

MODULÆRT GULVELEMENT TIL KØLING OG OPVARMNING I SMÅGRISE- OG SLAGTESVINESTALDE

DELRAPPORT 3. TERMISK KARAKTERISERING AF KØLET GULVELEMENT I SLAGTESVINESTALD

INTERN RAPPORT · HUSDYRBRUG NR. 25 · AUGUST 2010
JAN S. STRØM, PETER KAI OG JENS KRISTIAN KRISTENSEN



DET JORDBRUGSVIDENSKABELIGE FAKULTET
AARHUS UNIVERSITET



MODULÆRT GULVELEMENT TIL KØLING OG OPVARMNING I SMÅGRISE- OG SLAGTESVINESTALDE

DELRAPPORT 3. TERMISK KARAKTERISERING AF KØLET GULVELEMENT I SLAGTESVINESTALD

Jan S. Strøm

Peter Kai

Jens Kristian Kristensen

Aarhus Universitet

Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet

Institut for Biosystemteknologi

Blichers Allé 20

Postboks 50

8830 Tjele

Hilbert Larsen

Spiraflex A/S

Galten

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 beskrives opbygningen af en forsøgssektion i en forsøgsstald på Forskningscenter Foulum omfattende to slagtesvinestier med kølede gulvelementer. Gulvelementerne blev tilsluttet et køleanlæg og der blev gennemført forsøg med forskellige lufttemperaturer og gultemperaturer. Resultater for de termiske forhold præsenteres for et hold slagtesvin ultimo 2008, herunder optagen effekt i gulvelementerne som funktion af forskel mellem fremløbs-temperatur for kølevandet og lufttemperatur i forsøgssektionen.

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). Tekniske laboratorieforsøg med simuleret gris blev gennemført med forskellige gulvelementer i Luftfysisk Laboratorium, Bygholm, og med svin i et til opgaven etableret klimalaboratorium i en ledig forsøgsstald i Foulum. Udviklingen af gulvelementerne er beskrevet i rapporten ”Udvikling af modulært gulvelement”. De tekniske laboratorieforsøg er beskrevet i rapporten ”Metode til at karakterisere varme- og køleudvekslingen mellem gulvelement og grisekrop”.

Projektet er støttet økonomisk af Direktoratet for FødevarerErhverv, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

Forsøgsstald

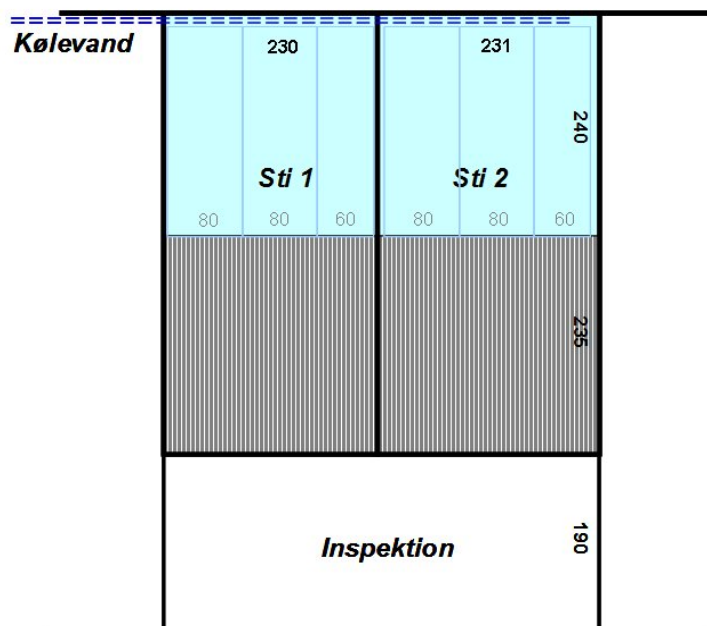
I figur 1 ses forsøgsstalden på Forskningscenter Foulum udefra, med forsøgssektionen til venstre og teknikrum med køleanlæg til højre. De to var adskilt med en mellemsektion som rørforbindelser og registreringsledninger blev ført igennem.



Figur 1. Forsøgsstalden set udefra. Forsøgssektionen ses til venstre og teknikrum med køleanlæg til højre

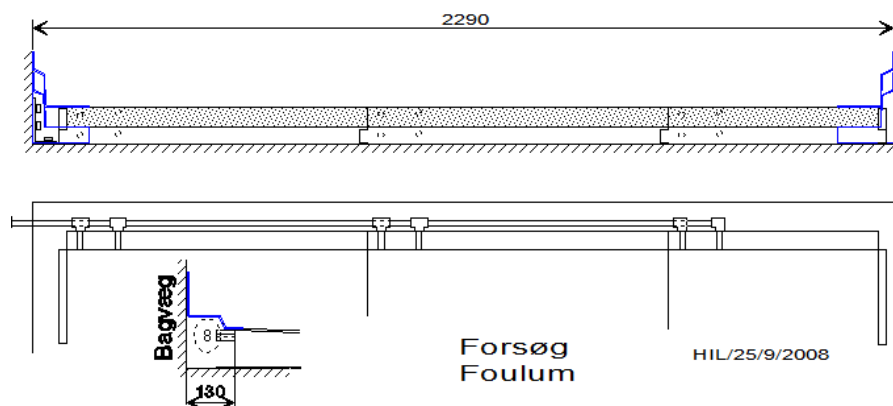
Sektionen blev ventileret med et ligetryksanlæg type Fristamat A/S, hvor indblæsningsenheden ses til højre og udsugningsenheden til venstre.

Forsøgssektionen var 4,62 m bred og 6,7 m dyb. Højden var 2,6 m ved ydervæg og 5,95 m ved bagvæg. I forsøgssektionen blev der etableret to 4,8 m dybe stier med en indvendig bredde på henholdsvis 2,28 m i sti 1 og 2,31 m i sti 2. I hver sti blev der etableret et 2,4 m dybt område, hvor 2 stk. 0,8 m brede og et stk. 0,6 m bredt prototype gulvelement blev placeret ovenpå spaltegulv som vist i figur 2. Der var et 1,9 m bredt inspektionsareal ved bagvæg.



Figur 2. Dimension af forsøgsstier med placering af gulvelementer

Mellemrummet mellem gulvelementerne og stiskillerum og væg blev tætnet med pladeprofiler som vist foroven i figur 3. Kølerør blev placeret mellem gulvelementerne og ydervæggen som vist forneden i figuren.



Figur 3. Fremføring af kølerør og tætning mellem gulvelementer og vægge

Udformning af stiskillerum, placering af gulvelementerne samt tætning mellem elementer og væg fremgår af figur 4.



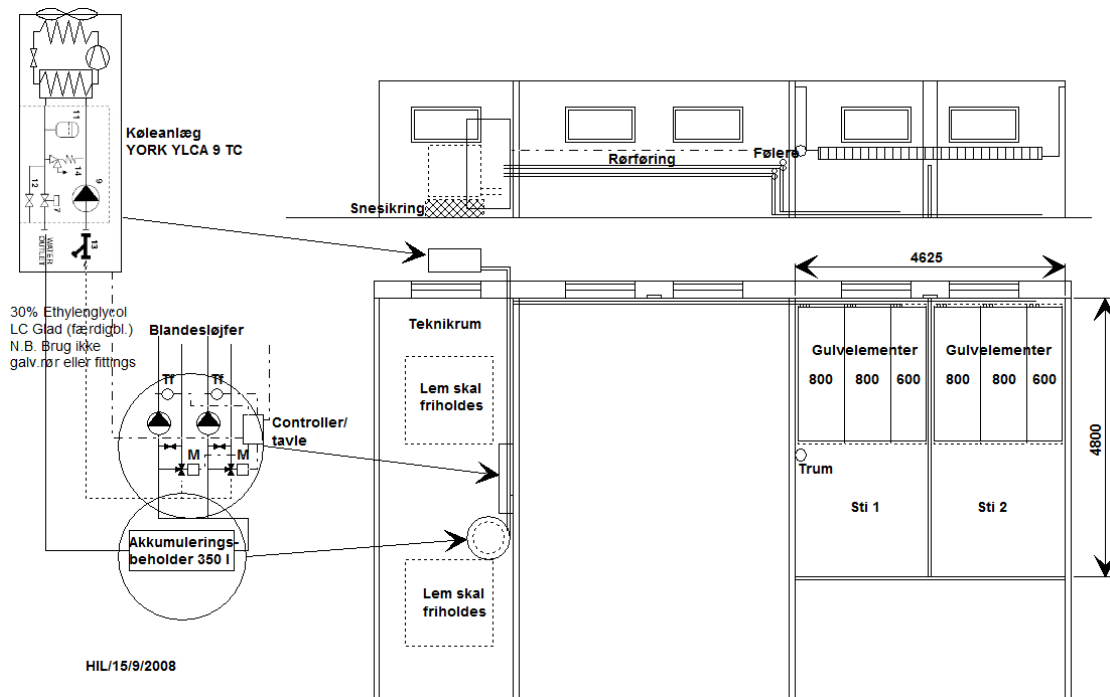
Figur 4. Indretningen af sti 2

Kølesystem

Det samlede kølesystem bestod af:

1. Fælles køleanlæg med akkumuleringstank
2. To identiske blandesøjjer til regulering af vandets temperatur til elementerne.
3. Gulvelementerne

Installationsdiagram er vist i figur 5.



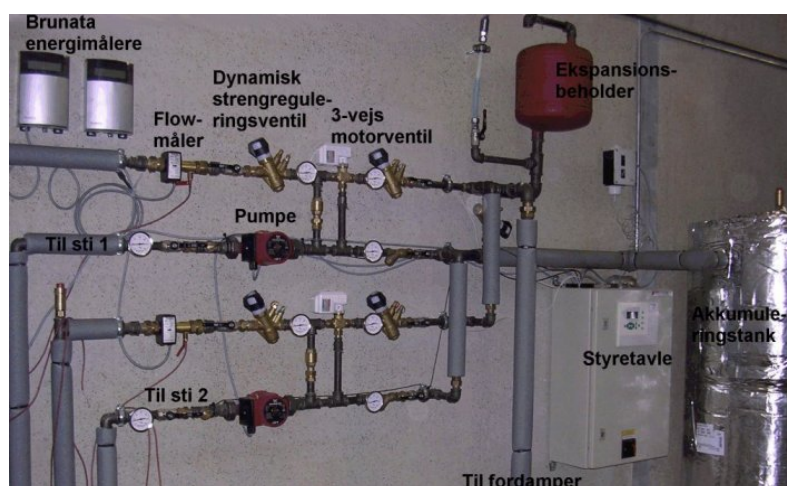
Figur 5. Installationsdiagram – kølesystem m.v.

System til køling af gulvelementerne blev placeret i teknikrummet ved siden af forsøgssektionen. Køleinstallationen blev bygget op omkring en York kølemaskine (chiller) type YLCA 9 TC med en nominel køleeffekt på 9 kW, figur 6. Dette anlæg er meget overdimensioneret til køling af de to stier. Grunden til valget var, at anlægget så senere kunne have været brugt ved forsøg på et landbrug i en stald med 5 stier.



Fig. 6. Kølemaskine (chiller)

Da køleanlægget i forsøgssektionen skulle køre med ydelser fra 0 til ca. 3 kW, var det nødvendigt at forsyne anlægget med en 350 l akkumuleringsbeholder for at undgå for korte start/stop intervaller for kølemaskinens kompressor. Rørsystemet var forsynet med åben ekspansion med "skueglas", så fyldningen kunne kontrolleres og efterfyldning foretages uden brug af pumpe (se figur 7).



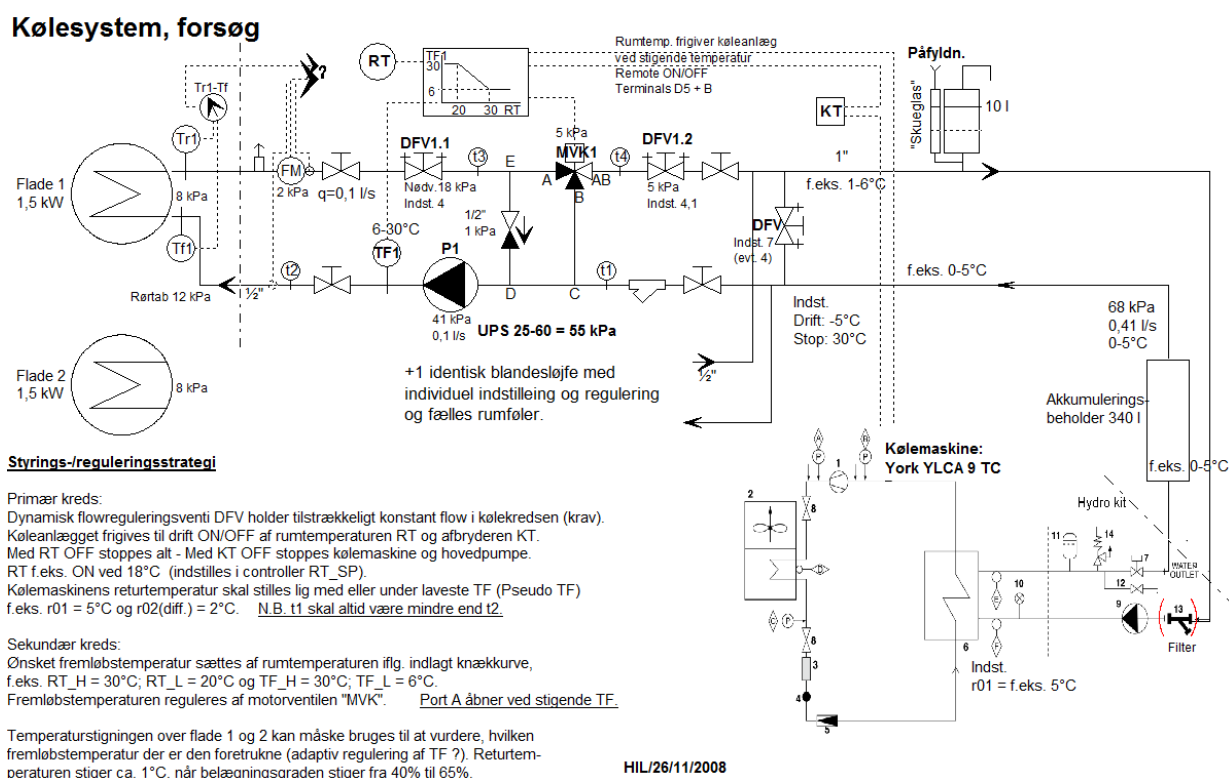
Figur 7. Rørkoblinger/blandesløjfer mv. i teknikrum

Af hensyn til frostfare var anlægget påfyldt en blanding af 30% ætylenglykol og vand. Kølevandet i primærkredsen reguleres af kølemaskinens automatik. Den regulerende føler sad her i returvandet. Kølemaskinens automatik gav kun mulighed for at vælge en konstant returtemperatur på kølevandet, og da stierne ønskedes reguleret individuelt, var det nødvendigt at installere to blandesløjfer.

Automatik (Honeywell) og styretavle (Himmel) til de to blandesløjfer blev leveret, programmeret og indreguleret af firmaet Insight, Silkeborg.

Da kølemaskinen krævede en bestemt volumenstrøm på brinen (kølevandet) på ca. 0,4 l/s, og vi ønskede en konstant volumenstrøm gennem gulvelementerne på ca. 0,1 l/s, blev blandesløjferne opbygget som dobbeltshunt med 50% by-pass af primærstrømmen, da volumenstrømmen her skulle være dobbelt så stor som den samlede sekundærstrøm.

Der blev først anvendt 2 stk Grundfoss UPS 25-40 cirkulationspumper, men disse måtte udskiftes med UPS 25-60 pga. et uforklarligt stort trykfald over sekundærkredsen til sti 1 og pga. store trykkrav til funktionen af de dynamiske strengreguleringsventiler DFV på figur 8 (Freese S – DN 15).



Figur 8. Rørdiagram med blandesløjfer og funktionsbeskrivelse

Set-punkt for fremløbstemperatur kan glidende ændres efter rumtemperaturen i henhold til et valgt kurveforløb, og automatikken er dermed forberedt for indstilling af en forventet styringsstrategi bortset fra hensynet til grisenes vægt, som der evt. må korrigeres manuelt for.

Instrumentering

I teknikrummet blev frem og returtemperatur samt energioptagelsen i hver stisløjfe registreret med Brunata energimåler type HGQ1 QP 1.2cbm kodet for glykol 30%. Målerne blev manuelt aflæst en gang i døgnet i måleperioden.

Inde i forsøgssektionen var der midt i rummet placeret en Campbell Scientific temperatur og fugtighedsføler type CS215 som vist i figur 9. En føler af samme type blev benyttet til at registrere udetemperatur under udhæng udenfor teknikrummet.



Figur 9. Temperatur, fugt og CO2 følerplacering i forsøgssektionen

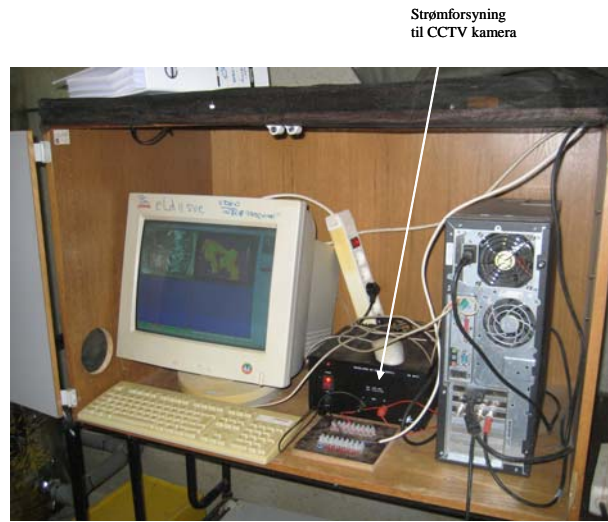
Desuden var der placeret en Vaisala CO2 føler forbundet til en CO2 transmitter type GMT220. For at kunne beregne hver stis energiforbrug blev der monteret 4 stk. Campbell Scientific temperaturfølere type 109, i frem- og returløbet tæt på gulvelementerne i hver sti (figur 10).



Figur 10. Frem- og returfølere tæt på gulvelementerne

Følerne var forbundet til en Campbell Scientific datalogger type CR 1000 placeret i teknikrummet. Følerne for lufttemperatur og fugtighed inde og ude, CO₂ i luften inde, frem- og retur temperatur samt antal flowpulser i returløb for hver sti blev aflæst og gemt på dataloggeren hvert minut samt som 10 minutters middelværdier.

Dyrenes placering i de to stier blev registreret med et FLIR infrarødt kamera, der dækkede et hjørne af sti 1, samt et CCTV kamera placeret nær bagvæggen, så det kunne registrere i hvilken grad dyrene lå på gulvelementerne. Billederne fra de to kameraer blev opsamlet på en PC i teknikrummet og var tilgængelige på en skærm som vist i figur 11.



Figur 11. Opsamling og visning af dyrenes placering i stierne

Belægning

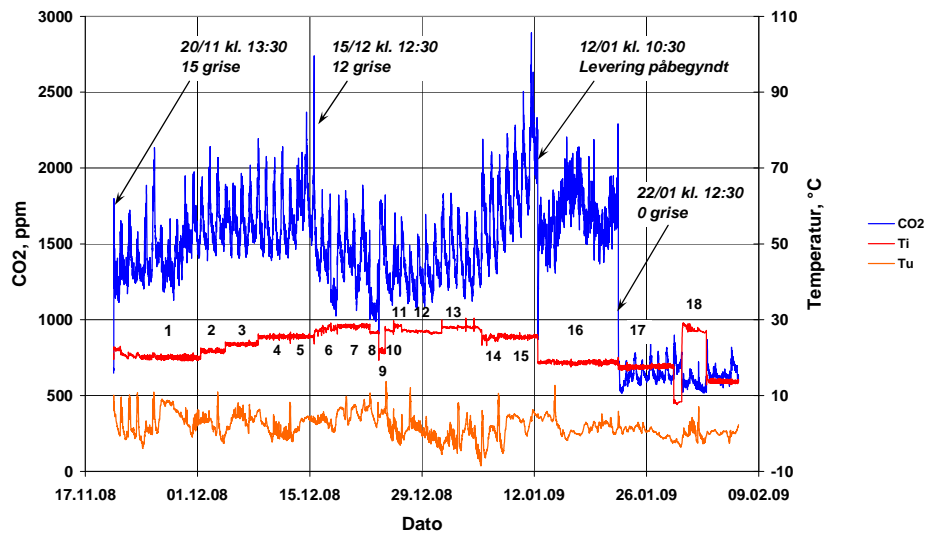
Forsøgene blev igangsat den 20.11.2008. Der blev indsat 15 grise i hver sti med en gennemsnitsvægt på 37,5 kg i sti 1 og 37,4 kg i sti 2. Den 15.12.2008 blev antallet af grise reduceret til 12 i hver sti så der blev plads til at de alle – for en tid – kunne ligge på gulvelementerne. Levering blev påbegyndt den 12.01.2009 og de sidste grise leveret den 22.01.2009.

Efter levering af grisene den 29.01.2009 blev der gennemført yderligere to forsøg med henholdsvis stor og lille forskel mellem rumtemperatur og fremløbstemperaturer for at fastlægge varmeoptagelsen til luft og gulv, når der ikke lå grise på elementerne.

I figur 12 er vist hvorledes CO₂ niveauet ændrede sig ved ændring i antal grise. Desuden ses, at der var store variationer ved konstant antal grise. Det skyldes dels grisenes døgnrytme og dels varierende udetemperaturer i forsøgsperioden.

Af figuren ses, at udetemperaturen varierede i området -10 °C til +10 °C. I kolde perioder er der brug for mindre ventilation end i varme, hvorfor CO₂-koncentrationen bliver højest i disse perioder.

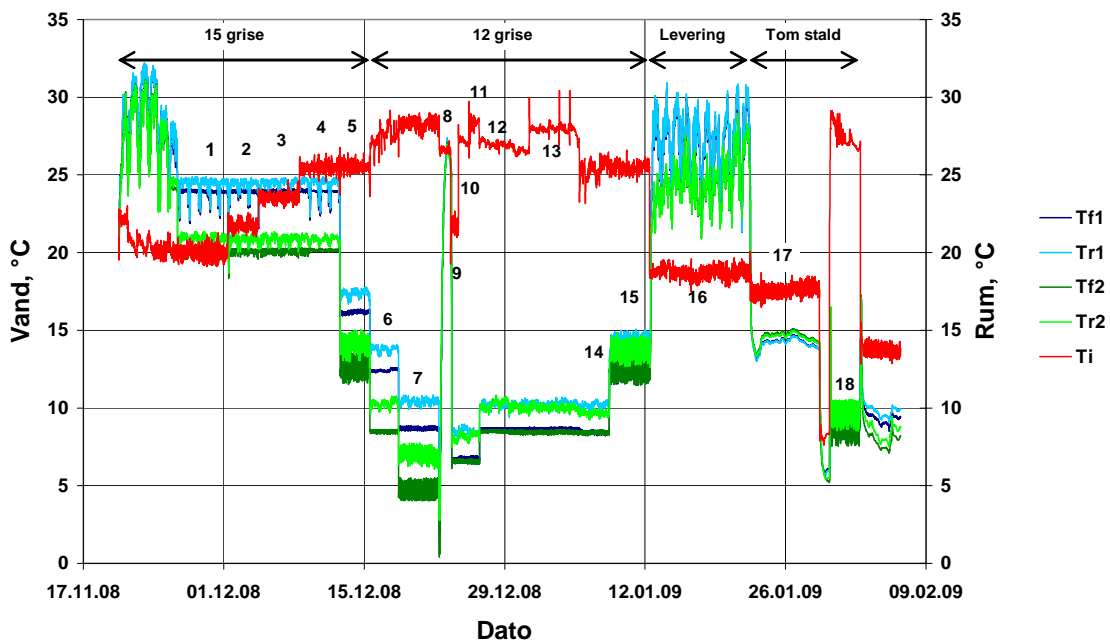
Grisenes vækst og tidspunkter for reduktion af antal grise fremgår tydeligt af CO₂-kurvens forløb.



Figur 12. Målt CO2 koncentration, rum- og udetemperatur i forsøgsperioden

Temperaturforløb

Efter en uges akklimatisering i forsøgsstierne blev rumtemperaturen langsomt hævet fra 20 °C til 26 °C med en fremløbstemperatur til sti 1 på 24 °C og 20 °C til sti 2. Herefter blev rumtemperatur og fremløbstemperaturer til gulvelementerne i de to stier varieret, og returtemperaturen for kølevandet blev som vist i figur 13.



Figur 13. Forløb af rumluft- og vandtemperatur i forsøgsperioden

I figuren er rumtemperaturen angivet som rød kurve. Fremløbstemperaturen til sti 1 er vist som mørkeblå kurve og returtemperaturen som lyseblå. Tilsvarende er fremløbstemperaturen til sti 2 vist som mørkegrøn kurve og returtemperaturen som lysegrøn.

Forsøgsperioder med de forskellige kombinationer af temperaturer er i figuren nummereret fra 1 til 18. I tabel 1 er vist varighed af de enkelte forsøgsperioder samt antal grise i stierne. Det ses at forsøgene var af varierende varighed med fra en til fem døgn. To af forsøgene nemlig forsøg 8 og 9 varede under et døgn med henholdsvis 1 og 14 timer, hvilket er lovlig kort varighed til at tillægge dem væsentlig betydning. Leveringsperioden strakte sig over 10 døgn.

Tabel 1. Forsøgsnumre, periode, varighed og belægning i hver af de to stier

Forsøg nr	Dato		Varighed		Antal grise
	Start	Slut	Timer	Dage	
1	26-11-2008 10:00	01-12-2008 09:00	119	5	15
2	01-12-2008 10:10	04-12-2008 10:30	72	3	15
3	04-12-2008 11:40	08-12-2008 12:40	97	4	15
4	08-12-2008 13:20	12-12-2008 14:00	97	4	15
5	12-12-2008 14:40	15-12-2008 13:30	71	3	15
6	15-12-2008 14:40	18-12-2008 09:50	67	3	12
7	18-12-2008 11:00	22-12-2008 10:30	95	4	12
8	22-12-2008 11:40	22-12-2008 13:00	1	0	12
9	23-12-2008 18:30	24-12-2008 08:30	14	1	12
10	24-12-2008 09:10	25-12-2008 11:00	26	1	12
11	25-12-2008 11:40	26-12-2008 11:40	24	1	12
12	26-12-2008 12:20	31-12-2008 10:30	118	5	12
13	31-12-2008 11:10	05-01-2009 10:10	119	5	12
14	05-01-2009 11:20	08-01-2009 10:10	71	3	12
15	08-01-2009 11:20	12-01-2009 09:50	95	4	12
16	12-01-2009 19:30	22-01-2009 09:30	230	10	Levering
17	22-01-2009 13:00	29-01-2009 09:00	164	7	0
18	30-01-2009 13:30	02-02-2009 09:30	68	3	0

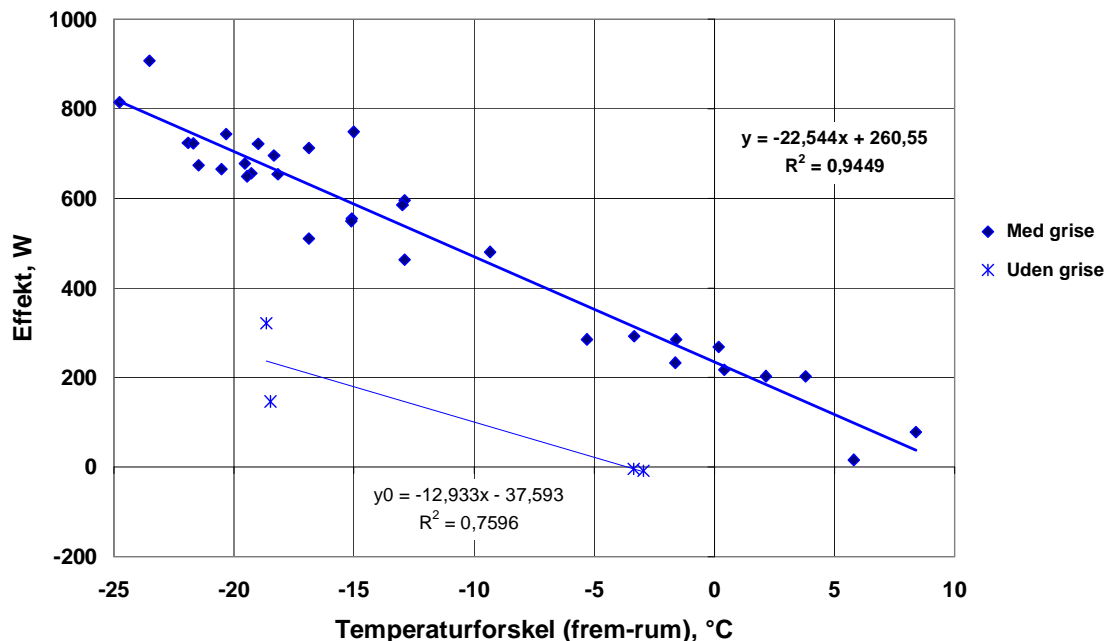
I tabel 2 er vist setpunkter for rumtemperatur og fremløbstemperatur, de gennemsnitlige målte værdier for temperaturer, målte timeværdier for vandflow samt beregnet optagen effekt i de to stier. Det ses, at rumtemperaturen har ligget fra 0 til 0,6 °C under setpunktet op til 26 °C. Ved højere setpunkter har det knebet med at komme højt nok op.

På vandsiden har fremløbstemperaturerne ligget indenfor $\pm 1^\circ\text{C}$ at setpunktet undtagen ved de helt lave setpunkter. Vandflowet har generelt ligget i området 350 til 380 liter pr. time for begge stier i perioder med grise.

Tabel 2. Temperatur setpunkter samt målte værdier og beregnet effekt

Forsøg nr.	Indetemperatur		Sti 1					Sti 2				
	Set	Målt	Set frem	Målt frem	Målt retur	Målt flow	Effekt	Set frem	Målt frem	Målt retur	Målt flow	Effekt
	°C	°C	°C	°C	°C	l/h	W	°C	°C	°C	l/h	W
1	20	20,0	24	23,8	24,4	329	202	20	20,2	20,9	327	269
2	22	21,7	24	23,9	24,4	370	203	20	20,2	20,9	350	286
3	24	23,5	24	23,9	24,5	375	217	20	20,2	20,9	352	292
4	26	25,5	24	23,9	24,4	367	233	20	20,2	20,9	361	285
5	26	25,6	16	16,2	17,4	362	480	12	12,6	14,0	362	585
6	30	27,5	12	12,4	13,8	357	555	8	8,5	10,3	360	722
7	30	28,3	8	8,7	10,4	354	678	4	4,8	7,0	360	907
8	30	26,7	4	4,8	6,7	349	724	0	2,0	4,0	360	815
9	22	21,7	6	6,7	8,5	373	748	6	6,6	7,9	374	549
10	30	27,1	6	6,8	8,6	371	744	6	6,6	8,2	374	665
11	32	28,3	6	6,8	8,4	372	674	6	6,6	8,3	374	724
12	30	26,8	8	8,7	10,2	374	654	8	8,5	10,2	374	696
13	32	27,9	8	8,7	10,2	372	656	8	8,5	10,0	374	649
14	26	25,4	8	8,5	10,2	371	713	8	8,5	9,7	373	509
15	26	25,5	12	12,6	14,0	382	595	12	12,6	13,7	375	463
16	18	18,7	28	27,1	27,3	379	79	24	24,5	24,5	376	16
17	18	17,6	14	14,2	14,1	62	-4	14	14,6	14,5	62	-8
18	30	27,4	8	8,9	9,3	380	147	8	8,8	9,5	374	322

I figur 14 er vist den optagne effekt fra de to stier som funktion af forskel mellem fremløbs-temperatur og rumtemperatur (temperaturforskellen) i gennemsnit for alle forsøgsperioder med grise for sig og de to perioder uden grise for sig. Det ses, at temperaturforskellen kan forklare variationen i effektoptagelsen med en forklaringsgrad på 0,95.



Figur 14. Optagen effekt fra de to stier som funktion af forskel mellem fremløbs-temperatur og rumtemperatur (temperaturforskellen) for henholdsvis alle forsøgsperioder med grise og de to forsøgsperioder uden grise

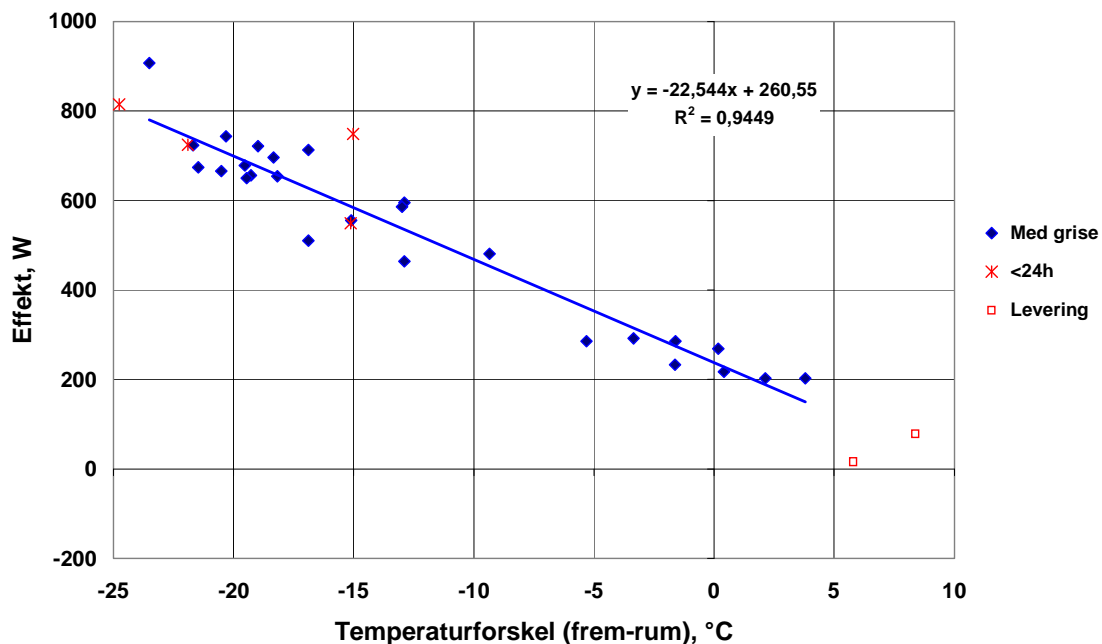
De to perioder uden grise er forklaringsgraden væsentlig mindre. Da der ikke ligger grise på gulvelementerne må den optagne effekt komme fra rumluften og det spaltegulv, de var lagt

på. Når grisene ligger på gulvelementerne skønnes denne "basis" kølekapacitet at komme grisene til gode, og følgelig være indeholdt i de værdier, som er målt med grise i stierne.

Diskussion

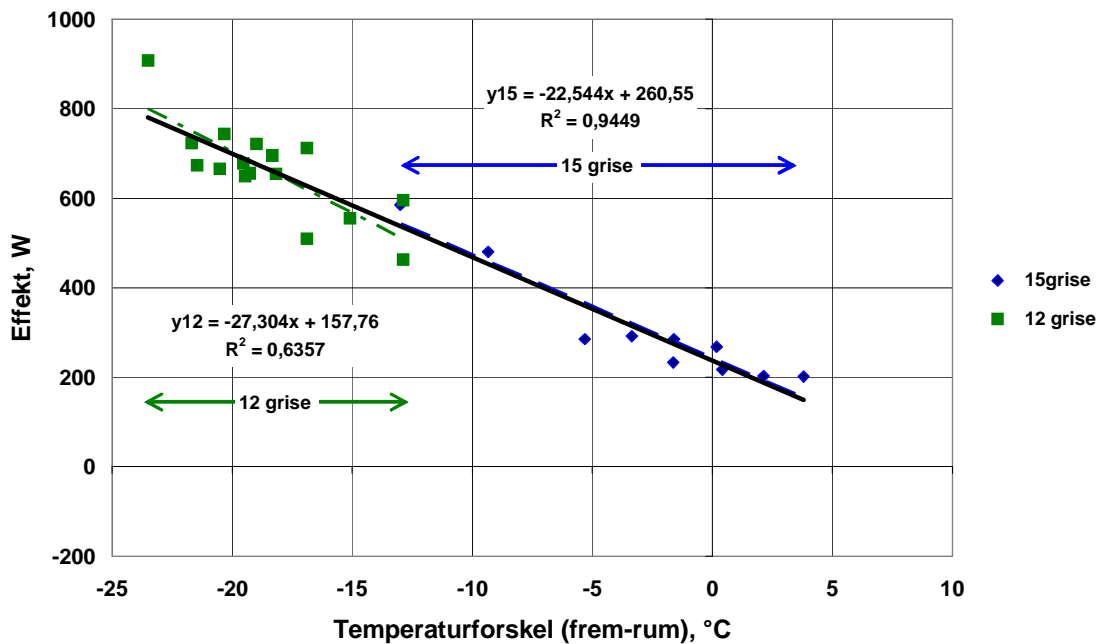
For perioderne med grise er det påfaldende, så godt effektoptagelsen kan forklares ud fra temperaturforskellen i betragtning af, at figuren omfatter at grisene er vokset, at antallet grise undervejs er reduceret fra 15 til 12 grise pr. sti, at leveringsperioden er medtaget samt at perioderne har været af meget forskellig varighed. På trods af disse faktorer har temperaturforskellen mellem rum og fremløb kunne forklare ca. 95 % af variationen i effektoptagelse. Som beskrevet i Strøm et al. (2009) vil denne enkle sammenhæng udnyttes ved opstilling af en hypotese for styringsstrategi for kølevandets fremløbstemperatur.

I det følgende skal det undersøges om modellen for effektoptagelse kan forbedres ved at udelade de to perioder, der varede mindre end et døgn, samt leveringsperioden. Det er gjort i figur 15. Udeladelsen af disse forsøgsdata medvirker til et ubetydeligt fald i korrelationskoefficienten fra 0,95 til 0,945. Det ses, at de punkter som derved bliver udeladt, ligger fint i forlængelse af de øvrige med undtagelse af en høj værdi på ca. 750 W ved temperaturforskellen -15 °C. Ifølge tabel 1 stammer denne fra forsøg 9 i sti 1, men årsagen til afvigelsen er ikke kendt. Det må konkluderes, at resultatet ikke er væsentligt påvirket af periodelængderne så længe en setpunktsændring får tid til at stabilisere sig inden måleresultatet indregnes i gennemsnitsværdien.



Figur 15. Optagen effekt fra de to stier med grise som funktion af forskel mellem fremløbstemperatur og rumtemperatur. Forsøgsperioder under et døgn og perioden med levering af grise er ikke medtaget i regressionsligningen

Det er muligt med de indsamlede data at se nærmere på den kombinerede effekt af antal og vægt på modellen for effektoptagelse. I figur 16 er vist hvorledes sammenhængen mellem effektoptagelse og temperaturforskel er for henholdsvis perioderne med 15 mindre grise og 12 større grise. I figuren er forsøgsperioderne af under et døgn varighed og perioden med levering af grise ikke medtaget i regressionsligningerne, der er vist stiptet blå for 15 mindre grise og punkteret grøn for de 12 større grise pr. sti. Den fælles regressionslinie fra figur 14 er vist heltrukken sort.



Figur 16. Optagen effekt fra de to stier med henholdsvis 15 (blå datapunkter) og 12 (grønne datapunkter) grise som funktion af forskel mellem fremløbstemperatur og rumtemperatur

For gruppen af datapunkter for de 15 grise har regressionslinien en forklaringsprocent på ca. 0,95, mens den for de 12 grise er nede på 0,64. Det ses dog, at datapunkterne for de to grupper falder pænt i forlængelse af hinanden og regressionslinierne næsten ikke er til at skelne fra den fælles linie.

Konklusionen er, at resultatet ikke er væsentligt påvirket af om man vælger perioden med 15 mindre grise eller 12 større grise. På grund af de flere datapunkter og større variation i temperaturforskel giver det en sikrere karakterisering af gulvelementernes effektoptagelse at benytte den fælles regressionslinie.

Konklusion

I de gennemførte forsøg har det vist sig at temperaturforskellen mellem rum og fremløb på stiniveau kunne forklare ca. 95 % af variationen i gulvelementernes effektoptagelse. Dette er en overraskende god sammenhæng i betragtning af at grisene i løbet af forsøget er vokset, at antallet grise undervejs er reduceret fra 15 til 12 grise pr. sti, at leveringsperioden er medtaget samt at perioderne har været af meget forskellig varighed.

Det samlede resultatet er ikke væsentligt påvirket af om man vælger perioden med 15 mindre grise for sig eller 12 større grise for sig. På grund af de flere datapunkter og større variation i temperaturforskel giver det en sikrere karakterisering af gulvelementernes effektoptagelse at benytte den fælles regressionslinie.

Litteratur

Strøm, J. S.; Zhang, G-Q. & Kai, P. 2010. Strategi for styring af fremløbstemperatur til 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