

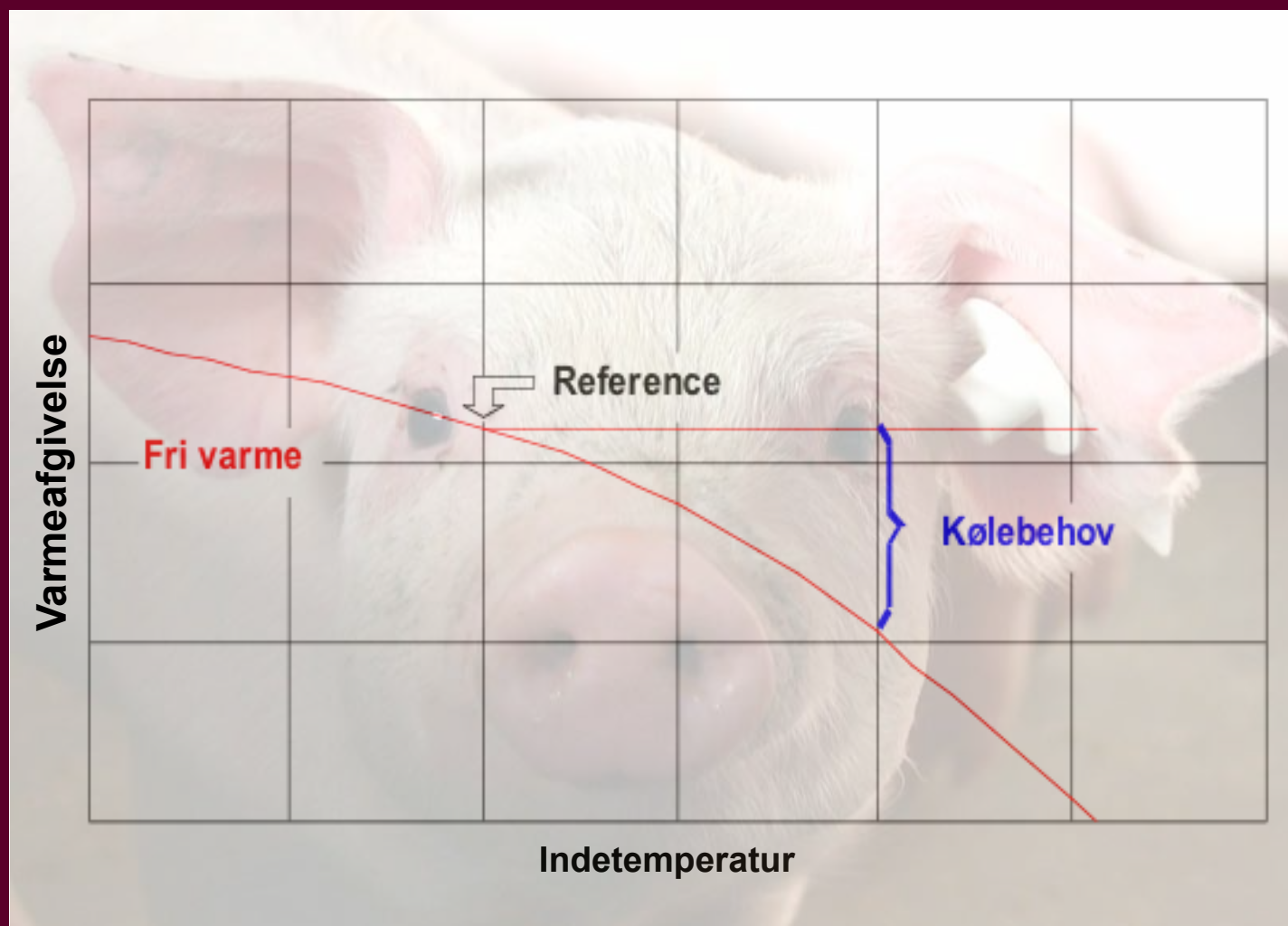
MODULÆRT GULVELEMENT TIL KØLING OG OPVARMNING I SMÅGRISE- OG SLAGTESVINESTALDE

DELRAPPORT 4. STRATEGI FOR STYRING AF FREMLØBSTEMPERATUR TIL KØLET GULVELEMENT I SLAGTESVINESTALD

INTERN RAPPORT · HUSDYRBRUG NR. 24 · JUNI 2010
JAN S. STRØM, GUO-QIANG ZHANG OG PETER KAI



DET JORDBRUGSVIDENSKABELIGE FAKULTET
AARHUS UNIVERSITET



MODULÆRT GULVELEMENT TIL KØLING OG OPVARMNING I SMÅGRISE- OG SLAGTESVINESTALDE

DELRAPPORT 4. STRATEGI FOR STYRING AF FREMLØBSTEMPERATUR
TIL KØLET GULVELEMENT I SLAGTESVINESTALD

Jan S. Strøm

Guo-Qiang Zhang

Peter Kai

Aarhus Universitet

Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet

Institut for Biosystemteknologi

Blichers Allé 20

Postboks 50

8830 Tjele

Interne rapporter indeholder hovedsagelig forskningsresultater og forsøgsopgørelser som primært henvender sig til DJF medarbejdere og samarbejdspartnere. Rapporterne kan ligeledes fungere som bilag til temamøder. Rapporterne kan også beskrive interne forhold og retningslinier for DJF.

Publikationer fra Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet kan downloades på www.agrsci.au.dk

Tryk: www.digisource.dk

Baggrund

Formålet med projektet ”Modulært gulvelement til køling og opvarmning i smågrise- og slagtesvinestalde” var at udvikle et modulopbygget gulvelement, der forbedrer husdyrvelfærd og -produktion i eksisterende og nyopførte smågrise- og slagtesvinestalde. Gulvelementet skulle kunne tilsluttes et opvarmnings- og kølesystem, og styres ud fra dyrenes behov for adgang til henholdsvis en kold eller en varm liggeflade.

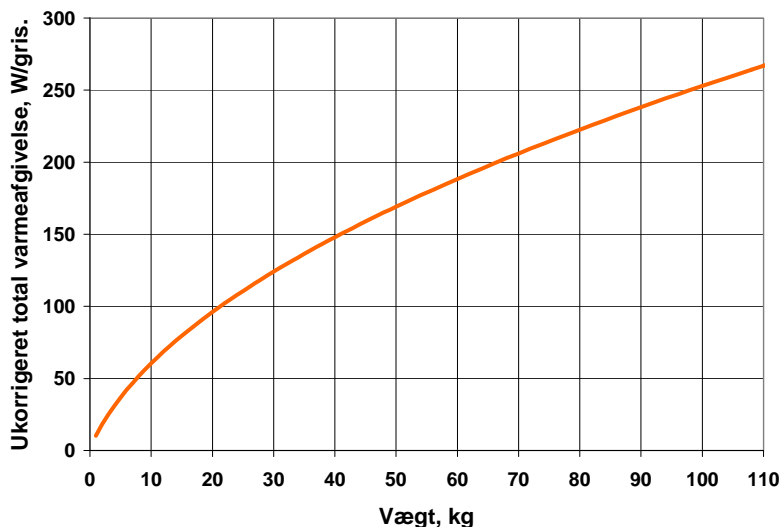
I denne rapport er beskrevet en strategi for styring af fremløbstemperaturen til gulvelementet som funktion af indetemperatur og svinenes vægt med fokus på køling. Den grundlæggende hypotese er, at den fri varmemængde, som dyrene ikke kan komme af med ved høje indetemperaturer (over 20 °C – 25 °C), skal fjernes ved at cirkulere kølet vand gennem de gulvelementer som grisene ligger på. Det kræver viden om, hvor stor overskudsvarme som skal fjernes ved forskellige indetemperaturer, og hvilken fremløbstemperatur som skal til for at fjerne denne overskudsvarme. Forsøgsresultater fra et forsøg med slagtesvin ultimo 2008 i en forsøgsstald på Forskningscenter Foulum omfattende den optagne effekt fra gulvelementerne ved forskellige inde- og fremløbstemperaturer er indarbejdet i styringsstrategien.

Projektet blev gennemført i samarbejde mellem firmaet SPIRAFLEX A/S, der var koordinator på projektet, og Institut for Jordbrugsteknik (siden 1. januar 2010 Institut for Biosystemteknologi). Projektet er støttet økonomisk af Direktoratet for FødevareErhverv, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

Husdyrs varmeafgivelse

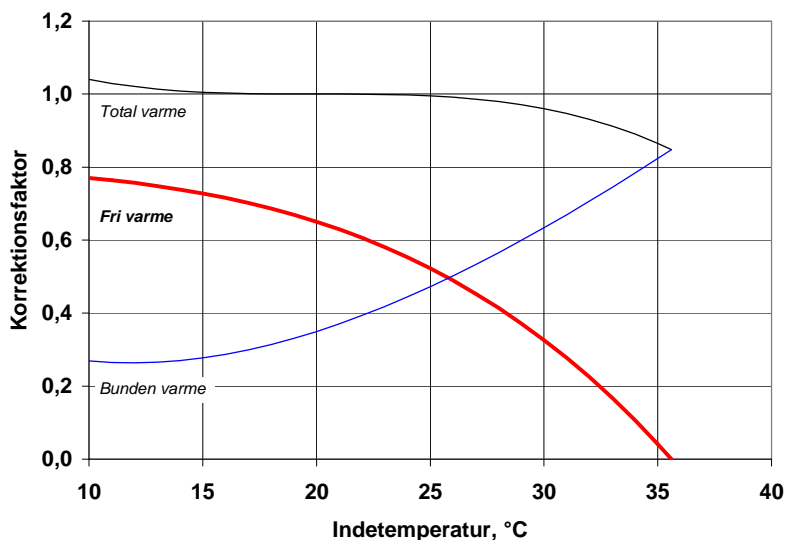
Kun en del af den energi, som husdyr optager fra foderet, omsættes til en salgbar produktion, der for svin er kød. Resten af den optagne energi omsættes til varme, som afgives til omgivelserne. Varmen afgives dels som fri varme og dels som bunden varme. Den fri varme påvirker omgivelsernes temperatur. Den bundne varme anvendes til fordampning af vand og afgives i form af vanddamp, som påvirker omgivelsernes fugtighed. Summen af den fri og den bundne varme defineres som den totale varmeafgivelse. Det matematiske grundlag for beregning af svinenes kølebehov og de deraf udformede figurer er baseret på Strøm (1978).

Den totale varmeafgivelse for smågrise og slagtesvin er angivet i figur 1 som funktion af grisenes vægt ved en indetemperatur på 20 °C. Det ses, at varmeafgivelsen stiger med dyrenes vægt, dog stærkest for de små grise.



Figur 1. Total varmeafgivelse ved en indetemperatur på 20 °C for smågris og slagtesvin

Størrelsen af den totale varmeafgivelse og fordelingen på fri og bunden varme varierer med indetemperaturen som vist i figur 2. Det ses, at den totale varmeafgivelse stiger lidt ved fallende indetemperatur under 15 °C og aftager noget ved indetemperaturer over 25 °C. Virkningen på den fri varmeafgivelse er anderledes kraftig, idet den falder stærkt over en indetemperatur på 20 °C medens den bundne varmeafgivelse stiger tilsvarende. I figuren er den fri varme fremhævet, idet det er denne som kan påvirkes med gulvelementerne og som følgelig har primær betydning for valg af styringsstrategi for fremløbstemperatur.

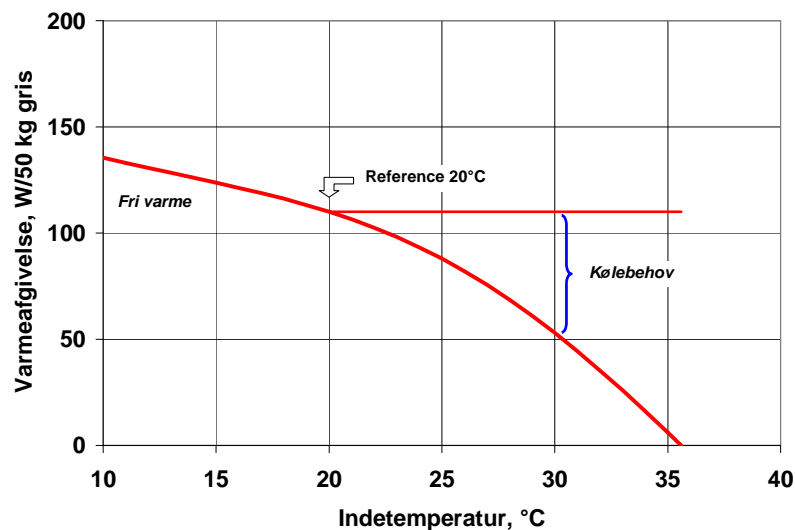


Figur 2. Korrektion af total, fri og bunden varmeafgivelse fra husdyr ved varierende indetemperatur

Kølebehov

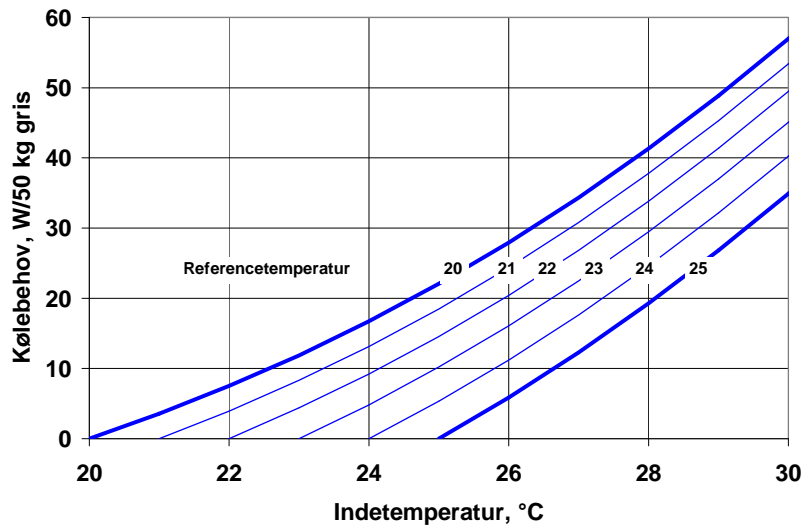
En speciel egenskab hos grise er, at de ikke kan svede. Ved stigende indetemperatur vil mulighederne for at slippe af med overskudsvarmen blive belastende, og dyrene kan begynde at rulle sig i gødning for at opnå en kunstig fordampning af vand fra huden med nedsat hygiejne til følge, og de kan gå fra foderet med nedsat tilvækst til følge.

Den grundlæggende hypotese ved at udstyre stalden med kølede gulvelementer er, at den varmemængde, som dyrene ikke kan komme af med ved høje indetemperaturer, skal fjernes ved at cirkulere kølet vand gennem det gulv som grisene ligger på, figur 3. Vi vil benytte betegnelsen referencetemperatur for den oplevede indetemperatur, som prøves opnået ved at fjerne overskudsvarme. I figuren er vist variation af den fri varmeafgivelse for en 50 kg gris, og kølebehøvet for at opretholde en referencetemperatur på 20 °C. Dette danner grundlag for at bestemme den fremløbstemperatur, som er nødvendig for holde den fri varmeafgivelse på et niveau svarende til den valgte referencetemperatur.



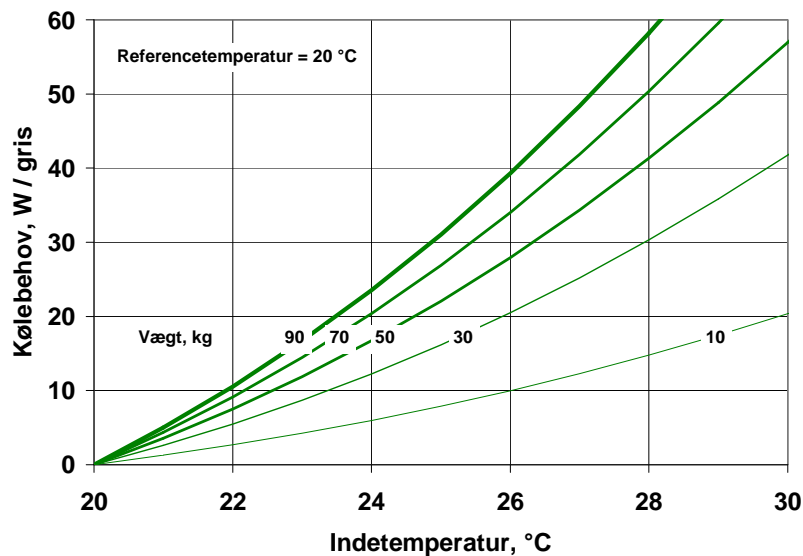
Figur 3. Kølebehov for at holde den fri varmeafgivelse på et niveau svarende til en valgt referencetemperatur, her 20 °C

I figur 4 er vist, hvorledes kølebehøvet varierer for en 50 kg gris ved forskellige indetemperaturer for at holde dens fri varmeafgivelse på et niveau svarende til en valgt referencetemperatur i området 20 °C til 25 °C. Det ses, at et gulvelement med en kølekapacitet på 30 W vil kunne opretholde den fri varmeafgivelse svarende til en referencetemperatur på 20 °C op til en indetemperatur 26,4 °C og en referencetemperatur på 25 °C op til en indetemperatur på 29,4 °C.



Figur 4. Kølebehov ved forskellige indetemperaturer for at holde den fri varmeafgivelse på et niveau svarende til en valgt referencetemperatur i området 20 °C til 25 °C

Tilsvarende kurver kan fastlægges for grise med anden vægt end 50 kg. I figur 5 er vist, hvorledes kølebehovet pr. gris varierer med indetemperaturer for forskellige vægtklasser.



Figur 5. Kølebehov ved forskellige indetemperaturer for at holde den fri varmeafgivelse på et niveau svarende til en referencetemperatur på 20 °C for grise af forskellig vægt

Det ses, at gulvelementet med en kølekapacitet på 30 W for en 30 kg gris vil kunne opretholde den fri varmeafgivelse svarende til referencetemperaturen 20 °C op til en indetemperatur på 28 °C, medens kølekapaciteten kun vil være tilstrækkelig op til en indetemperatur på 23,5 °C for en 90 kg gris.

I det følgende opstilles det formelgrundlag, som gør det muligt at beregne svinenes kølebehov ved forskellig indetemperatur og vægt som funktion af valgt referencetemperatur. Formelgrundlaget kan anvendes som planlægningsværktøj for forsøg eller danne grundlag for real-time regulering af fremløbstemperaturen.

Ukorrigeret total varmeafgivelse er

$$y = 29 * (x + 2)^{0,5} - 40 \quad \text{Ligning 1}$$

hvor y = ukorrigeret total varmeafgivelse ved 20 °C (W/gris)
 x = grisenes levende vægt (kg)

Korrektionsfaktor for virkning af indetemperatur på ukorrigeret total varmeafgivelse er

$$ft = 4 * 10^{-5} * (-ti + 20)^3 + 1 \quad \text{Ligning 2}$$

hvor ft = korrektionsfaktor for indetemperatur (-)
 ti = indetemperatur (°C)

Fri varmeandel af den korrigerede totale varmeafgivelse er

$$F = -1,85 * 10^{-7} * (ti + 10)^4 + 0,8 \quad \text{Ligning 3}$$

hvor F = fri varmeandel (-)

Den fri varmeafgivelse pr. sti bliver følgelig:

$$Q = n * y * ft * F \quad \text{Ligning 4}$$

hvor Q = fri varmeafgivelse pr sti (W)
 n = antal grise pr sti (stk)

Kølebehovet bliver forskellen mellem den fri varmeafgivelse ved referencetemperaturen og fri varmeafgivelse ved aktuel indetemperatur, dvs.

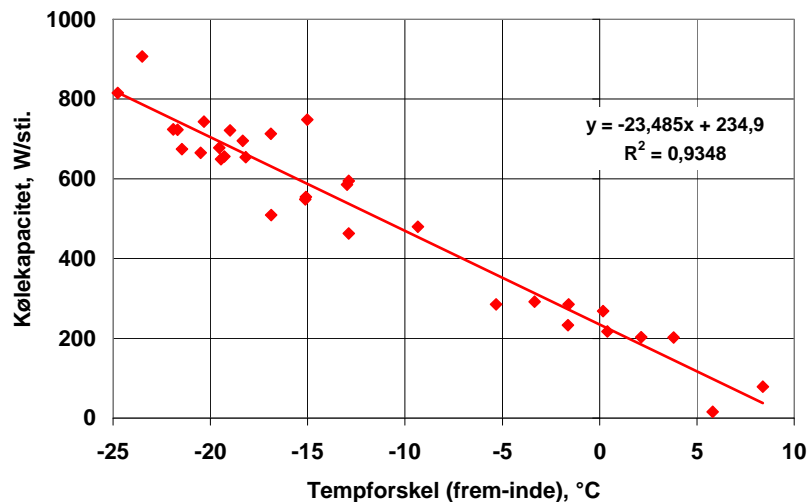
$$Q_{køl} = Q_{ref} - Q_{inde} \quad \text{Ligning 5}$$

hvor $Q_{køl}$ = kølebehov (W/sti)
 Q_{ref} = fri varmeafgivelse ved referencetemperatur (W/sti)
 Q_{inde} = fri varmeafgivelse ved aktuel indetemperatur (W/sti)

Kølekapacitet for gulvelement

I perioden november 2008 til januar 2009 blev gennemført et forsøg med grise i 2 stier med fuldspaltegulve, der delvis var dækket med kølede gulvelementer. Kølekapaciteten for gulvelementerne blev målt ved forskellige setpunkter for indetemperatur og fremløbstemperaturer til gulvelementerne. På trods af, at forsøgsperioderne var af meget forskellig varighed og at grisene i hele forsøgsperioden voksede fra knap 40 kg til ca. 90 kg, kunne varmekapaciteten

med meget god nøjagtighed forklares som en funktion af forskel mellem indetemperatur og fremløbetemperatur, som vist i figur 6. Forsøgene er nærmere beskrevet af Strøm et al. (2009).



Figur 6. Sammenhæng mellem kølekapacitet og forskel mellem inde- og fremløbs-temperatur

Regressionsformelen for gulvelementernes kølekapacitet gør det muligt at beregne nødvendig fremløbstemperatur som funktion af målt indetemperatur og grisenes antal og vægt. Den ønskede fremløbstemperatur fastlægges, så svinenes kølebehov lige netop bliver lig med gulvelementernes kølekapacitet.

Af figur 6 fremgår, at kølekapaciteten pr sti kan beskrives som

$$Q_{gulv} = -23,485 * (t_f - t_i) + 234,9 \quad \text{Ligning 6}$$

hvor Q_{gulv} = kølekapacitet pr sti (W/sti)
 t_f = fremløbstemperatur (°C)

Løses denne ligning for fremløbstemperatur fås:

$$f = t_i - 0,0426 * Q_{gulv} + 10,00 \quad \text{Ligning 7}$$

For at opnå den køling af grisene som ønskes, skal grisenes kølebehov svare til den kølekapacitet som gulvelementet har, dvs.:

$$Q_{køl} = Q_{gulv} \quad \text{Ligning 8}$$

der indsat i foregående ligning giver følgende udtryk for den fremløbstemperatur, der er behov for:

$$t_f = t_i - 0,0426 * Q_{køl} + 10,00 \quad \text{Ligning 9}$$

Eksempel

Strategien for fremløbstemperaturen i en forsøgsstald ønskes fastlagt. Der skal indsættes 12 grise pr. sti ved 30 kg og leveres ved 90 kg. Tilvæksten sættes til 0,86 kg / dag, så de leveres ved 90 kg 11 uger efter indsættelse. Dyrenes varmeafgivelse skal svare til et forløb hvor ind-sættelsestemperaturen (dvs. referencetemperaturen) holdes i 2 uger, hvorefter den trappes ned med 1 °C pr uge indtil 18 °C, der fastholdes indtil levering. Staldtemperaturen holdes i hele forsøgsforløbet på 28 °C.

Fastlæggelse af fremløbstemperaturen er vist i tabel 1. Når vægten er fastlagt uge for uge kan den totale varmeafgivelse ved 20 °C beregnes ved hjælp af ligning 1. Med referencetemperaturene indtastet kan temperaturkorrektion og fri varmeandel bestemmes vha. ligning 2 og 3. Fri varmeafgivelse pr. sti ved referencetemperaturen bestemmes vha. ligning 4. Når indetemperatur er indtastet kan dyrenes fri varmeafgivelse ved aktuel indetemperatur ligeledes bestemmes. Kølebehovet bliver forskellen mellem de to varmemængder.

Fremløbstemperaturen bestemmes herefter ved hjælp af ligning 6.

Tabel 1. Eksempel på fastlæggelse af strategi for fremløbstemperatur til gulvelementer i forsøgsstald

Tid uger	Vægt kg	Total varme W/gris	Grise pr sti antal	Ref temp °C	Temp korr	Fri andel	Ref fri varme W/sti	Inde temp °C	Temp korr	Fri andel	Inde fri varme W/sti	Køle-behov W/sti	Frem-løb °C
	x	y	n	tref	ftref	Fref	Qref	Ti	ft	F	Qinde	Qkøl	tf
1	30,0	124	12	22	1,00	0,61	902	28	0,98	0,41	604	298	25
2	36,0	139	12	22	1,00	0,61	1009	28	0,98	0,41	676	333	24
3	42,0	152	12	21	1,00	0,63	1151	28	0,98	0,41	742	409	21
4	48,1	165	12	20	1,00	0,65	1289	28	0,98	0,41	804	484	17
5	54,1	177	12	19	1,00	0,67	1423	28	0,98	0,41	863	560	14
6	60,1	189	12	18	1,00	0,69	1553	28	0,98	0,41	918	635	11
7	66,1	199	12	18	1,00	0,69	1642	28	0,98	0,41	971	672	9
8	72,1	210	12	18	1,00	0,69	1728	28	0,98	0,41	1021	706	8
9	78,2	220	12	18	1,00	0,69	1809	28	0,98	0,41	1069	740	6
10	84,2	229	12	18	1,00	0,69	1888	28	0,98	0,41	1116	772	5
11	90,2	238	12	18	1,00	0,69	1964	28	0,98	0,41	1161	803	4

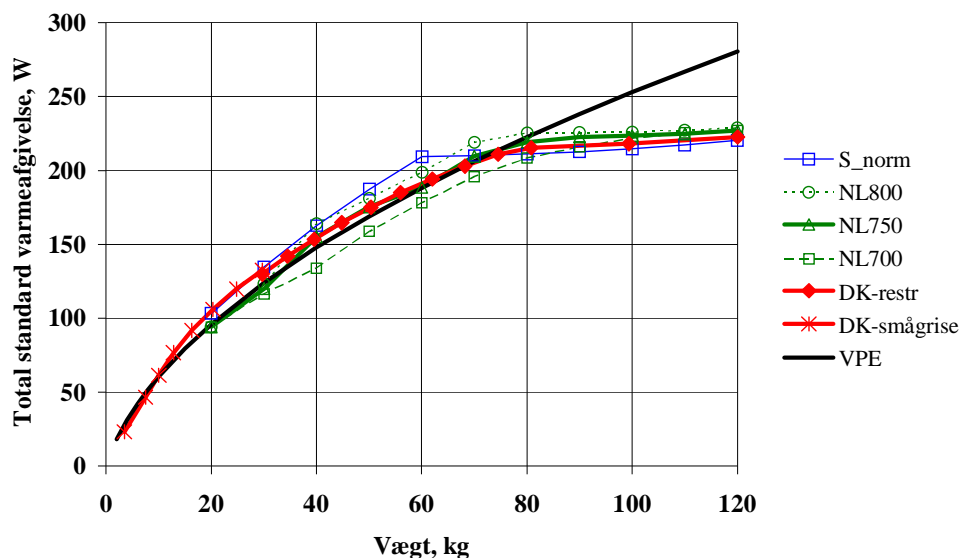
I eksemplet er der forudsat en konstant, høj indetemperatur. Der er dog intet principielt til hinder for at fremløbstemperaturen beregnes af en klimacomputer baseret på en kontinuerlig måling af indetemperaturen. Antal grise pr. sti, indsætningsvægt og daglig tilvækst samt ønsket referencetemperatur indkodes ud fra erfaring, hvorefter styringen løbende kan tilpasse fremløbstemperaturen til de aktuelle forhold.

Diskussion

Fremgangsmåden til bestemmelse af strategi for fremløbstemperatur er behæftet med en række usikkerheder, hvoraf en del er afdækket i løbet af projektforsøget. Det drejer sig blandt andet om valg af model for dyrenes varmeafgivelse, det begrænsede datagrundlag som fore-

ligger for valg af referencetemperatur samt manglende viden om, hvor lave fremløbs-temperaturer er velfærdsmæssigt acceptabelt.

Det har været hævdet, at forbedret foderoptagelse og større tilvækst burde inddrages ved beregning af svins varmeafgivelse (Anonymous, 1984). Af figur 7 fremgår det imidlertid at der er stor overensstemmelse mellem forskellige angivelser og forskellige landes normværdier, i det mindste op til en vægt på 80 kg (Morsing et al., 2005). Over denne vægt flader de fleste angivelser ud, formodentligt fordi man går over til restriktiv fodring. De danske VPE angivelser forudsætter imidlertid ad libitum fodring i hele vækstperioden. Til fastlæggelse af styringsstrategi for fremløbstemperatur til gulvelementerne er derfor anvendt den gamle teori, der er noget enklere og i alt væsentligt giver samme resultat i relevante vægtinterval.



Figur 7. Total varmeafgivelse ved 20 °C indetemperatur som funktion af vægt i henhold til diverse kilder

Der er flest undersøgelser af svins varmeafgivelse for indetemperaturer i området 10 °C til 30 °C. Ved indetemperaturer over 30 °C er der kun få data, og der er stor spredning. Indtil der bliver bedre datadækning i dette område bør styringsstrategien for gulvelementerne begrænses til indetemperaturer kun op til 30 °C.

De værdier for varmeafgivelse, som ligger til grund for styringsstrategien, er indsamlet for dyr som er akklimatiserede til forsøgsbetingelserne i en periode på 2 uger inden målingerne er påbegyndt. Værdierne er gennemsnit for et døgn. Varmeafgivelsen varierer imidlertid over døgnet med højere værdier i aktivitetsperioden end i hvileperioder. Dette er der ikke taget højde for i styringsstrategien, idet det vil forudsætte, at man løbende registrerer dyrenes aktivitetsniveau og har en model, som gør det muligt at omsætte aktivitetsniveauet til korrigeret varmeafgivelse.

Der er i denne rapport ikke taget stilling til, hvilken referencetemperatur der er optimal for svins velbefindende og produktion, hvilket kan have væsentlig betydning for anvendelsesområdet for den foreslåede styringsstrategi. De normale setpunkter for indetemperaturer ligger typisk på 22 °C ved indsætning af 30 kg grise, faldende til 18 °C eftersom de bliver større. Disse værdier er anvendt i ovenstående eksempel (tabel 1).

I 2008 forsøget med kølede gulvelementer tydede videooptagelser af grisenes adfærd ikke på, at fremløbstemperaturer ned til 10 °C havde en negativ indflydelse på grisenes adfærd. Hvor lave gulvtemperaturer, som er acceptable, er der ikke fundet meget viden om. I eksemplet ses, at fremløbstemperaturer under 10 °C er nødvendige for svin over ca. 65 kg, hvilket kun kan bekræftes eller afkræftes med nye forsøg.

Af mangel på bedre er der i ovenstående analyse regnet med de gulvelementer, som blev anvendt i 2008 forsøget. Efterhånden forventes gulvelementerne at blive ændret og forhåbentligt forbedret, hvilket vil påvirke kurven for effektoptagelse i figur 6.

Konklusion

Der er beskrevet en strategi for styring af fremløbstemperaturerne til et gulvelement som funktion af indetemperatur og svinenes vægt med fokus på køling. Den grundlæggende hypotese er, at den fri varmemængde, som dyrene ikke kan komme af med ved høje indetemperaturer, skal fjernes ved at cirkulere kølet vand gennem de gulvelementer, som grisene ligger på. Betegnelsen referencetemperatur er indført som betegnelse for den oplevede indetemperatur, som prøves opnået ved at fjerne overskudsvarme.

Det teoretiske grundlag for svins varmeafgivelse er beskrevet og tilpasset forudsætningerne for et laboratorieforsøg. Forsøgsresultater fra et forsøg med slagtesvin på et prototypelement i forsøgsstalden i Foulum omfattende den optagne effekt fra gulvelementerne ved forskellige inde- og fremløbstemperaturer, er indarbejdet i styringsstrategien.

De beskrevne algoritmer kunne principielt indarbejdes i en klimacomputer, der løbende kunne tilpasse fremløbstemperaturen baseret på en kontinuerlig måling af den aktuelle indetemperatur. Antal grise pr. sti, indsætningsvægt og daglig tilvækst samt ønsket referencetemperatur kunne inddateres manuelt ud fra erfaring, hvorefter styringen løbende tilpasser fremløbstemperaturen til de aktuelle forhold. Der er ikke taget stilling til, hvilken referencetemperatur der er optimal for svins velbefindende og produktion, herunder gødeadfærd, hvilket kan have væsentlig betydning for anvendelsesområdet for den foreslåede styringsstrategi.

De værdier for varmeafgivelse, som ligger til grund for styringsstrategien, er indsamlet for dyr som er akklimatiserede, og værdierne er gennemsnit for et døgn. En forbedret styringsstrategi kunne opnås ved at registrere dyrenes aktivitetsniveau og indarbejde en model for aktivitetsniveauets indflydelse på varmeafgivelsen.

Litteratur

- Anonymous, 1984. Climatization of Animal Houses. CIGR report of working group. Scottish Farm Building Investigation Unit. Craibstone, Aberdeen, Scotland.
- Morsing, S., Pedersen, S., Strøm, J.S. & Jacobsen, L., 2005. Energy Consumption and Air Quality in Growing/Finishing Pig Houses for Three Climate Regions Using CIGR 2002 Heat Production Equations. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript BC 05 007. Vol. VII. September, 2005
- Strøm, J. S., 1978. Varmeafgivelse fra kvæg, svin og fjerkræ som grundlag for varmetekniske beregninger. SBI-landbrugsbyggeri 55. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm.
- Strøm, J. S., Kai, P., & Kristensen, J. K., 2010. Termisk karakterisering af kølet gulvelement i slagtesvinestald. Århus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Institut for Biosystemteknologi, Engineering Centre Bygholm

Læs om forskningen, uddannelserne og andre aktiviteter på Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet på www.agrsci.au.dk, hvorfra du også kan downloade fakultetets publikationer og abonnere på det ugentlige nyhedsbrev