

Luft-til-luft varmeveksler og interne luftcirkulationsventilatorer til slagtekyllingestalde

- Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav

Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Anders Peter S. Adamsen¹ og Brian H. Jacobsen²

¹Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet,

²Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



Datablad

Titel:	Luft-til-luft varmeveksler og interne luftcirkulationsventilatorer til slagtekyllingestalde - Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav
Forfattere:	Seniorforsker Anders Peter S. Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU Lektor Brian H. 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 / 14.12.2022
Faglig redaktion afsluttet:	14.11.2022
Journalnummer:	2022-0460370
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. Kommentarerne og AUs håndtering kan findes via dette LINK .
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 (Callesen og Jacobsen, 2022a og 2022b). I forbindelse med udarbejdelse af notatet har forfatterne haft kontakt til fagpersoner hos Rokkedahl Landbrug som har leveret produktionsdata (Poulsen, 2022) samt Rokkedahl Energi vedrørende tekniske spørgsmål omkring dimensionering og drift af varmevekslere i slagtekyllingestalde.
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 besvarelse:	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. og Jacobsen, BH. 2022. Luft-til-luft varmeveksler og interne luftcirkulationsventilatorer til slagtekyllingestalde - Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelses-bekendtgørelsens BAT-krav. 16 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 NH₃-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.

Luft-til-luft varmeveksler og interne luftcirkulationsventilatorer til slagtekyllingestalde

Resumé

Emission af ammoniak fra stald		Ammoniakemissionen reduceres med 28%.
Emission af lugt fra stald		Ingen dokumenteret effekt.
Emission af støv fra stald		Ingen dokumenteret effekt.
Emission af drivhusgasser fra stald		Der er ikke fundet dokumentation for, at teknologien påvirker emissionen af drivhusgasser fra stalden. Den indirekte emission af lattergas reduceres som følge af en lavere ammoniakemission.
Energiforbrug		Der er et lavere varmeforbrug men et mindre forøget elforbrug sammenlignet med referencesystemet.
Affald og spildevand		Teknologien er ikke forbundet med direkte produktion af affald og spildevand. Der produceres kondensvand i varmeveksleren, som bør behandles som flydende gødning.
Miljøfremmede stoffer		Teknologien er ikke forbundet med produktion af miljøfremmede stoffer.
Virkning på lager og mark		Der forventes en større kvælstofmængde i dybstrøelsen, der fjernes fra stalden. Dette øger potentielt ammoniakemissionen i lageret og under udbringning, men der vil stadig være en højere kvælstofmængde efter udbringning.
Driftssikkerhed		Teknologien vurderes at være driftssikker og stærkt udbredt i danske slagtekyllingestalde.
Investeringsomkostninger		Investeringen i en varmeveksler udgør ca. 600.000 kr. for en enhed der anvendes ved produktioner på ca. 2.000 m ² .
Driftsomkostninger		Samlet er gevinsten opgjort til mellem 138-300.000 kr. årligt for en enhed på 2.000 m ² . Det svarer til en gevinst på 100-180 kr. per 100 kyllinger.
Omkostningseffektivitet		Der opnås en gevinst på ca. 390-810 kr. per kg reduceret NH ₃ -N.
Referencesystem		Mekanisk ventilerede slagtekyllingestalde uden teknologien.

Definitioner

- Anlæg: stald og tilhørende inventar med evt. udearealer
- Belægningsgrad: Den samlede levende vægt per m² friareal for de kyllinger, der er til stede samtidig i et hus.
- Driftssystem: Beskrivelse af en produktionsform omfattende identifikation af dyrekategori, opstaldningsforhold, inklusive stald- og stuedformning og drift.
- Flok: En gruppe af dyr, som er anbragt i et hus og er til stede i dette hus samtidig.
- Forrum: rum, hvorigennem, der opnås adgang til staldrum.
- Friareal: Areal med strøelse, som kyllingerne har permanent adgang til. Friareal er det samme som produktionsareal for så vidt angår slagtekyllingestalde.
- Gulvareal: Indvendigt areal, hvor inventar m.m. er placeret.
- Holddrift/sektioneret drift: Driftsform, hvor dyrene opstaldes efter alder i hver sin staldsektion. Ved holddrift er det muligt at foretage effektiv rengøring og desinfektion mellem holdene. Den fysiske adskillelse mellem hold reducerer smittespredning af såvel gødningsbåren som luftbåren smitte.
- Hus: se stald.
- 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 (Bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug, BEK nr 2225 af 27/11/2021).
- Servicerum: Rum indeholdende nødvendige tekniske installationer til stalden, herunder foderblandeanlæg, indendørsfodersiloer, varmeanlæg, omklædnings- og baderum.
- Slagtekyllinger: Kyllinger, som holdes med henblik på kødproduktion.
- Stald: Bygning med vægge og tag som yder nødvendig beskyttelse for dyrene.
- Staldanlæg/husdyranlæg: Stalde og tilhørende servicefaciliteter samt lagerfaciliteter af husdyrgødning.
- Staldsektion/staldafsnit/staldrum: En enhed i et fast placeret husdyranlæg, der er adskilt fra andre dele af anlægget, så emissioner, herunder ammoniak- og lugtemission, ikke umiddelbart kan spredes til andre dele af anlægget.
- Ventilation, ligetryks-: Ventilationsprincip med ventilatorer til både indblæsning og udsugning af luft. Navnet til trods vil man normalt altid tilstræbe at opretholde et svagt undertryk i stalden for at undgå fugtindtrængning i tagkonstruktion mv.
- Ventilation, undertryks-: Ventilationsprincip, hvor ventilatorer suger luft ud af stalden, og hvor frisk udeluft som følge af det skabte undertryk suges ind i stalden via friskluftåbninger (ventiler/armaturer) i vægge eller loft.
- VERA. Verification of environmental technologies for agricultural production. Samarbejde mellem Danmark, Nederlandene og Flandern om verification af miljøteknologier i landbruget.

Beskrivelse

Med varmeveksler og interne luftfordelingsventilatorer forstås luft-til-luft varmeveksling, der i drift anvendes til varmegenindvinding og ammoniakreduktion ved at sikre en bedre luftfordeling i slagtekyllingestalde og opsamling af ammoniak i kondensvand. Herefter benævnes varmeveksler med interne luftfordelingsventilatorer som varmevekslersystemet.

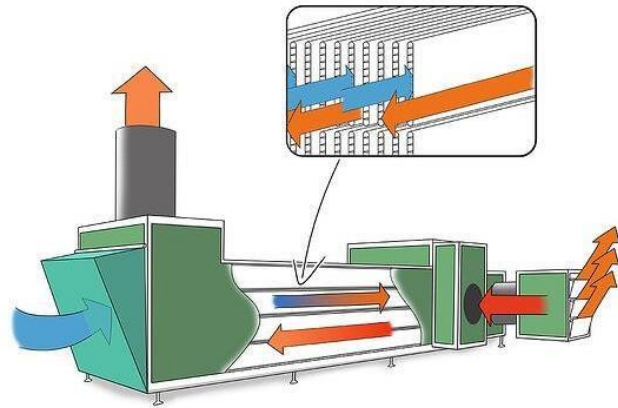
Der er kun et varmevekslersystem med dokumenteret ammoniakreducerende effekt (Miljøstyrelsens teknologiliste (se Figur 1) og det er baseret på varmeveksleren Agro Clima+ 200 fra Rokkedahl Energi. Det er dette varmevekslersystem, der beskrives i det følgende. Beskrivelsen af funktionaliteten vil dog også kunne dække andre varmevekslersystemer, der følger samme funktionsprincip, men vil ikke kunne anvendes i en miljøgodkendelse i forhold til ammoniak.

Agro Clima+ 200 varmeveksleren er testet med en opbygning, hvor den forvarmede luft føres til tagkip ved hjælp af et ventilationsrør påmonteret et T-stykke i toppen af kippen med udblæsningspunkter neden under kip (Figur 2).

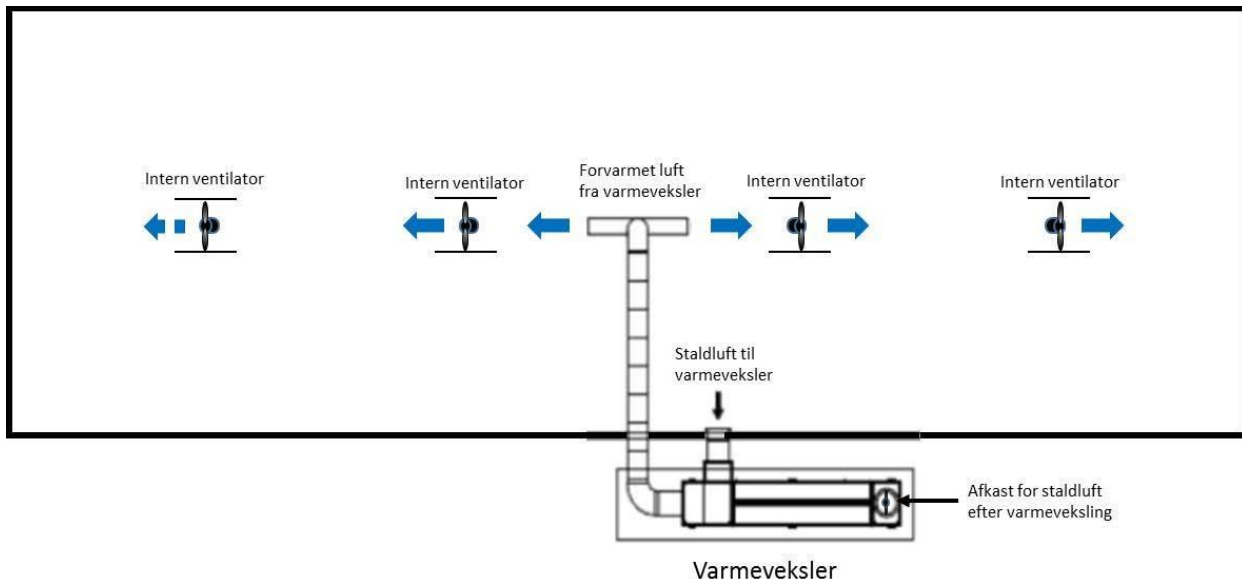
Luft-til-luft varmevekslere fungerer i kyllingestalde ved, at varm, fugtig afkastluft fra stalden ledes gennem varmeveksleren, hvor varmeenergien i afkastluften veksles med kold indgående luft. Ved afkøling af den varme luft vil der, afhængig af lufttemperatur og -fugtindhold, ske fortætning af vand, hvorved varmeveksleranlægget producerer kondensvand, der indeholder ammoniak og støv fra stalden. Kondensvandet samt vaskevand fra rengøring af varmeveksler bør behandles som flydende gødning.

Installation af interne cirkulationsventilatorer i kyllingestalden sikrer en bedre fordeling af den tilførte varme i stalddrummet og har som sidegevinst, at ammoniakemissionen reduceres, formodentligt som følge af en udtørring af gødningsmåttens overflade.

Varmeveksleren består af et kabinet indeholdende selve varmeveksleren og ventilator(er), som monteres uden for stalden. Varmeveksleren forbindes til stalden via ventilationsrør til luftudsugning og luftindblæsning. Luftindblæsningen blæser luften fra varmeveksleren op under kippen i stalden i en opadrettet vinkel svarende til taghældningen. Under tagkippen monteres et gardin, som bremser luften, mens ophængte, interne luftfordelingsventilatorer leder luften i staldens længderetning.



Figur 1. Billede af varmeveksler af typen Agro Clima+ fra Vencomatic og Rokkedahl Energi. Til venstre ses selve varmeveksleren indblæsnings- og udsugningsrør. Til højre ses en skitse, hvor man kan se selve varmevekslermodulet. (Foto: Rokkedahl Energi).



Figur 2. Skitse af kyllingestald med eksempel på en varmeveksler-løsning, hvor den forvarmede luft fra varmeveksler føres til tagkip via ventilationsrør og fordeles med interne cirkulationsventilatorer.

Management

Der skal indtastes eller tjekkes set-værdier i varmevekslerens styresystem ved ind sættelse af et nyt hold.

Derudover skal varmeveksleren tilses, rengøres efter behov, og der skal udføres nødvendig vedligeholdelse.

Arbejds miljø

Varmeveksleren skal rengøres efter leverandørens anvisninger. Såfremt der anvendes støvfiltre, sikkerhedsbriller og høreværn, så vil arbejdsmiljøet være tilsvarende rengøring med højtryksrensere og lignende.

Ammoniakemission

Fjerkræ producerer ikke urin som pattedyr, hvor kvælstof udskilles som urea (urinstof, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$). Fjerkræ producerer kun fæces og udskiller omsat kvælstof som urinsyre, som nedbrydes til ammoniak via en række nedbrydningstrin (Groot Koerkamp, 1994):

Urinsyre → allantoin → allantoinisyre → urea → ammoniak + kuldioxid

Fæces fra æglæggere har et tørstofindhold på 200-250 g/kg, et kvælstofindhold på 13-17 g/kg, hvoraf urinsyre udgør 60-75% og ufordøjet protein og rest-N 25-34% (Groot Koerkamp, 1994).

I frisk fæces fra slagtekyllinger findes der også en mindre andel af xantin (Mowrer et al., 2014), som omsættes til urinsyre. Nedbrydning af urinsyre er eksponentielt stigende med temperatur, lineær stigende med pH fra en pH-værdi på 5,5 og op til 100 % ved en pH-værdi på 8,5-9,0. Nedbrydningen af urinsyre er desuden stærkt afhængig af vandaktivitet med ca. 20 % omsætning ved en vandaktivitet på 0,6 stigende til maksimal omsætning ved 0,65-0,70 (Groot Koerkamp, 1994). Vandaktiviteten er et udtryk for tilgængeligheden af vand for mikroorganismene og anses for et bedre udtryk end vandindhold (Groot Koerkamp, 1994). I de første 5-7 dage sker der en stigning i indholdet af urinsyre i gødningsmåtten, hvorefter urinsyreindholdet falder hurtigt til et lavere niveau end udgangspunktet ved dag 10, hvorefter der sker et langsommere fald i urinsyreindholdet (Mowrer et al., 2014). Det indikerer, at der både sker samtidig dannelse af urinsyre og nedbrydning af urinsyre i en gødningsmåtte.

Slagtekyllinger vokser i starten efter en tilnærmet eksponentiel kurve, så 15% af det samlede foderindtag og produktion af fæces sker i den første tredjedel af en produktionscyklus, ca. 50% efter to tredjedele af en produktionscyklus og 50% i den sidste tredjedel indtil slagtning. Gødningsproduktionen beregnes ud fra fordøjelighed af tørstof i foderet på 71%, og at der er 25% tørstof i gødningsmåtten (van der Heide et al., 2021), hvilket giver en gødningsmåtte på 10-12 cm efter halvdelen af produktionscyklen og ca. 20 cm ved slagtning med en anslået massefylde på 500 kg/m^3 . Da nedbrydning af urinsyre i gødningen afhænger af pH, fugtigheden og temperatur, som nævnt ovenfor, er det vanskeligt at forudsige effekten af mindre afsætning af gødning, hvis der for eksempel er mindre belægning eller langsommere voksende dyr.

En VERA-test har påvist en ammoniakreduktion på 28% ved målinger over et år i to slagtekyllingestalde med en varmeveksler model Agro Clima+ 200 fra Rokkedahl Energi i forhold til tilsvarende stalde uden varmeveksler (Hansen, 2016). Varmevekslerne havde en kapacitet på $22.300 \text{ m}^3/\text{time}$ svarende til henholdsvis 12 og $15 \text{ m}^3/\text{time}$ per m^2 nettostaldareal for de to slagtekyllingestalde i testen. I slagtekyllingestaldene var der desuden installeret 6 interne luftfordelingsventilatorer med en samlet kapacitet på henholdsvis 28 og $47 \text{ m}^3/\text{time}$ per m^2 nettostaldareal.

Effekten af varmevekslere på ammoniakemissionen er optaget til 30% på Miljøstyrelsens teknologiliste, idet det skal pointeres, at kun Agro Clima+ 200 fra Rokkedahl Energi er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste og således eneste varmeveksler, der er godkendt med en ammoniakreducerende effekt i Danmark. Der bør regnes med en minimumsventilations-kapacitet af varmeveksleren

på 12 m³/time per m² nettostaldareal samt interne luftcirkulationsventilatorer med en luftydelse på minimum 28 m³/time per m² nettostaldareal. I det følgende anvendes effekten 30%.

Reduktionen i ammoniakemission tilskrives bedre luftfordeling og dermed formentlig mere tør overflade på gødningsmåtten. Opsætning af interne ventilatorer til udtørring af strøelses- og gødningslaget i slagtekyllingestalde er opført i den hollandske RAV-listen som E.6 som en teknologi med emission 0,037 kg NH₃/stiplads per år i forhold til deres referencestald, "andre stalde E.100", der står til en emission på 0,068 kg NH₃/stiplads per år. Ventilatorer skal opstilles, så de hver kan belufte et gulvareal på 150 m² med en kapacitet på 1,8 m³/time per kylling fra dag 1 stigende til 18 m³/time per kylling (BWL, 2005.10.V6).

Stalde med varmeveksler og ventilatorer til at fordele luften i stalde er opført som E.5.11 på RAV-listen med en emission sat til 0,021 kg NH₃/stiplads per år (Ellen et al., 2007, baseret på rapport af Hensel et al., 2010). De interne ventilatorer skal være ophængt 1,5 m fra kip og højst med 20 m afstand. De skal kunne ventilere mindst 20 m³/time per m² gulvoverflade (BWL, 2010.13.V7).

Da effekten på ammoniak hovedsageligt tilskrives en ændret luftfordeling i stalden på grund af de interne ventilatorer, er det afgørende at disse er i brug i hele produktionsperioden, også når der ikke er brug for varmeveksling.

Ved anvendelse af varmeveksler reduceres ammoniakemissionen fra stalden med 28% for både hurtig voksende og langsommere voksende slagtekyllinger som beregnet i driftssystembeskrivelsen "Slagtekyllinger: gulvdrift" (Kai, 2022a), men der kan forventes et marginalt højere tab fra gødningslageret pga. højere N-indhold i gødningen. Begrundelsen for at fastsætte samme reduktion for ammoniak er, 1) at der både ved hurtig og langsommere voksende kyllinger afsættes forholdsvis lidt gødning i begyndelsen, 2) at der ved langsommere voksende kyllinger vil være en bedre udtørring af gødningslaget, da det er tyndere, og 3) at varmevekslersystemet vil være i drift i længere tid, indtil kyllingernes varmeproduktion er tilstrækkelig til at opvarme stalden, hvilket vil reducere nedbrydning af urinsyre til ammoniak. Testen, der ligger til grund for optagelsen på teknologilisten, er foretaget på slagtekyllinger med en produktionstid på 34-35 dage og en vægt ved slagtning på ca. 2,0 kg (Hansen, 2016).

Lugtemission

Der er ikke fundet nogen signifikant effekt på lugtemissionen i en test af ACU Clima+ 200 varmeveksleren fra Rokkedahl Energi (Hansen, 2016).

Drivhusgasemissioner

Udledning af CO₂ i forbindelse med produktion af el og varme tillægges energisektoren og medregnes derfor ikke under landbrug.

En reduktion på 28% af udledning af ammoniak vil betyde en mindre indirekte udledning af lattergas. Hvorvidt en bedre udtørring af gødningslaget ændrer på udledning af lattergas og metan vides ikke.

Ressourceforbrug

Arbejdstidsforbrug

Rokkedahl Landbrug (Poulsen, 2022) oplyser at de regner med 1,5 time til rengøring af varmeveksler efter hvert hold.

Elforbrug

Der vil være ekstra elforbrug til drift af varmeveksler og interne ventilatorer i stalden på grund af højere modtryk i varmeveksleren og rørføring end ved brug af tagventilatorer, men der foreligger ikke data herfor.

I en nederlandsk undersøgelse blev der for 3 kyllingefarme opgivet et forbrug på henholdsvis 2,8 og 2,2 kWh per m² for stalde med og uden varmeveksler. Produktionscyklus var på 35 dage. Dette elforbrug omfattede også el til lys og computere (Bokkers et al., 2010). Hvis staldene er ens, så kan det ekstra elforbrug tilskrives varmeveksleren, som så har et merforbrug på 0,6 kWh per m² eller ca. 0,03 kWh per kylling ved 22 kyllinger per m².

Varmeforbrug

Energi til opvarmning af stalde uden varmevekslere varierer efter årstid og staldtype, men er ca. 2,2 kWh per kylling (baseret på rentabilitetsmålinger for enkelte bedrifter fra Trioiva (citeret i Jakobsen, 2012). Johansen (2012) beregnede et varmeforbrug på en gasopvarmet kyllingestald på 2,1 kWh per produceret kylling ved en gennemsnitlig udetemperatur på 9 °C. Beregninger i Staldvent (Driftssystem, Slagtekyllinger: gulvdrift) viser et varmeforbrug fra 1,95 til 2,74 kWh per kylling for hurtigvoksende kyllinger.

Varmevekslere med en kapacitet på ca. 14 m³ luft/time per m² nettostaldareal skulle medføre ca. 80% reduktion i energi til opvarmning ifølge en effektmåling på to ens stald med og uden varmevekslere (Johansen, 2012). Testen blev startet den 2. januar 2012. Kyllinger blev indsat den 3. januar, og testen sluttede ved slagting af kyllingerne den 13. februar. Gennemsnitlig udetemperaturen var i perioden 9 °C. Det fremgår ikke af testen, om varme til udtørring og opvarmning af staldene før indsættelse af kyllinger er medregnet.

I en nederlandsk undersøgelse på 13 kyllingefarme fandt Bokkers et al. (2010) en væsentlig lavere effekt, faktisk kun 38% reduktion i varmeforbruget. Kapaciteten på varmevekslerne var 0,35 m³/time per kylling, hvilket er noget lavere end under danske forhold (ca. 0,7 m³/time per kylling). Den gennemsnitlige udetemperatur i Nederlandene er 11 °C mod 9 °C i Danmark. Den første uge af en produktionscyklus, hvor varmeveksleren dækkede det totale ventilationsbehov, fandt de en effekt på 25%, og ugen efter på 65% af gasforbruget til opvarmning.

Da varmeveksleren i den nederlandske undersøgelse havde lavere kapacitet end den godkendte varmeveksler på den danske teknologiliste, og den gennemsnitlige udetemperatur er lidt højere i Nederlandene end i Danmark, men omvendt så ser det ud til, at varme til udtørring og opvarmning af staldene mangler i den danske test, så skønnes der en effekt på 60% ved anvendelse af varmevekslere under danske forhold.

Virkning på lager og under udbringning af husdyrgødning

Mindre ammoniakemissions i stalden vil alt andet lige give mere kvælstof i gødningen i lageret, som potentielt vil kunne give øget emission fra lager og udbringning.

Miljøfremmede stoffer

Teknologien medfører ikke produktion af miljøfremmede stoffer.

Driftssikkerhed

Varmevekslere anses for driftssikre ved korrekt vedligeholdelse (Bokkers et al., 2010).

Etablering i eksisterende stalde

Kan forholdsvis nemt etableres i eksisterende stalde, da varmeveksleren er indbygget i en ekstern enhed, se figur 1 og 2. Der skal etableres fælles styring af varmeveksleren og det øvrige ventilations-system.

Økologi

Varmevekslersystemet er ikke undersøgt i stalde med økologiske slagtekyllinger jf. driftssystembeskrivelsen "Slagtekyllinger (økologiske): Gulvdrift" (Kai, 2022b). Økologiske kyllinger har en længere produktionstid og skal derud over have adgang til udendørsareal i minimum en tredjedel af deres liv og senest, når de er fuldfjedrede (Vejledning om økologisk jordbrugsproduktion, 2022). Selvom "længden af udgangshullerne fra fjerkræhusets ydre grænse, dvs. fra stalden og ud til hønsegården, skal være mindst fire meter per 100 m² af fjerkræhusets mindste indendørs nytteareal" (Vejledning om økologisk jordbrugsproduktion, 2022), så vurderes det at stalde med begrænsede åbninger ikke i større omfang vil ændre på indeklimaet eller ventilationen. Dertil kommer, at kyllingerne i den økologiske produktion (alt efter vejr og årstid) er 4-5 uger gamle, før der åbnes for adgang til veranda- og udearealer. Indtil da fungerer stalden som en lukket stald. Belægningsgraden er lavere og der afsættes mindre gødning per arealenhed. Varmeveksleren og de interne ventilatorer skal fungere i hele perioden ligesom for de konventionelle stalde.

Der foreslås derfor samme ammoniakreducerende effekt som for ikke-økologiske kyllinger.

Udbredelse af teknikken

Det er vurderet baseret på forskellige metoder, at udbredelsen i danske slagtekyllingestalde er ca. 90% (Mikkelsen & Albrektsen, 2020).

Økonomi

Etableringsomkostninger

Investeringen i en varmeveksler udgør ifølge Rokkedahl Energi ca. 600.000 kr. for en enhed, der anvendes i stalde med et produktionsareal på ca. 2.000 m² (Clima+ 200 27.000 m³/h.) (se [Appendiks A](#)). Prisen er inkl. montage og elinstallation. I prisen er der ikke indregnet platform og evt. VVS-opgaver i forbindelse med tilkobling af vand. Priserne er baseret på standardprojekt og standardplacering.

Det vurderes, at der ikke er størrelsesøkonomiske fordele, selvom der måske kan forekomme lidt mængderabat ved køb af flere enheder. Det antages at varmeveksleren holder 15 år og renten er 2%.

Driftsomkostninger

De samlede driftsomkostninger omfatter forrentning og afskrivning af varmeveksler samt vedligeholdelse. Dertil kommer arbejdsforbrug ved rengøring samt elforbrug. Over for dette er der reducerede varmeomkostninger og lavere køb af gødning, da det antages, at den lavere ammoniakemission omsættes i lavere indkøb af kvælstof.

Det vurderes, at varmeforbruget i gennemsnit kan reduceres med 60%. For en stald på 2000 m² produktionsareal med 39.000 kyllinger per flok opnås en besparelse på varmeregningen på 350.000 kr. per år. Dette er baseret på, at varmeforbruget reduceres fra 2,27 til 0,9 kWh per produceret kylling.

Det vurderes i dag, at vedligehold er ca. 15.000 kr. over 15 år svarende til 1.000 kr. per år, men kan ifølge Rokkedahl Energi (Anja Møller, personlig meddelelse) variere betydeligt mellem besætninger afhængigt af de lokale forhold. Det skønnes, at rengøring af varmeveksler udgør 1,5 time per hold (Anja Møller, personlig meddelelse).

De årlige omkostninger koblet til varmeveksleren er omkring 46.000 kr., men der opnås en betydelig besparelse i varmeudgiften på 190.000-350.000 kr., hvorfor der samlet set er en økonomisk gevinst ved at investere i en varmeveksler. Samlet er gevinsten opgjort til mellem 138.000-300.000 kr. årligt for en stald på 2.000 m² produktionsareal for de tre forskellige produktionstyper. Det svarer til en gevinst på 100-180 kr. per 100 producerede kyllinger.

Omkostningseffektivitet

Der opnås som anført en ammoniakreduktion på 28%, hvilket gør, at besparelsen i alt udgør 390-810 kr. per kg reduceret NH₃-N. Lavest for den økologiske produktion og højest for den hurtig voksende vækstkategori.

Litteratur

- Bokkers, E. A. M., van Zanten, H. H. E., & van den Brand, H. (2010). Field study on effects of a heat exchanger on broiler performance, energy use, and calculated carbon dioxide emission at commercial broiler farms, and the experiences of farmers using a heat exchanger. *Poultry Science*, 89(12), 2743-2750. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00902>
- BWL 2005.10.V6. Stal met mixluchtventilatie. (Groot-)ouderdieren van vleeskuikens in opfok (E 3.3) en vleeskuikens (E 5.6).
- BWL 2010.13.V7 Stal met luchtmengsysteem voor droging strooisellaag in combinatie met een warmtewisselaar. Vleeskuikens (E 5.11), (groot-) ouderdieren van vleeskuikens in opfok (E 3.8), ouderdieren van vleeskalkoenen in opfok tot 6 weken (F 1.7) en 6 tot 30 weken (F 2.7) en vleeskalkoenen (F 4.9).
- Hansen, M.N. (2013). Rokkedahl Energi. Ammonia emission from broiler production - Effects of the Agro Clima Unit Heat Exchange System. Dan-ETV test report. http://www.etv-danmark.dk/filer/landbrug/Rokkedahl_Test_report.pdf
- Hansen, M.N (2016). Odour and ammonia emission from broiler houses with and without a heat exchange system. Test report. Agrotech. 33 s. + bilag.
- Hensel, A., van den Bulk, W. C. M., Blom, M. J. & Bleeker, A. (2010). Emissiometingen stalsystemen med Agro Clima Unit. Report ECN-N-10-087 from the ECN Energy Research Centre of the Netherland. 26 sider + bilag.
- Jacobsen, B.H. (2022). Økonomisk analyse af teknologier til reduktion af ammoniakemission i fjerkræstalde. Notat. IFRO. KU
- Jakobsen, S.V. (2012). Måling af energibesparelse ved brug af EARNY varmeveksler fra Big Dutchman. Seas-nve Energi, 2 s.
- Johansen, K.H. (2011). Effektmåling ved brug af varmeveksler i slagtekyllingeproduktion. Energi Nord A/S. Notat, 2 s.
- Kai, P. (2022a). Slagtekyllinger: Gulvdrift - Driftssystembeskrivelse udarbejdet som grundlag af revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, 22 s.
- Kai, P. (2022b). Slagtekyllinger (økologiske): Gulvdrift - Driftssystembeskrivelse udarbejdet som grundlag af revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, 16 s.
- Koerkamp, P. W. G. G. (1994). Review on Emissions of Ammonia from Housing Systems for Laying Hens in Relation to Sources, Processes, Building Design and Manure Handling. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59(2), 73-87. <https://doi.org/DOI 10.1006/jaer.1994.1065>
- Mikkelsen, M. H., & Albrechtsen, R. (2020). Forbedring af datagrundlaget for opgørelse af ammoniakemissionen fra landbruget: Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 26 s., jan. 29, 2020.
- Mowrer, J., Cabrera, M., Rasmussen, T., & Cassity-Duffey, K. (2014). Nitrogen in Stored Poultry Litter: Uric Acid and Xanthine. *Journal of Environmental Quality*, 43(6), 2137-2145. <https://doi.org/10.2134/jeq2014.05.0240>

Poulsen, J. R. (2022). Mail af 21. juni 2022 med produktionsdata for slagtekyllinger og økologiske kyllinger fra Rokkedahl.

Van der Heide, M., Børsting, C.F., Hellwing, A.L.F. og Jensen, H.B. (2021). Kapitel 4 Næringsstofudskillelse fra fjerkræ, ab dyr – Normtal for husdyrgødning 2021/2022. 18 sider. <https://anis.au.dk/forskning/sektioner/husdyernaering-ogfysiologi/normtal/>

Vejledning om økologisk jordbrugsproduktion (2022). Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Landbrugsstyrelsen, januar 2022, 373 s.

Appendiks A

Omkostninger ved varmeveksler ved produktion af hhv. hurtigt voksende, langsommere voksende samt økologiske slagtekyllinger.

Produktion	Hurtig voksende	Langsommere voksende	Økologisk produktion
Produktionsareal (m ²)	2000	2000	2000
Producerede slagtekyllinger per år	308.446	284.179	75.168
Ammoniakemission (reference) (kg NH ₃ -N/år per m ²)	0,66	0,78	0,63
Reduktion i ammoniakemission (%)	28	28	28
Emission ved anvendelse af teknologi (kg NH ₃ -N/år per m ²)	0,48	0,56	0,45
BAT-emissionskrav (kg NH ₃ -N/m ²)	0,57	0,57	0,63
Reduktion i ammoniak emission (kg NH ₃ -N/år per m ²)	0,18	0,22	0,18
Ammoniakreduktion ved anvendelse af teknologi (kg NH ₃ -N per 100 producerede kyllinger)	0,12	0,15	0,47
Reduktion i varmeforbrug (%)	60	60	60
Økonomi			
Investering i varmeveksler, DKK	598.000	598.000	598.000
Årlige omkostninger:			
Reduceret gødningsudgift	-2.813	-3.324	-2.685
Reduceret varmeudgift	-350.366	-329.911	-186.566
Omkostning el	6.325	5.807	4.164
Rengøring varmeveksler	2.600	2.069	1.543
Omkostning vedligeholdelse	1.000	1.000	1.000
Afskrivning og forrentning	46.524	46.524	46.524
Omkostning ved varmeveksler i alt (kr./år)	-299.329	-279.904	-137.562
Omkostning per 100 producerede kyllinger	-97	-98	-183
Omkostningseffektivitet (kr./kg NH ₃ -N)	-810	-641	-390

Kilde: Jacobsen (2022).