Milderende maatregelen voor geuremissies afkomstig van bestaande varkens- en pluimveestallen in Vlaanderen

Eva Brusselman & Peter Demeyer

ILVO - Eenheid Technologie & Voeding

Referentiewerking Milieutechniek

Wetenschappelijk Rapport R/2012/01

22 mei 2012, aangepast op 30/09/2013

Auteurs en contact:

Dr. ir. Brusselman EVA, Specialist Referentiewerking Milieutechniek

Instituut voor Landbouw en Visserijonderzoek ILVO

Eenheid Technologie en Voeding, Onderzoeksdomein Agrotechniek

Burg. Van Gansberghelaan 115, bus 1

B-9820 Merelbeke

Tel. +32 9 272 27 84

Eva.Brusselman@ilvo.vlaanderen.be

Dr. ir. Demeyer PETER, Groepsleider Milieutechniek

Instituut voor Landbouw en Visserijonderzoek ILVO

Eenheid Technologie en Voeding, Onderzoeksdomein Agrotechniek

Burg. Van Gansberghelaan 115, bus 1

B-9820 Merelbeke

Tel. +32 9 272 27 64

Peter.Demeyer@ilvo.vlaanderen.be

Studie uitgevoerd met ondersteuning van de onderzoekers van de groep Milieutechniek, Eenheid Technologie en Voeding, Onderzoeksdomein Agrotechniek:

Nele Van Ransbeeck - Project: Karakteriseren en evalueren van de fijn stof problematiek in de Vlaamse varkenshouderij met betrekking tot arbeidsveiligheid, diergezondheid en emissies - Financiering: IWT - Looptijd: 2009 – 2012 - Samenwerking: UGent.

Tim Ulens – Project: De invloed van staltechnieken, management en dierfactoren op luchtemissies via een multipolluentbenadering - Financiering: ILVO - Looptijd: 2011 – 2015 - Samenwerking: ILVO-Dier

Nathalie Hove - Project: Actualisering van de methodologie voor de objectieve bepaling van geur en geurhinder in de Vlaamse intensieve veehouderij - Financiering: ILVO, Provinciebestuur West-Vlaanderen - Looptijd: 2011 - 2014 - Samenwerking: UGent

Merlijn De Paepe - Project: Modellering van luchtstromingen en het gedrag van ammoniak in en rond natuurlijk geventileerde stalsystemen - Financiering: ILVO - Looptijd: 2009 – 2012 - Samenwerking: UGent

Philippe Van Overbeke – Project: Ontwikkeling van een praktijkmeettechniek voor het ventilatiedebiet van natuurlijk geventileerde stalsystemen - Financiering: IWT - Looptijd: 2011 - 2014 - Samenwerking: UGent

Filip Bronchart - Project: Ontwikkeling van een ontvochtigingstechniek voor de glastuinbouw op basis van een warmtemassawisselaar en mechanische damprecompressie - Financiering: ILVO - Looptijd: 2009 – 2014 -Samenwerking: UGent

Deze studie werd uitgevoerd in opracht van het beleidsdomein Leefmilieu, Natuur en Energie (LNE).

Vermenigvuldiging of overname van gegevens toegestaan mits duidelijke bronvermelding.

Milderende maatregelen voor geuremissies afkomstig van bestaande varkens- en pluimveestallen in Vlaanderen

Inhoud

Voorwoord 5

1 Inleiding 6

1.1 Geur in varkensstallen 7

1.2 Geur in pluimveestallen 7

1.3 Milderende maatregelen voor geur afkomstig van stalsystemen 8

2 Algemene maatregelen binnen in de stal 10

2.1 Optimaliseren van het mechanische ventilatiesysteem 10

2.2 Stalreiniging 11

3 Specifieke maatregelen voor varkensstallen 14

3.1 Voederstrategieën 14

3.1.1 Voedersamenstelling 14

3.1.2 Meerfasevoedering 21

3.1.3 Voederadditieven 22

3.1.4 Voederstructuur 22

3.1.5 Voedersysteem 23

3.2 Beheersing van het stalklimaat 23

3.2.1 Stalluchttemperatuur 23

3.2.2 Verneveling van additieven 26

3.3 Mestbeheer 27

3.3.1 Mestverblijftijd 27

3.3.2 Mestadditieven 28

4 Specifieke maatregelen voor pluimveestallen 32

4.1 Voederstrategieën 32

4.2 Samenstelling en beheer van het strooisel in volledig ingestrooide stallen 32

4.2.1 Strooiselmateriaal 32

4.2.2 Strooiselbeheer 33

4.2.3 Strooiseladditieven 33

4.3 Beheersing van het stalklimaat 34

4.4 Keuze en beheer van het drinkwatersysteem in volledig ingestrooide stallen 35

4.5 Frequente verwijdering van mest in niet volledig ingestrooide stallen 37

5 Algmene maatregelen voor buiten de stal 38
5.1 Verhogen van de ventilatie-uitlaat 38
5.2 Windsingels 39
5.2.1 Het mengeffect 40
5.2.2 Het vangeffect 41
5.2.3 Veldexperimenten 42
5.2.4 Ontwerp 45
5.3 Windbreekmuren 46
5.4 Biomassafiltermuur 47
5.5 Kadaverkoeling 48
Referentielijst 49

VOORWOORD

In het kader van de toewijzing van referentietaken aan het ILVO door het beleidsdomein Leefmilieu, Natuur en Energie (LNE) vanaf 1 januari 2012 werd de opdracht gegeven een literatuurstudie te maken over milderende maatregelen voor geuremissies die in bestaande varkens- en pluimveestallen kunnen toegepast worden.

Deze literatuurstudie heeft tot doel een overzicht te bieden van het onderzoek dat internationaal tot op de dag van vandaag werd uitgevoerd naar mogelijke geurmilderende maatregelen bij varkens- en pluimveestallen. Het betreft maatregelen die op een relatief eenvoudige manier en met een beperkt budget kunnen toegepast worden bij bestaande stallen. Systemen die een grote investering vergen zoals luchtwassystemen en biofilters werden niet opgenomen in deze literatuurstudie.

1 INLEIDING

De geur die geproduceerd wordt bij dierlijke productie is vooral afkomstig van afbraakprocessen die zich afspelen in het diervoeder, in de dieren zelf en in de mest. De geurproductie wordt beïnvloed door vele factoren, zoals de samenstelling van het voeder en omgevingsfactoren. Een overzicht van de mogelijke geurbronnen en de beïnvloedende factoren wordt gegeven in Figuur 1.1.

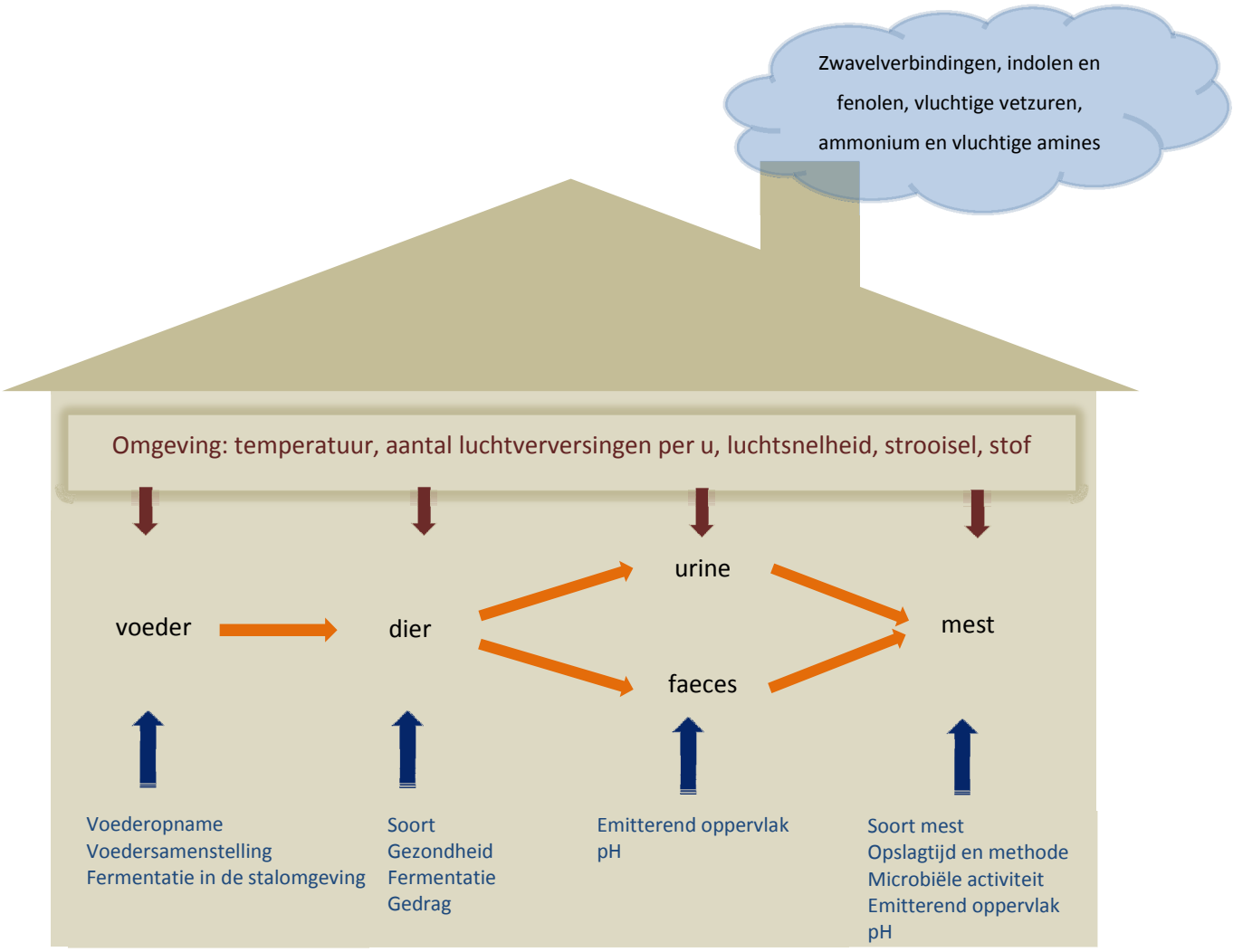


Fig. 1.1 Bronnen van geur en factoren die geur beïnvloeden.
Bron: Le (2006).

De afbraakprocessen vinden plaats onder zowel aërobe als anaërobe omstandigheden. Stikstofbevattende componenten worden onder aërobe omstandigheden afgebroken tot sterk ruikende verbindingen van stikstof. Anaërobe afbraak zal eerder zwavelhoudende componenten produceren, welke reeds bij heel lage concentraties stank veroorzaken (McGahan, A. et al., 2002).

Sterk ruikende verbindingen worden zowel in de gasfase als in de vaste fase geproduceerd. De vervluchtiging van deze componenten wordt mede bepaald door het concentratieverschil van de componenten in de vloeistof/vaste fase en de gasfase. Het ventilatiedebiet en de luchttemperatuur van de stal beïnvloeden vooral de concentratie van de componenten in de gasfase. Hoe hoger het ventilatiedebiet, hoe hoger de vervluchtiging (McGahan, A. et al., 2002).

1.1 GEUR IN VARKENSSTALLEN

In lucht uit varkensstallen zijn er reeds veel vluchtige componenten geïdentificeerd. De samenstelling is grotendeels dezelfde als in anaëroob opgeslagen afval. Dit bevestigt de aanname dat hinderlijke geuren geëmitteerd uit varkensstallen hoofdzakelijk afkomstig zijn uit de varkensmest (Aarnink, A.J.A. and Verstegen, M.W.A., 2007; Spoelstra, S.F., 1980). Meer dan 100 geurende componenten werden geïdentificeerd in varkensstallucht (Hartung, J. and Phillips, V.R., 1994; Oneill, D.H. and Phillips, V.R., 1992). Volgens Le et al. (2005) kunnen de geuren uit varkensstallen onderverdeeld worden in vier grote chemische groepen: zwavelverbindingen, vluchtige vetzuren, fenolen en indolen, en ammonium en vluchtige amines.

Hobbs et al. (1995) heeft gevonden dat de lucht boven mest met een hoog droge stof gehalte, vooral gedomineerd wordt door sulfiden. In mest met een hoog watergehalte zijn het vooral azijnzuur en fenolen die de geuren domineren (Hobbs, P.J. et al., 1995). Blanes-Vidal et al. (2009) vonden dat het gehalte aan zwavelverbindingen de hoogste correlatie heeft met de geurconcentraties in de lucht boven varkensmest die in beweging gehouden wordt.

1.2 GEUR IN PLUIMVEESTALLEN

In pluimveestallen wordt de geur veroorzaakt door de afbraak van afvalproducten zoals mest, veren, stof en strooisel (McGahan, A. et al., 2002). Vooral door de hoge concentraties aan stinkende componenten in het strooisel is het vervluchtigingsproces de dominante factor in de productie van geuremissies (McGahan, A. et al., 2002).

In vleeskuikenstallen wordt het type en de concentratie van de geproduceerde geurcomponenten vooral beïnvloed door de afbraak van het strooisel. Een hoge vochtigheid, lage zuurstofconcentraties, kleine deeltjesgrootte, hoge temperaturen en lage pH, stimuleren de anaërobe bacteriële activiteit in het strooisel en daardoor ook de productie van geuren (Briggs, G., 2004). De snelheid waarmee deze geuren in de lucht terecht komen hangt o.a. af van de pH, de temperatuur, het ventilatiedebiet en het stalklimaat.

In Australië, waar de opkweek van vleeskippen gemiddeld 7 tot 8 weken in beslag neemt, wordt algemeen aangenomen dat ammoniakemissies gerelateerd zijn met de productie van geuren in vleeskuikenstallen gedurende de eerste 5 tot 6 weken groei. In deze periode overheersen de aërobe condities in het afval (Jiang, J.K. and Sands, J.R., 2000). Deze geuren worden aanzien als de minst hinderlijke. De eerste 5 weken worden er in Australië ook doorgaans minder geurhinderklachten opgetekend rond vleeskippenstallen. McGahan et al. (2002) besluiten hieruit dat de maatregelen voor ammoniakreductie weinig effect hebben op de meest hinderlijke geuremissiepieken uit vleeskuikenstallen.

1.3 MILDERENDE MAATREGELEN VOOR GEUR AFKOMSTIG VAN STALSYSTEMEN

Er zijn twee types van maatregelen te onderscheiden:

- Maatregelen die ingrijpen in de stal en die dus zorgen voor een emissiereductie;
- Maatregelen die ingrijpen op grotere afstand van de stal en niet leiden tot een emissiereductie, maar wel tot het inkrimpen van de geurpluim.

De eerste groep van maatregelen kan verder ingedeeld worden in algemene maatregelen die op stalniveau kunnen toegepast worden in zowel varkens- als pluimveestallen en maatregelen die inwerken op een specifiek aspect in de varkensstal of in de pluimveestal. Deze literatuurstudie is dan ook ingedeeld in vier grote onderdelen: algemene maatregelen binnen in de stal, specifieke maatregelen voor varkensstallen, specifieke maatregelen voor pluimveestallen en algemene maatregelen voor buiten de stal.

De algemene maatregelen binnen in de stal worden besproken in Hoofdstuk 2, nl. 2.1 Optimaliseren van het mechanische ventilatiesysteem en 2.2 Stalreiniging.

In Hoofdstuk 3 worden de specifieke maatregelen voor varkensstallen toegelicht. Deze maatregelen zijn in te delen in drie grote groepen: maatregelen die inwerken op de voederstrategie (3.1 Voederstrategieën), maatregelen die gericht zijn op het beheersen van het stalklimaat (3.2 Beheersing van het stalklimaat) en mestbeheer maatregelen (3.3 Mestbeheer).

Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de specifieke maatregelen voor pluimveestallen. Er zijn vier groepen van maatregelen te onderscheiden: maatregelen die inwerken op de voederstrategie (4.1 Voederstrategieën), maatregelen die te maken hebben met de samenstelling en het beheer van het strooisel (4.2 Samenstelling en beheer van het strooisel), maatregelen die gericht zijn op het beheersen van het stalklimaat (4.3 Beheersing van het stalklimaat) en maatregelen die te maken

hebben met de keuze en het beheer van het drinkwatersysteem (4.4 Keuze en beheer van het drinkwatersysteem).

In het laatste hoofdstuk worden algemene maatregelen voor buiten de stal besproken. Dit hoofdstuk omvat 5 onderdelen. Achtereenvolgens wordt het gebruik van een verhoogde ventilatie-uitlaat (5.1), windsingels (5.2), windbreekmuren (5.3) en een biomassafiltermuur (5.4) besproken. Als laatste maatregel wordt kadaverkoeling besproken (5.5).

2 ALGEMENE MAATREGELEN BINNEN IN DE STAL

2.1 OPTIMALISEREN VAN HET MECHANISCHE VENTILATIESYSTEEM

Ventilatiesystemen zijn ontworpen om zuurstof aan te voeren, de temperatuur in de stal te controleren en de verwijdering van vocht en schadelijke stoffen via de luchtafvoer mogelijk te maken (Wang, X. et al., 2000). Verschillende onderzoekers concludeerden dat de geuremissie uit stallen afhankelijk is van het ventilatiedebiet en dat hogere ventilatiesnelheden resulteren in hogere geuremissies bij varkensstallen (Aarnink, A.J.A. et al., 1995; Van Langenhove en Defoer, 2002; Zhang, G. et al., 2008). Er is echter weinig onderzoek verricht over de grootte van dit effect (Zhang, G. et al., 2008). In de zomer kan het ventilatiesysteem bij varkensstallen ingesteld worden zodat de inflectietemperatuur (dit is de temperatuur waarboven lig- en mestgedrag omslaat) niet overschreden wordt (zie 3.2.1 Stalluchttemperatuur). Dit zal overmatige bevuiling van de hokken voorkomen. Bij pluimveestallen is het van groot belang een goed gedimensioneerd ventilatiesysteem te hebben dat gericht is op het drooghouden van de strooisellaag of het drogen van de mest (McGahan, A. et al., 2002) (zie 4.3 Beheersing van het stalklimaat).

Een geoptimaliseerd ventilatiesysteem zal zorgen voor voldoende ventilatie, zodat het binnenklimaat in de stal gezond blijft, terwijl overmatige ventilatie en bijgevolg overmatige geuremissies vermeden worden.

Een optimalisatie van het ventilatiesysteem kan gebeuren via een dimensioneringsplan voor de ventilatoren en de installatie van automatische regelapparatuur. Een correct dimensioneringsplan voor de ventilatoren moet kunnen aantonen dat er bij de keuze van het gerealiseerde systeem werd rekening gehouden met een aantal kritische parameters zoals het inlaatsysteem, de ventilatiebehoefte van de dieren en de te verwachten tegendrukken in de stal. De volgende kengetallen definiëren het ventilatiesysteem:

- Minimumventilatie
- Maximumventilatie
- Insteltemperatuur
- Bandbreedte
- Verwarmingstemperatuur

Voor de bepaling van deze kengetallen kan onder meer gebruik gemaakt worden van de referentiewerken “Ventilatie en klimaatbeheersing bij varkensstallen” en “Huisvesting van vleeskippen” www.vlaanderen.be/landbouw (rubriek documentatie/publicaties).

Automatische ventilatieregeling houdt in dat wordt ingegrepen om een gewenste klimaattoestand te bereiken of te bestendigen. Hiervoor wordt doorgaans de omgevingstemperatuur gemeten en opgevolgd. Om te kunnen regelen of sturen zijn volgende systeemonderdelen vereist:

- ventilatoren (eventueel uitgerust met meetwaaier en diafragma)
- temperatuurvoelers
- een regelapparaat dat de gemeten temperatuurwaarde vergelijkt met de instelwaarde en op basis daarvan de ventilator ofwel aan- of uitschakelt ofwel trager of sneller doet draaien
- een klimaatcomputer die verbonden is met de regelapparaten en toelaat de gegevens op te volgen, instellingen te maken en afwijkingen te registreren.

De volgende types regelapparatuur zijn mogelijk:

- modulaire regeling (meest eenvoudig met aan- uitschakelaar)
- triacsturing waarbij de voedingsspanning van de ventilator varieert naargelang de gemeten temperatuur
- toerentalsturing waarbij de voedingsspanning wordt aangepast zodat het gewenste toerental wordt bereikt
- frequentiesturing waarbij de spanningsfrequentie wordt aangepast om het gewenste toerental te verkrijgen (energiezuinig)
- sturing met intelligente ventilator (ingebouwde stappenmotor), debietmeting met regelklep (duurste maar best regelbare en energiezuinigste regeling via meetwaaier + smoorklep (diafragma)).

Het is van groot belang dat het ventilatiesysteem goed onderhouden wordt. Overtollig vuil en stof dienen hierbij verwijderd te worden. Indien de ventilator afschermkleppen of luiken heeft, dan moeten deze ook proper gehouden worden. Ook meetwaaiers onder de ventilator of in de smoorunit worden best gereinigd na iedere ronde. Ook de luchtinlaatopeningen en eventuele luchtkanalen moeten stof- en vuilvrij gehouden worden. De regelapparatuur zoals bv. temperatuursensoren moet regelmatig gecontroleerd worden.

2.2 STALREINIGING

Mest, natte voeding en andere producten die geuren produceren zouden op regelmatige basis uit de stal verwijderd moeten worden. Er is weinig onderzoek gebeurd naar het effect van intensief en regelmatig reinigen van stallen op de geuremissie. Ondanks dit feit geloven verschillende onderzoekers dat propere stallen zullen resulteren in een beperking van de geuremissie (De Bruyn, G. et al., 2001; Jacobson, L.D. et al., 2001).

Het intensief reinigen van een stalsysteem kan in zeven acties worden onderverdeeld: de voorbereiding, het inweken, het afspoelen, het tussentijds drogen, de ontsmetting, het naspoelen en de droge leegstandperiode. Elke actie wordt hieronder in detail besproken.

De voorbereiding

Na verwijdering van de dieren uit de stal worden de voedergoten en voederbakken vrijgemaakt van voeder. Alle voederresten worden afgevoerd. De voedersilo's en het drinkwatersysteem worden leeggemaakt. Beweegbare, demonteerbare en niet ter plaatse reinigbare apparatuur wordt uit de stal verwijderd. De ventilatiekanalen en –kokers en de ventilatoren worden stofvrij gemaakt, evenals de aan- en afvoeropeningen. Nadat mest en grof vuil uit de stal verwijderd is, wordt deze met de bezem of met behulp van een stofzuiger schoongemaakt. Voordat er wordt overgegaan naar de natte reiniging worden de nodige reparaties en het onderhoud uitgevoerd.

Het inweken

In de stal wordt er van boven naar beneden gewerkt. De vloer dient ingeweekt te worden, bij voorkeur in schuimvorm. Dit zorgt voor een beter reinigingsresultaat. Inweken met schuim zorgt voor een kortere werktijd en lager waterverbruik. De inweektijd dient minstens 4 uren te bedragen. Ook de buitenkant van de stal, voornamelijk rond luchtinlaten en uitlaten wordt gereinigd.

Het afspoelen

Er wordt een werkdruk van 50 tot 80 bar aangehouden voor pluimveestallen. Voor varkensstallen mag tot 120 bar gebruikt worden. Al het schoonmaakmiddel wordt volledig verwijderd zodat de werking van de ontsmettingsmiddelen niet gehinderd wordt.

Tussentijds drogen

Na inweken en afspoelen dient de stal droog getrokken te worden en drupvrij te zijn alvorens over te gaan tot de ontsmetting. De stal moet goed kunnen opdrogen, dit wil zeggen dat alle oppervlakken vrij van plassen dienen te zijn.

De ontsmetting

Tijdens de ontsmetting dient een erkend ontsmettingsmiddel (lijst FAVV) gebruikt te worden. De apparatuur en het materiaal dat eerder uit de stal werd verwijderd, wordt nu teruggeplaatst in de stal voor de ontsmetting. Voor de ontsmetting van wanden, vloeren en plafond wordt gewerkt bij een lage druk (15 tot 30 bar). Er wordt best achteraan de stal gestart en naar de deuren toe gewerkt. Voor de ontsmetting van het voedersysteem zijn specifieke producten beschikbaar (bv. een voedermengsel met organisch zuur). Dit mengsel dient gedurende minstens 24 uur in het systeem te

blijven. Silo's, weeginstallatie en aanvoervijzels buiten de stal kunnen ook op deze manier regelmatig worden behandeld.

Naspoelen

Na ontsmetting dient de stal nagespoeld te worden om de aanwezige residuen van ontsmettingsmiddelen van het staloppervlak te verwijderen. Dit naspoelen mag pas gebeuren na het verstrijken van de minimale contacttijd van het ontsmettingsmiddel met het te ontsmetten oppervlak en dient steeds uitgevoerd te worden met spoelwater dat aan de drinkwaternormen voldoet.

Droge leegstandperiode

Ten vroegste 8 uur na ontsmetting en naspoeling kan de ventilatie worden opgestart. Voor opzet dienen de stallen goed droog te zijn. Het beste is de stal een viertal dagen te laten drogen.

Reinigen van de mestkelders (varkens)

Naast een regelmatige intensieve reiniging van de stal, is het bij varkenstallen aangewezen om ook de mestkelder regelmatig te reinigen. Hiervoor dient de mestkelder eerst geledigd te worden met afvoer van de mest naar een afgesloten opslag (onder of buiten de stal). Dit kan na een doortocht van dieren in de stal (hetzij na een mestperiode, hetzij na het verplaatsen van de zeugen van dekstal naar drachtstal,…).

3 SPECIFIEKE MAATREGELEN VOOR VARKENSSTALLEN

3.1 VOEDERSTRATEGIEËN

Geur wordt in de varkenshouderij hoofdzakelijk gegenereerd door de microbiële omzetting van voeder in het verteringskanaal van varkens en door de microbiële omzetting van hun uitwerpselen in de mestput waar anaërobe omstandigheden overheersen (Le, P.D. et al., 2007). Voederstrategieën kunnen een significante invloed hebben op de geurproductie en geurbeheersing (Sutton, A., 2008). De bronnen, de vorm en de verhoudingen tussen de ingrediënten in het voeder kunnen de hoeveelheden nutriënten die uitgescheiden worden, en daardoor ook de geuremissie, beïnvloeden.

3.1.1 Voedersamenstelling

Vele verbindingen die geur veroorzaken zijn intermediaire of eindproducten van de afbraak van eiwitten uit het voeder. Voedereiwitten zijn daarom een belangrijke schakel in de geurproductie. Over het algemeen bevatten diëten meer eiwitten dan varkens strikt nodig hebben. De grootste oorzaak hiervoor is het feit dat de aminozuursamenstelling van het voeder niet overeenkomt met de behoeften van het varken. De samenstelling van het voeder wordt bepaald op basis van het minimumgehalte aan essentiële en limiterende aminozuren. Dit geeft een surplus van andere aminozuren in de voeding.

In het wetenschappelijk onderzoek rond dit thema werden aanvankelijk experimenten uitgevoerd waarbij enkel het effect van een verlaging van het ruw eiwitgehalte op de geur van mest werd onderzocht (Hayes, E.T. et al., 2004; Le, P.D. et al., 2007). In het onderzoek van Le et al. (2007) gaf een verlaging van het ruw eiwitgehalte van 180 g kg^{-1} naar 120 g kg^{-1}, een verlaging van de geuremissie uit mengmest met 77% (van 4.46 naar 1.03 OU_E $m^{-2}s^{-1}$). De samenstelling van het gebruikte voeder is samengevat in Tabel 3.1. Belangrijk om hierbij op te merken is dat het voeder met het laag ruw eiwitgehalte meer gerst, kaliumcarbonaat en monocalciumfosfaat.H_2O en minder sojameel, tarwegries en sojaolie bevatte dan het voeder met het hoog ruw eiwitgehalte. Het voeder met het laag ruw eiwitgehalte bevatte minder vet en minder suikers en meer zetmeel en niet-zetmeel polysacchariden dan het voeder met het hoog ruw eiwitgehalte. Het is niet duidelijk wat de bijdrage was van elk ingrediënt in de geuremissiereductie.

Tabel 3.1 Ingrediëntensamenstelling en chemische analyse van de experimentele diëten onderzocht door Le et al. (2007).

Dieet			
Ruw eiwitgehalte (g kg^{-1})	120	150	180
Ingrediënten (kg ton^{-1})			
Gerst	489.8	386.0	282.3
Tapioca meel	300.0	300.0	300.0
Sojameel	113.0	192.8	272.5
Tarwegries	14.8	38.4	62.0
Melasse	30.0	30.0	30.0
Kaliumcarbonaat	5.7	2.9	0.0
Soja olie	15.2	19.4	23.6
Calciumcarbonaat	9.9	9.8	9.7
Monocalciumfosfaat.H_2O	7.1	6.3	5.5
zout	4.9	4.9	4.9
Pre-mix (vitaminen en mineralen)	2.0	2.0	2.0
L-Lysine HCl	4.1	4.1	4.1
DL-Methionine	1.5	1.5	1.5
L-Threonine	1.5	1.5	1.5
L-Tryptofaan	0.4	0.4	0.4
Geanalyseerde samenstelling (g kg^{-1})			
Droge stof	868.0	860.4	871.5
Ruw eiwitgehalte	122.8	142.4	180.3
Ruw vet	19.9	23.7	38.8
Ruwe vezels	32.6	35.6	34.5
As	63.8	60.3	63.7
Energie (MJ kg^{-1})	15.42	15.45	16.00
Suiker	57.1	59.9	64.9
Zetmeel	410.7	379.8	348.5
Niet-zetmeel polysacchariden	193.6	194.3	175.3

Belangrijk om hier te vermelden is dat de geurstalen in dit onderzoek net boven de mestputten werden genomen. Ook de ammoniakemissie werd in dit geval gereduceerd, nl. met 53%. De reductiepercentages bekomen in dit onderzoek kunnen niet geëxtrapoleerd worden naar de geuremissies uit de stal. De productieresultaten van de varkens (groei, voederopname) waren vergelijkbaar voor alle behandelingen. Het onderzoek werd uitgevoerd op vleesvarkens met een begingewicht van 36.5 ± 3.4 kg.

Hayes et al. (2004) vonden een reductie van de geuremissie in de afmestfase met 32% en 38% bij de reductie van het ruw eiwitgehalte van respectievelijk 190 g kg^{-1} tot 160 g kg^{-1} en van 190 g kg^{-1} tot 130 g kg^{-1}. Een reductie van het ruw eiwitgehalte van 160 g kg^{-1} tot 130 g kg^{-1} resulteerde niet in een significante reductie van de geuremissie. Het initiële gewicht van de dieren was 70.8 ± 3.16 kg. Tabel 3.2 geeft een overzicht van de samenstelling van de voeders. Een daling in het ruw eiwitgehalte werd behaald door sojameel gedeeltelijk te vervangen door tarwe. Bij het voeder met het laagste ruw eiwitgehalte werd sojaolie toegevoegd. Het is niet duidelijk of dit een effect kan gehad hebben op de geuremissie.

Tabel 3.2 Ingrediëntensamenstelling en chemische analyse van de experimentele diëten onderzocht door Hayes et al. (2004).

Dieet			
Ruw eiwitgehalte (g kg^{-1})	130	160	190
Ingrediënten (kg ton^{-1})			
Tarwe	887.7	810	722.5
Sojameel	60.0	136.7	224.2
Sojaolie	13.3		
DeviCare® supplement	25.0	25.0	25.0
Aminozuur pakket	15.0	15.0	15.0
Geanalyseerde samenstelling (g kg^{-1})			
Droge stof	877.1	873.0	875.1
Ruw eiwitgehalte	131.7	157.4	184.6
Ruwe olie (ether extract)	33.0	27.3	26.9
Ruwe vezels	29.3	36.4	39.1
As	38.2	46.4	48.9
Energie (MJ kg^{-1})	15.81	15.52	15.82

Tabel 3.3 toont de werkelijk gemeten geuremissies uit de stal met gedeeltelijke roostervloer, 8 vleesvarkens per hok en een ventilatiedebiet van 48.3 m^3 h^{-1} $dier^{-1}$. Er werd ook een reductie in

ammoniakemissie opgetekend bij deze experimenten. Tabel 3.4 toont een overzicht van de reductiepercentages van beide parameters. In tegenstelling tot het onderzoek van Le et al. (2007) werden de geurstalen hier wel genomen aan de ventilatie-uitlaat. De bekomen reducties gelden hier dus wel degelijk op stalniveau. In dit onderzoek werden de olfactometrische metingen uitgevoerd volgens de Europese Standaard prEN13725.

Tabel 3.3 Geuremissie (OU_E s^{-1} $dier^{-1}$) en ammoniakemissie (g d^{-1} $dier^{-1}$) op stalniveau in functie van het ruw eiwitgehalte in het voeder (Hayes, E.T. et al., 2004).

Ruw eiwitgehalte (g kg^{-1})	Geuremissie (OU_E s^{-1} $dier^{-1}$)	Ammoniakemissie (g d^{-1} $dier^{-1}$)
130	12.11	3.11
160	13.24	3.89
190	19.57	5.89

Tabel 3.4 Reductie (%) van de geur- en ammoniakemissie door een verlaging van het ruw eiwitgehalte in het voeder (Hayes, E.T. et al., 2004).

Verlaging Ruw eiwitgehalte (g kg^{-1})	190 -> 160	190 -> 130	160 -> 130
Geurreductie (%)	32	38	9
Ammoniakreductie (%)	34	47	20

Het is opvallend dat indien het ruw eiwitgehalte te laag wordt, er minder of geen reductie van geur meer te merken is. Obrock et al. (1997) vonden geen verschil in geurconcentraties tussen een behandeling met 130 g kg^{-1}en 90 g kg^{-1} ruw eiwitgehalte. De onderzoekers veronderstellen dat bij een verlaagd ruw eiwitgehalte, dit een limiterende factor wordt in de biomassavorming. Het ontstane overschot aan koolhydraten wordt dan omgezet naar geurende componenten zoals vluchtige vetzuren. Het eiwitgehalte en het gehalte fermenteerbare koolhydraten hebben dus een interactief effect op de geuremissie uit varkensmest. Dit werd ook gevonden door Le et al. (2008) in een onderzoek met als doel het effect te bepalen van verschillende combinaties van ruwe eiwitten en fermenteerbare koolhydraten, op geuremissie, geurintensiteit en het hedonisch karakter, alsook de ammoniakemissie uit varkensmest. Er werden twee gehaltes aan ruwe eiwitten (120 en 180 g kg^{-1}) gecombineerd met drie gehaltes aan fermenteerbare koolhydraten (laag: 95.5, medium: 145.5 en hoog: 195.5 g kg^{-1}). Fermenteerbare koolhydraten werden in dit experiment gedefinieerd als de som van niet-zetmeel polysacchariden (NSP) en resistent zetmeel (RS) die in de grote darm en dus in de uitwerpselen van de varkens terecht komen. Het suikerbiet pectine niveau was in deze studie de bron van NSP, ruw aardappelzetmeel dat van RS. De studie werd uitgevoerd met gecastreerde beren met een begingewicht van 57.7 ± 2.5 kg.

Tabel 3.5 Ingrediëntensamenstelling van de experimentele diëten onderzocht door Le et al. (2008).

Ruw eiwitgehalte (g kg^{-1})	120 g kg^{-1}			180 g kg^{-1}		
Fermenteerbare koolhydraten	laag	medium	hoog	laag	medium	hoog
Ingrediënten (kg ton^{-1})						
Gerst	400.0	400.0	400.0	200.0	200.0	200.0
Tarwe	246.9	190.6	134.2	120.9	156.2	191.5
Sojameel	59.6	67.5	75.3	261.2	248.5	235.8
Tarwegries	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
Melasse	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Kaliumcarbonaat	7.0	6.0	5.0	1.5	0.8	0.0
Maïszetmeel	123.1	61.6	0.0	258.2	129.1	0.0
Aardappelzetmeel	0.0	56.5	112.9	0.0	52.8	105.5
Suikerbietenpectine	0.0	43.0	86.0	0.0	40.2	80.3
Soja olie	8.4	21.1	33.7	4.9	20.2	35.5
Kalksteen	12.5	12.1	11.7	12.0	11.8	11.5
Monocalciumfosfaat.1H_2O	6.4	6.6	6.7	5.3	5.3	5.3
Zout	5.0	4.2	3.4	4.9	4.2	3.4
Chromisch oxide-zetmeel mengeling (1:3)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Pre-mix (vitaminen en mineralen)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
L-Lysine HCl	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
DL-Methionine	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
L-Threonine	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
L-Tryptofaan	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

Tabel 3.5 geeft de ingrediëntensamenstelling van de diëten. Om een verlaging van het ruw eiwitgehalte te bekomen werd sojameel gedeeltelijk vervangen door gerst en tarwe. Een daling van de fermenteerbare koolhydraten werd behaald door aardappelzetmeel en suikerbietenpectine gedeeltelijk of volledig te vervangen door maïszetmeel. Ook het gehalte aan kaliumcarbonaat, soja olie, monocalciumfosfaat.1H_2O en zout varieerde afhankelijk van het type dieet. Het is niet duidelijk hoe deze verschillen de geuremissie beïnvloed hebben.

De geuremissie was laag wanneer de varkens een voeder kregen met een laag ruw eiwitgehalte en een laag gehalte aan fermenteerbare koolhydraten of een voeder kregen met een hoog ruw eiwitgehalte en een hoog gehalte aan fermenteerbare koolhydraten. Figuur 3.1 geeft een overzicht van de geuremissie gemeten bij verschillende combinaties van ruw eiwitgehalte en fermenteerbare koolhydraten. Uit deze figuur blijkt duidelijk hoe belangrijk het is om naast het ruw eiwitgehalte ook

de hoeveelheid fermenteerbare koolhydraten te controleren. Bij een ruw eiwitgehalte van 120 g kg^{-1} kan de geuremissie uit de mest verdubbelen wanneer het gehalte fermenteerbare koolhydraten opgedreven wordt van 141 naar 191 g kg^{-1}. Het is belangrijk om op te merken dat er bij deze studie geurstalen werden genomen in de mestput en niet in de uitgaande ventilatielucht. De verhoudingen in emissie kunnen enigszins anders zijn in de uitgaande ventilatielucht. Dit zal afhangen van de bijdrage van de mest aan de totale geuremissie uit de stal. Verder onderzoek is aan te raden om de effectieve geuremissie uit de stal bij de verschillende behandelingen te kunnen vastleggen.

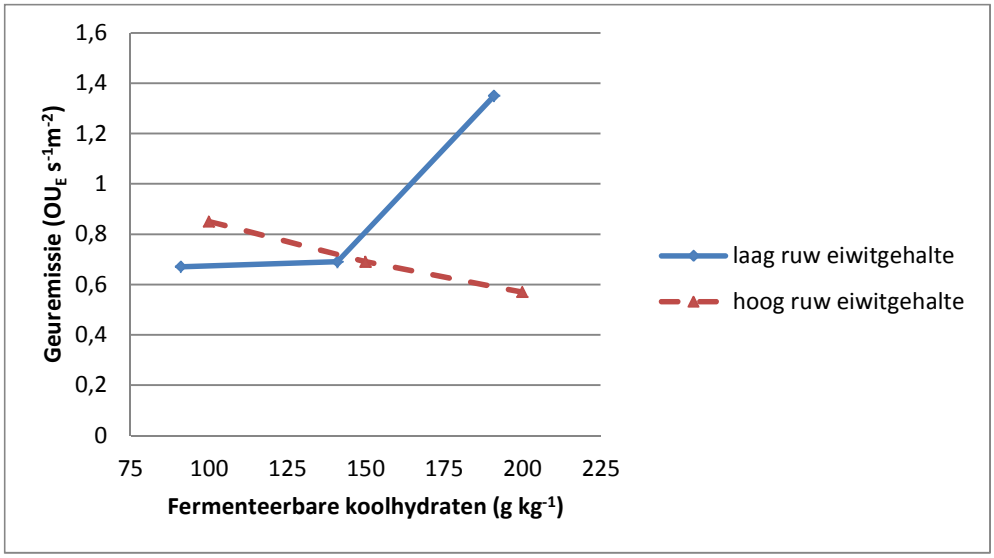


Fig. 3.1 Geuremissie (OU_E s^{-1} m^{-2}) uit mest in functie van het gehalte aan fermenteerbare koolhydraten (g kg^{-1}) in voeder met respectievelijk een laag (120 g kg^{-1}) en een hoog (180 g kg^{-1}) ruw eiwitgehalte. Figuur samengesteld op basis van cijfers uit Le et al. (2008).

Bij een laag ruw eiwitgehalte gaf een verhoging van de fermenteerbare koolhydraten een verhoging van de geuremissie, maar een daling van de ammoniakemissie. Een verhoging van fermenteerbare koolhydraten zou bovendien ook voor een stijging in methaanemissie zorgen (Aarnink, A.J.A. and Verstegen, M.W.A., 2007).

Volgens Le et al. (2007) is een vermindering van het eiwitgehalte onder toevoeging van limiterende aminozuren een goede strategie om zowel de geuremissie als de ammoniakemissie uit varkensmest te reduceren. Het is wel belangrijk om ervoor te zorgen dat er geen overmaat aan zwavelhoudende aminozuren in het voeder zit. De geuremissie van varkensmest wordt namelijk ook sterk beïnvloed door een overmaat aan deze aminozuren (Le, P.D., 2006). Bij vergelijkbare voeders zijn zwavelhoudende componenten de belangrijkste sleutelcomponenten die de geuremissie bepalen, terwijl fenolen, indolen en vluchtige vetzuren minder belangrijk lijken te zijn. Om geuremissie te reduceren is het daarom van belang om de zwavelhoudende aminozuren in het voeder te

minimaliseren, juist genoeg voor de behoefte van het dier. De auteur vermeldt dat sommige grondstoffen voor varkensvoeders rijk zijn aan zwavel, bv. bloedmeel, sojameel en melasse. Om de geuremissie uit varkensmest te kunnen beheersen, worden deze componenten dus best in minimale hoeveelheden toegevoegd aan het mengvoeder.

In een serie van Amerikaanse studies (Appelgate, T.J. et al., 2008) werd gerapporteerd dat een reductie in het ruw eiwitgehalte van een maïs-soja dieet met 3.5 tot 4.5% met de toevoeging van limiterende aminozuren resulteerde in een geurreductie van 30 tot 40% bij varkens in de afmestfase. De verandering in de voedersamenstelling had geen effect op de groei van de varkens. De originele artikels werden niet teruggevonden, waardoor er geen details gekend zijn over de manier waarop de geurreductie werd gemeten in dit onderzoek.

Opletten met brijvoeder

Bij varkenshouderijen wordt soms gebruik gemaakt van brijvoeder. Voor de productie van brijvoeder kunnen bijproducten gebruikt worden die kunnen leiden tot geurhinder voor de omgeving. Onderzoek over de exacte aard en omvang van geurhinder ontbreekt nog, maar klachten uit de omgeving van veehouderijen die bijproducten gebruiken in Nederland wijzen op een probleem (Infomil, 2012).

Brijvoeder is een veelomvattend begrip. Het omvat:

- Droogvoeder dat met water in een brijvoedermengtank wordt gemengd
- Droogvoeder dat met natte bijproducten in een brijvoedermengtank wordt gemengd
- Bijproducten (droge en natte) en een voederkern die in een brijvoedermengtank worden gemengd

In Nederland treedt er vooral geuroverlast op rond bedrijven die met bijproducten werken. Belangrijke opmerkingen hierbij zijn (Infomil, 2012):

- Het soort bijproduct is belangrijk. Uiensap heeft doorgaans een onaangenamere geur dan aardappelproducten.
- Vismeelproducten, uienproducten, maiskweekwater en aardappeldiksap stinken vaak.
- Producten zoals wei, vla, ijs, vevotex en vevocel zijn bederfelijke producten die om die reden tot stank kunnen leiden.
- Natte bijproducten geven doorgaans meer overlast dan droge bijproducten. Tarwezetmeel, aardappelproducten, vetten en andere relatief droge producten geven doorgaans weinig stankproblemen.

- Bij sommige producten is het belangrijk om ze homogeen te houden. Mengprocessen kunnen leiden tot fermentatie, wat tot overlast kan leiden.
- Het vullen en legen van de opslag geeft aanleiding tot geuroverlast alsook het mengen van brijproducten in de mengtank.
- Slecht voedermanagement kan de hinder verhogen. Bijvoorbeeld morsen bij het bereiden van brijvoeder, slechte reiniging van de brijvoederkeuken, het niet onmiddellijk gebruiken van brijvoeder dat uit de silo werd gehaald, leidingbreuk, trogvervuiling en bevuiling hokvloer.

3.1.2 Meerfasevoedering

De nood van varkens aan aminozuren en mineralen, uitgedrukt in percentage van het totale dieet, daalt naarmate het varken ouder wordt. Het voederen in meerdere fasen met telkens een dalend ruw eiwitgehalte zal daarom resulteren in minder voederverliezen, minder kosten en minder nutriënten in de mest (Appelgate, T.J. et al., 2008). Bij tweefasenvoedering wordt eerst groeivoeder verstrekt tot 40-45 kg lichaamsgewicht, daarna afmestvoeder tot afleveren. Bij driefasenvoedering wordt een startvoeder gegeven van opleg tot ca 40 kg lichaamsgewicht, nadien groeivoeder van circa 40 kg tot 70 kg lichaamsgewicht en tenslotte eindvoeder tot aanleveren. Voederovergangen dienen geleidelijk plaats te vinden, bijvoorbeeld door 1 week de twee voeders gemengd te verstrekken. Bij meerfasevoeding geeft men eerst startvoeder tot 40-45 kg en vervolgens een mengsel van een eiwitrijk en een eiwitarm voeder, waarbij het eiwitgehalte van het mengsel geleidelijk wordt verlaagd om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de dalende aminozuurbehoefte van de varkens (Fremaut, D. et al., 2003).

In Nederlands onderzoek uitgevoerd in de jaren ’90 werd een stalsysteem met bolle vloer bij mestvarkens uitgetest in combinatie met meerfasevoeding. De gehaltes aan ruwe eiwitten in het voeder worden weergegeven in Figuur 3.2. In de zomerperiode werd een geuremissie van 18.57 ou_E s^{-1} dierplaats^{-1} opgemeten, in de winter was dit 5.5 ou_E s^{-1} dierplaats^{-1}. De emissiewaarde bedroeg over het volledige jaar 10.1 ou_E s^{-1} dierplaats^{-1}. Er werd geen vergelijking gemaakt met de geuremissie uit dezelfde stal zonder meerfasevoeding. De gehanteerde geuremissiefactor van een systeem met bolle vloer (ICV-systeem) is in Nederland 17.9 ou_E s^{-1} dierplaats^{-1}. Een meer uitgebreide studie rond het effect van meerfasevoeding op geuremissies uit varkensstallen, werd tot op heden niet terug gevonden. Met deze beperkte data is het moeilijk een besluit te trekken over het effect van meerfasevoeding op de geuremissie.

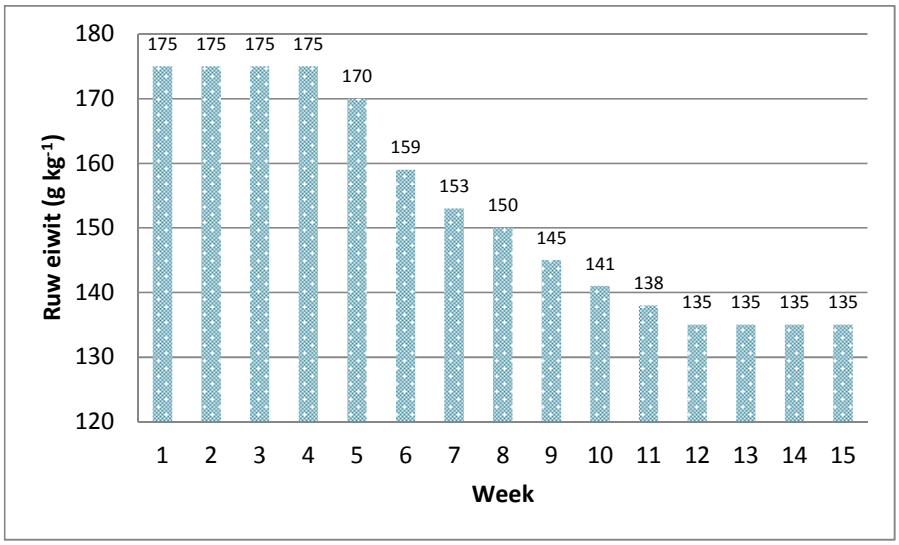


Fig. 3.2 Ruw eiwitgehalte van voeder in een meerfasevoedingssysteem omschreven door van der Peet-Schwering et al. (1997) en gebruikt in het onderzoek van Verdoes en Ogink (1997).

3.1.3 Voederadditieven

In een onderzoek van Armstrong et al. (2000) werd aangetoond dat het toevoegen van koper aan het voeder van biggen en varkens tijdens de afmest de geurkarakteristieken van de mest positief kunnen beïnvloeden. Het effect van een toevoeging van 66 en 100 ppm koper in de vorm van kopercitraat was vergelijkbaar met de toevoeging van 225 ppm kopersulfaat. Men schrijft het effect toe aan de antibiotica-achtige werking van koper in de darmen van de varkens. Kopersupplementen in het voeder veranderen de microflora in de mest. Er werden geen geuremissiemetingen in de stal uitgevoerd tijdens dit onderzoek, waardoor het niet duidelijk is hoe groot de geurreductie kan zijn bij het gebruik van dit voederadditief. Een belangrijke opmerking hierbij is dat de toevoeging van kopersulfaat volgens Europese wetgeving beperkt is tot 170 ppm bij biggen tot 12 weken en 25 ppm voor andere varkens (European Commission, 2006).

3.1.4 Voederstructuur

De reductie van de deeltjesgrootte van het voeder leidt tot een betere vertering en kan daardoor ook resulteren in een reductie van geur. Een verlaging van de deeltjesgrootte van 1000 tot 600 µm leidt tot een stijging van de verteerbaarheid van stikstof van 5 naar 12% en een reductie van de stikstofuitscheiding in de mest met 20-24% (Sutton, A., 2008). Volgens Sutton (2008) is 650-750 µm de na te streven deeltjesgrootte. Voeder met kleinere deeltjesgrootten zijn immers te duur en veroorzaken bovendien maagzweren bij de dieren. Er werden geen wetenschappelijke studies terug gevonden rond het effect van de deeltjesgrootte op de geurconcentraties in de stal.

Zowel het voeder zelf als het voedersysteem kunnen aanzienlijke hoeveelheden stof genereren in de stal. Stofdeeltjes veroorzaken niet alleen ademhalingsproblemen bij de dieren, ze dragen ook gassen, geuren en bacteriën met zich mee. Door de stofverliezen te beperken zal de luchtkwaliteit in de stal verbeteren. Een voederverdelersysteem dat weinig stof genereert, of de toevoeging van vet aan het voeder (1% of meer), zal de stofvorming doen dalen en waarschijnlijk geurvorming reduceren (Sutton, A., 2008). Hobbs et al. (1997) onderzochten het verschil tussen de geur van mest van gespeende biggen gevoederd met droog voeder, en gevoederd met twee types brasvoeder (3:1 en 4:1 water/voeder). De olfactometrische analyses van de gasruimte boven de mest toonden significant hogere geurconcentraties aan voor het droog en het 3:1 voeder, vergeleken met het 4:1 voeder. Er werden geen geurmetingen gedaan op stalniveau. Het is dan ook niet mogelijk om uit deze studie geurreductiecijfers te destilleren.

3.1.5 Voedersysteem

Gemorst voeder kan niet alleen bijkomende geur veroorzaken, het is ook een bron van verlies voor de landbouwer (Sutton, A., 2008). Studies hebben aangetoond dat het verlies aan voeder door morsen kan oplopen tot 3-8% van de totale hoeveelheid voeder aangeboden aan de dieren. Gemorst voeder is een nutriëntenbron voor bacteriën in de mest en kan aanleiding geven tot gas- en geuremissies. Het controleren van het voedersysteem en het opruimen van gemorst voeder op regelmatige basis, kan dit probleem grotendeels voorkomen.

3.2 BEHEERSING VAN HET STALKLIMAAT

3.2.1 Stalluchttemperatuur

Van nature zijn varkens propere dieren die hun mest- en ligplaatsen gescheiden houden (Aarnink, A.J.A. et al., 2006). In de huidige varkensstallen is een groot deel van de vloer uitgerust met roosters omdat de landbouwer zo weinig mogelijk mest in de hokken wil. Vervuilde hokken vragen immers meer arbeid om ze te reinigen, verhogen het risico voor gezondheidsproblemen en doen de emissie van ammoniak en geur stijgen (Aarnink, A.J.A. et al., 2006). Wanneer varkens in een nieuw hok geplaatst worden kiezen ze een ligplaats. Bij lage en gemiddelde temperaturen verkiezen ze om op een warme, geïsoleerde vloer te gaan liggen eerder dan op de koude rooster. Verschillende onderzoekers hebben gevonden dat ze bij hoge temperaturen hun gedrag veranderen, lichaamscontact vermijden en een koelere plaats (roostervloer) zoeken om te gaan liggen. Het gevolg hiervan is dat de verschillende activiteitenplaatsen gaan wijzigen bij hoge temperaturen (Huynh, T.T.T. et al., 2005). Aarnink et al. (2006) onderzochten het effect van stijgende temperaturen op het mest en liggedrag bij varkens met een verschillend gewicht. De varkens veranderden van gedrag

boven een bepaalde temperatuur. Dit wordt de inflectietemperatuur genoemd, afgekort als IT. De onderzoekers vonden dat het percentage excreties op de dichte vloer laag en onafhankelijk van de temperatuur was bij lage en gemiddelde temperaturen. Bij temperaturen hoger dan de IT steeg het percentage excreties op de dichte vloer lineair met de temperatuur. Figuur 3.3 toont dit verband voor een groep varkens in een gewichtsklasse van 45 kg.

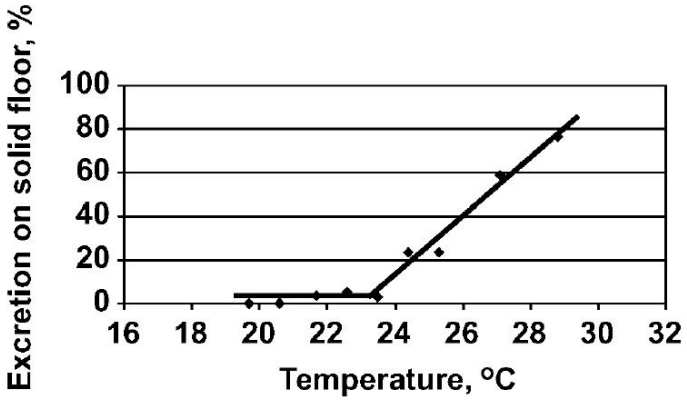


Fig. 3.3 De typische relatie tussen temperatuur en aantal excreties op de dichte vloer (percentage van totaal aantal excreties). Deze data zijn van een groep varkens uit de 45 kg gewichtsklasse. Punten stellen geobserveerde waarden voor; de lijnen zijn het resultaat van een 'gebroken stok' analyse. Bron: Aarnink et al. (2006).

Een regressieanalyse toonde aan dat IT afneemt met stijgend lichaamsgewicht en stijgende totale warmteproductie. IT daalt van gemiddeld 25°C voor varkens van 25 kg tot 20° voor varkens van 100 kg. De R^2 was evenwel niet zo hoog, nl. 0.40. Figuur 3.4 toont dit verband.

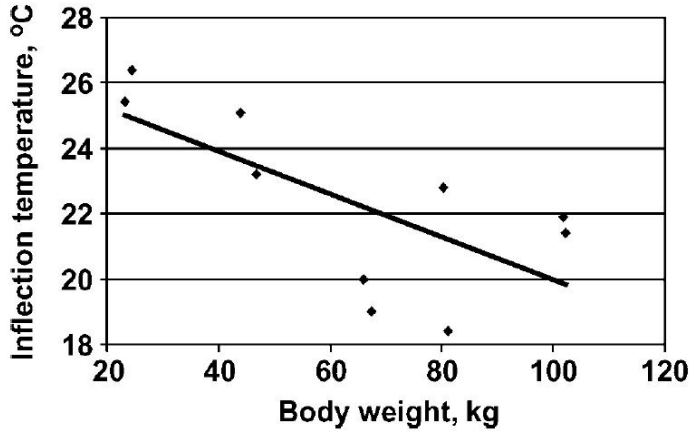


Fig. 3.4 De relatie tussen lichaamsgewicht en inflectietemperatuur (IT) waarboven excretie op de dichte vloer stijgt. Vergelijking regressierechte: Y = 26.5 – 0.065 X (R^2 = 0.40).
Bron: Aarnink et al. (2006)

Een groter deel van de variatie in het vooropgestelde model werd verklaard door de warmteproductie (Fig. 3.5). Na regressie werd een R^2 bekomen van 0.59. Hitteproductie kan bepaald worden op basis van de O_2 - consumptie en CO_2 – productie van de dieren:

$$HP\ (kJ\ dag^{-1}) = 16.8\ (O_2) + 5.02\ (CO_2)$$

Met (O_2) de zuurstofconsumptie in L dag^{-1} en (CO_2) de koolstofdioxideproductie in L dag^{-1}.

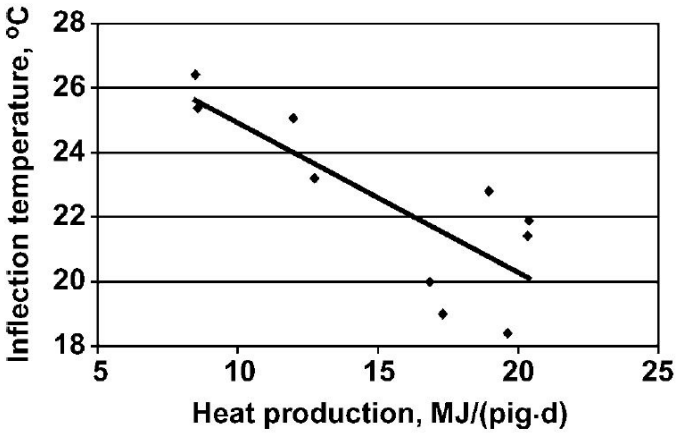


Fig. 3.5 De relatie tussen warmteproductie en inflectietemperatuur (IT) waarboven excretie op de dichte vloer stijgt. Vergelijking regressierechte: Y = 29.6 – 0.46 X (R^2 = 0.59).
Bron: Aarnink et al. (Aarnink, A.J.A. et al., 2006).

De gemeten inflectietemperaturen liggen in de range van temperaturen gemeten tijdens de zomer in ons gematigd klimaat. Aangezien de verandering in het gedrag van de varkens bij hogere temperaturen de grootste oorzaak van hokbevuiling is, stellen de auteurs dat koelingssystemen gebruikt kunnen worden om liggedrag op de roosters te voorkomen. Het gebruik van waterverneveling in de stal gedurende warme zomerperiodes zou bijvoorbeeld helpen om de varkens proper te houden (Zhang, Q. et al., 2002). De inflectietemperaturen gemeten door Aarnink et al. (2006) kunnen gebruikt worden om de klimaatcontrole in de stallen of de eerder genoemde koelingssystemen in te stellen. Uit deze studie kan niet afgeleid worden hoe groot het effect van een goede temperatuurcontrole of een koelingssysteem zou hebben op de geuremissie en de geurhinder. Het is duidelijk dat het effect van een koelingssysteem enkel van belang zal zijn wanneer de omgevingstemperaturen hoger zijn dan de inflectietemperatuur. Bijkomend onderzoek is nodig om de grootte van dit effect en de invloed van een aantal parameters zoals het geslacht van de dieren, het ras, de luchtsnelheid in het hok, isolatie van de vloer, dak en muren te bepalen.

In de winter zullen varkens mesten op de koudste plaatsen in het hok (Zhang, Q. et al., 2002). Indien er koude binnenkomende lucht geblazen wordt op de ligplaatsen, dan zal er op deze plaatsen gemest

worden in plaats van boven de roosters. Een doordacht ontwerp van het ventilatiesysteem is dus van belang. In de winterperiode wordt de effectiviteit van het ventilatiesysteem vaak ondermijnd door een ondercapaciteit van het verwarmingssysteem (indien voorhanden). Bij het ontbreken van een goed verwarmingssysteem zal de toepassing van de minimum ventilatiecapaciteit tijdens koude dagen leiden tot te lage temperaturen in de stal (Zhang, Q. et al., 2002).

3.2.2 Verneveling van additieven

In de laatste twintig jaar werden verschillende biologische additieven getest als vernevelingsproduct voor geurreductie in varkensstallen (Kim, K.Y. et al., 2008). Hun werking is gebaseerd op het neerslaan van geurdragende stofdeeltjes. Hun effectiviteit is lager dan die van biofilters en chemische oxiderende mestadditieven (3.3.2 Mestadditieven). Niettemin hebben deze additieven het voordeel dat ze niet veel kosten en gemakkelijk toegepast kunnen worden (Kim, K.Y. et al., 2008). Er werd onderzoek uitgevoerd naar het effect van de verneveling van essentiële oliën, sojabonenolie, en microbiële additieven.

Jacobson et al. (1998) toonden aan dat geuremissies met 50% gereduceerd kunnen worden door sojaolie te vernevelen bij biggen (Fig. 3.8). Ze gebruikten de dosis aangeraden door Zhang et al. (1996), nl. 40 mL m^{-2} de eerste twee dagen, 20 mL m^{-2} op dag drie en vier en 5 mL m^{-2} als onderhoudsdosis voor de resterende dagen. De olie werd verneveld met een handgedragen spuit.

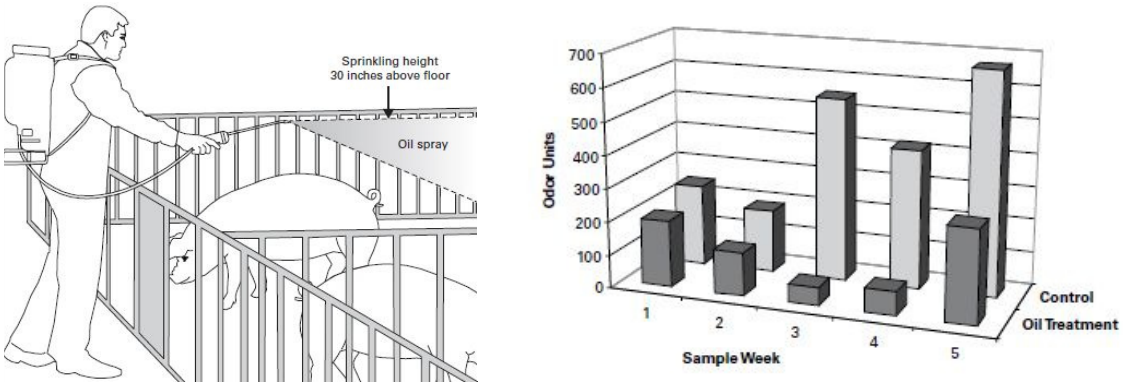


Fig. 3.8 De verneveling van olie in varkensstallen (links) en het effect op de geur (rechts). Bron: Jacobson et al. (2001).

Dit positieve resultaat van de verneveling van sojaolie kon echter niet bevestigd worden in het onderzoek van Kim et al. (2008) bij vleesvarkens. Kim et al. (2008) vonden wel een reductie in de geurintensiteit en het storend karakter van de varkensstallucht na verneveling van een essentiële olie (0.185%, 10 mL kruid, 8.5 g ravenda in 10 L water) en een artificieel kruid (0.2%, 20 mL in 10 L water). De reductie was significant tot drie uur na de verneveling. In dit onderzoek werd echter geen

olfactometrische bepaling van de geurconcentratie uitgevoerd. Het is daardoor onmogelijk om een inschatting te doen van de mogelijke daling in geuremissie na verneveling van deze additieven.

Er zijn enkele opmerkingen bij het praktisch gebruik van het vernevelen van olie in de stallen. De stalvloer kan gevaarlijk glad worden voor de dieren en de landbouwer. Bovendien is er meer arbeid nodig om de behandelde compartimenten te reinigen. Een extra voorweekfase werd door Jacobson et al. (1998) gebruikt om een goede reiniging te bekomen.

Enkele praktische tips in verband met het vernevelen van olie werden gegeven door Aarnink en van der Hoek (2004):

- De olieconcentratie moet tenminste 20% zijn. Met deze concentratie wordt de relatieve luchtvochtigheid in de stal slechts licht verhoogd (< 2%).
- Oliedruppels moeten groter zijn dan 150 µm. De druppels moeten namelijk vlug op de vloer vallen i.v.m. de effectiviteit en i.v.m. een eventueel nadelig effect van kleine oliedruppels op de longgezondheid.
- In het algemeen kunnen alle soorten plantaardige oliën worden gebruikt. Alhoewel hierbij enkele opmerkingen zijn te maken:
    - Het is niet nodig om gezuiverde olie te gebruiken, echter de olie moet wel vrij zijn van deeltjes.
    - Olie met een sterke geur is minder geschikt i.v.m. het mogelijke effect op het diergedrag.
    - Olie met een laag Jodium gehalte moet worden gebruikt.
- Het stofbindend effect van de olie is langdurig (meerdere dagen). De toepassingsstrategie kan daarop worden afgestemd.

3.3 MESTBEHEER

3.3.1 Mestverblijftijd

Uit het Vlaams onderzoek van Van Langenhove en Defoer (2002) werd besloten dat er bij mestverblijftijden onder de rooster groter dan 3 maanden, negatieve effecten te verwachten zijn naar geuremissie toe. Door de gebruikelijke mestverblijftijd onder de rooster van 5 maanden te reduceren naar 3 maanden, kan een reductie in de geuremissie verwacht worden. Hoe groot deze reductie kan zijn is met de huidige kennis evenwel niet in te schatten.

3.3.2 Mestadditieven

Additieven die de geur van mest kunnen reduceren, worden al geruime tijd onderzocht en met afwisselend succes. Ze kunnen volgens hun werkingsprincipe ingedeeld worden in zes groepen: er zijn de microbiële en desinfecterende additieven, de oxiderende, adsorberende en maskerende agentia, en tenslotte zijn er ook additieven die in de mest een fysische barrière vormen voor geurende gassen.

Microbiële additieven

Deze additieven bevatten geselecteerde microbiële stammen en/of enzymes die de biologische afbraak van de mest bevorderen. Ze hebben als doel de productie van geurende stoffen te reduceren of de afbraak ervan te bevorderen. De samenstelling van vele commerciële producten, net als hun werkingsmethode, is echter veelal ongekend omwille van confidentialiteit (McCrory, D.F. and Hobbs, P.J., 2001). Vele van deze additieven bleken na wetenschappelijk onderzoek geen effect te hebben op de geuremissie. De reden hiervoor zou kunnen zijn dat deze additieven de productie van slechts een beperkt aantal stoffen tegengaan, waardoor een effect op de geuremissie niet gegarandeerd is. Ook de moeizame overleving van de toegevoegde bacteriën wordt aangehaald als een mogelijke reden voor hun falen (Zhu, J., 2000).

McCrory et al. (2001) stelden dat de werking van deze additieven niet gegarandeerd kan worden zolang de specifieke micro-organismen en enzymen niet grondig gekend zijn, en de overleving van de toegevoegde of gestimuleerde micro-organismen niet onderzocht werd. Ondertussen zijn er verschillende onderzoeken gevoerd naar de organismen die geur produceren. De grootste producenten van geur in anaërobe condities zijn ondertussen gekend, nl. *Clostridia* en *Eubacterium* (Zhu, J., 2000). Deze bacteriën houden van hoge pH en een omgeving rijk aan eiwitten en aminozuren. In 2006 rapporteerde Huang et al. (2006) dat de toevoeging van *Lactobacillus plantarum* samen met oplosbare koolhydraten, de pH van varkensmest sterk reduceerde en ook resulteerde in een reductie van ammoniakemissie en minder hinderlijke geur. Er werden echter geen olfactometrische metingen uitgevoerd, waardoor het niet duidelijk is of de geuremissie uit de mest werd verlaagd door deze toepassing. Heel recent onderzoek van Nykänen (2010) toont de mogelijkheid om de pH in een mestopslag van 600 m^3 varkensmest significant te doen dalen, door toevoeging van afval rijk aan koolhydraten zoals maltose siroop (5 m^3) en tarwebloem (7 m^3). Dit met behulp van de reeds aanwezige melkzuurproducerende bacteriën in de mest. Verder onderzoek is echter nodig om het effect van deze toevoeging op de geuremissie uit de stal te bepalen.

Desinfecterende additieven

Dit soort additieven worden toegevoegd aan de mest met als doel de microbiële processen en de gerelateerde geurproductie af te remmen. McCrory en Hobbs (2001) beschreven deze additieven in hun review als meestal toxische chemische verbindingen die daarenboven ook onpraktisch in gebruik en duur zijn.

Oxiderende agentia

Deze stoffen doen de geurconcentraties in mest dalen en hebben een desinfecterende werking. De meest onderzochte agentia in deze categorie zijn kaliumpermanganaat ($KMnO_4$), waterstofperoxide (H_2O_2) en ozon (O_3). Over het algemeen zijn deze verbindingen inderdaad effectief in de bestrijding van geur uit mest. Hun effect is echter van korte duur. Bovendien zijn grote hoeveelheden reagentia nodig om een complete oxidatie te bekomen.

Studies rond deze agentia zijn vrij gedateerd. Cole et al. (1976) vonden dat $KMnO_4$ aan een concentratie van 500 mg L^{-1} de geur van varkensmest effectief deed dalen. Dezelfde auteurs vonden ook dat H_2O_2 (500 mg L^{-1}) het storend karakter van de varkensmest deed dalen. Natriumhydroxide (0.9% w/v) reduceerde de geur uit kippenmest gedurende 28 dagen (Burnett, W.E. and Dondero, N.C., 1970).

Adsorberende agentia

Deze agentia hebben een hoge adsorptiecapaciteit. Voorbeelden zijn aluminiumsilicaten, zeolieten, en bentoniet. Onderzoek naar het gebruik van dit type additieven werd vooral gericht op de bestrijding van geur uit kippenmest (4.2.3 Strooiseladditieven).

Maskerende agentia

Deze producten zijn mengelingen van aromatische oliën met een specifieke sterke geur en hebben tot doel de hinderende geur te overheersen. Ze kunnen toegevoegd worden aan de mest of verneveld worden in de stal (3.2.2 Verneveling van additieven). Er zijn in de jaren 1970 en 1980 enkele successen geweest met dit type van mestadditieven.

Fysische barrière additieven

Pahl et al. (2002) onderzochten het effect van de toevoeging van gebruikte en gefilterde frituurolie (hoofdzakelijk koolzaadolie) aan de mestput bij gespeende biggen in een volrooster stal. Na het reinigen van de mestput, werd eerst een laag water van 5 cm aangebracht in de mestput. Daaraan werd een olielaag van 5 mm dik toegevoegd. Er werd met water verneveld om de oliefilm goed verdeeld te krijgen. De geurconcentratie van de lucht bemonsterd aan de ventilatie uitlaat was in 11 van de 16 staalnames lager in de behandelde ruimte dan in de controle ruimte (Fig. 3.6). De

geuremissie werd door de olielaag gereduceerd met meer dan 50% in vergelijking met de onbehandelde ruimte (Fig. 3.7).

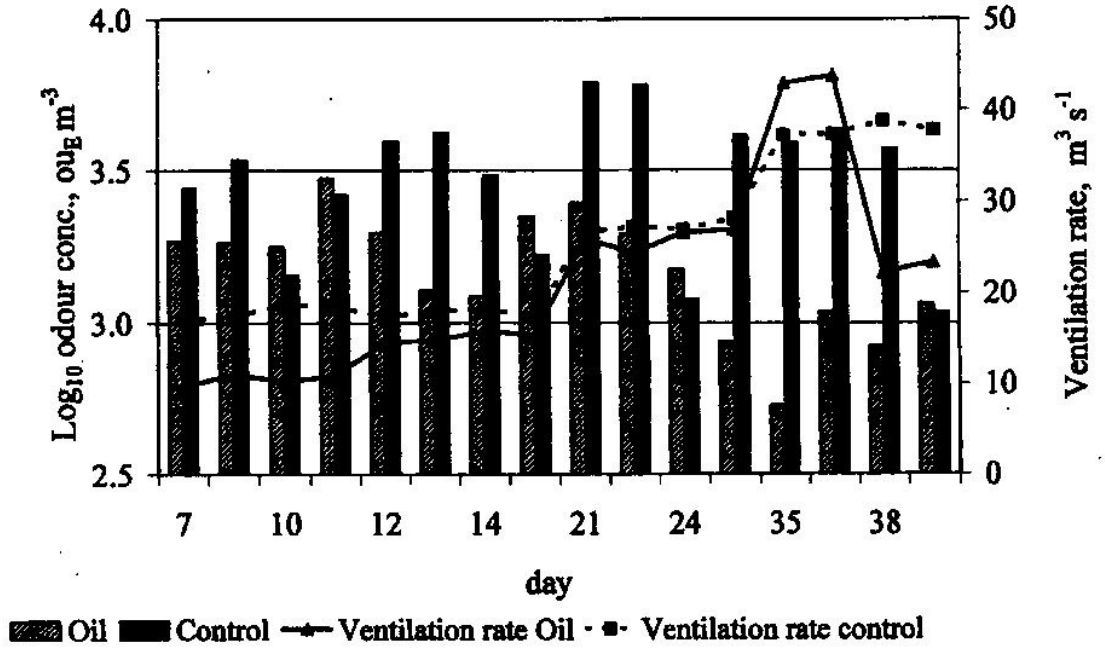


Fig. 3.6 Geurconcentratie ($ou_E\ m^{-3}$) en ventilatiedebiet ($m^3\ s^{-1}$) in de behandelde en controle ruimte (Pahl, O. et al., 2002).

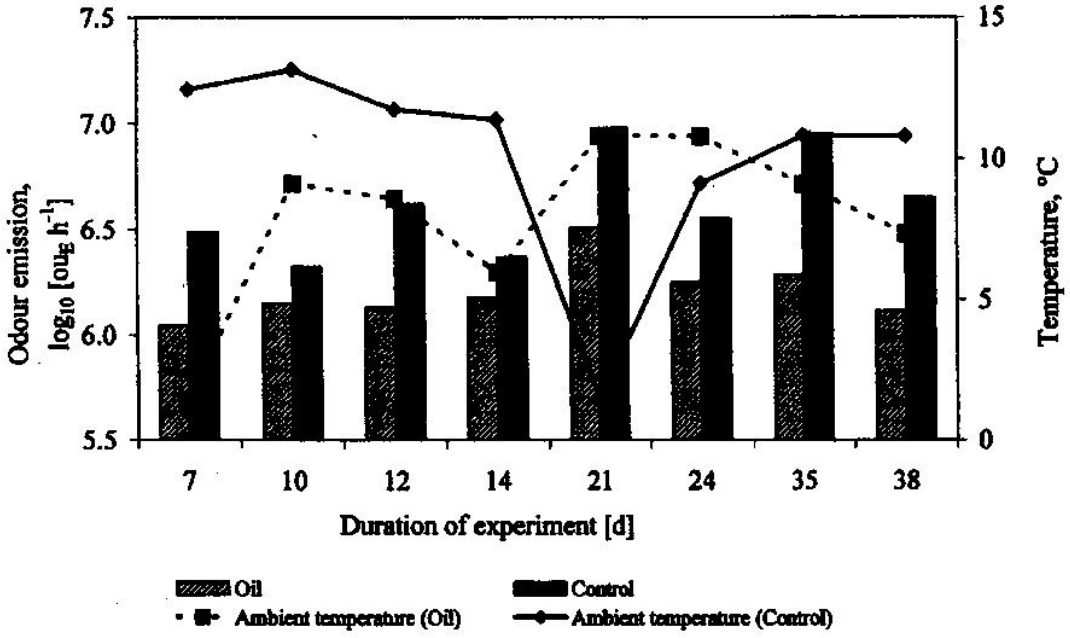


Fig. 3.7 Geuremissie (log10 $ou_E\ h^{-1}$) en omgevingstemperatuur (Pahl, O. et al., 2002).

De auteurs vermelden enkele nadelen van het gebruik van olie. De olielaag is onderhevig aan microbiële afbraak. Een laag van 5 mm dikte kan na 25 dagen zijn effect verliezen door het ontstaan van barsten in de olielaag. Het gebruik van een dikkere laag kan dit probleem eventueel verhelpen. De olielaag creëert anaerobe omstandigheden in de opgeslagen mest, waardoor de voordelige effecten niet blijvend zijn. Op het ogenblik dat de olielaag doorbroken wordt, bestaat de kans dat de emissie van gassen exponentieel stijgt. In dit kader moet ook de emissie van methaan vermeld worden. Een bijkomend probleem kan optreden wanneer de microbiële afbraak zodanig groot is, bv. bij hoge temperaturen en lange verblijftijd, dat de olielaag verandert van consistentie en ranzig begint te ruiken (Pahl, O. et al., 2002). Het gebruik van olie in de mestput heeft de capaciteit om geuren te reduceren, maar bijkomend onderzoek is nodig om de randvoorwaarden in praktijkomstandigheden vast te leggen. Hierbij moet zeker de vraag gesteld worden of het toevoegen van olie aan de mestput geen problemen zal opleveren bij de verdere verwerking van de mest of bij de uitspreiding op het land.

Naast het gebruik van olie kan ook een schuimlaag zorgen voor een fysische barrière op de mest. Dergelijk schuim kan aangemaakt worden door het aanzuigen en het terug injecteren van drijfmest met behulp van een elektrische pomp en een injector. In tegenstelling tot beluchting van mest, wordt de zuurstofstatus van de mest in dit geval niet veranderd. Het is daarom een goedkope manier om de mest te ‘bedekken’. Bundy et al. (1997) kon een schuimlaag behouden op de mest door om de drie dagen de pomp 5 min te laten lopen in een open tank gevuld met varkensmest met 4-5% droge stof. Door de luchtuitlaat (4 openingen van 1.9 cm diameter) onderaan de tank te plaatsen, werd de sterkte van het schuim bevorderd. De geur boven de tank werd op deze manier gereduceerd met 90%. Deze techniek lijkt veelbelovend te zijn. Er is echter praktijkonderzoek nodig om de haalbaarheid en de effectiviteit van deze techniek te toetsen in praktijkomstandigheden. Hierbij moet bovendien aandacht besteed worden aan de mogelijke stijging van de ammoniakemissie door het inbrengen van lucht in de mest.

4 SPECIFIEKE MAATREGELEN VOOR PLUIMVEESTALLEN

4.1 VOEDERSTRATEGIEËN

Tot op heden werd er heel weinig onderzoek verricht naar het effect van de voeding op de geuremissie uit pluimveestallen. Meestal keken de onderzoekers naar de link tussen het gehalte aan eiwitten in het voeder en de ammoniakemissie of de eigenschappen van het strooisel.
Uit het onderzoek van Gates et al. uit 2000 (geciteerd door McGahan (2002)), bleek dat vleeskippen gekweekt op een dieet met een laag ruw eiwitgehalte, een strooisel produceerden met een lagere pH en vochtgehalte. Net als bij de varkens, is het dus mogelijk dat voeder met een gereduceerd ruw eiwitgehalte kan leiden tot lagere geuremissies. Dit dient echter nog verder onderzocht te worden.

4.2 SAMENSTELLING EN BEHEER VAN HET STROOISEL IN VOLLEDIG INGESTROOIDE STALLEN

De productie van geur en stof wordt in systemen met een strooisellaag hoofdzakelijk bepaald door het vochtgehalte van het strooisel. Het optimale vochtpercentage ligt tussen 15 en 30% (natte basis). Indien het strooisel te droog wordt is er een te hoge productie van stof. Bij een te nat strooisel kan er anaërobe afbraak plaatsgrijpen waardoor de geur- en ammoniakemissie zal verhogen. Zelfs kleine natte plaatsen kunnen resulteren in een significante stijging van de geuremissie. Belangrijke aandachtspunten in dit verband zijn zowel de keuze van het strooiselmateriaal als het beheer ervan.

4.2.1 Strooiselmateriaal

Goed strooiselmateriaal kan veel vocht opnemen, is zacht en los van structuur (rul), mag niet gemakkelijk samenklitten of een korst vormen en moet vrij zijn van onzuiverheden en schadelijke stoffen. In Tabel 4.1 worden enkele voorbeelden gegeven van strooiselmaterialen met hun eigenschappen.

Tabel 4.1 Vochtopnamecapaciteit van strooiselmaterialen. Voor houtkrullen, gerststro, tarwestro en haverstro: Bron = Pluimvee nr. 39, 2004. Voor turf, vlaslemen en zaagsel Bron = persoonlijke communicatie Proefbedrijf Pluimveehouderij en onderzoeksrapporten UGent.

Strooiselmateriaal	Soortelijk gewicht (kg m^{-3})	Vochtgehalte (%)	Maximale vochtcapaciteit (g H_2O g^{-1})
Houtkrullen	120	10-15	3.4
Gerststro	60	10-15	1.9
Tarwestro	60	10-15	2.6
Haverstro	50	10-15	2.8
Turf	250	40-55	7-10
Vlaslemen		13	3.4
Zaagsel		13	3.3

Houtkrullen en tarwestro zijn al jarenlang de meest gebruikte strooiselmaterialen in Vlaanderen (persoonlijke communicatie Proefbedrijf voor de Pluimveehouderij).

Stro wordt bij voorkeur gehakseld omdat het in deze vorm meer vocht kan opnemen en problemen van korstvorming beperkt kunnen worden. Gehakseld stro heeft een lagere vochtopnamecapaciteit en is lichter dan houtkrullen (dikkere strooisellaag). De strodeeltjes zijn langer dan houtkrullen en vlaslemen, hierdoor scharrelen kippen er minder in en ontstaat vlugger korstvorming en een natte vettige laag bovenaan het strooisel (De Baere, K. and Zoons, J., 2004).

Globaal kan men stellen dat het gebruik van turf een duidelijk positieve invloed heeft op de droogte en de rulheid van de strooisellaag. Het blijft langer droog en rul in vergelijking met houtkrullen en gehakseld stro (De Baere, K., 2006). Turf is echter een vochtig strooiselmateriaal dat eerst goed moet drooggestookt worden om te vermijden dat de eendagskuikens op een te koude strooisellaag geplaatst worden en daardoor minder goed starten. Om dit nadeel te beperken kan een mengeling van turf en houtkrullen gebruikt worden.

Onderzoek naar de relatie tussen vochtcapaciteit van strooisel en geuremissie werd niet teruggevonden.

4.2.2 Strooiselbeheer

Zowel nat als samengeklit strooisel moet lokaal verwijderd worden en vervangen worden door vers, droog strooisel (Briggs, G., 2004). De strooisellaag wordt het beste niet dikker dan 5 cm en het moet gelijkmatig over de stal verdeeld zijn. Het verlagen van de vochtigheid van het strooisel wordt bekomen door in te spelen op de het stalklimaat (zie 4.3 Beheersing van het stalklimaat) en door aandacht te hebben voor de volgende aspecten. Een goede isolatie van de stal kan condensatie op het strooisel voorkomen (McGahan, A. et al., 2002).

4.2.3 Strooiseladditieven

Aan het strooisel kunnen adsorberende agentia worden toegevoegd. In een review van Mumpton en Fishman (1977) worden verschillende toepassingen van natuurlijke zeolieten besproken bij de bestrijding van geur. Zij halen een oude traditie uit Japan aan waarbij mest van kippen werd besprenkeld met zeoliet om de geur van mest te reduceren en het vochtgehalte ervan te controleren.

Amon et al. (1997) bestudeerde het effect van commercieel beschikbare geurneutraliserende agentia, nl. Clinoptilolite zeolite en De-odorase® (yucca products) op ammoniak -en geuremissies uit vleeskuikenstallen. Naast een toevoeging aan het voeder werd een oppervlaktebehandeling van het

strooisel toegepast in week 1, 4, 5 en 6 van de studie. De resultaten toonden aan dat Clinoptilolite zeolite ammoniakemissies verhoogde terwijl De-odorase® ze verlaagde. Geen van beiden had echter een significant effect op de geuremissie in dit onderzoek.

Tien jaar later, in 2007, toonde het onderzoek van Cai et al. (2007) dat een 10% zeoliet (12.5 kg m² mestoppervlakte) toepassing bovenop kippenmest geur reduceert. Gemiddeld werd een reductie van 67 ± 12% in proef A en 51 ± 26% in proef B in het labo vastgesteld met behulp van een GC-Olfactometrische meetmethode. Belangrijk om te vermelden is dat er wel een stijging werd vastgesteld in de concentratie aan bepaalde zwavelverbindingen en fenol. De auteurs wijten dit aan een wijziging van de pH van de mest of door de vorming van anaërobe condities door de oppervlaktebehandeling. Met dezelfde behandeling werd een ammoniakreductie van 96% ten opzichte van de controle vastgesteld in een test over 7 dagen. De betere controle van ammoniak in vergelijking met de controle van de geurende verbindingen schrijven de onderzoekers toe aan de natuurlijke selectiviteit van zeoliet voor ammoniak. Olfactometrische metingen op niveau van de stal werden niet uitgevoerd in deze studie. Er kan dus geen uitspraak gedaan worden over het effect van dit additief op de eventuele reductie in geuremissie uit de stal.

Naast de adsorberende agentia, zijn er ook desinfecterende additieven. Jiang en Sands (2000) suggereren dat de toevoeging van gebluste kalk ($Ca(OH)_2$) in vers strooisel in de pluimveestal de anaërobe microbiële groei zal remmen en kan resulteren in een geuremissiereductie. Extra onderzoek is echter noodzakelijk om de exacte effecten op geuremissies en de gezondheid van de dieren na te gaan.

4.3 BEHEERSING VAN HET STALKLIMAAT

Het ventilatiesysteem dient goed te worden gedimensioneerd en minimaal te zorgen voor de afvoer van het vocht dat wordt uitgescheiden door de dieren via de ademhaling en de huid (zie 2.1 Optimaliseren van het mechanische ventilatiesysteem). Het is vooral het patroon van de luchtverplaatsing en de temperatuurgradiënt tussen de buitenlucht en de stallucht die het droogproces zal bepalen (McGahan, A. et al., 2002). Het ventilatiesysteem dient te zorgen voor een gelijkmatige verdeling van verse lucht over het strooiselpakket. Dit kan worden bekomen door een buizensysteem waarbij er continu voorverwarmde lucht over het strooisel wordt geblazen. Er kunnen ook warmtewisselaars naast de stal worden geplaatst die de buitenlucht voorverwarmen en zo ook het vochtgehalte van de stallucht verlagen.

Het verwijderen van stof en veren van de ventilatoren en in de ventilatorschachten zal een goede ventilatie garanderen en de vrijstelling van geur uit deze materialen teniet doen (McGahan, A. et al., 2002)

4.4 KEUZE EN BEHEER VAN HET DRINKWATERSYSTEEM IN VOLLEDIG INGESTROOIDE STALLEN

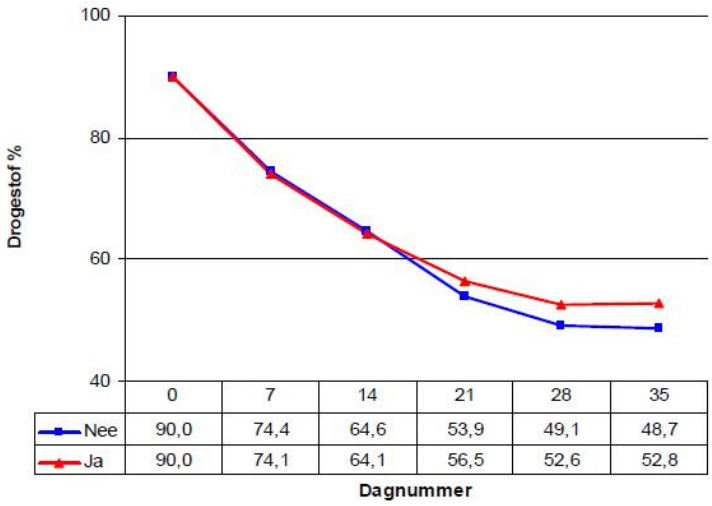
In relatie tot de goede staat van het strooisel, is het is van belang dat het drinkwatersysteem goed onderhouden wordt en dat lekken onmiddellijk hersteld worden (Ferket, P.R. et al., 2002). Drinknippels leiden tot minder drinkwaterverlies dan ronddrinkers. De vervanging van ronddrinkers door drinknippels op de geurconcentraties en –emissies op vleeskuikenbedrijven werd onderzocht door Clarkson & Misselbrook (1991). In een eerste meting werd de geurconcentratie in de stal gereduceerd met 38 tot 75%. In de tweede meting lag de reductie in geurconcentratie in de stal tussen 66 en 73%. Het betreft hier een beperkt aantal metingen. De reductiepercentages moeten hierdoor omzichtig gebruikt worden.

In een Nederlandse studie werd aangetoond dat het voorzien van schaaltjes onder de drinknippels (Fig. 4.1) resulteert in minder vochtig en ruller strooisel (van Harn, J. et al., 2009). De verschillen in het droge stof percentage van het strooisel waren vanaf 21 dagen duidelijk zichtbaar, voordien waren er nagenoeg geen verschillen in het droge stofgehalte van het strooisel (Fig. 4.2). Het verschil in droge stofgehalte van het strooisel tussen de afdelingen met en zonder opvangschoteltjes onder de drinknippel, nam toe met de leeftijd van de kuikens (Fig. 4.2). Op 21, 28 en 35 dagen was het verschil in droge stofgehalte respectievelijk 2.6, 3.5 en 4.1%. Het strooisel werd in de afdelingen met opvangschoteltjes onder de drinknippels bovendien ook als meer rul beoordeeld (Fig. 4.3). In dit onderzoek werden geen geurmetingen uitgevoerd. Belangrijk om hierbij te vermelden is dat het aanbrengen van opvangschoteltjes onder de drinknippels leidt tot een beter productieresultaat en minder waterverbruik. Bij afleveren van de kuikens op 35 dagen waren de kuikens gehouden in de afdelingen met opvangschoteltje 2.2% zwaarder (van Harn, J. et al., 2009).

Een andere manier om drinkwaterverlies te beperken is het verlagen van de waterdruk op de drinknippelleiding (van Harn, J. et al., 2009). Het verlagen van de waterdruk vanaf dag 11 , van 20-24 mL min^{-1} tot 10-15 mL min^{-1} wateropbrengst, resulteerde vanaf 21 dagen in een droger strooisel. Aan het einde van de ronde bedroeg het verschil in droge stofgehalte bijna 4%. Het verlagen van de waterdruk resulteerde bovendien in ruller strooisel. Zowel op 28 en 35 dagen werd het strooisel in de afdelingen met een lagere waterdruk als meer rul beoordeeld. De auteurs maakten wel een belangrijke opmerking in verband met deze techniek. Door het verlagen van de waterdruk bestaat het risico dat het water minder snel aan het einde van de drinklijn komt en dat de waterafgifte

langzamer is. Zeker bij warme dagen zou dit niet zonder risico zijn. Mogelijk is het beter om de waterflow niet via de waterdruk, maar via flow-pinnetjes te reguleren. Deze pinnetjes zullen ervoor zorgen dat bij een normale waterdruk de flow uit de drinknippel wordt verminderd (van Harn, J. et al., 2009).

Fig. 4.1 Schaaltjes onder drinknippels (van Harn, J. et al., 2009).



	0	7	14	21	28	35
Nee	90,0	74,4	64,6	53,9	49,1	48,7
Ja	90,0	74,1	64,1	56,5	52,6	52,8

Fig. 4.2 Droge stof gehalte (%) van het strooisel in afdelingen met (ja) en zonder schaaltjes (nee) onder de drinknippels (van Harn, J. et al., 2009).

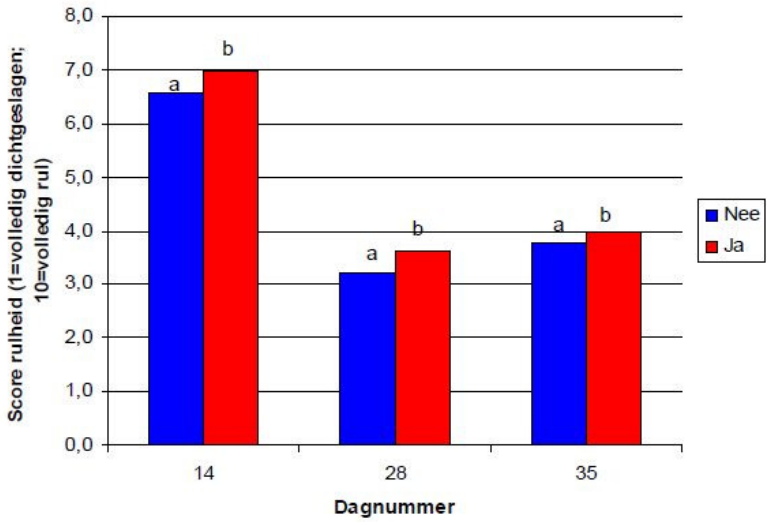


Fig. 4.3 Rulheid van strooisel in afdelingen met (ja) en zonder schaaltjes (nee) onder de drinknippels (van Harn, J. et al., 2009).

4.5 FREQUENTE VERWIJDERING VAN MEST IN NIET VOLLEDIG INGESTROOIDE STALLEN

De frequente verwijdering van mest uit de stal zal leiden tot minder geurproductie in de stal (Miner, 1997). In niet volledig ingestrooide pluimveestallen kan de verwijdering van mest gebeuren via een mestband. Indien er geen mest overblijft op de mestband, zal het transport van de mest uit de stal resulteren in lagere geurconcentraties in het gebouw (European Commission, 2003). Dit werd bevestigd in Nederlands onderzoek waarbij de geuremissie bij legkippen in batterijhuisvesting met natte mestopslag onder de batterij veel hoger lag dan bij batterijhuisvestingssystemen met mestafvoer via banden (Ogink, 2010).

5 ALGMENE MAATREGELEN VOOR BUITEN DE STAL

5.1 VERHOGEN VAN DE VENTILATIE-UITLAAT

Een verhoogde ventilatie-uitlaat zorgt ervoor dat de geurpluim zich in een groot luchtvolume kan inmengen vooraleer het grondniveau te bereiken. Een korte schouw kan gemonteerd worden op de ventilatoren aan de ventilatie-uitlaat van de stal (Hicks, K.C., 2007) (Fig. 5.1).

Fig. 5.1 Korte schouw gemonteerd op de ventilatie-uitlaat van een kippenstal (Hicks, K.C., 2007).

Pollock & Friebel onderzochten de effectiviteit van een 5 m hoge schouw op de diffusie van geuren tijdens de nacht. Ze vonden dat de afstand van de kippenstal tot waar 5 geureenheden werden gedetecteerd (99,9 percentiel voor een gemiddelde periode van 3 minuten) gereduceerd werd van 300 tot 170 m (McGahan, A. et al., 2002). De turbulentie die door een korte schouw wordt veroorzaakt en de resulterende geurreductie is effectief over afstanden van 200 tot 500 m van de stal. Sterke winden en onstabiele omstandigheden zullen dit effect verkleinen. De originele publicatie van dit onderzoek werd niet teruggevonden. De gevonden reductie moet daarom met omzichtigheid gebruikt worden en is sowieso sterk afhankelijk van de plaatselijke en meteorologische omstandigheden.

Oriënterende modelberekeningen in Nederland (V-STACKS) leidden tot de volgende conclusies voor een stal met referentiehoogte 6 m en uitlaathoogte 7 m (dak + 1m):

- De geurbelasting op 125 m afstand van de stallen neemt reeds gevoelig af door de uitlaat met 5 m te verhogen.
- De geurbelasting op 250 m afstand van de stallen neemt gevoelig af door de uitlaat met 8 m te verhogen.

5.2 WINDSINGELS

Windsingels zijn vegetatiesystemen die typisch uit bomen en struiken bestaan, in rijen of groepen aangebracht. In de literatuur worden windsingels vaak geciteerd als geurcontrolemiddel, maar weinig fysische, biologische of economische cijfers zijn hierover beschikbaar (Tyndall, J. and Colletti, J., 2007). Ondanks het gebrek aan harde bewijzen van de werking van windsingels, worden ze regelmatig toegepast in de USA. Tijdens een bevraging uitgevoerd bij varkenstelers uit de staat Iowa in 2002, werd gevonden dat 38% van de respondenten (in totaal 562 deelnemers) gebruik maakte van windsingels met het doel geurhinder te beperken. 64% van de gebruikers was tevreden in verband met de effectiviteit en het onderhoud van de windsingel. Slechts 0,9% was niet tevreden. De laatste jaren worden windsingels ook aanbevolen als beste managementpraktijk voor de bestrijding van geur rond pluimveestallen in het oosten van de USA (Liang, Y. et al., 2012; Malone, G.W. and Abbott-Donnelly, D., 2001).

Een windsingel wordt door interne en externe structuren gedefinieerd. De interne structuur van een windsingel wordt voornamelijk beschreven door de optische porositeit (= percentage open plaatsen bij het vooraanzicht bij een 2-dimensionale projectie). Externe structuren van een windsingel worden beschreven door diverse parameters zoals de hoogte, breedte en lengte, het aantal rijen, de soortsamenstelling, de oriëntatie en continuïteit (Tyndall, J. and Colletti, J., 2007).

Verschillende fysische en sociale effecten liggen aan de basis van het gebruik van windsingels voor geuremissiemanagement (Liang, Y. et al., 2012; Tyndall, J. and Colletti, J., 2007):

- Ze verhogen de verticale atmosferische menging van de vervuilde lucht met zuivere lucht waardoor een verdunning optreedt (mengeffect);
- Er treedt filtratie op door de onderschepping van deeltjes en door de val in windsnelheid net na de windsingel sedimenteren deeltjes onder invloed van de zwaartekracht (vangeffect);
- De relatie tussen de producent en de omwonenden verbetert door de hoge zichtbaarheid van de maatregel.

Ook socio-psychologische factoren spelen een rol bij het ervaren van een geur als zijnde hinderlijk. Een windsingel speelt hierop in door een visuele barrière te vormen tussen het landbouwbedrijf en de omwonenden (Jacobson, L.D. et al., 2001).

5.2.1 *Het mengeffect*

De atmosferische omstandigheden die leiden tot hoge concentraties polluenten gevangen in een luchtlaag aan de grond, zijn goed gekend. Het gaat hierbij om lage windsnelheden, het voorkomen van een inversie en het ontbreken van fysische landschapsstructuren die turbulentie veroorzaken. Een overzicht van de publicaties hierrond is te vinden in de reviewpaper van Tyndall et al. (2007). Geurproblemen zijn dan ook het grootst bij stabiele, nachtelijke condities met lage tot gemiddelde windsnelheden. Bij deze omstandigheden diffunderen de geuren die geëmitteerd worden vlakbij het grondoppervlak en niet naar hoger liggende luchtlagen. De geurcomponenten blijven dicht bij het grondoppervlak en verplaatsen zich in laminaire luchtstromingen die meanderen over het terrein (Tyndall, J. and Colletti, J., 2007).

Windsingels hebben de capaciteit om een deel van de geurpluim op te heffen waardoor er verdunning en dispersie optreedt. Een deel van de lucht kan dan door de windsingel gaan. Het andere deel zal boven de singel geheven worden. Dit fenomeen start op een afstand van 2 tot 5 keer de hoogte van de windsingel (2-5 H) windopwaarts van de windsingel (Mcnaughton, K.G., 1988). De zone waarin dit fenomeen optreedt strekt zich uit vanaf de top van de windsingel tot 1.5 H-1.7 H erboven. Na de windsingel kan de richting van de luchtstroming veranderen en neemt de luchtsnelheid toe. Dit veroorzaakt turbulenties in een zone die men de zone van verticale menging noemt (Fig. 5.2). Het is in deze zone dat de verdunning van de geurpluim plaatsvindt.

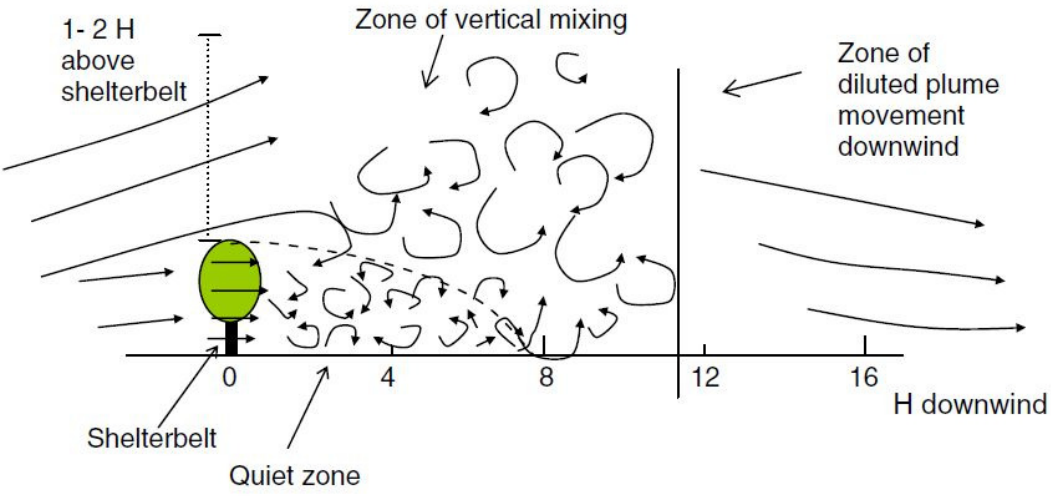


Fig. 5.2 Schematische voorstelling van de turbulentiezone en de zone van mogelijke geurverdunning.
H: de hoogte van de windsingel.
Bron: McNaughton (1988) cited by Tyndall (2007).

Net na de windsingel is er een driehoekige rustige zone die zich uitstrekt tot een afstand van ongeveer 8 H. Lammers et al. (2001) merkten op dat windsingels een tijdelijke zone van sterke geur kunnen produceren. Op basis van rookproeven waarschuwden Bottcher et al. (2001) dat de verdunningseffecten beperkt kunnen zijn tijdens stabiele windcondities.

5.2.2 Het vangeffect

Zowel stof, gas als microbiële bestanddelen kunnen door de bovengrondse delen van planten verwijderd worden uit de luchtstroom. Bomen en ander houtige vegetatie zoals struiken, behoren tot de meest efficiënte natuurlijke filters in een landschap. Directe filtering treedt op door vangen en neerslaan van deeltjes op het plantoppervlak. Kleine turbulente wervelingen ontstaan wanneer de laminaire luchtstroming onderbroken wordt door bladeren en takken. Deze wervelingen reduceren de beschermende grenslaag van deze oppervlakken waardoor een groot deel van de deeltjes impacteren. Eenmaal gevangen, is er een heel sterke wind nodig vooraleer de deeltjes terug opgenomen worden in de lucht. Dit proces is vooral van toepassing op de deeltjes met een diameter tussen 0.1 µm en 10 µm. Voor de deeltjes van 1 tot 5 µm zouden de fijne haartjes op het bladoppervlak en de andere oppervlakten (zoals stammen, bladstelen en boomschors), de belangrijkste interceptieplaatsen zijn (Tyndall, J. and Colletti, J., 2007).

Op basis van de literatuur zijn er een aantal algemene conclusies in verband met de filtratiecapaciteit van bomen (samengevat door Tyndall et al. (2007)):

- Er is een hoge correlatie tussen de bladoppervlakte en de hoeveelheid stof die accumuleert.
- Hoe groter de ruwheid van het blad, hoe beter de vangefficiëntie voor deeltjes kleiner dan 5 µm. De ruwheid wordt bepaald door de beharing en de nervatuur van het blad.
- Kleinere bladeren zijn meestal efficiënter dan grote bladeren.
- Bladeren met een complexe vorm en een grote omtrek/oppervlakte-verhouding zijn het efficiëntste.
- Coniferen zijn over het algemeen efficiëntere deeltjesvangers dan loofbomen.
- Bladstelen, stammen en boomschors accumuleren ook significante hoeveelheden in de PM10 range.
- Hoe onregelmatiger de vorm van de deeltjes, hoe beter ze gevangen kunnen worden

Windsingels leiden ook tot een snellere afzetting van deeltjes. De verandering van luchtturbulenties en luchtsnelheid veroorzaakt een situatie waarbij windgedragen deeltjes kunnen afgezet worden op een veel kortere afstand dan het geval zou zijn zonder windsingels (Tyndall, J. and Colletti, J., 2007).

5.2.3 Veldexperimenten

In 2003 werden in Canada veldmetingen uitgevoerd met verschillende windsingels (Lin, X.J. et al., 2006). Het doel van deze metingen was het bepalen van het effect van een windsingel bestaande uit twee bomenrijen, op de grootte en intensiteit van de geurcontouren in het veld na blootstelling aan een puntbron. Naast een controle site zonder windsingel werden 4 verschillende windsingels getest (Tabel 5.1). De windsingels op site 1 en 3 hadden een optische porositeit (2D-porositeit) van 55% en waren dus meer doorlatend dan de windsingels op site 2 en 4 die een optische porositeit hadden van 35%. Op site 1 en 2 werd de windsingel gevormd door loofbomen, terwijl de windsingels op site 3 en 4 samengesteld waren uit coniferen. Een mobiele geurgenerator werd gebruikt om de geuremissies te controleren gedurende de test. Er werd gekozen om niet met echte stallen te werken om geen invloed te hebben van omliggende gebouwen. De geurgenerator werd windopwaarts van de windsingel geplaatst op 15, 30 en 60 m afstand. De geurbron in de generator was een 500 L tank gevuld met varkensmest. Gedurende elk experiment werd om de 30 min een luchtstaal genomen aan de uitgang van de generator. Dit staal werd in het labo geanalyseerd met behulp van een olfactometer en 12 getrainde panelleden die ook de geurcontourmetingen in het veld uitgevoerd hebben. Gemiddeld werd een geurconcentratie van 471.6 OU m^{-3} gemeten aan de uitlaat van de geurgenerator. In totaal werden 39 testen uitgevoerd op de 4 sites met windsingels en op de controlesite. Dit heeft 18 dagen in beslag genomen.

Tabel 5.1 Eigenschappen van windsingels getest in Lin et al. (2006).

Beschrijving	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
Type	Populier	Gemengde loofbomen	Coniferen	Coniferen
Lengte (m)	2100	1050	405	380
Hoogte (m)	18.3	9.2	7.6	15.2
Diepte (m)		7		6
Optische porositeit (%)	55	35	55	35
Optische porositeit aan de basis (%)	70	30	70	40

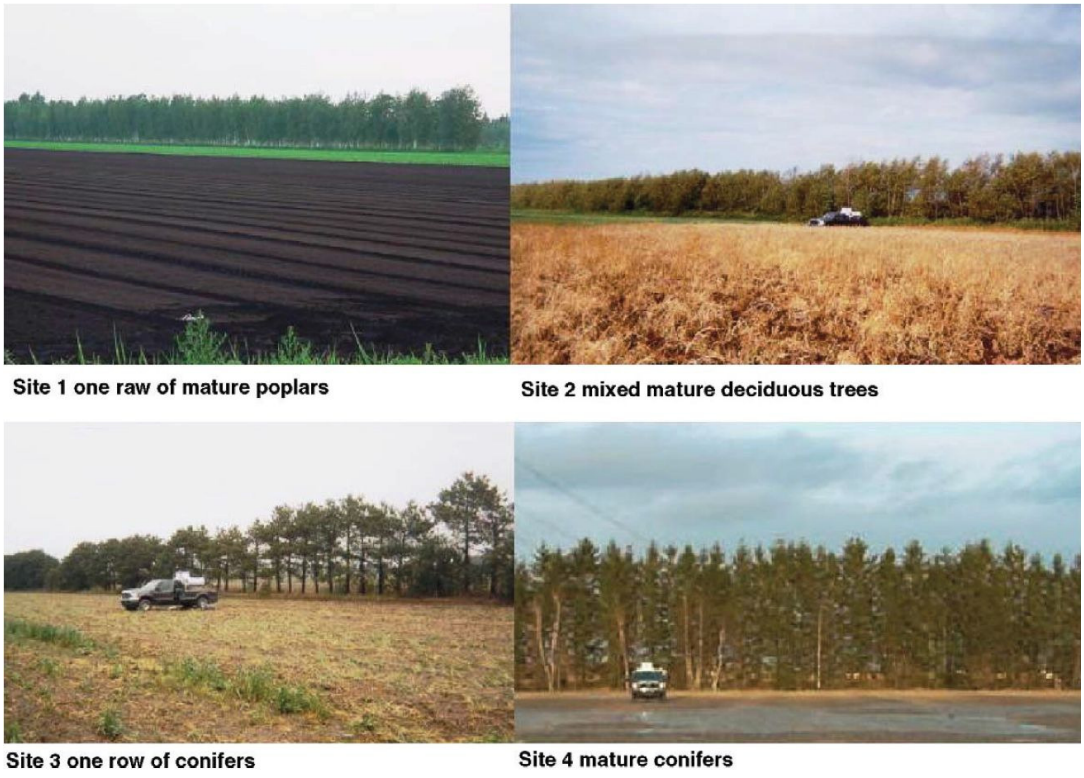


Fig. 5.3 Foto's van de vier windsingels gebruikt in Lin et al. (2006) en de geurgenerator gemonteerd in een pick-up truck.

De onderzoekers bekeken het effect van de aanwezigheid van de windsingels, de porositeit van de singel en het type gewas, de locatie van de geurgenerator en de klimatologische condities op de afname van de geurconcentraties met de afstand. Voor elke vergelijking werden gelijkaardige parameters getest. De geurcontouren werden begrensd met behulp van de 2 OU m^{-3} contourlijnen. Op basis van deze contourlijnen werd een rechthoek gedefinieerd parallel aan de gemiddelde windrichting (Fig. 5.4). De lengte van deze rechthoek wordt verder gedefinieerd als LOP, de breedte als WOP.

De aanwezigheid van een windsingel had een statistisch significant effect op de LOP. Gemiddeld was de LOP zonder windsingel 453 m, terwijl dit 352 m was met een windsingel. Het gaat hier met andere woorden om een reductie met 101 m of 22%. Wanneer enkel de windsingels met een lage porositeit (35%) in acht genomen worden, is er een significante reductie van de LOP met 120 m of 26.5%. De windsingels met een hogere porositeit (55%) vertonen geen significante reductie van de LOP in vergelijking met de situatie zonder windsingel (Fig. 5.5).

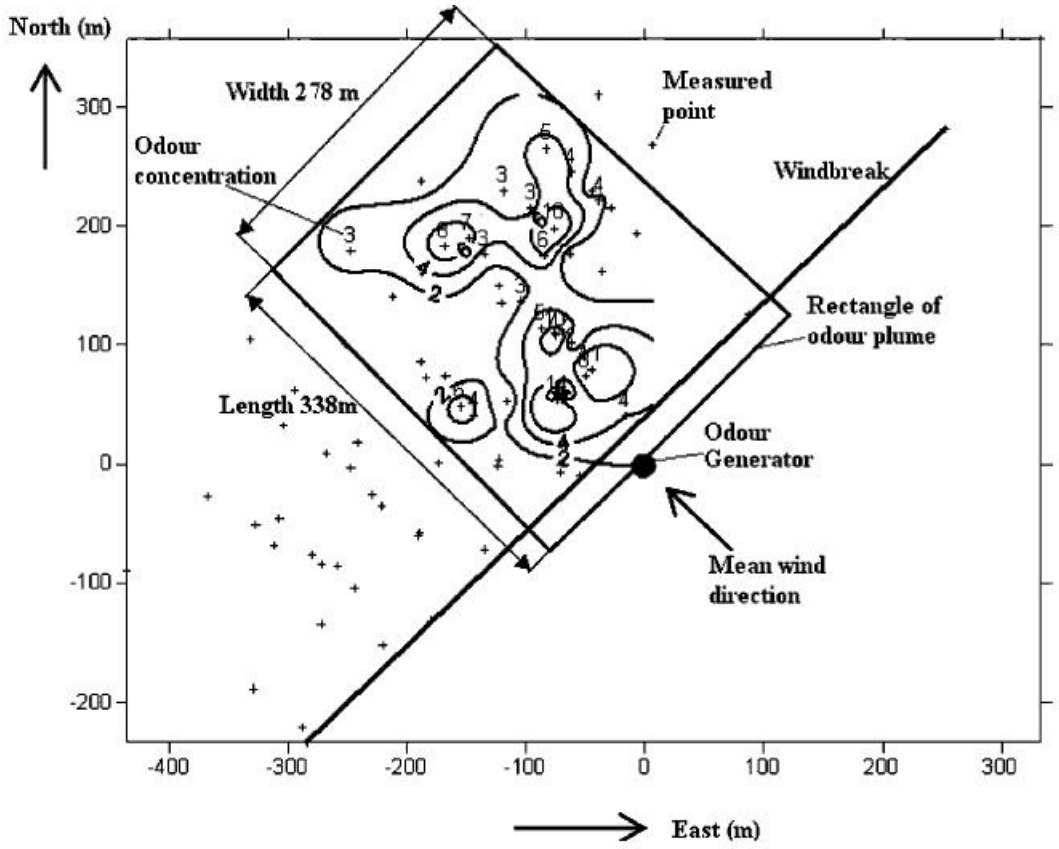


Fig. 5.4. Geurpluim definitie voor test 5. De 69 gemeten punten produceerden 22 geurpunten die samen een rechthoek vormen die de 2 OU m^{-3} contour omvatten. De windrichting veranderde gemiddeld met ± 25° rond de gemiddelde windrichting. De lengte (parallel met de windrichting) en breedte (loodrecht op de windrichting) van de geurpluim zijn in dit geval 338 m en 278 m.
Bron: Lin *et al*. (2007).

De statistische analyse toonde aan dat naast porositeit ook de windsnelheid, windrichting en de temperatuur de LOP significant beïnvloedden. Tijdens de metingen varieerde de windsnelheid van 0.0 tot 6.4 m s^{-1}, de windrichting van 20° tot 90° en de temperatuur van -9 tot 28°C.

In tegenstelling tot de verwachtingen verhoogde de LOP met de windsnelheid. Men had verwacht dat hogere windsnelheden meer turbulenties zouden veroorzaken en de atmosferische menging zouden verhogen. Dit moet verder onderzocht worden ook in relatie met boomhoogte en –type en de atmosferische stabiliteit.

Hoe kleiner de hoek van de wind met de windsingel, hoe kleiner het effect op de LOP. Tussen de temperatuur en de LOP werd een rechtevenredig verband gevonden. Hoe hoger de temperatuur, hoe verder de geuren zich verspreiden.

Er werd geen significant effect gevonden van de afstand van de windsingel tot de geurbron op de LOP. De auteurs vermoeden wel dat hoe dichter de windsingel bij de bron staat, hoe beter de geur

gevangen en verdund wordt. Ze raden aan om de windsingel niet verder dan 15 m van de bron te positioneren.

De breedte van de geurpluimen veranderde niet significant tijdens de testen.

De auteurs benadrukken dat de statistische analyse rond het effect van de aan- of afwezigheid van een windsingel en van hun porositeit uitgevoerd is met voldoende data. De andere analyses werden uitgevoerd met een beperkt aantal metingen en moeten daarom beter bestudeerd worden om de bevindingen te staven.

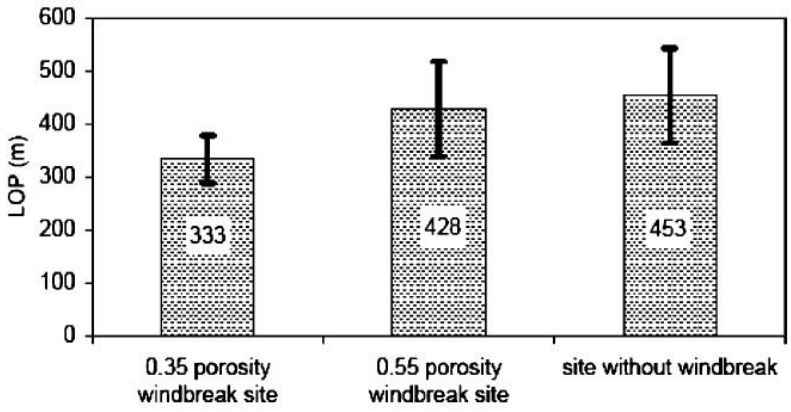


Fig. 5.5 De gemiddelde lengte van de geurpluim (LOP) met en zonder windsingel van verschillende porositeit. Bron: Lin *et al*. (2007).

5.2.4 Ontwerp

Enkele praktische ontwerptips die teruggevonden werden in de literatuur (Scott, J.D., 2012; United States Department of Agriculture, 2012):

- Om verlies of vernietiging van de volledige windsingel door insecten, ziektes of klimatologische extremen te vermijden, is het aan te raden een mengeling van boomsoorten en struiken te gebruiken.
- Windsingels zouden het best uit één tot drie rijen van afwisselend coniferen en loofbomen bestaan. Struiken worden best eerst geplant gevolgd door coniferen en daarna de hardhoutige loofbomen.
- De afstand van de windsingel tot de ventilator-uitlaat moet minstens 10 keer de diameter van de uitlaat zijn en maximaal 15 m.
- Een betere efficiëntie zou kunnen bekomen worden door zowel windopwaarts als windafwaarts van de stal een windsingel te plaatsen. De windsingel windopwaarts zal ervoor zorgen dat minder stof en geurdeeltjes opgenomen worden door de wind. De singel

windafwaarts zal verder de windsnelheid reduceren zodat geurige stofdeeltjes afgezet worden net na de singel.

5.3 WINDBREEKMUREN

Windbreekmuren zijn minimaal 3 meter hoge barrières die geplaatst worden op 4 tot 5 m na de uitlaat-ventilatoren van stallen met lengteventilatie (Bottcher, R.W. et al., 2000). Ze stimuleren de dispersie van geuren door de geurende lucht omhoog te duwen tot in windstromen die beïnvloed zijn door het gebouw, wat leidt tot betere mengcondities (McGahan, A. et al., 2002). Dit kan leiden tot een verdunning van de geurende lucht en resulteren in een daling van de hinder (Fig. 5.6 en 5.7).

Windbreekmuren hebben enkele voor- en nadelen ten opzicht van windsingels. Windbreekmuren zijn minder duur en hebben onmiddellijk effect, terwijl windsingels meer kosten en meer tijd nodig hebben om te groeien (Liang, Y. et al., 2012). Daartegenover hebben artificiële muren minder esthetisch voordeel en zullen ze ook minder inspelen op het sociale aspect van de windsingels.

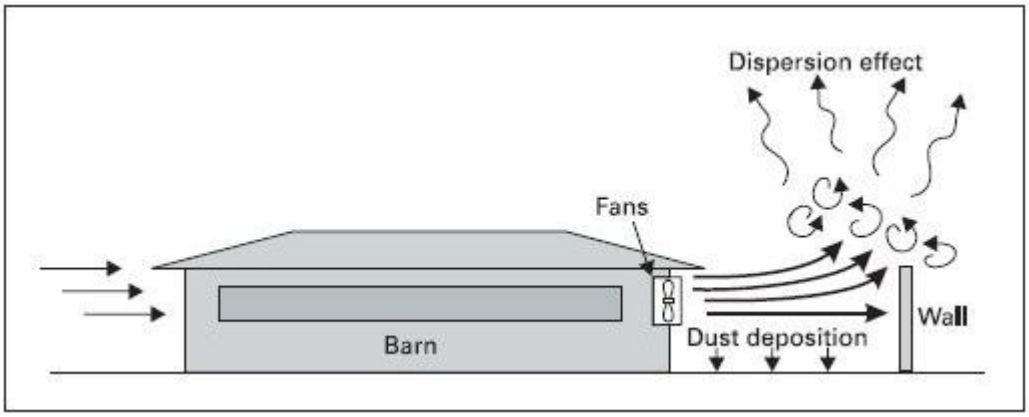


Fig. 5.6 Een stal met lengteventilatie en windbreekmuur. Bron: Jacobson et al. (2001).

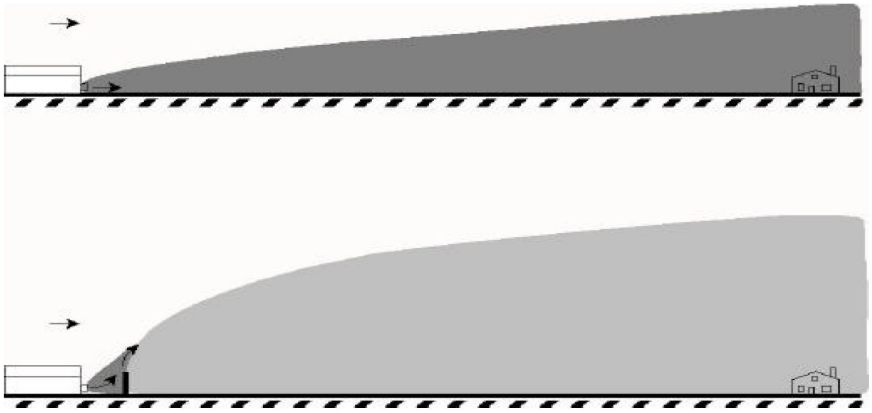


Fig. 5.7 Luchtdispersiemechanisme van windbreekmuren (Bottcher et al., 2000)
Bron: McGahan et al. (2002)

Windbreekmuren kunnen uit verschillende materialen gemaakt worden, bv. planten, dekzeil, MDPE[1] zakken, hooibalen en golfplaten. Preliminaire studies door Bottcher tonen aan dat windbreekmuren gemaakt met een dekzeil, geurconcentraties kunnen reduceren van 30 tot 90% bij onstabiele meteorologische omstandigheden (McGahan, A. et al., 2002). Het originele artikel werd echter niet teruggevonden. Deze reductiepercentages moeten dus met omzichtigheid gebruikt worden.

In stabiele, kalme meteocondities zal de mechanische menging van de wind met de geventileerde lucht niet bevorderd worden door de windbreekmuren. Op basis van een simulatie met een Gaussiaans model voorspelde Bottcher et al. (2001) dat windbreekmuren niet zo efficiënt zouden zijn als een verhoogde ventilatie-uitlaat. Veldmetingen zijn echter nodig om dit te bevestigen.

Windbreekmuren staan gekend voor hun lage installatiekost. Het is wel van belang dat de muren regelmatig gereinigd worden opdat ze hun geurreductiepotentieel zouden behouden. Algemeen kan geconcludeerd worden dat er te weinig veldmetingen zijn om het geurreducerend effect van deze constructies te kunnen voorspellen bij verschillende meteorologische omstandigheden (Jacobson, L.D. et al., 2001).

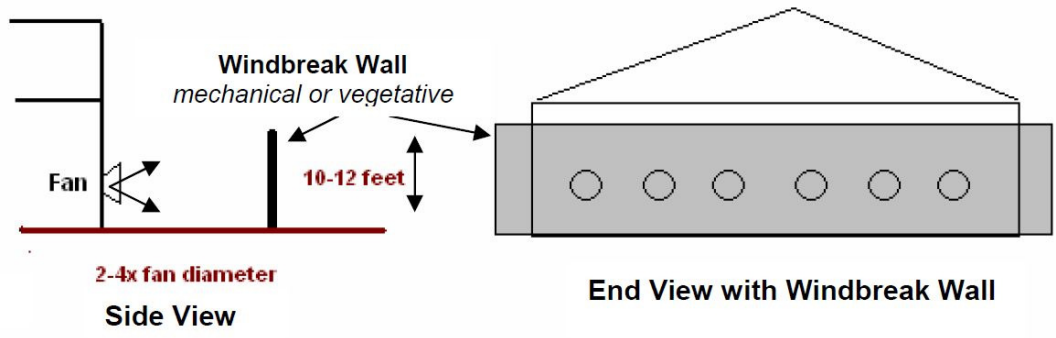


Fig. 5.8 Voorbeeld van de layout van een windbreekmuur.
Bron: NRCS Missouri (2012).

5.4 BIOMASSAFILTERMUUR

Een biomassafiltermuur is een kruising tussen een windbreekmuur en een biofilter. Het is een verticale barrière die dicht bij de ventilatie-uitlaat wordt geplaatst en opgebouwd is uit goedkope materialen zoals gehakselde maïstengels, maïskolven, stro of ander materiaal (Patterson, P.H. and Adrizal, 2005). Vaak worden zij ingebouwd in een structuur die de gevel met de ventilatoren omvat. De panelen zijn zo geïnstalleerd dat de lucht door en rond de panelen moet gaan (Fig 5.9). De werking van deze structuren is dus gebaseerd op het verwijderen van stof uit de lucht. Onderzoekers van de Iowa State University hebben de filters getest bij varkensstallen onder koude

[1] Medium-density polyethylene

omstandigheden. Ze behaalden een stofreductie van 52 tot 83% en een geurreductie van 43 tot 90% (Jacobson, L.D. et al., 2001). De werking van biomassafiltermuren is echter nog niet getest bij hoge ventilatiedebieten noch bij kippenstallen. Er moet bovendien opgemerkt worden dat een biomassafiltermuur die over de ventilatoren wordt geplaatst hoogstwaarschijnlijk zal leiden tot hoge tegendrukken en een hoger energieverbruik voor de ventilatie.

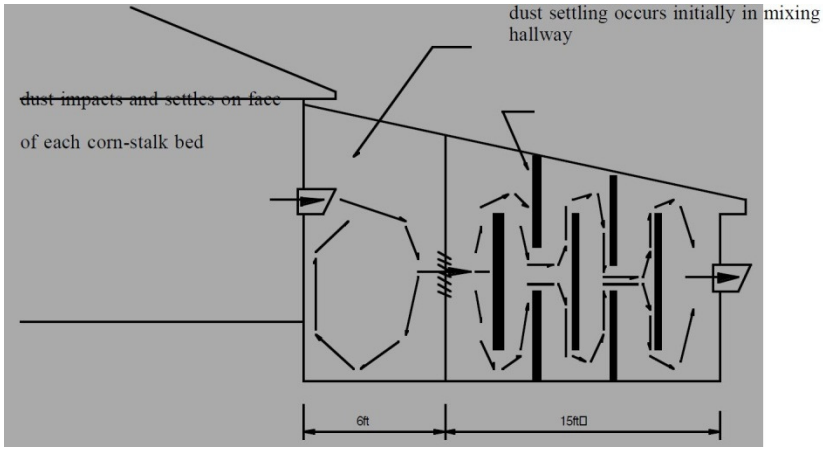


Fig. 5.9 Schematische voorstelling van biomassafiltermuur (Hoff, S.J. et al., 1997).

5.5 KADAVERKOELING

Kadaverkoeling houdt in dat het bedrijf voorzieningen treft om uitgevallen dieren snel te kunnen overbrengen naar een gekoelde (maximaal 7 °C) en van de lucht afgesloten omgeving. Dit in afwachting van het ophalen van de kadavers door een hiertoe erkend organisme.

REFERENTIELIJST

Aarnink, A.A. and van der Hoek, K.W. (2004). Opties voor reductie van fijn stof emissie uit de veehouderij. Agrotechnology and Food Innovations, Rapport 289, 1-32.

Aarnink, A.J.A., Keen, A., Metz, J.H.M., Speelman, L., and Verstegen, M.W.A. (1995). Ammonia Emission Patterns During the Growing Periods of Pigs Housed on Partially Slatted Floors. *Journal of Agricultural Engineering Research* 62, 105-116.

Aarnink, A.J.A., Schrama, J.W., Heetkamp, M.J.W., Stefanowska, J., and Huynh, T.T.T. (2006). Temperature and body weight affect fouling of pig pens. *Journal of Animal Science* 84, 2224-2231.

Aarnink, A.J.A. and Verstegen, M.W.A. (2007). Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science* 109, 194-203.

Amon, M., Dobeic, M., Sneath, R.W., Phillips, V.R., Misselbrook, T.H., and Pain, B.F. (1997). A farm-scale study on the use of clinoptilolite zeolite and De-Odorase(R) for reducing odour and ammonia emissions from broiler houses. *Bioresource Technology* 61, 229-237.

Appelgate, T.J., Richert, B., and Sutton, A. (2008). Diet and feed management practices affect air quality from poultry and swine operations. *http://www.puyallup.wsu.edu/dairy/nutrient-management/data/publications/Air%20quality-%20feed%20management%20-%20final.pdf* Fact sheet, 1-10.

Armstrong, T.A., Williams, C.M., Spears, J.W., and Schiffman, S.S. (2000). High dietary copper improves odor characteristics of swine waste. *Journal of Animal Science* 78, 859-864.

Blanes-Vidal, V., Hansen, M.N., Adamsen, A.P.S., Feilberg, A., Petersen, S.O., and Jensen, B.B. (2009). Characterization of odor released during handling of swine slurry: Part I. Relationship between odorants and perceived odor concentrations. *Atmospheric Environment* 43, 2997-3005.

Bottcher, R.W., Munilla, R.D., Baughman, G.R., and Keener, K.M. (2000). Designs for windbreak walls for mitigating dust and odor emissions from tunnel ventilated swine buildings. In: Swine Housing, Proceedings of the First International Conference, 174-181.

Bottcher, R.W., Munilla, R.D., Keener, K.M., and Gates, R.S. (2001). Dispersion of livestock building ventilation using windbreaks and ducts. In: ASAE Annual International Meeting, 1-10.

Briggs, G. (2004). Odour management options for meat chicken farms. *Agnote NSW Agriculture* DAI-315, 1-7.

Bundy, D.S., Li, X., Zhu, J., and Hoff, S.J. (1997). Malodour abatement by different covering materials. In: Ammonia and odour emissions from animal production facilities, 413-420.

Burnett, W.E. and Dondero, N.C. (1970). Control odor from animal wastes. *Transactions of the Asae* 13, 221-224.

Cai, L.S., Koziel, J.A., Liang, Y., Nguyen, A.T., and Xin, H.W. (2007). Evaluation of zeolite for control of odorants emissions from simulated poultry manure storage. *Journal of Environmental Quality* 36, 184-193.

Clarkson, C.R. and Misselbrook, T. (1991). Odour emissions from broiler chicken. In: Nielsen, V.C., Voorburg, J.H., and L'Hermite, P. Elsevier Applied Science, London, pp. 194-202.

Cole, C.A., Bartlett, H.D., Buckner, D.H., and Younkin, D.E. (1976). Efficacy of Certain Chemical and Biological Compounds for Control of Odor from Anaerobic Liquid Swine Manure. *Journal of Animal Science* 42, 1-7.

De Baere, K. (2006). Gebruik van turfstrooisel en voeders met lager eiwitgehalte bij vleeskuikens. *Pluimvee* 43, 1-6.

De Baere, K. and Zoons, J. (2004). Strooiselmateriaal in pluimveestallen. *Pluimvee* 40, 1-6.

De Bruyn, G., Baron, M., Van Langenhove, H., Hendriks, J., Andries, A., Saevels, P., Leribaux, C., Vrancken, E., Vinckier, C., and Berckmans, D. (2001). Ontwikkeling van een eenvoudige procedure voor de bepaling van geur- en ammoniakemissies van agrarische constructies ten behoeve van een aangepaste milieuregelementering in Vlaanderen., Internal Report PBO Study of the Flemish Government.

European Commission (2003). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC): Reference document on best available techniques for intensive rearing of poultry and pigs. pp. 341.

European Commission (2006). Rectificatie van Verordening (EG) nr. 1334/2003 van de Commissie van 25 juli 2003 tot wijziging van de toelaatingsvoorwaarden voor een aantal toevoegingsmiddelen van de groep sporenelementen in diervoerders, 1-6.

Ferket, P.R., van Heugten, E., van Kempen, T., and Angel, R. (2002). Nutritional strategies to reduce environmental emissions from nonruminants. *Journal of Animal Science* 80, 168-182.

Fremaut, D., Tylleman, A., Van Daele, A., and Vettenburg, N. (2003). Mogelijkheden voor meerfasenvoeding in de Belgische praktijk, 1-56.

Hartung, J. and Phillips, V.R. (1994). Control of Gaseous Emissions from Livestock Buildings and Manure Stores. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57, 173-189.

Hayes, E.T., Leek, A.B.G., Curran, T.P., Dodd, V.A., Carton, O.T., Beattie, V.E., and O'Doherty, J.V. (2004). The influence of diet crude protein level on odour and ammonia emissions from finishing pig houses. *Bioresource Technology* 91, 309-315.

Hicks, K.C. (2007). Design of aeration ploughing tool for poultry litter within shed to reduce odour generation. Doctoraal proefschrift, 1-162.

Hobbs, P.J., Misselbrook, T.H., and Pain, B.F. (1997). Characterisation of odorous compounds and emissions from slurries produced from weaner pigs fed dry feed and liquid diets. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 73, 437-445.

Hobbs, P.J., Pain, B.F., and Misselbrook, T.H. (1995). Odorous compounds and their emission rates from livestock wastes. In: Proceedings of the International Livestock Odor Solutions, 11-15.

Hoff, S.J., Harmon, J.D., Xin, H., and Dong, L. (1997). Treating ventilation exhaust air for odor control. *http://www.extension.iastate.edu/Pages/ansci/swinereports/asl-1393.pdf*, 1-6.

Huang, C., Li, J., Kang, W.L., and Tang, X.Y. (2006). Effect of adding Lactobacillus plantarum and soluble carbohydrates to swine manure on odorous compounds, chemical composition and indigenous flora. *Journal of Environmental Sciences-China* 18, 201-206.

Huynh, T.T.T., Aarnink, A.A., Gerrits, W.J.J., Heetkamp, M.J.H., Canh, T.T., Spoolder, H.A.M., Kemp, B., and Verstegen, M.W.A. (2005). Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Applied Animal Behaviour Science* 91, 1-16.

Infomil (2012). Information centre for the environment: InfoMil. Geur en veehouderijen, Brijvoer. *www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/geur-veehouderijen/brijvoer*

Jacobson, L.D. (1998). The effect on odour emissions when sprinkling oil for dust control inside pig buildings, 1-7.

Jacobson, L.D., Lorimor, J.C., Bicudo, J., and Schmidt, D. (2001). Emission control strategies for building sources. Lesson 41. *http://www.extension.org/pages/15330/lesson-41-emission-control-strategies-for-building-sources*.

Jiang, J.K. and Sands, J.R. (2000). Odour and ammonia emission from broiler farms. *RIRDC Publication* No 00/2, 1-107.

Kim, K.Y., Koh, H.J., Kim, H.T., Kim, Y.S., Roh, Y.M., Lee, C.M., and Kim, C.N. (2008). Odor reduction rate in the confinement pig building by spraying various additives. *Bioresource Technology* 99, 8464-8469.

Lammers, P.S., Wallenfang, O., and Boeker, P. (2001). Computer modelling for assessing means to reduce odour emissions. In: Proceedings of the ASAE Annual International Meeting, ASAE International Meeting, California, USA, 1-7.

Le, P.D. (2006). Odor from pig production: its relation to diet. Doctoraal proefschrift, 1-215.

Le, P.D., Aarnink, A.J.A., Jongbloed, A.W., van der Peet-Schwering, C., Ogink, N.W.M., and Verstegen, M.W.A. (2007). Effects of dietary crude protein level on odour form pig manure. *Animal* 1, 734-744.

Le, P.D., Aarnink, A.J.A., Jongbloed, A.W., van der Peet-Schwering, C., Ogink, N.W.M., and Verstegen, M.W.A. (2008). Interactive effects of dietary crude protein and fermentable carbohydrate levels on odour from pig manure. *Livestock Science* 114, 48-61.

Le, P.D., Aarnink, A.J.A., Ogink, N.W.M., Becker, P.M., and Verstegen, M.W.A. (2005). Odour from animal production facilities: its relationship to diet. *Nutrition Research Reviews* 18, 3-30.

Le, R.D., Aarnink, A.J.A., Jongbloed, A.W., Peet-Schwering, C.M.C., Ogink, N.W.M., and Verstegen, M.W.A. (2007). Effects of dietary crude protein level on odour from pig manure. *Animal* 1, 734-744.

Liang, Y., Van Devender, K., and Tabler, T. (2012). Vegatative shelterbelts on poultry farms for air emission management. *http://www.privatelandownernetwork.org/pdfs/veg%20shelterbelts.pdf*.

Lin, X.J., Barrington, S., Nicell, J., Choiniere, D., and King, S. (2007). Livestock odour dispersion as affected by natural windbreaks. *Water Air and Soil Pollution* 182, 263-273.

Lin, X.J., Barrington, S., Nicell, J., Choiniere, D., and Vezina, A. (2006). Influence of windbreaks on livestock odour dispersion plume in the field. *Agriculture Ecosystems & Environment* 116, 263-272.

Malone, G.W. and Abbott-Donnelly, D. (2001). The benefits of planting trees around poultry farms. *http://ag.udel.edu/extension/agnr/pdf/po-159.pdf*.

McCrory, D.F. and Hobbs, P.J. (2001). Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: A review. *Journal of Environmental Quality* 30, 345-355.

McGahan, A., Kolominskas, C., Bawden, K., and Ormerod, R. (2002). Strategies to reduce odour emissions from meat chicken farms. In: Proceedings 2002 Poultry Information Exchange, 27-39.

Mcnaughton, K.G. (1988). Effects of Windbreaks on Turbulent Transport and Microclimate. *Agriculture Ecosystems & Environment* 22-3, 17-39.

Miner, J.R. (1997). Nuissance concerns and odor control. *Journal of Diary Science* 80, 2667-2672.

Mumpton, F.A. and Fishman, P.H. (1977). Application of Natural Zeolites in Animal-Science and Aquaculture. *Journal of Animal Science* 45, 1188-1203.

NRCS Missouri (2012). Windbreak/shelterbelt-odor control, conservation practice information sheet. *http://agebb.missouri.edu/commag/shelterbelt/EM-ISMO380.pdf*.

Nykanen, A.M., Hamalainen, N., Kostia, S., Mikola, J., and Romantschuk, M. (2010). Reduction of Odorants in Swine Manure by Carbohydrate and Bacterial Amendments. *Journal of Environmental Quality* 39, 678-685.

Obrock, H.C., Miller, P.S., and Lewis, A.J. (1997). The effect of reducing dietary crude protein concentration on odour in swine facilities., Paper 201, 14-16.

Ogink, N.W.M. (2010). Vaststelling van geuremissiefactoren in de Regeling geurhinder en veehouderij op basis van geuremissie-onderzoek. Rapport 391, Wageningen UR Livestock Research, Nederland, pp. 23.

Oneill, D.H. and Phillips, V.R. (1992). A Review of the Control of Odor Nuisance from Livestock Buildings .3. Properties of the Odorous Substances Which Have Been Identified in Livestock Wastes Or in the Air Around Them. *Journal of Agricultural Engineering Research* 53, 23-50.

Pahl, O., Williams, A.G., and Sneath, R.W. (2002). Reduction of ammonia and odour emissions from pig slurry under slats using oil and foam layers. *Environmental Technology* 23, 395-403.

Patterson, P.H. and Adrizal (2005). Management strategies to reduce air emissions: Emphasis - Dust and ammonia. *Journal of Applied Poultry Research* 14, 638-650.

Scott, J.D. (2012). VEB Tool-kit: a guide to vegetative environmental buffers for tunnel-ventilated poultry houses. *ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/DE/technical/agronomy/web-vebtk.pdf*

Spoelstra, S.F. (1980). Origin of Objectionable Odorous Components in Piggery Wastes and the Possibility of Applying Indicator Components for Studying Odor Development. *Agriculture and Environment* 5, 241-260.

Sutton, A. (2008). Feed management practices to minimize odors from swine operations. *Pork Checkoff*, 1-8.

Tyndall, J. and Colletti, J. (2007). Mitigating swine odor with strategically designed shelterbelt systems: a review. *Agroforestry Systems* 69, 45-65.

United States Department of Agriculture (2012). Using windbreaks to reduce odors associated with livestock production facilities. http://www.mo.nrcs.usda.gov/technical/forestry/odor_control2.html

van der Peet-Schwering, C., Beurskens-Voermans, M.P., and Verdoes, N. (1997). Effect van multifasenvoedering op de ammoniakemissie uit vleesvarkensstallen, P1.176, 1-32.

van Harn, J., de Jong, I.C., and Veldkamp, T. (2009). Effect strooiselmateriaal, strooiselhoeveelheid, opvangschoteltje en waterdruk op resultaten vleeskuikens, 220, 1-75.

Van Langenhove, H. and Defoer, N. (2002). Valideren van de meetprocedure voor de bepaling van geur- en ammoniakemissies van referentieveestallen als voorbereiding op de implementatie van de beoordelingsrichtlijn voor emissie-arme stalsystemen (Eindrapport-partim geur), 1-118.

Verdoes, N. and Ogink, N.W.M. (1997). Odour emission from pig houses with low ammonia emissionAmmonia and odour control from animal production facilities, 317-325.

Wang, X., Zhang, Y., Zhao, L.Y., and Riskowski, G.L. (2000). Effect of ventilation rate on dust spatial distribution in a mechanically ventilated airspace. *Transactions of the Asae* 43, 1877-1884.

Zhang, G., Bjerg, B., Stroem, J.S., and Kai, P. (2008). Reducing odor emission from pig production buildings by ventilation control. In: Proceedings of the 31 August - 4 September 2008 Conference, Livestock Environment VIII.

Zhang, Q., Feddes, J., Edeogu, I., Nyachoti, M., House, J., Small, D., Liu, C., Mann, D., and Clark, G. (2002). Odour production, evaluation and control, Final report submitted to Manitoba livestock manure management initiative inc., 1-104.

Zhang, Y., Tanaka, A., Barber, E.M., and Feddes, J.R. (1996). Effects of frequency and quantity of sprinkling canola oil on dust reduction in swine buildings. *Transactions of the Asae* 39, 1077-1081.

Zhu, J. (2000). A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture Ecosystems & Environment* 78, 93-106.