

# Konvertering av mjölk tankars kylsystem för värmeåtervinning

---

*En studie med syftet att effektivisera kylsystem och reducera energianvändningen vid mjölk kylning*

---



Stipendiat:

Mattias Dahlberg,  
Civilingenjör inom Kyl- och Värmepumpsteknik vid KTH

## Sammanfattning

Årligen produceras det omkring tre miljoner ton mjölk i Sverige, varvid en tredjedel av denna mängd blir till konsumtionsmjölk. Bara i Sverige finns det omkring 350 000 mjölkkor vilket medför ett genomsnitt på ca 70 kor per mjölkgård. En mjölkko mjölkar omkring 25 liter per dygn men mängden mjölk som kon producerar varierar och beror på flera faktorer. Efter det att korna har mjölkats så måste den varma mjölken kylas. Mjölken måste sedan bevaras kall för att bibehålla kvalitén fram tills dess att den konsumeras som dryckesmjölk eller blir till en mejeriprodukt av något slag.

För att kyla mjölken används traditionellt en mjölkkytank med tillhörande kylsystem. Efter det att mjölken kylts till en temperatur under 4°C måste mjölktemperaturen bevaras vid denna nivå. Vid kylning av mjölken alstras även en hel del värme. Nya mjölkkytankar är oftast konstruerade med en funktion för återvinning av värmen från kylsystemet. Detta sker vanligen med en hetgasvärmväxlare. Däremot är det långt ifrån alla bönder som har en ny mjölkkytank med en färdig lösning för att återvinna värmen från kylprocessen. Detta dokument beskriver förutsättningarna för att konvertera mjölkkytankar till att inkludera värmeåtervinning. Studien har genomförts med utgångspunkt från fältbesök där olika mjölkgårdar har besökts. Utifrån detta har sedan värmebehovet för respektive gård kartlagts. Slutligen så har olika systemlösningar presenterats som gör det möjligt för varje enskild mjölkgård att återvinna värmen från kylsystemet och använda den till värmebehovet på gården.

Som det framkommit ifrån fältbesöken så varierar förutsättningarna för värmeåtervinning. Det kan däremot konstateras att värmeåtervinning i dagsläget inte används i någon större utsträckning även om förutsättningarna är goda. Vanligen används direktverkande el som alternativ för att värma vatten till rengöring och uppvärmning. Från investeringskalkylerna framgår det att återbetalningstiden för en investering, som medför ett funktionellt återvinningssystem, är mindre än 5 år.

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>INTRODUKTION .....</b>	<b>5</b>
1.1	MJÖLKPRODUKTIONEN I SVERIGE OCH VÄRLDEN .....	5
1.2	TRADITIONELL MJÖLKNING OCH ROBOTMJÖLKNING .....	5
<b>2</b>	<b>ENERGIANVÄNDNING PÅ EN MJÖLKGÅRD .....</b>	<b>7</b>
2.1	KYLNING AV MJÖLK .....	7
2.2	MJÖLKKYLTANKEN .....	7
2.2.1	<i>Kylsystemet</i> .....	9
2.2.2	<i>Värmeåtervinning</i> .....	9
2.3	VÄRMEBEHOV PÅ GÅRDEN.....	11
2.3.1	<i>Diskning och rengöring</i> .....	11
2.3.2	<i>Dricksvatten och frostskydd</i> .....	14
2.3.3	<i>Kontor, personalrum och omklädningsrum</i> .....	14
2.3.4	<i>Uppvärmning av bostadshuset</i> .....	14
<b>3</b>	<b>FÄLTSTUDIER – HUR SER VERKLIGHETEN UT?.....</b>	<b>16</b>
3.1	MJÖLKGÅRD #1 – NYKÖPING .....	16
3.2	MJÖLKGÅRD #2 – JÄRNA .....	20
3.3	MJÖLKGÅRD #3 – TYSTBERGA .....	22
3.4	SAMMANFATTNING AV FÄLTSTUDIER .....	24
<b>4</b>	<b>KONVERTERING TILL VÄRMEÅTERVINNING .....</b>	<b>25</b>
4.1	TEKNIK FÖR VÄRMEÅTERVINNING.....	25
4.2	SYSTEMFÖRSLAG OCH EKONOMI .....	28
4.2.1	<i>Systemalternativ 1 – Förvärmning av vatten till diskning och rengöring</i> .....	28
4.2.2	<i>Systemalternativ 2 – Värmning av vatten för uppvärmning av lokaler</i> .....	29
4.2.3	<i>Systemalternativ 3 – Kombinerad värmning av vatten för rengöring och uppvärmning</i> .....	29
4.2.4	<i>Ekonomi och lönsamhet vid konvertering till värmeåtervinning</i> .....	30
4.2.5	<i>Summering</i> .....	32
<b>5</b>	<b>REFERENSER.....</b>	<b>33</b>

## FIGURFÖRTECKNING

Figur 1-1: Figuren visar hur den årliga kvantiteten mjölk och antalet mjölkbönder varierat under perioden 2000-2011. ....	5
Figur 1-2: En robot utgörs av ett avancerat system som kan utföra alla de sysslor en bonde annars behöver utföra manuellt vid mjölkning. ....	6
Figur 2-1: Figuren illustrerar ett kylförlopp vid kylning av mjölk. ....	7
Figur 2-2: Stående mjölkttankar från tillverkarna Wedholms (t.v.) respektive DeLaval (t.h.) med en volym från 200 liter upp till 2000 liter. ....	8
Figur 2-3: Mjölkkylttankar från tillverkarna Wedholms (t.v.) respektive DeLaval (t.h.). ....	8
Figur 2-4: Kylsystemet till mjölkkylttank tillverkad av Wedholms. ....	9
Figur 2-5: Till vänster i figuren ses ett värmeåtervinningssystem från Wedholms. T.h en pump från Wilo. ....	9
Figur 2-6: En mjölkkylttank med värmeåtervinning kopplad till en ackumulatortank. ....	10
Figur 2-7: Vattenanvändningen för diskning ökar naturligt med mjölkttankens volym (källa: Wedholms). ....	11
Figur 2-8: Fiskben- respektive karusellsystem. ....	12
Figur 2-9: Fördelningen av energianvändningen vid mjölkning med ett Automatiskt mjölkningssystem. ....	13
Figur 2-10: Medelvärden från testresultat avseende AMS-systemet Merlin från Fullwood. ....	13
Figur 3-1: Korna lever i lösdrift och mjölkas på eget bevåg med hjälp av en mjölkrobot. ....	16
Figur 3-2: Mjölkkylttanken på gård #1 med tillhörande kylsystem. ....	16
Figur 3-3: Hetgasvärmväxlare för värmeåtervinning men som ej var i drift. ....	17
Figur 3-4: Elpanna och varmvattenberedare för uppvärmning av vatten med el. ....	17
Figur 3-5: Strömtänger med tillhörande logger för mätning av energianvändning. ....	18
Figur 3-6: Energianvändningen under ett år för ett kontor på en mjölkgård utanför Nyköping. ....	18
Figur 3-7: Energianvändningen för rengöring av mjölkutrustning under 9 dagar. ....	19
Figur 3-8: Mjölkkylttank av märket Mueller. ....	20
Figur 3-9: Mjölkkylttankens kylsystem utan värmeåtervinning. ....	20
Figur 3-10: ClimaCheck-enhet och mätmetodik. ....	21
Figur 3-11: Varmvattenberedare för värmning av disk- och rengöringsvatten (t.v.). Mjölkttanken sett utifrån (t.h.). ....	21
Figur 3-12: Mjölkrobot av fabrikatet Lely och en bufferttank från 70-talet. ....	22
Figur 3-13: Mjölkkylttank från Wedholms med hetgasvärmväxlare. ....	22
Figur 3-14: Rörinstallation för golvvärme (t.v.) samt direktverkande el till uppvärmning. ....	23
Figur 3-15: Energianvändningen för rengöring av mjölkutrustning under 9 dagar. ....	23
Figur 4-1: Kylsystem med hetgasvärmväxlare/delkondensator. ....	25
Figur 4-2: Plattvärmväxlare från SWEP (Källa: SWEP och Wedholms). ....	25
Figur 4-3: Systemskiss för ett kylsystem med hetgasväxlare och pump. ....	26
Figur 4-4: Pump från Wilo med möjlighet till varvtalsreglering under drift (t.v.) samt en med valbart fast varvtal i tre steg (t.h.). (Källa: Wilo) ....	26
Figur 4-5: PID-regulator från Eurotherm avsedd för reglering av två variabler. ....	27
Figur 4-6: Ackumulatortank från tillverkaren Effecta (Källa: Effecta). ....	27
Figur 4-7: Systemalternativ 1 – Förvärmning av vatten till diskning och rengöring. ....	28
Figur 4-8: Systemalternativ 2 – Värmning av vatten för uppvärmning av lokaler. ....	29
Figur 4-9: Systemalternativ 3 – Kombinerad värmning av vatten för rengöring och uppvärmning. ....	30

# 1 Introduktion

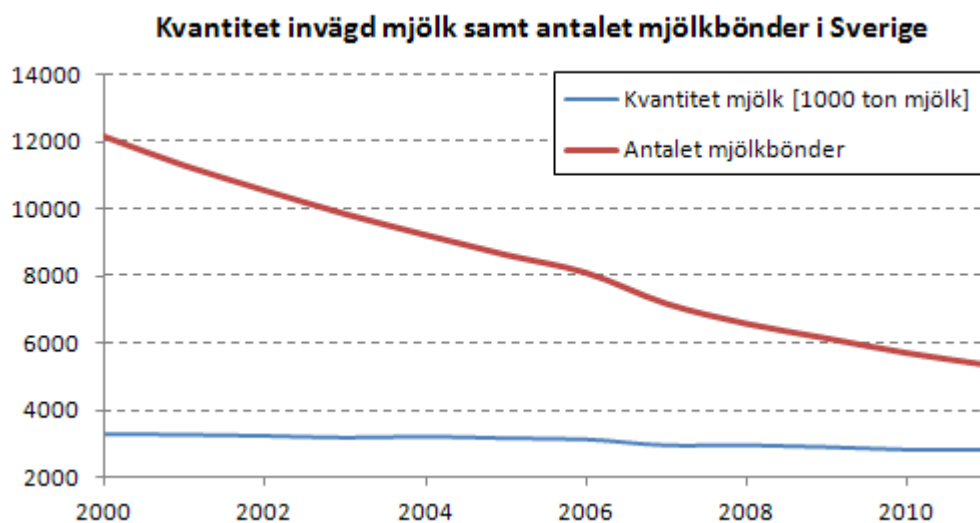
I det inledande kapitlet beskrivs bakgrunden till ämnet mjölkkyllning som har motiverat denna studie. Vidare beskrivs sedan syftet med studien och dess mål. Därefter följer en kort redogörelse över rapportens disposition.

## 1.1 Mjolkproduktionen i Sverige och världen

Antalet mjölkgårdar har under en längre tid minskat i Sverige. Trots det minskade antalet gårdar har den totala mjölkproduktionen inte reducerats i samma takt. Tvärtom så har den årliga invägda mängden mjölk varit relativt oförändrad i drygt 10 år. Färre mjölkgårdar har medfört att de kvarvarande gårdarna har expanderat, effektiviserat och ökat produktionen av mjölk.

Årligen produceras det omkring tre miljoner ton mjölk i Sverige, varvid en tredjedel av denna mängd blir till konsumtionsmjölk. På senare år har produktionen i Sverige minskat något till strax under 3 miljoner ton, vilket motsvarar ungefär 0,5 % av världens totala mjölkproduktion (ca 580 miljoner ton årligen). Utöver dryckesmjölk används råvaran till att framställa ost, grädde och andra produkter så som mjölkpulver.

Den nedåtgående trenden avseende mjölkproduktionen i Sverige är dock inte lika dramatisk som det ständigt sjunkande antalet mjölkbönder. År 2000 fanns det drygt 12 000 mjölkbönder i Sverige. Idag har den siffran minskat till strax över 5 000. På ca 10 år har antalet mjölkgårdar mer än halverats enligt Figur 1-1 (Svensk Mjölk, 2012).



Figur 1-1: Figuren visar hur den årliga kvantiteten mjölk och antalet mjölkbönder varierat under perioden 2000-2011.

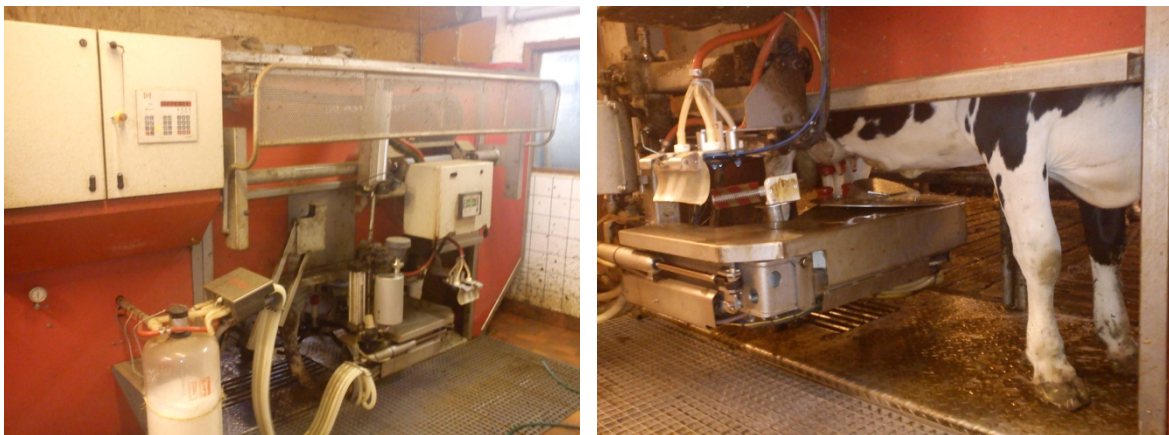
## 1.2 Traditionell mjölkning och robotmjölkning

I Sverige finns det omkring 350 000 mjölkkor vilket ger ett genomsnitt på ca 70 kor per mjölkgård (Jordbruksverket, 2010). En mjölkko mjölkar omkring 25 liter per dygn men mängden mjölk som kon producerar varierar och beror på flera faktorer. Om kon nyligen fött en kalv kan den mjölka upp till 50 liter per dygn. Även dricksvattnet som korna dricker inverkar på dess mjölkproduktion. För en ökad mjölmängd bör dricksvattnet till korna vara ljummet, omkring 15-18 °C.

När det gäller mjölkningsprocessen finns det två olika tekniker; traditionell mjölkning och mjölkning med robot. Traditionell mjölkning innebär att korna på en gård mjölkas vid bestämda tidpunkter, 2-3 gånger per dag. Denna typ av mjölkning innebär en hel del manuella steg och därmed arbete för bonden. Kornas spenar måste göras rent innan spenkopparna kan fästas på dess juvert. Efter mjölkningen, som tar ca 5 minuter per ko, måste bonden manuellt koppla bort spenkopparna. En tidskrävande och arbetsam process.

Alternativet till den traditionella mjölkningen är robotmjölkning, en metod som blir allt vanligare bland mjölkbönder i Sverige. Robotmjölkning är, som namnet antyder, mjölkning med hjälp av en robot. Ett robotsystem sköter hela mjölkningsprocessen med allt vad det innebär. En rad sensorer, med tillhörande datorsystem, gör det möjligt för en robot att utföra alla de uppgifter som bonden annars behövde utföra manuellt. Mjolkprocessen är mer flexibel och korna bestämmer själva, med vissa restriktioner, när de ska bli mjölkade. Roboten insamlar även information om respektive ko vid varje mjölkningstillfälle t.ex. hur mycket mjölk den aktuella kon har mjölkat eller om mjölken håller god kvalitet eller ej.

När kon kommer till roboten för att mjölkas kontrollerar systemet först att kon har tillåtelse att mjölkas. Om kon har tillåtelse så startar en rengöringsprocess av kornas spenar. Därefter mjölkas kon och som belöning får den kraftfoder innan den lämnar stationen. Har kon redan mjölkats tillräckligt för dagen, eller om den är sjuk och inte ska mjölkas, så kommer den inte få tillåtelse till mjölkning utan måste passera robotstationen utan kraftfoder.



**Figur 1-2: En robot utgörs av ett avancerat system som kan utföra alla de sysslor en bonde annars behöver utföra manuellt vid mjölkning.**

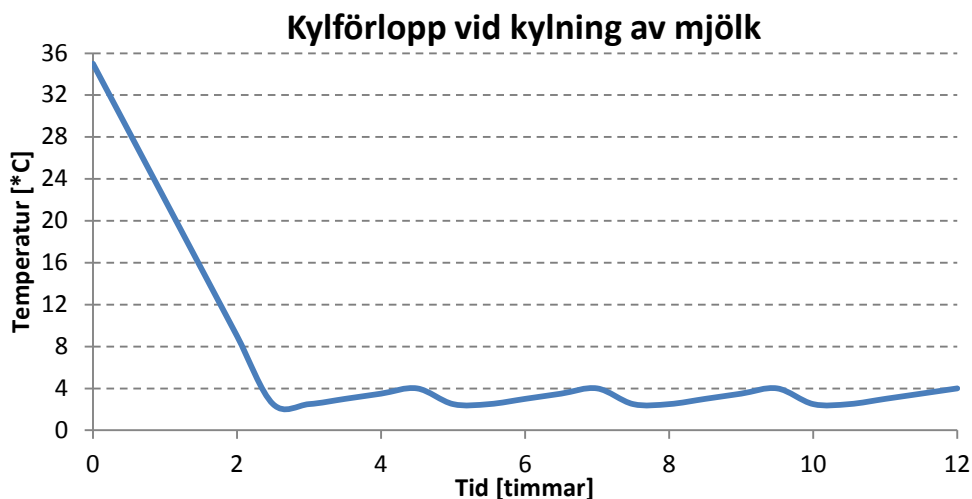
## 2 Energianvändning på en mjölgård

I det kommande kapitlet presenteras energianvändningen på en mjölgård. Kapitlet inleds med en genomgång av mjölkkyltanken och dess vitala funktion på en mjölgård. Inom ramen för mjölk tankens kylsystem beskrivs även möjligheten till värmeåtervinning från kylsystemet. Avslutningsvis presenteras övriga tänkbara energianvändare på en mjölgård.

### 2.1 Kylning av mjölk

Efter det att korna har mjölkats så måste den varma mjölken kylas. Mjölken måste sedan bevaras kall för att bibehålla kvalitén fram tills dess att den konsumeras som dryckesmjölk eller blir till en mejeriprodukt av något slag. Den varma mjölken som lämnar korna har en temperatur på omkring 35°C. Enligt gällande regler måste den varma mjölken sedan kylas till en temperatur lägre än 4°C under en tidsperiod på max 3 timmar (Swedish Standards Institute, 2002). För att kyla mjölken används traditionellt en mjölkkyltank med tillhörande kylsystem. Efter det att mjölken kylts till en temperatur under 4°C måste mjölktemperaturen bevaras vid denna nivå. Mjölken får inte överstiga temperaturgränsen under några omständigheter.

Figur 2-1 nedan illustrerar ett allmänt kylförlopp vid kylning av varm mjölk i en mjölk tank. Grafen visar hur den varma mjölken, med en temperatur på ca 35 °C, tillförs till mjölk tanken och kyls till en temperatur under 4 °C inom 3 timmar. Därefter bevaras mjölken kall med hjälp av kylsystemet och dess reglersystem. I figuren nedan är temperaturer och tidsintervall påhittade för att påvisa själva processen. Verkligheten skiljer sig något beroende på vilken typ av mjölkkyltank som används samt yttre omständigheter så som omgivningstemperatur.



Figur 2-1: Figuren illustrerar ett kylförlopp vid kylning av mjölk.

### 2.2 Mjölkkyltanken

För att kyla mjölken vid en mjölkkningsprocess används oftast en mjölk tank med ett kylsystem, så kallad mjölkkyltank. Det finns även varianter där mjölken kyls externt utanför själv mjölk tanken, som då används som förvaring av mjölken.

Den traditionella mjöltkanken finns i flertalet olika utformningar och storlekar för att passa mjölkböndernas olika förutsättningar och behov. De allra minsta tankarna är av typen stående modell och rymmer en mjölkvolym på drygt 200 liter upp till omkring 2000 liter (se Figur 2-2 nedan). De mindre mjöltkankarna är lämpade för mjölkgårdar med begränsade ytor för utrustningen.



**Figur 2-2: Stående mjöltkankar från tillverkarna Wedholms (t.v.) respektive DeLaval (t.h.) med en volym från 200 liter upp till 2000 liter.**

De större modellerna av mjöltkankarna finns i storlekarna 1600 liter upp till och med 30 000 liter (se Figur 2-3 nedan). Samtliga tankar är konstruerade i rostfritt stål. Utöver kylaggregatet består mjöltkankarna av ett disksystem, en omrörare (för en homogen mjölktemperatur) samt ett styrsystem för övervakning och reglering. Omröraren i tanken bidrar till att reducera risken för isbildning genom att skapa en jämn temperaturfördelning hos mjölken.



**Figur 2-3: Mjölkkyltankar från tillverkarna Wedholms (t.v.) respektive DeLaval (t.h.).**

Med jämna mellanrum anländer en mjölkbil till bondgården för att tömma mjöltkanken på den färska, kalla mjölken. Efter det att tanken har tömts på mjölk måste den rengöras noggrant för att avlägsna eventuella restprodukter som fastnat på tankens insida. En diskprocess är inkluderad i de flesta mjöltkankssystem och rengöringen sköts automatiskt. För att tanken ska bli ren vid diskningen krävs det varmvatten och diskmedel. Doseringen av diskmedel till rengöringsprocessen kan integreras med tankens styr- och övervakningssystem. Med hjälp av en konduktivitetmätare



säkerställer systemet att rätt mängd diskmedel doseras till det varma vattnet. Om det inte finns tillgång till varmvatten för diskningen så finns det oftast möjlighet att komplettera mjölk tanken med en värmare, om en sådan inte skulle ingå som standard. En elvärmare värmer upp det inkommande vattnet till en sluttemperatur på omkring 80-85°C beroende på tanktillverkarnas rekommendationer.

### 2.2.1 Kylsystemet

Kylsystemet till en mjölk tank består oftast av scroll- eller kolvkompressorer med R407C, R404a eller R134a som köldmedium. Beroende på tankstorlek användes vanligen en eller två kompressorer. Förångaren är integrerad i innetanken varvid köldmediet cirkulerar genom kanaler och förångas. Beroende på tankens storlek är det vanligt med flera förångare. Oftast används en termostatisk expansionsventil med det förekommer även elektriska ventiler. Systemen är utrustade med luftkylda kondensorer där två eller fyra fläktar är vanligt förekommande. Enligt Figur 2-4 nedan så är systemen uppbyggda i moduler och kan enkelt anpassas efter exempelvis kylbehov eller andra önskemål. En del kylsystem till mjölk tankar är även utrustade med en vätskerekceiver som buffert.



Figur 2-4: Kylsystemet till mjölk kylt tank tillverkad av Wedholms.

### 2.2.2 Värmeåtervinning

Nya mjölk kylt tankar är oftast konstruerade med återvinning av värmen från kylsystemet. Detta sker vanligen med en hetgasvärmväxlare (se bild t.v. i Figur 2-5). Värmen från hetgasen efter kompressorn överförs till en sekundär vätskekrets där en pump är monterad.

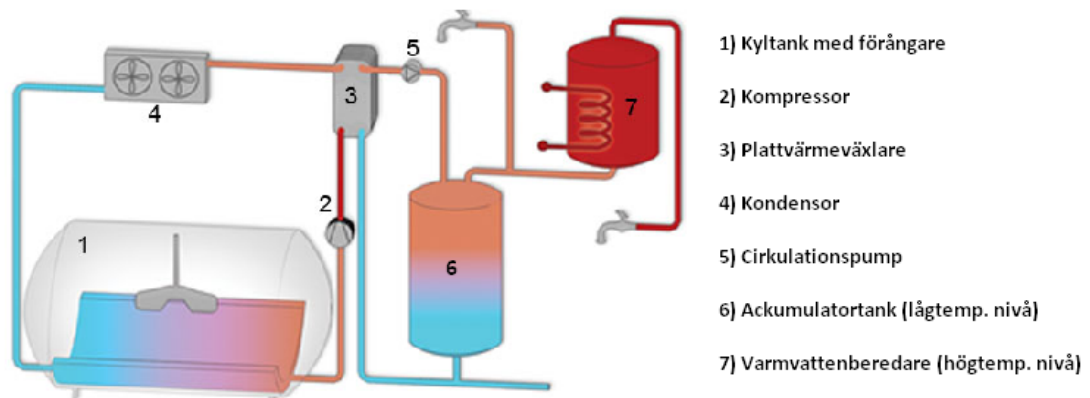


Figur 2-5: Till vänster i figuren ses ett värmeåtervinningssystem från Wedholms. T.h en pump från Wilo.

Som det beskrevs tidigare i kapitlet är kondensorn till mjölkkyltankar i de flesta fall luftkylda men det förekommer även system med vätskekyld kondensor. Med en vätskekyld kondensor finns det större möjlighet att återvinna värmen från kylprocessen samtidigt som en sådan lösning ställer högre krav på tillgängligheten av kallt vatten i syfte att transportera bort värmen från just kondensorn.

Värmen som överförs från köldmediet till vätskesystemet kan sedan användas till flera ändamål på en mjölkgård. Oftast används någon form av ackumulatortank för att lagra den återvunna värmen innan den används till det slutgiltiga ändamålet. Det är nämligen inte alltid behovet av värme överensstämmer i tiden med den överskottsvärme som finns tillgänglig från kylprocessen.

För att värmeåtervinning skall fungera optimalt och inte inverka negativt på kylsystemet är ett styr- och reglersystem av betydelse. Oftast sker detta enklast genom att inkludera styrningen av pumpen för värmeåtervinningskretsen med det övriga styrsystemet för mjölkkyltanken. På så sätt säkerställs först och främst kylsystemets funktion så att det fungerar optimalt. Figur 2-6 illustrerar ett mjölkkylsystem med en värmeåtervinningskrets. Den överförda värmen transporteras sedan till en ackumulatortank där kallt vatten värms upp till varmt vatten och sedan lagras i tanken tills ett behov uppstår. Ackumulatortanken är oftast ansluten till en varmvattenberedare som slutvärmer vattnet med eltillskott. Genom att förvärma vattnet till varmvattenberedaren så behöver elpatronen inte tillföra lika mycket el för att uppnå den önskade temperaturen. På så sätt sparar man energi.



**Figur 2-6: En mjölkkyltank med värmeåtervinning kopplad till en ackumulatortank**

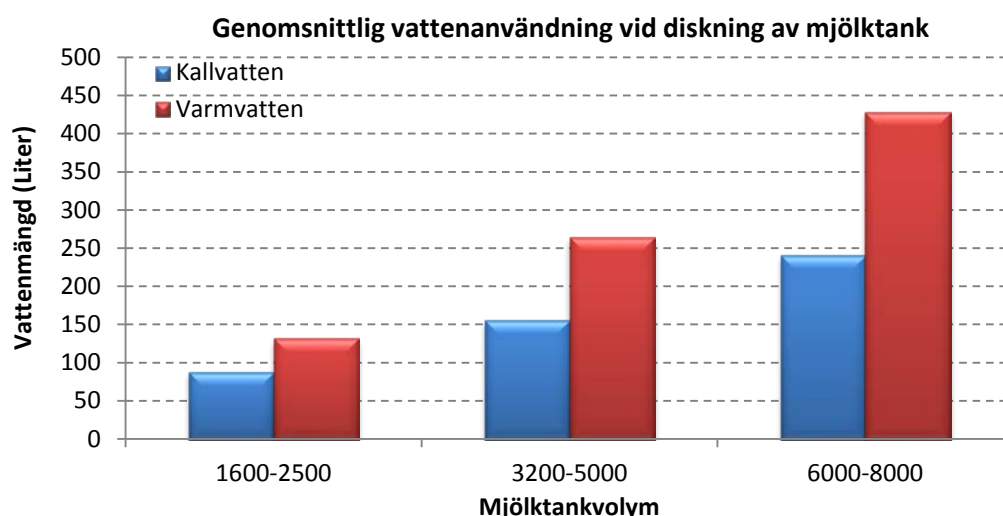
## 2.3 Värmebehov på gården

Värmebehovet på en mjölkgård beror givetvis på specifika förutsättningar för varje enskild gård. Parametrar så som geografiskt läge och gårdens storlek påverkar behovet av värme men även beteendet hos personalen har en betydande inverkan. Det finns dock värmebehov som nästan alltid förekommer på en mjölkgård oavsett individuella förutsättningar. Överskottsvärmen från kylprocessen kan huvudsakligen användas till två ändamål, nämligen uppvärmning av lokaler och förvärmning av vatten.

### 2.3.1 Diskning och rengöring

På en mjölkgård ställs det höga krav på god hygien och rengöring är därför en daglig syssla. Först och främst måste mjöltkanken rengöras och därmed diskas efter varje mjöltkötning. Oftast töms mjöltkanken varannan dag vilket innebär att den även rengörs med två dagars intervall. Behovet av vatten, och framförallt varmvatten, till diskprocessen beror på flera parametrar. Mjöltkankens volym utgör en stor påverkan på behovet av diskvatten och därmed varmvatten. Detta eftersom större mjöltkankar har en större mantelyta som behöver diskas jämfört med mindre mjölkkyltankar. Även tillgången till varmvatten på gården inverkar på diskprocessen och antalet möjliga diskfaser i rengöringsprogrammet. Vanligen är ett diskprogram baserat på tre faser; försköljning, huvuddiskning och eftersköljning. Programmets uppbyggnad beror dock på brukarens önskemål och kan på begäran oftast anpassas efter behov och tillgången på exempelvis just varmt vatten på gården.

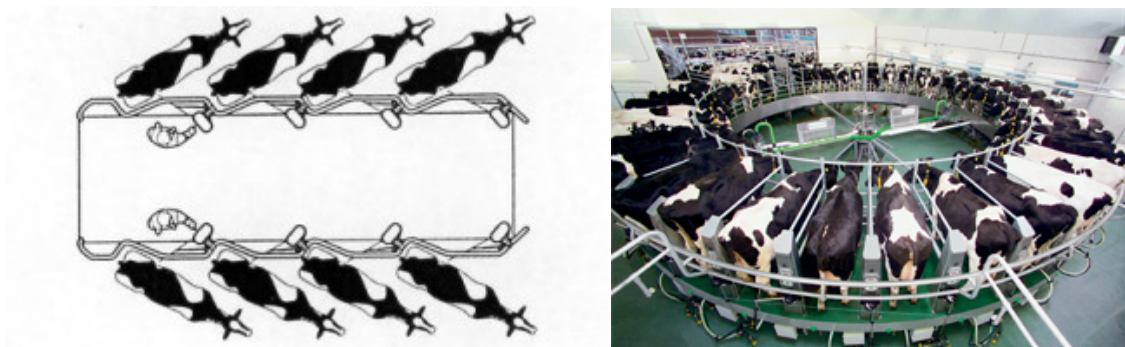
Mjölkkyltankens diskprogram inleds vanligen med en försköljning av tanken. Denna del av diskprocessen använder en vattenmängd (kallt och därefter även varmt vatten) motsvarande ca 0,5-0,75 % av mjöltkankens volym (Svensk mjölk, 2011). Därpå följer en huvuddiskning och en eftersköljning av mjöltkanken. Den totala vattenmängden för hela diskprocessen uppgår till omkring 3-4 % av tankvolymen, enligt uppgifter från Svensk Mjölk. Uppgifterna går dock isär och varierar brett. En mindre mjölk tank i storleksordningen 1600-2500 liter använder i snitt omkring 130 liter varmvatten för diskprocessen (motsvarande ca 5-8 % av tankvolymen). En mellanstor mjölk tank i storleksordningen 6000-8000 liter använder omkring 265 liter varmvatten för diskprocessen (ca 3-4% av tankvolymen). Motsvarande mjölk tank med en volym på mellan 20 000 – 30 000 liter använder ca 430 liter varmvatten till diskningen (ca 1-2 %).



Figur 2-7: Vattenanvändningen för diskning ökar naturligt med mjöltkankens volym (källa: Wedholms).

För att uppnå ett bra diskresultat krävs det att varmvattnet vid rengöring har en sluttemperatur på minst 43°C (fett löses i vatten vid denna temperatur). Eftersom mjölkkyltanken är kall när den töms fordras det en betydligt högre temperatur än 43°C för att uppnå den önskade sluttemperaturen. Detta eftersom varmvattnet kyls betydligt när det kommer i kontakt med den kalla tanken. Svensk Mjolk rekommenderar branschen att använda en varmvattenberedare avsedd för jordbruk. Denna bör vara utrustad med ett hetvattenuttag med möjlighet att få ut en vattentemperatur på mellan 85-90°C. Varmvattenberedare för privata ändamål är oftast försedda med en termostat där vattentemperaturen kan regleras till ca 70-80°C. Däremot sker vanligen vattenuttaget via en blandningsventil för att reducera skållningsrisken. Varmvattenberedare ger i detta fall en utgående temperatur på ca 55-60°C vilket medför en sluttemperaturen i mjölk tanken med all sannolikhet blir längre än 43°C. Därav behovet av en vattentemperatur från varmvattenberedaren på närmare 85-90°C.

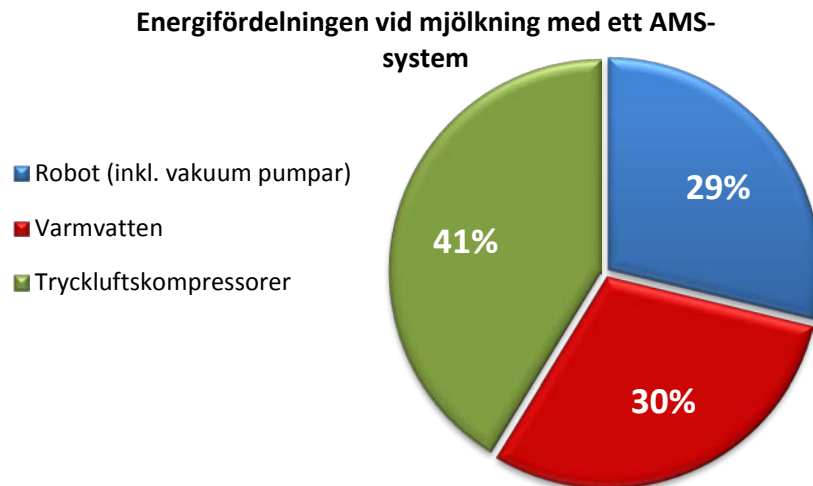
Utöver mjölkkyltanken så finns det även ett behov av att rengöra mjölkstallet och mjölkkningsanläggningen. Till skillnad från mjölk tanken så måste mjölkstallet, med tillhörande utrustning, rengöras mer frekvent oftast flera gånger per dag. Det finns huvudsakligen två typer av mjölkkningsanläggningar; konventionella och robot. Ett konventionellt system innebär att mjölkkningsprocessen sker manuellt. Det finns flera olika konventionella mjölkkanläggningar, exempelvis roterade karuseller eller så kallade fiskbensstall. Vid sidan av de konventionella anläggningarna har robotmjölkning (Automatisk MjölkningsSystem – AMS) blivit allt vanligare. Den gemensamma nämnaren för de olika mjölkkningsystemen är dock rengöring. Mjölkanläggningen och mjölkkningsstallet måste rengöras på daglig basis och till detta krävs det varmt och kallt vatten.



**Figur 2-8: Fiskben- respektive karusellsystem**

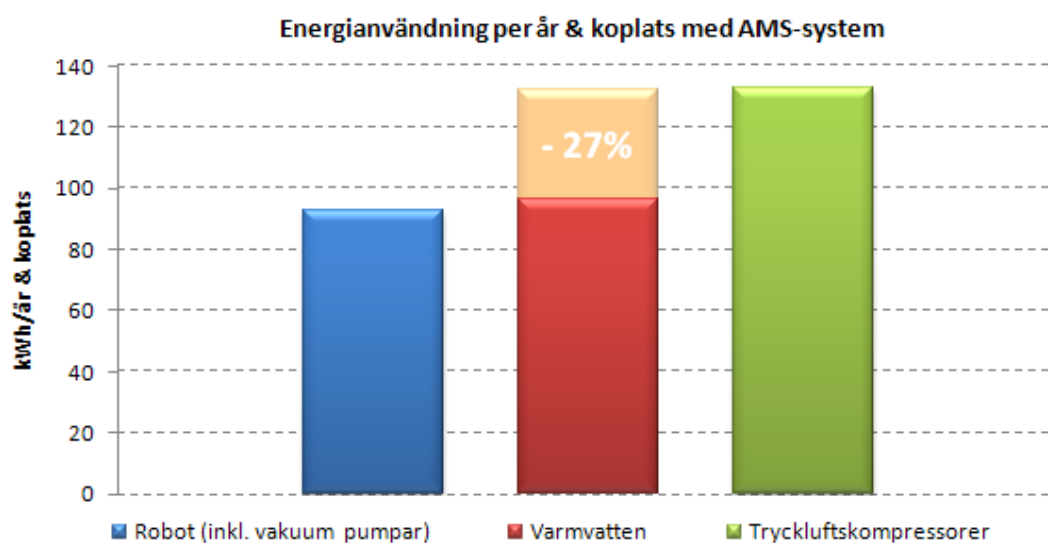
Ett konventionellt system (karusell eller fiskben) diskas ca 2 gånger per dygn med 3 diskfaser vid respektive tillfälle. Mängden vatten som används varierar givetvis med storleken av den aktuella anläggningen. En större mjölkkanläggning har oftast fler mjölkledningar vilket medför ett större diskbehov. Därefter skall själva mjölkplatsen och uppsamlingsplatsen rengöras samt vid behov även juverdukar. Den energi- och vattenmängd som krävs för ändamålet varierar givetvis från gård till gård. I genomsnitt används det omkring 2 500 liter vatten (varmt och kallt), varav ca 1 500 liter motsvarar spolning med vattenslang (Svensk mjolk, 2011). Enligt tidigare rapporter från bland annat Nilsson och Påhlstorp motsvarar det en energianvändning på mellan 114 – 254 kWh per år och koplats till värmning av varmvatten för rengöring av en konventionell mjölkkanläggning (Nilsson, o.a., 1985).

I en rapport från Danmark studerades energianvändningen vid mjölkning med robot. Flera olika AMS-system testades för att fastställa fördelningen av energianvändningen till roboten. Resultaten från testerna visar att energianvändningen för att värma vattnet i genomsnitt utgör drygt 1/3 av den totala energin till ett AMS-system, enligt Figur 2-9 nedan (Lindgaard Jensen, 2009).



Figur 2-9: Fördelningen av energianvändningen vid mjölkning med ett Automatiskt mjölkningssystem.

Resultaten från testerna visar även på möjligheten till energibesparing genom att förvärma det inkommande vattnet till roboten. Samtliga AMS-anläggningar var i behov av att värma upp det inkommande vattnet till en temperatur på mellan 80-100°C enligt systemets huvuddiskprogram. I Figur 2-10 nedan redovisas bearbetade resultat från rapporten. Studien redogör för en möjlig energibesparing på omkring 35 kWh per år och koplats genom att förvärma det inkommande vattnet från 10°C till 40 °C för att därefter slutvärma med elpatron. Det motsvarar drygt en fjärdedel av den totala kostnaden (130 kWh per år och koplats) för att värma vattnet till rengöring av robot (Lindgaard Jensen, 2009).



Figur 2-10: Medelvärden från testresultat avseende AMS-systemet Merlin från Fullwood

### 2.3.2 Dricksvatten och frostskydd

Utöver diskning och rengöring utgår det även vatten till korna. En vanlig ko dricker i genomsnitt ca 100 liter vatten per dag i stallet. Det finns flera studier som rapporterar att kor producerar mer mjölk om dricksvattnet kan förvärmas till omkring 16-17°C (Karlsson, o.a., 2012). Teoretiska beräkningar visar att det åtgår ca 15 Wh per liter dricksvatten för att värma kallt vatten till varmt (10°C till 17°C) med en varmvattenberedare á 300 liter. Förvärmning av vatten är däremot inte helt riskfritt. En förutsättning är att vattnet kan bibehålla dess kvalité och inte utsätta människor eller kor för en hälsorisk. Bakterier så som legionella trivs bra i ljummet vatten och har en tillväxtfas vid temperaturer mellan 25-45 °C. Det är därför viktigt att ljummet vatten inte blir stående så att bakterien ges en möjlighet att växa till sig. I värsta fall kan det medföra att människor och även kor insjuknar (Christiansson, 2010).

Utöver dricksvattnet till korna finns det även ett behov av att skydda dricksvattenautomaterna från frost. Under den kalla delen av året finns det annars risk för att vattenautomaterna till korna fryser sönder av isbildning. Hur mycket energi som åtgår till att frostskydda vattnet beror givetvis på omgivande förhållanden. Tidigare mätstudier har konstaterat att det i genomsnitt används omkring 80 kWh/år till frostskydd av vatten till dricksvattenautomaterna för en normalstor gård. Energianvändning till denna del är i sammanhanget liten men bör ändå nämnas.

### 2.3.3 Kontor, personalrum och omklädningsrum

I direkt förbindelse med mjölkstallet finns det vanligen kontor och personalrum samt oftast även omklädningsrum för de anställda. Energianvändningen för värmning av vatten till exempelvis dusch och tvättställ påverkas av antalet arbetare samt deras vanor. Branschorganisationen Svensk Mjök rekommenderar en separat varmvattenberedare till omklädningsrum samt eventuellt lunchrum i syfte att säkerställa att det finns tillräckligt med varmvatten tillgängligt för disk och rengöring av mjölkutrustning. Normal vattenförbrukning kan antas uppgå till omkring 400-500 liter per dag för tio anställda på en mjölkgård (Svensk mjök, 2011).

För att uppnå en god arbetsmiljö är det även av intresse att värma personalutrymmen och kontor till en behaglig arbetstemperatur (ca 20°C). Även uppvärmning av korridorer eller själva mjölkstallet förekommer. Personalrum och övriga utrymmen värms vanligen av antingen golvvärme, infravärme eller med direktverkande el. Den energimängd som erfordras för uppvärmning av utrymmen samt tappvarmvatten beror på flera faktorer som det tidigare påpekats. I en studie utförd av Nilsson och Pålhstorp (1985) uppskattas energianvändning till drygt 8000 kWh/år för ett mjölkföretag med ca fyra anställda. Ett något mindre jordbruksföretag med en anställd som duschar efter varje arbetspass använder i genomsnitt 3700 kWh/år för uppvärmning av utrymmen och tappvarmvatten (Nilsson, o.a., 1985).

### 2.3.4 Uppvärmning av bostadshuset

I nära anknytning till mjölkstallet finns vanligen ett bostadshus som kräver värme för uppvärmning och till tappvarmvatten. Under ett år är energianvändningen till tappvarmvatten relativt konstant per månad medan uppvärmningen av bostaden givetvis varierar med utomhustemperaturen. Eftersom utomhustemperaturens medelvärde beror på det geografiska läget varierar även energianvändning

sett över landet. Ett genomsnittligt småhus i Sverige år 2009 använde omkring 18 000 kWh för uppvärmning. Av dessa 18 000 kWh utgjorde ca 75 % energi till uppvärmning medan 25 % avsåg energi till uppvärmning av tappvarmvatten. Genomsnittshuset hade en boyta på 149 kvm med två vuxna och två barn i hushållet (Energimyndigheten, 2012). Eftersom bostadshuset på en mjölkgård oftast är beläget i närheten av mjölkstallet, men inte i direkt anslutning, krävs det oftast kulvertar om överskottsvärme skall kunna transporteras till huset. Därmed förekommer det värmeförluster även om dessa upplevs som relativt små i sammanhanget.

I Tabell 1 nedan ges en sammanställning av det uppskattade värmebehovet på en mjölkgård. Tabellen skall användas i syfte att ge en uppfattning av mjölkgårdens behov av värmeenergi då individuella förutsättningar givetvis påverkar resultatet. Exempelvis kan resultaten implementeras på en genomsnittlig mjölkgård i Sverige med 70 kor som vardera producerar 25 liter mjölk per dag. Varje ko dricker 100 liter förvärt vatten per dag och gården kan antas ha ett AMS-system för mjölkning samt fyra anställda. Med dessa antaganden skulle det innebära att mjölkgården har ett energibehov för värmning av vatten till diskning och rengöring på motsvarande 9 100 kWh/år. Dagligen används det 7 000 liter förvärt vatten till dricksvatten för korna vilket medför ett årligt energibehov på 2 555 kWh för uppvärmning av dricksvattnet. Uppvärmning av personalutrymmen och tappvarmvatten för exempelvis dusch uppgår till ca 8 000 kWh årligen. Utöver detta tillkommer även uppvärmning av bostaden. Sammanfattningsvis kan det konstateras att värmebehovet på en mjölkgård är stort.

**Tabell 1: Sammanställning av värmebehovet på en mjölkgård.**

<b>Värmebehov på en mjölkgård</b>	Konv. mjölkning på en liten mjölkgård (1-2 anställda)	AMS-system på en större mjölkgård (4 anställda)
Diskning och rengöring	114 – 254 kWh/år & ko	130 kWh/år & ko (avser endast robot)
Förvärmning av dricksvatten till kor	15 Wh/liter	15 Wh/liter
Uppvärmning av personalutrymmen och tappvarmvatten	3 700 kWh/år	8 000 kWh/år
Uppvärmning av bostad (värme och tappvarmvatten)	18 000 kWh/år	18 000 kWh/år

### 3 Fältstudier – Hur ser verkligheten ut?

I detta kapitel presenteras iakttagelser och mätresultat från fältstudier på mjölkgårdar avseende konvertering av mjölk tankars kylsystem för värmeåtervinning. Syftet med denna del är att ge en inblick i möjligheterna till att integrera kylsystemets överskottsvärme med mjölkgårdens övriga värmebehov. Totalt har 3 mjölkgårdar besökts varvid förutsättningarna varierade mellan gårdarna.

#### 3.1 Mjölkgård #1 – Nyköping

Mjölkgård #1 är belägen söder om flygplatsen Skavsta strax utanför Nyköping. Familjen driver gården tillsammans där det produceras både mjölk och kött. Totalt finns det 45 mjölkkor på gården som lever i lösdrift. Korna mjölkas med en relativt nyinvesterad mjölkrobot från Lely, se vidare Figur 3-1 nedan. Årligen produceras det omkring 350 000 kg mjölk. I nära anknytning till mjölkstallet finns ett bostadshus där Mats och Anna bor med sina fyra barn. Under det senaste året har även en dusch installerats i anslutning till mjölkstallet.



Figur 3-1: Korna lever i lösdrift och mjölkas på eget bevåg med hjälp av en mjölkrobot.

Mjölkkyltanken har en mjölkkapacitet på 5000 liter och är av märket Lely och införskaffades i slutet av 2011. Mjölktanken är bestyckad med en ON/OFF-reglerad Danfoss kompressor. Kylsystemet avger värmen med en luftkyld kondensator och två tillhörande fläktar. Köldmediet är R134a och kylsystemet är även försedd med en hetgasvärmväxlare för värmeåtervinning. I bilden till vänster i Figur 3-2 nedan ses en bufferttank bredvid mjölk tanken. Syftet med en bufferttank är att magasinera den mjölk som tillkommer från mjölkroboten under tiden mjölk tanken diskas och rengörs.



Figur 3-2: Mjölkkyltanken på gård #1 med tillhörande kylsystem.



Kylsystemet var försett med en hetgasvärmväxlare och därmed förberedd för värmeåtervinning (detta eftersom mjölkkyltanken var relativt nyinförskaffad). Hetgasväxlaren var bestyckad med en tryckstyrd vattensparventil enligt Wedholms-koncept (jämför med Figur 2-5). Dock framkom det vid besöket att värmebärarsidan av återvinningssystemet inte var ansluten enligt bilden till vänster i Figur 3-3. Den vätskepump som skall transportera och överföra värmen från kylsystemets hetgas till mjölkgårdens övriga värmebehov, var inte i drift utan var placerad på en hylla i mjölkstallet.



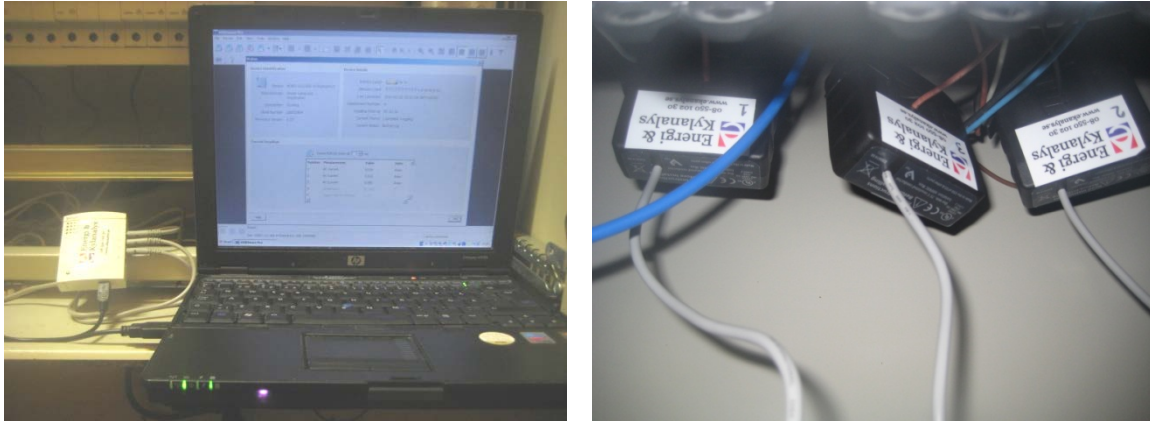
**Figur 3-3: Hetgasvärmväxlare för värmeåtervinning men som ej var i drift.**

Vid besöket på mjölkgården undersöktes behovet av värmeenergi för att producera varmvatten. Det kunde konstateras att det fanns två varmvattenberedare installerade och en elpanna enligt Figur 3-4 nedan. Personalkontoret i anknäring till mjölkstallet var försedd med vattenburen golvvärme som värmdes med el. Utöver golvvärmen var det även nödvändigt att värma vatten till korna i syfte att motverka frostbildning vid kallare årstider. I bilden till höger i Figur 3-4 ses en varmvattenberedare avsedd för enklare rengöring i mjölkstallet som exempelvis spolning med vattenslang. Själva mjölkroboten var försedd med en varmvattenberedare för diskning och rengöring av mjölktanken.



**Figur 3-4: Elpanna och varmvattenberedare för uppvärmning av vatten med el.**

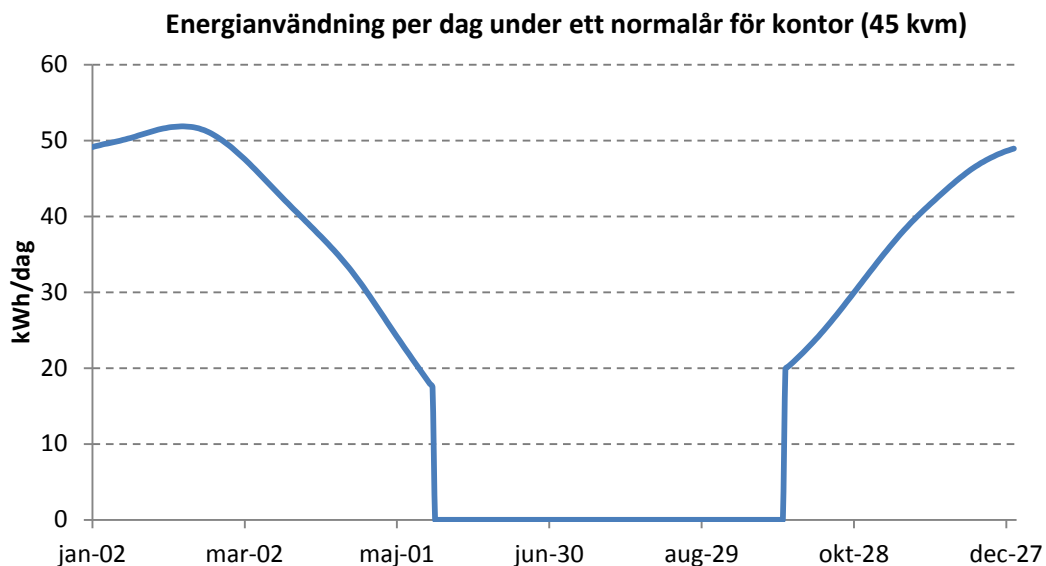
I syfte att verifiera och påvisa möjligheten till energibesparing, med integrerad värmeåtervinning från kylsystemet, genomfördes det flera mätningar vid besöken. Under två veckors tid i slutet av februari mättes den elenergi som behövde tillföras för att värma vattnet till golvvärmekretsen. Mätningarna genomfördes med strömtänger och tillhörande datalogger som monterades i mjölkstallets elcentral (se Figur 3-5).



**Figur 3-5: Strömtänger med tillhörande logger för mätning av energianvändning.**

Resultaten korrelerades därefter mot utomhustemperaturen för den aktuella perioden och jämfördes sedan med normalårstemperaturer för orten. På sått åskådliggörs potentialen i en energibesparing per årsbasis vid normala temperaturförhållanden.

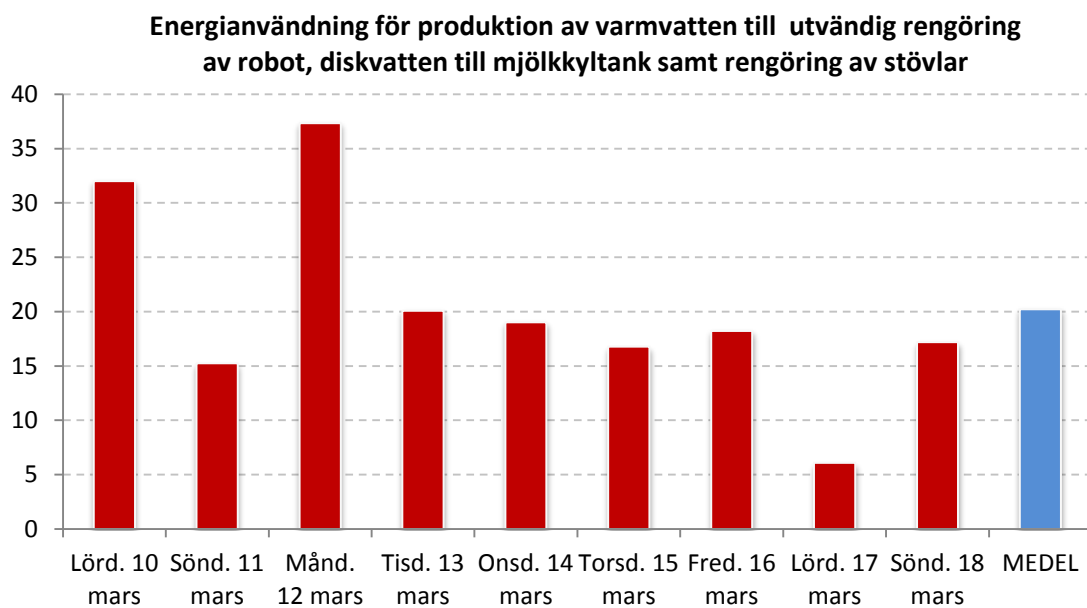
Mätresultaten visar att det årligen används omkring 8 900 kWh elenergi till uppvärmning av personalkontoret i anknötning till mjölkstallet (totalt 45 m<sup>2</sup>) vilket motsvarar nära 200 kWh/ m<sup>2</sup> och år. Hur denna energianvändning fördelas över året (beroende på normalårstemperaturen) framgår av Figur 3-6 nedan. Enligt figuren används det ingen energi till golvvärmen under perioden mitten av maj till slutet av september då den är helt avstängd under denna del av året. Den årliga energianvändningen för uppvärmning av kontoret (8 900 kWh) kan jämföras med de genomsnittliga värden som presenterades i Tabell 1. I den tabellen anges 8 000 kWh som riktvärde för ett årligt uppvärmningsbehov till ett motsvarande personalkontor för upp till 4 personer.



**Figur 3-6: Energianvändningen under ett år för ett kontor på en mjölkgård utanför Nyköping.**

Därefter utfördes det även mätningar av elenergianvändningen för den varmvattenberedare som användes till rengöring i mjölkstallet. Detta inkluderade yttre rengöring av mjölkrobot (ej diskning av roboten), diskning av mjölkkyltanken samt enklare rengöringsuppgifter så som renspolning av stövlar

efter lagårdsbesök. De värden som erhöles från mätningarna korrelerades inte mot utomhustemperaturen eftersom rengöringsbehovet kan antas vara oberoende av årstiden och den varierande temperaturen. Mätningarna genomfördes under en period av 10 dagar enligt Figur 3-7 nedan. Som figuren antyder finns det vissa dagar då energianvändningen är betydligt större än genomsnittsdagen (exempelvis 10.e och 12 mars) samt vissa dagar då energianvändningen är lägre (17 mars). Eftersom mjölkkyltanken rengörs varannan dag efter tömning vore det naturligt med en cyklisk energianvändning, vilket dock inte är fallet enligt de erhållna mätresultaten. Den genomsnittliga energianvändningen under mätperioden var 20 kWh/dag, vilket innebär en energianvändning motsvarande ca 160 kWh/år och ko. Resultatet kan jämföras med erfarenhetsvärden från Tabell 1. Det skall tilläggas att mjölkroboten har ett separat disksystem med egen varmvattenberedare som inte inkluderas i mätningarna ovan.



**Figur 3-7: Energianvändningen för rengöring av mjölkningsutrustning under 9 dagar.**

### 3.2 Mjölkgård #2 – Järna

Mjölkgård #2 är lokaliserad i trakterna kring Järna, strax utanför Södertälje. Mjölkgården sköts av familjemedlemmar och innefattar totalt omkring 50 mjölkkor. Korna är placerade i bås under vintertid och betessläppet sker till våren när vädret tillåter. Mjölkning av korna sker konventionell och produktionen uppgår till drygt 400 000 kg mjölk per år. Mjölkkyltanken är av modeller Mueller och tillverkad i slutet av 80-talet. I anknäytning till mjölkrummet finns dusch installerad och ca hundra meter från lagården är bostadshuset placerat.



Figur 3-8: Mjölkkyltank av märket Mueller.

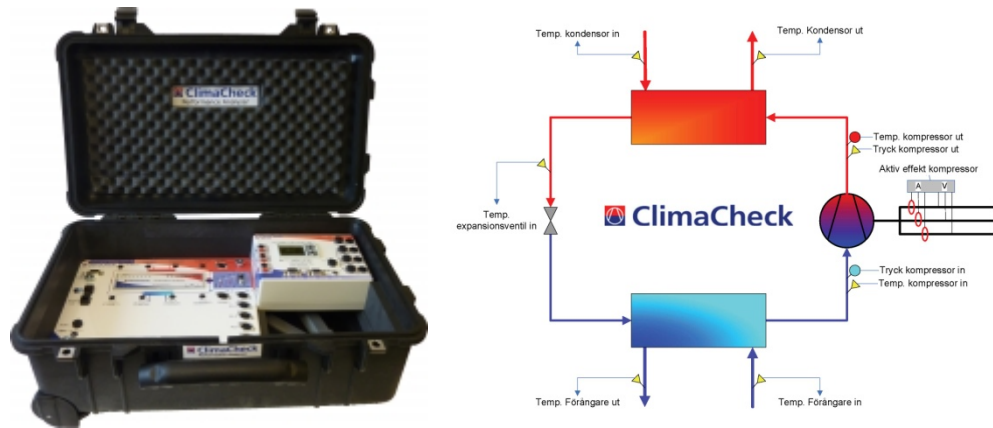
Mjölkkyltanken har en volymkapacitet på 2 500 liter och töms således varannan dag. Mjölktankens kylsystem består av en on/off-reglerad kompressor och en luftkyld kondensor enligt Figur 3-9 nedan. Vidare är kylkretsen bestyckad med en receiver och är fylld med köldmediet R407C. All värme avges via den luftkylda kondensorn och det finns därmed heller ingen hetgasvärmväxlare installerad för värmeåtervinning. Eftersom mjölkning sker traditionellt, utan robotsystem, finns det inget behov av en bufferttank för mellanlagring av mjölken vid diskning av mjölktanken. Mjölkkyltanken rengörs och diskas varannan dag vid tömning.



Figur 3-9: Mjölkkyltankens kylsystem utan värmeåtervinning.

Vid besöket på mjölgården genomfördes en djupare studie av kylsystemets prestanda och den energi som fanns tillgänglig för värmeåtervinning vid mjölkkyllning. Mjölktankens kylsystem utrustades med ett Climacheck-enhet med syftet att mäta och analysera dess prestanda. En ClimaCheck-prestandaanalysator är ett mät- och analysverktyg som möjliggör en utvärdering av

exempelvis ett kylsystem eller en värmepump. Genom att instrumentera kylkretsen med mätsensorer (enligt bilden till höger i Figur 3-10) erhålls ett fullständigt definierat kylsystem. Det innebär att viktiga parametrar så som kyleffekt, kompressoreffekt och avgiven värmeeffekt visualiseras via mjukvaran. På så sätt kan den tillgängliga energin för värmeåtervinning fastställas under en mätperiod och sedan korreleras per årsbasis. Figur 3-10 nedan illustrerar den portabla ClimaCheck-utrustning som användes vid fältmätning, exklusive de sensorer som tillkommer.



**Figur 3-10: ClimaCheck-enhet och mätmetodik.**

Vid besöket genomfördes även mätningar av energianvändningen för uppvärmning av vatten till diskning och rengöring. Vattnet som användes för ändamålet värmdes med en varmvattenberedare enligt bilden till vänster i Figur 3-11. Energin för värmning av vattnet mättes med en elmätare. Resultaten från studien med ClimaCheck-enheten visar att det dagligen används omkring 15 kWh el till kylsystemets kompressor för att bortföra 40 kWh värme från mjölken. I och med detta avges det 55 kWh värme per dag från kylprocessen och kondensorn. Kylprocessens COP var 2,7 och motsvarande COP-värme 3,7. Resultaten från mätningen av elenergin för värmning av vatten till diskning och rengöring visar att det åtgår omkring 21 kWh per dag. Jämförelsevis motsvarar det 153 kWh/år och ko vilket är en relativt normal energianvändning enligt värdena i Tabell 1.



**Figur 3-11: Varmvattenberedare för värmning av disk- och rengöringsvatten (t.v.). Mjölktanken sett utifrån (t.h.)**

### 3.3 Mjölkgård #3 – Tystberga

Mjölkgård #3 är belägen i Tystberga, drygt 2,5 mil nord-öst om Nyköping. Jacob driver gården tillsammans med en hel- och en halvtidsanställd. De anställda har tillgång till ett lunchrum, omklädningsrum (med dusch och toalett) samt vilorum. Faciliteterna är belägna en trappa upp från mjölkrummet. På samma våningsplan som mjölk tanken är belägen finns även ett kontor. Den mellanliggande korridoren och kontoret värms med golvvärme (totalyta ca 30 m<sup>2</sup>) med en varmvattenberedare som värmekälla. Totalt innefattar lantbruket 75 kor, varav ca 60 är mjölkande kor. Årligen produceras det omkring 636 000 kg mjölk (10 600 kg per ko och år). Korna lever i lösdrift och mjölkas med en mjölkrobot av fabrikatet Lely. För mellanlagring av mjölken vid diskning av mjölk tanken används en bufferttank, se bilden till höger i Figur 3-12.



Figur 3-12: Mjölkrobot av fabrikatet Lely och en bufferttank från 70-talet.

Mjölkkyltanken är tillverkad av Wedholms och är ca 12-13 år gammal. Den har en volymkapacitet på 5 000 liter och rengörs varannan dag vid tömning. Kylsystemet är fyllt med köldmediet R134a och är utrustad med en hetgasvärmväxlare enligt bilden till höger i Figur 3-13. Vid besöket kunde det dock konstateras att cirkulationspumpen för värmebärarsidan inte var aktiverad. Som det framgår från figuren nedan var systemet däremot väl förberett för värmeåtervinning med väl isolerade rörinstallationer. Värmeåtervinningen hade tidigare varit aktiverad och ansluten till en ackumulatortank som användes till värmning av kornas dricksvatten. Därmed nyttjades överskottsvärmen från kylsystemet till att förvärma kornas dricksvatten. Dock visades det sig att förvärmningen orsakade bakterietillväxt som medförde sjuka kor och dålig mjölk kvalitet till följd. Därav inaktiverades cirkulationspumpen till återvinningskretsen.



Figur 3-13: Mjölkkyltank från Wedholms med hetgasvärmväxlare.

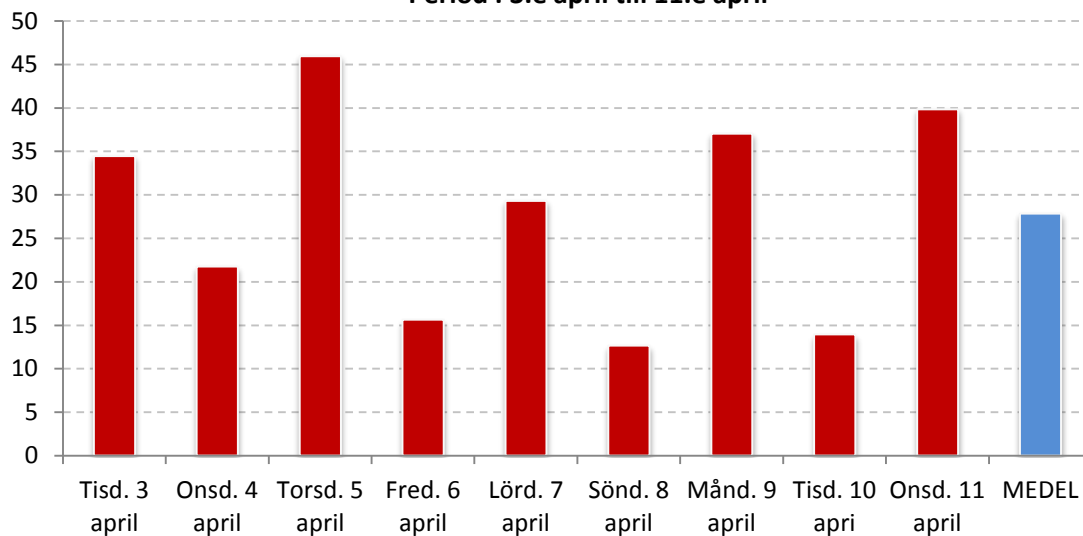
Vid besöket påträffades en varmvattenberedare med elpanna och en ackumulatortank. Varmvattenberedaren producerade varmvatten till diskning av mjölkkyltanken samt allmän rengöring. Ackumulatortanken hade tidigare varit sammankopplad med värmeåtervinning men uppfyllde inget funktion vid besöket. Elpannan användes för att värma vattnet till golvvärmebatter som innefattade en mindre korridor och kontoret. Ovanvåningen av fastigheten med lunch- och omklädningsrum värmdes med direktverkande el enligt bilden till höger i Figur 3-14.



**Figur 3-14: Rörinstallation för golvvärme (t.v.) samt direktverkande el till uppvärmning.**

Vid besöket installerades det mätutrustning som registrerade energianvändningen till värmning av vatten för diskning och rengöring under en period av 9 dagar. Med diskning och rengöring avser mjölkkyltanken och renspolning med slang. Därmed är inte mjölkrobotens egna disksystem inkluderat i mätstudien. I genomsnitt användes det 28 kWh el per dag till uppvärmning av vattnet. I Figur 3-15 nedan framgår det hur energianvändningen varierar under mätperiod. Resultaten visar tydligt hur energianvändningen förändras cykliskt i och med att mjölkkyltanken rengörs och diskas varannan dag. Jämförelsevis används 170 kWh per år och ko till rengöring och diskning (exkl. disk av robot). Nyckeltalet kan jämföras med det erhållna resultatet från mjölkgård #1 samt värdena från Tabell 1. Energianvändning för diskning av mjölkroboten kan uppskattas till 130 kWh/år och ko enligt Tabell 1.

**Energianvändning för produktion av varmvatten till rengöring i mjölkstall  
Period : 3.e april till 11.e april**



**Figur 3-15: Energianvändningen för rengöring av mjölkstallsutrustning under 9 dagar.**

### 3.4 Sammanfattning av fältstudier

I Tabell 2 och Tabell 3 presenteras en sammanställning av resultaten från fältstudierna. Tabell 2 redogör för det årliga värmeenergiebehovet för respektive gård. De rödmarkerade värdena i tabellen avser resultat från de mätningar som genomfördes och som därefter har korrelerats per årsbasis. Övriga värden i Tabell 2 är uppskattade siffror baserade på nyckeltal från tidigare studier. Nyckeltalen har tillämpats med utgångspunkt från respektive gårds förutsättningar. I slutet av Tabell 2 summeras det årliga behovet av värmeenergi. Det totala värmebehovet presenteras inklusive respektive exklusive bostadshusets värmebehov. Detta eftersom bostadshusets värmeenergi beror på ett antal faktorer som inte har behandlats närmare.

Tabell 2: Sammanställning av värmeenergiebehovet från fältstudierna.

Årligt värmeenergiebehov [kWh]	Mjölkgård #1	Mjölkgård #2	Mjölkgård #3
Diskning och rengöring (+ mjölkrobot)	7300 + 5850	7650 + 0	10200 + 7800
Förvärmning av dricksvatten till kor	-	-	-
Uppvärmning av personalutrymmen	8 900	3700	8000
Uppvärmning av bostad (inkl. tappvarmvatten)	18 000	18 000	18 000
<b>Summa värmebehov ladgård (exkl. bostad)</b>	<b>22 050</b>	<b>11 350</b>	<b>26 000</b>
Summa värmebehov ladgård inklusive bostad	40 050	29 350	44 000

I Tabell 3 presenteras den uppskattade mängd överskottsvärme som finns tillgänglig från kylprocessen per år för respektive gård. Utgångspunkten för beräkningarna är den mängd mjölk som årligen producerats. Dessa siffror är rödmarkerade då värdena är baserade på faktiska uppgifter från respektive gård. Vidare har resultaten från ClimaCheck-mätningar använts för att fastställa den tillgängliga värmen. Den energi som tillfördes kylprocessen via kompressorarbetet jämfördes med den mjölmängd som kylades under processen. Därefter nyttjades det erhållna COP-värme för att fastställa den årliga mängden tillgänglig överskottsvärme. Eftersom det endast gjordes en ClimaCheck-mätning antogs dessa resultat vara representativa för övriga mjölkkytankar.

Tabell 3: Sammanställning av tillgänglig överskottsvärme från fältstudierna.

Tillgänglig överskottsvärme	Mjölkgård #1	Mjölkgård #2	Mjölkgård #3
Årlig mjölkproduktion i liter	350 000	400 000	636 000
El till kompressor per 100 liter kyld mjölk	1,5	1,5	1,5
COP värme för kylprocessen	3,7	3,7	3,7
<b>Tillgänglig överskottsvärme per år från kylning av mjölk (kWh)</b>	<b>19 425</b>	<b>22 200</b>	<b>35 292</b>

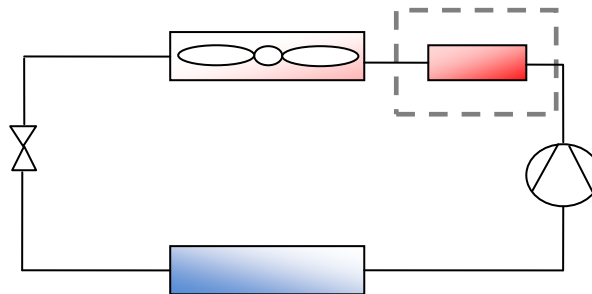


## 4 Konvertering till värmeåtervinning

Tidigare kapitel har fokuserat på mjölkgården och dess energianvändning. Värmebehovet för att utföra olika sysslor på en mjölkgård har kartlagts med så väl fältmätningar som studier av tidigare utredningar och rapporter. Vidare så har även den tillgängliga överskottsvärmen från kylprocessen vid kylning av mjölk utretts. Detta kapitel kommer fokusera på tekniska lösningar för att sammanföra behovet av värme med överskottsvärmen från kylprocessen på ett befintligt system vid en mjölkgård.

### 4.1 Teknik för värmeåtervinning

Ett alternativ för att ta tillvara på överskottsvärmen från kylprocessen vore att installera en vätskekyld kondensator. Detta skulle dock innebära stora ingrepp i det befintliga kylsystemet samt ställa höga krav på tillgängligheten av kallt vatten för kylning av kondensorn. Vid konvertering av ett befintligt mjölkkylsystem för värmeåtervinning är det mer lämpligt att installera en hetgasvärmväxlare som även kan användas till delkondensering enligt Figur 4-1 nedan.



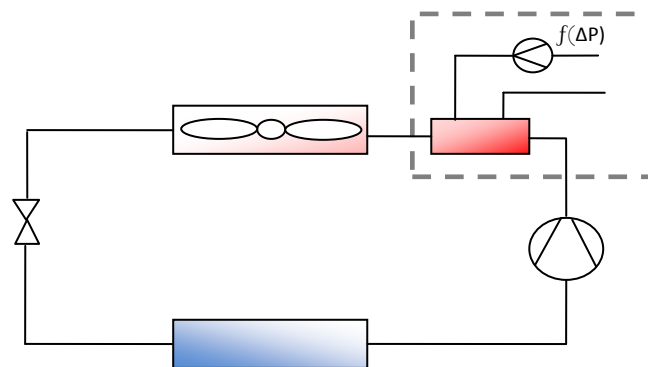
Figur 4-1: Kylsystem med hetgasvärmväxlare/delkondensator.

I Figur 4-2 återfinns två hetgasväxlare från tillverkaren SWEP, lämpade för ändamålet. Till vänster i figuren ses modellen B26 och till höger B10TH med 20 hoppresade plattor för värmeöverföring. Plattvärmväxlarna finns i olika utföranden och storlekar med varierade värmeöverföringskapacitet. Det finns även dubbelmantlade hetgasväxlare vilket ger en extra säkerhet avseende läckage från kylmediet till vätskesidan. Dessa plattväxlare är därmed anpassade till att direkt värma vatten för konsumtion.



Figur 4-2: Plattvärmväxlare från SWEP (Källa: SWEP och Wedholms).

Efter det att en hetgasväxlare har integrerats i kylsystemet så skall vätskesidan anslutas och eventuellt förses med en pump samt med tillhörande styrning (se Figur 4-3). Beroende på ändamålet med värmeåtervinning skulle det exempelvis vara möjligt att ansluta en dubbelmantlat hetgasväxlaren direkt till en inkommande kallvattenledning och förvärma det vattnet för direkt konsumtion. Om det även skulle det finnas kommunalt vatten att tillgå kan det befintliga vattentrycket nyttjas och behovet av en pump reduceras. Denna lösning skulle exempelvis kunna tillämpas vid konventionell mjölkning och förvärmning av dricksvatten till kor, då kor oftast dricker vatten vid mjölkning. Därmed sammanfaller värmebehovet med överskottsvärmen från kylning av mjölken. Dock finns det stor risk för bakterietillväxt om det ljumna vattnet skulle bli stillastående, vilket måste beaktas. Förslagsvis används en lösning med mellanlagring av värmen från kylprocessen då t.ex. behovet av värme inte alltid överensstämmer i tiden med den tillgängliga överskottsvärmen.



**Figur 4-3: Systemskiss för ett kylsystem med hetgasväxlare och pump.**

Vid val av pump till vätskekretsen finns det huvudsakligen två typer av pumpar som är aktuella: varvtalsstyrda pumpar och pumpar med fast varvtal. Den sistnämnda typen av pump erbjuder oftast möjligheten att välja ett fast varvtal i tre steg. Däremot går det inte att automatiskt steglöst reglera varvtalet under drift (se Figur 4-4 ). Reglering av vätskepumparna sker lämpligast med återkoppling från kylsystemet samt den önskade vattentemperaturen. En varvtalsreglerad pump erbjuder större möjligheter till en optimerad reglering men är även dyrare att införskaffa.



**Figur 4-4: Pump från Wilo med möjlighet till varvtalsreglering under drift (t.v.) samt en med valbart fast varvtal i tre steg (t.h.). (Källa: Wilo)**

En fastreglerad pump är oftast föreglad med kompressorn via en kontaktor, dvs. när kompressorn är i drift tillåts även pumpen att vara i drift. Vidare bör även värmeöverföringen från hetgasväxlaren regleras med avseende på kondensortrycket, så att kylsystemets prestanda inte påverkas negativt. Detta kan åstadkommas genom att anpassa flödet på vätskesidan med exempelvis en tryckstyrd vattensparventil och återkoppling till kondensortrycket (se t.ex. Figur 2-5). Rekommendationer om gränsvärden för kondensortrycket bör erhållas från respektive mjölk tankstillverkare. Med en varvtalsstyrd pump ges möjligheten att reglera flödet genom att ändra pumpens varvtal under. Detta sker enklast genom att styra pumpen med en PID-regulator avsedd för en process med flera interaktiva variabler. I Figur 4-5 ses en regulator från tillverkaren Eurotherm med möjlighet att reglera efter två variabler, exempelvis kondensortryck och framledningstemperatur för vattnet.



**Figur 4-5: PID-regulator från Eurotherm avsedd för reglering av två variabler.**

En ackumulatortank gör det möjligt att magasinera den värme som alstras vid kylning av mjölken. Det är nämligen inte alltid behovet av värme överensstämmer men den värme som finns tillgänglig för stunden. Exempelvis finns det ett stort behov av varmvatten vid diskning av mjölk tanken men givetvis är inte kylsystemet aktiverat då och därmed alstras det heller ingen värme. Utformningen av ackumulatortankar varierar mellan tillverkarna och ändamålet med tanken. Det finns t.ex. tankar som är utformade specifikt för solfångarsystem i kombination med annan värmekälla. Gemensamt för de flesta ackumulatortankar är dock att de innehåller värmeslingor, så som kamflänsrör av koppar. Vanligen är tankarna även utrustade med elpatron som tillskotsvärme för produktion av högt tempererat vatten (tappvarmvatten). På grund av densitetsskillnader uppkommer det skiktningar i en ackumulatortank vilket innebär att det allra varmaste vattnet återfinns i toppen av tanken och det något kallare i botten. Skiktning i tanken är viktigt då det möjliggör uttag av vatten vid separata temperaturnivåer för olika ändamål.



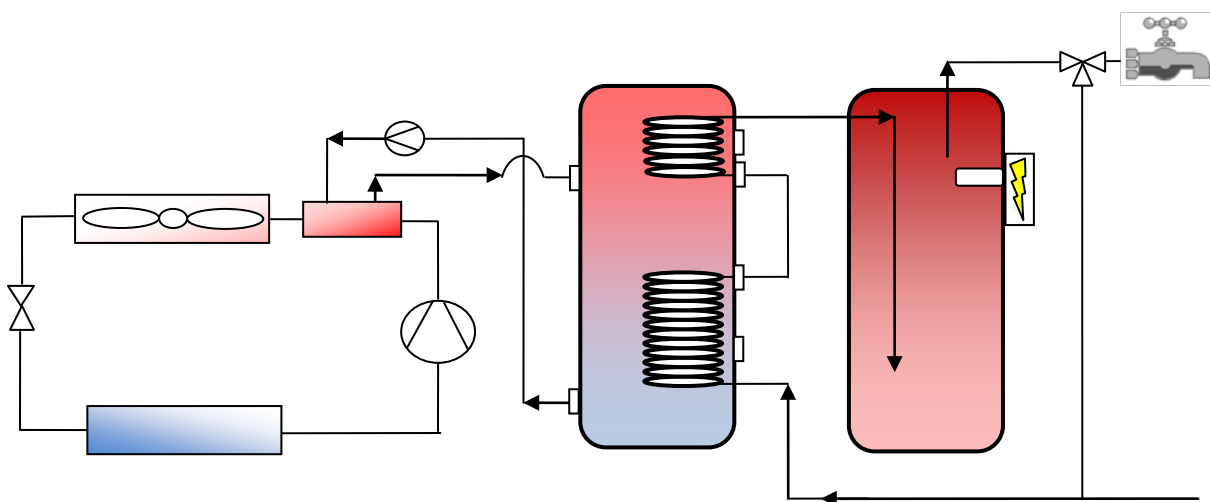
**Figur 4-6: Ackumulatortank från tillverkaren Effecta (Källa: Effecta).**

## 4.2 Systemförslag och ekonomi

Nedan presenteras förslag till systemlösningar med värmeåtervinnig för olika ändamål. Systemritningarna och där tillhörande flödesscheman skall användas som inspirationskälla i ett första steg för konvertering till värmeåtervinning av ett befintligt system. Med denna utgångspunkt så har systemritningarna konstruerats i syfte att ge en tydlig bild av möjligheterna snarare än att producera underlag för projektering. Därav har vissa VVS-tekniska detaljer utelämnats (så som expansionskärl, säkerhetsventiler, påfyllningsfunktion till ackumulatortank etc.) i syfte att underlätta förståelsen för systemets helhet.

### 4.2.1 Systemalternativ 1 – Fövärmning av vatten till diskning och rengöring

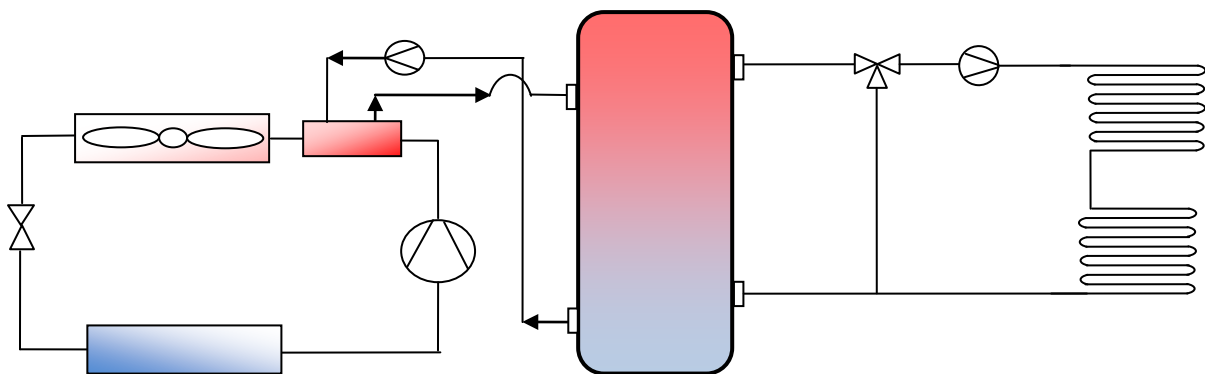
Det första systemförslaget syftar till att använda överskottsvärmen från kylprocessen till att förvärma vatten. Det förvärmade vattnet slutvärms sedan med el tillskott i en varmvattenberedare och kan exempelvis användas till diskning av mjölk tanken eller till allmän rengöring. Systemet är uppbyggt kring en ackumulatortank där värmen från kylprocessen magasineras. Detta sker genom att kylsystemet konverteras till att innefatta en hetgasvärmväxlare varvid vätskesidan är ansluten till ackumulatortanken. En pump med tillhörande reglering cirkulerar vätskan genom plattvärmväxlaren och vidare till tanken. Den varma vätskan från värmväxlaren tillförs i toppen av tanken. Utloppet är placerat i botten av tanken där den något kallare vätskan hämtas för vidare uppvärmning i hetgasväxlaren. Det är viktigt att bibehålla en temperaturskiktning i ackumulatortanken vilket kan påverkas av vätskeflödet genom denna. Ett för högt flöde skulle kunna orsaka en omrörning i tanken och därmed förstöra temperaturskillnaden. Vidare så är det inkommande kallvattnet anslutet till två värmeslingor i ackumulatortanken. Den första värmeslingan är placerad i botten av tanken och förvärmer det kalla vattnet. Fövärmningsslingan är sedan ansluten till en toppslinga där det inkommande vattnet värms ytterligare. Slutligen överförs det varma vattnet till den varmvattenberedare där det slutvärms med el tillskott till en önskad temperatur. Beroende på om vattnet sedan används som tappvarmvatten eller för rengöring/diskning finns det eventuellt ett behov av en blandningsventil för att motverka skålningsrisk.



Figur 4-7: Systemalternativ 1 – Fövärmning av vatten till diskning och rengöring

#### 4.2.2 Systemalternativ 2 – Värmning av vatten för uppvärmning av lokaler

Systemförslag 2 syftar till att använda överskottsvärmen från mjölktankens kylsystem till uppvärmning av lokaler. Resultaten från fältstudierna påvisade att vattenburen golvvärme är ett vanligt alternativ för att överföra värme till närliggande personalkontor och korridorer. Däremot värms vattnet till golvvärmesystemen allt för ofta med en elvärmepanna eller motsvarande. Eftersom värmen som överförs från kylsystemet (via en hetgasväxlare) är lågtempererad med en temperatur på omkring 40-65°C, är den högst lämpad för att användas till ett vattenburet golvvärmesystem. Då behovet av värme inte alltid sammanfaller med den tillgängliga värmen bör överskottsvärmen lagras. Överskottsvärmen magasineras därmed i en ackumulatortank och kan sedan användas vid behov för uppvärmning. Utifrån erfarenheterna från fältstudierna finns det goda förutsättningar för att klara uppvärmning av lokaler så som kontor och korridorer endast med den tillgängliga överskottsvärmen från kylsystemet. I och med detta krävs det inget eltillskott från en elvärmepanna. Dock beror energianvändningen givetvis på respektive mjölkgårds förutsättningar även om resultaten från fältstudierna och tidigare utredningar ger en god uppskattning av energibehovet och den tillgängliga energin. Det är även fördelaktigt att använda värmeenergin till uppvärmning via ett redan befintligt system, som exempelvis golvvärmesystem. Ett annat alternativ vore att ersätta de direktverkande element som är vanligt förekommande för uppvärmning av lunchrum och genomsamma utrymmen, med ett vattenburet system. Exempelvis finns det vattenburna luftvärmareväxlare, aerotemperar, som vore en intressant lösning. Dock kräver dessa en extra installation varvid användandet av befintliga installationer, så som vattenburen golvvärme, är att föredra.

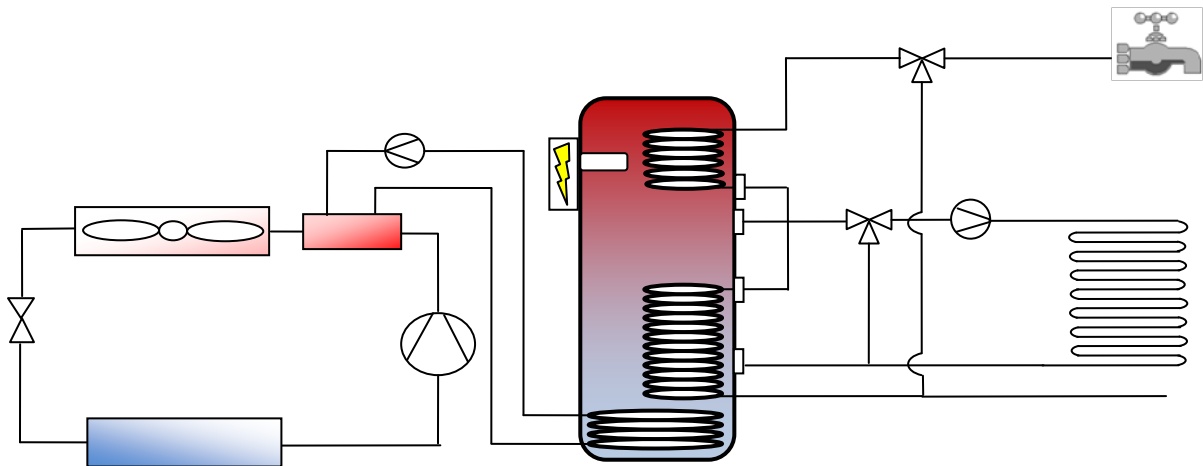


Figur 4-8: Systemalternativ 2 – Värmning av vatten för uppvärmning av lokaler

#### 4.2.3 Systemalternativ 3 – Kombinerad värmning av vatten för rengöring och uppvärmning

Systemalternativ 3 är en kombinerad lösning för värmning av så väl vatten till rengöring och diskning som till uppvärmning av lokaler. Återigen används en hetgasväxlare för att ta tillvara på den värme som bortförs vid kylning av mjölken. En cirkulationspump transporterar värmen från hetgasväxlaren till en ackumulatortank för magasinering. Den lagrade värmen används sedan för att värma diskvatten och vatten för rengöring samt till uppvärmning via ett vattenburet golvvärmesystem. Denna kombinationslösning innebär däremot att värmeöverföring till den lågtempererade delen (golvvärmen) samt högtempererade delen (disk- och rengöring) sker från en och samma ackumulatortank. Därav ett behov av eltillskott för att säkerställa den höga

temperaturen till diskvattnet. Jämfört med systemalternativ 1 var dessa delar då separerade med en förvärmningstank (ackumulatortank) och en slutvärmning (varmvattenberedare). Det är viktigt att temperaturskiktningen i ackumulatortanken bibehålls så att värmen från kylprocessen kan överföras till ackumulatortanken i dess bottenkikt. Om det inte finns en temperaturdifferens däremellan kan heller ingen värmetransport ske. Ett alternativ till denna lösning vore därmed att förvärma diskvattnet enligt förslaget nedan och slutvärme detta i en separat varmvattenberedare likt alternativ 1. Det fodras däremot mer utrymme varvid kombinationslösningen enligt nedan bör nämnas.



Figur 4-9: Systemalternativ 3 – Kombinerad värmning av vatten för rengöring och uppvärmning

#### 4.2.4 Ekonomi och lönsamhet vid konvertering till värmeåtervinning

Oftast är det den ekonomiska lönsamheten som i slutändan avgör om en energibesparande investering genomförs eller ej. Därmed är det väsentligt att utarbeta en kalkyl som beaktar kostnader för investeringen och jämföra detta med den reducerade driftskostnaden som energibesparingen medför. Beroende på det avkastningskrav som efterfrågas, görs sedan en bedömning om investeringen skall genomföras eller inte. En generell bedömning av kostnaderna för en investering med syftet att konvertera till värmeåtervinning, är svår att genomföra med en större noggrannhet. Detta då förutsättningarna varierar från mjölkgård till mjölkgård. Från de fältstudier som genomförts i denna utredning framkommer det tydligt. En av mjölkgårdarna (# 3) som studerades vid fältbesöken hade exceptionellt goda möjligheter till att återvinna värmen från kylsystemet då både ackumulatortank och hetgasvärmväxlare med pump redan var installerad. Dock hade systemet inte färdigställts till ett enhetligt fungerande värmesystem vilket skulle kräva en relativt liten arbetsinsats från en VVS-installatör. Investeringskostnaden för ett funktionellt återvinningssystem är i detta fall låg vilket ger en kort återbetalningstiden för investeringen (förutsatt tidigare presenterade värden för värmebehov och möjlig värmeåtervinning).

För mjölkgård #2 var däremot förutsättningarna inte desamma. I detta fall fanns det inte någon hetgasvärmväxlare installerad för värmeåtervinning och det fanns heller ingen cirkulationspump eller ackumulatortank. Därmed behövs det både utrustning och installationsmaterieell samt en VVS-installatör alternativt kyltekniker som genomför arbetet med att konvertera systemet till värmeåtervinning. De initiala kostnader som uppstår för att erhålla ett funktionellt

värmeåtervinningssystem medför att återbetalningstiden för investeringen blir längre under de givna förutsättningarna gällande värmebehovet och tillgång till överskottsvärme.

I Tabell 4 nedan presenteras en investeringskalkyl för de mjölkgårdar som besöktes vid fältstudierna. Den första raden i tabellen avser behovet av värme som kan tillgodoses med värmen från återvinningen i anslutning till mjölkstallet. Eftersom en del av värmebehovet kräver högtempererad värme (~ 90-120°C) så kan denna inte tillgodogöras helt från värmeåtervinningen. Därmed har en täckningsgrad motsvarande 50 % antagits jämfört med värdena från denna Tabell 2. Rad 2) avser den tillgängliga värmen enligt tidigare uppgifter. I rad 3) presenteras det arbete och utrustning med materiell som behövs för att erhålla ett komplett system. Eftersom förutsättningarna skiljde sig åt mellan mjölkgårdarna varierade även behovet av kompletterande arbete och utrustning för att konvertera till värmeåtervinning.

Tabell 4: En kalkyl för investering i ett värmeåtervinningssystem för de besökta mjölkgårdarna.

	Mjölkgård #1	Mjölkgård #2	Mjölkgård #3
<b>1) Behov av värme till uppvärmning och förvärmning av tappvatten (disk/rengöring).</b>	15 475 kWh	7 525 kWh	17 000 kWh
<b>2) Tillgänglig värme från kylsystemet per år</b>	19 425 kWh	22 200 kWh	35 292 kWh
<b>3) Behov av utrustning och arbete för konvertering till värmeåtervinning</b>	Akkumulatortank och arbete +mtrl	Hetgasvärmväxlare, cirkulationspump, ackumulatortank och arbete + mtrl	Arbete samt mtrl
<b>4) Uppskattad kostnad för att uppnå ett fullständigt system för värmeåtervinning</b>	23 000 kr	32 000 kr	15 000 kr
<b>5) Återbetalningstid för systemet antaget 100 % återvinning av tillgänglig värme för behovet</b>	ca 1 ½ år	ca 4 ½ år	ca 1 år
<b>6) Återbetalningstid för systemet antaget 30 % återvinning av tillgänglig värme för behovet</b>	ca 4 år	ca 5 år	ca 1,5 år

I rad 4) ges en uppskattad kostnad för att respektive mjölkgård skall kunna erhålla ett fungerande värmeåtervinningssystem. I detta fall är det väldigt svårt att ge en exakt siffra för arbetskostnader varvid värdena skall ses som riktlinjer. Dock grundar sig dessa på erfarenhetsvärden från tidigare installationer. Ett återvinningsaggregat från exempelvis tillverkaren Wedholms, enligt Figur 2-5,

kostar omkring 9 000 kr beroende på val av kapacitet. En tillhörande ackumulatortank kostar ca 8 000 kr men varierar givetvis beroende på kapacitet, tillverkare etc. I raderna 5) och 6) presenteras återbetalningstiden för investeringen utifrån två förutsättningar. I rad 5) antas det att 100 % av den tillgängliga värmen kan tas tillvara från kylsystemet. I rad 6) antas att 30 % kan återvinnas och resterande del avges från kylsystemets kondensor (vilket i för sig kan bidra till uppvärmning av lokalen beroende på förutsättningarna). Utifrån detta fås sedan en återbetalningstid för investeringen antaget ett elpris motsvarande 1 kr/kWh.

#### **4.2.5 Summering**

Avslutningsvis kan det konstateras att värmebehovet på en mjölkgård är relativt stort. Det finns både ett behov av värme i själva mjölkstallet till diskning/rengöring samt uppvärmning av omkringliggande lokaler. Utöver detta finns det även ett behov av uppvärmning av exempelvis närliggande bostadshus. De fältstudier som genomförts och de kalkyler som presenterats har fokuserat på lösningar för värmeåtervinning i anknytning till mjölkstallet. I detta avseende har möjligheterna till värmeåtervinning för ett närliggande bostadshus inte undersökts närmare. Det bör dock poängteras att det vid större gårdar, där värmeöverskottet är stort, även kan vara lönt att överväga en systemlösning som innefattar bostadshuset.

Som det framgår från fältbesöken varierar förutsättningarna för värmeåtervinning. Det kan däremot konstateras att värmeåtervinning i dagsläget inte används i någon större utsträckning även om förutsättningarna är goda. Vanligen används direktverkande el som alternativ för att värma vatten till rengöring och uppvärmning. Från kalkylerna framgår det att återbetalningstiden för en investering som medför ett funktionellt återvinningssystem är mindre än 5 år. Det behövs således informationsspridning som tydligt belyser fördelarna med att konvertera till värmeåtervinning.



## 5 Referenser

**Christiansson, Anders. 2010.** Legionella. *Svensk Mjök.* [Online] den 06 Oktober 2010. [Citat: den 1 Maj 2012.] <http://svenskmjolk.se/Mjolkgarden/Mjolkkvalitet/Hygien-och-bakterier/Patogena-bakterier/Faktablad-patogena-bakterier/legionella/>.

**Energimyndigheten. 2012.** Din uppvärmning. *Ditt hus och din uppvärmning.* [Online] den 25 April 2012. [Citat: den 1 Maj 2012.] <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Din-uppvarmning/>.

**Jordbruksverket. 2010.** jordbruksverket. [Online] den 1 Januari 2010. [Citat: den 28 Mars 2012.] [www.jordbruksverket.se](http://www.jordbruksverket.se).

**Karlsson, Emelie, o.a. 2012.** *Energiåtervinning från mjölkkyllning.* Uppsala : JTI, 2012. 1401-4963.

**Lindgaard Jensen, Morten. 2009.** *Power and waterconsumption.* u.o. : Dansk Landbrugsrådgivning, Dansk Kvaeg, 2009. ISSN 16016785.

**Nilsson, Sverker och Pålhorstorp, Sven. 1985.** *Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader.* Lund : Sveriges lantbruksuniversitet, 1985. 91-576-2391-0.

**Swedish Standards Institute. 2002.** *Livsmedelsmaskiner – Mjölkkyltankar för lantgårdar.* Stockholm : SIS Förlag AB, 2002. SS-EN 13732.

**Svensk mjök. 2011.** Kvalitetssäkrad Mjökproduktion. [Online] 2011. [Citat: ] 28. <http://www.svenskmjolk.se/Global/Dokument/EPi-tr%C3%A4det/Mj%C3%B6lkkg%C3%A5rden/Mj%C3%B6lkkvalitet/Kvalitetss%C3%A4krad%20mj%C3%B6lkproduktion/Kvalitetss%C3%A4krad%20Mj%C3%B6lkproduktion%20Mj%C3%B6lkavh%C3%A4mtningsrum.pdf>.

**Svensk Mjök. 2012.** Svensk Mjök. [Online] den 10 Januari 2012. [Citat: den 26 03 2012.] [www.svenskmjolk.se](http://www.svenskmjolk.se).