

# Køling af gylle i grisestalde

- Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyr-godkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav

---

Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Anders Peter S. Adamsen<sup>1</sup>, Peter Kai<sup>1</sup>, Gustav M. Callesen<sup>2</sup> og Brian H. Jacobsen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet

<sup>2</sup>Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet



AARHUS  
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



# Datablad

---

Titel:	Køling af gylle i grisestalde - Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav
Forfattere:	Seniorforsker Anders Peter S. Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU Seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU Videnskabelig Assistent Gustav M. Callesen, Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, KU Lektor Brian Jacobsen, Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, KU
Fagfællebedømmelse:	Seniorforsker Michael Jørgen Hansen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Specialkonsulent Johanna Höglund, specialkonsulent Anna Feldberg Marsbøll og akademisk medarbejder Majbrit Guldborg, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Miljøministeriet (MIM) Departementet.
Dato for bestilling/levering:	25.02.2019/21.06.2023
Journalnummer:	2022-0446588
Faglig redaktion afsluttet:	01.10.2021
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri og Aarhus Universitet. I tillæg er afsnittet om økonomi finansieret af KU.
Ekstern kommentering:	Udkast til notatet blev præsenteret og diskuteret ved møder afholdt i en følgegruppe nedsat af Departementet. Følgegruppen bestod ud over Departementet af repræsentanter fra Miljøstyrelsen, Danmarks Naturfredningsforening, Kommunernes Landsforening, København Fur, Landbrug & Fødevarer og Økologisk Landsforening. Følgegruppen har ligeledes haft mulighed for at kommentere skriftligt på udkast til notatet. Notatets forfatter(e) står inde for metodevalg, resultater, diskussion og konklusioner. Inden opdatering af kvalitetsledelsessystemet d. 20.05.2020 var der ikke krav om offentliggørelse af ekstern kommentering.
Eksterne bidrag:	KU har skrevet notatets afsnit om økonomi. Økonomi-afsnittet består af udtræk fra notater omhandlende økonomisk analyse af driftssystemer og miljøteknologier udarbejdet af KU. I forbindelse med udarbejdelse af notatet har forfatterne haft kontakt til Klimadan A/S for afklaring af tekniske spørgsmål omkring dimensionering og drift af gyllekølingsanlæg i praksis.
Kommentarer til bestilling:	Miljøministeriet (MIM) Departementet har bedt AU om at revidere det tekniske grundlag for BAT i Danmark jf. bestilling af 25. februar 2019 benævnt "BAT-projektet". Bestillingen er opdateret d. 16. august 2019. Forventninger til omfang og detaljeringsgrad er løbende blevet opdateret. MIM Departementet har ønsket en samlet slutlevering af hele BAT-projektet.
Kommentarer til besvarelsen:	Notatet er første gang leveret d. 24.11.2022. I nærværende notat er enkelte værdier i Resuméet samt Tabel 7 og 9 opdateret grundet revidering af de bagvedliggende økonomiske analyser udarbejdet af KU. Dette notat erstatter det tidligere leverede notat.  Notatet har ikke været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.
Ophavsret:	Notatet er omfattet af gældende regler om ophavsret.

Citeres som:

Adamsen, APS., Kai, P, Callesen, GM. og Jacobsen, BH. 2023. Køling af gylle i grisestalde – Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 23 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

Rådgivning fra DCA:

Læs mere på <https://dca.au.dk/raadgivning/>.

## Forord

Det er en af de grundlæggende betingelser for at opnå miljøgodkendelse, at ansøgninger om etablering eller udvidelse af husdyrbrug med en ammoniakemission, der overstiger 750 kg NH<sub>3</sub>-N per år, har truffet de nødvendige foranstaltninger til at forebygge og begrænse ammoniakforureningen ved anvendelse af den bedste tilgængelige teknik (BAT).

Formålet med dette projekt har været at opdatere det faglige grundlag for en efterfølgende politisk fastsættelse af grænseværdier for ammoniakemission (BAT-krav), der anvendes ved miljøgodkendelse af husdyrbrug.

Projektet er gennemført som et samarbejde mellem Aarhus universitet (AU) og Københavns Universitet (KU). Seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU har været projektleder i forhold til den tekniske og miljømæssige beskrivelse af effekter af stalde og teknologier, mens lektor Brian H. Jacobsen, Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, KU, har været projektleder for de økonomiske analyser.

Som led i projektet har AU og KU udarbejdet en serie notater, der omfatter nærmere definerede driftssystemer og teknologier indenfor driftsgrenene grise, kvæg, fjerkræ og mink:

**Driftssystembeskrivelser** er notater, der beskriver den typiske indretning og drift af specifikke stald- og stityper til bestemte dyregrupper og de dermed forbundne emissioner af ammoniak, lugt og drivhusgasser samt de vigtigste ressourceforbrug, der knytter sig til produktionen. Notaterne er udarbejdet af AU. Driftssystembeskrivelserne indeholder med få undtagelser økonomiske nøgletal, som er udtræk fra økonomi-notater udarbejdet af KU.

**Teknologibeskrivelser** er notater, der beskriver specifikke typer af teknologier og deres miljøeffekt, når de anvendes i specifikke stald-/stityper og de dermed forbundne ressourceforbrug og emissioner af ammoniak og lugt. Teknologibeskrivelsernes tekniske og miljømæssige del er udarbejdet af AU, mens de økonomiske nøgletal er udtræk fra økonomi-notater udarbejdet af KU.

**Økonomiske udrednings- og dokumentationsnotater** beskriver dels forudsætningerne for økonomiske analyser af virkemidler til reduktion af ammoniakemissionen i husdyrproduktionen samt de økonomiske konsekvenser forbundet med anvendelse af stalde og teknologier. Disse er udarbejdet og publiceret af KU.

Som opsummering er der for hver driftsgren (for grise opdelt på produktionstype) udarbejdet et **resumé- og analysenotat**, der sammenholder miljømæssige og økonomiske effekter ved anvendelsen af stalde og teknologi, herunder i diverse kombinationer og som funktion af husdyrholdets størrelse.

# Køling af gylle i grisestalde

## Resumé

Emission af ammoniak fra stald		Effekten af køling af gylle afhænger af gulvtypen, gyllesystemet og den realiserede køleeffekt. Miljøstyrelsen har fastsat en maksimal reduktion på 30 % i stalde med rørudslusning og 34 % i stalde med mekanisk udmugning.
Emission af lugt fra stald		Maksimal reduktion på 20 % for stalde med rørudslusning. Ingen dokumenteret effekt i stalde med mekanisk udmugning.
Emission af støv fra stald		Dette er ikke undersøgt, men antages uændret.
Emission af drivhusgasser fra stald		Dette er ikke undersøgt, men der forventes væsentlig lavere udledning af metan i stalde med rørudslusning. Effekten formodes at være minimal i stalde med mekanisk udmugning. Der er lavere indirekte udledning af lattergas som følge af den reducerede udledning af ammoniak.
Energi		Gyllekøling forbruger el til at drive kølekompressoren.
Arbejds miljø		Lavere ammoniakkoncentration i stalden vil alt andet lige forbedre arbejdsmiljøet
Smittorisiko		Der er ikke fundet dokumentation, men forventes uændret.
Dyrevelfærd		Det er ikke undersøgt, men formentlig marginalt bedre grundet lavere ammoniakkoncentration i luften.
Affald og spildevand		Frostvæske tilsat vandet i køleslanger skal håndteres i henhold til gældende regler.
Miljøfremmede stoffer		Der er ikke fundet dokumentation, men forventes uændret.
Virkning på lager og mark		Det forøgede ammoniakindhold i gyllen vil give anledning til marginalt forøget fordampning fra gyllelager og ved udbringning af gylle på marker.
Driftssikkerhed		Robust teknologi med forventet lang levetid (> 15 år). Motor på kompressor forventes at kunne køre 30.000 - 40.000 timer.
Merinvestering		Investeringen i gyllekøling med rørudslusning er opgjort til 52 - 457 kr. per stiplads for slagtegrise, 26 - 115 kr. per stiplads for smågrise og 121 - 687 kr. per årso. De laveste investeringer per stiplads er for de største besætninger og den laveste køleeffekt.
Driftsomkostninger		De samlede omkostninger udgør 0-29 kr. per produceret slagtegris, 0 til 7 kr. per produceret smågris og -27 - 307 kr. per årso. Omkostningen for slagtegrise og smågrise er opgjort under forudsætning af 30% nyttiggørelse af den producerede varme. De laveste omkostninger findes hos de største besætninger. Mekanisk udmugning har højere omkostninger end rørudslusning.
Omkostningseffektivitet		Omkostningseffektiviteten er opgjort til mellem 16 - 360 kr. per reduceret kg NH <sub>3</sub> -N for slagtegrise, 43-1.1161 kr. per reduceret kg NH <sub>3</sub> -N for smågrise og -119 - 434 kr. per reduceret kg NH <sub>3</sub> -N for søer. I alle tilfælde under antagelse om delvis nyttiggørelse af varmen. Uden varmeanvendelse øges omkostningerne betydeligt per reduceret kg NH <sub>3</sub> -N.
Referencesystem		Gristalder uden gyllekøling.

## Definitioner

- Drænet gulv: Gulv, typisk betonelementer, med et åbningsareal til en underliggende gyllekumme svarende til maksimalt 10% af gulvarealet i den pågældende andel af stien.
- Fast gulv: Betongulv uden gennemgående åbninger/spalter til underliggende gyllekumme. Gulvet vil typisk være udført med fald mod drænet gulv eller spaltegulv.
- Gyllekumme / gyllekanal: Spaltegulv og drænet gulv lægges oven på en gyllekumme eller gyllekanal, som opsamler og lagrer gyllen, inden den sluses ud til en fortank og videre en gylletank. Gyllekummer vil typisk omfatte to til fire stier, som deler udslusningssted. Gyllekanaler benyttes oftest i stalde med stier med lille spaltegulvsareal og omfatter en hel række af stier.
- Gødningskanal: Samme geometriske opbygning som en gyllekanal, men opbygget med et mekanisk system for tømning af gødningskanalen, fx linespils- eller skrabeanlæg, hvor gyllen skræbes hen til en tværkanal i enden af gødningskanalen, hvorfra gyllen skræbes eller sluses ud til en fortank, og herfra pumpes den videre til gylletanken.
- Køleeffekt: I dette notat anvendes begrebet køleeffekt som den effektive tidsvægtede køleeffekt per m<sup>2</sup> produktionsareal.
- Køleeffektfaktor: Forholdet mellem den optagne varme på anlæggets køleside og den forbrugte strøm. Ofte forkortet COP<sub>køling</sub>.
- Produktionsareal: Det areal i fast placerede husdyranlæg, hvorpå dyrene kan opholde sig og har mulighed for at afsætte gødning og som dyrene ikke kun har kortvarig adgang til (Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsen, 2020, § 2 stk. 4).
- Spaltegulv: Gulv af beton, støbejern eller plastik, udført med spalteåbninger, der tillader dræning af ekskrementer og urin til en underliggende gyllekumme.
- Varmeeffektfaktor: Forholdet mellem den afgivne varme og den forbrugte strøm. Ofte forkortet COP<sub>varme</sub>.

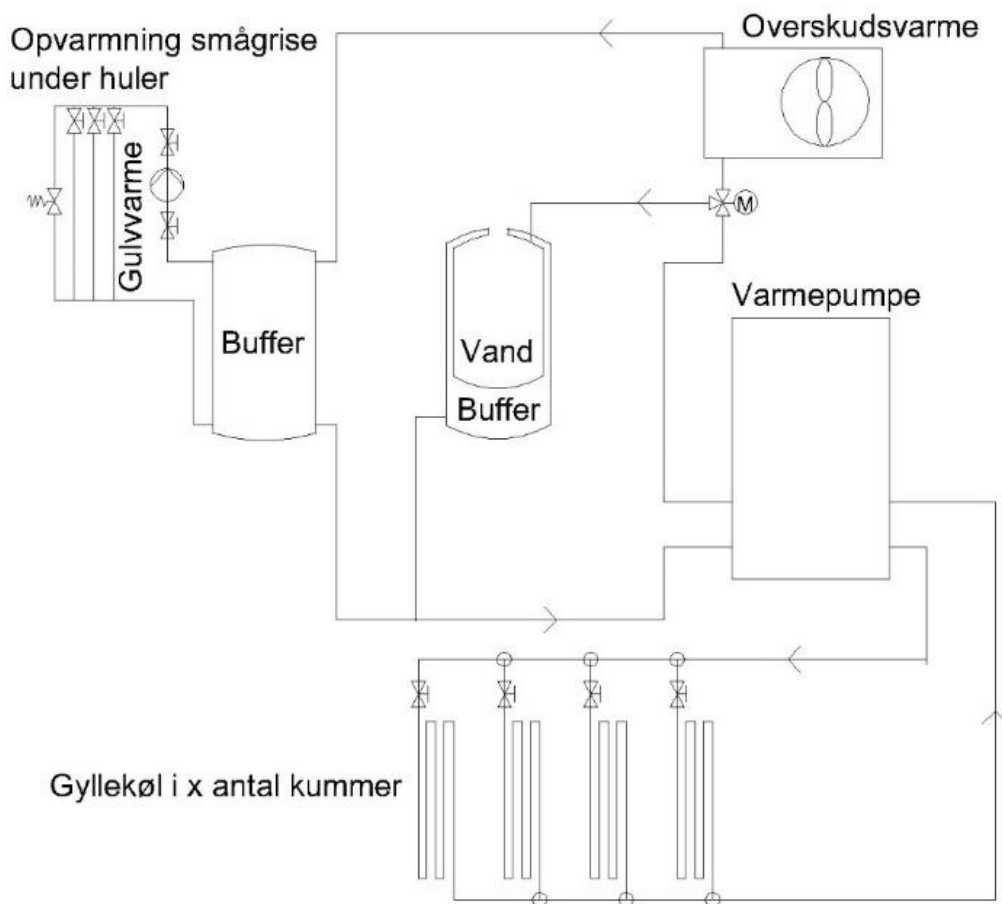
## Beskrivelse

Ved at sænke temperaturen af gylle reduceres fordampningen af ammoniak, lugtstoffer og metan. Fordampningen af ammoniak fra gylle påvirkes især af temperatur og surhed (pH) i gyllens overflade, mens dannelsen af metan og svovlbrinte sker i hele gyllevolumenet og derfor i højere grad er påvirket af gyllens gennemsnitlige temperatur. Ud over fordampning fra gyllens overflade i kummer, så sker der også fordampning fra stigulvet afhængig af tilsvining. Gyllekøling påvirker ikke denne fordampning.

Jo nærmere overfladen der køles, desto bedre virkning opnås på ammoniakfordampningen (Petersen, 1997). I Nederlandene er køling i gylleoverfladen med flydende køle-elementer og anvendelse af grundvand undersøgt i grisestalde (slagtegrise, smågrise, søer), og der er opnået reduktioner i ammoniakemissionen på mere end 50 % afhængig af køleeffekt (RAV, 2019). Flydende køle-elementer anvendes ikke her i landet på grund af manglende national dokumentation samt frygt for nedsat driftssikkerhed ved anvendelse af strøelse i stierne.

I Danmark etableres gyllekøling typisk ved nedstøbning af slanger af polyetylen (PE) i bunden af gylle- eller gødningskanalerne i stalden. Typisk udlægges køleslangerne oven på armeringsnettet (rionet) og overstøbes med beton. Der isoleres normalt ikke under betonlaget. Slangerne udlægges typisk med en afstand på 40 cm. Slangerne kan også udlægges direkte oven på kanalbunden, hvorved der formodentlig kan opnås en større ammoniakreduktion, men med risiko for problemer i forbindelse af udslusning af gylle; særligt, hvis slangerne udlægges på tværs af udslusningsretningen i gyllekummerne. Køleslangerne fyldes med vand tilsat frostvæske og forbindes med en varmepumpe. Varmepumpen overfører energi (varme) fra kølevandskredsløbet (køleslangerne) til en varmtvandsbeholder på varmepumpens varmeside. Det varme vand kan bruges til opvarmning af stalde, servicerum, vådfoder, vaskevand eller boliger. Overskydende varme må fjernes med en varmeblæser (luftkondensator) eller på andet vis for, at systemet kan fungere.

Det er almindeligt at dimensionere gyllekøling ( $W/m^2$ ) efter varmebehovet andre steder på bedriften, fx smågrisestalde. Det betyder, at der ofte kun køles, når der efterspørges varme fra andre staldrum. Såfremt gyllekølingen skal anvendes ud over det antal timer, der er behov for varme, skal der tilføjes en udeluftkondensator eller frikøler til at bortskaffe overskydende varme.



**Figur 1:** Skitse af gyllekølingsanlæg med gyllekøling, varmepumpe og varmeafsætning i smågrisehuler i farestalden. Desuden er vist en udeluftkondensator/frikøler til afsætning af overskudsvarme. Tegning: Miljøstyrelsen (2011).

## Management

Gyllekøling påvirker ikke den almindelige landbrugsdrift og er forbundet med minimal vedligeholdelse, som typisk udføres af eksternt VVS-firma eller lignende.

Køleanlæg med fyldning større end 1 kg kølemiddel skal efterses mindst en gang om året. Eftersynet skal foretages af en person, som opfylder kvalifikationskravene til at udføre kontrolopgaver på den pågældende anlægstype (Arbejdstilsynet, 2019).

Køleanlæg med en kølemiddelfyldning større end 1 kg, men ikke over 2,5 kg, skal som minimum have en årlig kontrol af sikkerhedsudstyret. Det skal ske efter leverandørens anvisninger og af personer/montører, som i kraft af deres faglige uddannelse er kvalificeret til at forestå kontrollen af denne type anlæg. Køleanlæg med en kølemiddelfyldning større end 2,5 kg skal have et årligt eftersyn af en kølemontør eller et kølefirma, som opfylder kravene til at forestå kontrollen af den pågældende anlægstype (Arbejdstilsynet, 2019).



Virksomheden skal kunne dokumentere, at der har været eftersyn af anlæg, der har en fyldning større end 1 kg kølemiddel. Dokumentationen skal være samlet i en udstyrsjournal og befinde sig ved anlægget (Arbejdstilsynet, 2019).

## Arbejds miljø

Der er ikke fundet specifik dokumentation. Gyllekøling reducerer ammoniakfordampningen fra gyllen i stalden og reducerer derved ammoniakkoncentrationen i staldluften, hvilket er gavnligt for arbejdsmiljøet.

## Ammoniakemission

Effekten af gyllekøling på udledning af ammoniak afhænger af stalddtype, placering af køleslangerne, højde af gylle over køleslangerne og køleeffekt.

### Stalde med rørudslusning

Miljøstyrelsen har med baggrund i en MELT-indstilling (2017) fastsat følgende sammenhæng mellem køleeffekt og reduktion i ammoniakemissionen fra stalde med gyllesystem af typen rørudslusningsanlæg:

$$R = 0,85 \cdot E - 0,004 \cdot E^2 \quad [1]$$

hvor,  $R$  er reduktion i %,  $E$  er køleeffekten ( $W/m^2$  gyllekumme). Den maksimale reduktion i ammoniakemissionen er fastsat til 30 %, hvilket opnås ved en køleeffekt på  $45 W/m^2$ .

### Stalde med mekanisk udmugning

Tilsvarende har Miljøstyrelsen med baggrund i en MELT-indstilling (2017) fastsat følgende sammenhæng mellem køleeffekt og reduktion i ammoniakemissionen fra stalde med mekanisk udmugning i form af fx linespilsanlæg og lignende:

$$R = 1,66 \cdot E - 0,02 \cdot E^2 \quad [2]$$

hvor,  $R$  er reduktion i %,  $E$  er køleeffekten ( $W/m^2$  gyllekumme). Der kan højst opnås 34 % reduktion i ammoniakemissionen, hvilket opnås ved en køleeffekt på  $37 W/m^2$ .

Emissionen af ammoniak-kvælstof fra forskellige stityper samt tilhørende reduktion i udledning af ammoniak-kvælstof per år per  $m^2$  produktionsareal i tabel 1 og per produceret dyr eller årsvær er vist i tabel 2.

**Tabel 1.** Ammoniakemission fra referencestalde uden gyllekøling samt sparet ammoniakemission afhængig af køleniveau (kg NH<sub>3</sub>-N/år per m<sup>2</sup> produktionsareal).

Stalde med rørudslusning	Reference	Årlig gennemsnitlig gyllekøling (W/m <sup>2</sup> gyllekanal)			
		10	20	30	40
Ammoniakreduktion	0 %	8,1 %	15,4 %	21,9 %	27,6 %
Løbe-/drægtighedsstalde, løsdrift, delvist fast gulv	1,2	0,10	0,18	0,26	0,33
Løbe-/drægtighedsstalde, individuel opstaldning, delvist fast gulv	1,3	0,11	0,20	0,28	0,36
Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	1,3	0,11	0,20	0,28	0,36
Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	0,66	0,053	0,10	0,14	0,18
Smågrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	1,2	0,10	0,18	0,26	0,33
Smågrisestalde, to-klimastier med delvist fast gulv	0,56	0,045	0,086	0,12	0,15
Slagtegrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	2,3	0,19	0,35	0,50	0,63
Slagtegrisestalde, 25-49% fast gulv	1,9	0,15	0,29	0,42	0,52
Slagtegrisestalde, 50-75% fast gulv	1,4	0,11	0,20	0,28	0,36

Stalde med mekanisk udmugning	Reference	Årlig gennemsnitlig gyllekøling (W/m <sup>2</sup> gyllekanal)			
		10	20	30	37
Ammoniakreduktion	0 %	14,6 %	25,2 %	31,8 %	34,0
Løbe-/drægtighedsstalde, løsdrift, delvist fast gulv	1,2	0,18	0,30	0,38	0,41
Løbe-/drægtighedsstalde, individuel opstaldning, delvist fast gulv	1,3	0,19	0,33	0,41	0,44
Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	1,3	0,19	0,33	0,41	0,44
Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	0,66	0,10	0,17	0,21	0,22
Smågrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	1,2	0,10	0,18	0,26	0,31
Smågrisestalde, to-klimastier med delvist fast gulv	0,56	0,08	0,14	0,18	0,19
Slagtegrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	2,3	0,34	0,58	0,73	0,78
Slagtegrisestalde, 25-49% fast gulv	1,9	0,28	0,48	0,60	0,65
Slagtegrisestalde, 50-75% fast gulv	1,4	0,19	0,33	0,41	0,44

**Tabel 2.** Ammoniakemission fra stalde uden gyllekøling jf. normtal for husdyrgødning 2018/19 samt sparet ammoniakemission afhængig af køleniveau (kg NH<sub>3</sub>-N/årsso eller per produceret gris).

Stalde med rørudslusning	Reference	Årlig gennemsnitlig gyllekøling (W/m <sup>2</sup> gyllekanal)			
		10	20	30	40
Ammoniakreduktion	0 %	8,1 %	15,4 %	21,9 %	27,6 %
Løbe-/drægtighedsstalde, løsdrift, delvist fast gulv	1,99	0,161	0,306	0,436	0,549
Løbe-/drægtighedsstalde, individuel opstaldning, delvist fast gulv	1,62	0,131	0,249	0,355	0,447
Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	1,39	0,113	0,214	0,304	0,384
Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	0,69	0,056	0,11	0,15	0,19
Smågrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	0,061	0,0049	0,0094	0,013	0,017
Smågrisestalde, to-klimastier med delvist fast gulv	0,029	0,0023	0,0045	0,0064	0,0080
Slagtegrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	0,42	0,034	0,065	0,092	0,116
Slagtegrisestalde, 25-49% fast gulv	0,34	0,028	0,052	0,074	0,094
Slagtegrisestalde, 50-75% fast gulv	0,26	0,021	0,040	0,057	0,072

Stalde med mekanisk udmugning	Reference	Årlig gennemsnitlig gyllekøling (W/m <sup>2</sup> gyllekanal)			
		10	20	30	37
Ammoniakreduktion	0 %	14,6 %	25,2 %	31,8 %	34,0
Løbe-/drægtighedsstalde, løsdrift, delvist fast gulv	1,99	0,29	0,50	0,63	0,68
Løbe-/drægtighedsstalde, individuel opstaldning, delvist fast gulv	1,62	0,24	0,41	0,52	0,55
Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	1,39	0,20	0,35	0,44	0,47
Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	0,69	0,10	0,17	0,22	0,23
Smågrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	0,061	0,0089	0,015	0,019	0,021
Smågrisestalde, to-klimastier med delvist fast gulv	0,029	0,0042	0,0073	0,0092	0,010
Slagtegrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	0,42	0,061	0,11	0,13	0,14
Slagtegrisestalde, 25-49% fast gulv	0,34	0,050	0,086	0,11	0,12
Slagtegrisestalde, 50-75% fast gulv	0,26	0,038	0,066	0,083	0,089

## Lugtemission

Effekten af gyllekøling på lugtemissionen er dokumenteret i slagtegrisestalde med rørudslusning (Holm et al., 2017). Den lugtreducerende effekt beregnes efter følgende formel (MELT, 2017).

$$R = 0,77 \cdot E \quad [3]$$

hvor  $R$  er reduktionen i lugtemissionen i % sammenlignet med ingen køling og  $E$  er køleeffekt (W/m<sup>2</sup> gyllekumme).

Lugtemissionen kan maksimalt reduceres med 20 % (MELT, 2017) og forudsætter aktiv gyllekøling hver dag året rundt.

Effekten antages at gælde alle grisestalde med rørudslusning, hvorimod gyllekøling ikke tilskrives lugtreducerende effekt i grisestalde med mekanisk udmugning grundet manglende dokumentation.

## Støvemission

Der er ikke fundet dokumentation. Gyllekøling vurderes ikke at have betydning for produktionen og emissionen af støv fra stalde.

## Drivhusgasemissioner

Gyllekøling reducerer emissionen af metan på grund af hæmning af mikrobielle nedbrydningsprocesser i gyllen. Vurdering af gyllekølings effekt på metanemissionen fra stalde vanskeliggøres af, at dyrenes fordøjelsessystem bidrager med betydelig mængde metan uafhængigt af staldsystemet, hvilket gør det vanskeligt at fastlægge den specifikke effekt af gyllekøling.

I stalde med mekanisk udmugning tømmes gyllekanalerne dagligt, hvilket i sig selv reducerer metanemissionen betydeligt, hvorfor effekten af gyllekøling ikke forventes at kunne tillægges væsentlig yderligere effekt.

Den reducerede emission af ammoniak medfører en indirekte reduktion af lattergas ved efterfølgende deposition på landarealer på 0,01 kg N<sub>2</sub>O-N per kg NH<sub>3</sub>-N (IPCC, 2006).

## Ressourceforbrug

### Arbejdstidsforbrug

Teknologien vurderes ikke at medføre øget arbejdsforbrug ud over almindeligt opsyn. Ved anvendelse af luftkondensator til bortskaffelse af overskydende varme skal det sikres, at varmemfladen holdes ren og fri for støv og lignende for at sikre effektiv varmeoverførsel.

### Energiforbrug

Energiforbruget ved gyllekøling går primært til drift af cirkulationspumper og varmepumpe (kompressor). Typisk er køleeffekten ca. 2,5 gange varmepumpens effektoptag, og varmeeffekten er ca. 3,5 gange effektoptaget. Dette afhænger dog af lokale forhold som slangelængder, tykkelser, antal ventiler, og ikke mindst tilbageløbstemperatur af kølevæsken.

El-forbruget til drift af varmepumpen fås ved at dividere den gennemsnitlige årlige gyllekøleeffekt med effektiviteten på varmepumpen. Denne beskrives også ved den såkaldte køleeffektfaktor ( $COP_{køl}$  = coefficient of performance), som beskriver forholdet mellem den mængde energi, der trækkes ud af systemet (dvs. gyllen) og den mængde energi dvs. el-optaget, der medgår til dette arbejde. Køleeffekt faktoren afhænger udover af varmepumpens opbygning af det arbejde, der skal udgøres af varmepumpen for at overføre energien fra systemets køleside til varmesiden. Dette arbejde afhænger af forskellen mellem temperaturerne på henholdsvis systemets køleside (gyllen) og varmeside (varmvandsbeholder, udelufttemperatur og lignende). Pedersen (1997) opgav køleeffekt faktoren på varmepumperne i tre slagtegrisestalde med gyllekøling til 2,4-2,5. Ved en senere

undersøgelse målte Pedersen (2005) en køleeffektfaktor på 2,0 ved gyllekøling i en drægtighedsstald. Holm et al., (2017) målte en køleeffektfaktor på 2,4 ved gyllekøling i en slagtegrisestald. Som grundlag for beregninger af energiforbrug er der anvendt en køleeffektfaktor på 2,5.

Det estimerede årlige energiforbrug til gyllekøling i grisestalde fremgår af Tabel 3 (per m<sup>2</sup> produktionsareal) og Tabel 4 (per produceret gris eller årssø).

Energiforbruget per år per m<sup>2</sup> produktionsareal er beregnet som:

$$E_A = K \cdot 8760 \cdot R / (2,5 \cdot 1000) \quad [4]$$

Hvor  $E_A$  er el-forbruget per år per m<sup>2</sup> produktionsareal (kWh/år per m<sup>2</sup>),  $K$  er køleeffekten (W/m<sup>2</sup> per m<sup>2</sup> gylleareal), 8760 er antal timer per år,  $R$  er forholdet mellem gylleareal og produktionsareal (dimensionsløs), 2,5 er køleeffekt faktoren (dimensionsløs) og 1000 er omregning fra W til kW. Værdier for  $R$ -faktoren fremgår af Tabel 3. For uddybning henvises til [Appendiks A](#).

Energiforbruget per produceret dyr eller årssø er beregnet som:

$$E_L = E_A \cdot A_P / P \quad [5]$$

Hvor  $E_L$  er el-forbruget per produceret dyr eller årssø (kWh/produceret dyr eller per årssø),  $A_P$  er produktionsarealet per stiplads og  $P$  er antal producerede dyr per stiplads per år ( $P = 1$  for søer).

De angivne intervaller i tabel 3 og 4 repræsenterer forventede minimums- og maksimumsværdier for energiforbrug og baserer sig på henholdsvis de mindste og de største forventede gyllearealer indenfor for hver staldtype.

**Tabel 3.** El-forbrug per m<sup>2</sup> produktionsareal ved gyllekøling afhængig af årlig gennemsnitlig køleeffekt, dyrekategori og staldtype (kWh/år per m<sup>2</sup> produktionsareal).

Staldtype	R-faktor	Årlig gennemsnitlig køling (W/m <sup>2</sup> )			
		Min. / Maks.	10	20	30
Løbe-/drægtighedsstalde, løsdrift, delvist fast gulv	0,37 / 0,56	13 - 20	26 - 39	39 - 59	52 - 78
Løbe - /drægtighedsstalde, individuel opstaldning, delvist fast gulv	0,57 / 0,78	20 - 27	40 - 55	60 - 82	80 - 109
Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	1,04 / 1,28	37 - 45	73 - 90	110 - 135	146 - 180
Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	0,46 / 0,62	16 - 22	32 - 43	48 - 65	64 - 86
Smågrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	1,0 / 1,14	35 - 40	70 - 80	105 - 120	140 - 160
Smågrisestalde, to-klimastier med delvist fast gulv	0,25 / 0,62	8,8 - 22	18 - 43	26 - 65	35 - 86
Slagtegrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	1,0 / 1,14	35 - 40	70 - 80	105 - 120	140 - 160
Slagtegrisestalde, 25 - 49% fast gulv	0,51 / 0,88	18 - 31	36 - 61	54 - 92	71 - 123
Slagtegrisestalde, 50 - 75% fast gulv	0,25 / 0,62	8,8 - 22	18 - 43	26 - 65	35 - 86

**Tabel 4.** El-forbrug ved gyllekøling afhængig af gennemsnitlig årlig køleeffekt, dyrekategori og staldtype (kWh/årso eller kWh/produceret gris).

Staldtype	Årlig gennemsnitlig køling (W/m <sup>2</sup> )			
	10	20	30	40
Løbe-/drægtighedsstalde, løsdrift, delvist fast gulv	23 - 34	45 - 69	68 - 103	91 - 137
Løbe - /drægtighedsstalde, individuel opstaldning, delvist fast gulv	25 - 34	50 - 68	75 - 102	100 - 136
Farestalde, kassestier med fuldspaltegulv	40 - 49	80 - 98	120 - 147	159 - 196
Farestalde, kassestier med delvist fast gulv	18 - 24	35 - 47	53 - 71	70 - 94
Smågrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	1,8 - 2,0	3,5 - 4,0	5,3 - 6,0	7,0 - 8,0
Smågrisestalde, to-klimastier med delvist fast gulv	0,44 - 1,1	0,88 - 2,2	1,3 - 3,2	1,8 - 4,3
Slagtegrisestalde, drænet gulv og spaltegulv	6,1 - 6,9	12 - 14	18 - 21	24 - 28
Slagtegrisestalde, 25 - 49% fast gulv	3,3 - 5,7	6,7 - 11	10 - 17	13 - 23
Slagtegrisestalde, 50 - 75% fast gulv	1,6 - 4,0	3,3 - 8,0	4,9 - 12	6,5 - 16

Da varmeeffekt faktoren for varmepumper typisk ligger på 3-4, det vil sige der genereres 3-4 gange så meget varme, som varmepumpen forbruger i strøm, kan gyllekøling producere store mængder varme. Andelen af varme, der kan udnyttes, afhænger stærkt af de lokale forhold. Varmen anvendes typisk til rumopvarmning i farestalde, smågrisestalde, servicerum og i stuehus/bad, til forvarmning af vand til vådfoder og til højtryksrensning. Overskydende varme fjernes ved hjælp af en luftkondensator med ventilator og som derfor er forbundet med et el-forbrug. Ovenstående beregnede energiforbrug tager ikke hensyn til dette.

## Virkning på lager og under udbringning af husdyrgødning

Gyllekøling medfører en reduktion i udledningen af ammoniak fra stald. Som følge af et højere kvælstofindhold i gyllen ab stald, vil ammoniakemissionen fra lager samt ved udbringning af gyllen øges marginalt. Netto vil der dog stadigvæk være et højere kvælstofindhold i gyllen efter udbringning. Det forøgede indhold af kvælstof i gylle fra stalde med gyllekøling består af ammonium-kvælstof, der forventes at have en gødningseffekt svarende til handelsgødning. Den forøgede mængde N i udbragt gylle fra stalde med gyllekøling forventes at substituere en tilsvarende mængde N i handelsgødning.

## Affald og spildevand

Teknologien giver ikke anledning til udledning af affald og spildevand. Der tilsættes glykol eller alkohol til vandet i køleslangerne for at frostsikre vandet, hvilket kræver tilladelse fra kommunen jf. Miljøbeskyttelseslovens (2019) §19.

## Miljøfremmede stoffer

Teknologien giver ikke anledning til udledning af miljøfremmede stoffer.

## Driftssikkerhed

Gyllekøling vurderes at være en robust teknik med en lang levetid og lille behov for løbende vedligeholdelse. Køleslangerne har en forventet levetid svarende til levetiden for staldanlægget, mens de mekaniske dele er sliddele, der kræver service og evt. udskiftning.

Arbejdet ved etablering af køleslanger vil ikke forrykke byggeprocessen mærkbart. Dette skyldes, at køleslangerne blot monteres oven på armeringsnettet i gyllekanalerne, inden kanalbunden støbes.

## Etablering i eksisterende stalde

Der er eksempler på, at gyllekøling er eftermonteret, idet køleslangerne er udlagt oven på kanalbunden. Hvorvidt gyllesystemets udslusningseffektivitet (restmængde) påvirkes, når der ligger køleslanger ovenpå kanalbunden, er uklart.

## Økologi

Gyllekøling kan teknisk set godt anvendes i økologiske grisestalde. Dokumentation for miljøeffektivitet er dog udelukkende baseret på forsøg i konventionelle grisestalde, og det er uvist, om miljøeffektiviteten kan overføres til økologiske grisestalde.

## Udbredelse

Der findes ingen aktivitetsdata, der kan benyttes som grundlag for at angive en udbredelse. Det vurderes dog, at teknologien er udbredt, især i sobesætninger med smågriseproduktion, hvor der er hel eller delvis afsætning for den producerede varme.

## Helhedsvurdering

Gyllekøling er en robust og relativt velafprøvet teknologi, der medfører en reduktion i ammoniakemissionen fra stalden afhængigt af dyrekategori, staldtype og køleeffekt. Dette medfører et højere kvælstofindhold i gyllen efter udbringning, hvilket reducerer behovet for N i handelsgødning svarende til den forøgede N-mængde i den udbragte gylle fra stalde med gyllekøling. Der er desuden dokumenteret en reduktion i lugtemissionen fra slagtegrisestalde med rørudslusning.

Ved gyllekøling produceres der energi i form af varme svarende til ca. 3,5 gange elforbruget. Varmen kan erstatte anden og dyrere varmekilde som fx olie- eller naturgasfyr. Samtidig reducerer gyllekøling under visse betingelser udledningen af CO<sub>2</sub>-ækvivalenter og bidrager derved til en lavere CO<sub>2</sub>-belastning fra griseproduktionen. Ud fra en klimasynsvinkel kan gyllekølingens effekt principielt øges, så længe ændringen i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter forbundet med reduktion i metanproduktion fra kølet gylle overstiger ændringen i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter forbundet med den deraf følgende elproduktions udledning af CO<sub>2</sub>-ækvivalenter.

## Økonomi

### Investering

Modellen for investeringsomkostningen tager udgangspunkt i et datasæt fra landbrugsstyrelsen tilvejebragt i forbindelse med standardomkostninger i 2016 (Berthou og Strange, 2019, se Callesen og Jacobsen, 2022a). Der indgår således bud fra firmaer på investering ved forskellige forudsætninger (standardstalde), men det baseres ikke på konkrete stalde (se også Callesen og Jacobsen, 2022b). Der er nogen variation i de anvendte beløb også, fordi nogle indeholder mulighed for at bortskaffe varmen. Det vurderes, at merinvesteringen ved at kunne bortskaffe varmen kan udgøre 10-15% investeringssummen. Ved investering i mekanisk udmugning (med linespil) vil der være en merinvestering til gyllehåndteringen i forhold til referencen (rørudslusning). De anvendte estimater er foretaget af Søren Jakobsen fra Danish Farmdesign og formidlet via SEGES (Callesen og Jacobsen, 2022b).

Regressionsmodellen for gyllekøling ser sådan ud:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \quad [6]$$

hvor  $b_1$  og  $b_2$  er modellens parameterestimater for gylleareal og pumpe, og  $x_1$  og  $x_2$  er de uafhængige variabler for køleeffekt i  $\text{kW/m}^2$  og gylleareal i kvadratmeter,  $b_0$  er skæringen med y-aksen (startomkostningen=100.000 kr.) og  $y$  er investeringsomkostningen i kr. Analysen viser, at den bedste modelsammenhæng fås ved  $b_1 = 1537$  kr. (køleeffekt) og  $b_2 = 140,7$   $\text{m}^2$  (gylleareal).

For alle kategorier gælder, at merinvesteringen pr. enhed falder med stigende bedriftstørrelse (Tabel 5).

**Tabel 5.** Merinvestering i gyllekøling i stalde med rørudslusning (kr. per stiplads)

Kategori	Slagtegrisestalde (450 – 12.000 stipl.)	Smågrisestalde (2.300 – 15.500 stipl.)	Sostalde (330 – 3.000 årssøer)
10 $\text{W/m}^2$	52 - 354	26 - 95	121 - 528
20 $\text{W/m}^2$	54 - 388	27 - 102	126 - 574
30 $\text{W/m}^2$	55 - 423	28 - 109	132 - 621
40 $\text{W/m}^2$	56 - 457	29 - 115	137 - 687

**Note:** For sostalder indgår både løbe-/drægtighedsstald og farestald. For søer er det opgjort per årssø.

For investeringer og beregninger af omkostninger indgår både analyser, hvor løbe-/drægtighedsstald og farestald indgår hver for sig, og hvor de indgår i kombination. Hvor de indgår i kombination i begge stalde, er investeringen grundet størrelsesøkonomi mindre end summen af investeringen i løbe-/drægtighedsstald og farestald hver for sig. Der er derfor i de følgende tabeller vedrørende økonomi angivet både, når analysen er partiel, og når de laves i kombination.

### Driftsomkostninger

De driftsøkonomiske omkostninger udgør udover forrentning og afskrivning af anlægget også af vedligeholdelse samt modregning af eventuelt sparede omkostninger til varmemeforbrug. Vedligeholdelsen beregnes i Tabel 6 på baggrund af niveau for køling, og det omfatter dels en startomkostning (b) og en variabel del (a). Det antages, at anlægget kører hele året, selvom det kan være usikkert, om det er tilfældet. I tilfælde af mekanisk udmugning er der en meromkostning til vedligehold af denne del.



**Tabel 6.** Parametre til beregning af årlige omkostninger til vedligeholdelse ved forskellige niveauer for køling.

Lineær model	10 W/m <sup>2</sup>	20 W/m <sup>2</sup>	30 W/m <sup>2</sup>	40 W/m <sup>2</sup>
a	0,4	0,8	1,3	1,9
b	2763	2712	2411	2383

Energibehovet er beregnet ud fra det angivne elforbrug (Tabel 3). Varmeeffekt faktoren for varmepumper ligger typisk på 3 - 4. På baggrund af driftssystembeskrivelserne kan man estimere varmebehovet i de enkelte staldd typer for derved at angive en realistisk besparelse på varme, der ellers ville være en omkostning. Derfor bestemmes et gennemsnitligt varmebehov på baggrund af intervallet angivet i de enkelte driftssystembeskrivelser. Analyserne omfatter typisk et niveau for nyttiggørelse af varmen, samt et tilfælde, hvor varmen ikke udnyttes (Tabel 7 og Tabel 8).

Det antages at varme kun kan anvendes inden for det enkelte driftssystem med undtagelse af so-stalde, hvor varme godt kan produceres i fx løbe-/drægtighedsstalden men anvendes i farestalden. (se mere herom i Callesen & Jacobsen, 2022b). I praksis er der en lav udnyttelse af varmen i løbe-/drægtighedsstalden og en højere udnyttelse i farestalden.

**Tabel 7.** Omkostninger per produceret gris (kr. per enhed)

Kategori	Slagtegrisestalde (450 - 12.000 stipl.)		Smågrisestalde (2.300 - 15.500 stipl.)	
	Rørudsl.	Mekanisk	Rørudsl.	Mekanisk
10 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	0 - 9	3 - 18	-1 - 0	-1 - 4
10 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	3 - 13	6 - 22	1 - 3	2 - 7
20 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	3 - 14	5 - 23	0 - 1	1 - 6
20 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	5 - 18	8 - 23	2 - 4	2 - 9
30 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	5 - 20	8 - 29	1 - 3	2 - 7
30 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	8 - 24	10 - 33	2 - 6	3 - 7
40 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	7 - 26	---	2 - 4	---
40 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	10 - 30	---	3 - 8	---

**Tabel 8.** Omkostninger per årssø for besætninger fra 330 til 3.000 årssøer (kr. per enhed)

Kategori	Sostalde		
	Rørudsl.	Mekanisk	Kombinationer
10 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	-5 - -57	-50 - 118	- 27 - 156
10 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	25 - 78	33 - 201	56 - 239
20 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	-41 - 30	-40 - 40	12 - 214
20 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	42 - 117	55 - 240	95 - 297
30 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	-23 - 73	-10 - 197	55 - 307
30 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	60 - 156	76 - 280	136 - 390
40 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	-6 - 186	---	96 - 296
40 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	77 - 272	---	179 - 379

Note: I denne opgørelse er løbe-/drægtighedsstald og farestald set hver for sig og ikke i kombination.

## Omkostningseffektivitet

Det gælder også for omkostningseffektiviteten, at de største bedrifter er forbundne med de laveste omkostninger ved køling opgjort i kr. per reduceret kg NH<sub>3</sub>-N-emission (Tabel 9 og tabel 10). Omkostningerne stiger med øget køling op til 40 W/m<sup>2</sup>, og omkostningerne per reduceret kg NH<sub>3</sub>-N er højere, når varmen ikke nyttiggøres. Hvorvidt mekanisk udmugning er mere omkostningseffektiv i forhold til rørudslusning, er ikke entydig. Mekanisk udmugning har højere omkostninger, men også en højere effekt på ammoniakemissionen. For sotalde angiver kolonnen kombinationer af rørudslusning og mekanisk udmugning i de to stalde set i sammenhæng (op til 8 kombinationer).

**Tabel 9.** Omkostningseffektivitet kr. per kg reduceret NH<sub>3</sub>-N

Kategori	Slagtegrisestalde (450 – 12.000 stipl.)		Smågrisestalde (2.300 – 15.500 stipl.)	
	Rørudsl.	Mekanisk	Rørudsl.	Mekanisk
10 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	16 - 289	90 - 360	43-300	159-1.161
10 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	156 - 429	155 - 441	423 - 613	379 - 1356
20 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	69 - 238	87 - 251	36 - 215	109 - 753
20 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	146 - 311	125 - 298	345 - 493	229 - 527
30 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	93 - 233	100 - 239	144 - 275	168 - 615
30 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	148 - 280	137 - 276	363 - 483	248 - 767
40 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	106-239	---	207 - 311	---
40 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	148-276	---	374 - 478	---

**Tabel 10.** Omkostningseffektivitet kr. per kg reduceret NH<sub>3</sub>-N for sobesætninger mellem 330 og 3.000 årssøer.

Kategori	Sotalde		
	Rør	Mekanisk	Kombination
10 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	-1054 - -45	-160 - 825	-119 - 434
10 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	191 - 953	103 - 1586	152 - 726
20 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	-372 - 140	-132 - 589	19 - 327
20 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	179 - 654	105 - 1037	137 - 499
30 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	-151 - 240	-45 - 546	65 - 348
30 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	176 - 593	119 - 923	166 - 469
40 W/m <sup>2</sup> med delvis varmeudnyttelse	-30 - 474	---	125 - 305
40 W/m <sup>2</sup> uden varmeudnyttelse	179 - 694	---	232 - 390

Note: For sotalde indgår i tabellen både, hvor teknologien (rør/mekanisk) kun implementeres i den ene sektion (løbe/drægtighed eller farestald), og hvor de implementeres i kombination (der er op til 8 kombinationer for hvert niveau af W/m<sup>2</sup>).

## Litteratur

- Callesen, G.M. og Jacobsen, B. (2022a). Forudsætninger for analyser af virkemidler til reduktion af ammoniakemissionen i landbruget. IFRO Udredning Nr. 2022/29.
- Callesen, G.M. og Jacobsen, B. (2022b). Omkostninger ved gyllekøling på svinebedrifter. IFRO Dokumentation Nr. 2022/13.
- IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management, 87 s.
- Kai, P. & A.P. Adamsen (2017). Fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning. Del 2: Emissionsfaktorer. Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet. Danmark. Technical report BCE –TR-12. 89 s.
- Kai, P. (2021). Driftssystem: Farestalde, kassesti med delvist fast gulv. 1. udgave. (under udarbejdelse).
- Holm, M., K.B. Sørensen & M.B.F. Nielsen (2017). Ammoniak- og lugtreduktion ved gyllekøling i slagtesvinestalde. Meddelelse nr. 1105, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning, 30 s.
- Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsen (2020) Bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug. BEK nr. 2256 af 29/12/2020. <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2020/2256>.
- MELT (2017). Gyllekølings reducerende effekt på ammoniak og lugtemission. <https://mst.dk/media/169085/indstilling-af-gyllekoeling-mediarkiv.pdf>
- Miljøbeskyttelsesloven (2019). Bekendtgørelse om lov om miljøbeskyttelse. LBK nr 1218 af 25/11/2019.
- Pedersen, P. (1997). Køling af gylle i slagtesvinestalde med fuldspaltegulv. Landsudvalget for svin, Meddelelse nr. 357, 6 s.
- Pedersen, P. (2005). Linespilsanlæg med køling i drægtighedsstalde. Meddelelse nr. 694, Landsudvalget for Svin og Videncenter for Svineproduktion.
- RAV (2019). Regeling ammoniak en veehouderij. D 3 diercategorie vleesvarkens, opfokberen van ca. 25 kg tot 7 maanden, opfokzeugen van ca. 25 kg tot eerste dekking. <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/stalsystemen/emissiefactoren-per/map-staltypepen/3-diercategorie-0/>

## Appendiks A

### Fastlæggelse af R-faktoren

R-faktoren, der er tabuleret i Tabel 3, udtrykker forholdet mellem gylleareal og produktionsareal og benyttes i ligningerne [4] og [5] til beregning af energiforbruget per m<sup>2</sup> produktionsareal og per produceret gris eller årssø. Grundlaget for R-faktoren underbygges i det følgende.

#### Slagtegrisestalde, stier med drænet gulv og spaltegulv:

Der er regnet med et produktionsareal på 0,65 m<sup>2</sup> per gris og 3,76 producerede slagtesvin per år per stiplads. Stien er indrettet med drænet gulv og spaltegulv, dvs. at der er som minimum er gylle i hele produktionsarealet.

Minimums-elforbruget beregnes under antagelse af, at gyllearealet svarer til produktionsarealet dvs.  $R=1$ .

Maksimum-elforbruget beregnes på grundlag af en sti, der er indrettet med en vådfoderkrybbe monteret oven på spaltegulvet og spaltegulv i inspektionsgangen. Derved øges gyllearealet per stiplads svarende til maksimalt ca. 14 % af produktionsarealet:

$$R = 0,65 \text{ m}^2/\text{stiplads} \cdot 100 \% \text{ spaltegulv eller drænet gulv} \cdot 1,14 / 0,65 \text{ m}^2/\text{stiplads} = \underline{1,14}.$$

#### Slagtegrisestalde, stier med 25-49% fast gulv:

Der er regnet med et produktionsareal på 0,70 m<sup>2</sup> per gris og 3,76 producerede slagtesvin per år per stiplads. Spaltegulvsarealet i stierne varierer mellem 51 og 75 % af stiaarealet. Der kan være fast gulv eller spaltegulv/drænet gulv i inspektionsgange og der kan være gylle under vådfoderkrybber. Dette påvirker det samlede gylleareal og dermed køleareal per stiplads og dermed energiforbruget per produceret slagtesvin.

Minimums-elforbruget er beregnet på grundlag af en sti med den mindste andel spaltegulv (51 %), og hvor der kun er gylle under spaltegulvsarealet i stien:

$$R = 0,70 \text{ m}^2/\text{stiplads} \cdot 51 \% \text{ spaltegulv} / 0,70 \text{ m}^2/\text{stiplads} = \underline{0,51}.$$

Maksimum-elforbrug er beregnet for en sti med den største andel spaltegulv (75 %). Der er gylle under vådfoderkrybbe og inspektionsgang. Gyllearealet uden for produktionsarealet skønnes at udgøre 0,09 m<sup>2</sup>/stiplads svarende til ca. 17 % større gylleareal end produktionsarealet fratrukket andelen af fast gulv i stien:

$$R: 0,70 \text{ m}^2/\text{stiplads} \cdot 75 \% \text{ spaltegulv} \cdot 1,17 / 0,70 \text{ m}^2/\text{stiplads} = \underline{0,88}.$$

#### Slagtegrisestalde, stier med 50-75% fast gulv:

Der er regnet med et produktionsareal på 0,70 m<sup>2</sup> per gris og 3,76 producerede slagtesvin per år per stiplads. Spaltegulvsarealet i stierne varierer mellem 25 og 50 % af stiaarealet. Der kan være fast gulv eller spaltegulv/drænet gulv i inspektionsgange.

Minimums-elforbruget er beregnet på grundlag af en sti med den mindste andel spaltegulv (25 %), og hvor der kun er gylle under spaltegulvsarealet i stien:

$$R: 0,70 \text{ m}^2/\text{stiplads} \cdot 25\% \text{ spaltegulv} / 0,70 \text{ m}^2/\text{stiplads} = \underline{0,25}.$$

Maksimum-elforbrug er beregnet for en sti den største andel spaltegulv i stien (50 %), og hvor der er gylle under en vådfoderkrybbe og under inspektionsgangen. Gyllearealet uden for produktionsarealet skønnes at udgøre 15 % af produktionsarealet:

$$R: 0,70 \text{ m}^2/\text{stiplads} \cdot 50\% \text{ spaltegulv} \cdot 1,23 / 0,70 \text{ m}^2/\text{stiplads} = \underline{0,62}.$$

#### Smågristalde, stier med drænet gulv og spaltegulv:

Der er regnet med et produktionsareal på 0,3 m<sup>2</sup> per smågris og 6,0 producerede smågrise per år per stiplads. Stien er indrettet med drænet gulv og spaltegulv, dvs. at der er som minimum er gylle i hele produktionsarealet.

Minimums-elforbruget beregnes under antagelse af, at gyllearealet svarer til produktionsarealet dvs. R=1,0.

Maksimum-elforbruget beregnes på grundlag af en sti, der er indrettet med en vådfoderkrybbe monteret oven på spaltegulvet samt spaltegulv i inspektionsgangen. Derved øges gyllearealet med ca. 14 %:

$$R = 0,30 \text{ m}^2/\text{stiplads} \cdot 100\% \text{ spaltegulv eller drænet gulv} \cdot 1,14 / 0,30 \text{ m}^2/\text{stiplads} = \underline{1,14}.$$

#### Smågristalde, to-klimastier med 50-75% fast gulv:

Der er regnet med et produktionsareal på 0,30 m<sup>2</sup> per gris og 6,0 producerede grise per år per stiplads. Spaltegulvsarealet i stierne varierer mellem 25 og 50 % af stiaarealet. Der kan være fast gulv eller spaltegulv/drænet gulv i inspektionsgange.

Minimums-elforbruget er beregnet på grundlag af en sti med den mindste andel spaltegulv (25 %), og hvor der kun er gylle under spaltegulvsarealet i stien:

$$R: 0,30 \text{ m}^2/\text{stiplads} \cdot 25\% \text{ spaltegulv} / 0,30 \text{ m}^2/\text{stiplads} = \underline{0,25}.$$

Maksimum-elforbrug beregnet for en sti den største andel spaltegulv i stien (50 %), og hvor der er gylle under en vådfoderkrybbe og under inspektionsgangen. Gyllearealet uden for produktionsarealet skønnes at øge gyllearealet med 15 %:

$$R: 0,30 \text{ m}^2/\text{stiplads} \cdot 50\% \text{ spaltegulv} \cdot 1,23 / 0,3 \text{ m}^2/\text{stiplads} = \underline{0,62}.$$

#### Løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv:

Standardproduktionsarealet i løbe-/drægtighedsstalde med løsgående søer er fastlagt til 1,75 m<sup>2</sup> per årso (Kai og Adamsen, 2017). Der er ikke sikker viden om, hvor stor en andel af stiaarealet, der er fast gulv. Holm og Sørensen (2019) fastlagde ammoniakemissionen fra drægtige søer i stalde, hvor

andelen af spaltegulv eller drænet gulv varierede mellem 37 % og 56 %. Disse værdier antages her- efter at repræsentere minimums- og maksimums-gyllearealer som grundlag for at beregne el-for- bruget, idet det er antaget, at der er fast gulv i inspektionsgange i drægtighedsstalde med løsdrift.

Minimums-elforbruget er beregnet på grundlag af en sti med det mindste gylleareal (37 % af sti- areal).

R: 37 % af 1,75 m<sup>2</sup>/stiplads = 0,37.

Maksimums-elforbruget er beregnet på grundlag af en sti med den største andel spaltegulv (56 %).

R: 56 % af 1,75 m<sup>2</sup>/stiplads = 0,56.

#### Løbe-/drægtighedsstalde, enkeltdyrsbokse med delvist fast gulv:

Der er taget udgangspunkt i, at en soboks måler 2,10 m i længden, og at der er 0,90 m fast gulv forrest i boksen. Spaltegulvet og dermed gyllearealet udgør  $((2,10 \text{ m} - 0,90 \text{ m})/210 \text{ m}) = 57 \%$ . Stan- dard-produktionsarealet per årssø er 1,25 m<sup>2</sup> jf. Kai og Adamsen (2017). Gyllearealet udgør derfor  $(57 \%$  af 1,25 m<sup>2</sup>) = 0,71 m<sup>2</sup> per årssø.

Minimums-elforbruget er beregnet på grundlag af en sti med den mindste andel spalte-/drænet gulv:

R:  $(0,71 \text{ m}^2 \text{ spaltegulv} / 1,25 \text{ m}^2 \text{ produktionsareal/årssø}) = \underline{0,57}$ .

Hvis der er spaltegulv i inspektionsgangen, skal gyllen i dette område ligeledes køles for, at ammo- niakemissionen reduceres. Ved en gangbredde på 80 cm mellem to rækker sobokse øges gyllearea- let med  $(0,80 \text{ m} / 2 \cdot 0,65 \text{ m} \text{ gennemsnitlig boksbredde}) = 0,26 \text{ m}^2$  per soboks. Det samlede gylle- areal beregnes til  $(0,71 \text{ m}^2 + 0,24 \text{ m}^2) = \underline{0,97 \text{ m}^2 \text{ per årssø}}$ .

Maksimums-elforbruget er beregnet på grundlag af en sti med den største andel spalte-/drænet gulv:

R:  $(0,97 \text{ m}^2 \text{ spaltegulv/stiplads} \cdot / 1,25 \text{ m}^2/\text{stiplads}) = \underline{0,78}$ .

I grundlaget for beregning af standardproduktionsarealet i løbe-/drægtighedsstalden indgår tillige polte og orner, som opstaldes i stier, der adskiller sig indretningsmæssigt fra individuelle sobokse. Ovenstående beregning tager ikke hensyn til dette, men antager, at samme spaltegulvsandel og dermed gylleareal er gældende for polte- og ornestierne.

#### Farestalde med fuldspaltegulv:

Der er regnet med en kassesti med nettomål 1,75 m · 2,675 m (bredde · længde) svarende til et nettoareal på 4,68 m<sup>2</sup> og dermed samme gylleareal, når der er tale om fuldspaltegulv. Standard- produktionsarealet per faresti er beregnet til 4,48 m<sup>2</sup> jf. Kai og Adamsen (2017), idet foderkrybben er fratrukket nettoarealet.

Minimums-elforbruget er beregnet på grundlag af følgende værdi for R:

R:  $(4,68 \text{ m}^2 \text{ spaltegulv/sti} / 4,48 \text{ m}^2 \text{ produktionsareal/sti}) = \underline{1,04}$ .

Hvis der er spaltegulv i inspektionsgangen, skal gyllen i dette område ligeledes køles for, at ammoniakemissionen reduceres. Ved en gangbredde på 80 cm mellem to rækker sidevendte farestier øges gyllearealet med  $(0,80 \text{ m} / 2 \cdot 2,675 \text{ m}) = 1,07 \text{ m}^2$  per faresti. Det samlede gylleareal beregnes til  $(4,68 \text{ m}^2 + 1,07 \text{ m}^2) = 5,75 \text{ m}^2$  per faresti:

Maksimums-elforbruget per årssø er beregnet på grundlag af følgende værdi for R:

$$R: (5,75 \text{ m}^2 \text{ gylleareal/faresti} \cdot / 4,48 \text{ m}^2 \text{ produktionsareal/faresti}) = \underline{1,28}.$$

#### Farestalde med delvist fast gulv:

Der er regnet med en kassesti med nettomål  $1,75 \text{ m} \cdot 2,675 \text{ m}$  (bredde  $\cdot$  længde) svarende til et nettoareal på  $4,68 \text{ m}^2$  per kassesti. Produktionsarealet er beregnet til  $4,48 \text{ m}^2$  per faresti (Kai og Adamsen, 2017). Der er regnet med en faresti med  $1,50 \text{ m}$  fast gulv og  $1,175 \text{ m}$  spaltegulv svarende til et gylleareal på  $2,06 \text{ m}^2$  per faresti.

Minimums-elforbruget er beregnet på grundlag af følgende værdi for R:

$$R: (2,06 \text{ m}^2 \text{ gylleareal/sti} / 4,48 \text{ m}^2 \text{ produktionsareal/sti}) = \underline{0,46}.$$

Ved spaltegulv i inspektionsgangen øges gyllearealet med  $0,70 \text{ m}^2$  per faresti, idet der er regnet med, at farestierne er tværstillede i forhold til inspektionsgangen. Det samlede gylleareal kan derfor estimeres til  $(2,06 \text{ m}^2 + 0,70 \text{ m}^2) = 2,76 \text{ m}^2$  per faresti.

Maksimums-elforbruget per årssø er beregnet på grundlag af følgende værdi for R:

$$R: (2,76 \text{ m}^2 \text{ gylleareal/faresti} \cdot / 4,48 \text{ m}^2 \text{ produktionsareal/faresti}) = \underline{0,62}.$$