

## Bakgrund och målsättning

Djurstallar för mjölkkor utformas av tradition antingen med ett isolerat eller ett oisolerat byggnadsskal. Det isolerade stallet är dimensionerat för en innetemperatur av 12°C under vintern. Ventilationen är antingen automatiskt reglerad mekanisk ventilation eller automatiskt alternativt manuellt reglerad naturlig ventilation. I ett oisolerat stall kan temperaturen bara hållas 4-7°C högre än utetemperaturen under vintern. Stalltemperaturen är under 0°C under stora delar av vintern. Ventilationen i ”kalla lösdriftsstallar” är naturlig ventilation utan reglering av öppningarna. Det viktigaste argumentet för att bygga ett oisolerat djurstall är att minska byggnadskostnaderna.

För nötkreatur har ett flertal undersökningar visat att det ur produktions- och djurmiljösynpunkt inte är några problem att tillämpa kalla inhysningsformer. Nötkreatur är väl anpassade till låga temperaturer och har låg nedre kritisk temperatur. Dagens höga avkastningsnivåer gör emellertid att mjölkkor är känsliga för värme. Redan vid 21-25°C kan produktionen påverkas negativt.

De problem som kan uppträda i oisolerade stallar är främst:

- Frysning på golvytor vilket kan ge hala golv med risk för fläckningar
- Fastfrusna gödselskrapor och frusen gödsel som periodvis gör det omöjligt att använda mekaniska skrapor
- Frysning i vattenledningar
- Utfällning av fukt på byggnadsytor vintertid
- Kall och fuktig arbetsmiljö
- Hög värmebelastning på grund av solinstrålning mot oisolerade byggnadsytor sommartid.

Djurskötarens termiska komfortkrav skiljer sig starkt från mjölkornas. Det termiska klimatet kan för skötaren variera kraftigt mellan olika arbetsmoment. Från arbetstagare och skyddsingenjörer framförs ofta farhågor att kalla inhysningsformer kan försämra den termiska arbetsmiljön för djurskötare. Problemställningar som särskilt påpekats är:

- Växlande arbetsmoment mellan kalla och varma miljöer
- Ökad risk för drag
- Halkningsrisker på grund av frysning på fuktiga gångytor
- Värmebelastning på grund av solbestralning mot tak och väggytor
- Kallare och fuktigare klimat vid mjölkkningsarbete.

Genom att bygga ett semi-isolerat byggnadsskal där klimatet hålls frostfritt under vintern kan många av ovanstående problem elimineras eller förbättras. Dimensioneringen av ett semi-isolerat djurstall med frostfria förhållanden under vintern avviker avsevärt från vad som gäller i isolerade stallar enligt Svensk standard (SS 95 10 50).

## Material och metoder

### Termisk miljö och luftföroreningar i mjölkstallar

Den termiska djurmiljön och arbetsmiljön samt luftmiljön har utvärderats i fem mjölkstallar under både vinter- och sommarförhållanden. Av de fem utvärderade stallarna var två oisolerade, ett isolerat och två semi-isolerade. Ett av de semi-isolerade stallarna hade manuellt reglerad naturlig ventilation. Det andra hade automatiskt reglerad naturlig ventilation där innetemperaturen var 5°C vintertid.

Luftens temperatur och relativ fuktighet har registrerats kontinuerligt utanför och inne i stallarna med miniloggrar (Gemini Data Loggers, Tinytag Plus). Utanför stallarna har loggrarna placerats på väl ventilerad plats i skydd av regn och sol. Inne i stallarna har loggrarna placerats i en sektion i stallets mitt samt en logger vid vardera gaveln. Dessutom har en logger registrerat klimatförhållandena i mjölkningsavdelningen. Loggrarna har registrerat ett värde var 15 minut och har en mätosäkerhet på 0,6°C och 3% RF (relativ luftfuktighet) enligt tillverkaren.

Under sommarhalvåret har solinstrålningen mot stallen registrerats kontinuerligt med pyranometer (Kipp & Zohnen, Modell CM 6) kopplad till minilogger för registrering av spänning (Gemini Data Loggers, Tinytag Plus). Pyranometern ger den horisontella solinstrålningen i W/m<sup>2</sup>. På grund av miniloggerens prestanda erhöles solinstrålningen med en upplösning av 60 W/m<sup>2</sup>.

Luftrörelser i anslutning till kornas liggplatser har undersökts med rökgas och lufthastigheter har bestämts med varmtrådsanemometer (Alnor, GGA-65P). Mätningarna har gjorts i framkant och bakkant av liggbås samt i gödselgångarna vid besök i stallarna.

Ammoniak- och koldioxidkoncentrationer har registrerats momentant med reagensrör (Kitagawa 105SD och 126SF) samt med långtidsverkande diffusionsrör under perioder på 2-3 dagar (Dräger, ammoniak 20/a-D, koldioxid 1%/a-D). Den totala och den respirabla dammhalten i stallluften har mätts gravimetriskt med filtermetod (Millipore). Dampumparna programmerades för att mäta med jämna intervaller under 6 dygn. Luftflödet var 1.9 l per minut, filterkasetthållarna 37 mm och det respirabla dammet erhöles med en SKC cyklon (avskiljning vid 5.0 µm). Analyser av dammfilter har skett vid institutionen för laboratoriemedicin, Lunds universitetssjukhus.

Den termiska arbetsmiljön har registrerats med en komfortmätare (Bruel & Kjaer Thermal Comfort Meter, Type 1212). Mätningar har utförts i gödselgångarna, på foderbord och i mjölkgrup enligt ISO-EN-7730 (1995). Med komfortmätaren bestäms fyra klimatindex; operativ temperatur, ekvivalent temperatur, PMV (predicted mean vote) och PPD (predicted percent dissatisfied). PMV är en beräknad och förväntad medelbedömning av arbetsklimatet av en grupp människor. PPD anger hur stor andel av gruppen som förväntas vara missnöjda med arbetsklimatet.

### **Djurens avgivning av fri värme, fukt och koldioxid**

Under tre stallperioder har kontinuerliga mätningar utförts på mjölkornas fukt och koldioxidproduktion i ett stall för 42 uppbundna mjölkkor. Stallet är isolerat och har styrd mekanisk ventilation. Genom att ändra börvärdet i reglersystemet under kalla perioder har mätningarna kunnat utföras ner till 6°C innetemperatur i stallet.

Lufttemperatur och relativ luftfuktighet registrerades i från- och tilluften. Samtidigt registrerades luftflödet genom stallet. Registreringarna gjordes kontinuerligt med en datalogger genom mätningar varje minut och medelvärdesbildning var 10 minut. Lufttemperaturen i till- och frånluft mättes med fyra termotrådar av typ T (koppar-konstantan) på respektive plats. Relativa luftfuktigheten mättes med 2 st elektroniska

fuktgivare (Rotronic MP-100) placerade på respektive plats. Stallets ventilationsflöde mättes med hjälp av två impellrar (medföljande fläktar) av fabrikatet Fancom (Fancom BV) som monterats i en mätkammare efter stallets frånluftsfläktar. Impellrarna kalibrerades innan och efter mätningarna i en mätkanal där ventilationsflödet bestämdes i ett gitter (9 punkter) med en varmtrådsanemometer (Alnor, GGA-65P).

### **Ytkondens**

Beräkning av dimensionerande U-värde för att förhindra ytkondens har utförts för olika inne- och utetemperaturer. Vid beräkningarna har luftfuktigheten inomhus valts enligt djurskyddsmyndighetens föreskrifter (L 100). I värmeisolerat stall får inte RF överstiga 80% vid innetemperaturen 10°C och däröver. För innetemperaturer under 10°C får inte det numeriska värdet av temperatur och RF överstiga 90. Beräkningar har gjorts för klimatzoner A-E samt dimensionerande utetemperaturer,  $t_{uw}$ , enligt SS 951050.

### **Frostfrihet för golv**

Beräkning av U-värde för att förhindra frysning av golvytan i yttre randzon har utförts för klimatzonerna A-E och innetemperaturer mellan 0 och +12°C. Golvtemperaturer har även bestämts vid eventuell köldbrygga i anslutningen mellan golv och vägg.

### **Värmebelastning på grund av solinstrålning**

Soluppvärmningsfaktorn beroende av luftflödet genom byggnaden har beräknats för horisontell solinstrålning 800 W/m<sup>2</sup>, ett byggnadsskal utan ljusgenomsläppliga material samt ett yttertak av svart fibercementskiva (antagen absorptionsfaktor 0.94). Även temperaturökningen i en byggnad på grund av solinstrålningen 800 W/m<sup>2</sup> har beräknats med olika värmegenomgångskoefficienter för taket.

### **Dimensionering och simulering av termiskt klimat i frostfri byggnad**

Det termiska klimatet har dimensionerats med utgångspunkt från total, fri och bunden värmeavgivning samt koldioxidproduktion för mjölkobesättning där medelkon väger 600 kg, mjölkar 25 kg/dag samt har varit dräktig i 150 dagar. Val av byggnadsskalets värmemotstånd har gjorts enligt resultat vid analys av ytkondens, frostfrihet för golv samt värmebelastning på grund av solinstrålning. Simuleringar genom iterering för att samtidigt uppnå värmebalans och fuktbalans har utförts med val och begränsningar av temperatur och luftfuktighet utomhus enligt SS 951050, stalltemperatur och luftfuktighet i stall enligt L 100 samt klimat i stall under sommaren enligt SS 951050. Dimensioneringar och simuleringar har utförts för frostfri byggnad i de fem klimatzonerna A-E. Alla dimensionerings- och simuleringsberäkningar har utförts för stationära system. Simuleringarna har utförts för en ligghall för 104 mjölkkor med byggnadsytan 34.8 x 25.8 m, vägg höjd 3 m samt taklutning 27 grader.

### **Jämförelse av byggnadskostnader**

Byggnadskostnader för byggnadsskal med olika isoleringsgrad till ligghallen för 104 mjölkkor har beräknats med kalkylprogrammet BidCon Bygg (Consultec byggprogram AB). I kostnaderna ingår schaktning samt grund-, golv-, vägg- och takkonstruktion. Byggnadskostnaderna har jämförts med oisolerat byggnadsskal samt med fullt värmeisolerat byggnadsskal enligt SS 951050.

## Resultat

### Termisk djurmiljö

I det isolerade stallet med naturlig ventilation och manuellt reglerbara ventilationsluckor var temperaturskillnaden ca 10 grader vid 0°C utetemperatur, stallet klarade ca -17°C innan det blev minusgrader i stallet och övertemperaturen vid utetemperaturen 21°C var ca 4°C. Innetemperaturen vid den dimensionerande utetemperaturen -10°C var 4°C. För ett semi-isolerat stall (isolerat parallelltak och oisolerade betongväggar) med manuellt reglerbara ventilationsluckor var temperaturskillnaden ca 7 grader vid 0°C utetemperatur, stallet klarade ca -10°C innan det blir minusgrader i stallet och övertemperaturen vid utetemperaturen 21°C var ca 2°C. Vid den dimensionerande utetemperaturen -10°C var innetemperaturen ca 0°C. Om det semi-isolerade stallet har automatisk reglering av ventilationsöppningarna samt börvärdet är inställt på 5°C så blir inte innetemperaturen lägre än 5°C även om utetemperaturen går ner mot -17°C. I de två oisolerade stallarna med glespanel och öppennock var temperaturskillnaden ca 5 grader vid 0°C utetemperatur, stallarna klarade ca -7°C innan det blev minusgrader i stallet och övertemperaturen vid utetemperaturen 21°C var 5°C. Vid -10°C utetemperatur var innetemperaturen ca -4°C. Resultaten visar också att innetemperaturen för exempelvis 10°C utetemperatur varierar ca 5 grader vilket beror på variationer i luftflöde på grund av vindriktning, vindhastighet samt variationer i solinstrålning.

Inneluftens relativa fuktighet var i medeltal 80% upp till ca 15°C innetemperatur i det isolerade stallet. Relativa luftfuktigheten i det semi-isolerade stallet med manuell reglering var i medeltal 75% upp till ca 15°C innetemperatur. I det semi-isolerade stallet med automatisk reglering av ventilationsöppningarna var luftfuktigheten högre, i medeltal 87%. I de oisolerade stallarna var inneluftens relativa fuktighet i medeltal 85% upp till ca 15°C innetemperatur. I alla stallar sjunker den relativa luftfuktigheten vid innetemperatur över ca 15°C. På grund av variationer i fuktavgivning, vindriktning, vindhastighet, solinstrålning samt uteluftens relativa luftfuktighet så är det en ganska stor variation, 30-60%-enheter, för samma innetemperatur.

Lufthastigheten ligger i medeltal under 0.3 m/s och max lufthastighet mellan 0.54 till 0.89 m/s med det högsta värdet för det oisolerade stallet. Mätningarna ger en indikation på större variation i lufthastigheter för det semi-isolerade stallet och det oisolerade stallet jämfört med det isolerade.

### Termisk arbetsmiljö

Den termiska arbetsmiljön beror av lufttemperatur, luftfuktighet, lufthastighet och värmestrålning på arbetsplatsen men också på klädsel och hur hårt arbete som utförs. Vald klädsel vid mätningarna motsvarar tröja, byxor och overall och arbetet motsvarar att gå i 5.3 km/h.

Vid utetemperaturer strax över 0°C var innetemperaturen ca 10-12°C i stallet i det isolerade stallet. Detta bedöms vara ett bra klimat att arbeta i med denna typ av klädsel och arbete (PMV-värdet är neutralt). När innetemperaturen var 20°C var PMV-värdet högre, ”lite varmt”. Här anger PPD-värdet att 16-18% av en grupp människor hade tyckt att klimatet var lite varmt att arbeta i. Ekvivalenttemperaturen, vilken anger en temperatur där även drag och värmestrålning är medräknat, var i medeltal 2°C lägre än

lufttemperaturen. Med andra ord så sänkte lufthastigheten och värmestrålningen i stallet upplevelsen av temperaturen i stallet med ett par grader.

Vid utetemperaturer på 0°C var innetemperaturen ca 7°C i det semi-isolerade stallet. Detta bedöms vara ett "lite kyligt" klimat att arbeta i med denna typ av klädsel och arbete (PMV-värdet är neutralt). När innetemperaturen var 25°C var PMV-värdet högre, "varmt". Här anger PPD-värdet att 59% av en grupp människor hade tyckt att klimatet var lite varmt att jobba i. Ekvivalenttemperaturen var i medeltal 3°C lägre än lufttemperaturen vilket visar att lufthastighet och värmestrålning i stallet sänker upplevelsen av temperaturen i stallet med tre grader.

I det oisolerade stallet var innetemperaturer strax över 0°C vid -7°C utetemperatur. I detta klimat bedöms klimatet vara "kyligt" att arbeta i med denna typ av klädsel och arbete (PMV-värdet är neutralt). Här anger PPD-värdet att 60% av en grupp människor hade tyckt att klimatet var kyligt att jobba i. När innetemperaturen var ca 10°C var PMV-värdet högre, "lite kyligt". Vid 26°C innetemperatur registreras det termiska arbetsklimatet som varmt. Ekvivalenttemperaturen var under vintermånaderna ca 3.5°C lägre än lufttemperaturen vilket anger att lufthastighet och värmestrålning i stallet sänkte upplevelsen av temperaturen i stallet. Under varma och soliga dagar är emellertid ekvivalenttemperaturen 3°C högre än lufttemperaturen vilket anger att det oisolerade byggnadsskalet tillför strålningsvärme.

### **Luftföroreningar**

Koldioxid- och ammoniakkoncentrationen i stallarna var låga och vid de flesta mätningarna under gränsvärdena för både djur och människa. Koldioxidkoncentrationen var i medeltal 1250 ppm, 750 ppm och 680 ppm för isolerat, semi-isolerat och oisolerat stall. Ammoniakkoncentrationen var i medeltal 7.2 ppm, 3.7 ppm och 3.0 ppm för respektive stall. Endast vid ett par tillfällen har ammoniakkoncentrationen överstigit 10 ppm i det isolerade stallet.

Koncentrationen av respirabelt damm och totaldamm i stallarna var mycket låga. Både respirabelt och totaldamm var under 0.3 mg/m<sup>3</sup> luft vilket kan jämföras med de hygieniska gränsvärdena för totaldamm, 10 mg/m<sup>3</sup> för djur och 5 mg/m<sup>3</sup> för människor på arbetsplatser där de vistas i 8 timmar.

### **Avgivning av värme, fukt och koldioxid**

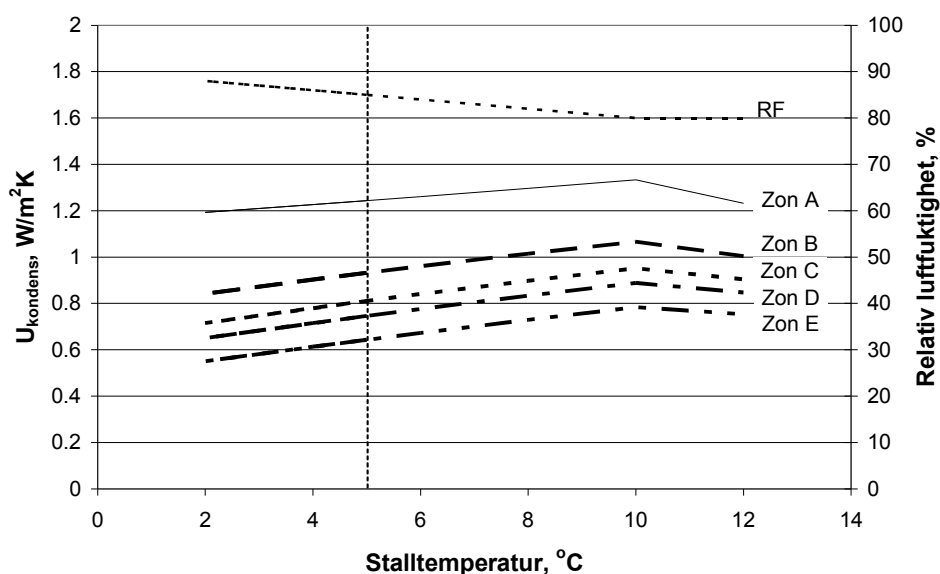
Värme-, fukt- och koldioxidavgivningen från mjölkkor varierar bl.a. med omgivningstemperaturen. Resultaten av mätningarna från ett mjölkostall för 42 uppbundna mjölkkor visar att koldioxidproduktionen ökar med sjunkande omgivningstemperatur från 250 l/ko,h vid 20°C till 350 l/ko,h vid 6°C. Avgivningen ökar med 9.6 l/ko,h per °C.

Den totala värmeavgivningen har beräknats indirekt från koldioxidproduktionen. Även den totala värmeavgivningen ökar med sjunkande omgivningstemperatur från 1.3 kW/ko vid 20°C till 2 kW/ko vid 6°C. Ökningen är 50 W per °C.

Fuktavgivningen minskar med sjunkande omgivningstemperatur. Vid 20°C är avgivningen ca 1.1 kg/ko,h vilket minskar till 0.7 kg/ko,h vid 6°C. Avgivningen minskar med 29 g/ko,h per °C.

### **Ytkondens**

Förekomsten av ytkondens på inre byggnadsytor beror av lufttemperatur och luftfuktighet i byggnaden, lufttemperatur utanför byggnaden (klimatzon) samt U-värde för vägg och tak. Figur 1 visar vilket U-värde som maximalt kan användas i tak och väggar för att undvika ytkondens. Exempelvis vid stalltemperaturen 5°C får U-värdet inte vara större än 1.23 W/m<sup>2</sup>K i klimatzon A (-10°C utetemperatur). Förändringen av linjernas lutning vid +10°C beror på valet av stalltemperatur och luftfuktighet som gjorts enligt djurskyddsföreskrifterna (L 100). För stalltemperaturer under +10°C ökar kravet på isolering med sjunkande stalltemperatur.



Figur 1. Värmegenomgångskoefficient,  $U_{\text{kondens}}$  (W/m<sup>2</sup>K), för att undvika ytkondens vid olika stalltemperaturer och dimensionerande utetemperatur enligt klimatzon A-E (SS 951050, 1993). Relativ luftfuktighet enligt djurskyddsföreskrifterna (DFS, 2004).

### Frostfrihet för golv

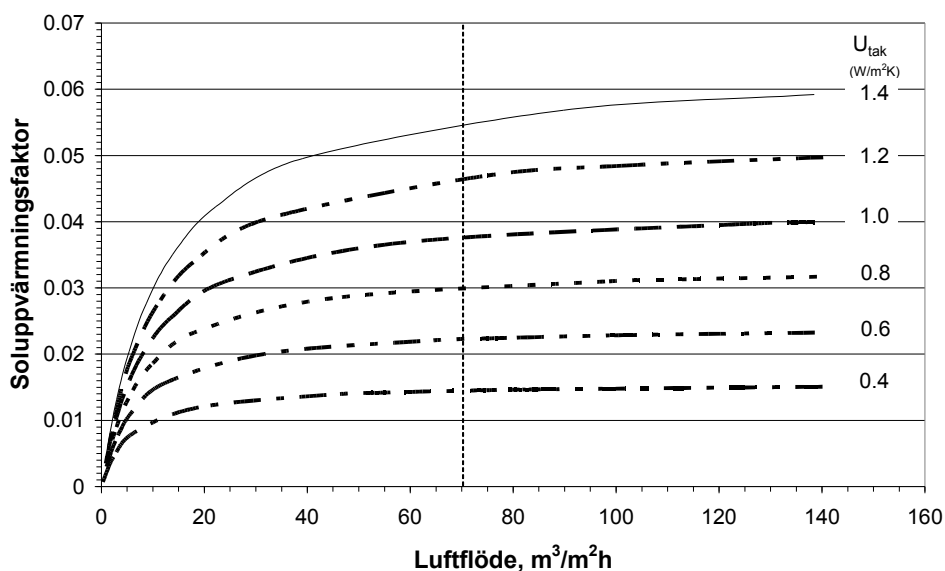
Förekomsten av frost i golvytan beror av lufttemperaturen i byggnaden, utetemperaturen (klimatzon A-E) samt golvkonstruktionens värmegenomgångskoefficient. Resultaten visar golvtemperaturen i yttre randfältet för en oisolerad golvkonstruktion med 100 mm golv tjocklek samt 150 mm dräneringslager ( $U_{\text{yr}} = 0.68$  W/m<sup>2</sup>K). Exempelvis blir det frost i golvytan vid 1°C stalltemperatur i klimatzon A (-10°C utetemperatur) och golvtemperaturen är strax över +3°C vid stalltemperaturen 5°C.

Beräkningar visar också att om utförandet av anslutningen mellan golv och vägg medför risk för köldbrygga ger isolering vertikalt utmed grundens utsida med 30 mm styrolit ingen frost i alla klimatzoner vid stalltemperaturen 5°C. Beräkningarna visar också att vägg med värmegenomgångskoefficient som förhindrar ytkondens även förhindrar köldbrygga som ger frost vid 5°C stalltemperatur (klimatzon A-E).

### Värmebelastning på grund av solinstrålning

Hur stor del av solinstrålningen mot ett byggnadsskal som övergår till värme i stalluften beror av U-värdet för tak, vägg och golv samt luftflödet genom byggnaden. Figur 2 visar hur soluppvärmningsfaktorn varierar med luftflödet genom byggnaden. Soluppvärmningsfaktorn definieras som den del av den horisontella solinstrålningen mot byggnaden som övergår till värme i byggnadens luftvolym. Exempelvis vid luftflödet 70 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h och  $U_{\text{tak}}$  1.2 W/m<sup>2</sup>K är soluppvärmningsfaktorn 0.045. Vid

solinstrålningen  $800 \text{ W/m}^2$  övergår då  $36 \text{ W/m}^2$  golvyta till värme i stalluften. För ett oisolerat byggnadsskal är soluppvärmningsfaktorn omkring 0.1 och för ett ljusgenomsläppligt material omkring 0.2. Beräkningarna gäller för parallelltak och byggnadsskal utan ljusgenomsläppliga material.



Figur 2. Soluppvärmningsfaktor för olika värmegenomgångskoefficienter för tak,  $U_{\text{tak}}$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ), beroende av luftflöde per kvadratmeter golvyta. Beräkningarna gjorda för  $U_{\text{golv}} = 0.3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  och  $U_{\text{vägg}} = U_{\text{tak}}$ .

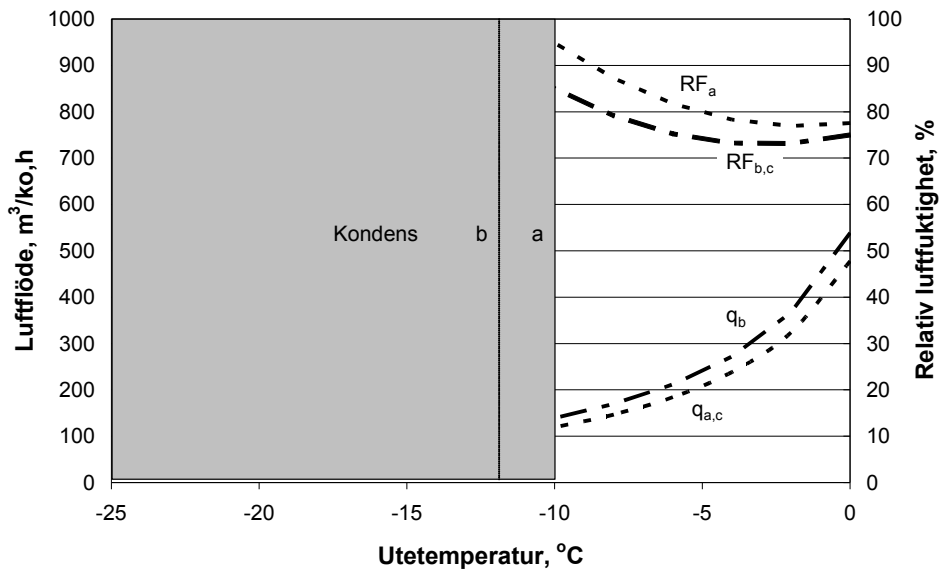
### Dimensionering och simulering av termiskt klimat i frostfri byggnad

Nedan beskrivs resultaten för klimatzon A och vid vald stalltemperatur på  $5^\circ\text{C}$ . Dimensioneringsberäkningar och simuleringar för samtliga klimatzoner finns i slutrapporten.

Vid beräkningar av det termiska klimatet i stallbyggnader upprätthålls värme-, fukt- och koldioxidbalans, dvs mängden värme, fukt och koldioxid som tillförs stalluften är lika med mängden som bortförs med ventilationsluften. Värmebalansen påverkas av tillförd värme från djuren mm, värmetransport genom byggnadsskalet och värmetransport via ventilationsluften. Fuktbalansen påverkas av fuktavgivning från djuren och fuktiga ytor i stallet, fuktransport med ventilationsluften och eventuell kondensering. Koldioxidbalansen påverkas av djurens och eventuellt gödselns koldioxidproduktion samt koldioxidtransporten med ventilationsluften. Vid stalltemperaturen  $5^\circ\text{C}$  krävs det  $140 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $q_f$ ) för att luftfuktigheten skall ligga på 85% RF,  $118 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $q_v$ ) för att stalltemperaturen skall vara just  $5^\circ\text{C}$  samt  $89 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $q_k$ ) för att koldioxidkoncentrationen skall vara vid 3000 ppm. Det aktuella luftflödet genom stallet som påverkar värme-, fukt- och koldioxidbalans är emellertid lika stort ( $q_v = q_f = q_k$ ). Dimensioneringsberäkningarna visar att vid stalltemperaturen  $5^\circ\text{C}$  behövs det antingen tillskottsvärme ( $0.11 \text{ kW}/\text{ko}$ ) eller avfuktning ( $0.085 \text{ kg}/\text{ko},\text{h}$ ) för att hålla fuktbalansen under 85% RF samt koldioxidbalansen under 3000 ppm vid  $5^\circ\text{C}$  stalltemperatur.

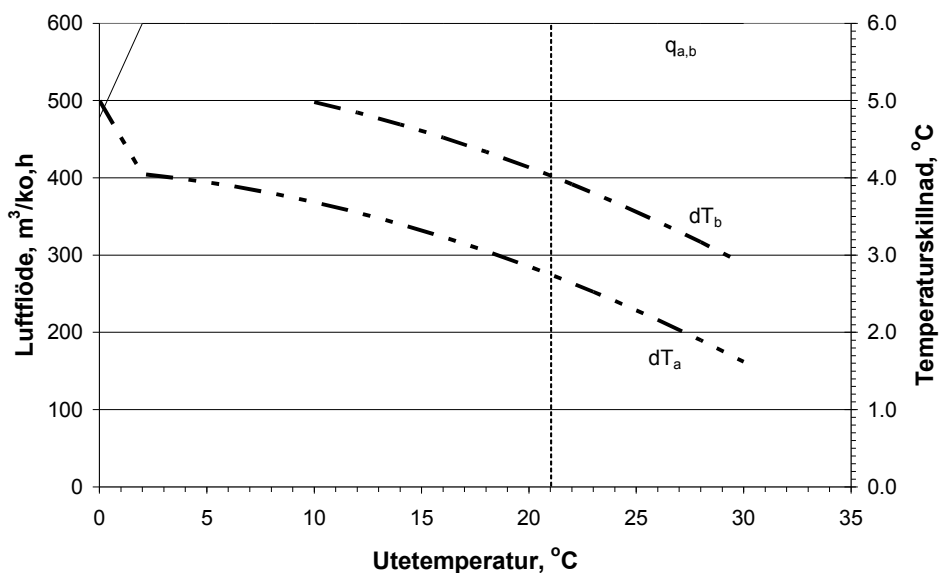
Följande två diagram visar simuleringar för en ligghall för 104 mjölkkor. Figur 3 beskriver hur RF och luftflödet varierar med sjunkande utetemperatur från 0 till  $-20^\circ\text{C}$ . Den streckade linjen ( $\text{RF}_a$ ) anger RF utan tilläggsvärme alternativt avfuktning, linjen ( $\text{RF}_{b,c}$ ) anger RF vid tilläggsvärme  $0.11 \text{ kW}/\text{ko}$  alternativt  $0.085 \text{ kg}/\text{ko},\text{h}$  avfuktning.

Lägre utetemperatur ger snabbt ökande RF samt kondens på tak- och väggytor. Kondens börjar bildas vid  $-10^{\circ}\text{C}$  utetemperatur om inte tilläggsvarme eller avfuktning sätts in. Med tilläggsvarme eller avfuktning enligt ovan börjar kondens att bildas vid  $-12^{\circ}\text{C}$  utetemperatur.



Figur 3. Luftflöde och relativ luftfuktighet beroende av utetemperatur i byggnad med U-värde  $0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (a) utan tilläggsvarme eller avfuktning; (b) med tilläggsvarme  $0.11 \text{ kW/ko}$ ; (c) med avfuktning  $0.085 \text{ kg/ko,h}$ .

Vid utetemperaturer över  $0^{\circ}\text{C}$  ökar stalltemperaturen över  $5^{\circ}\text{C}$  när utetemperaturen överskrider  $+2^{\circ}\text{C}$  (figur 4). Utan extra värmebelastning på grund av solinstrålning är temperaturskillnaden mellan inne och ute  $2.8^{\circ}\text{C}$  vid dimensionerande utetemperatur sommartid ( $t_{us} = 21^{\circ}\text{C}$ ). Med en horisontell solinstrålning på  $800 \text{ W/m}^2$  ökar temperaturskillnaden till  $4.0^{\circ}\text{C}$ . Beräkningarna har gjorts för ett maximalt luftflöde på  $600 \text{ m}^3/\text{h}$  genom stallet.





Figur 4. Luftflöde samt temperaturskillnad ( $T_{ute}-T_{inne}$ ) beroende av utetemperatur. Maximalt luftflöde  $600 \text{ m}^3/\text{ko,h}$ ,  $U_{byggnad} 0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$  samt horisontell solinstrålning  $800 \text{ W/m}^2$ .

## Diskussion och slutsatser

Den termiska djurmiljön var bra i de fem lösdriftsstallar där mätningar utförts. Hur mycket isolering det är i byggnadsskalet påverkar temperaturskillnaden mellan inne- och utetemperatur för stallet. Isoleringen påverkar alltså vid vilken utetemperatur det blir minusgrader i stallet och hur hög övertemperatur det blir under varma dagar. I det semi-isolerade stallet med automatisk reglering mot  $5^\circ\text{C}$  stalltemperatur vid låga utetemperaturer, var luftfuktighet hög vilket stämmer med teorin och simuleringarna.

Mätningarna i de fem stallarna samt simuleringarna av klimatet i semi-isolerade stallar ger inga resultat som pekar mot sämre termisk djurmiljö i frostfria stallar. Mjölkkor har stor tolerans mot låga omgivningstemperaturer men blir värmestressade redan vid  $21\text{-}25^\circ\text{C}$ . Ett semi-isolerat byggnadsskal ger lägre övertemperatur vid höga utetemperaturer än ett oisolerat byggnadsskal.

Den termiska arbetsmiljön i ett semi-isolerat stall är bättre än i det oisolerade stallet men något sämre än i det isolerade. Skillnaderna kan kompenseras med anpassad klädsel för de olika stalltyperna. Stora skillnader i termisk arbetsmiljö under ett arbetspass gör emellertid att det blir svårare att anpassa klädseln.

Ammoniak- och koldioxidkoncentrationen i de undersökta stallarna var under gränsvärdena för både djur och människa. Även koncentrationerna av respirabelt damm och totaldamm var under gränsvärdena. Normalt är det inga problem med luftföroreningar i isolerade och oisolerade mjölkstallar. Simuleringarna visar emellertid att det kan bli höga koldioxidkoncentrationer i semi-isolerade stallar vid låga utetemperaturer eftersom luftflödet stryps. Tilläggsvärme gör det möjligt att öka luftflödet.

Den uppmätta koldioxidproduktionen och fuktproduktionen är högre än SS 951050 och CIGR's beräkningsmodeller. Mjölkproduktionen i stallet där mätningarna utfördes låg i medeltal kring  $31\text{-}32 \text{ kg/dygn}$  och för den beräknade koldioxidproduktionen på  $25 \text{ kg/dygn}$ . Även efter en justering av mjölkproduktionen är den uppmätta koldioxidproduktionen ca  $50 \text{ l/ko,h}$  högre än den beräknade. Den totala värmeavgivningen har bestämts indirekt från mätningarna av koldioxidproduktionen vilket gör att även den uppmätta totala värmeavgivningen är högre än den beräknade. Den uppmätta fuktavgivningen motsvarar CIGR's beräkningsmodeller vid  $15^\circ\text{C}$  men är vid  $6^\circ\text{C}$  ungefär  $0.1 \text{ kg/ko,h}$  högre. Att både uppmätt koldioxidproduktion och fuktavgivning är högre än CIGR's beräkningsmodell kan betyda att de teoretiska ekvationerna ger något låga värden jämfört med verkligheten.

De värden på värmeavgivning, fuktavgivning och koldioxidproduktion som idag används vid dimensionering av ventilation i isolerade mjölkstallar gäller för en dimensionerande innetemperatur vintertid av  $12^\circ\text{C}$  (SS 951050, 1993). Vid en sänkning av innetemperaturen ökar kons värmeavgivning och koldioxidproduktion samtidigt som fuktavgivningen minskar. Mätningarna visar att fuktavgivningen från stallen minskar med ca  $0.2 \text{ kg/ko,h}$  vid en sänkning av innetemperaturen från  $12^\circ\text{C}$  till  $5^\circ\text{C}$ . Detta överensstämmer med CIGR's ekvationer för fuktavgivning.

Vid en sänkning av innetemperaturen minskar samtidigt luftens vattenupptagande förmåga. Förutom innetemperaturen påverkas den vattenupptagande förmågan av utetemperaturen samt luftfuktigheten både inomhus och utomhus. Vid den dimensionerande utetemperaturen  $-10^{\circ}\text{C}$  behövs det ca  $100\text{ m}^3/\text{h}$  extra luftflöde för att ventileras ut  $1\text{ kg/h}$  om innetemperaturen sänks från  $12^{\circ}\text{C}$  till  $5^{\circ}\text{C}$ . Trots minskningen i fuktavgivning med preliminärt  $0.2\text{ kg/ko,h}$  krävs det ändå ett ökat luftflöde för att få ut tillräcklig mängd fukt.

Dimensioneringarna visar att tilläggsvärme och/eller avfuktning krävs i stallarna för samtliga klimatzoner. Om inte tilläggsvärme och/eller avfuktning sätts in stallet kommer RF och koldioxidkoncentrationen överstiga djurskyddsbestämmelsernas krav vid högre utetemperatur än dimensionerande utetemperatur vintertid och det blir oftare problem med ytkondens.

Kostnadsberäkningarna visar att de semi-isolerade byggnadsskalen ( $0.8$  och  $1.2\text{ W/m}^2\text{K}$ ) har ungefär 15% lägre kostnad än det isolerade byggnadsskalet och 20% högre kostnad än det oisolerade. Skillnaden mellan oisolerat och isolerat byggnadsskal ligger till viss del på själva isoleringen (inkl arbete) men också på att det för väggarna krävs en innerbeklädning (inkl arbete) som skyddar isoleringen och som är tvättbar. I taket ställs inte samma krav på tvättbarhet och innerbeklädningen kan vara enklare. Själva isoleringen är en liten kostnad vilket också inses av en mycket liten skillnad mellan byggnadsskal med U-värde  $0.8$  och  $1.2\text{ W/m}^2\text{K}$ . Skillnaden mellan semi-isolerade byggnadsskal och ett konventionellt värmeisolerat byggnadsskal (SS 951050, 1993) är förutom mer isoleringsmaterial en fuktspärr (inkl arbete) i väggar och tak samt en vanlig innerbeklädning i tak i form av innertakplåt (TRP-20).

## **Publikationer och resultatförmedling**

Preliminära resultat presenterades vid Alnarps Mjölkdag 2003. En slutrapport kommer att tryckas och publiceras i JBT's rapportserie under hösten. Samtidigt kommer ett pressmeddelande att skickas ut och en populärvetenskaplig artikel att skrivas för publicering i facktidskrifter. Planer finns också att publicera en vetenskaplig artikel om värme-, fukt-, och koldioxidproduktion från mjölkkor.

Jeppsson, K-H. 2003. Bygg kallt eller varmt eller mitt emellan. Alnarps mjölkdag 6 februari 2003, Inst. för jordbrukets biosystem och teknologi. SLU. Alnarp.

Jeppsson, K-H. 2005. "Frostfria stallar" för mjölkproduktion. Rapport, Inst. för jordbrukets biosystem och teknologi. SLU. Alnarp. (manus)