

Slutrapport SLF

projekt nr, H0940300-K00

Effektivare utnyttjande av energi och kapital på mjölkgården genom integrerad mjölkkyllning och bostadsuppvärmning

Författare

Emelie Karlsson

Torsten Hörndahl

Ola Pettersson

Roger Nordman

JTI-Institutet för jordbruks och miljöteknik

SLU- LBT, Alnarp

SP, System- och installationsteknik

Innehåll

Bakgrund	3
Energipotential från Mjolkproduktion	4
Var finns överskottet?	4
Mjölkkylning	4
Att utnyttja kylkompressorn till mer än mjölkkylning.....	4
Integrerat system för kylning av mjölk och uppvärmning av bostaden.....	4
Material och metoder	6
Resultat.....	6
Resultatdiskussion.....	7
Slutsats	9
Publikationer	9
Referenslista.....	10
Övrig resultatförmedling till näringen.....	10

Bakgrund

Den energi (el och diesel) som används i stallet vid mjölkproduktion har i studier (Hörndahl, 2008, och Neuman, 2009) uppskattats till mellan 0,125-0,333 kWh/ kg mjölk. Medelvärde för båda undersökningarna är 0,154 kWh/kg mjölk och mycket tyder på att det är ett fåtal företag som drar upp medelvärdet kraftigt. Om detta medelvärde används skulle en gård med 70 kor (9000 kg mjölk/ko och år) använda 97 020 kWh/år.

Den elenergi som används är i medeltal mellan 122-131 Wh/ kg mjölk (79-85%) varav 38-69 Wh/kg mjölk (25-45%) används till mjölkning, diskning och kylning (bearbetning av Neuman (2009) och Hörndahl (2008)). Energimätningar på två gårdar (Hörndahl, 2008) anger att 34-38 % av detta används till kylning av mjölken och ca 5 % användes till varmvatten. Resterande 57-61 % används till att driva vakuumpump m.m.

Utöver den energi som köps in i form av diesel och el omvandlar djuren tilldelat foder till:

- sensibel värme (strålning, konvektion). Den kallas ofta "Fri värme" (P_{fri})
- värme för evaporation (avdunstad vattenånga från hud och andningsorgan). Denna kallas ofta för "Bunden värme" (P_{bunden})
- mjölk inkl värme
- värmeenergi i gödsel och urin
- tillväxt t.ex. ny kalv när kon är dräktig eller unga djur som växer.)

Totalt avgiven effekt ($P_{\text{fri}} + P_{\text{bunden}}$) från djuren är beroende av produktionsnivå, djurets vikt och eventuell tillväxt. Däremot är fördelningen mellan "Fri" och "Bunden" värme olika beroende på omgivningens temperatur. Mest Fri värme erhålls vid låg omgivningstemperatur.

För att uppfylla kraven på luftkvalitet i djurskyddslagstiftningen är det inte möjligt att utnyttja den "fria värmen" till något annat än att värma ingående ventilationsluft (SS 951050 och SS 951051). Däremot kan man i stallar med mekanisk ventilation ta vara på en del av energin i utgående ventilationsluft. I stallar med naturlig ventilation saknas för närvarande teknisk lösning för detta.

Tekniken för mjölkkyllning bygger på att en kompressor pumpar köldmediet runt i en krets där man kyler i en del (mjölk tanken) och överskottsvärmen avges i en kylkondensator med fläkt till omgivningsluften.

För att slippa fläkta bort överskottsvärmen kan man gå olika vägar. Det ena är att sänka ingående temperaturen på mjölken eller att hitta ett system där överskottsenergin faktiskt tas till vara till uppvärmning av varmvatten eller uppvärmning. Det är också möjligt att kombinera förkylning av mjölken med tillvaratagande av överskottsvärmen.

En annan dimension på mjölkkyllningen är hur denna överskottsvärme är fördelad över dygnet. Här måste man skilja på system med mjölkningsrobot som har en jämnare fördelning av kylbehovet jämfört med konventionell mjölkning där kylbehovet är koncentrerat till mjölkningstillfället. (Hörndahl, 2008)

Energipotential från Mjolkproduktion

Var finns överskottet?

Mjölkföretagen använder diesel för att driva truckar och traktorer samt el till olika motorer för pumpning, kylning, foderberedning m.m. Både diesel och el är sådana energibärare som är flexibla och kan användas till många olika saker. Vid alla processer uppstår värme men detta överskott är inte alltid lätt att ta till vara. Vid mjölkproduktion finns teknik för att ta till vara värmen i mjölken endera direkt via värmeväxlare eller indirekt via överskottsvärmen från kylmaskinen. Det finns även teknik för att ta energi från ventilationsluft eller djurens gödsel.

Mjölkkylning

Med ett enkelt räkneexempel framgår att det är mycket värmeenergi som i många fall endast fläktas bort vid kylning av mjölken. När mjölken lämnar kon håller den ca 37°C och ska sedan kylas till max +4°C inom tre timmar, då mjölken går via rörledningar till kyltanken hinner den kylas på vägen och i tanken behöver mjölken kylas ca 30°C. Om kon producerar 9000 kg mjölk per år som ska kylas (Δt) 30°C och med en värmekapacitet för mjölk om 3,9kJ/kg(C.E. Danielsson 1998) skulle man teoretiskt kunna erhålla 293 kWh/ko och år (0,80 kWh/ko, dag), dessutom tillkommer energin som tillförs från kylkompressorn.

En annan sak att notera är att driftscykeln och effektbehovet för mjölkkylning skiljer sig beroende på om korna mjölkas konventionellt eller automatiskt (robot). Vid konventionell mjölkning uppstår en toppbelastning i samband med mjölkningen.. På en gård med automatisk mjölkning är det ett mera jämt energibehov under hela dygnet.

Ur återvinnings synpunkt är det bättre med automatisk mjölkning eftersom man då kan ha mindre ackumulatortank i och med att det kommer ett värmetillskott över hela dygnet.

Att utnyttja kylkompressorn till mer än mjölkkylning

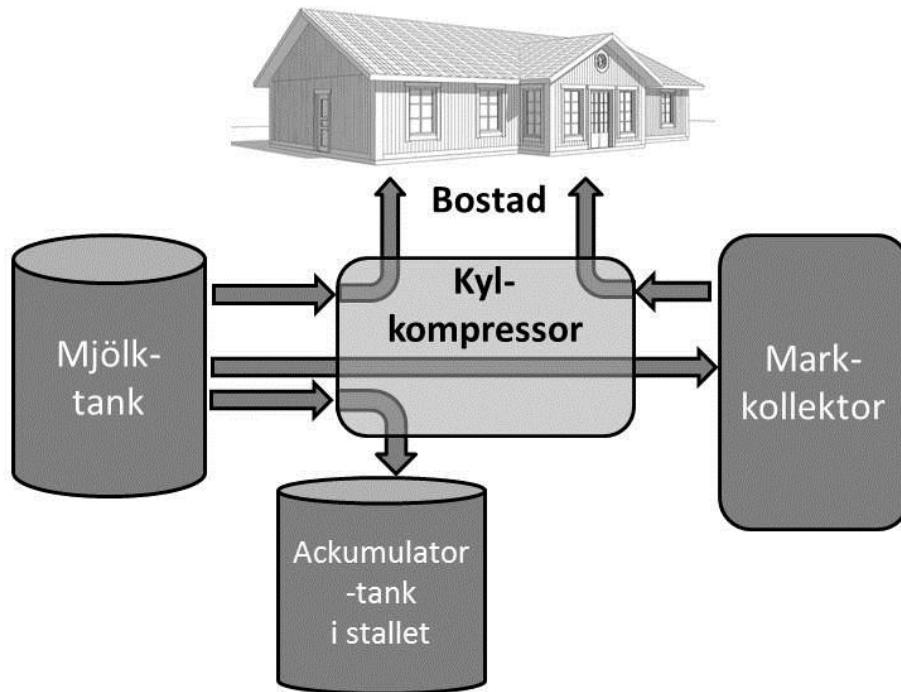
Gårdens kylanläggning är dimensionerad för att klara av att kyla mjölken inom föreskriven tid efter varje mjölkning. Vid konventionell mjölkning går kylmaskinen på maxeffekt under max 3 timmar. Därefter går bara kylanläggningen mycket lite, vilket skulle ge möjlighet att använda den som en värmepump för uppvärmningsändamål under övrig tid. Detta skulle kunna vara intressant även om mjölkvärmen inte räcker till att värma gårdens bostad till fullo. För att detta ska fungera krävs ytterligare en värmekälla till kylanläggningen/värmepumpen under de perioder då värmen inte tas från mjölken. Detta skulle kunna vara en kollektorslang i marken, luftvärmeväxlare eller ett borrhål på samma sätt som används till konventionella villavärmepumpar. Användningen av kylanläggningen till bostadsuppvärmning kommer ofrånkomligt att kräva mer el. Det är dock möjligt att man utifrån ett systemperspektiv får en effektivare energianvändning och bättre utnyttjande av kapitalinvesteringar för lantbrukaren. Även på gårdar med automatisk mjölkning (mjölkingsrobot) kan ett sådant här system vara aktuellt med mindre modifieringar.

Integrerat system för kylning av mjölk och uppvärmning av bostaden.

Dansk Värmepumpeindustri A/S (DVI) har tagit fram ett koncept där kylning av mjölken och uppvärmning av bostaden är ett system. Systemet består av en värmepump som kan ta energi endera från mjölken i samband med att den kyls, eller från en nedgrävd mark-kollektor. I systemet ingår även ackumulatortankar som via värmeväxlare kan förvärma tappvarmvatten i stallet. Mellan dessa enheter cirkulerar värmebärare som styrs så att önskad funktion erhålls. Prioriterat är att kyla mjölken till önskad temperatur. Värmen från kylningen av mjölken kan gå tre vägar (se figur 1):

- till ackumulatortanken för att användas i stallet

- till bostaden och användas till uppvärmning och/eller varmvatten
- till markkollektorn för att avge värme till marken



Figur 1. Schematisk illustration av system för kylning av mjölken där värmen sedan används till varmvatten i stallet eller till uppvärmning av bostaden. Bild av hus tillhandahållen av Sävsjö Trähus AB, Lennart Björkman

Det finns i huvudsak tre driftsfall men alla bygger på att hålla maxtemperatur i ackumulatortanken:

1. Mjölken behöver kylas och bostaden behöver inte värme
Värmen från mjölkkyllningen går till ackumulatortanken och överskottet går sedan till markkollektorn och avges till marken.
2. Mjölken behöver kylas och bostaden behöver värme.
Värmen från mjölkkyllningen går till ackumulatortanken och överskottet går sedan till bostaden
3. Mjölken behöver inte kylas men bostaden behöver värme
Energi till bostadsuppvärmning tas från markkollektorn med hjälp av kylkompressorn dvs. som en vanlig värmepump.

I driftsfall 1 avges värme till marken, och marktemperaturen blir sannolikt högre än vad som annars skulle ha varit fallet. Förlusterna till omgivning beror på markförhållandena (jordart, vattenflöde etc) men är sannolikt stora så när energin behöver tas från marken till bostaden är

sannolikt den kvarstående temperaturhöjningen mycket liten. Det ekonomiska värdet av detta blir dock mycket blygsamt och stannar på några hundra kronor över ett år. Enligt DVI A/S kan man inte räkna någon ekonomisk vinst av detta. Den stora fördelen med systemet är att kylkompressorn arbetar mot en lägre temperatur även under varma sommardagar genom att använda marken som mottagare av överskottsvärme.

Dimensionering av systemet måste, som för alla andra system, ske enligt principen om att finna det mest effekt- eller energikrävande momentet. DVI A/S väger här in om det är konventionell mjölkning eller mjölkning med robot. Vid robotmjölkning sker flödet av varm mjölk under en lång tid men det uppkommer en effekttopp efter att diskning av mjölkningssystemet skett. Ackumulerad mjölk samlas då upp i en bufferttank under tiden diskningen sker. Den måste därefter kylas ner på en kortare tid för att klara gällande hygienkrav. Det blir dessa perioder av högre kylbehov som blir dimensionerande.

DVI A/S rekommenderar att mjölken för-kyls med vatten innan det når mjölktanken. Ett sådant system uppskattas halvera elförbrukningen för kylkompressorn. I Danmark har brunnsvatten ett högre värde jämfört med Sverige. Därför lyfter DVI A/S fram ett alternativ där man endast för-kylar mjölken med brunnsvatten när effektbehovet är som störst. Då kan man köpa en mindre kylmaskin samtidigt som vattenförbrukningen blir begränsad. Enligt DVI A/S beräkningar kan kylanläggningens toppeffekt minskas med ungefär 30% i ett sådant system. Dessutom minskar elförbrukningen till kylningen av mjölken.

På samma vis kan man resonera när värme och kylanläggningen skall dimensioneras mot bostadens värmebehov. Den bästa ekonomin fås om investeringen får styras av ladugårdens behov och kapacitet. Detta kan få konsekvensen att bostadshuset kommer att behöva ett ytterligare tillskott av värme i januari och februari då effektbehovet är störst.

DVI har valt att inte arbeta aktivt på den svenska marknaden.

Material och metoder

Denna rapport bygger på litteraturstudier, studiebesök samt egna mätningar på två gårdar i Västergötland. En gård med robotmjölkning och en gård med konventionellt mjölkningssystem. Gården med robotsystem har även ett system för värmeåtervinning från mjölkylanläggningen till bostadsuppvärmning. Med en kombination av dessa data som ingång har beräkningar och simuleringar utförts i syfte att finna brytpunkter för tillförd energi och effekt. Beräkningar har även gjorts rörande olika systems påverkan på utsläpp av växthusgas samt systemens ekonomiska förutsättningar. Detaljerade resultat och analyser finns presenterade i JTI-rapport nr 401. Energiåtervinning från mjölkkyllning.

Resultat

Vid investering i ett nytt värmesystem är det ekonomiskt försvarbart att investera i en anläggning för värmeåtervinning till bostadshus under antagna förhållanden. Högre energibehov i bostaden ger bättre lönsamhet så länge tillräckligt med energi finns tillgänglig medan längre avstånd och svåra markförhållanden kan öka kulvertkostnaden markant.

Utsläppen av växthusgaser för ett system med värmeåtervinning från en mjölkylanläggning är låga i förhållande till andra värmepumpsystem till följd av att den el som används för att

driva värmepumpen/kylanläggningen används för kylning av mjölk vilket måste ske oberoende av bostaden. Utsläppen anses därför härröra från kylningen av mjölk. Även i jämförelse med oljeeldning och direktverkande el är utsläppen låga. Då träbränsle anses koldioxidneutralt ger värmeåtervinning högre utsläpp än pellets pannan vid jämförelse med nordisk elmix och marginalet. Används grön el har värmeåtervinningen lägre utsläpp även i jämförelse med pellets pannan.

Resultatdiskussion

Tidigare undersökningar har visat att energianvändningen i stallet vid mjölkproduktion uppskattats till mellan 0,125-0,33 kWh/kg mjölk på svenska mjölkföretag. Traktorer och lastmaskiner används i stor utsträckning och är stora förbrukare av energi men det har inte gått att hitta kommersiella system för att ta tillvara spillvärme från dessa. Däremot finns många andra källor där energi kan återvinnas vid mjölkproduktion t ex från mjölk, ventilationsluft eller gödsel. Värmeenergin från gödseln kan tas om hand genom att lägga slangar i gödselrännorna. Dessa system ger låg temperaturhöjning och är därför mindre intressanta om de inte används tillsammans med en värmepump.

För bostäder och industrier är det vanligt att ta vara på energin i frånluften. I stall för mjölkkor är det teoretiskt möjligt att utnyttja en del av kornas värmeavgivning genom att kondensera ut fukt och därigenom kunna sänka ventilationsflödet till kravet för att klara 3000 ppm CO₂. I Danmark marknadsförs system där man använder energin i frånluften som ”varma” sidan i en värmepump. Ett liknande system såldes även i Sverige tidigare, men är idag borta från marknaden pga skatteregler och att mekanisk ventilation inte längre är vanligt i stallar för mjölkkor. Det saknas kommersiell teknik för energiåtervinning vid naturlig ventilation.

Det som enligt denna studie har störst energiåtervinningspotential är att ta tillvara värmen från mjölken. Ett relativt enkelt sätt är att för-kyla mjölken genom att värma inkommande vatten. Vilken sluttemperatur som erhålls, påverkas av vattenflödet, men sluttemperaturen kan aldrig bli högre än temperaturen hos mjölken. Det är vanligt att anläggningen justeras så att flödet av vatten är samma som flödet av mjölk det vill säga förhållande 1:1. Överslagsmässigt kan man räkna med att vattnets temperatur ut från värmeväxlaren kommer att vara 17-18°C. Den låga temperaturen gör att användningsområdet är begränsat till frostskydd eller förvärmning av dricksvatten. Fördelen med detta är att kylkompressorn används mindre vilket sparar elenergi. En annan fördel är att temperaturen i kyltanken inte varierar lika mycket vilket är positivt för mjölk kvalitén. Ett problem med dessa typer av system är att möta olika rytmer av flöden som kan uppstå mellan mjölk tillförsel och vattenförbrukning. Vissa specialarrangemang kan komma att behövas.

En enklare lösning är att låta dricksvatten gå genom värmeväxlaren och acceptera den kylning som erhålls då korna ändå dricker. Det senare systemet passar sannolikt bäst i stallar med automatisk mjölkning eftersom flöde av mjölk sker under en större del av dygnet. Man kan dock inte utesluta att systemet skulle fungera i stallar med manuell mjölkning eftersom korna dricker mest i samband med att de blir mjölkade.

För att erhålla högre temperatur till uppvärmning av vatten till disk etc. kan man ta vara på överskottsvärmen från kylning av mjölken vilket kan ge temperaturer upp till 50°C. Erhållen temperatur bestäms av hur anläggningen är justerad eftersom kylkompressorn får sämre verkningsgrad om man tar för mycket energi före kondensorn. För att säkerställa god vattenkvalité krävs att vattnet håller minst 65°C, och vid diskning av mjölk anläggning krävs minst 80°C. Detta gör att endast en del av uppvärmningen av varmvatten kan täckas med överskottsvärme, men beräkningar visar att redan vid 50 kor finns ett överskott på ca 12 000

kWh/år som bara fläktas bort. Detta överskott kan minskas till hälften (5 300 kWh) om man kyler ingående mjölk till 18°C med hjälp av ingående vatten som beskrivits ovan.

Om inte avståndet är för långt mellan bostad och kylmaskin skulle det vara möjligt att använda det lågtempererade vattnet (ca 50°C) i bostaden till tappvarmvatten och uppvärmning. Behovet av tappvarmvatten är relativt konstant både i bostaden och i mjölkproduktionen men måste värmas till minst 65°C med annan energi t ex el. Energibehovet för uppvärmning i bostaden är beroende av utomhustemperaturen. Normalt krävs ingen uppvärmning när den är över +5-10°C.

Resultatet från denna studie visar att det krävs ca 1 500 m³ mjölk per år vilket motsvarar ca 160 kor (9200 kg/ko, år) för att klara både uppvärmning och förvärmning av varmvatten för bostaden. Dessa beräkningar utgår från ett ”medel”-hus i Sverige där avståndet mellan mjölkkrum och hus är 100 m. Energin förs över med en välisolerad värmekulvert. Beräkningarna baseras på klimatdata och bostadsyta. Detta ska tolkas så att lika mycket mjölk värmer olika många kvadratmeter beroende på var i landet man är.

Skillnaden i energiförbrukning för uppvärmning är ca 60 % högre i Luleå jämfört med Lund för en ett hus på 150 m² byggt mellan 1976-1990. Även skillnad i byggnadsår påverkar. Om man jämför ett hus byggt 1976-1990 med ett som är byggt 2008-2009 skiljer det 16-40 % i uppskattat energianvändning. Den högre siffran är för Luleå och den lägre för Lund. Flertalet byggnader på landsbygden har sitt ursprung i ännu äldre byggnader. I många fall har de dessutom större byggnadsyta än ”normalvillan” vilket i så fall medför att energibehovet har underskattats mycket. Det kommer därför att krävas mer mjölk för att kunna värma bostaden.

Beräkningarna visar att det alltid finns tillräckligt med energi för att förvärma stallets tappvarmvatten till 50°C. Om temperaturen på mjölken in i kyltanken sänks från 30°C till 18°C kommer tillgänglig energimängd till bostaden i stort sett att halveras.

En viktig del av analysen är om energin i systemet klarar s.k. ”köldknäppar”. Det är just toppeffekten som gör att det krävs relativt många kor. Vid 50 kor kan ca 44 % av energin för värme och varmvatten i bostaden ersättas med ”gratis” värme från kornas mjölk. Beräkningar visar att årskostnaden är 30-40 % billigare jämfört med olika värmepumpar eller pelletspanna även om man räknar in värmeförluster i kulverten. Det krävs dock en stor investering för att kunna utnyttja energin i bostaden, men vid gynnsamma förhållanden t ex kort avstånd kan det ändå vara intressant att undersöka om det är lönsamt att utnyttja överskottsvärmen från mjölkkyllning, och komplettera med el eller fastbränsle för att klara de kallaste perioderna. Det kan även vara lönsamt om det är möjligt att utnyttja en befintlig fastbränsleanläggning i bostaden.

Förlusterna som uppstår i kulverten är långt ifrån försumbara. I studien har dessa uppskattats till mellan 1920 och 5760 kWh beroende på om energin förs över till bostaden i intervaller (lägre) eller i kontinuerligt (högre). I räkneexemplet ovan var förlusterna ca 30 % och vid mindre överförd energimängd kommer därför förlusterna att utgöra en större andel.

System med värmeåtervinning måste innehålla en ackumulatortank som buffert. Den mest effektiva lösningen är troligen en tank med värmeslinga som förvärmer vattnet som ska bli varmvatten. Utan att några beräkningar utförts är det rimligt att anta att det borde krävas en mindre ackumulatortank vid automatisk (robot) mjölkning eftersom kylkompressorn går under en stor del av dygnet. Samma förhållanden torde råda när man har ett system med isbank.

Det är viktigt att systemet är korrekt dimensionerat och uppbyggt. I projektet har framkommit exempel som visar betydelsen av detta. Temperaturen på vattnet som gick till bostaden var lägre än den som kom tillbaka vilket tyder på att varmvattenberedaren i bostaden värme vattnet i stallet istället för tvärt om. Sannolikt beror detta på felaktig uppbyggnad.

Systemet som utvecklats av DVI A/S där man tagit värmeåtervinning ett steg längre, skulle vara intressant att utvärdera noggrannare. Framförallt vore det intressant att studera hur mycket högre temperaturen blir i kollektorslangen tack vare att den vid behov tjänar som värmesänka.

Om man mäter miljöbelastningen i CO₂-ekvivalenter är systemet med värmeåtervinning från mjölk bättre än övriga system med värmepump och likvärdigt med pellets om man använder el producerad som ”nordisk elmix” eller ”grön el”. Ingen jämförelse har gjorts med annat fastbränsle.

Slutsats

Det är alltid lönsamt att sänka temperaturen i mjölken så mycket som möjligt genom förkylning av mjölken före mjölktanken eftersom det spar både elenergi och gör att mindre kyleffekt krävs.

Kylningen av mjölken avger tillräckligt med energi för att klara djurstallets behov av uppvärmning samt räcker även till att förvärma tappvarmvatten i alla studerade gårdstorlekar.

Det krävs 1 500 m³ mjölk per år för att klara hela årsbehovet av energi för värme och varmvatten för en medelbostad i Sverige. Det krävs mera mjölk om bostaden är äldre, större eller ligger i norra Sverige.

Det är lönsamt att utnyttja överskottsvärmen för uppvärmning av bostaden om mjölkkyllningen ger nödvändig effekt och mängd energi, trots att man måste bygga 100 m värmekulvert.

Förlusterna i värmekulverten till bostadshuset är inte försumbara och måste finnas med i bedömningen av om det är lönsamt att utnyttja överskottsvärme från kylmaskinen till värme och varmvatten i bostaden. Förlusterna kan minskas om vattnet i kulverten cirkulerar kortare tid.

Publikationer

En JTI-rapport, Energiåtervinning från mjölkkyllning, lantbruk & Industri nr 401, har tagits fram inom projektet, där redovisas bakomliggande siffror och beräkningar vilka ligger till grund för resultaten i denna rapport.

En rapport över mätningar som utförts på två gårdar i Västergötland har tagits fram inom projektet.

I anslutning till detta projekt har ett examensarbete utförts. Det är Emelie Karlsson, studerande vid Civilingenjörsprogrammet i Energisystem vid Uppsala universitet och SLU, som presenterade sitt arbete i juni 2011. ”Potential för värmeåtervinning från mjölkkylla”

En kalkyl i Excel är framtagen för att beräkna värmepotential till extern fastighet.

Referenslista

C.E. Danielsson, B. H., 1988, Livsmedel, vol 1, sid 186-187

Hörndahl, Torsten, 2008. Energy Use in Farm Buildings - A study of 16 farms with different enterprises, Revised and translated edition. Rapport 2008:8 Fakulteten för landskapsplanering, trädgård och jordbruksvetenskap. Alnarp

Neuman, Lars, 2009, ”Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008”, Rapport, LRF-konsult

Svensk Standard, 1992. SS 95 10 50 Lantbruksbyggnader – Ventilation, uppvärmning och klimatanalys i värmeisolerade djurstallar – Beräkningsregler.

Svensk Standard, 1992. SS 95 10 51 Lantbruksbyggnader – Ventilation, uppvärmning och klimatanalys i värmeisolerade djurstallar – Tillämpningar.

Övrig resultatförmedling till näringen

Till detta projekt har en referensgrupp varit engagerad. Denna grupp har bestått av:

Björn Johansson, Delaval

John-Erik Johansson, lantbrukare och aktiv inom Dairy Energy Geronimo

Anders Ehrlemark, Sveaverken

Lars Neuman, LRF konsult

Jan Eksvärd LRF

Anna-Karin Modin Edman, Svensk Mjök