteinä.

Esimerkkisikaloiden pistemäisten päästölähteiden (rakennusten ilmapoistot) päästöt on mallinnettu mittaustulosten mukaan niin, että niiden päästön on oletettu olevan vakio 3–4 kuukautta kerrallaan (talvi, kevät/syky ja kesä). Pintalähteiden (lietesäiliöiden) päästöjen mallinnuksessa on huomioitu lietesäiliöiden hajupäästöjen riippuvuus ulkoilman lämpötilasta (Hügler & Andree 2001, ref. Puumala ja Grönroos 2004). Yhdistelmäskalalan päästöjen mallinnuksessa käytettiin samoja laskentaperusteita kuin emakkosikalan päästöjä mallinnettaessa.

Esimerkkibroileritulojen kaikki päästölähteet ovat pistelähteitä. Broileritilalla 1 (60 000 lintupaikkaa, turvepohja) on 30 pistelähdettä ja broileritilalla 2 (60 000 lintupaikkaa, kutteripohja) 22 pistelähdettä. Broileritulojen päästöt mallinnettiin käyttäen apuna ilmastoinnin ohjauksikäyrää, joka saatiin tilan omistajalta ja sovitettiin saatuihin mittaustuloksiin (liite 2). Mallilaskelmissa oletettiin, että broileritulojen päästöt ovat vakiot aina vuorokauden kerrallaan ja että päästö on riippuvainen kasvatusjakson päivästä. Kasvatusjakson pituus on 36 vrk, ja kasvatusjaksojen välillä broileritila on tyhjillään 14 vrk, jolloin oletettiin, ettei hajupäästöjä synny.

Hajunvähennystekniikoiden vaikutusta hajujen leviämiseen tarkasteltiin mallilaskelmien avulla esimerkkitulojen 1 tapauksessa, jossa leviämislaskelmat tehtiin kolmessa eri tilanteessa: lietesäiliöiden kattaminen, poistojen yhdistäminen ja korotus sekä kummatkin hajunvähennystekniikat käytössä. Lietesäiliöiden kattaminen mallinnettiin olettaen, että lietesäiliöiden hajupäästö pienenesi 88 %. Poistojen yhdistäminen ja korottaminen mallinnettiin yhdistämällä 38 poistoa 7 poistoksi katolle ja korottamalla poistoja noin 1 m.

4.4 Viihtyisyyshaitta

Viihtyisyyshaittaselvitys toteutettiin asukaskyselynä. Esimerkkitulojen ympäristön asukkaille lähetettiin VTT:n laatima kyselykirje, jossa pyydettiin arvioimaan kotiympäristössä esiintyvää ympäristöhaittaa ja erikseen hajun esiintymistä, laatua, mahdollista lähdettä ja häiritsevyysastetta.

Kirjeen ensimmäiset kohdat käsittelivät yleisesti alueen ympäristöhaittoja ja hajun esiintymistä. Seuraavissa kohdissa pyydettiin erittelemään mahdollisen hajun lähdettä ja hajun esiintymisen ajankohtaa yleensä. Viimeisessä kohdassa tiedusteltiin taustatiedoiksi vastaajan ammattikuntaa ja historiaa paikkakunnalla

Hajun häiritsevyysasteikko oli laadittu saksalaisen insinöörijärjestön VDI:n sekä Sveitsissä käytetyn asukaskyselyn mukaisesti (VDI 1997, Schmidlin 2001). Haitta arvioidaan sekä lineaarisella asteikolla 0–10 (0 = ei haittaa, 10 = sietämätön haitta) että sanallisella seitsenjakoisella asteikolla ”ei häiritse” – ”äärimmäisen häiritsevä” (VDI 1997). Lineaarisen ja numeerisen asteikon etu sanalliseen asteikkoon nähden on tulosten parempi käsiteltävyys ja vertailukelpoisuus muihin tutkimuksiin.

Asukkaiden nimet ja osoitteet saatiin kyseisen kunnan viranomaisilta. Tavoitteena oli lähettää kirjeet mahdollisimman kattavasti kaikille tutkimusalueiden asukkaille, myös kesäasukkaille. Tutkimusalueet ulottuvat noin 3 kilometriä esimerkkituloista. Jokaisessa kohteessa ensimmäistä postitusta täydennettiin vielä pari kuukautta myöhemmin muistutuskirjeellä niille, jotka eivät olleet vastanneet ensimmäiseen kyselykirjeeseen.

Vastauksia käsiteltiin tilastollisesti ja niiden perusteella määritettiin hajun häiritsevyysaste sekä esiintymistiheys eri etäisyyksillä tutkittavasta tilasta. Lisäksi määritettiin alueen yleinen ympäristö- ja hajuhaittilanne sekä erikseen yleisimmin esiintyvien hajujen haitta-aste. Tuloksiin ei sisällytetty muista erittäin poikkeavia vastauksia, esim. sellaisia, joissa yksittäisen tilan hajukuormaksi oli ilmoitettu yli puolet kokonaisajasta.

Hajun annosvasteen määrittämisessä käytettiin tässä tutkimuksessa Suckerin ym. (2001) mukaan hajuhaitan etäisyysvyöhykkeiden keskiarvoja. Hajun ja hajuhaitan kokemiseen vaikuttavat lukuisat seikat, mm. hajuaistin herkkyys, henkilökohtaiset hajumieltymykset ja asenteet hajun aiheuttajaan, joten suuret vaihtelut ovat tyypillisiä hajun kenttätutkimuksille. Henkilötasolla määriteltynä korrelaatio ympäristöhajun pitoisuuden tai esiintymistiheyden ja ihmisen haitta-asteen välillä on melko heikko, vaikka korrelaatio voikin olla tilastollisesti merkittävä. Alueellisina keskiarvoina (esim. 0,2–0,5 km hajulähteestä) hajun esiintymistiheys korreloi sen sijaan yleensä hyvin väestön kokeman hajuhaitan kanssa.

5. Tulokset

5.1 Hajupäästömittaukset

5.1.1 Esimerkkisikalat

Kuvissa 7–8 esitetään esimerkkisikaloiden kokonaishajupäästöt. 850 emakkopaikan tilan hajupäästö on kymmenkertainen keskikokoiseen yhdistelmäsikalaan (900 lihasikaa ja 50 emakkoa) verrattuna. Emakkosikalan osastojen poistoilman hajupitoisuus vaihteli normaalisti välillä 900 ja 1 700 hy/m^3 , yhdistelmäsikalan osastojen taas välillä 1 500 ja 7 000 hy/m^3 .

Suurimmat hajupitoisuudet (ja hajupäästöt) mitattiin sellaisista osastoista, joissa poistoilma ohjattiin lietekuilun kautta ulos. Näissä osastoissa poistoilman hajupitoisuus oli 10 000–12 000 hy/m^3 . Suurempi hajupitoisuus johtunee siitä, että lietekuilussa olevasta lietteestä haihtuu tehokkaasti hajuyhdisteitä lietepinnan yläpuolella liikkuvaan poistoilmavirtaan.

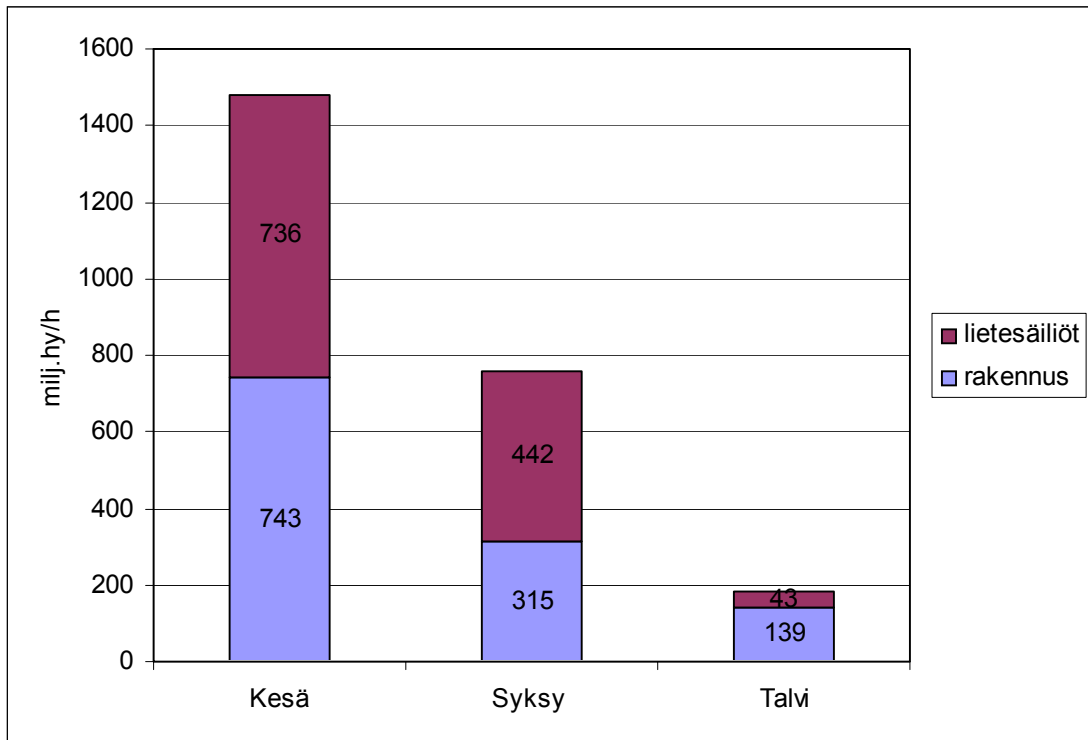
Päästömittaukset osoittivat myös lietesäiliöiden suuren merkityksen kokonaishajupäästöissä. Yhdistelmäsikalassa katettu lietesäiliö aiheutti vain 1–17 % tilan kokonaishajupäästöistä. Emakkotilalla taas 24–58 % kokonaishajupäästöistä oli peräisin avoimista lietesäiliöistä (taulukko 1).

Päästön vuorokausivaihtelun selventämiseksi poistoilmavirtauksen vaihtelua seurattiin toukokuussa 2004. Mittauksen mukaan kyseisen poistokohteen puhallin toimi maksimiteholla sekä päivällä että yöllä. Virtauksen vaihtelua ei silloin voitu osoittaa (kuva 9).

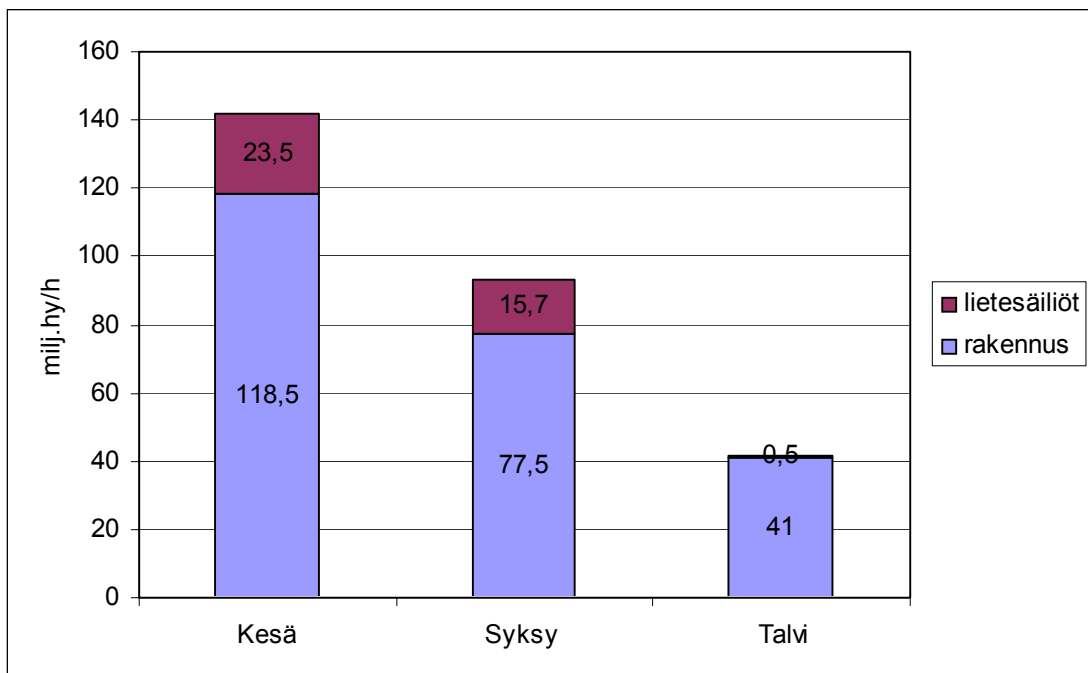
Taulukko 1. Esimerkkisikaloissa tehtyjen mittausten yhteenveto.

Esimerkkitila 1	rakennukset milj. hy/m ³	lietesäiliöt milj. hy/m ³	osastojen hajupi- toisuus hy/m ³	ilmanvaihto/eläin m ³ /h
24.6. ja 7.7.2003	743	736		
emakot			1 480–2 920	289
vieroitetut			1 640–4 420	40
joutilaat			1 250–1 390	111
ensikot*			12 000	231
karjut			2 617	356
24.9.2003	315	442*		
emakot			1 130–2 680	274
vieroitetut			1 340–1 850	25
joutilaat			1 560–1 840	83
ensikot*			4 212	155
karjut			2 680	237
3.3.2004	139	43		
emakot			750–1 110	167
vieroitetut			550–1 080	11
joutilaat			850–1 840	59
ensikot*			1 510	30
karjut			850	81
11.8.2004				
Esimerkkitila 2				
4.6.2003	118,5	77,5		
emakot			5 070	583
vieroitetut			3 570	3
lihasiat			1 050–6 840	100
8.9.2003	77,5	15,7*		
emakot			2 010	371
vieroitetut			1 870	30
lihasiat			420–2 320	85
5.2.2004	41	0,5		
emakot			3 800	75
vieroitetut			3 620	5
lihasiat			1 560–2 580	20

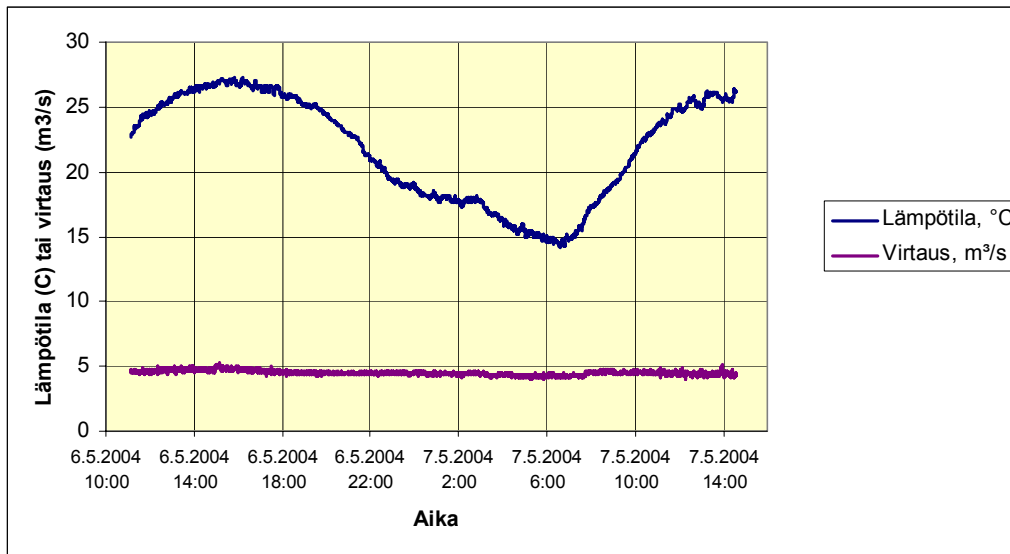
* Arvioitiin lämpötilan sekä kesän ja talven mittausten perusteella.



Kuva 7. Esimerkkitalan 1 (850 emakkopaikkaa) kokonaishajupäästöt (180–1 450·10⁶ hy/h).



Kuva 8. Esimerkkitalan 2 (50 emakkopaikkaa ja 900 lihasikaa) kokonaishajupäästö (40–140·10⁶ hy/h).



Kuva 9. Lihaskalan poistoilmavirtaus ja ilman lämpötila vuorokauden ajan.

5.1.2 Esimerkkibroileritilat

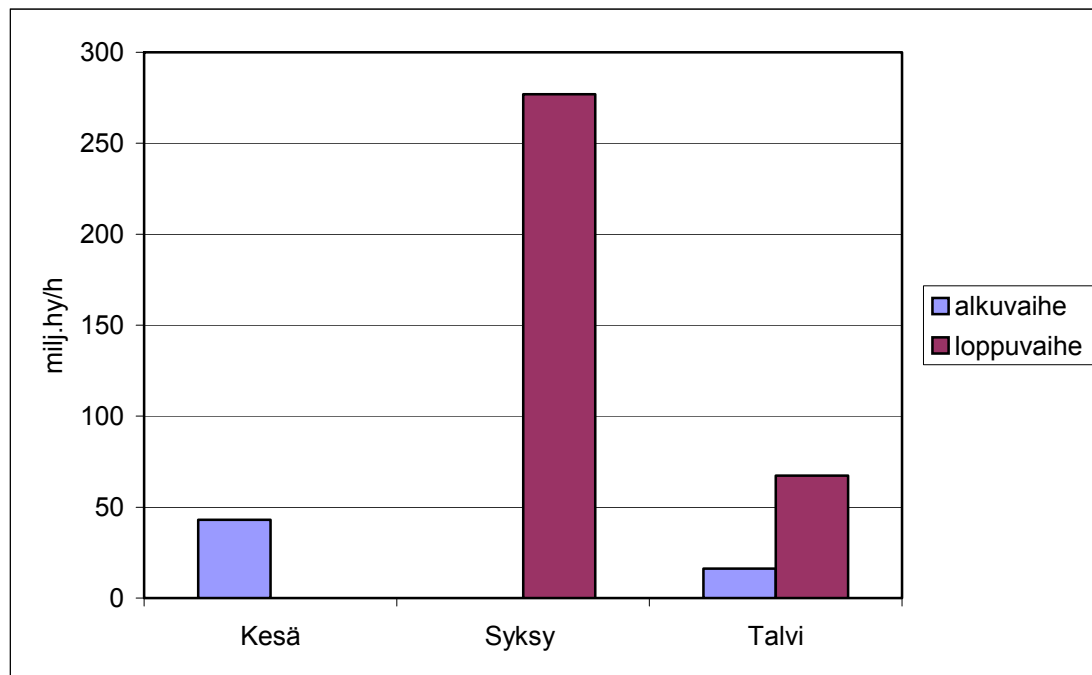
Broileritiloilla tehtyjen päästömittausten tulokset esitetään kuvissa 10 ja 11. Päästömittaukset osoittivat suurta vaihtelua kasvatuserän alku- ja loppuvaiheen välillä. Ilman hajupitoisuus oli korkeampi kasvatuserän alussa talvella, kun ilmanvaihto oli pienimmillään tai minimissä. Kasvatusvaiheen loppuvaiheessa ilmastointia tehostetaan (liite 2), jolloin osaston ilman hajupitoisuuskin pienenee. Suuri ilmanvaihto (poistoilman tilavuusvirta) kuitenkin johtaa tällöin kasvavaan hajupäästöön (taulukko 2).

Broileritiloilla ilmanvaihtotarve vaihtelee välillä 0,6 ja 6,0 m³ elopainokiloa kohden tunnissa (Mikkola ym. 2002). Esimerkkitiloilla ilmanvaihto vaihteli alkuvaiheessa välillä 0,06 ja 6 m³/h kg (lintujen keskipaino 50 g) ja kasvatuksen loppuvaiheessa 0,8–6 m³/h kg (lintujen keskipaino 1,3 kg) eli yleisesti sovellettujen arvojen mukaan.

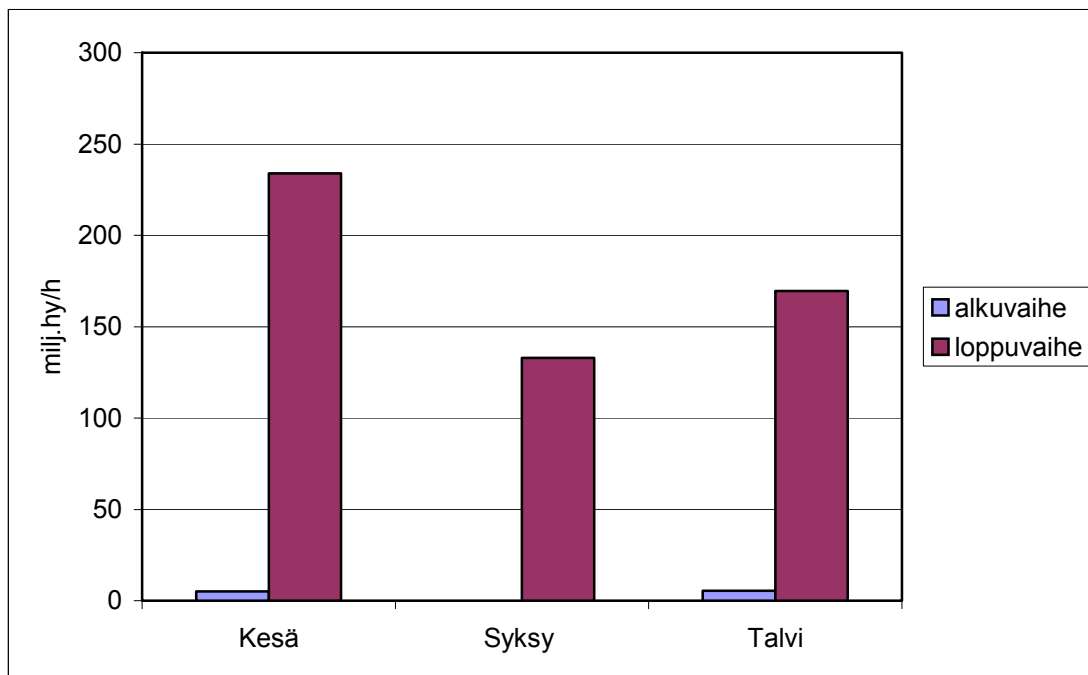
Samantasoisia hajumittaustuloksia on saatu mm. hollantilaisissa ja irlantilaisissa tutkimuksissa. Robertsonin ym. (2002) tutkimuksessa osastojen hajupitoisuudet olivat 600–800 hy/m³ kasvatuserän alussa ja 1 300–2 300 hy/m³ kasvatuserän lopussa. Molin ja Oginkin (2002) mukaan broileritilojen poistoilman keskimääräinen hajupitoisuus oli noin 450 hy/m³. Sandsin ja Jiang (1998) taas raportoivat hieman pienempiä mutta verrattavissa olevia pitoisuusarvoja, 200–1 300 hy/m³.

Taulukko 2. Broileritiloilla tehtyjen päästömittausten tulokset.

Esimerkkitila 3		kokonaishajupäästö (milj. hy/m ³)	osastojen hajupitoisuus (hy/m ³)	ilmanvaihto/eläin (m ³ /h)
	kasvatusvaihe			
11.6.2003	LOPPU	234,3	650–1 930	4,06
30.6.2003	ALKU	5,1	1 830–3 390	0,03
22.9.2003	LOPPU	132,7	490–590	4,00
14.1.2004	LOPPU	169,5	1 050–2 260	1,81
9.2.2004	ALKU	5,4	950–1 550	0,08
Esimerkkitila 4				
20.6.2003	ALKU	43,5	2 800–7 500	0,13
16.9.2003	LOPPU	277,1	450–580	9,46
3.2.2004	ALKU	16,1	2 750–6 500	0,07
4.3.2004	LOPPU	67,4	500–1 100	1,11



Kuva 10. Esimerkkitilan 3 viiden päästömittauskampanjan tulokset (60 000 lintua, turvepohja).



Kuva 11. Esimerkkitalan 4 neljän päästömittauskampanjan tulokset (60 000 lintua, kutteripohja).

Edellä esitetyt mittaustulokset kuvaavat kasvatuksen jatkuvaa hajukuormaa. Yksittäisiä hajupäästöjä aiheuttavia toimia (esim. pehkun vaihto) ei ole mahdollista määrittää.

Kaikki esimerkkilaitosten mittaukset osoittavat selvän eron kesällä ja syksyllä tehtyjen tulosten välillä. Korkeampi ulkolämpötila johtaa tehostetun ilmanvaihdon kautta suurempiin päästöihin. Samanlaisia tuloksia on esitetty myös muualla. Ulkomaiset vastaavat tutkimustulokset ovat osoittaneet, että tulosten vaihtelu on tämän tyyppisille mittauksille tyypillistä. Esim. Hendriksin ym. (2001) belgialaisessa tutkimuksessa sikalaosaston hajupäästö vaihteli välillä 5 000 hy/s (helmi-huhtikuu) ja 30 000–55 000 hy/s (kesä-elokuu).

5.2 Eläinkohtaiset päästöt

Päästömittausten perusteella arvioitiin myös keskimääräinen eläinkohtainen hajupäästö. Eläinkohtainen arvio saadaan jakamalla eläinosaston hajupäästö osaston eläinten lukumäärällä. Taulukossa 3 esitettävät tulokset perustuvat 55:een sikalassa tehtyyn mittaukseen ja 30:een broileritalalla tehtyyn mittaukseen. Eläinkohtaisia päästöjä on myös arvioitu 500 kg eläinmassaa kohti (ns. Livestock unit) sekä eläinpaikkaa kohti, jolloin saadut tulokset ovat helpommin verrattavissa esim. yhdysvaltalaisiin, saksalaisiin ja tanskalaisiin tutkimustuloksiin.

Taulukko 3. Eläinkohtaiset hajupäästöt ja vastaava keskimääräinen ilmanvaihto.

	Hajupäästö eläinpaik- kaa kohti, hy/s	hy/s eläin (mittaus- hetkellä)	hy/s 500 kg eläintä	Hajupäästö pinta-alaa kohti, hy/s m ²	keskim. il- manvaihto m ³ /h eläintä kohti
Emakko (porsai- neen)	81	282	504	18	293
Vieroitettu	8	9	237	55	19
Lihasika	33	35	223	34	92
Broileri	0,4	0,4		9,3	2,3

hy/s = hajuyksikköä sekunnissa.

Sikakohtaiset hajupäästöt ovat yleisesti korkeammat kuin kirjallisuudessa esitetyt, esim. Ogink ja Groot Koerkamp (2001) (emakko 18 hy/s ja lihasika 22 hy/s eläintä kohti), Hartung ym. 1998 (126 hy/s, 500 kg eläinpainoa) ja Hayes ym. (2004). Myös broilerikohtainen päästö on suurempi kuin Molin ja Oginkin raportoima 0,21 hy/s. Eräs syy tulosten eroavaisuuteen on todennäköisesti erilainen keskimääräinen ilmanvaihto. Esimerkiksi Hollannin päästöarvo lihasialle, 22 hy/s eläintä kohti, liittyy ilmanvaihtoarvoon 33 m³/h eläin (Hendriks ym. 2001). Tämän tutkimuksen vastaava arvo oli 92 m³/h eläin. Toisaalta saadut tulokset ovat yhdenmukaisia Brosen ym. (2002) tulosten kanssa. Lihasian keskimääräiseksi hajupäästökseen saatiin 45 hy/s eläin, kun keskimääräinen ilmanvaihto oli 84 m³/h eläintä kohti. Ilmanvaihdon ja hajupäästön välinen korrelaatio esitellään tarkemmin luvussa 8.

Eläinpaikkakohtaisesti emakkopaikan hajupäästö on noin 2,5-kertainen lihasikapaikkapäästöön verrattuna. Tulos on suhteellisesti samansuuntainen kuin esim. hollantilaiset, tanskalaiset ja saksalaiset mittaustulokset (Ogink & Groot Koerkamp 2001, Hartung ym. 1998, Lyngbye & Pedersen 2003), joissa emakon hajupäästö on arvioitu 1–3 kertaa suuremmaksi kuin lihasian.

Mittaushetkellä olevan eläinmäärän mukaan laskettuna emakon eläinkohtainen hajupäästö on kahdeksankertainen lihasian päästöön verrattuna. Tulos on huomattavasti suurempi kuin muualla raportoidut tulokset. Eräs syy suureen mittaustulokseen lienee se, että mittauksen kohteena olevat emakko-osastot eivät olleet täynnä mittauksen aikana. Osaston eläinmäärään perustuva laskelma eläinkohtaisesta päästöstä kasvaa täten suhteellisesti.

Taulukossa 4 verrataan esimerkkitulojen eläinpaikkakohtaista hajupäästöä lihasian päästöön. Vertailuksi taulukossa esitetään myös ympäristöministeriön suojaetäisyys ehdotuksen (liite 1) kertoimet eri eläimille.

Taulukko 4. Eläinyksikkökertoimia hajun suhteen.

Eläinyksikkökertoimia	Tehtyjen mittausten perusteella	YM:n ehdotuksen mukaiset
Emakko porsaineen	2,4	3,4
Vieroitettu porsas	0,24	0,4
Lihaska	1,0	1,0
Karju	4,8	1,0
Joutilas	0,8	1,0
Broileri	0,01	0,02

Karjun hajupäästön mittaustulos on noin nelinkertainen lihasikaan verrattuna. Tulokset perustuvat yhden osaston kolmeen mittaustulokseen. Verrattuna karjun massa (250–300 kg, lihasian massa n. 70 kg) ja karsinan tarvittavaan lattiapinta-alaan tulos näyttää järkevältä. Broilerin suhteellinen päästökerroin on puolet pienempi kuin ympäristöministeriön ehdotuksessa.

5.3 Olosuhdemittaukset

Sikaloissa tehtiin olosuhdemittauksia vuoden aikana kolme kertaa: kesällä, syksyllä ja talvella. Broilerikasvattamoissa tehtiin olosuhdemittauksia neljä kertaa vuoden aikana: kesällä, syksyllä, talvella ja keväällä. Broilerikasvattamoissa mittaukset ajoitettiin sekä kasvatusjaksojen alkuun että loppuun.

Mittaustulokset esitetään tuotantoyksiköittäin. Mittauskerroittain saaduista tuloksista on laskettu keskiarvot. Sikalan 1 sekä broilerikasvattamoiden samassa tuotantovaiheessa olevien osastojen tulokset on lisäksi yhdistetty.

Esimerkkitalan 1 (emakkosikala) olosuhdemittausten tulokset mittauskerroittain esitetään taulukossa 5. Lämpötilat olivat kesämittauksissa selkeästi suosituksia korkeampia. Porsitusosastolla myös syksyllä ja talvella mitatut lämpötilat olivat korkeampia kuin suositeltava lämpötila, mikä saattaa johtua siitä, että porsaille ei käytetä lämpölamppuja kuin lyhyen ajan heti syntymän jälkeen.

Suhteellinen kosteus oli kaikilla osastoilla huomattavasti maksimiarvoa alempana ja alitti kahdessa syksy- ja yhdessä talvimittauksessa suositeltavan alarajan. Sen sijaan

mitatut sisäilman ammoniakkipitoisuudet olivat kaikilla osastoilla yli suositeltavan pitoisuuden. Sisäilman nopeus ylitti ainoastaan joutilaspihatossa kesän mittauskerralla suositeltavan enimmäisnopeuden, jona pidetään 0,25 m/s mutta josta kesäaikana voidaan hyvinkin poiketa. Eläintiheys oli kaikilla osastoilla suosituksia pienempi.

Taulukko 5. Esimerkkitalan 1 sisäolosuhteet mittauskerroittain.

	Osaston pinta-ala	Osaston ritilä- pinta-ala	Ritilän osuus lattian pinta- alasta	Lantaisen lattian osuus	NH ₃	T	Suht. kosteus	Sisäilman nopeus	Eläin- määrä	Tiheys	Mittaus- ajankohta
	m ²	m ²	%	%	ppm	°C	%	m/s	kpl	eläintä/m ²	
				82,6	15	24	56	0,27	339	0,21	kesä
Joutilas-	1 649	532	32,3	75,6	48	18	54	0,21	237	0,14	syksy
pihatto				87	29	11	71	0,20	480	0,29	talvi
					21	23	53	0,16	266	0,33	kesä
Tiineytys	803	803	100		19	17	50	0,24	236	0,29	syksy
					32	14	68	0,19	230	0,29	talvi
Karjut	92	92	100		14	19	47	1,15	10	0,11	syksy
					33	16	67	0,15	9	0,10	talvi
Porsitus-	155	155	100		13	24	35	0,13	14	0,09	syksy
osasto	203	203	100		35	21	46		7	0,03	talvi

Taulukko 6. Sikalan 2 sisäolosuhteet mittauskerroittain.

	Osaston pinta-ala	Osaston ritilä-pinta-ala	Ritilän osuus	Lantaisen lattian osuus	NH ₃	T	Suhteellinen kosteus	Sisäilman nopeus	Eläin-määrä	Tiheys	Mittaus-ajan-kohta
	m ²	m ²	%	%	ppm	°C	%	m/s	kpl	eläintä/m ²	
				21,9	4	18	48	0,18	210	0,43	kesä
Lhasiat	484	93	19,2	6,6	1	19	60	0,15	105	0,22	syksy
				9,8	19	17	75	0,24	120	0,25	talvi
					18	20	57	0,24	137	1,11	kesä
Lhasiat	123	113	92		10	24	67	0,18	152	1,24	syksy
					23	21	80	0,21	182	1,48	talvi
					13	20	61	0,19	39	1,18	kesä
Lhasiat	42	42	100		10	22	64	0,28	36	1,09	syksy
					13	17	81	0,20	48	1,45	talvi
					41	22	48	0,22	573	2,52	kesä
Vieroitetut	227	17	75,4		34	24	56	0,16	437	1,93	syksy
					37	23	75	0,12	575	2,53	talvi
					22	21	51	0,17	19	0,05	kesä
Porsitus-	350	212	60,5		11	25	57	0,11	24	0,07	syksy
osasto					33	23	66	0,18	37	0,11	talvi

Sikalan 1 joutilasosastossa ammoniakkipitoisuus on suurimmillaan syksyllä, vaikka eläinmäärä ja lantaisen lattian osuus ovat kaikkein pienimmät. Tiineytysosastolla, karjuosastolla ja porsitusosastolla ammoniakkipitoisuudet ovat korkeimmillaan talvella, kun taas lämpötila laskee ja kosteus nousevat.

Sikalan 2 olosuhdemittausten tulokset mittauskerroittain esitetään taulukossa 6. Lihasikaosastoista mitatut keskimääräiset lämpötilat olivat kaikkina mittausajankohtina korkeampia kuin maa- ja metsätalousministeriön rakentamisohjeissa (MMM-RMO C2.2) annettu suosituslämpötila 16 °C. Vieroitusosaston kesälämpötila vastasi suositusta (20–22 °C), mutta syksyn ja talven lämpötilat olivat korkeampia. Porsitusosaston lämpötilat olivat huomattavasti korkeampia kuin suositeltava 16 °C. Sisäilman ammoniakkipitoisuus ylitti muissa paitsi erillisessä lihasikalassa jokaisella mittauskerralla pitoisuudelle annetun ohjearvon 10 ppm.

Sisäilman suhteellinen kosteus oli kaikissa osastoissa lähes kaikilla mittauskerroilla suositeltavan maksimin (80 %) alapuolella ja alitti vain kesämittauksissa suositellun 50 %:n alarajan. Sisäilman nopeus ei ylittänyt millään mittauskerralla suositeltavaa maksiminopeutta 0,25 m/s. Eläintiheydet olivat pääsääntöisesti pienempiä kuin ministeriön suosittamat. Kasvatusosastolla eläintiheys oli talvimittausaikana alle suosituksen, mutta kuitenkin tilaa lihasikaa kohti oli yli minimimitoituksen.

Lihasikalassa olevassa osastossa eläinmäärä ja likaisen lattian osuus kiinteästä lattiasta olivat kesällä suurempia kuin syksyllä. Syksyllä puolestaan sisätilan ammoniakkipitoisuus oli suurempi kuin kesällä. Talvella ammoniakkipitoisuus oli suurin vaikka, eläinmäärä ei ollut yhtä suuri kuin kesällä. Kaikissa lihasikaosastoissa vaihtelu oli samansuuntainen eri mittauskertojen välillä, mutta mitatut lämpötilat, suhteellinen kosteus ja ammoniakkipitoisuus olivat selkeästi eri tasoilla koko- ja osaritiäosastoissa. Myös sisäilman nopeudet vaihtelivat mittauskertojen välillä. Vieroitusosastolla ammoniakkipitoisuus ei paljoa muuttunut mittauskertojen välillä. Porsitusosastolla kosteus lisääntyi eläinmäärän kasvaessa.

Broilerikasvattamoiden olosuhdemittausten tulokset ovat taulukoissa 7 ja 8. Osastoista sekä alku- että loppukasvatuksen aikana mitatut lämpötilat ja sisäilman suhteellinen kosteus vastasivat hyvin tuotannolle annettuja suosituksia. Ammoniakkipitoisuus sen sijaan kohosi loppukasvatuksessa yli suositeltavan 25 ppm:n rajan turvekuivikekasvatamossa sekä kesällä että talvella ja kutteria käyttäneessä kasvattamossa syksyllä. Ilman nopeus nousi syksyn ja kevään mittauksissa huomattavasti yli suosituksen.

Broileritilalla 1 oli alkukasvatusvaiheessa pienemmät ammoniakkipitoisuudet kuin broileritilalla 2. Syksyllä ammoniakkipitoisuus oli pienempi loppukasvatusvaiheessa broile-

ritilalla 1 kuin broileritilalla 2, mutta lämpötiloissa ja suhteellisen kosteuden mittaustuloksissa ei ollut mainittavaa eroa.

Taulukko 7. Broileritilan 1 sisäolosuhteet tutkimuspäivittäin.

Tuotantovaihe	Osasto	Linnut yhteensä	Ikä	Alustan paksuus	NH ₃	Lämpötila	Suhteellinen kosteus	Sisäilman nopeus	Mittausajankohta
		kpl	d	cm*	ppm	°C	%	m/s	
Loppu	4	7 514	36	6,4–7,7	35	23	63	0,17	kesä
	6	15 171		6,4–7,7	37	24	59	0,23	
Loppu	2	7 220	36	6,4–7,7	8	25	50	0,24	syksy
	4	7 276		6,4–7,7	13	24	58	0,28	
	6	14 875		6,4–7,7	12	24	57	0,30	
Loppu	2	7 396	36	6,4–7,7	61	23	54	0,23	talvi
	4	7 250		6,4–7,7	43	19	50	0,27	
	6	14 766		6,4–7,7	62	21	51	0,25	
Alku	2	7 474	5	4,2–4,5	0	32	40	0,12	talvi

* Alkukasvatusvaiheessa laskettu alustan paksuus tuodun turpeen (130–140 m³/3 120m²) mukaan ja loppukasvatusvaiheessa pois ajetun turvepehkun (2 000 m³/3 120 m²) mukaan.

Taulukko 8. Broileritilan 2 sisäolosuhteet tutkimuspäivittäin.

Tuotantovaihe	Linnut yhteensä	Ikä	Alustan paksuus	NH ₃	Lämpötila	Suhteellinen kosteus	Sisäilman nopeus	Mittausajankohta
	kpl	d	cm*	ppm	°C	%	m/s	
Alku	61 156	3	1,6	2	32	60	0,20	kesä
Loppu	60 847	32	4,2	34	22	53	0,35	syksy
Alku	60 870	3	1,6	4	31	65	0,20	talvi

* Alkukasvatusvaiheessa laskettu alustan paksuus tuodun kutterilastun mukaan ja loppukasvatusvaiheessa pois ajetun kutteripehkun (130 m³/3 100 m²) mukaan.

Lihaskalan ilmanvaihtomäärä vaikuttaa sisätilan ammoniakkipitoisuuteen. Ammoniakkipitoisuudet ovat korkeammat ilmamäärän laskiessa. Kuitenkin lihasioilla sisäilman ammoniakkipitoisuus laskee pienentyneestä ilmanvaihtomäärästä huolimatta. Myös sisätilan lämpötila vaikuttaa ammoniakkipitoisuuteen. Kun sisätilan lämpötila laskee ulkolämpötilan laskiessa, sisätilan ammoniakkipitoisuus nousee (Ni ym. 1998). Broileritilalla 1 loppukasvatusvaiheen sisätilan ammoniakkipitoisuus nousi ilmanvaihtomäärän pienentyessä mutta broileritilalla 2 ammoniakkipitoisuus laskee, vaikka ilmanvaihtomäärä pieneni.

Koerkamp ym. (1998) mittasivat broilerihallien ja sikaloiden sisätilojen ammoniakkipitoisuuksia ja havaitsivat ammoniakkipitoisuuksien vaihtelevan sikaloissa 5–18 ppm ja broilerihalleissa 5–30 ppm. Zhu ym. (2000) (ref. Hoff ym. 2002) ovat todenneet, että suurin ammoniakkipitoisuus sisätilassa ja suurin emissiomäärä on tiineytisosastolla. Esimerkkitulojen mittauksissa korkeimmat sisätilan ammoniakkipitoisuudet olivat vie-roitettujen porsaiden osastolla, jossa tosin hajupitoisuudet ovat pienimmät.

Guingandin ja Granierin (2001) tutkimuksen mukaan lihasikalassa, jossa on kokoritiä, ammoniakkipitoisuudet ovat matalammat kuin sikalassa, jossa on osittain kiinteä lattia (50 %). Lattian ollessa lantainen ammoniakkaa vapautuu suuremmalta alueelta ja siksi ammoniakkipäästö kasvaa. Sisälämpötila vaikuttaa myös lattian likaisuuteen. Voermans ja Hendriks (ref. Ni ym. 1999) ovat todenneet, että kesällä siat likaavat enemmän lattiaa kuin talvella, koska ne haluavat viilentää itseään korkeammassa lämpötiloissa. Sisätilan lämpötila ja ilmanvaihtomäärä tulevat tärkeiksi, kun ammoniakkaa haihtuu suurelta pinta-alalta (Ni ym. 1999). Mittauksissa lihasikalassa 2 likaisen lattian osuus on suurempi kesällä kuin talvella mutta ammoniakkipitoisuus on pienempi. Joutilasosastossa lämpötila laskee talvella mutta ammoniakkipitoisuus on syksyllä suurempi kuin talvella.

Broilerihalleissa ammoniakkipitoisuudet ovat hyvin matalia kasvatuserän alussa, koska muutaman päivän ikäiset linnut tuottavat vähän ulostetta. Ammoniakkipitoisuudet nousevat kasvatusjakson lopussa, kuten myös Demmersin ym. (1999) tutkimuksessa on todettu. Turvekuivikekerros on paksumpi kuin kutterikuivikekerros broilerihalleissa. Alkukasvatusjakson ammoniakkipitoisuudet ovat pienempiä turvekuiviketta käytettäessä kuin kutteria käytettäessä. Myös syksyn loppukasvatuksessa ammoniakkipitoisuudet ovat turvepehkulla pienempiä kuin kutterilla.

5.3.1 Hajun esiintyminen ympäristössä – mallilaskelmien tulokset

Leviämislaskelmien tulokset esitetään hajujen esiintymisen aluejakaumina. Liitteissä 3–10 esitetään leviämismallilla määritetyt hajutilanteiden esiintymistä kuvaavat aluejakaumat kahdella erilaisella hajukynnysarvolla (1 ja 5 hy/m³) huomioiden sekä lyhyt- (30 s) että pitkäaikaiset (1 h) hajutilanteet tarkasteltujen tilojen ympäristössä. Kuvat esittävät niiden tuntien määrän prosentteina vuoden kokonaistuntimäärästä, jona hajukynnys voisi ylittyä eri kohdissa tutkimusaluetta kokonaishajua edustavilla hajupäästöillä.

5.3.2 Hajupäästöjen leviäminen sikaloista

Mallilaskelmien tulosten mukaan juuri aistittavissa olevaa lyhytaikaista (30 s) hajua (hajupitoisuus yli 1 hy/m³) esiintyy emakkosikalan ympäristössä nykytilanteessa yli 9 %

kokonaisajasta noin 1,5 km:n etäisyydelle ja pitkäaikaista (1 h) hajua noin 800 metrin etäisyydelle sikalasta (liite 3). Melko voimakkaan hajun (hajupitoisuus yli 5 hy/m³) esiintymisalueet ovat huomattavasti pienempiä kuin juuri aistittavissa olevan hajun. Tulosten mukaan melko voimakasta lyhytkestoista hajua esiintyy tilan ympäristössä yli 9 % ajasta noin 600 metrin etäisyydelle ja yli 3 % ajasta noin 1,2 km:n etäisyydelle emakkosikalasta. Vastaavia pitkäkestoisia hajutilanteita esiintyy tilan ympäristössä yli 9 % ajasta noin 300 metrin etäisyydelle ja yli 3 % ajasta noin 600 metrin etäisyydelle tilasta (liite 4).

Yhdistelmäsikalan ympäristössä juuri aistittavissa olevaa lyhytaikaista hajua esiintyy yli 9 % kokonaisajasta noin 400 m etäisyydelle tilasta ja pitkäaikaista hajua noin 100 metrin etäisyydelle tilasta (liite 5). Melko voimakasta lyhytkestoista hajua esiintyy sikalan ympäristössä yli 9 % kokonaisajasta alle 200 metrin etäisyydelle ja yli 3 % kokonaisajasta noin 300 metrin etäisyydelle sikalasta. Pitkäkestoista hajua esiintyy yli 1 % kokonaisajasta vain yhdistelmäsikalan tilan alueella ja sen välittömässä läheisyydessä (liite 6).

5.3.3 Hajupäästöjen leviäminen broileritiloista

Mallilaskelmien tulosten mukaan juuri aistittavissa olevaa lyhytaikaista hajua esiintyy broileritilan 1 (turvepohja) ympäristössä yli 9 % kokonaisajasta noin 400 metrin etäisyydelle ja pitkäaikaista hajua alle 200 metrin etäisyydelle tilasta (liite 7). Melko voimakkaan hajun esiintymisalueet ovat myös broileritilojen tapauksessa huomattavasti pienempiä kuin juuri aistittavissa olevan hajun. Broileritilan (turvepohja) ympäristössä melko voimakasta lyhytkestoista hajua esiintyy yli 3 % ajasta noin 300 metrin etäisyydelle tilasta. Vastaavia pitkäkestoisia hajutilanteita esiintyy tilan ympäristössä yli 1 % ajasta alle 200 metrin etäisyydelle (liite 8).

Broileritilan 2 (kutteripohja) ympäristössä juuri aistittavissa olevaa lyhytaikaista hajua esiintyy yli 9 % kokonaisajasta alle 300 m etäisyydelle tilasta ja pitkäaikaista hajua noin 100 metrin etäisyydelle tilasta (liite 9). Melko voimakasta lyhytkestoista hajua esiintyy broileritilan ympäristössä yli 3 % kokonaisajasta noin 250 metrin etäisyydelle ja pitkäkestoista hajua esiintyy yli 1 % kokonaisajasta vain broileritilan alueella ja sen välittömässä läheisyydessä (liite 10).

5.4 Ympäristön hajuhaitta

Kyselyjen vastausprosentti oli keskimäärin 60 %. Taulukossa 9 on yhteenvedo neljän kohteen asukaspalautteesta

Taulukko 9. Asukaskyselytutkimus laajuus ja palaute.

	Lähetettyjen kirjeiden lkm.	Vastaus-%	Tutkimusalueen laajuus, km
Esimerkkitala 1 (sikala)	103	69	3,5
Esimerkkitala 2 (sikala)	237	50	3
Esimerkkitala 3 (broileri)	50	62	1
Esimerkkitala 4 (broileri)	72	61	1

5.4.1 Esimerkkitala 1: 850 emakon sikala

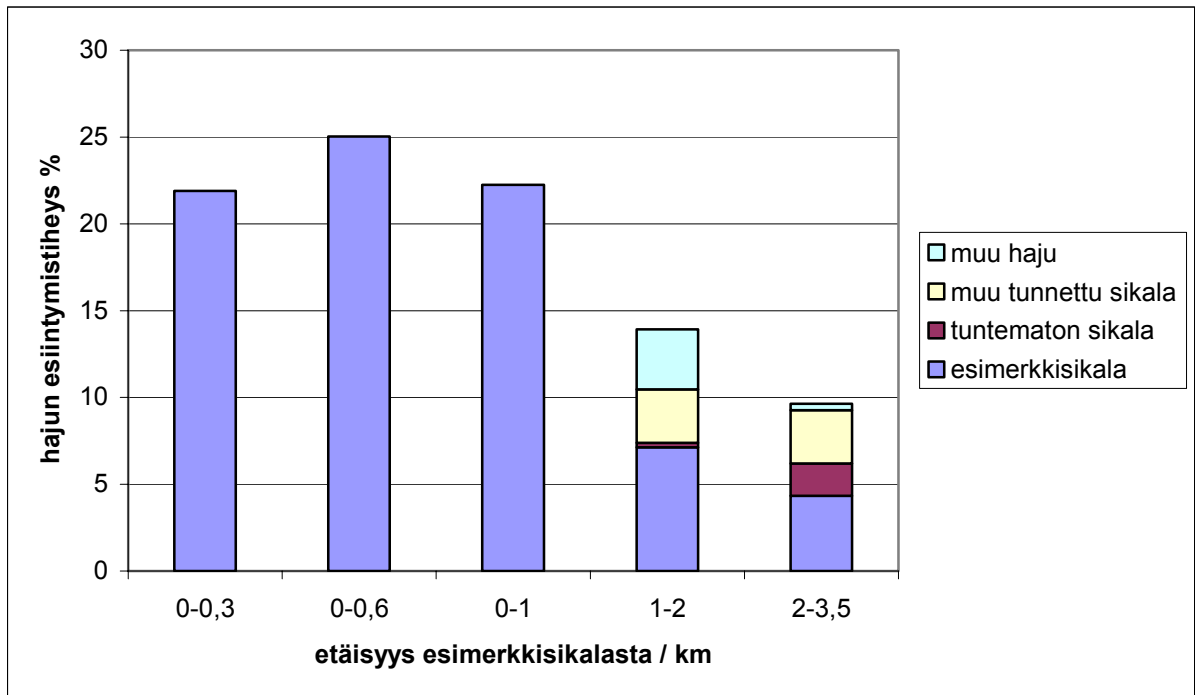
Tutkimusalue oli luonteeltaan eläintuotantopainotteista, harvaan asuttua maaseutualueetta. Tutkimusalueelle sijoittui esimerkkitalan lisäksi muutama muu sikala, nautatila ja siipikarjatala. Alle kilometrin etäisyydellä esimerkkisikalasta ei kuitenkaan ilmoitettu muita häiritseviä hajulähteitä.

Vastaajia pyydettiin kuvaamaan kodin lähiympäristössä esiintyviä hajuja ja sitä, kuinka häiritsevinä he kokevat hajut. Vastaajat eivät aina eritelleet, onko hajun lähde varsinaisesti sikala vai pellolle ajettu liete. Vastaajien mukaan hajua esiintyi eniten keväällä; vuorokaudenajalla ei ollut merkitystä. 21 % asukkaista ilmoitti, ettei heidän ympäristönsään esiinny hajua. Maa- ja metsätalouden parissa työskentelevät tai eläkeläiset vastaajat eivät kokeneet hajua keskimäärin yhtä häiritseväksi kuin vastaajat keskimäärin.

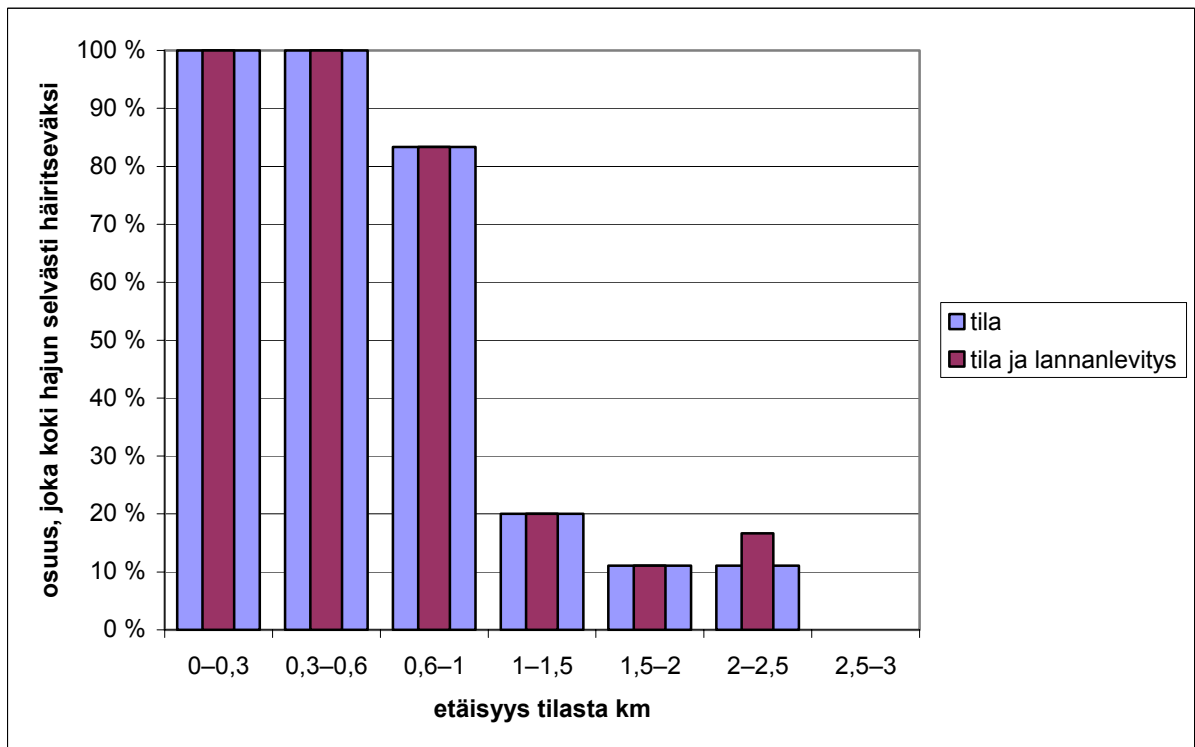
Vastaajien mielestä alueella esiintyy keskimäärin vähän tai jossain määrin hajuhaittaa, kun taas pöly- ja meluhaittaa koettiin esiintyvän erittäin vähän. Koko tutkimusalueella häiritsevän hajun esiintymisestä mainitsi 76 % ja selvästi häiritsevän hajun esiintymisestä 40 % vastaajista. Hajua esiintyy keskimäärin noin kerran viikossa, ja hajun voimakkuus arvioitiin keskimäärin lieväksi tai selväksi. 11 % vastaajista ilmoitti kokevansa hajun sietämättömän häiritseväksi, kun taas 24 % koki, että haju ei häiritse lainkaan.

Kuvassa 12 esitetään eri hajutyyppeiden esiintymistiheys tutkimusalueella eri etäisyysohkykeillä esimerkkitalasta. Arviot on tehty asukkaiden ilmoittaman hajukuorman perusteella.

Kuvassa 13 kuvataan esimerkkitalan aiheuttama hajuhaitta eli se, miten suuri osuus vastaajista koki esimerkkisikalalan hajun häiritseväksi eri etäisyyksillä laitoksesta. Kuvassa erotetaan kasvatuksesta (tilarakennuksista) ja lannan levityksestä aiheutuva hajuhaitta.



Kuva 12. Tutkimusalueen kaikkien hajulähteiden hajun esiintymistiheys prosentteina kokonaisajasta eri etäisyysvyöhykkeillä esimerkisikatilasta.



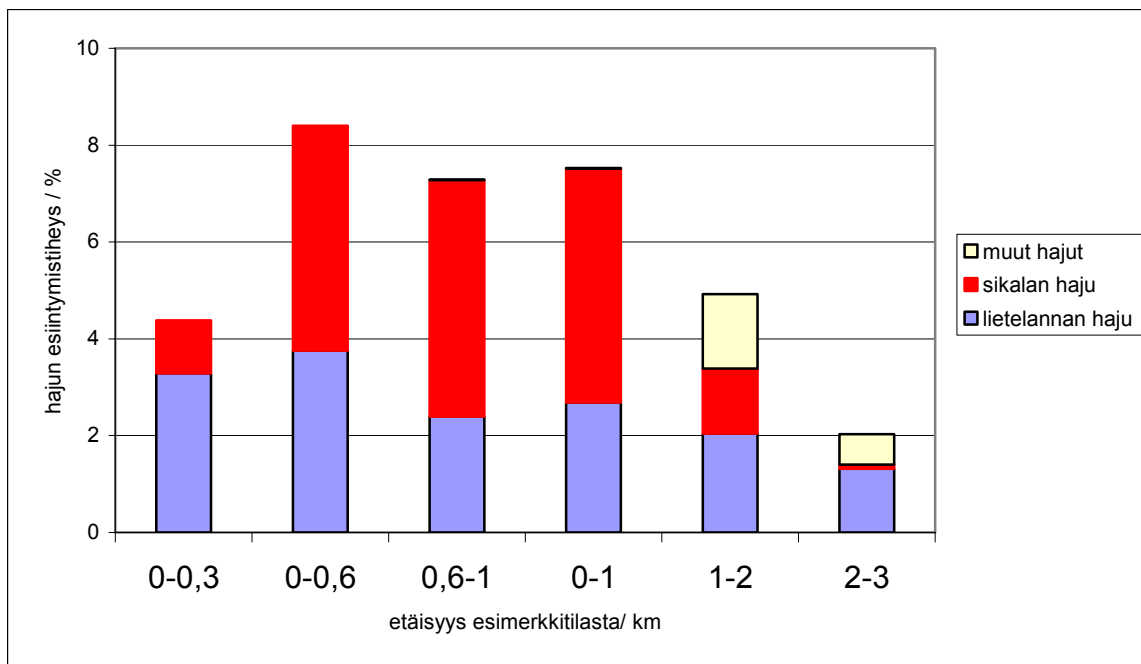
Kuva 13. Esimerkkilaitoksen ja lannan levityksen aiheuttama hajuhaitta.

5.4.2 Esimerkkitala 2: Yhdistelmäsiikala

Tutkimusalueella ei ollut muita mainittavia hajulähteitä. Vastaajien mielestä alueella esiintyy keskimäärin vähän hajuhaittaa, kun taas pöly- ja meluhaittaa koettiin esiintyvän erittäin vähän. Alle 600 m:n etäisyydellä esimerkkitilasta muita hajulähteitä kuin esimerkkitala ei ilmoitettu. Kaikki vastaajat eivät ilmoittaneet erikseen, onko haju peräisin lietalannan levityksestä vai sikalasta.

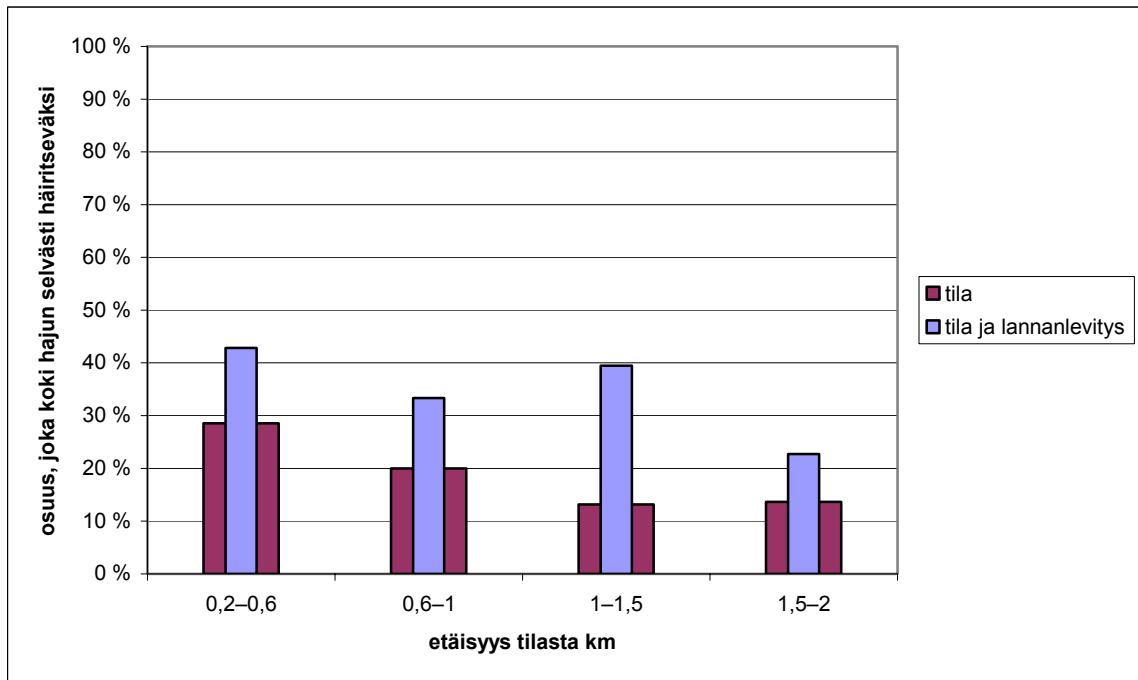
Koko tutkimusalueella *häiritsevän* hajun esiintymisestä mainitsi 72 % ja selvästi häiritsevän hajun esiintymisestä 39 % vastaajista. Hajua esiintyy keskimäärin noin kaksi kertaa kuukaudessa, ja hajun voimakkuus arvioitiin keskimäärin selväksi. 12 % vastaajista ilmoitti kokevansa hajun sietämättömän häiritseväksi, kun taas 28 % koki, että haju ei häiritse lainkaan. Haju häiritsi noin kolmannesta vastaajista eniten keväisin ja keväisin; vuorokaudenajalla ei ollut suurimmalle osalle vastaajista merkitystä.

Kuvassa 14 on hajun esiintymistiheys eri etäisyysvyöhykkeillä esimerkkitilasta. Arviot on tehty asukkaiden ilmoittaman hajukuorman perusteella.



Kuva 14. Esimerkkitalan 2 ympäristön kaikkien hajulähteiden hajun esiintymistiheys prosentteina kokonaisajasta eri etäisyysvyöhykkeillä tilasta.

Kuvassa 15 esitetään esimerkkitalan ja lietteen aiheuttama hajuhaitta ympäristössä eri etäisyyksillä laitoksesta.



Kuva 15. Esimerkkisikalan ja lietteen aiheuttama hajuhaitta ympäristössä.

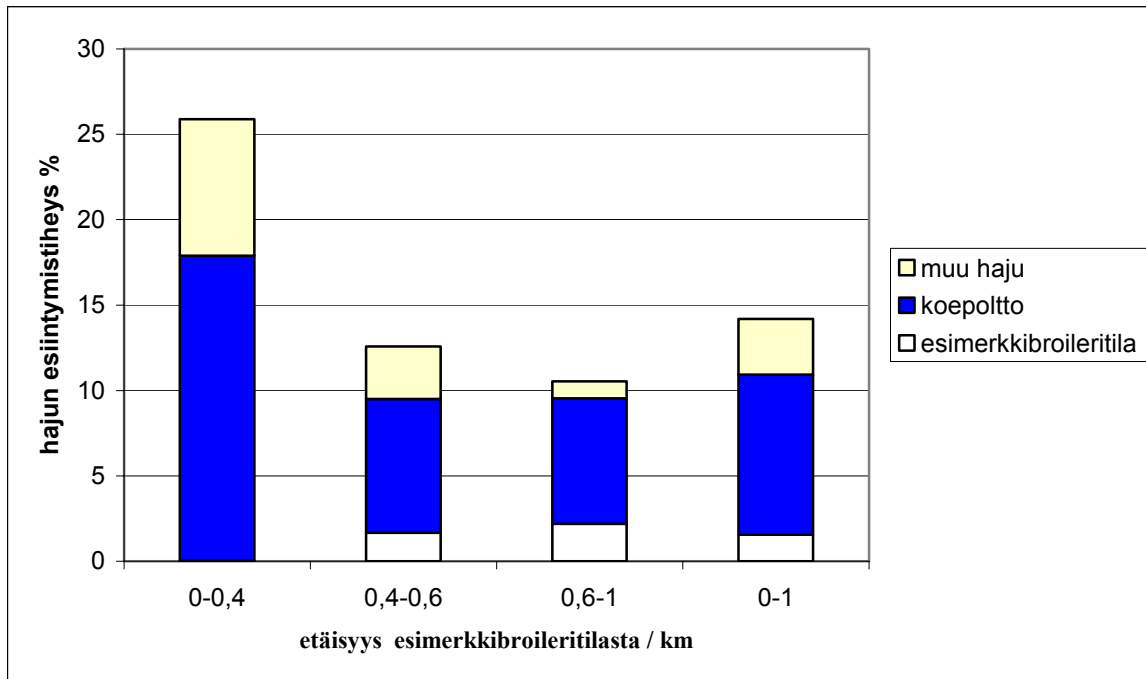
5.4.3 Esimerkkitala 3: Broileritala (turvepohja)

Kyseisen tilan ympäristö on harvaan asuttua ympäristöä. Muita hajulähteitä tutkimusalueella olivat esimerkiksi kunnan jätevedenpuhdistamo sekä tilalla sijaitseva uusi lämpökeskus, jossa polttoaineena oli koeluontoisesti käytetty mm. broilerituotannossa käytettyä pehkuu.

Kyselyn mukaan tutkimusalueella esiintyy keskimäärin vähän haju- tai meluhaittaa, kun taas pölyhaittaa koettiin esiintyvän erittäin vähän tai ei ollenkaan. Koko tutkimusalueella *häiritsevän* hajun (kaikki hajulähteet mukana) esiintymisestä mainitsi 73 % ja selvästi häiritsevän hajun esiintymisestä 43 % vastaajista. Hajua esiintyy keskimäärin noin kaksi kertaa viikossa, ja hajun voimakkuus arvioitiin keskimäärin lieväksi tai selväksi. 13 % vastaajista ilmoitti kokevansa hajun sietämättömän häiritseväksi, kun taas 27 % koki, että haju ei häiritse lainkaan. Haju häiritse ympäri vuoden; vuodenaikalla tai vuorokaudenaikalla ei ollut suurimmalle osalle vastaajista merkitystä.

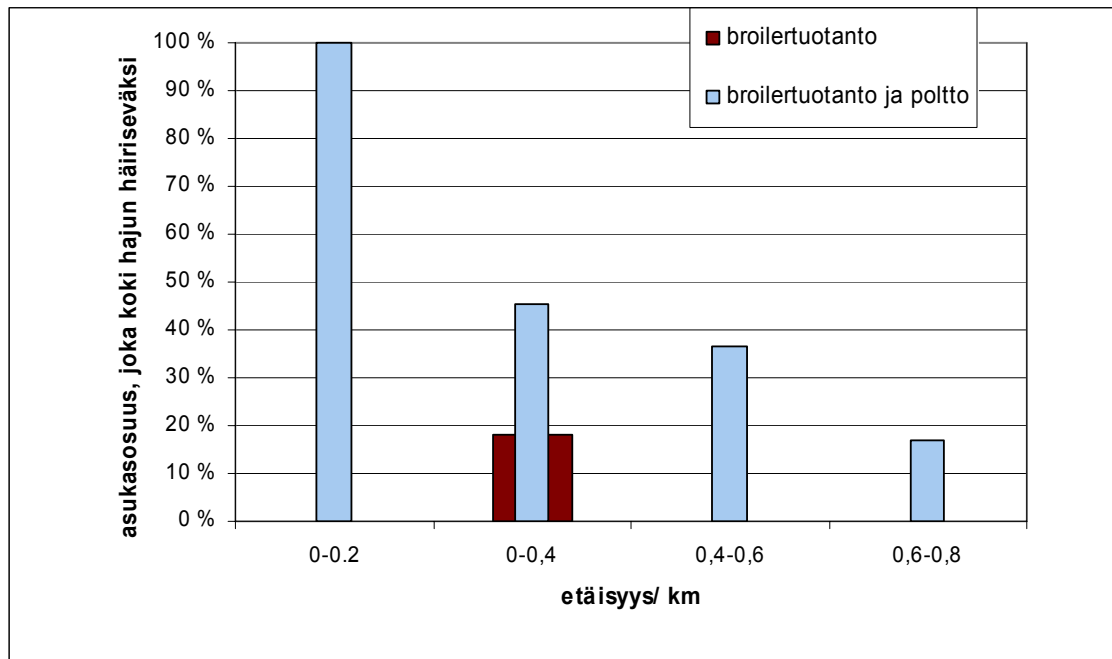
Aukkaat kokivat tutkimusalueella (0–1 km etäisyydellä esimerkkitalasta) esimerkkitalan broilerituotannosta peräisin olevan hajun keskimäärin hyvin vähäiseksi tai ei lainkaan häiritseväksi. Tilalta peräisin oleva lämpökeskuksen haju häiritse keskimäärin vähän. Muut hajut häiritsevät keskimäärin hyvin vähän mutta kuitenkin enemmän kuin broilerikasvatuksesta johtuva haju.

Kuvassa 16 on hajun esiintymistiheys eri etäisyysvyöhykkeillä esimerkkitilasta. Alle 400 m:n etäisyydellä esimerkkitilasta ei ilmoitettu esiintyvän broilerintuotannon hajua lainkaan. On mahdollista, että koepoltosta aiheutunut haju peittää alleen mahdollisen broilerintuotannon hajun.



Kuva 16. Tutkimusalueen kaikkien hajulähteiden hajun esiintymistiheys prosentteina kokonaisuudesta eri etäisyysvyöhykkeillä esimerkkitilasta.

Kuvassa 17 esitetään esimerkkitilan aiheuttama hajuhaitta ympäristössä eri etäisyyksillä laitoksesta.



Kuva 17. Broilerikasvatuksen ja tilalla tapahtuvan koepolton aiheuttama hajuhaitta ympäristössä.

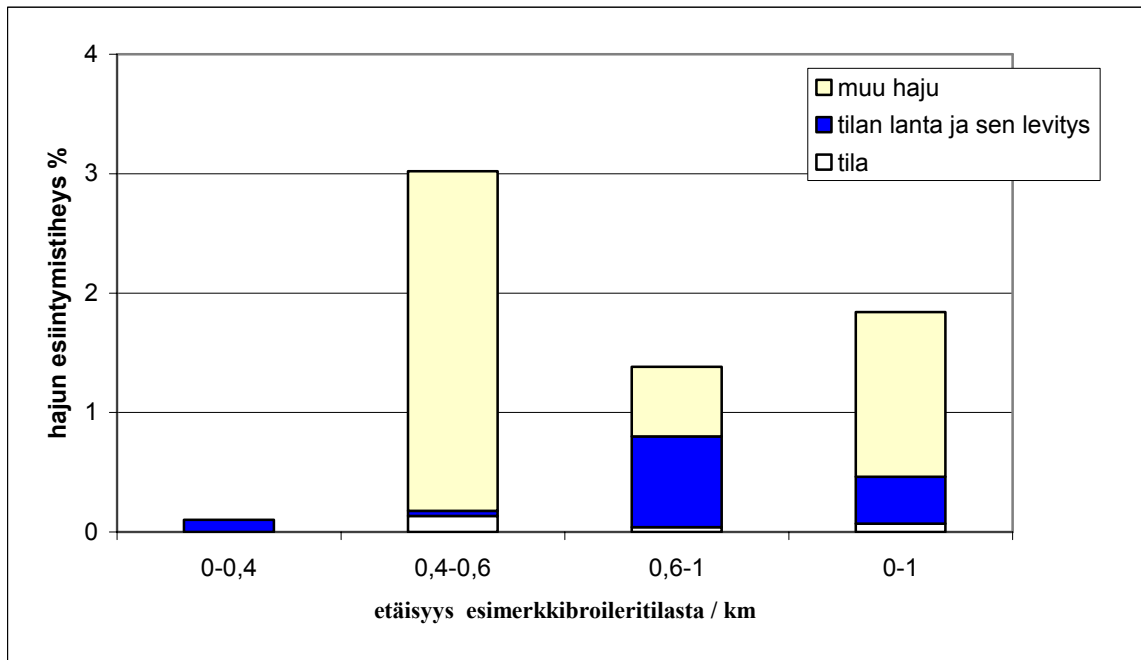
5.4.4 Esimerkkitala 4: Broileritila (kutteripohja)

Tutkimusalue oli etelä-lounaisosaltaan harvaan asuttua. Alueella ei esiintynyt muita merkittäviä hajulähteitä. Vastaajien mielestä alueella esiintyy keskimäärin erittäin vähän tai ei ollenkaan haju-, melu- tai pölyhaittaa.

Koko tutkimusalueella *häiritsevän* hajun (kaikki hajulähteet mukana) esiintymisestä mainitsi 34 % ja selvästi häiritsevän hajun esiintymisestä 7 % vastaajista. Hajua esiintyy keskimäärin harvemmin kuin kerran kuukaudessa, ja hajun voimakkuus arvioitiin keskimäärin tuskin havaittavaksi. 3 % vastaajista ilmoitti kokevansa hajun sietämättömän häiritseväksi, kun taas 66 % koki, että haju ei häiritse lainkaan. Haju häiritse useimpia eniten keväisin; vuorokaudenajalla ei ollut suurimmalle osalle vastaajista merkitystä.

Asukkaat kokivat tutkimusalueella (0–1 km etäisyydellä esimerkkitalasta) esimerkkitalan broilerituotannosta peräisin olevan hajun keskimäärin ei lainkaan häiritseväksi. Muut hajut häiritsevät keskimäärin hyvin vähän mutta kuitenkin enemmän kuin broilerikasvatukselta johtuva haju.

Kuvassa 18 on hajun esiintymistiheys eri etäisyysvyöhykkeillä esimerkkitalasta. Alle 400 m:n etäisyydellä esimerkkibroileritalasta ei ilmoitettu esiintyvän broilerituotannon hajua lainkaan.



Kuva 18. Tutkimusalueen kaikkien hajulähteiden hajun esiintymistiheys prosentteina kokonaisajasta eri etäisyysvyöhykkeillä esimerkibroileritilasta.

Kyselyn asukaspalautteiden mukaan esimerkkitilan hajua ei pidetty selkeästi häiritsevänä ympäristössä.

5.4.5 Tulosten tarkastelu

Viihtyisyshaittatuloksista ilmenee lietteen ja jätteiden merkitys tuotannosta aiheutuvas- ta hajuhaitasta. Sekä esimerkksikaloiden että broileritilojen kohdalla pidettiin lannan käsittelyä häiritsevämpänä kuin varsinaisista tuotantorakennuksista tulevaa hajua. Vas- taajien kuvausten perusteella pystyttiin kuitenkin useissa tapauksissa erottamaan raken- nusten osuus kokonaishajukuormasta.

Viihtyisyshaittatutkimukset osoittivat selvän eron ihmisten asennoitumiseen sikalan ja broilerikasvatuksen hajuun. Sikalan hajua pidettiin herkästi häiritsevänä, kun taas broi- lerikasvatuksesta peräisin olevan hajun haittavaikutus oli hyvin pieni. Rakennusten päästöt olivat kuitenkin samaa suuruusluokkaa kuin keskikokoisen sikalan (esimerkkiti- la 2) päästö.

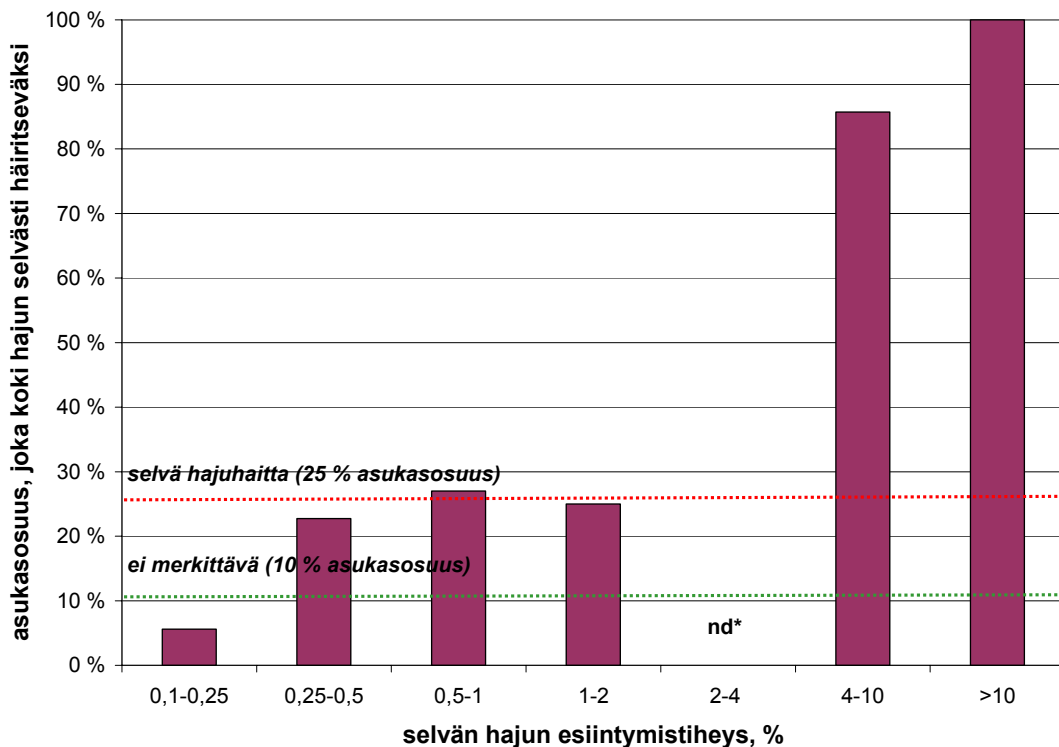
Tutkimustulosten mukaan erityisesti esimerkkitilan 1 vaikutusalue on merkittävä. Tulos on jokseenkin linjassa päästömittaustulosten kanssa: ison emakkotilan päästöt olivat kymmenkertaiset keskikokoiseen yhdistelmäsikalaa verrattuna.

Kyselyjen vastausprosentti nousi keskimäärin 60 prosenttiin, mikä on tämän tyyppisessä tutkimuksessa kiitettävä tulos. Ongelmana oli kuitenkin harvaan asuttu ympäristö, joten palautteiden lukumäärä ei ollut suuri. Erityisesti broileritilojen ympäristön tuloksia tulee pitää indikatiivisena ja tulokset varmistaa lisäselvityksillä esim. muiden broileritilojen ympäristössä.

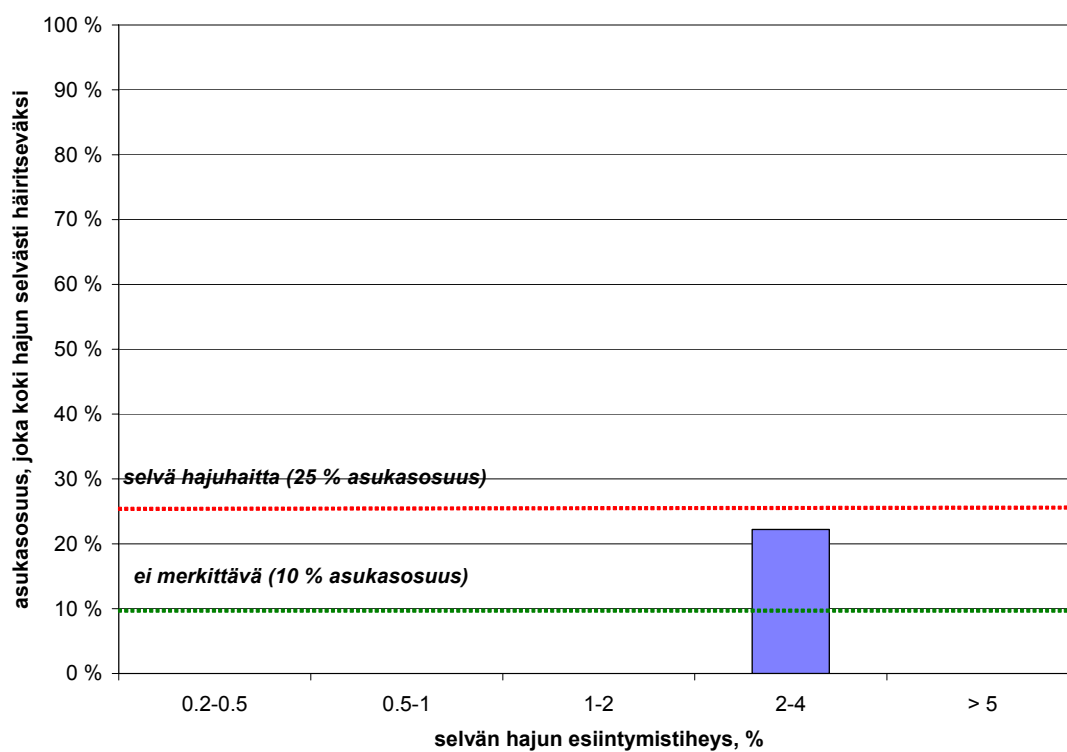
6. Hajukuorman ja hajuhaitan välinen yhteys

Hajukuorman ja asukkaiden kokeman hajuhaitan yhteys selvitettiin erikseen sikaloiden ja broilerikasvatuksen hajun kohdalta. Kuvassa 19 arvioidaan leviämislaskelmien ja asukaskyselyn tulosten perusteella asukkaiden kokema hajuhaitta sikalahajun esiintymistiheyden funktiona. Kahden broileritilan vastaava arvio on kuvassa 20. Molempiin kuviin on merkitty selvän haitan kriteerit: 25 %:n asukasosuus kokee hajun häiritseväksi sekä haitan perustason tai ”turvarajan”; 10 % asukkaista kokee hajun selvästi häiritseväksi.

Tutkimukset osoittivat selvän eron sikaloiden ja broileritilojen hajupäästön vaikutuksessa. Sikaloiden ympäristötutkimusten mukaan häiritseväksi hajukuormaksi saatiin selkeän hajun esiintymistiheys 1 % (0,5–2 %). Vastaavasti broilerituotannon hajua ei pidetty tutkituilla tasoilla selkeästi häiritseväenä. 2–4 %:n hajukuorma näyttää kuitenkin ylittävän broilerikasvatuksen hajun haitattoman tason.



Kuva 19. Hajuhaitan ja selvän hajun esiintymisen välinen yhteys esimerkksikalossa tehtyjen selvitysten perusteella.



Kuva 20. Hajuhaitan ja hajukuorman välinen yhteys broileritiloilla tehtyjen selvitysten perusteella.

7. Vähimmäisetäisyyden arviointi

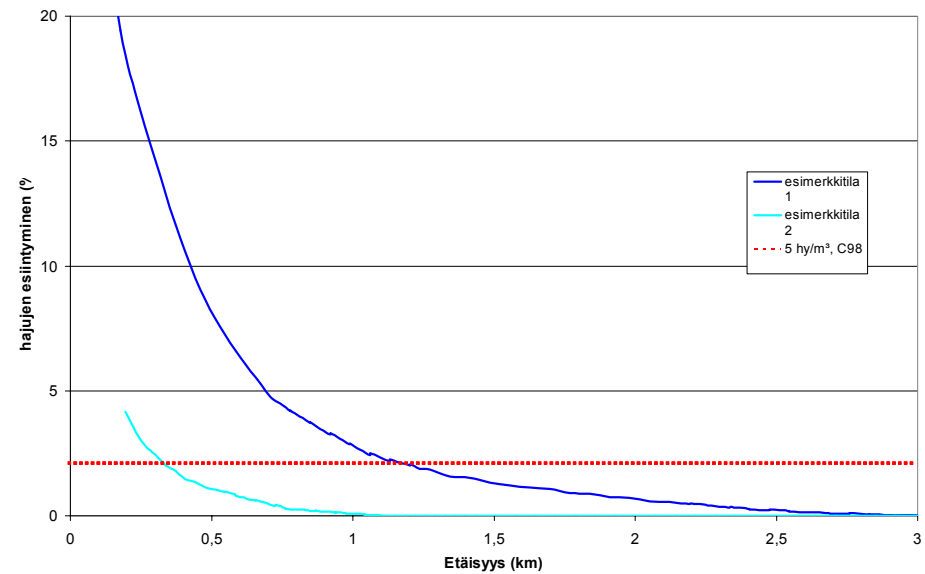
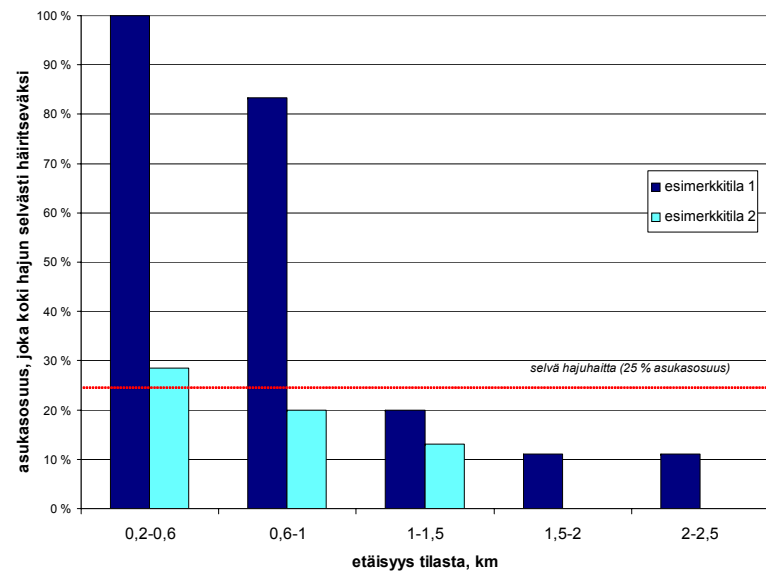
Hajukuorman ja asukkaiden kokeman hajuhaitan yhteys selvitettiin erikseen sikalahajun ja broilerikasvatuksen hajun suhteen. Kuvissa 21 ja 22 esitetään esimerkkitulojen hajukuorma ympäristössä etäisyyden funktiona ja esimerkkitulojen ympäristössä esiintyvä merkittävä hajuhaitta etäisyyden funktiona. Molempiin kuviin on merkitty selvän haitan kriteerit: 25 %:n asukasosuus kokee hajun häiritseväksi, ja selvää hajua esiintyy 5 hy/m^3 $C_{98 \text{ } 30 \text{ s}}$.

Kun käytetään merkittävän hajuhaitan kriteereinä kirjallisuusarvoa 25 %:n asukasosuus ja 2 % selvän hajun esiintymistiheys, mittausten perusteella esimerkkitulo 1 vähimmäisetäisyys olisi noin 1 km tilan keskipisteestä laskien. Esimerkkitulo 2 vähimmäisetäisyys on noin 0,3 km tilan keskipisteestä laskien.

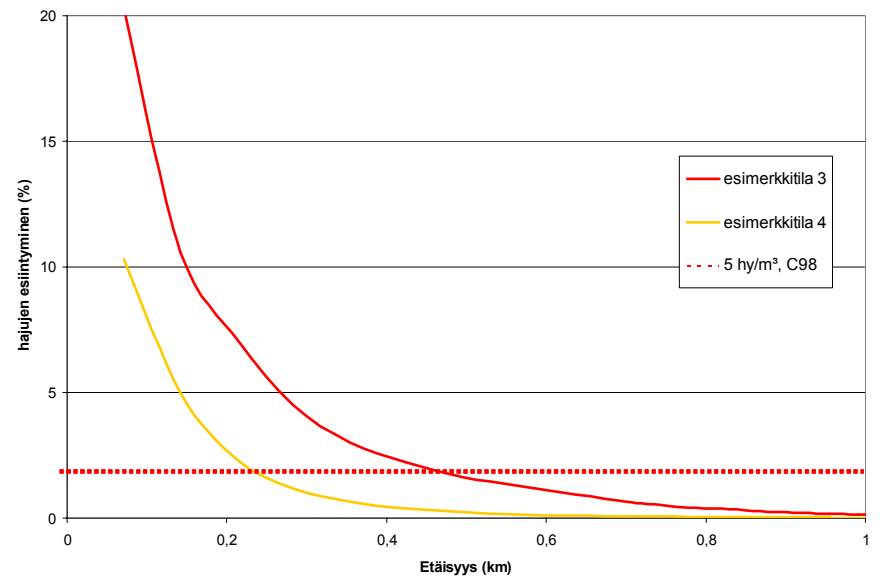
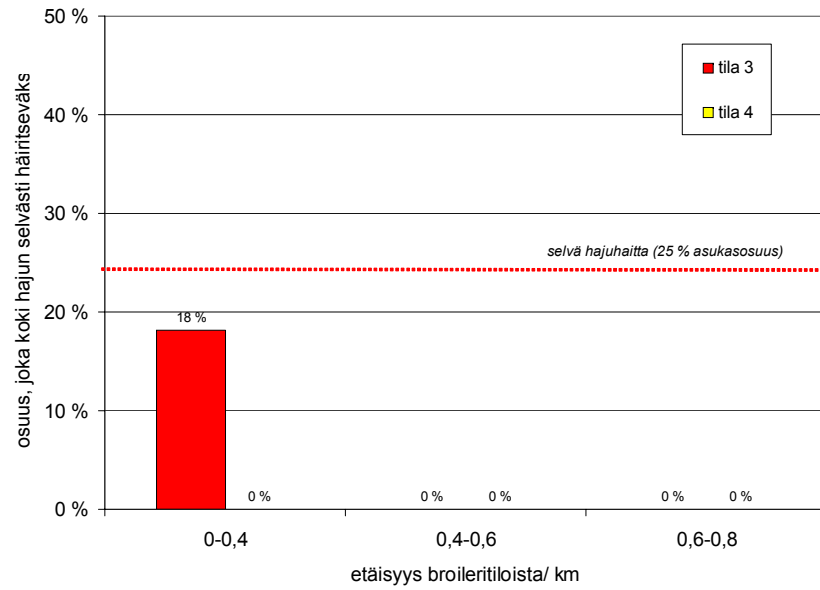
Kertakyselytutkimukset eivät osoittaneet, että broileritulojen ympäristössä esiintyisi merkittävää viihtyisyshaittaa. Tulosten perusteella ei näin ollen voitu osoittaa suositeltavaa vähimmäisetäisyyttä broilerituotannolle. Asukkaiden ja kyselyn vastausten määrä tilojen lähiympäristössä oli kuitenkin alhainen. Broilerikasvatuksen suhteen tulosta voidaankin pitää lähinnä indikaatiivisena.

Esimerkkisikalan 1 osalta tulokset poikkeavat merkittävästi Euroopassa esitetyistä vähimmäisetäisyysohjeista, joissa maksimaalinen suojaetäisyys on noin 500 m. Toisaalta USA:n eräissä osavaltioissa ison sikalan vähimmäisetäisyydeksi suositellaan 0,6–1,2 km (Arnold 2002).

Suora vertailu muualla esitettyihin hajukuorman suositusarvoihin edellyttää tietoa siitä, millä menetelmillä tulos on saatu ja mitkä ovat menetelmien laskentaperiaatteet. Hollannissa ja Tanskassa arvioidaan ympäristön hajukuorma leviämismalleilla, kun taas Saksassa ja Belgiassa käytetään myös suoria kenttähavainnointitutkimuksia. Ilmoitetut tulokset riippuvat voimakkaasti siitä, käytetäänkö arvioinnissa tunnin vai lyhyemmän ajan keskiarvoa. Lisäksi mm. eri alueiden erilainen meteorologia (mm. Suomen talvi) ja leviämisympäristö vaikuttavat hajukuorman suuruuteen. Liitteissä 3–4 on esimerkki FMI-ODO-mallilla saaduista hajukuorman tuloksista käyttäen eriajallisia keskiarvoja.



Kuva 21. Hajuhaitta ja selvän hajun esiintymistiheys esimerkkisikaloiden ympäristössä.



Kuva 22. Hajuhaitta ja selvän hajun esiintymistiheys broileritilojen ympäristössä.

Mualla Euroopassa tuotetut hajukuormatulokset ovat yleensä joko tunnin, 15 minuutin tai 10 minuutin keskiarvoja (Jiang 2001, VDI-DIN KRDL 2004).

7.1 Vertailu ympäristöministeriön ehdotukseen vähimmäisetäisyydestä

Liitteessä 1 on ympäristöministeriön ehdotus vähimmäisetäisyydestä eläinsuojan ja häiritsevän kohteen välillä. Ehdotuksessa esitetään kotieläinsuojan suositeltava etäisyys häiriintyviin kohteisiin nähden eläinyksikkömäärän ja olosuhteiden funktiona. Eläinyksikkö perustuu kyseisen eläintyypin lannan fosforimäärään, ja lihasialle on annettu kerroin yksi. Käyrästä on tehty kokemukseräisen tiedon perusteella siitä, miten pitkälle sikalasta peräisin oleva hajua leviää.

Ehdotuksen mukaan esimerkkitulojen suosituksetäisyys on eläinpaikkojen mukaan kuten taulukossa 10 esitetään (liite 1, Ympäristöministeriö 2001).

Taulukko 10. Esimerkkitulojen suosituksetäisyys YM:n etäisyysohjeen mukaan.

Esimerkkitila	Eläinyksikkökerroin	Eläinyksiköt	Suojaetäisyys YM:n etäisyysohjeen mukaan (keskikäyrä), m
1 850 emakkoa	3,4	2 890	n. 450
2 50 emakkoa, 900 lihasikaa	3,4 ja 1	1 070	300
3 60 000 lintua	0,02	1 200	310
4 60 000 lintua	0,02	1 200	310

Taulukossa 11 verrataan ympäristöministeriön ohjeen mukaisia vähimmäisetäisyyksiä kyselytutkimusten ja leviämismallilaskelmien avulla arvioituun vähimmäisetäisyyteen. Taulukossa vähimmäisetäisyys on myös arvioitu YM:n käyrän mukaan käyttäen päästömittaustuloksista saatuja hajupäästökertoimia eri eläimille (taulukko 4, kohta 5.2).

Taulukko 11. Tutkimustulosten vertailu ympäristöministeriön vähimmäisetäisyysohjeeseen.

Tila	Suojaetäisyys YM:n etäisyysohjeen mukaan, m	Kyselyn ja leviämislaskelmien mukaan (tilan keskipisteestä)	Mittaustuloksista arvioitujen hajupäästökertoimien mukaan
1	n. 450	n. 1 000 m	> 450 m (ylittää käyrästä asteikon)
2	300	300 m	320 m (1 300 eläinyksikköä)
3	310	–	230 m (620 eläinyksikköä)
4	310	–	230 m (620 eläinyksikköä)

Selvitysten tulosten mukaan esimerkkitilan 1 suositeltava vähimmäisetäisyys arvioitiin yhdeksi kilometriksi. Arvio on huomattavasti suurempi kuin useimmat ulkomaiden vähimmäisetäisyysohjeet (Arnold 2002) ja ympäristöministeriön ehdotukset. Tulosta voidaan pitää kyseisen kokoisen tilalle eräänlaisena maksimiarvona. Esimerkkitalalla ei ollut toteutettu mainittavia päästöjä vähentäviä toimia.

Yhdistelmäsikalan kohdalta tutkimustulokset ovat yhdenmukaisia ympäristöministeriön suositusetäisyyden kanssa ja myös muissa maissa esitettyjen vähimmäisetäisyysohjeiden kanssa. Broileritilojen suhteen sekä hajupäästömittaukset että kyselytutkimukset ilmaisevat, että voitaisiin soveltaa huomattavasti lyhyempiä vähimmäisetäisyyksiä ilman, että laitokset aiheuttaisivat merkittävää viihtyisyshaittaa ympäristössä. Liitteissä 11 ja 12 on ehdotukset sikaloiden ja broileritilojen vähimmäisetäisyydeksi. Ehdotukset on muokattu ympäristöministeriön ehdotuksesta vastaamaan tutkimuksessa saatuja mitaustuloksia.

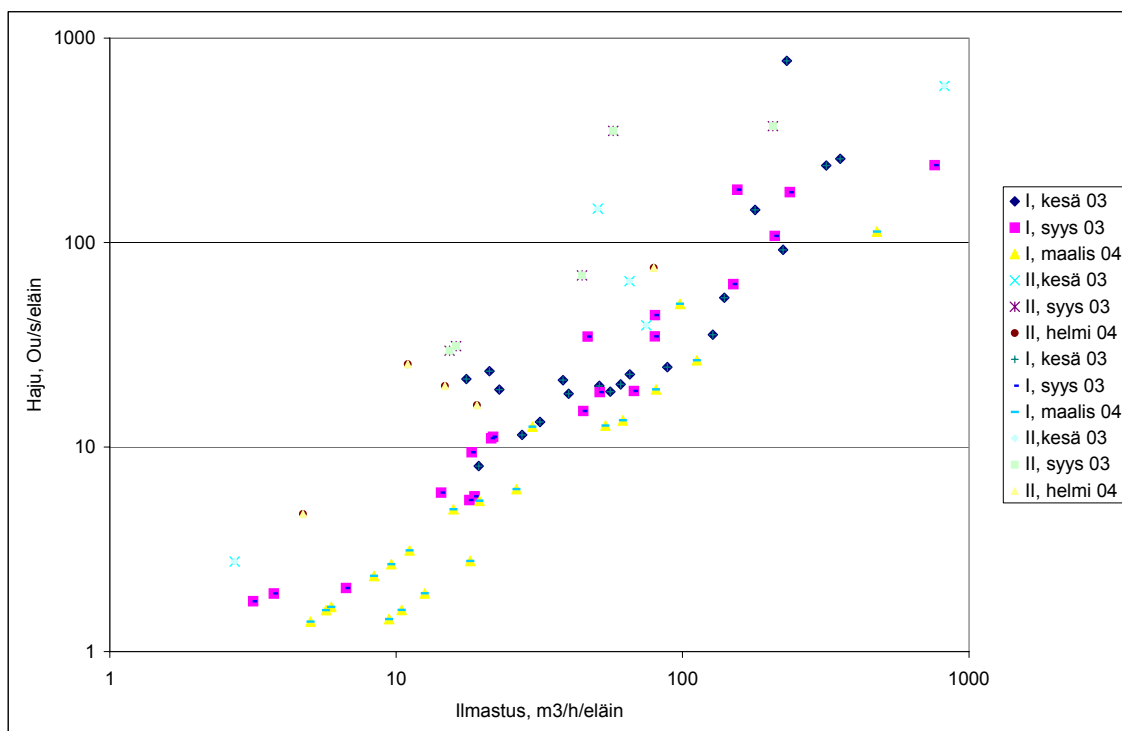
8. Hajupäästöön vaikuttavat tekijät

Esimerkkituloilla tehtyjen mittausten perusteella arvioitiin eläinsuojien olosuhteiden ja rakenteellisten seikkojen vaikutus hajupäästöihin. Tulokset esitetään seuraavassa erikseen sikaloille ja broilerituloille.

8.1 Sikalarakennukset

8.1.1 Ilmanvaihdon vaikutus hajupäästöön

Kuvassa 23 esitetään eläinkohtainen hajupäästö eläinkohtaisen ilmanvaihdon funktiona log-log-asteikolla. Arvot ovat yksittäisistä osastoista saatuja mittaustuloksia. Kuva osoittaa voimakasta korrelaatiota ilmamäärän ja hajupäästön välillä. Kuvan perusteella voidaan arvioida, miten ilmanvaihdon optimointi voi vähentää tuotantoyksikön hajupäästöä. Päästöä voidaan vähentää eläinten hyvinvoinnin salliman ohjearvon mukaan.



Kuva 23. Hajun ja eläinkohtaisen ilmanvaihdon yhteys sikalaosastoissa. I = esimerkkitulo 1, II = esimerkkitulo 2.

Erityisesti emakkotilalla eläinkohtainen ilmanvaihto ylitti 100 m³/h useissa osastoissa. Korkeita ilmanvaihtolukemia saatiin erityisesti kesällä, jolloin ilmanvaihtoa tehostetaan, jottei sisätilan lämpötila nouse liian korkeaksi. Ilmanvaihto oli kuitenkin voimakas myös syksyn ja kevättalven mittauskampanjoissa. Voidaan arvioida, että ilmanvaihtoa

on tässä mahdollista pienentää ja hajupäästöä vähentää niin, että eläimen sisäilman laadun kriteerit edelleen täyttyvät.

Ilmanvaihdon lisäksi poistoilman aukon sijainnilla voidaan vaikuttaa poistoilman hajupitoisuuteen ja vastaavasti hajupäästöön. Lietepinnalta haihtuu tehokkaasti hajuyhdisteitä poistoilmavirtaan, kun ilma johdetaan lietekuilun kautta ulos. Mittauksissa lietekuilun kautta ohjautuva poistoilman pitoisuus oli jopa viisinkertainen katolla sijaitsevaan poistoon verrattuna. Ero korostuu kesällä, kun helposti haihtuvat hajuyhdisteet vapautuvat helpoimmin lämpimämmästä lietteestä. Taulukossa 12 verrataan joutilasosaston (kattopoisto) ja ensikko-osaston (seinäpoisto) mittaustuloksia.

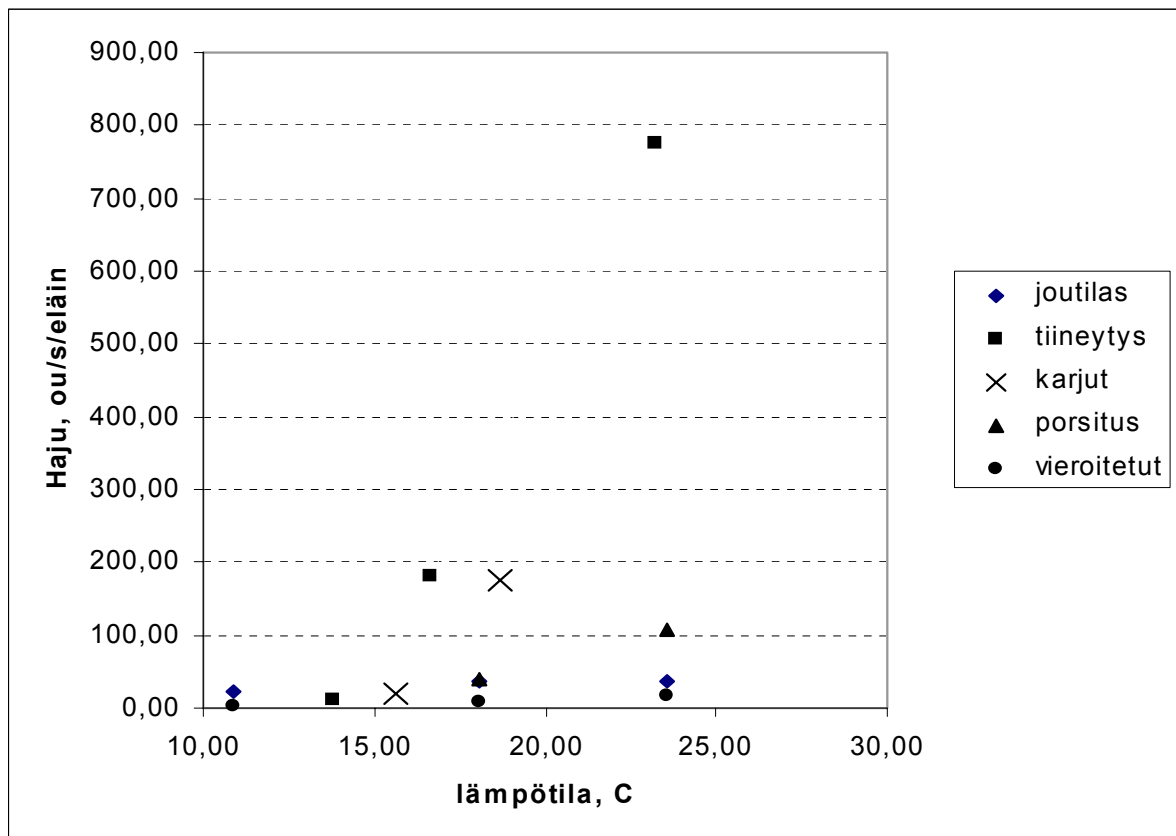
Taulukko 12. Esimerkkitalan kahden osastotyypin mittaustulosten vertailu. Ilmapoistot katolla ja seinässä.

	Poistoilman hajupitoisuus hy/m ³	Keskim. hajupäästö hy/s eläin	Keskim. ilmanvaihto, m ³ /h eläin
Joutilas (kattopoisto)	980–1 800	33	84
Tiineytys/ensikko (seinäpoisto lietekuilun kautta)	1 500–12 050	323	139

8.1.2 Sisätilan olosuhteiden yhteys hajuun

Mittaustulokset sisäolosuhteiden vaikutuksesta hajupäästöön vaihtelevat osastoittain ja esimerkkitaloittain. Ilmanvaihtomäärän lisäksi sisätilan lämpötilalla on vaikutusta hajupäästöön. Sen sijaan eläintilan sisäilman ammoniakkipitoisuus ei tulosten mukaan korreloi hajun kanssa.

Kuvassa 24 esitetään esimerkkitalalta 1 mitattujen lämpötilojen ja hajun yhteys eri osastoilla. Tiineytys-, karju- ja porsitusosastoilla hajun määrä kasvaa lämpötilan noustessa. Myös joutilas- ja vieroitusosastoilla on havaittavissa samansuuntainen mutta huomattavasti heikompi yhteys. Esimerkkitalan 2 mittaustuloksista ei vastaavaa yhteyttä voi osoittaa.

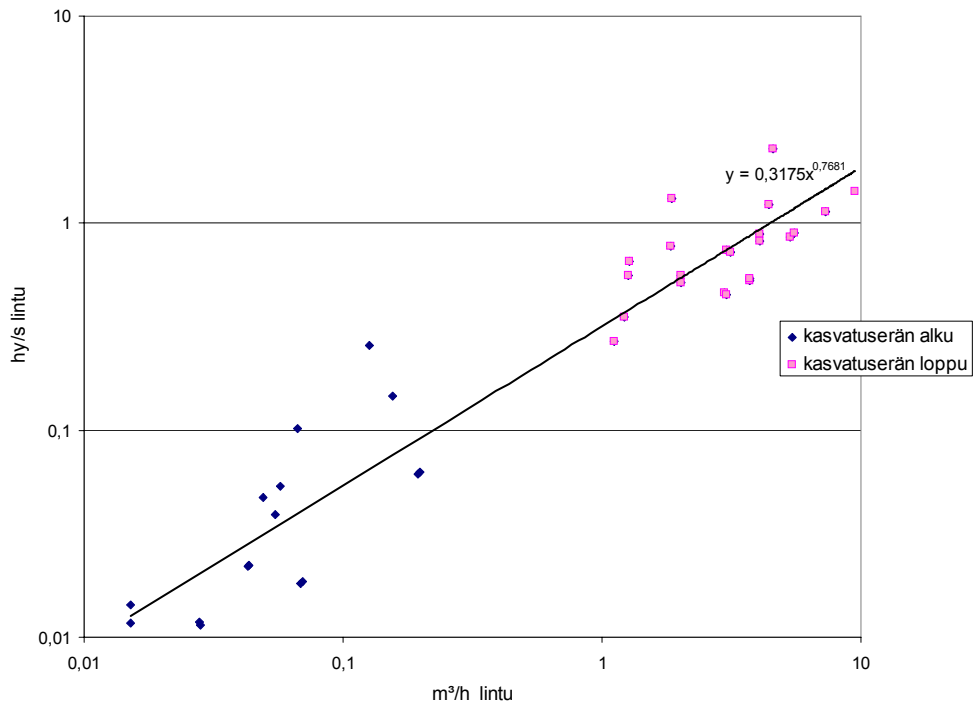


Kuva 24. Lämpötilan ja hajun yhteys esimerkkitalalla 1.

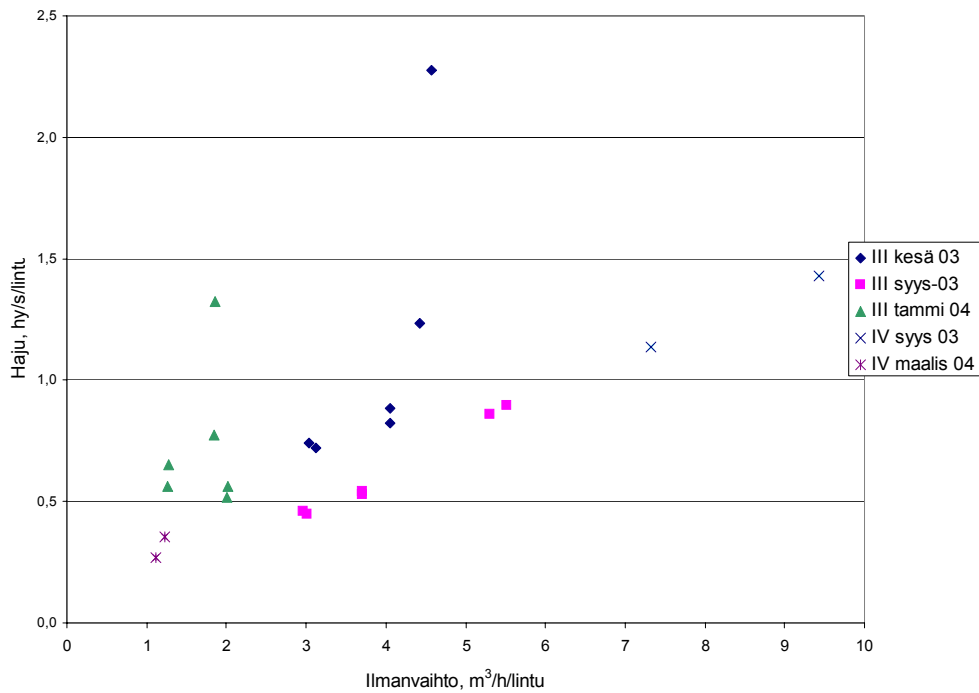
8.2 Broilerikasvattamot

8.2.1 Ilmanvaihdon vaikutus hajuun

Kuvassa 25 esitetään eläinakohtainen hajupäästö eläinakohtaisen ilmanvaihdon funktiona log-log-asteikolla. Kasvatuksen loppuvaiheen päästöjä (joiden vaikutus on merkittävin) tarkastellaan erikseen kuvassa 26. Arvot ovat yksittäisistä osastoista saatuja mittaustuloksia. Samoin kuin sikaloissa myös tässä kuva osoittaa voimakasta korrelaatiota ilmamäärän ja hajupäästön välillä. Käyrän muoto on sikaloihin verrattuna vähemmän jyrkkä, eli vähentämällä ilmanvaihtoa hajupäästöt eivät vähene yhtä edullisessa suhteessa kuin sikaloissa. Broilerikasvatuksessa ilmanvaihdon tehoa ohjataan lämpötilan ja kosteuden mukaan, ja etenkin lintujen tarkat lämpötilavaatimukset eivät salli suuria poikkeamia optimilämpötilasta ja vastaavasti ilmanvaihdossa.



Kuva 25. Eläinkohtaisen hajupäästön ja ilmanvaihdon yhteys broileriosastoissa.



Kuva 26. Hajun ja eläinkohtaisen ilmanvaihdon yhteys broileriosastoissa. Mittaukset kasvatuksen loppuvaiheesta. III = esimerkkitala 3, IV = esimerkkitala 4.

8.2.2 Sisätilan olosuhteiden yhteys hajuun

Broileritilalla 1, jossa käytetään turvetta kuivikkeena, loppukasvatusvaiheen hajukuorma kasvaa, kun sekä ammoniakkipitoisuus että suhteellinen kosteus nousevat (taulukko 7). Broileritilalla 2, jossa kuivikkeena käytetään kutteria, ei havaittu tätä ilmiötä (taulukko 8). Sisätilan ammoniakkipitoisuus ei korreloinut poiston hajupitoisuuden kanssa. Siirtyminen eri rehuun (alkuvuoden 2004 mittaustulokset) ei vaikuttanut eläinkohtaiseen hajupäästöön.

9. Hajua vähentävät toimet

9.1 Lietelannan hajupäästön vähentäminen

Sikaloissa tehdyt hajupäästömittaukset osoittivat, että merkittävä osa hajupäästöistä on lähtöisin kattamattomasta lietesäiliöstä. Katteilla voidaan täten suhteellisen helposti vähentää ympäristöön kohdistuvaa hajukuormaa. Kevyillä, kelluvilla katteilla toimenpiteet voidaan toteuttaa mahdollisimman taloudellisesti. Taulukossa 13 esitettävät mittaustulokset osoittavat EPS-rouheen vaikutuksen sikalalietelannan hajupäästöön. EPS-rouheen peittävän vaikutuksen lisäksi rouheet ilmeisesti edesauttavat kuorettuman muodostumista pinnalle, millä sinänsä on hajua vähentävä vaikutus.

Peräkkäisinä kesinä suoritettavat mittaukset esimerkkitalalla 1 osoittivat luonnollisen kuorettuman tehokkaaksi hajun eristäjäksi. Kuivan pinnan päältä mitattu hajupäästö oli 80–85 % pienempi edellisen kesän nestemäiseltä pinnalta saatuihin mittaustuloksiin verrattuna. Luonnollinen kuori muodostui sikalalietteen pinnalle silloin, kun sikalan kuivikeena käytettiin kauran kuorta.

Taulukko 13. Sikalalietteen pinnalta emittoituva haju. Mittaukset esimerkkitalalla 2 kesällä 2003.

	Päästö 1 000 hy/h m ² *)	Vähennys avoimeen lietepintaan verrattuna
EPS-rouheella	104	89 %
Ilman rouhetta, kuiva kuoretunut pinta	146	85 %
Märkä paljas pinta	949	

* Hajuyksikköä tunnissa neliometriä kohti laskettuna.

9.2 Turpeen hajua vähentävä vaikutus

Turvekokeissa määritettiin tumman (von Post H 5–7) ja vaalean (von Post H 1–3) turpeen vaikutus sikalan liotelannan haju- ja ammoniakkipäästöön ja pH-arvoon. Turvelisäykset olivat 15 vol-%, 40 vol-% ja 60 vol-%.

15 %:n turvelisäys laski lietteen pH:n muutamalla kymmenyksellä. Liuosten hajuissa oli suoraan pinnalta haisteltuna eroja. Turve-lieteseokset haisivat vähemmän epämiellyttävältä kuin puhdas liete. Etenkin ammoniakkin haju väheni turpeen lisäyksen seurauksena.

Viikko myöhemmin 15 %:n turvelisäyksen vaikutusta hajuun tai vapautuvaan ammoniakkiin ei kuitenkaan ollut enää havaittavissa.

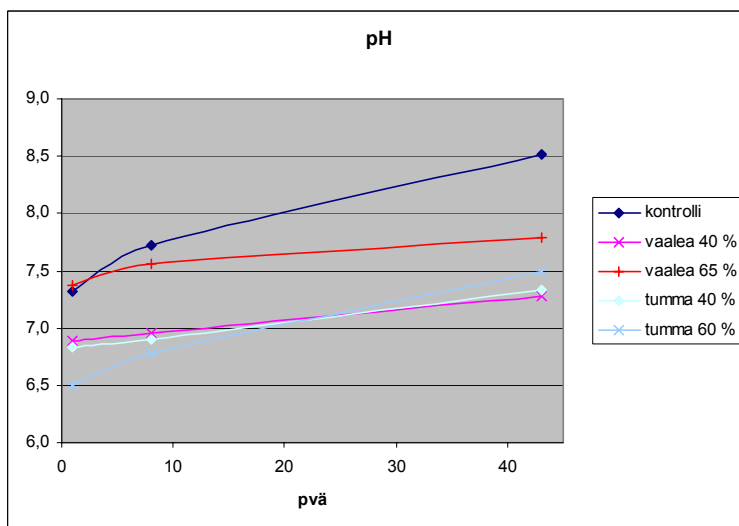
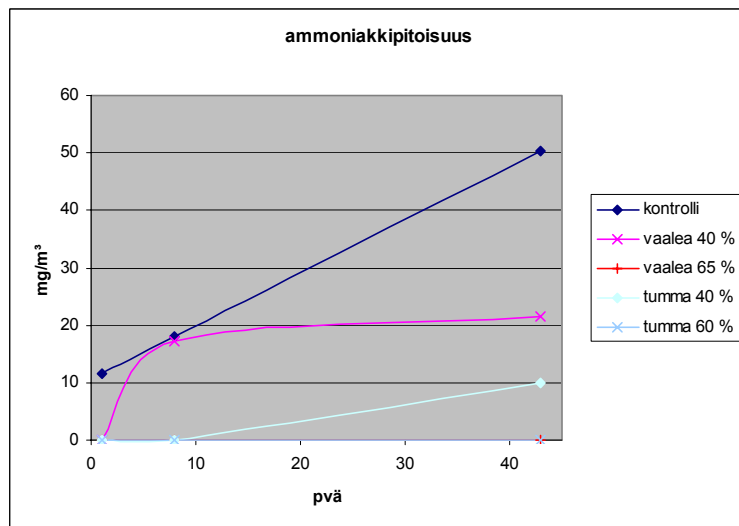
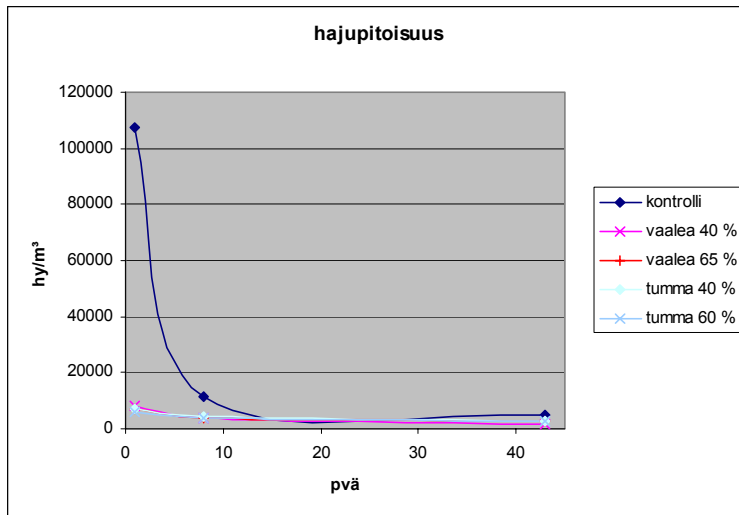
40 % ja 60 %:n turvelisäysten tulokset ovat taulukossa 14 ja kuvassa 27.

Taulukko 14. Turpeen aiheuttama päästövähennys.

Pvä	0 vol-%			40 vol-%			60 vol-%		
	Haju hy/m ³	NH ₃ mg/m ³	CH ₄ mg/m ³ l	Haju hy/m ³	NH ₃ mg/m ³	CH ₄ mg/m ³ l	Haju hy/m ³	NH ₃ mg/m ³	CH ₄ mg/m ³ l
1	107 700	11	18	8 000	0	0,1	6 900	0	1,4
5	11 500	18	40	3 600	17	4,8	3 550	0	5
45	5 100	50	40	1 900	22	37	2 600	0	1,9

40 vol-%:n turvelisäyksellä lietteen pinnalta haihtuva haju ja ammoniakki vähenivät merkittävästi. Ammoniakin osalta vähenemä oli 50 % 40 %:n lisäyksellä ja 100 % 60 %:n lisäyksellä. Metaanin tuotanto oli 10–70 % alempi turpeella seostetussa lietteessä kontrolliin verrattuna.

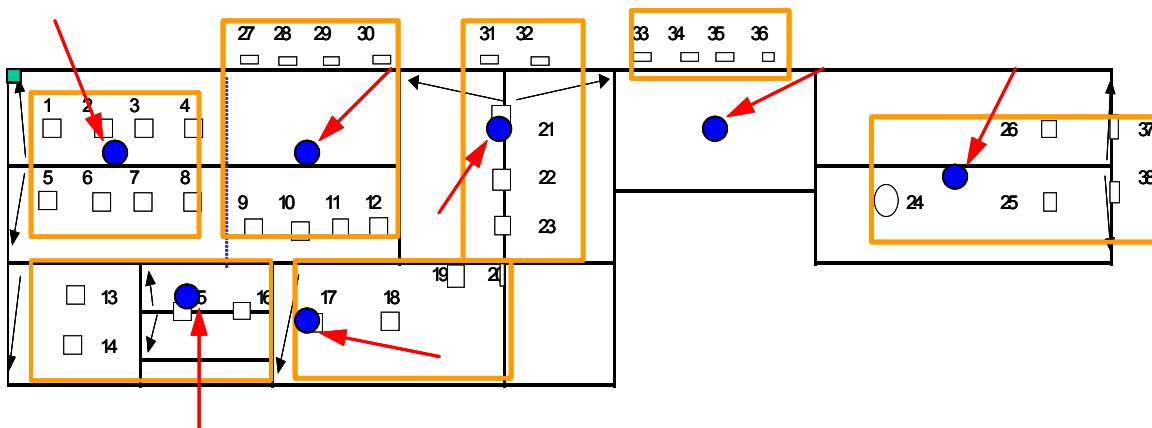
Käytännössä merkittävän turvemäärän lisääminen lietteeseen voi vaikeuttaa lietteen pumppausta ja käsittelyä sikaloissa. Yli 40 %:n lisäys muuttaa nestemäisen lietteen jo kiinteäksi. Sikaloissa saatujen kokemusten mukaan 25 %:n lisäys ei kuitenkaan vielä vaikeuta lietteen käsittelyä, vaan liete on edelleen juoksevaa. Käyttökokemusten perusteella turpeella seostettu lietteen käsittely jopa helpottui (Hantula 2004).



Kuva 27. 40 % ja 60 %:n turvelisäyksen vaikutus sikalalietteen hajupäästöön sekä lietteen pH-arvoon.

9.3 Vähennystekniikoiden vaikutus ympäristössä – poistojen korottaminen ja niputtaminen

Hajunvähennystekniikoiden vaikutusta hajujen leviämiseen tarkasteltiin mallilaskelmien avulla esimerkkitilan 1 tapauksessa, jossa leviämislaskelmat tehtiin kolmelle eri tilanteelle: lietesäiliöiden kattaminen, poistojen yhdistäminen ja korotus sekä kummatkin hajunvähennystekniikat käytössä. Lietesäiliöiden kattaminen mallinnettiin olettaen, että lietesäiliöiden hajupäästö pienenesi 88 %. Tällöin koko tilan hajupäästöt vähenivät 20–48 % (ks. kuva 7). Poistojen yhdistäminen ja korottaminen mallinnettiin yhdistämällä 38 poistoa 7 poistoksi katolle ja korottamalla poistoja noin 1 m (kuva 28).

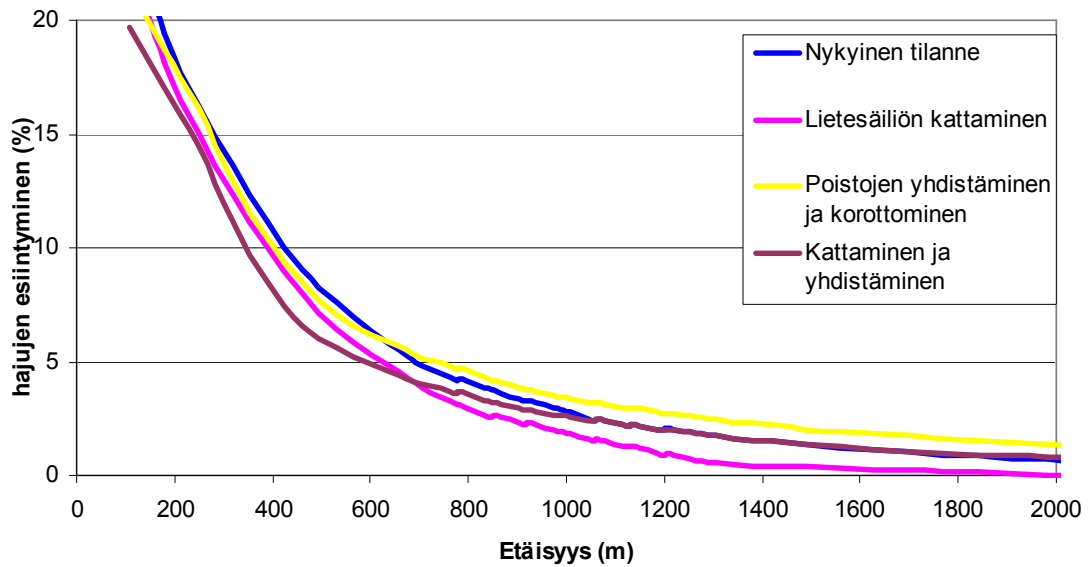


Kuva 28. Esimerkkitalan poistojen niputtaminen.

Kuvissa 29–30 esitellään vähennystekniikoiden vaikutusta selvän hajun esiintymiseen ympäristössä.

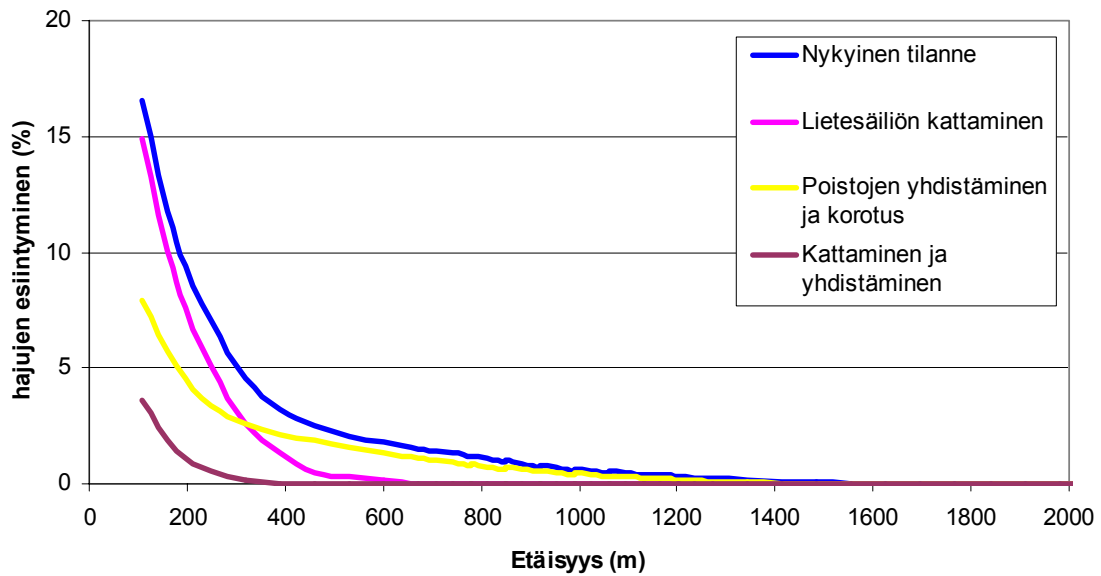
Mallituksen mukaan lietesäiliön kattamisella saavutetaan sekä lyhyt- että pitkäaikaisen hajun suhteen parannusta ympäristön ulkoilmassa. Saavutettava etu riippuu luonnollisesti myös siitä, miten suuri osuus lietesäiliöiden hajupäästöllä on suhteessa tilan kokonaispäästöön. Esimerkkitalan kohdalta voidaan kuvan 29 käyristä arvioida, että säiliöiden kattaminen lyhentää suositeltavaa vähimmäisetäisyyttä noin 200 metrillä.

lyhytaikainen haju (30 s), hajukynnys 5 hy/m³



Kuva 29. Päästöjen vähennystoimenpiteiden vaikutus lyhytaikaisen selvän hajun esiintymiseen ympäristössä.

pitkäaikainen haju (1 h), hajukynnys 5 hy/m³



Kuva 30. Päästöjen vähennystoimenpiteiden vaikutus pitkäaikaisen selvän hajun esiintymiseen ympäristössä.

Poistojen korottamisen ja yhdistämisen vaikutus ei kuitenkaan ole selkeä. Mallin mukaan yhdistäminen ja korottaminen kasvattavat lyhytaikaisen hajun esiintymistä kauempana tilasta. Pitempiaikaisessa hajussa positiivinen vaikutus oli kuitenkin nähtävissä. Poistoilman päästökorkeuden korottamisen on myös muissa tutkimuksissa todettu vaikuttavan lähinnä rakennuksen välittömän lähiympäristön ilmanlaatuun (< 50 m) (Kai ym. 2003).

10. Johtopäätökset

Tutkimukseen valitut esimerkkitalat täyttivät suhteellisen hyvin tutkimuksessa asetetut kriteerit: tuotantomenetelmien, eläinsuojan tuotantotilojen teknisten ratkaisujen ja liete-käsittelyn tuli olla yleisesti sovellettuja Suomessa, ja lisäksi esimerkkitalojen lähiympäristössä ei saanut sijaita muita merkittäviä hajulähteitä. Esimerkkisikalat olivat kahta eri kokoluokkaa, jolloin saatiin kuva tuotannon koon vaikutuksesta hajun leviämiseen. Mittauksissa saatiin kattava tieto eri kasvatusvaiheessa olevien eläinten päästöistä (emakko, karju lihasika, vieroitettu), ja tulokset täydensivät täten hyvin ympäristöministeriön ehdotusta vähimmäisetäisyydeksi. Broileritalat olivat samaa kokoluokkaa, mutta käytetty pehkomateriaali oli erilainen ja rakennustekniikka eri-ikäistä.

Esimerkkisikaloissa tehdyt päästömittaukset osoittivat lietesäiliöiden suuren merkityksen kokonaishajupäästöön. Yhdistelmäskalassa katettu lietesäiliö aiheutti vain 1–17 % (talvi-kesä) tilan kokonaishajupäästöistä. Emakkotilalla taas 24–58 % (talvi-kesä) kokonaishajupäästöistä oli peräisin avoimista lietesäiliöistä. Talvella, lietesäiliön ollessa lumipeiton alla, säiliön päästöt olivat suhteellisesti pienemmät.

Kaikki esimerkkilaitosten rakennuksissa tehdyt mittaukset osoittivat myös selvän eron kesällä ja syksyllä tehtyjen tulosten välillä. Korkeampi ulkolämpötila johti tehostetun ilmanvaihdon kautta suurempiin päästöihin.

Esimerkkilaitosten osastojen poistoista mitatut hajupitoisuudet olivat samaa tasoa kuin muualla saadut mittaustulokset. Erityisesti sikaeläinkohtaiset hajupäästöt olivat kuitenkin kautta linjan korkeita muissa maissa raportoituihin tietoihin verrattuina. Esimerkkilaitoksilla toteutunut ilmanvaihtoteho ja suhteellisen alhainen eläintiheys osassa osastoja ovat todennäköisiä syitä tähän eroon. Eläinpaikkakohtaisesti lasketut päästöt ovat yhdenmukaisempia muualla raportoitujen tulosten kanssa. Ilmanvaihdon ja hajupäästön välillä ilmeni selkeä korrelaatio. Ilmanvaihdon optimoinnilla (ohjaus, poistojen ja sisäänvaihdoaukkojen sijainnit jne.) on mahdollista vähentää tarvittavaa ilmamäärää ja samalla haisevan poistoilman virtaa.

Viihtyisyyshaittatuloksista ilmeni lietteen ja jätteiden merkitys kotieläintuotannosta aiheutuvassa hajuhaitassa. Tämän mukaan ympäristön hajuhaitta on tehokkaasti vähennettävissä peittämällä lantavarastot ja kehittämällä lannan käsittely- ja levitystekniikkaa. Lietesäiliön kevyt kate vähesi tehokkaasti säiliöistä haihtuvaa hajua, ja myös luonnollinen kuorettuma lietteen pinnalla esti tehokkaasti hajuyhdisteiden haihtumista. Vetisen sikalalietteen pinnalle ei tosin normaaleissa olosuhteissa helposti muodostu kuorta.

Sekoittamalla turvetta lietteeseen vähennetään tehokkaasti lietteestä haihtuvaa ammoniakkia ja hajua. Mainittavan vaikutuksen aikaansaaminen edellyttäneekin merkit-

tävää turvemäärää. Tehdyssä tutkimuksessa aikaansaatiin hyvin merkittävä vähennys 40 %:n turvelisäyksellä. Suullisen käytännön kokemuksen mukaan myös 25 %:n turvelisäyksellä on hajua vähentävä vaikutus.

Poistojen korottamisen ja yhdistämisen positiivista vaikutusta ei voitu selkeästi osoittaa. Mallilaskelmien mukaan yhdistäminen ja korottaminen voivat jopa kasvattaa lyhytaikaisen hajun esiintymistä kauempana tilasta. Poistojen korottamisen vaikutuksesta ei kuitenkaan voida tutkimuksen tulosten perusteella esittää yleisiä johtopäätöksiä, vaan vaikutukset tulisi tutkia ja päätökset tehdä tapauskohtaisesti. Luonnollisesti riittävä poistojen korottaminen (esim. kymmenien metrien korkeuteen) pienentää hajukuormaa myös kauempana päästölähteistä.

Viihtyisyyshaittatutkimusten mukaan broilerikasvatuksen hajua on huomattavasti hyväksyttävämpi kuin sikalahaju. Samantasoinen hajukuorma aiheutti ympäristössä hyvin erilaiset reaktiot. Sikalahajun kriittiseksi hajukuormaksi saatiin 1 % selvän, lyhytaikaisen hajun esiintymistiheys, kun taas broileritilojen ympäristössä ei todettu rakennusten jatkuvista päästöistä aiheutuvaa merkittävää viihtyisyyshaittaa. Selkeän hajun esiintyminen yli 2–4 % kokonaisajasta näyttää ylittävän broilerikasvatuksen hajun haitattoman tason. Broileritiloilla tapahtuva optimoimaton lannanpoltto voi kuitenkin aiheuttaa merkittävää viihtyisyyshaittaa ympäristössä.

Tutkimustulosten mukaan suuren emakkosikalan vaikutusalue oli merkittävä, ja se ulottui kilometrin etäisyydelle asti. Arvioinnissa tulee huomata, että kyseisellä esimerkkitalalla ei ollut toteutettu merkittäviä päästöjä vähentäviä toimia. Avoimet lietesäiliöt ja suuri ilmanvaihto kasvattavat tilan päästöjä. Päästömittausten ja viihtyisyyshaittatutkimuksen tuloksia voidaan tässä pitää eräänlaisena hajun maksimiarvona. Tulokset keski-kokoisen esimerkkisikalan vaikutusalueesta olivat taas samansuuntaiset kuin ympäristöministeriön ehdotus ja Keski-Euroopassa sovelletut vähimmäisetäisyysohjeet olivat.

Viihtyisyyshaittakyselyjen palautteet nousivat keskimäärin 60 prosenttiin, mikä on tämän tyyppisessä tutkimuksessa kiitettävä tulos. Ongelmana olivat kuitenkin harvaan asutut ympäristöt, joten palautteiden lukumäärä ei ollut suuri. Erityisesti broileritilojen ympäristön tuloksia tulee pitää indikaattorisina ja tulokset varmistaa lisäselvityksillä esimerkiksi muiden broileritilojen ympäristössä.

Tutkimuksen resurssien puitteissa tuotettiin uutta tietoa eläinsuojien hajupäästöistä ja hajupäästöihin vaikuttavista tekijöistä. Esimerkkilaitosten ympäristössä suoritettujen kyselytutkimukset antoivat tietoa laitoksen ympäristöön kohdistuvan hajukuorman vaikutuksesta. Harvaan asuttu maaseutu vaikeuttaa haittatutkimusten kattavan tiedon keräämistä.

Hajun haittavaikutustietojen laaja yleistäminen edellyttäisi laajemman kyselytutkimuksen tuloksia.

Tehtyjen mittausten sekä soveltavien hajuhaitan hyväksyttävyyssrajojen perusteella arvioitiin sikaloiden ja broileritilojen vähimmäisetäisyys eläinpaikan mukaan. Vähimmäisetäisyys ehdotusten pohjana oli ympäristöministeriön vuonna 2001 esittämä ehdotus.

Tutkimuksessa tuotettua aineistoa ja kehitettyjä leviämismallinnusmenetelmiä on helppo hyödyntää myöhemmin hajukuorman arvioinneissa esim. ympäristöluvituksen yhteydessä, kun suunnitellaan uusia kotieläinyksiköitä tai kun vertaillaan erilaisten hajua vähentävien toimenpiteiden tehokkuutta ympäristön hajukuorman pienentämisessä. Menetelmillä voidaan arvioida myös nykyisten kotieläinyksiköiden hajukuormaa maankäytön suunnittelussa tai esimerkiksi kaavoitettaessa uusia kotieläinyksiköitä.

11. Jatkosuosituksset

Tutkimusta tulisi täydentää muualla sijaitsevien tilojen ympäristössä tehdyillä kyselytutkimuksilla. Kattava tieto ympäristön asukkaiden haittareaktiosta voidaan yhdistää tässä tutkimuksessa tuotettuihin hajupäästö- ja leviämistietoihin ja saada siten arvio hajujuuhkan dimensioista tarkasteltavissa kohteissa. Täydentämällä tutkimusta muutamalla epidemiologisella tutkimuksella varmistetaan tutkimuksen tulokset hajun haittavaikutuksista, jotka broilerikasvatuksen ja ison emakkotilan kohdalta poikkesivat muualla tehdyistä arvioista.

Viihtyisyyshaittaa olisi erityisesti tutkittava muutamissa tämän tutkimuksen esimerkkitaloja suurempien broilerikasvatustilojen ($\geq 70\,000$ lintua) ympäristöissä sekä vastarakennettujen ilmanvaihdoltaan optimoitujen suursikaloiden ympäristöissä. Ympäristöministeriön etäisyysohjeistus nautatiloille tulisi tarkistaa vastaavin menetelmin. Naudan eläinyksikkökerroin on yli kuusinkertainen lihasikaan verrattuna. Nautatilojen hajupäästöjä pidetään kuitenkin lievempinä kuin sikaloiden. Tutkittua tietoa nautatilojen hajupäästöistä on hyvin niukasti saatavana.

Edelleen tutkimusta tulisi täydentää suojaetäisyyskäyrästä tarkemmalla analysoinnilla. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin ainoastaan kahta sikalaa ja kahta broileritilaa eli verrattiin suojaetäisyyskäyrästä vähimmäisetäisyyksiä ainoastaan muutamaa eläinyksikkömäärällä tutkimuksessa tuotettuihin kokeellisiin aineistoihin. Tutkimuksessa kehitetyt menetelmät olisivat suhteellisen helposti käytettävissä niin, että leviämismallilaskelmin tarkasteltaisiin esimerkiksi emakkosikaloiden osalta hajukuormaa eri emakkomäärillä. Näin varmennettaisiin, onko suojaetäisyyskäyrästä muoto oikein.

Lähdeluettelo

Arnold, M. 2002. Eläinsuojien hajuhaitat – ohjeistusmallit, arviointi ja vähentäminen sekä käytäntö eri maissa. Alueelliset ympäristöjulkaisut 264. Vaasa: Länsi-Suomen ympäristökeskus. 88 s.

Arnold, M. 1995. Hajuoehjeurvojen perusteet. VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1711. Espoo: VTT. 83 s. + liitt. 14 s.

van Broeck, G., van Langehove, H. & Nieuwejaers, B. 2001. Recent odour regulation developments in Flanders: ambient odour quality standards based on dose-response relationships. Teoksessa: Jiang, J. (toim.). 1st IWA International Conference on odour and VOCs: Measurement, regulation and control techniques. Sydney: UNSW Publishing and Printing Services. S. 187–195.

Brose, G., Hartung, B. & Jungbluth, T. 2002. Dynamics of odour release from a pig stall – Part 2. Agrartechnische Forschung, vol. 8, s. E38–E46.

Demmers, T. G. M., Burgess, L. R., Short, J. L., Phillips, V. R., Clark, J. A. & Wathes, C. M. 1999. Ammonia Emissions From Two Mechanically Ventilated UK Livestock Buildings. Atmospheric Environment, vol. 33, s. 217–227.

Guinand, N. & Granier, R. 2001. Comparaison caillebotis partiel et caillebotis integral en engraissement. Effects sur les performance zootechniques et sur l’emission d’ammoniac. Englanninkielinen abstrakti: Experiment to Study the Effects of Partially or Totally Slatted floor During the Growing/Finishing Period on Growth Performance and Ammonia Emissions. Journees de Rech. Parcine en France, vol. 33, s. 31–36.

Hangartner, M. 1988. Bewertung von Geruchsbelastigungen. Staub – Reinhalt. Luft, vol. 48, nro 2, s. 81–85.

Hantula, L. 2004. Suullinen tiedonanto, Seinäjoki.

Hartung, E., Martinec, M., Lais, S. & Jungbluth, T. 1998. Testing measures to improve the ammonia reduction of bioscrubbers. Eur Ag Eng Paper No. 98-E-008, AgEng98. Oslo, Norway.

Hayes, E., Leek, A. B., Curran, T., Dodd, W., Carton, B. & Beatty, O. 2004. The influence of diet crude protein level on odour and ammonia emissions from finishing pig houses. Bioresource Technology, vol. 91, nro 3, s. 309–315.

Hendriks, J., Andries, A., Saevels, P., Leribaux, S., Vranken, E., Vinckier, C., Berckmans, D., de Bruyn, G., Baron, M. & van Langenhove, H. 2001. Ontwikkeling van een eenvoudige procedure voor debepaling van geur- en ammoniakemissies van agrarische constructies ten behoeve van een aangepaste milieureglementering in Vlaanderen Deel 1: Ammoniak- en geuremissies door de veeteelt – bronnen en Reductietechnieken. Saatavana: <http://allserv.rug.ac.be/~pdewisp/gert.html>.

Hoff, S. J., Hornbuckle, K. C., Thorne, P. S., Bundy, D. S. & O'Shaughnessy, P. T. 2002. Chapter 4. Emissions and Community Exposures from CAFOs. Teoksessa: Concentrated Animal Feeding Operations Air Quality Study. Iowa: Iowa State University and The University of Iowa Study Group. S. 45–85. Saatavana: http://www.public-health.uiowa.edu/ehsrc/CAFOstudy/CAFO_finalChap_4.pdf. Luettu 24.11.2004.

Hügler, T. & Andree, H. 2001. Temperature and Odour Emissions from Liquid Manure. Landtechnik, vol. 56, s. 36–37.

Jiang, J. (toim.). 2001. 1st IWA International Conference on odour and VOCs: Measurement, regulation and control techniques. Sydney: UNSW Publishing and Printing Services.

Kai, P., Ellermann, T., Mikkelsen, T., Løfstrøm, P. & Jørgensen, H. 2003. Effect of Stack Height on Close Range Dispersion of Exhaust Air From Pig Houses. Livestock Production and Emission of Volatile Gases. International Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities. Horsens, Tanska 1.–4.6.2003. S. 264–272.

Koerkamp, P. W. G., Metz, J. H. M., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P., Hartung, J., Seedorf, J., Schröder, M., Linkert, K. H., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J. O. & Wathes, C. M. 1998. Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. J. agric. Engng. Res., vol. 70, s. 79–95.

Köster, E., Punter, P., Maiwald, K., Blaauwbroek, J. & Schaefer, J. 1986. Direct Scaling of odour annoyance by population panels. VDI-Berichte 561. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure. S. 299–321.

van Langenhove, H. & de Bruyn, G. 2001. Development of a procedure to determine odour emissions from animal farming for regulatory purposes in Flanders. Teoksessa: Jiang, J. (toim.). 1st IWA International Conference on odour and VOCs: Measurement,

regulation and control techniques. Sydney: UNSW Publishing and Printing Services. S. 409–416.

Lyngbye, M. & Pedersen, P. 2003 Kongrestema: Boom i lugtmålinger. DS-nyt nr. 9/2003, Danske slakterier Bladet DS-nyt nr. 9/2003. Saatavana: <http://www.danskeslagterier.dk>.

Mikkola, H., Puumala, M., Kallioniemi, M., Grönroos, J., Nikander, A. & Holma, M. 2002. Paras käytettävissä oleva tekniikka kotieläintaloudessa. Suomen ympäristö 564. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 166 s.
Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy564/sy564.htm>.

Mol, G. & Ogink, N. 2002. Geuremissies uit de veehouderij II. IMAG rapport 2002-09. 63 s.

Ni, J., Heber, A. J., Lim, T. T., Ravikrishna, D., Haymore, B. L., Diehl, C. A. & Sutton, A. 1998. Ammonia Emissions from a Large Mechanically-Ventilated Swine Building During Warm Weather. An ASAE Meeting Presentation paper no. 984051. Saatavana: <http://pasture.ecn.purdue.edu/~jiqin/Publications/Ni1998ASAE984051NH3.pdf>. Luettu 24.11.2004.

Ni, J. Q., Vinckier, C., Coenegrachts, J. & Hendriks, J. 1999. Effect of Manure on Ammonia Emission from a fattening Pig House with partly Slatted Floor. Livestock production science, vol. 59, s. 25–31.

Nicell, J. 1994. Development of the odour impact model as a regulatory strategy. Int. Environ. Pollut., vol. 4, s. 124–138.

Ogink, N. & Groot Koerkamp, P. 2001. Comparison of odour emissions from animal housing systems with low ammonia emissions. Teoksessa: Jiang, J. (toim.). 1st IWA International Conference on odour and VOCs: Measurement, regulation and control techniques. Sydney: UNSW Publishing and Printing Services. S. 479–488.

Puumala, M. & Grönroos, J. (toim.). 2004. Kotieläintalouden ympäristökuormituksen vähentäminen. Toimenpiteiden kustannukset ja toimivuus. Suomen Ympäristö 708. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 151 s. Saatavana: www.ymparisto.fi/julkaisut.

Rantakrans, E. & Savunen, T. 1995. Hajuyhdisteiden leviämisen arviointi. Ilman-suojelun julkaisuja 21. Helsinki: Ilmatieteen laitos. 70 s.

Robertson, A., Hoxey R., Demmers, G., Welch, K., Sneath, R., Stacey, K., Fothergill, A., Filmer, D. & Fisher, C. 2002. Commercial scale studies of the effect of broiler protein intake on aerial pollutant emissions. *Biosystems Engineering*, vol. 82, nro 2, s. 217–225.

Sands, J. & Jiang, J. 1998. *Repost on odour emissions from poultry farms in Western Australia*. Centre for Water and Waste Technology. Australia: University of New South Wales.

Schmidlin, A. 2001. *FAT TÄNIKON SWITZERLAND*. Suullinen tiedonanto.

Sucker, K., Both, R. & Winneke, G. 2001 Adverse effects of environmental odours: Reviewing studies on annoyance responses and symptom reporting. Teoksessa: Jiang, J. (toim.). *1st IWA International Conference on odour and VOCs: Measurement, regulation and control techniques*. Sydney: UNSW Publishing and Printing Services. S. 77–87.

SFS-EN. 2003. *Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry*. SFS-EN13725.

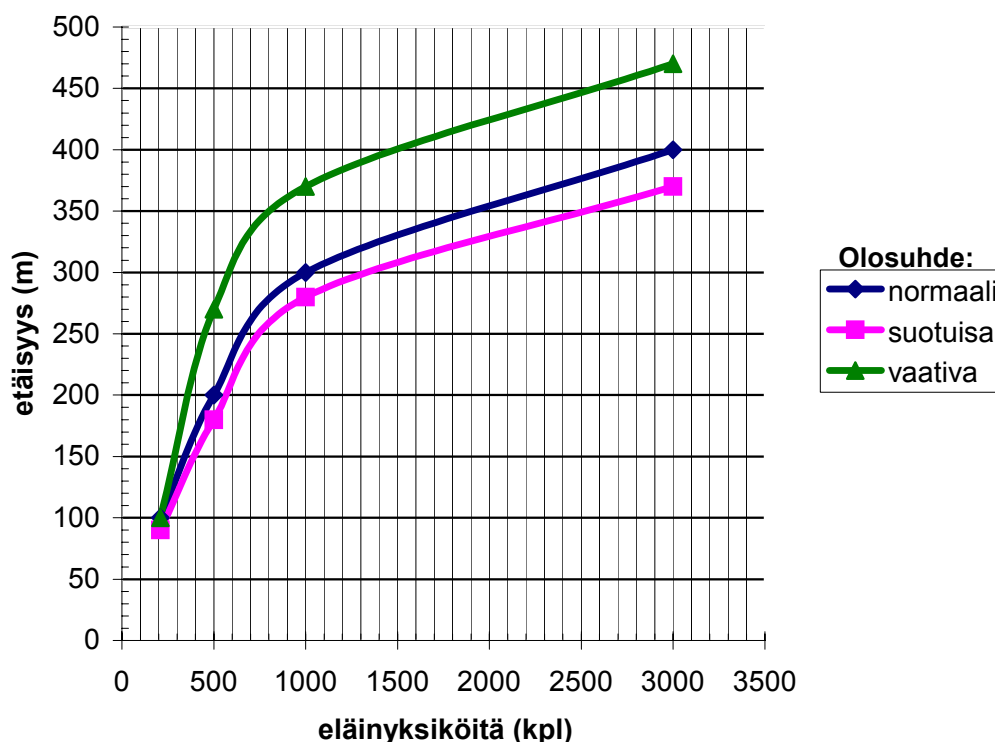
VDI. 1997. *Effects and assessment of odours. Psychometric assessment of odour annoyance questionnaires*. VDI Richtlinie 3883 Part 1. Düsseldorf: Beuth Verlag (German/English).

VDI-DIN KRDL. 2004. *Environmental Odour Management*. International Conference Cologne, 17–19.11.2004. VDI Berichte 1850. 578 s.

Ympäristöministeriö. 2001. *Ehdotus kotieläinsuojien ympäristölupamenettelyjen selkeyttämiseksi*. Pikasikatyöryhmän raportti. Helsinki: Ympäristöministeriö. 22 s. + 7 liit.

Liite 1: Suomen ympäristöministeriön ehdotus kotieläinsuojien ympäristölupamenettelyjen selkeyttämiseksi

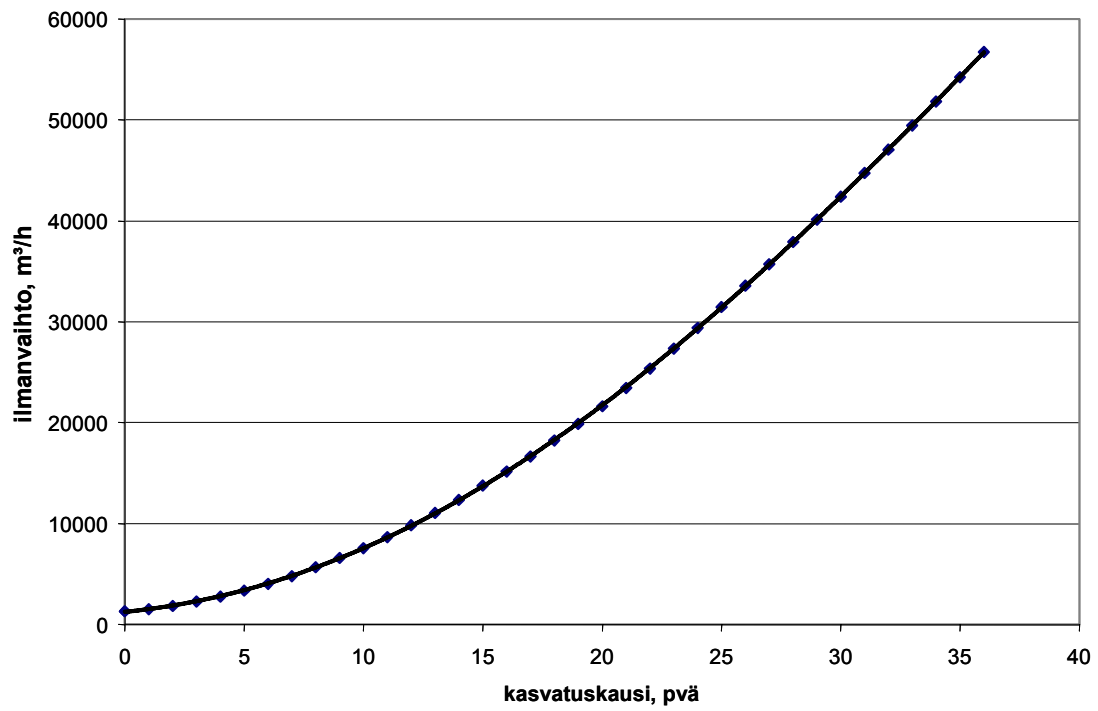
Uusien, talouskeskusten ulkopuolelle rakennettavien kotieläinsuojien vähimmäisetäisyysuositukset häiriintyvistä kohteesta



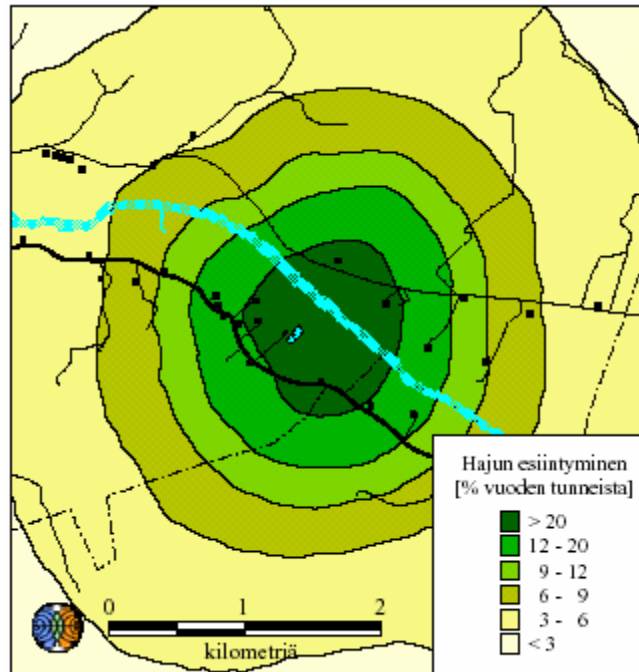
Eläinyksikkökertoimia:

Lypsylehmä	6,8
Sonni > 2 v	3,4
Vasikka < 6 kk	0,6
Hevonen > 2 v	4,8
Lihasila	1,0
Emakko porsaineen	3,4
Karju	1,0
Joutilas emakko ydinsikalassa	1,0
Vieroitettu porsas	0,4
Broileri	0,02
Kana	0,08
Siitosnaarasminikki	0,4
Siitosnaaraskettu	1,2

Liite 2: 31 000 linnun osaston ilmanvaihdon ohjaus

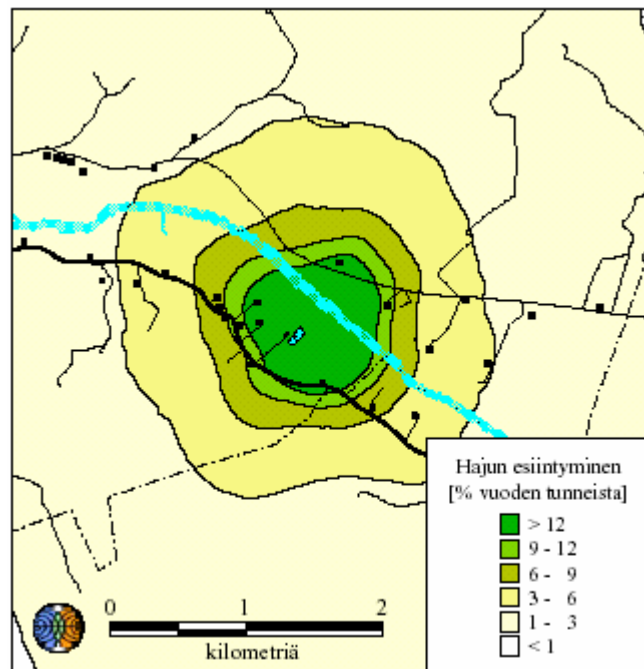


Liite 3: Esimerkkitalan 1 (emakkosikala) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. 50 % ihmisistä aistii hajua (hajukynnys 1 hy/m³)



Ilmatieteen laitos 2004

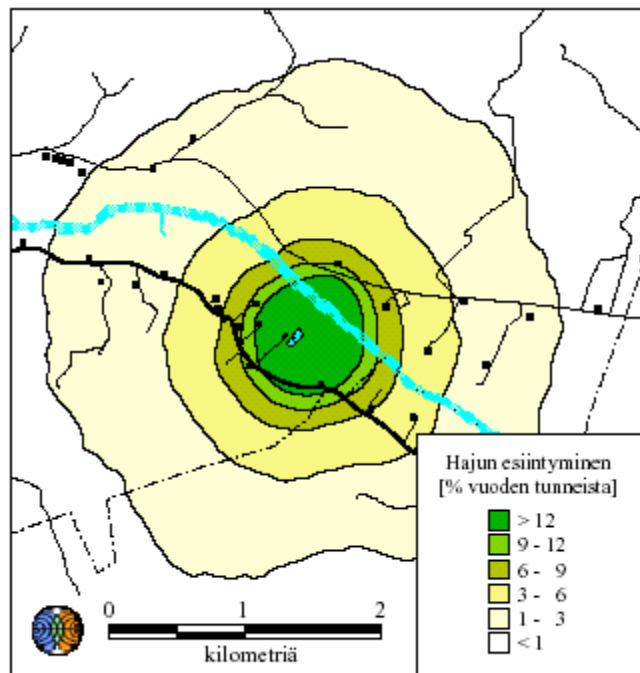
■ - päästölähte



Ilmatieteen laitos 2004

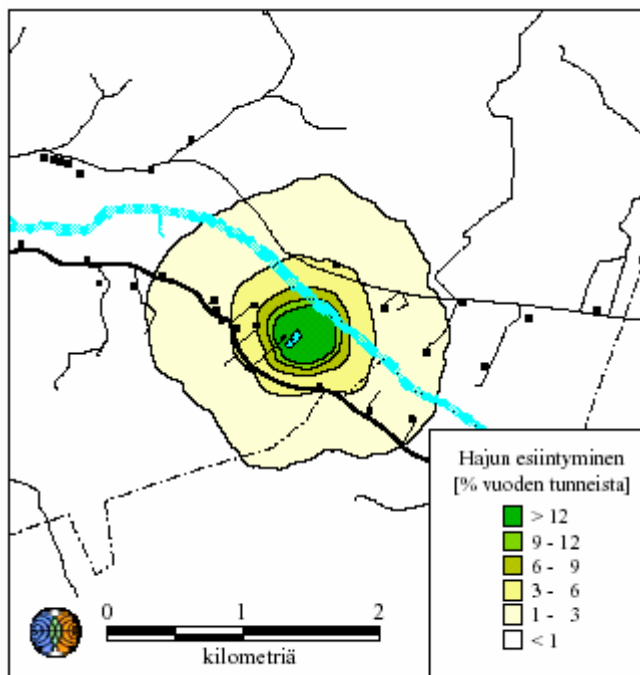
■ - päästölähte

Liite 4: Esimerkkitalan 1 (emakkosikala) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. Melko voimakas tunnistettavissa oleva haju (hajukynnys 5 hy/m³)



Ilmatieteen laitos 2004

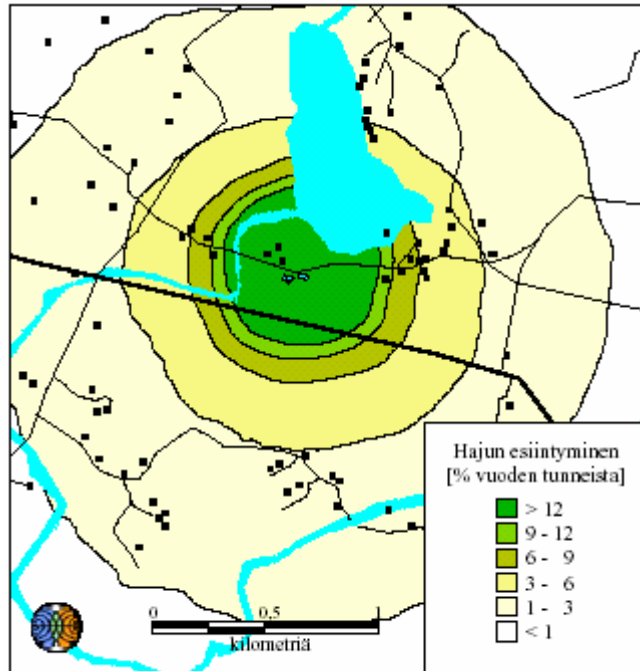
■ – päästölähte



Ilmatieteen laitos 2004

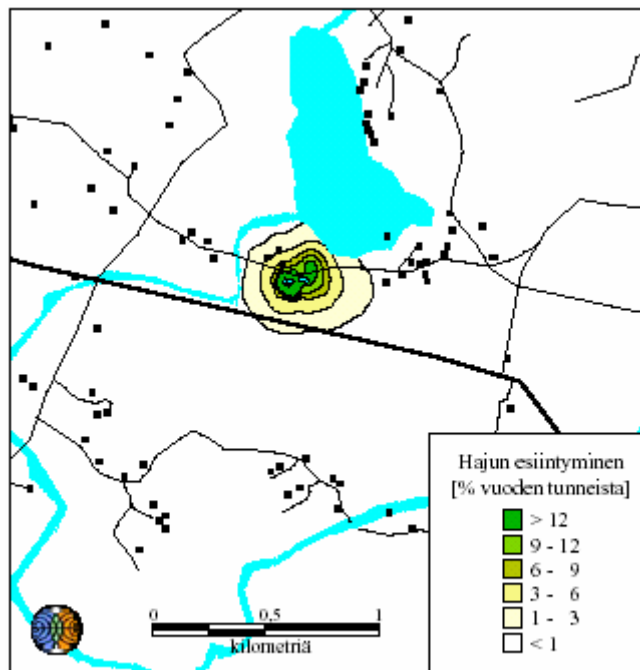
■ – päästölähte

Liite 5: Esimerkkitalan 2 (yhdistelmäsikala) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunteista. 50 % ihmisistä aistii hajua (hajukynnys 1 hy/m³)



Ilmatieteen laitos 2004

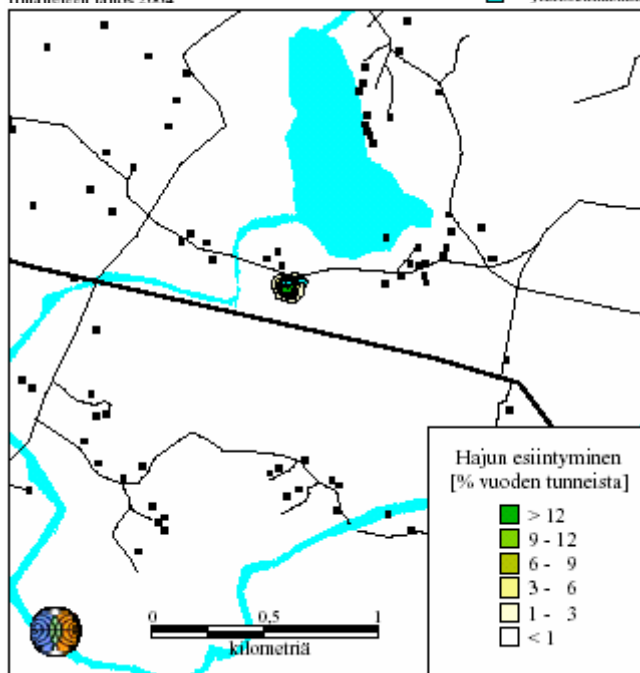
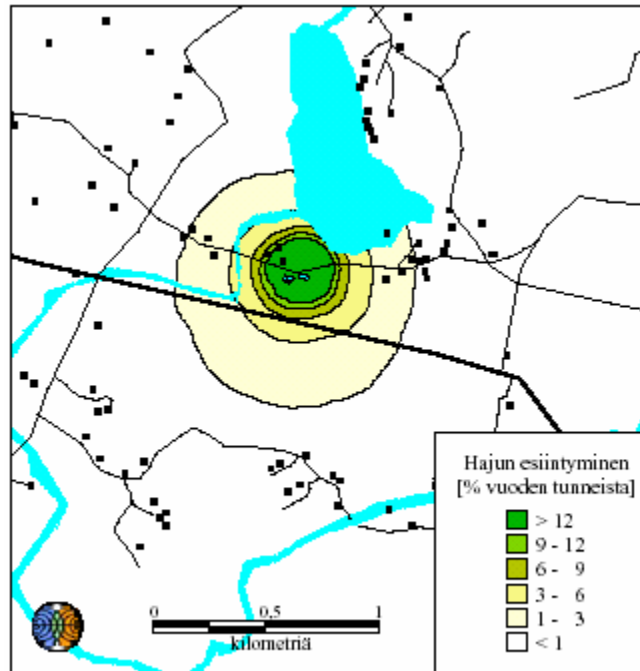
■ = yhdistelmäsikala



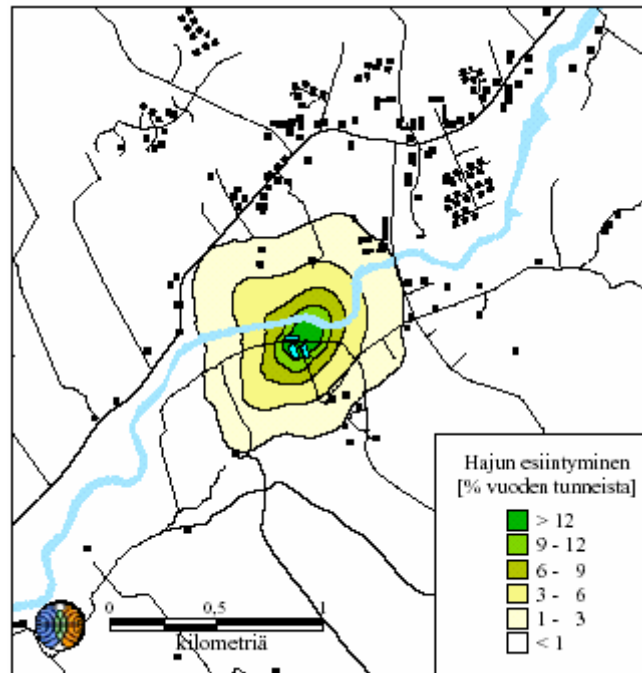
Ilmatieteen laitos 2004

■ = yhdistelmäsikala

Liite 6: Esimerkkitalan 2 (yhdistelmäsikala) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunteista. Melko voimakas tunnistettavissa oleva haju (hajukynnys 5 hy/m³)

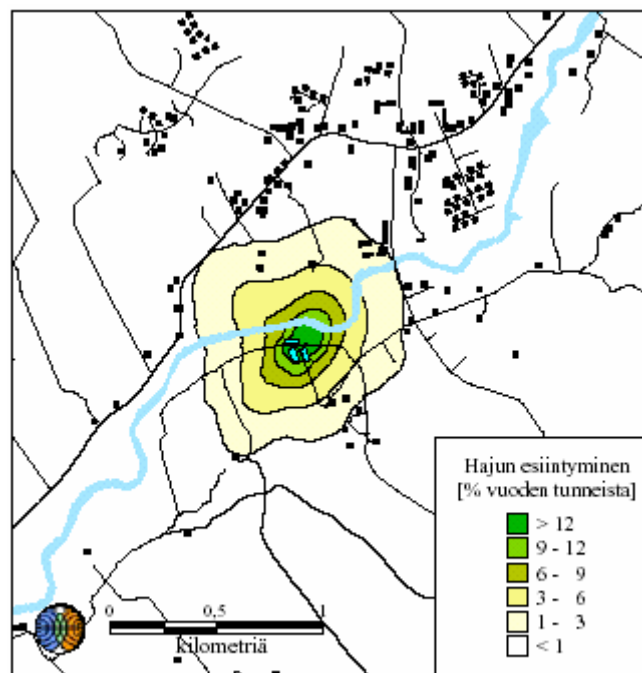


Liite 7: Esimerkkitalan 3 (broileritila, turvepohja) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. 50 % ihmisistä aistii hajua (hajukynnys 1 hy/m³)



Ilmatieteen laitos 2004

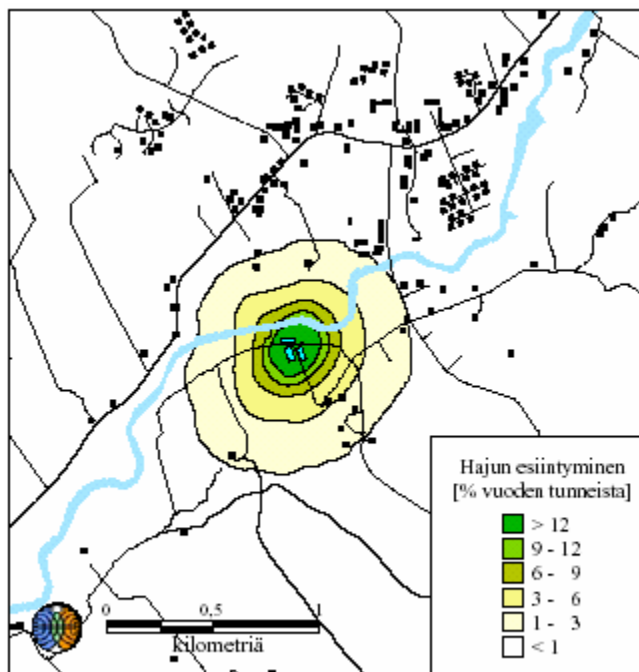
■ = päästölähte



Ilmatieteen laitos 2004

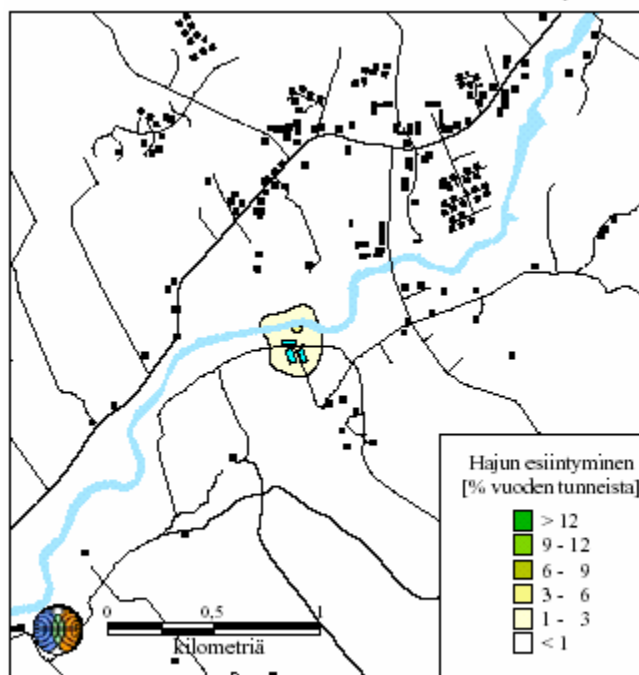
■ = päästölähte

Liite 8: Esimerkkitylän 3 (broileritylän, turvepohja) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. Melko voimakas tunnistettavissa oleva hajukynnys (5 hy/m^3)



Ilmatieteen laitos 2004

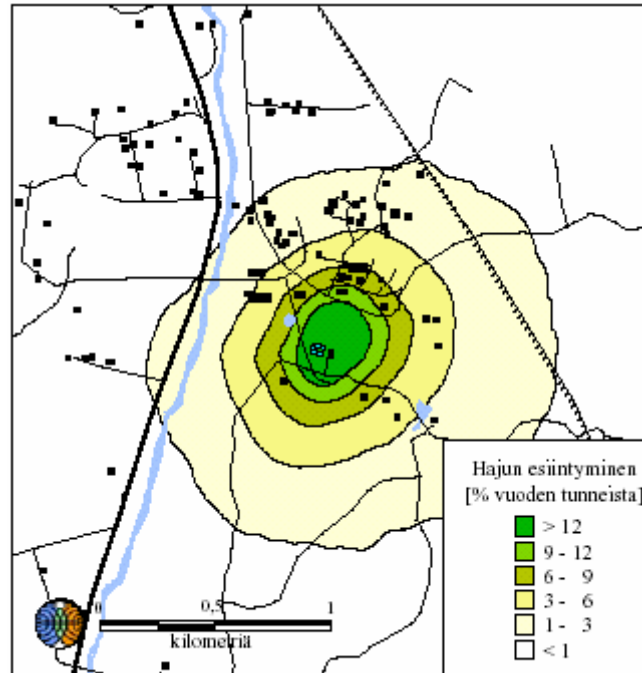
■ - päästölähtö



Ilmatieteen laitos 2004

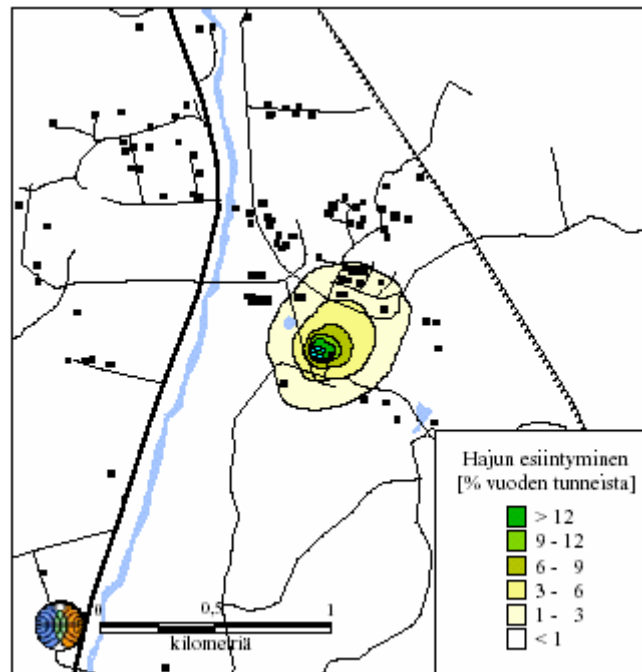
■ - päästölähtö

Liite 9: Esimerkkitalan 4 (broileritila, kutteripohja) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintyminen prosentteina vuoden tunneista. 50 % ihmisistä aistii hajua (hajukynnys 1 hy/m³)



Ilmatieteen laitos 2004

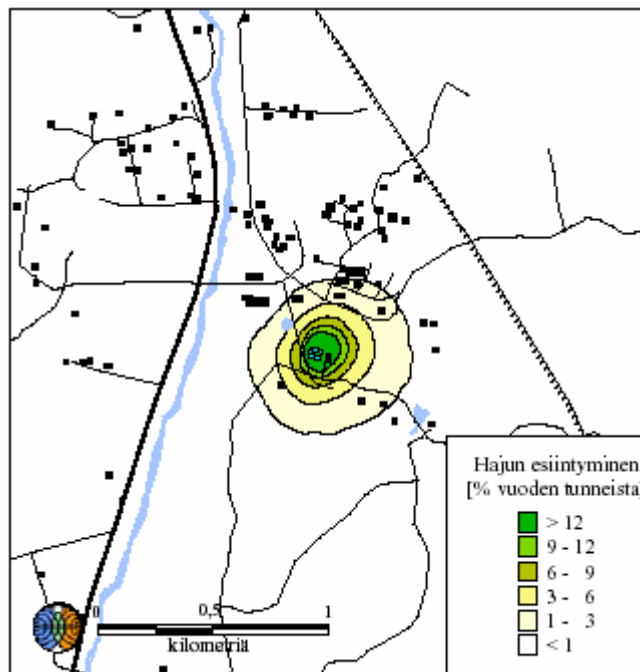
■ - päästölähte



Ilmatieteen laitos 2004

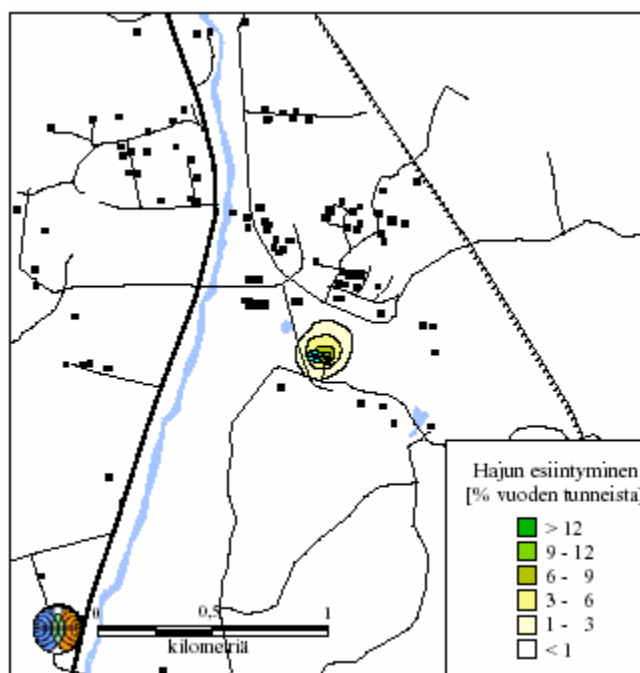
■ - päästölähte

Liite 10: Esimerkkitilan 4 (broileritilan, kutteripohja) aiheuttaman lyhytaikaisen 30 s (yllä) ja pitkäaikaisen 1 h (alla) hajun esiintymisen prosentteina vuoden tunneista. Melko voimakas tunnistettavissa oleva haju (hajukynnys 5 hy/m³)



Ilmatieteen laitos 2004

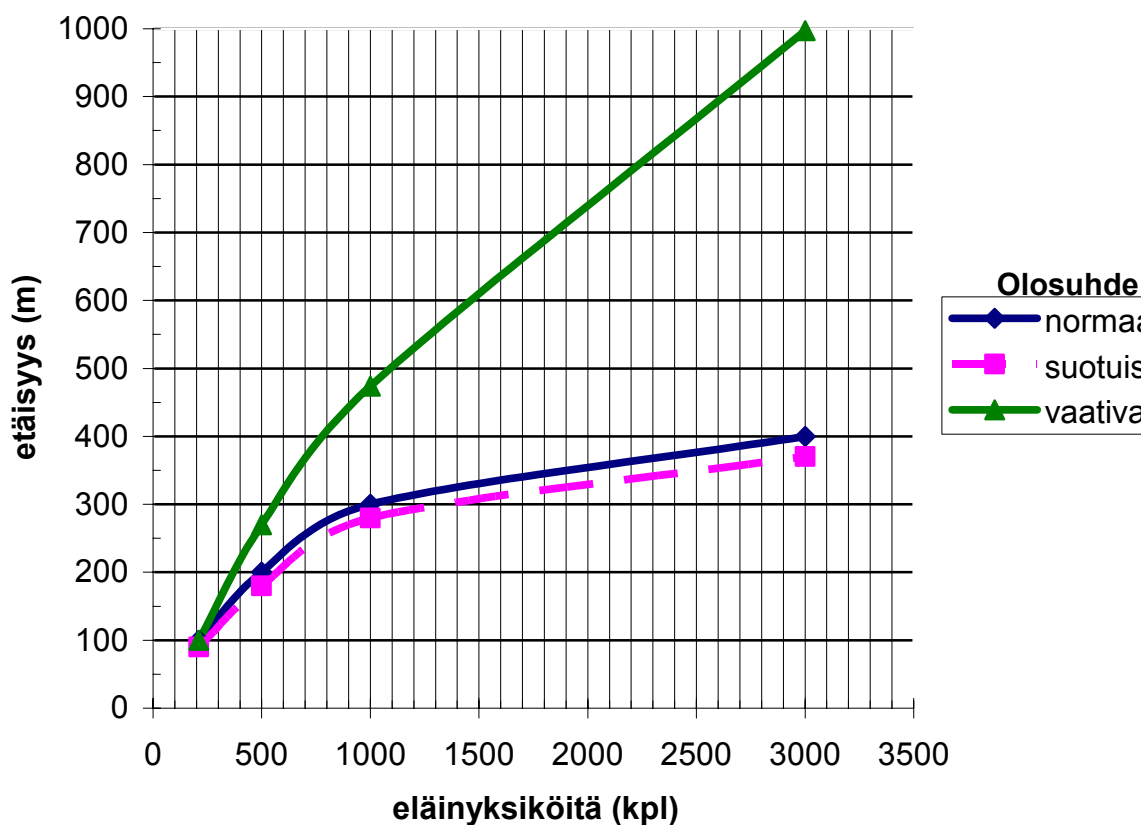
■ = päästölähte



Ilmatieteen laitos 2004

■ = päästölähte

Liite 11: Mittausdatan perusteella muokattu sikaloiden vähimmäisetäisyys ehdotus häiriintyvistä kohteista

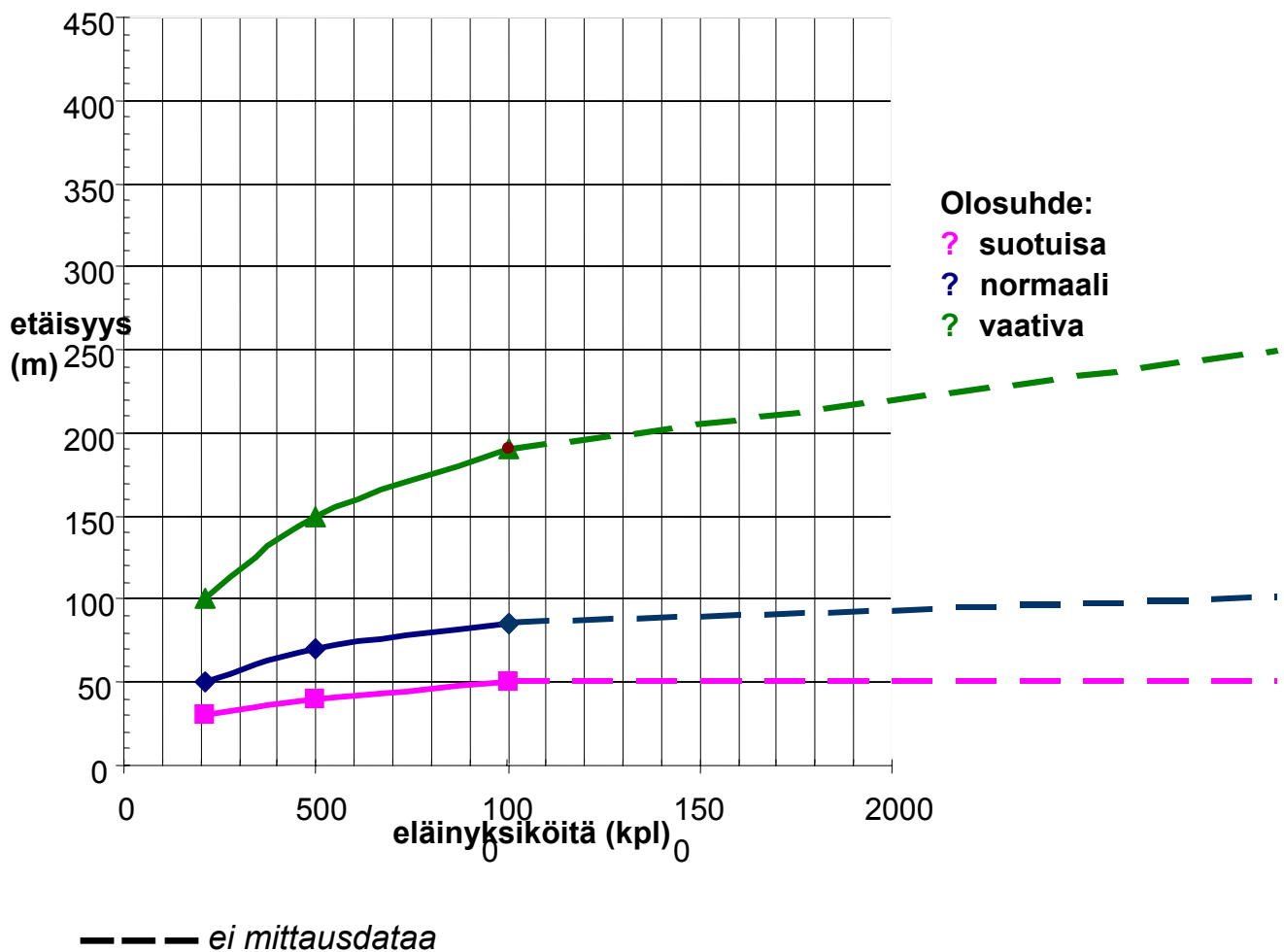


* Ei mittausdataa, ympäristöministeriön arvio.

Eläinyksikkökertoimia:

Lihasika	1,0
Emakko porsaineen	2,4
Karju	4,8
Joutilas emakko ydinsikalassa	0,8
Vieroitettu porsas	0,24

Liite 12: Mittausdatan perusteella muokattu broilerti- tilojen vähimmäisetäisysehdotus häiriintyvstä kohteesta



Eläinyksikkökertoimia:

broileri 0,01

Tekijä(t) Arnold, Mona, Kuusisto, Sari, Wellman, Kari, Kajolinna, Tuula, Räsänen, Jaakko, Sipilä, Jorma, Puumala, Maarit, Sorvala, Sanna, Pietarila, Harri & Puputti, Katja			
Nimeke Hajuhaitan vähentäminen maatalouden suurissa eläintuotantoyksiköissä			
Tiivistelmä Suomen maatalouden aiheuttamaa hajukuormaa, hajupäästöihin vaikuttavia tekijöitä sekä hajun aiheuttamaa viihtyisyshaittaa tutkittiin esimerkkimaatilojen avulla. Emakko- ja yhdistelmäsikalan sekä kahden broilerikasvattamon eläinsuojien hajupäästöt mitattiin kesä- ja talviolosuhteissa ja hajupäästöjen leviäminen arvioitiin leviämismallinnuksen avulla. Ympäristön asukkaiden kokemaa viihtyisyshaittaa tutkittiin asukaskyselyillä. Hajun leviämisen ja viihtyisyshaittatulosten perusteella määritettiin vähimmäisetäisyydet eläinsuojan ja asutuksen välille, mikä on kotieläintuotannossa eniten käytetty tapa estää viihtyisyshaitta. Lisäksi selvitettiin eräiden yksinkertaisten ja edullisten hajunvähentämistekniikoiden tehokkuus. Tehtyjen mittausten sekä soveltavien hajuhaitan hyväksyttävyyssrajojen perusteella oli mahdollista arvioida sikaloiden ja broileritilojen vähimmäisetäisyys eläinpaikan mukaan. Broileri- ja emakkokasvatuksen suhteen tulokset poikkesivat merkittävästi ympäristöministeriön laatimasta suosituksesta vähimmäisetäisyyksiksi. Esimerkkituloista ison emakkosikalan hajuhaitta ulottui yli kilometrin etäisyydelle. Tilalla ei ollut toteutettu mainittavia päästöjä vähentäviä toimia. Keskkokoisen sikalan hajuhaitta ulottui noin 300 metrin etäisyydelle. Asukaskyselytulokset eivät osoittaneet, että broileritilojen ympäristössä esiintyisi merkittävää hajuhaittaa. Päästömittaukset osoittivat avoimien lietesäiliöiden suuren merkityksen kokonaishajupäästöstä. Kattamalla lietesäiliö voidaan täten merkittävästi vähentää tilan hajuhaittaa. Lietesäiliön kevyt kate, esimerkiksi EPS-rouhe tai luonnollinen kuoretuma, vähentää tehokkaasti säiliöstä haihtuvaa hajua. Myös lietteeseen lisätty turve vähentää hajua. Merkittävä vaikutus edellyttää noin 40 % lisäyksen. Ilmapoistojen korottamisen ja yhdistämisen positiivista vaikutusta ei voitu selkeästi osoittaa. Ilmanvaihdon ja hajupäästön välillä ilmeni selvä korrelaatio, joten ilmanvaihdon optimoinnilla on mahdollista vähentää tarvittavaa ilmamäärää ja samalla haisevan poistoilman virtaa. Tutkimuksessa tuotettua aineistoa ja kehitettyjä leviämismallinnusmenetelmiä voidaan hyödyntää myöhemmin hajukuorman arvioinneissa esim. ympäristöluvituksen yhteydessä, kun suunnitellaan uusia kotieläinyksiköitä tai kun vertaillaan erilaisten hajua vähentävien toimenpiteiden tehokkuutta ympäristön hajukuorman pienentämisessä. Menetelmillä voidaan arvioida myös nykyisten kotieläinyksiköiden hajukuormaa maankäytön suunnittelussa tai esimerkiksi kaavoitettaessa uusia kotieläinyksiköitä.			
Avainsanat emissions, odour annoyance, livestock farming, pig farms, poultry farms, agriculture, odour reduction, measurement, modelling, slurry storage			
Yhteystiedot VTT, Biologinkuja 7, PL 1000, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6764-1 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinumero C5SU01076	
Julkaisuaika Tammikuu 2006	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 74 s. + liitt. 12 s.	Hinta
Projektin nimi Hajuhaitan vähentäminen maatalouden suurissa eläintuotantoyksiköissä (HAJURAKO)		Toimeksiantaja(t) maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö, Vapo Oy, Suomen Broileryhdistys ry, MTT Maatalous- tekniikan tutkimus, Ilmatieteen laitos, VTT	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Myynti: VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Published by



Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2323
VTT-TIED-2323

Author(s) Arnold, Mona, Kuusisto, Sari, Wellman, Kari, Kajolinna, Tuula, Räsänen, Jaakko, Sipilä, Jorma, Puumala, Maarit, Sorvala, Sanna, Pietarila, Harri & Puputti, Katja			
Title Reducing odour annoyance from livestock farming			
Abstract This study aims to meet the demand for scientifically justified guidelines for the assessment and reduction of odour annoyance. The study includes the determination of the odour load from different livestock farming units and investigations into feasible odour reducing technologies. Ultimately the project aims to elaborate on lines for placement of large production units. To determine the dose response relationship for odour annoyance of pig and poultry, odour measurements were taken at two pig farms of different sizes and two broiler production units. The investigations included olfactometric emission measurements in three seasons, dispersion calculations and population surveys in the surroundings. Emissions factor data for pig and broiler production was established for future odour impact assessments. The project also focused on identifying simple and robust measures to diminish the odour load from agricultural sources. The study showed the contribution of slurry storage on the total odour load and specified the benefits of covering manure tanks. A decent reduction in the odour load is achievable by simple floating covers. Further odour reduction measures include peat amendment in manure and the optimisation of the ventilation rate in sheds.			
Keywords emissions, odour annoyance, livestock farming, pig farms, poultry farms, agriculture, odour reduction, measurement, modelling, slurry storage			
Contacts VTT, Biologinkuja 7, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6764-1 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)			Project number C5SU01076
Date January 2006	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 74 p. + app. 12 p.	Price
Name of project Hajuhaitan vähentäminen maatalouden suurissa eläintuotantoyksiköissä (HAJURAKO)		Commissioned by Ministry of Agriculture and Forestry, Finnish Ministry of the Environment, Vapo Oy, Suomen Broileryhdistys ry, MTT Agricultural Engineering Research, Finnish Meteorological Institute, VTT	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

Tätä julkaisua myy

VTT
PL 1000
02044 VTT
Puh. 020 722 4404
Faksi 020 722 4374

Denna publikation säljs av

VTT
PB 1000
02044 VTT
Tel. 020 722 4404
Fax 020 722 4374

This publication is available from

VTT
P.O.Box 1000
FI-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 20 722 4404
Fax + 358 20 722 4374
