

Til Landbrugsstyrelsen

**Levering på bestillingen: "Teknologirapport til tilskudsordningen Modernisering af slagtesvinestalde 2020"**

Landbrugsstyrelsen (LBST) har i en bestilling fremsendt via Forskningsbanken d. 17. juni 2019 bedt DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – om at udarbejde en "Teknologi-rapport til tilskudsordningen Modernisering af slagtesvinestalde 2020".

Rapporten, der følger nedenfor, er udarbejdet af Seniorrådgiverne Michael Jørgen Hansen og Peter Kai, Institut for Ingeniørvidenskab ved Aarhus Universitet. Fagfællebedømmelse er foretaget af Lektor Anders Feilberg og Seniorrådgiver Tavs Nyord fra samme institut. LBST har haft et udkast af rapporten til kommentering, og har fremsendt kommentarer til udkastet. Nogle af kommentarerne har affødt mindre ændringer i rapporten for at gøre den mere læsevenlig. Andre kommentarer har forfatterne valgt ikke at efterkomme. Kommentarerne og forfatterens adressering af kommentarerne kan findes via dette [link: https://bit.ly/3fQK4wi](https://bit.ly/3fQK4wi)

Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale mellem Miljø- og Fødevarerministeriet og Aarhus Universitet om forskningsbaseret myndighedsbetjening af Miljø- og Fødevarerministeriet med underliggende styrelser 2019-2022" (Ydelsesaftale Husdyrproduktion).

Venlig hilsen  
Klaus Horsted

DCA - Nationalt Center for  
Fødevarer og Jordbrug

Klaus Horsted

Specialkonsulent

Dato 12.05.2020

Direkte tlf.: 87 15 79 75  
Mobiltlf.: 93 50 83 70  
E-mail:  
Klaus.Horsted@dca.au.dk

Afs. CVR-nr.: 31119103  
Reference: khr  
Journal: 2019-760-001279

# Teknologier til reduktion af ammoniak, lugt og drivhusgasser fra slagtesvinestalde

*Udarbejdet af seniorrådgiver Michael Jørgen Hansen og seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Ingeniørvidenskab.*

# Indholdsfortegnelse

INDHOLDSFORTEGNELSE .....	ii
<b>MILJØTEKNOLOGIER TIL SLAGTESVINESTALDE.....</b>	<b>1</b>
<i>Grundlag for beregning af miljøeffekt .....</i>	<i>1</i>
<i>Kriterier for udvælgelse af teknologier.....</i>	<i>2</i>
LUFTRENSNINGSTEKNOLOGIER .....	3
<i>Kemisk luftrensning.....</i>	<i>3</i>
<i>Biologisk luftrensning.....</i>	<i>3</i>
<i>Kombirensere .....</i>	<i>3</i>
<i>Delluftrensning .....</i>	<i>4</i>
<i>Punktudsugning med luftrensning .....</i>	<i>5</i>
<i>Standard miljøeffekt for luftrensningsteknologier.....</i>	<i>6</i>
STALDTEKNOLOGIER .....	7
<i>Gylleforsuring .....</i>	<i>7</i>
<i>Gyllekøling.....</i>	<i>8</i>
<i>Hyppig udslusning af gylle.....</i>	<i>10</i>
<i>Delvist fast gulv .....</i>	<i>11</i>
<i>Standard miljøeffekt for staldteknologier .....</i>	<i>11</i>
FAST OVERDÆKNING AF GYLLEBEHOLDER .....	13
<i>Standard miljøeffekt for fast overdækning af gyllebeholder.....</i>	<i>13</i>
OPSUMMERING.....	15
REFERENCER.....	16

# Miljøteknologier til slagtesvinestalde

Som grundlag for at prioritere ansøgninger i regi af ”Tilskudsordningen Modernisering af slagtesvinestalde 2020” er der foretaget beregning af de enkelte teknologiers standardmiljøeffekt i forhold til ammoniak og lugt og desuden er der lavet en vurdering af teknologiernes effekt på drivhusgasemissionen.

## **Grundlag for beregning af miljøeffekt**

### *Ammoniak og lugt*

Beregningerne af miljøeffekt for ammoniak og lugt er i nærværende rapport foretaget på grundlag af emissionsfaktorer angivet i bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug (BEK. Nr. 718 af 8. juli 2019) samt teknologiernes effekt angivet på Miljøstyrelsens teknologiliste ([www.mst.dk/erhverv/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/](http://www.mst.dk/erhverv/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/)). Standardmiljøeffekten i forhold til ammoniak er angivet som teknologiens miljøeffekt per m<sup>2</sup> produktionsareal over hele teknologiens levetid (kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup>). Der er endvidere lavet en beregning for den årlige miljøeffekt på ammoniak for en slagtesvinestald med 5.000 stipladser med et produktionsareal på 0,65 m<sup>2</sup> gris<sup>-1</sup>. Standardmiljøeffekten for lugt er angivet som lugtemissionen (OU<sub>E</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) ved anvendelse af teknologien.

### *Referencestald*

Slagtesvinestalde med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv er anvendt som referencestald i forhold til alle teknologier, da denne staldtype vurderes at være den mest udbredte til slagtesvin i Danmark. Jævnfør bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug (BEK. Nr. 718 af 8. juli 2019) er ammoniak emissionsfaktoren for denne staldtype 2,3 kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup> og lugtemissionsfaktoren 43 OU<sub>E</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. BAT-kravet (for husdyrbrug med en samlet ammoniakemission over 750 kg NH<sub>3</sub>-N år<sup>-1</sup>) for nye staldafsnit under eller lig 1.300 m<sup>2</sup> produktionsareal er 1,62 kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup> og for stalde over eller lig 4.500 m<sup>2</sup> produktionsareal er BAT-kravet 1,06 kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>. For stalde mellem 1.300-4.500 m<sup>2</sup> produktionsareal beregnes BAT-kravet ved en lineær interpolation mellem de to niveauer. For en stald med 5.000 stipladser og et produktionsareal på 0,65 m<sup>2</sup> gris<sup>-1</sup> er BAT-kravet således 1,28 kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>.

### *Drivhusgasser*

Angivelse af effekten på drivhusgasser er baseret på den viden som er tilgængelig i national og international litteratur. Viden på dette område er ret begrænset og usikkerheden på disse estimater er derfor også betydelig og bør derfor anvendes med forsigtighed. Det bør endvidere understreges

at den effekt der er angivet for stalden er i forhold til den samlede drivhusgasemissions for stalden, inklusiv bidraget fra både grisen og gyllen.

### ***Kriterier for udvælgelse af teknologier***

Det afgørende kriterie for udvælgelse af miljøteknologierne har været at teknologierne er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste eller at der er tale om et lav-emissions staldsystem jævnfør bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug (BEK. Nr. 718 af 8. juli 2019). Der forefindes således andre miljøteknologier end de anførte, men det ovenstående kriterie er anlagt for at sikre at de teknologier der ansøges om tilskud til også vil kunne indgå i en miljøgodkendelse. Det har endvidere været et kriterie at der som minimum kan opnås en ammoniakreducerende effekt på 10%. Hvor der nævnes konkrete produkter, skal det ikke opfattes som en anprisning af det pågældende produkt.

## **Luftrensningsteknologier**

Der er to typer af luftrensningsteknologier til slagtesvinestalde, kemisk luftrensning og biologisk luftrensning. Der er desuden luftrensere, hvor disse to typer er kombineret og disse benævnes i nærværende rapport som kombirensere.

### ***Kemisk luftrensning***

Kemisk luftrensning med syre er baseret på en renseproces, hvor ventilationsluften ledes igennem en filtermatrice eller et kammer, der konstant overrisles eller mættes med en syreopløsning, typisk fortyndet svovlsyre (Miljøstyrelsen, 2011a). Derved opsamles en stor del luftens indhold af ammoniak og støv. Luftens passage gennem renseren kan finde sted enten efter tværstrøms- eller modstrømsprincippet. Filtermatricen eller kammeret med mættet syreopløsning skaber en passende væskeoverflade, som er nødvendigt for massetransporten af ammoniak fra luften til væsken. Den lave pH-værdi af væsken medfører, at den absorberede ammoniak omdannes til ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), der ikke fordamper. Kemisk luftrensning med syre fra Munters A/S er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 89%, mens der ikke er effekt på lugt. En kemisk luftrenser kan endvidere være udformet med et syre- og et basetrin, hvor syretrinet fjerner ammoniak og basetrinet fjerner lugtstoffer. En to-trins luftrenser fra AgriFarm A/S med et syre- og et basetrin er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 91% og en lugtreducerende effekt på 83%.

### ***Biologisk luftrensning***

Ved biologisk luftrensning ledes ventilationsluften gennem et filtermateriale med en overflade, hvorpå en biofilm bestående af mikroorganismer omsætter ammoniak og lugtstoffer i staldluften (Miljøstyrelsen, 2011b). Der findes forskellige typer af biologiske luftrensere, men den mest udbredte er den biologiske luftvasker, hvor filtermaterialet overrisles med recirkuleret vand. Af hensyn til at opretholde den mikrobielle aktivitet i luftrenseren, lænses der med jævne mellemrum overrislingsvand og tilsættes frisk vand. En to-trins biologisk luftrenser fra SKOV A/S er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 88% og en lugtreducerende effekt på 74%. Der findes endvidere en tre-trins biologisk luftrenser fra SKOV A/S med en ammoniakreducerende effekt på 87% og en lugtreducerende effekt på 81%. En biologisk luftrenser fra RIMU GmbH, som forhandles af KJ Klimateknik er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 89% og en lugtreducerende effekt på 68%.

### ***Kombirensere***

Ved en kombirensere vil der være to eller flere filtertrin, som enten er kemiske eller biologiske. Det første filtertrin vil oftest være et syretrin, der anvendes til at fjerne ammoniak mens det efterfølgende er et biologisk trin eller et basetrin, der fjerner lugtstoffer. En to-trins luftrenser fra

INNO+/SKOV A/S med et syretrin og biologisk trin er under test i forhold til optagelse på Miljøstyrelsens teknologiliste.

### *Effekt af luftrensning på drivhusgasser*

Både kemiske og biologiske luftrensere har en begrænset effekt på fjernelse af metan fra staldluften, som følge af en lav opløselighed af metan i filtrervæsken og en lav opholdstid i luftrenseren (Van der Heyden et al., 2015). Biologiske luftvaskere, som er de mest udbredte i Danmark, kan resultere i dannelsen af lattergas som følge nitrifikation/denitrifikation. Undersøgelser af biologiske luftvaskere har vist at 2-4% af den frarensede ammoniak ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) omdannes til lattergas ( $\text{N}_2\text{O-N}$ ) (Van der Heyden et al., 2016; Melse et al., 2012).

### **Delluftrensning**

Alle husdyrstalde skal ventileres kontinuerligt året rundt. Om sommeren opererer ventilationsanlægget med høj ydelse for at fjerne overskudsvarmen, mens der om vinteren, når udetemperaturen er lav, skal anvendes en betydeligt mindre luftmængde til at opretholde en tilfredsstillende luftkvalitet. Typisk opererer ventilationsanlægget i en slagtesvinestald med en ydelse på under 25% af staldens ventilationskapacitet i cirka 50% af året. Dimensioneres ventilationsanlægget så 25% af luften behandles i en luftrenser, så vil al udsugningsluft blive rensat omkring halvdelen af året (Kai *et al.*, 2007). Afhængig af kravet til ammoniakreduktion, kan der derfor med fordel anvendes en luftrenser med en lavere kapacitet end staldens samlede ventilationsbehov og dette princip kaldes delluftrensning. For at opnå den største effekt af delluftrensning, ledes staldluften igennem luftrenseren i det omfang denne har kapacitet. Først når staldens ventilationsbehov overstiger luftrenserens kapacitet, ledes ubehandlet luft ud af stalden. I figur 1 er vist den ammoniakreducerende effekt og standard miljøeffekt for en kemisk luftrenser i en slagtesvinestald med 1/3 drænet og 2/3 spaltegulv og ved varierende kapacitet af luftrenseren. Figur 1 bygger på idealiserede forhold, og i praksis kan der forekomme afvigelser som følge af brug af anden luftrenser, ventilationstype, ventilationsstrategi og dimensionering af ventilationsanlægget, ligesom staldtypen har indflydelse på effektiviteten af den samlede ammoniakreduktion. Det må derfor anbefales, at der foretages konkrete beregninger med Staldvent til fastlæggelse af et mere præcist estimat for renseeffektiviteten i det enkelte tilfælde.

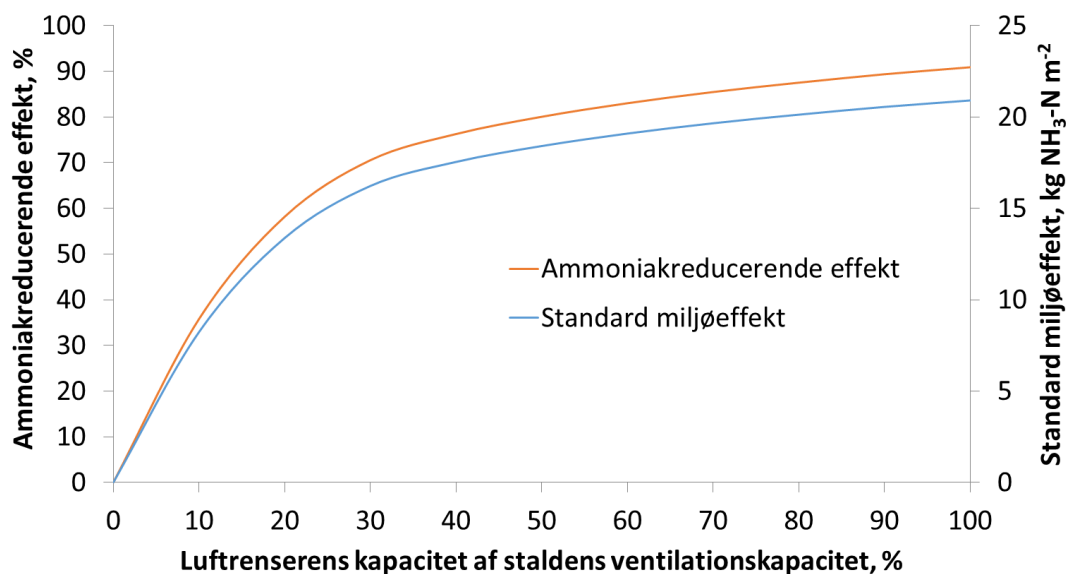


Fig 1. Ammoniakreducerende effekt og standard miljøeffekt for en kemisk luftrenser i en slagtesvinestald med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv som funktion af luftrensers kapacitet af staldens ventilationskapacitet (baseret på Staldvent-beregning). Luftrenseren har en effektivitet på 91 % for så vidt angår den del af luften der renses.

### Punktudsugning med luftrensning

Delrensning af ventilationsluft kan yderligere optimeres, hvis luftrenseren tilsluttes et punktudsugningsanlæg. Princippet ved denne fremgangsmåde er at koncentrere en stor andel af ammoniak- og lugtemissionen i så lille en luftmængde som muligt, og efterfølgende behandle luften med en luftrenser. Der er gennemført en række undersøgelser (Riis et al., 2014, Jørgensen & Riis, 2014, Zong et al., 2014, Zong et al., 2015, Van Huffel et al., 2016, Van Huffel et al., 2019), som viser, at punktudsugning, hvor ca. 10% af staldens ventilationskapacitet suges ud af stalden i gyllekanalen under eller tæt ved grisenes lejeareal bevirker, at en stor andel af den fordampede ammoniak og lugt kan opfanges i en lille luftmængde, mens koncentrationen af ammoniak og lugt er relativ lav i den resterende staldluft, som ledes ubehandlet ud af stalden. Punktudsugning på 10% af staldens ventilationskapacitet kombineret med luftrensning er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste for slagtesvinestalde med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv og delvist fast gulv (25 -49 % fast gulv). Den samlede ammoniakreducerende effekt ved brug af en luftrenser med en given renseseffekt (E, %) kan beregnes efter følgende formel: Samlet ammoniakreducerende effekt (%) =  $0,7 \times E - 12$ . Tilsvarende kan den samlede lugtreducerende effekt ved brug af en luftrenser med en given renseseffekt (E, %) beregnes efter følgende formel: Samlet lugtreducerende effekt (%) =  $0,39 \times E + 9$ . Staldkonceptet Intellifarm med kombination af 18% punktudsugning og hyppig gylleudslusning i en stald med delvist fast gulv (25 -49 % fast gulv) er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste. Den samlede ammoniakreducerende effekt ved staldkonceptet Intellifarm ved brug af en luftrenser med en given renseseffekt (E, %) kan beregnes efter følgende formel: Samlet ammoniakreducerende effekt (%) =  $0,86 \times E - 11$ . Tilsvarende kan den samlede lugtreducerende effekt ved staldkonceptet



Intellifarm ved brug af en luftrensere med en given renseseffekt (E, %) beregnes efter følgende formel: Samlet lugtreducerende effekt (%) =  $0,53 \times E + 9$ . Det er kun luftrensere som er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste i forhold til punktudsugning, som kan anvendes til dette formål.

### **Standard miljøeffekt for luftrensningsteknologier**

I tabel 1 er standard miljøeffekt for luftrensningsteknologierne angivet. Det vurderes at delluftrensning er mere udbredt end fuld luftrensning som følge af de højere investeringsomkostninger ved fuld luftrensning og standardmiljøeffekten for de forskellige typer af luftrensere er derfor kun angivet for delluftrensning på 20%, 40% og 60%. Der er på nuværende tidspunkt to luftrensere som kan anvendes til punktudsugning (kemiske luftrensere fra AgriFarm og Munters), mens en kombirensere (syre/biologisk) fra INNO+/SKOV A/S er under test til brug ved punktudsugning.

Tabel 1. Standard miljøeffekt for luftrensningsteknologier.

	Levetid	Emission ved brug af teknologi <sup>1</sup>		Standard miljøeffekt	Effekt på NH <sub>3</sub> ved 5.000 stipladser <sup>2</sup>
	År	Kg NH <sub>3</sub> -N m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>	OU <sub>E</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Kg NH <sub>3</sub> -N m <sup>-2</sup>	Ton NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup>
<b>Kemisk luftrensere (syre)<sup>3</sup></b>					
20% delrensning	10	0,99	-	13,1	4,3
40% delrensning	10	0,58	-	17,2	5,6
60% delrensning	10	0,43	-	18,7	6,1
<b>Kemisk luftrensere (syre/base)<sup>4</sup></b>					
20% delrensning	10	0,96	36	13,4	4,3
40% delrensning	10	0,55	29	17,5	5,7
60% delrensning	10	0,39	22	19,1	6,2
<b>Biologisk luftrensere<sup>5</sup></b>					
20% delrensning	10	1,01	37	12,9	4,2
40% delrensning	10	0,60	30	17,0	5,5
60% delrensning	10	0,45	24	18,5	6,0
<b>Punktudsugning med luftrensning</b>					
Kemisk luftrensere (syre) med 10% punktudsugning <sup>3</sup>	10	1,14	-	11,6	3,8
Kemisk luftrensere (syre/base) med 10% punktudsugning <sup>4</sup>	10	1,11	25	11,9	3,9
Kemisk luftrensere (syre/base) med 18% punktudsugning <sup>6</sup>	10	0,62	14	16,8	5,5

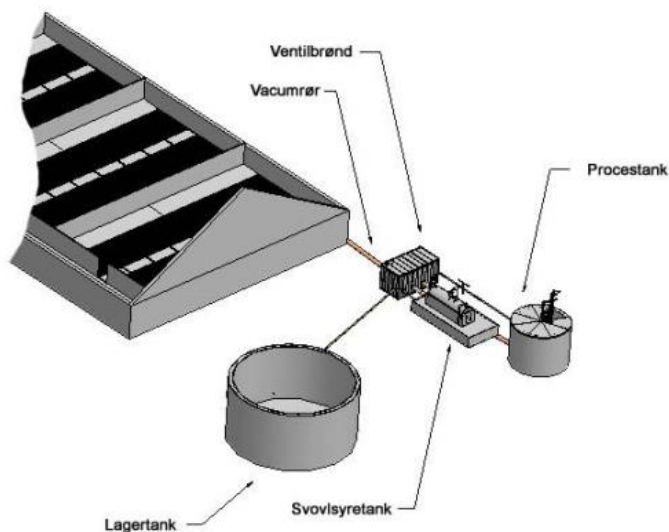
<sup>1</sup> I forhold til en referencestald med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv med en ammoniakemission på 2,3 kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup> og en lugtemission på 43 OU<sub>E</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>; <sup>2</sup> Baseret på en stald med 0,65 m<sup>2</sup> produktionsareal per stiplads; <sup>3</sup> Baseret på en kemisk luftrensere (syre) med en ammoniakreducerende effekt på 89%; <sup>4</sup> Baseret på en kemisk luftrensere (syre/base) med en ammoniakreducerende effekt på 91% og en lugtreducerende effekt på 83%; <sup>5</sup> Baseret på en biologisk luftrensere med en ammoniakreducerende effekt på 88% og en lugtreducerende effekt på 74%; <sup>6</sup> Baseret på en kemisk luftrensere (syre/base) med en ammoniakreducerende effekt på 91% og en lugtreducerende effekt på 83% i kombination med konceptstalden Intellifarm med delvist fast gulv (25-49% fast gulv) og hyppig gylleudslusning.

## Staldteknologier

Der er fire staldteknologier, gylleforsuring, gyllekøling, hyppig udslusning og delvist fast gulv, som kan anvendes i slagtesvinestalde.

### Gylleforsuring

Ved staldforsuring af gylle pumpes gyllen dagligt fra gyllekanaler i stalden til en udendørs proces-tank, hvor koncentreret svovlsyre (96%) tilsættes under konstant omrøring indtil der nås en pH-værdi på 5,5 og efterfølgende pumpes en mindre del af gyllen tilbage til gyllekanalerne i stalden og resten til en lagertank (Miljøstyrelsen, 2009), se figur 2. Forsøg i slagtesvinestalde har vist en klar effekt af staldforsuring på ammoniakemissionen fra både stald, lager og udbringning (Kai et al., 2008; Petersensen et al., 2014; Petersen et al., 2016). Staldforsuringsanlæg fra JH Agro er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt i svinestalde på 64 %, men der er ikke effekt på lugt. Gylleforsuring kan endvidere kombineres med mekanisk separation af gyllen og her er et anlæg fra JH Agro optaget med en ammoniakreducerende effekt på 64% og en lugtreducerende effekt på 51%.



Figur 2. Skitse af anlæg til staldforsuring af gylle (Miljøstyrelsen, 2009).

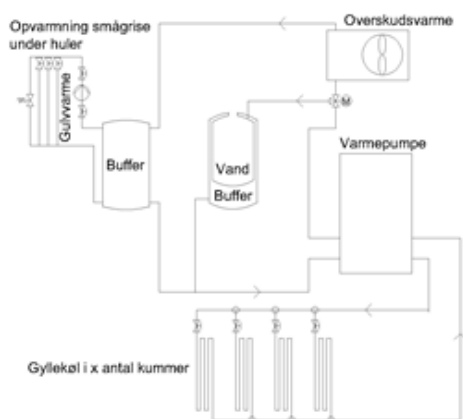
### Effekt af staldforsuring på drivhusgasser

Forsøg med staldforsuring i slagtesvinestalde har vist en reduktion af metanemissionen fra stalden med 50-60% (Petersen et al., 2016; Holm, 2016). Forsøg i pilot-skala gyllebeholdere har vist en reduktion af metanemissionen med ~99% ved staldforsuret gylle lagret over 83 dage (Petersen et al., 2014). Et laboratorieforsøg har vist, at emissionen af metan fra svovlsyrebehandlet kvæggylle var

op til 87 % lavere end fra den ubehandlede kontrolgylle ved lagring over 95 dage (Petersen *et al.*, 2012). Forsøgene peger således på en reduktion af metanemissionen ved staldforsuring, både i stald og under lagring af gylle.

### Gyllekøling

Gyllekøling kan anvendes i stalde med gyllekanal og rørudslusning og i stalde med mekanisk ud-mugning (linespil, skraber). Gyllekølingssystemet etableres ved nedstøbning af køleslanger i bun-den af gyllekanalerne i stalden. Slangerne udlægges typisk med en afstand på 35-40 cm. Køleslan-gerne er koblet til en varmepumpe, som er forbundet til en bufferbeholder til akkumulering af var-men og eventuelt en kalorifer til afsætning af overskudsvarmen (Miljøstyrelsen, 2011c), se figur 3. Vandet i bufferbeholderen cirkuleres i de staldafsnit der skal opvarmes, eksempelvis gulvvarmen i smågrisehuler i farestalden, se figur 3.



Figur 3. Skitse af gyllekølingsanlæg med køleslanger, varmepumpe, bufferbeholder, kalorifer til afsætning af eventuel overskudsvarme og varmeafsætning i smågrisehuler i farestalden (Miljøstyrelsen, 2011c).

Ved gyllekøling er økonomien stærkt afhængig af afsætningsmulighederne af varmen. I sobesæt-ninger kan en del af varmen fra køling af gyllen eksempelvis afsættes til opvarmning af farestalde og smågrisehalde. I slagtesvinestalde kan der derimod kun i sjældne tilfælde regnes med at være afsætningsmulighed for overskudsvarmen, og da kun om vinteren.

Hvordan gyllekøling påvirker emissionen af ammoniak og lugt afhænger af køleeffekten ( $\text{W m}^{-2}$ ) og driftstiden (timer  $\text{år}^{-1}$ ). Danske undersøgelser har vist at gyllekøling i stalde med rørudslusning både har effekt på ammoniak og lugt (Holm *et al.*, 2017), mens gyllekøling i stalde med linespil kun har effekt på ammoniak (Pedersen, 2005; Holm *et al.*, 2016). Gyllekøling i stalde med rørudslus-ning er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt op til 30% og en lugtreducerende effekt op til 20%. Gyllekøling i stalde med linespil er optaget på Miljøstyrel-sens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt op til 34%, men der er ikke effekt på lugt.

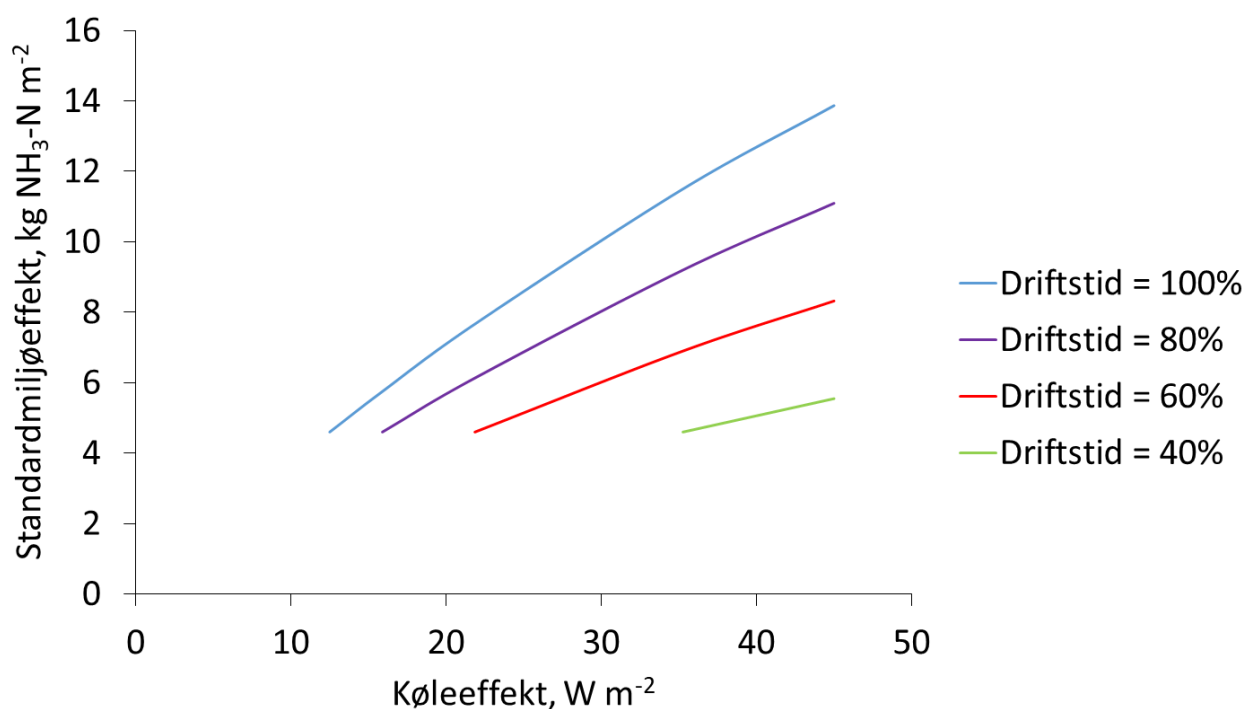
Effekten af gyllekøling i stalde med rørudslusning og linespil beregnes efter formlerne angivet i tabel 2.

Tabel 2. Formler til beregning af ammoniak- og lugtreducerende effekt (%) ved gyllekøling.

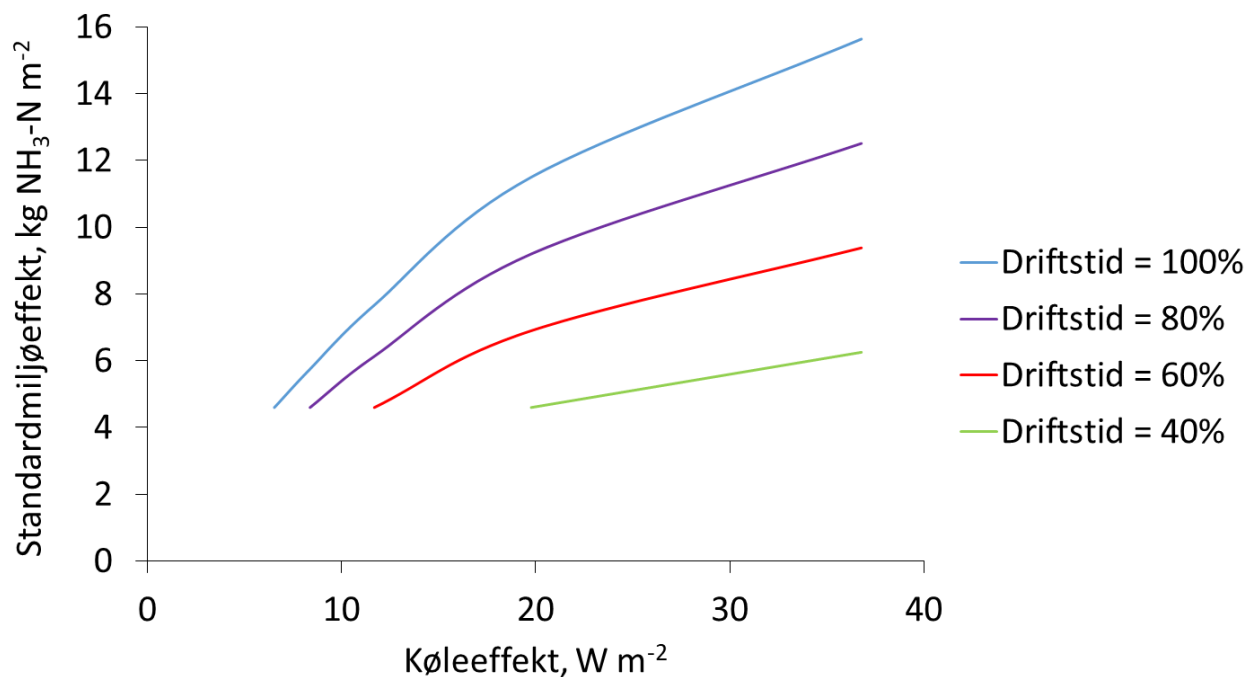
Gyllekølingsteknologi	Ammoniak <sup>1</sup>	Lugt <sup>1</sup>
Gyllekøling i slagtesvinestalde med rørudslusning	$0,85x-0,004x^2$	$0,77x$
Gyllekøling i slagtesvinestalde med linespil	$1,66x-0,02x^2$	Ingen effekt

<sup>1</sup> x = W m<sup>-2</sup>

Effekten på ammoniak der kan beregnes af formlerne i tabel 2 er ved en driftstid på 8760 timer år<sup>-1</sup> svarende til et år og ved lavere driftstid reduceres effekten på ammoniak forholdsmæssigt. Driftstiden vil typisk være mellem 40-80% af året. I forhold til lugt kan der kun opnås en effekt, hvis driftstiden er 8760 timer år<sup>-1</sup>. I figur 4 og 5 er vist standardmiljøeffekten (minimum 10% ammoniakreducerende effekt), for gyllekøling med en levetid på 20 år ved henholdsvis rørudslusning og linespil, som funktion af køleeffekten og ved antagelse om en driftstid mellem 40-100% af årets timer i en slagtesvinestald med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv.



Figur 4. Standardmiljøeffekt for gyllekøling i slagtesvinestalde med rørudslusning og 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv.



Figur 5. Standardmiljøeffekt for gyllekøling i slagtesvinestalde med linespil og 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv.

#### *Effekt af gyllekøling på drivhusgasser*

Gyllekøling kan grundet afkølingen af gylle bidrage til en reduceret udledning af metan fra stalden og kan derved reducere drivhusgaspåvirkningen. I en undersøgelse af Hilhorts et al. (2001) blev der vist en 30-50% reduktion i metanemissionen ved et temperaturfald i gyllen fra 20 °C til 10 °C. I modelberegninger af Sommer et al. (2004), for køling af gylle til 10 °C, blev der estimeret en reduktion i metanemissionen fra stalden på 74%, en forøget metanemission fra lageret på 5% og en reduktion af den samlede metanemission på 31 %. En undersøgelse af gyllekøling foretaget af SEGES Svineproduktion har vist en reduktion i metanemissionen på ca. 30% ved en køleeffekt på 20-27  $W m^{-2}$  (Olesen et al., 2018).

#### **Hyppig udslusning af gylle**

Ugentlig udslusning af gylle i slagtesvinestalde med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en lugtreducerende effekt på 20%, men der er ikke effekt på ammoniak. Udslusningen af gyllen kan både foretages automatisk og manuelt, men det skal kunne dokumenteres at udslusningen er foretaget med en ugentlig frekvens. Hyppige udslusning vil reducere metanemissionen fra gyllen i stalden som følge af en mindre gyllemængde, hvorved kilden til metan reduceres. En dansk undersøgelse har vist en reduktion i metanemissionen (bidrag fra grise + gylle) fra en slagtesvinestald på 55% ved hyppig udslusning (Holm, 2016). En reduceret metanemission fra stalden som følge af hyppig udslusning vil, til trods for en generelt lavere temperatur i

gyllelagret udenfor i en stor del af året, betyde en øget metanemission fra lageret og dette skal der tages højde for, når denne teknologi anvendes.

### ***Delvist fast gulv***

Delvist fast gulv er det staldsystem til slagtesvin, der jævnfør bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug (BEK. Nr. 718 af 8. juli 2019) har den laveste emission af ammoniak og lugt. Delvist fast gulv er anført med to staldtyper med 25-49% og 50-75% fast gulv, som sammenlignet med referencestalden (1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv) har en ammoniakemission, der er henholdsvis 17% og 39% lavere. Effekten af delvist fast gulv er stærkt afhængigt af om det faste gulv kan holdes fri for svineri, da effekten på ammoniak ellers vil formindskes (Aarnink et al., 1997) og arbejdsforbruget til renholdelse øges. Delvist fast gulv har også effekt på lugtemissionen og sammenlignet med referencestalden er lugtemissionen 33% lavere for begge typer af slagtesvinestalde med delvist fast gulv.

### ***Standard miljøeffekt for staldteknologier***

I tabel 3 er standard miljøeffekt for staldteknologierne angivet. I tabel 3 er der angivet minimums- og maksimumseffekt for gyllekøling og indenfor for dette interval er effekten er afhængig af køleeffekten ( $W m^{-2}$ ) og driftstiden (timer) og dette bør tages med i betragtningen, når gyllekøling vurderes i forhold til andre teknologier. For rørudslusning kan maksimumseffekten (30%) opnås ved en køleeffekt på  $45 W m^{-2}$  og en driftstid på 8760 timer. For linespil kan maksimumseffekten (34%) opnås ved en køleeffekt på  $37 W m^{-2}$  og en driftstid på 8760 timer. For rørudslusning kan minimumseffekten på 10% opnås ved en køleeffekt mellem  $12,5-45 W m^{-2}$  og en driftstid mellem 2920–8760 timer (33–100% af årets timer). For linespil kan minimumseffekten på 10% opnås ved en køleeffekt mellem  $6,5-37 W m^{-2}$  og en driftstid på 2577–8760 timer (29–100% af årets timer). I forhold til andre miljøteknologier er gyllekøling på nuværende tidspunkt den eneste teknologi, som kan være omkostningsneutral eller resultere i et positivt afkast som følge af sparede omkostninger til opvarmning. Det bør dog understreges at dette kun opnås, hvis den udvundne varme kan anvendes på bedriften. Alternativt skal overskudsvarmen bortskaffes med en kalorifer og dette vil være forbundet med et energiforbrug.

Tabel 3. Standard miljøeffekt for staldteknologier.

	Levetid	Emission ved anvendelse af teknologi <sup>1</sup>		Standard miljøeffekt	Effekt på NH <sub>3</sub> ved 5.000 stipladser <sup>2</sup>
	År	Kg NH <sub>3</sub> -N m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>	OU <sub>E</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Kg NH <sub>3</sub> -N m <sup>-2</sup>	Ton NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup>
<b>Gylleforsuring</b>					
Gylleforsuring i stald	15	0,83	-	22,1	4,8
Gylleforsuring i stald med separation	15	0,83	21	22,1	4,8
<b>Gyllekøling</b>					
Gyllekøling og rørudslusning: 10% effekt (min)	20	2,07	39 <sup>3</sup>	4,6	0,7
Gyllekøling og rørudslusning: 30% effekt (maks.)	20	1,61	28	13,8	2,2
Gyllekøling og linespil: 10% effekt (min)	20	2,07	-	4,6	0,7
Gyllekøling og linespil: 34% effekt (maks.)	20	1,52	-	15,6	2,5
<b>Hyppig udslusning af gylle</b>	20	-	34	-	-
<b>Delvist fast gulv</b>					
25-49% fast gulv	20	1,9	29	8,0	1,3
50-75% fast gulv	20	1,4	29	18,0	2,9

<sup>1</sup> I forhold til en reference stald med 1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv med en ammoniakemission på 2,3 kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup> og en lugtemission på 43 OU<sub>E</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>; <sup>2</sup> Baseret på en stald med 0,65 m<sup>2</sup> produktionsareal per stiplads; <sup>3</sup> Effekten på lugt kan kun opnås ved en driftstid på 8760 timer (100%).

## **Fast overdækning af gyllebeholder**

Jævnfør bekendtgørelse om miljøregulering af dyrehold og om opbevaring og anvendelse af gødning (BEK. nr. 760 af 30. juli 2019) skal beholdere for flydende husdyrgødning være forsynet med fast overdækning (flydedug, teltoverdækning eller låg af beton eller lignende fast og tæt materiale) eller tæt overdækning (naturligt flydelag, halm, letklinker eller lignende) eller der skal anvendes en teknologi der er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste. Fast overdækning (telt, betonlåg eller flydedug) er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 50% i forhold til naturligt flydelag, men der er ikke effekt på lugt. Staldforsuring er jævnfør Miljøstyrelsens teknologiliste sidestillet med naturligt flydelag.

Tæt overdækning i form af naturligt flydelag kan erstatte fast overdækning, såfremt der føres logbog. Logbogen skal sikre, at der er tilstrækkeligt flydelag på beholderen, til at det kan betragtes som tæt overdækning. Nogle former for gylle danner naturligt et tæt flydelag, og her er yderligere overdækning ikke nødvendig. I andre tilfælde vil etablering af flydelag være nødvendigt. Tæt overdækning i form af letklinker og flydebrikker er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakemission svarende til flydende husdyrgødning med naturligt flydelag.

Gyllebeholdere for flydende husdyrgødning skal dog altid forsynes med fast overdækning, hvis de etableres i en afstand på mindre end 300 m fra nabobeboelse samt ved en afstand på mindre end eller lig med 300 m fra de naturtyper, der er anført i § 22 stk. 4 i bekendtgørelse om miljøregulering af dyrehold og om opbevaring og anvendelse af gødning (BEK. nr. 760 af 30. juli 2019).

### *Effekt af fast overdækning på drivhusgasser*

Det er tidligere påvist, at der er forekomst af metanoxiderende bakterier i flydelag på gylle (Petersen et al., 2005; Ambus & Petersen, 2005; Duan et al., 2013) og at raten for metanoxidationen øges ved en forøgelse af metankoncentrationen i flydelaget (Duan et al., 2013). Metankoncentrationen i flydelaget kan øges ved at overdække gyllebeholderen og begrænse luftskiftet (Olesen et al., 2018). I en undersøgelse af Clemens et al. (2006) blev det vist at fast overdækning af en gyllebeholder med flydelag reducerede metanemissionen med 10-15%. Det forventes således at fast overdækning og et begrænset luftskifte i kombination med et veletableret flydelag vil kunne reducere metanemissionen fra lageret.

### **Standardmiljøeffekt for fast overdækning af gyllebeholder**

I tabel 4 er angivet standard miljøeffekt for fast overdækning af gyllebeholdere i forhold til en reference gyllebeholder med naturligt flydelag. Jævnfør bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug (BEK. Nr. 718 af 8. juli 2019) er ammoniak emissionsfaktoren for flydende husdyrgødning  $0,4 \text{ kg NH}_3\text{-N m}^{-2}$ .



Tabel 4. Standard miljøeffekt for fast overdækning af gyllebeholdere.

	Levetid	Emission ved anvendelse af teknologi <sup>1</sup>	Standard miljøeffekt <sup>1</sup>	Effekt på NH <sub>3</sub> ved 5.000 stipladser <sup>2</sup>
	År	Kg NH <sub>3</sub> -N m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>	Kg NH <sub>3</sub> -N m <sup>-2</sup>	Ton NH <sub>3</sub> -N år <sup>-1</sup>
<b>Fast overdækning af gyllebeholder</b>	10	0,2	2,0	0,25

<sup>1</sup> I forhold til en gyllebeholder med naturligt flydelag og en ammoniakemission på 0,4 kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup>; <sup>2</sup> I beregningen for gyllebeholder til 5.000 stipladser til slagtesvin (20.000 producerede slagtesvin) er det antaget at der etableres to gyllebeholdere á 2500 m<sup>3</sup>, hvilket svarer til en lagerkapacitet på ca. 6 måneder. Gyllebeholderne har en højde på 4 m og et overfladeareal på 630 m<sup>2</sup>.

## Opsummering

Der er i de foregående afsnit lavet en gennemgang af de miljøteknologier, som kan anvendes i slagtesvinestalde i forhold ”Tilskudsordningen Modernisering af slagtesvinestalde 2020”. For hver miljøteknologi er standardmiljøeffekten for ammoniak og lugt beregnet og den forventede effekt på drivhusgasser er angivet. Miljøteknologierne er opdelt i luftrensningsteknologier, staldteknologier og fast overdækning af gyllebeholdere. Kriteriet for udvælgelse af miljøteknologier har været at teknologierne er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste eller at der er tale om et lav-emissions staldsystem jævnfør bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug (BEK. Nr. 718 af 8. juli 2019). Der forefindes således andre miljøteknologier end de anførte, men det ovenstående kriterie er anlagt for at sikre, at de teknologier der ansøges om tilskud til vil kunne indgå i en miljøgodkendelse. Desuden er det et kriterie at der kan opnås en ammoniakreducerende effekt på minimum 10%.

For luftrensningsteknologier er overordnet to typer af luftrensningsteknologier, som er kemisk og biologisk luftrensning. Desuden er der kombirensere, som kombinerer kemisk og biologisk luftrensning i den samme luftrensning. Luftrensning vil oftest anvendes som delluftrensning, hvor kun en del af staldens ventilationskapacitet renses (20-60%). Desuden kan luftrensning kombineres med punktudsugning, hvor ammoniak og lugt koncentrerer i en mindre luftmængde, som suges ud af stalden i gyllekanalen under eller tæt på grisenes lejeareal og behandles i luftrenseren. De fleste luftrensningsteknologier har både ammoniak- og lugtreducerende effekt, på nær kemisk luftrensning med syre, som ikke har effekt på lugt. Luftrensningsteknologierne har en begrænset fjernelse af metan, men biologisk luftrensere kan give anledning til dannelse af lattergas.

For staldteknologier er der fire typer af teknologier: 1) gylleforsuring, 2) gyllekøling, 3) hyppig udslusning og 4) staldsystem med delvist fast gulv. Gylleforsuring, gyllekøling og delvist fast gulv har en ammoniakreducerende effekt. Følgende teknologier har lugtreducerende effekt: 1) Gylleforsuring kombineret med separation, 2) gyllekøling i stalde med rørudslusning, 3) hyppig udslusning og 4) delvist fast gulv. Gylleforsuring, gyllekøling og hyppig udslusning forventes at have en positiv effekt på metanemissionen fra stalden og gylleforsuring forventes ligeledes at have en positiv effekt på metanemissionen fra lageret.

Fast overdækning af gyllebeholdere har en ammoniakreducerende effekt sammenlignet med gyllebeholdere med naturligt flydelag. Det forventes at fast overdækning af gyllebeholdere i kombination med et begrænset luftskifte og et veletableret flydelag vil kunne reducere metanemissionen.

## Referencer

- Ambus, P. & S.O. Petersen. 2005. Oxidation of  $^{13}\text{C}$ -labeled methane in surface crusts of pig- and cattle slurry. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 41, pp. 125-133.
- Aarnink, A. J. A., D. Swierstra, A. J. van den Berg, and L. Speelman. 1997. Effect of Type of Slatted Floor and Degree of Fouling of Solid Floor on Ammonia Emission Rates from Fattening Piggeries. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66, pp. 93-102.
- BEK nr. 1467. Bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug. 12. december 2018. Miljø- og Fødevareministeriet.
- BEK. nr. 760. Bekendtgørelse om miljøregulering af dyrehold og om opbevaring og anvendelse af gødning. 30. juli 2019. Miljø- og Fødevareministeriet.
- Clemens, J., M. Trimborn, P. Weiland & B. Amon. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle manure. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112, pp. 171-177.
- Duan, Y.F., L. Elsgaard, & S.O. Petersen. 2013. Inhibition of methane oxidation in slurry surface crust by inorganic nitrogen. *Journal of Environmental Quality*, 42, pp. 507-515.
- Hilhorst, M.A., R.W. Mele, H.C. Willers, C.M Groenestein & G.J. Monteny. 2001. Effective strategies to reduce methane emissions from livestock. *ASAE, Paper no 01-4070*, pp 1-8.
- Holm, M. 2016. Klimagas emission fra Danske slagtesvinestalde. [www.svineproduktion.dk/aktuelt/temaer/maanegrisk](http://www.svineproduktion.dk/aktuelt/temaer/maanegrisk) (citeret: 6. august 2019).
- Holm, M, K.B. Sørensen & M.B.F. Nielsen. 2016. Ammoniakreduktion ved gyllekling i løbe-/drægtighedsstald med linespilsanlæg. Meddelelse nr. 1089. SEGES Svineproduktion.
- Holm, M, K.B. Sørensen & M.B.F. Nielsen. 2017. Ammoniak- og lugtreduktion ved gyllekøling i slagtesvinestalde. Meddelelse nr. 1105. SEGES Svineproduktion.
- Jørgensen, M. & A.L. Riis. 2014. 10% punktudsugning via sugepunkt midt under lejeareal i slagtesvinestald med fast gulv i lejearealet, Meddelelse nr. 1000. SEGES Svineproduktion.
- Kai, P., J.S. Strøm & B.E. Jensen. 2007. Delrensning af ammoniak i staldluft. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Grøn Viden Husdyrbrug nr. 47.
- Kai, P., P. Pedersen, J.E. Jensen, M.N. Hansen & S.G. Sommer. 2008. A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *European Journal of Agronomy*, 28, pp. 148-154.

- Melse, R.W., J.P.M. Ploegaert & N.W.M. Ogink. 2012. Biotrickling filter for the treatment of exhaust air from a pig rearing building: Ammoniak removal performance and its fluctuations. *Biosystems Engineering*, 113, pp. 242-252.
- Miljøstyrelsen. 2019. Miljøstyrelsens teknologiliste. [www.mst.dk/erhverv/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/](http://www.mst.dk/erhverv/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/) (citeret: 6. august 2019).
- Miljøstyrelsen. 2009. Svovlsyrebehandling af gylle. *Miljøstyrelsens Teknologiblad*. 2. udgave, 23.05.2011.
- Miljøstyrelsen. 2011a. Kemisk luftrensning med syre. *Miljøstyrelsens Teknologiblad*. 3. udgave 23.05.2011.
- Miljøstyrelsen. 2011b. Biologisk luftrensning. *Miljøstyrelsens Teknologiblad*. 1. udgave, 23.05.2011.
- Miljøstyrelsen. 2011c. Køling af gylle i slagtesvine-stalde. *Miljøstyrelsens Teknologiblad*. 2. udgave, 26.01.2011.
- Olesen, J.E., S.O. Petersen, P. Lund, U. Jørgensen, T. Kristensen, L. Elsgaard, P. Sørensen & J. Lassen. 2018. Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA Rapport nr. 130.
- Pedersen, P. 2005. Linespilsanlæg med køling i drægtighedsstalde. Meddelelse nr. 694. SEGES Svineproduktion.
- Petersen, S.O., Amon, B. & Gattinger, A. 2005. Methane oxidation in slurry storage surface crusts. *Journal of Environmental Quality*, 34, pp. 455-461.
- Petersen, S.O., A.J. Andersen & J. Eriksen. 2012. Effects of slurry acidification on ammonia and methane emission during storage. *Journal of Environmental Quality*, 41, pp. 88-94.
- Petersen, S.O., O. Højbjerg, M. Poulsen, C. Schwab & J. Eriksen. 2014. Methanogenic community changes, and emissions of methane and other gases, during storage of acidified and untreated pig slurry. *Journal of Applied Microbiology*, 117, pp. 160-172.
- Petersen, S.O., N.J. Hutchings, S.D. Hafner, S.G. Sommer, M. Hjorth & K.E.N. Jonassen. 2016. Ammonia abatement by slurry acidification: A pilot-scale study of three finishing pig production periods. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 216, pp. 258-268.
- Riis, A.L., M. Jørgensen & P. Hansen. 2014a. 10 % punktudsugning via sugepunkt midt under lejeareal i slagtesvinestald med drænet gulv i lejearealet. Meddelelse nr. 998. SEGES Svineproduktion.

- Sommer, S.G., S.O. Petersen & H.B. Møller. 2004. Algorithms for calculating greenhouse gas emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69, pp. 143-154.
- Van der Heyden, C., P. Demeyer & E.I.P. Volcke. 2015. Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: State-of-the-art and perspectives. *Biosystems Engineering*, 134, pp. 74-93.
- Van der Heyden, C., E. Brusselman, E.I.P. Volcke & P. Demeyer. 2016. Continuous measurements of ammonia, nitrous oxide and methane from air scrubbers at pig housing facilities. *Journal of Environmental Management*, 181, pp. 163-171.
- Van Huffel, K., M.J. Hansen, A. Feilberg, D. Liu & H. Van Langenhove. 2016. Level and distribution of odorous compounds in pig exhaust air from combined room and pit ventilation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 218, pp. 209-219.
- Van Huffel, K., M.J. Hansen, J. Bruneel, H. Van Langenhove & A. Feilberg. 2019. Extraction efficiency of odorous compounds during a winter and summer period for partial pit ventilation in pig houses with diffuse ceiling inlet and wall inlets. *Biosystems Engineering*, 179, pp. 71-79.
- Zong, C., Y. Feng, G. Zhang & M.J. Hansen. 2014. Effects of different air inlets on indoor air quality and ammonia emission from two experimental fattening pig rooms with partial pit ventilation system – summer conditions. *Biosystems Engineering*, 122, pp. 163-173.
- Zong, C., H. Li & G. Zhang. 2015. Ammonia and greenhouse gas emissions from fattening pig house with two types of partial pit ventilation systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 208, pp. 94-105.