



CHALMERS



Solenergi inom lantbruk

Spannmålstorkning och mjölkkyllning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

FREDRIK LINDBERG, JOACHIM JAKOBSSON

EXAMENSARBETE BOMX03-16-41

Solenergi inom lantbruk

Spannmålstorkning och mjölkkyllning

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

FREDRIK LINDBERG, JOACHIM JAKOBSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GÖTEBORG, 2016

Solenergi inom lantbruk
Spannmålstorkning och mjölkkyllning

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

FREDRIK LINDBERG, JOACHIM JAKOBSSON

© FREDRIK LINDBERG, JOACHIM JAKOBSSON, 2016

Examensarbete BOMX03-16-41 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2016

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Pixabay, 2012

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2016

Solenergi inom lantbruk
Spannmålstorkning och mjölkkyllning

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

FREDRIK LINDBERG, JOACHIM JAKOBSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

SAMMANDRAG

De stora mängder fossila bränslen vi dagligen använder är inte hållbart. Vi måste försöka ersätta dem med förnyelsebara energikällor istället. Solenergi är en förnyelsebar energikälla, och man kan med teknik som solceller och solfångare ta vara på solenergin i form av elektricitet respektive varmvatten. Hur gynnsam solenergi kan vara varierar, beroende på vilken verksamhet som bedrivs, vilka installationsmöjligheter som finns och den geografiska placeringen. Examensarbetet utreder möjligheten till att nyttja solenergi för att torka spannmål och mjölkkyllning inom lantbruket. Syftet är att för lantbruk granska hur man med solenergi kan minska användningen av fossila bränslen, samt vilka tekniska lösningar som är lämpliga för att lagra solenergi från perioder med låg energiförbrukning till hög. Lantbruk har antagits vara ett bra implementeringsområde där det finns stora möjligheter till förbättring. Inom lantbruk finns många energikrävande processer där spannmålstorkning och mjölkkyllning är två av de stora. För spannmålstorkning eldas olja för att torka bort fukten. Förutsättningar och data för beräkningar i rapporten kommer från ett lantbruk som ligger i Kode. Detta gör att rapportens slutsatser är knutna till just det lantbruket och kanske inte är aktuella för andra gårdar. Rapporten kan dock ligga till grund för förståelse och idéer på möjliga installationer för alla parter som är intresserade av solenergi. När olja eldas så frigörs stora mängder energi vilket ger en hög effekt. Problemet blir då när det kommer till möjligheter att hitta en alternativ uppvärmningsmetod som ger likartad effekt. Vi fann att oljan inte helt gick att ersätta med solenergi. Däremot när det kommer till mjölkkyllning så kan man reducera mängden inköpt el.

Nyckelord: Solenergi, lantbruk, mjölkkyllning, torkning spannmål

Solar energy within agriculture
Grain drying and milk cooling

*Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering*

FREDRIK LINDBERG, JOACHIM JAKOBSSON
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of Building technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The large amount of fossil fuels consumed nowadays is not sustainable. We must try to replace them with renewable energy sources. Solar energy is a renewable energy source, with the technology of solar cells and solar panels make use of solar energy in the shape of electricity and hot water. How beneficial solar power may be, depends on the activity carried out, the installation options available, and the geographic location. The Diploma Thesis examines the possibilities of using solar energy in the processes of grain drying and milk cooling within agriculture. The aim is to, for agricultural purposes, examine how solar energy can reduce the use of fossil fuels, as well as the technical solutions that are suitable to store solar energy from periods of low energy levels to high. Agriculture has been assumed to be a good deployment area with great potential for improvement. In agriculture there are many energy-consuming processes, with grain drying and milk cooling being two major ones. For grain drying fired oil is used to wipe moisture out. Assumptions and data for calculations in the report come from a farm located in Kode, Sweden. Thus, the report's conclusions are tied to that particular farm and may not apply to other farms. The report, however, can be seen as a base for understanding and ideas to anyone interested in solar energy. Burning oil released large amounts of energy which gives a high output. The challenge is finding an alternative heating method that gives a similar power. We found that the oil can not completely be replaced by solar energy. However when it comes to milk cooling, you can reduce the amount of purchased electricity

Key words: Solar energy, agriculture, milk cooling, grain drying

Innehåll

SAMMANDRAG	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Genomförande	1
1.4 Frågeställningar	1
1.5 Avgränsningar	1
1.6 Metod	2
2 LANTBRUK SOM IMPLEMENTERINGSOMRÅDE	3
2.1 Mjölkning och mjölkkyllning	3
2.1.1 Kylsystem mjölk tank	4
2.1.2 Rengöring av mjölkningssystemet	5
2.2 Spannmålstorkning	6
2.3 Energieffektivisering	7
2.3.1 Energieffektivisering för mjölkkyllning	8
2.3.2 Energieffektivisering för spannmålstorkning	8
3 SOLENERGI	10
3.1 Funktion solceller	10
3.1.1 Olika typer av solceller	10
3.2 Funktion Solpaneler	11
3.3 Partiell skuggning	11
3.4 Funktion solfångare	11
4 MÖJLIGHETER ATT LAGRA SOLENERGI	12
4.1 Batterier som lagringskälla för el	12
4.2 Fasändringsmaterial som lagringskälla för värme	12
4.3 Ackumulatortank som lagringskälla för värme	13
4.3.1 Stilleståndsförluster	14

5	FÖRUTSÄTTNINGAR OCH ENERGIBERÄKNINGAR	15
5.1	Soltimmar och solstrålning	16
5.2	Fukthalt	16
5.3	Temperatur	16
5.4	Energiberäkningar för pumpar	16
5.5	Energiberäkning för kylning av mjölk	17
5.6	Energiberäkningar för inkommande solenergi	18
5.7	Energiberäkningar för spannmålstorkning	18
5.8	Beräkningar för förvärmning med värmebatteri till spannmålstorken.	18
5.9	Sammanställning av energiberäkningar	18
6	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	19
6.1	Slutsatser	19
6.1.1	Batteri torkning spannmål	19
6.1.2	Batteri kylning mjölk	19
6.1.3	Akkumulatortank torkning spannmål	20
6.1.4	Akkumulatortank kylning mjölk	20
6.1.5	Fasändringsmaterial torkning spannmål	20
6.2	Frågeställningar	21
7	REFERENSER	22
APPENDIX 1: BILAGA FÖR EKVATIONER		

Förord

Vi vill här rikta ett tack till forskarassistent Pär Johansson på Bygg- och miljöteknik, avdelningen för byggnadsteknologi på Chalmers tekniska högskola, för möjligheten att skriva detta kandidatarbete.

Vi vill även tacka alla er som har hjälp till och delat med er av era kunskaper.

Ett extra stort tack vill vi ge till Hugo Westlin på Hushållningssällskapet som med sitt engagemang och sin kunskap varit ett stor bidrag i detta arbete. Hugos tid har finansierats med medel från Prytz Donationsfond.

Göteborg juni 2016

Fredrik Lindberg, Joachim Jakobsson

Beteckningar

Enheter för beräkning av energi och flöden.

E	Energi (Wh)
$\dot{Q}$	Effekt (watt)
ρ	Densitet (kg/m^3)
cp	Specifik värmekapacitet ($\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$)
$\dot{V}$	Volymflöde (m^3/s)
m	Massa (kg)
t	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
Δ	Delta
Δt	$t_1 - t_2$
h	Tid (timmar)

Formler

$$E = \dot{Q} * h$$

$$\dot{Q} = \dot{V} * \rho * cp * \Delta t$$

Enheter för beräkning av producerad energi

U	Spänning (volt)
I	Ström (A)
P	Effekt (W)
h	Tid (timmar)

Formler

$$P = U * I$$

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Inom lantbruket så nyttjar man idag stora mängder olja som energikälla. En av de processer som är anledning till det är torkning av spannmål. För att torka spannmålet används stora mängder uppvärmd luft som blåses igenom spannmålen. Byggnader på gårdar är i regel stora, vilket ger goda möjligheter för installation av solceller eller solfångare på dess takytor. Genom någon av dessa installationer försöka minska användningen av fossila bränslen eller minska andelen köpt el, inom lantbruk.

1.2 Syfte

Examensarbetets syfte är att undersöka hur solenergi kan nyttjas och lagras för mjölkkyllning och torkning av spannmål inom lantbruket.

1.3 Genomförande

Examensarbetet inleds med en litteraturstudie som behandlar ämnesområdet. I samarbete Hugo Westlin från hushållningssällskapet som i huvudsak jobbar med forskning och utveckling av landsbygden, gjordes en fältstudie. Den bestod av ett besök på en mjölkgård i Kode. Besöket genomfördes för att få ingångsvärden samt att ha ett exempel att räkna på. Utifrån mjölkgården norr om Göteborg undersöktes energianvändningen för kylning av mjölk och gårdens spannmålstorkning. Utifrån datan som erhöles, undersöktes möjligheten till att implementera solenergi i verksamheten.

1.4 Frågeställningar

- Kan elbehovet delvis eller helt och hållet täckas med hjälp av solenergi?
- Hur lagras el från solen mellan dygn med god elproduktion till dygn med sämre elproduktion?
- Hur mycket kan man förvärma torkningsluften för att på så vis kunna minska elningen av olja?
- Går det optimera temperatur och luftflöde för att minska energianvändningen?
- Är det mest effektivt att framställa el eller värme från solen?

1.5 Avgränsningar

Solenergi skulle kunna vara användbart till många olika områden inom lantbruk men en av avgränsningarna vi gjort är att endast se till energibehovet som krävs för torkning av spannmål samt kylning av mjölk.

De tekniska lösningar vi granskat är storskaliga batterier för lagring av el samt värmelagring med ackumulatortank och fasändringsmaterial.

1.6 Metod

Det finns redan mycket forskning och rapporter om solenergianvändning inom lantbruket. Vi har använt många av dessa för att få förståelse, samt använt den fakta som underlag för vår vidare sammanställning. Besöket på gården i Kode har legat till grund för våra beräkningar, och de svar vi kommit fram till behöver generellt inte stämma överens med andra gårdar. Vi valde att göra på detta sätt då det är svårt att generalisera lantbruk. Vi valde därför bort möjligheten att räkna på en hypotetisk anläggning, där vi skulle använt förutsättningar som grundats i statistik och medelvärden, då det blir ospecifikt och svårt att sammanställa.

2 Lantbruk som implementeringsområde

Lantbruk är generellt sett väldigt energikrävande och har energiförbrukning på ungefär 4,4 TWh per år. Denna energi fås från bland annat diesel, el och olja, och så mycket som 70 procent av den energin fås från fossila bränslen (Johansson, 2015). Med den givna datan så är det enkelt att se att det finns stora möjligheter till förbättring. För att installera solenergi så krävs givetvis någonstans att sätta paneler, och en kvalité som många lantbruk har är just stora takytor och plats för installationer. Med den vetenskapen så kan det antas att lantbruket som helhet är ett bra implementeringsområde.

Det är dock inte helt problemfritt att titta på lantbruket generellt sett eftersom det finns så stora skillnader mellan olika gårdar. Dessa skillnader i energiförbrukning påverkas av saker som geografisk placering, tekniska lösningar, typ av byggnader, lantbrukarens beteende och så vidare (Johansson, 2015).

2.1 Mjölkning och mjölkkyllning

Hanteringen av mjölk består av tre delar, mjölkning, kylning och rengöring. För att bromsa den exponentiella tillväxten av bakterier behöver mjölken kylas omgående. Kylning och mjölkning är processer som kräver stora mängder energi. Det finns två typer av mjölkning, konventionell- och robotmjölkning.

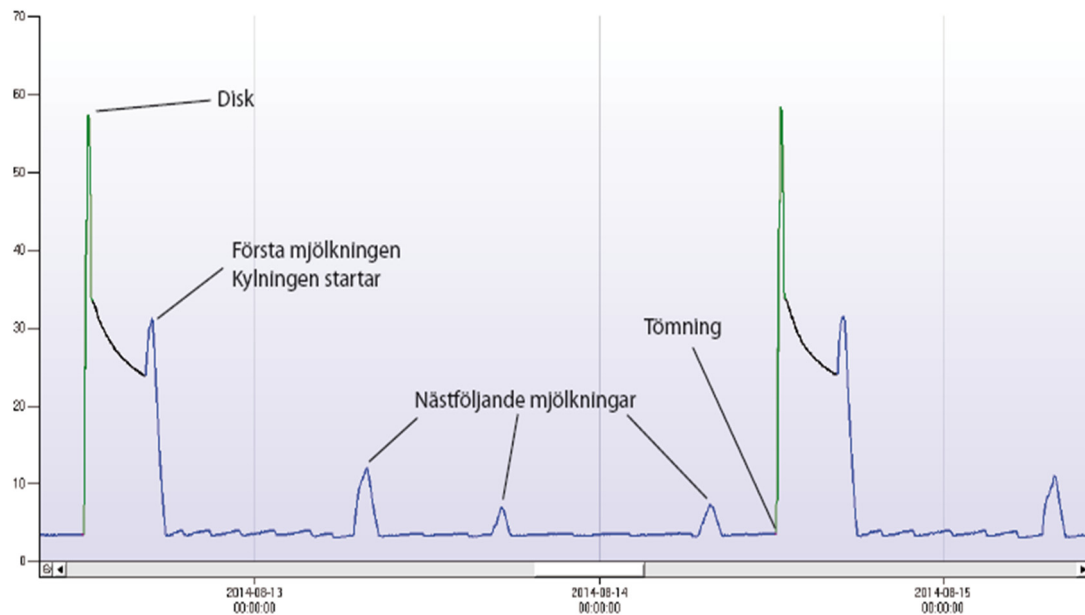
Konventionell mjölkning (figur 1) och robotmjölkning (figur 2) skiljer sig lite åt varandra. Den stora skillnaden mellan dessa två är det mer kontinuerliga flödet till mjöltkanken som erhålles vid robotmjölkning, vilket ger en jämnare temperaturkurva (figur 4)



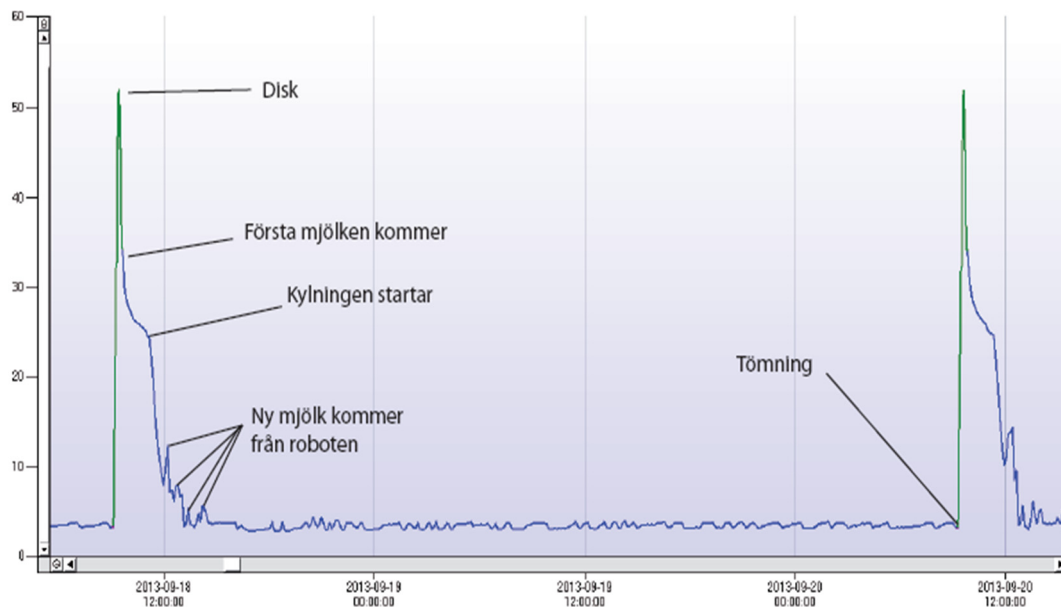
*Figur 1: Konventionell mjölkning, korna tas till en mjölkstation två gånger per dag.
(Wedholms AB)*



*Figur 2: Robotmjölkning. Korna går till en robotmjölkstation vid behov.
Mjölkning sker i snitt 2.5 gånger per dag
(Wedholms AB)*



Figur 3: Temperaturfördelningskurva över tid. Konventionell mjölkning (Wedholms AB 2016).



Figur 4: Temperaturfördelningskurva över tid. Robotmjölkning (Wedholms AB, 2016)

På gården sker konventionell mjölkning (figur 3). Två gånger om dagen, morgon och kväll mjölkas kreaturen. Till skillnad från det tidigare nämnda systemet robotmjölkning (figur 4) uppstår här momentant en större energianvändning för att kyla ner till måltemperaturen på fyra grader Celsius.

2.1.1 Kylsystem mjölkttank

Kylsystemet till mjölkttank innefattar kompressor, köldmedium och kondensator. Exempel på köldmedium är R407C, R404a eller R134a. Sistnämnda köldmediet R134a är representerat i tabell 1 nedan. Beroende på storlek av tank är en eller flera kompressorer och förångare nödvändiga. Köldmediet cirkulerar i kanaler inuti tanken och byter aggregationstillstånd från flytande till gas. Expansionsventiler i form av termostatisk expansionsventil eller elektrisk ventil är en del av systemet.

För att transportera bort energin från köldmediet används kondensatorer utrustade med fläkt (Figur 5), luftflödet över flänsarna ger upphov till en temperaturdifferens mellan luft och flänsarna. Differensen i temperatur driver kylningsprocessen. Uppsättningen fläktar beror på storlek av anläggning, vanligt förekommande uppsättning är i ett eller två par. Nedan så är systemen uppbyggda i moduler och kan enkelt anpassas efter exempelvis kylbehov eller andra önskemål. (Dahlberg, M. 2011).



Figur 5: Kondensor och fläkt för mjölkkylningsystem. Tv. Dubbel modul. Th. Enkel modul. Anpassningsbara efter storlek på system (Wedholms, 2016).

Tabell 1: Avser kompressorer med R134a – köldmedium. (Wedholms AB)

Kompressor	Kyla (kW)	Kraft i kompressor (kW)	Summa (kW)
MTZ 50	6,279	2,173	8,452

2.1.2 Rengöring av mjölkningssystemet

Rengöring av mjölkanordningen sker i tre faser, spolning med icke tempererat vatten, rengöring med diskmedel och varmvatten och slutligen en sköljning med icke tempererat vatten (Dahlberg, M. 2011).

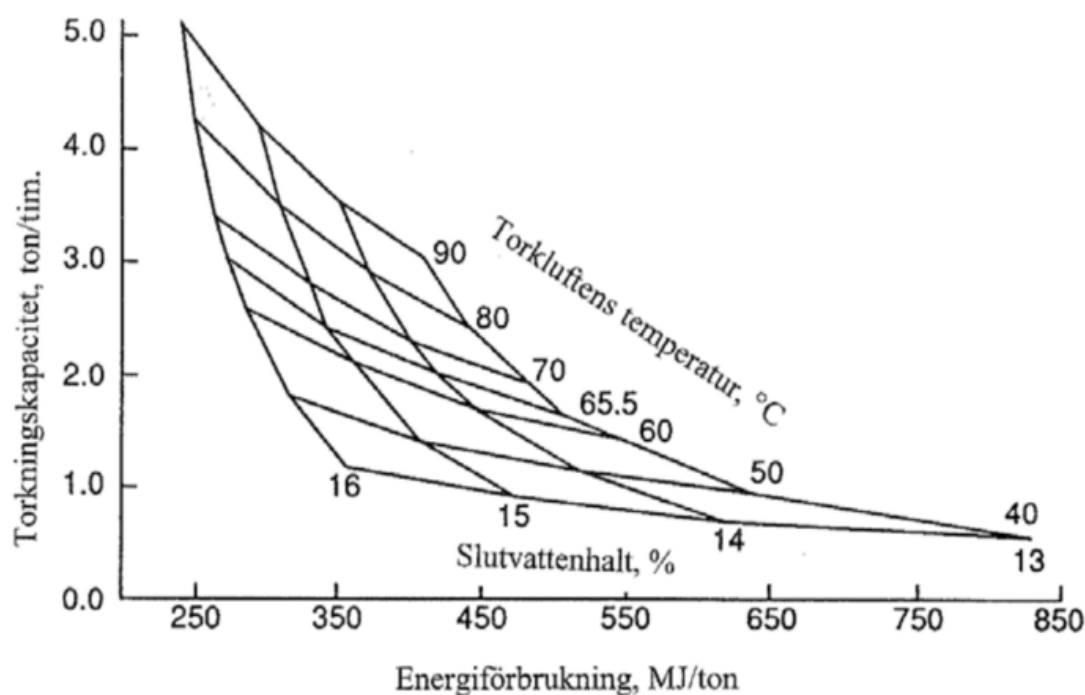
Fas nummer två där varmvatten erfordras är en del i processen som är en bidragare till energiförbrukningen på gården. Vattnet bör absolut hålla en temperatur över 43 °C för att fetter i tanken skall lösas upp med vattnet. Förutsättningarna för att det tempererade vattnet skall förmå att lösa upp fetter är en högre ingående vattentemperatur än det angivna 43°C ett måste. Innan reningsprocessen innehöll tanken den fyra gradiga mjölken, vilket gör att även tanken i materialet rostfritt stål även håller samma temperatur som mjölken gjorde. Rekommenderat är att ha en varmvattenberedare som kan ge 85-90 °C (Dahlberg, M. 2011).

2.2 Spannmålstorkning

Torkning av spannmål med varmluft går ut på att man med hjälp av en fläkt blåser in förvärmad luft som transporterar bort vattnet ur spannmålet. Detta sker genom att genomströmmande luft kommer i kontakt med spannmålet som är ett hygroskopiskt material. Temperatur och fukthalt i materialet strävar efter jämvikt med den omgivande luften,

Hur snabbt fukthalten reduceras i spannmålet beror av luftens temperatur och flöde. Fuktttransporten ut ur spannmålet ökar exponentiellt med temperaturen i kärnan. (Jonsson 2006)

Vid konventionell varmluftstorkning är inom några timmar spannmålen färdigtorkad lite beroende på torkluftstemperatur och luftmängd. Riktvärde är 2000-3000 m³ luft/ton och timme. Spannmålsskiktets tjocklek i torken har betydelse och bör ligga mellan 0,20 och 0,35 m, för att erhålla ett likvärdigt resultat på hela skörden. Vikten ligger i att den uppvärmda luften ska hinna ta upp fukten så snabbt som möjligt och samtidigt optimera energieffektiviteten. För att uppnå målen är den högsta möjliga torkluftstemperatur att rekommendera, dock inte på bekostnad av att kärnan skadas (Jonsson, 2006).



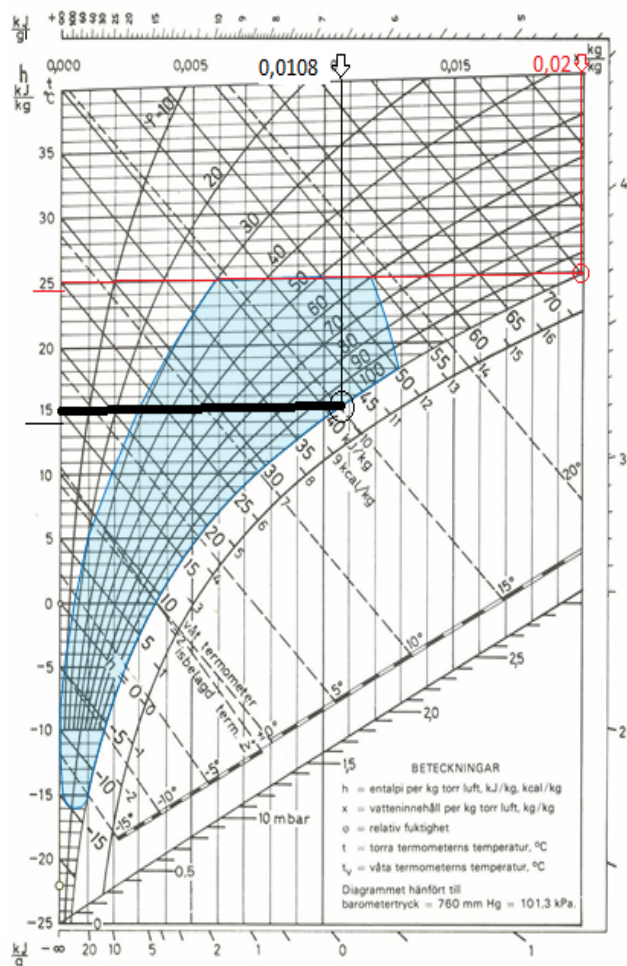
Figur 6: Torkning av skördad spannmål Kapacitet - ton per timma, energiförbrukning – Joule, Temperatur - °C, Slutvattenhalt - procent (Jonsson 2006).

Diagrammet i figur 6 visar hur den erforderliga energin ökar med minskad slutvattenhalt. (Jonsson 2006)

Vid varmluftstorkning är energiåtgången 5-6 MJ/kg förångat vatten. Temperatur på luften varierar beroende på typ av spannmål som skall torkas samt flödet på spannmål i torken. På utsäde spannmål är rekommendationen 60 grader för att inte försämra grobarheten. Vad gäller foderspannmål kan temperaturen vara upp mot 100 grader innan näringsförluster uppstår (Jonsson, 2006)

Att höja temperaturen på tilluften i torken från 65 C till 85 C vid torkning av foderspannmål kan en ökning på torkkapaciteten med 75 % uppnås, samtidigt sker en sänkning på energiförbrukning med 20 %. Som en direkt följd av den ökade omsättning på spannmål i torken. (Jonsson, 2006)

Mollier-diagram



RF. Relativ fukthalt är ett mått på hur mycket fukt den torra luften bär, och mäts i procent.

AF. Absolut fukthalt är ett mått på hur många kilo vatten ett kilo luft bär och har i Mollier- diagrammet

enheten $\frac{kg}{kg}$.

Temperatur och fukthalt beror av varandra. Luft kan bara bära en viss mängd fukt vid en given temperatur.

Utetemperatur 15 °C (svart markering). Vid 100 % relativ fukthalt bär luften 0,0108 kg vatten per kilo luft. RF 100 %, AF 0,0108.

Utetemperatur 25 °C (röd markering). Vid 100 % RF bär luften 0,02kg vatten per kilo luft. RF100 % AF 0,02

Figur 7: Mollier-diagram (kursmaterial, installationsteknik, Chalmers 2015).

2.3 Energieffektivisering

Energieffektivisering är både en ekonomisk- och miljömässig vinst för samhället och individen. För en verksamhet, ett lantbruk i detta fall, så gör dessa faktorer att verksamheten får en ökad konkurrenskraft. Svensk Energi väljer att dela upp energieffektivisering i två kategorier. Den ena är att effektivisera de tekniker och processer vi använder oss av medan de andra är att ändra vårt beteende (Svensk Energi, 2016).

2.3.1 Energieffektivisering för mjölkkylning

För kylning av mjölk så är det kylprocessen och vakuumpumparna som står för den stora energiförbrukningen. För mjölkproduktion så är energiförbrukningen relativt konstant över hela året men varierar över dagen.

Traditionellt sett i en mjölkkningsanläggning så körs en eller flera vakuumpumpar med en konstant hastighet och anpassar vakuumnivån genom att släppa in luft i vakuumslangarna. Istället kan man hålla en konstant vakuumnivå genom att pumparna bara producerar det luftflöde som faktiskt behövs, och det är så en frekvensstyrd vakuumpump fungerar. Detta är en energieffektivisering och man kan spara mellan 30 och 60 % av vakuumpumpens energiförbrukning (Bioenergiportalen).

Nötkreatur håller ungefär samma temperatur som oss människor, så när mjölken kommer från kon så är mjölken ungefär 37 C. Mjölken ska sen kylas ner till 4 C. Den värmen kan ta till varas på med en värmeväxlare för att värma vatten. Det uppvärmda vattnet kan antingen värmas ytterligare och brukas i hushåll eller så kan man ge det till korna som dricksvatten. I ett informationsblad framtaget av jordbruksverket informeras det att mjölkproduktionen ökar ungefär med 1 kg per dag per ko om de har tillgång till 17 C vatten jämfört med 3 C. Detta beror på att de dricker mer vatten om det är uppvärmt och då helt enkelt kan producera mer mjölk. En sådan lösning gör även att mjölken förkyls med hjälp av vattnet, så att kylaggregatet inte behöver arbeta lika mycket (Jordbruksverket, 1999).

En annan aspekt man bör tänka på är att placera sin mjöltk tank och kondensor på ett bra sätt. Mjöltk tanken vill man ha placerad svalt, där dagsljusinstrålning undviks. Kondensorn vill man också placera svalt och helst med god ventilation. När det är varmt vid kondensorn så måste kylaggregatet jobba hårdare för att göra sig av med värmen från mjölken (Bioenergiportalen).

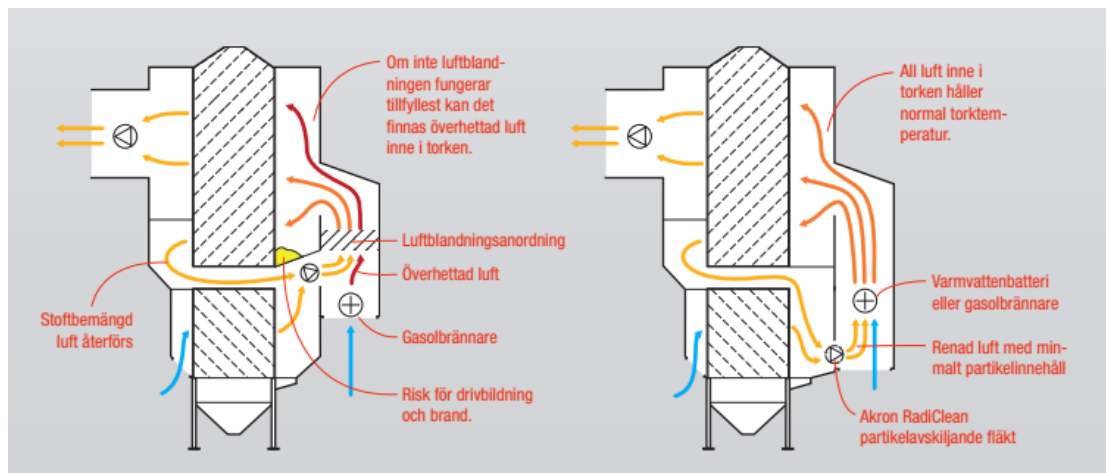
2.3.2 Energieffektivisering för spannmålstorkning

Drygt 90% av svensk spannmål varmluftstorkas, då det är en väldigt energikrävande process så finns där mycket energi att spara. Hur mycket fukt man behöver torka bort beror givetvis på hur fuktigt det är när man skördar. Om lantbrukare försöker att skörda när det är så torrt som möjligt så finns där en stor energivinst (Bioenergiportalen).

På lantbruket i Kode var pannan gammal och hade uppskattningsvis stora värmeförluster, varmluftskanalen var oisolerad och nästan 20 meter lång, där sker också stora värmeförluster. Att tilläggsisolera dessa komponenter skulle vara en lämplig energieffektivisering.

Det finns idag teknik för att värmeåtervinna spillvärmen från en tork, båda Akron och Tornum har system som tar vara på energin i den luften som lämnar varmluftstorken. Tvärsnitt på en sådan tork ses i figur 8 nedan.

En annan teknisk lösning som känns som en självklar energieffektivisering är att använda en värmeväxlare, och på så vis återinföra en del av värmen tillbaka in i torken. Fördelen med en sådan lösning skulle vara att hela luftflödet från torken kan användas, men problemet är att luften blir såpass fylld med partiklar att filtret i en traditionell värmeväxlare kommer att sättas igen (Gunnar Lundin, 2015).



Figur 8: Tvärsnitt på två torkar från Akron, den vänstra är en traditionell återvinningstork medan den högra är en tork med aktiv partikelavskiljning.

3 Solenergi

I Sverige används per capita 14 000 kWh varje år. Energin vi får från solen i Sverige är ungefär 900 kWh per kvadratmeter per år (SolEl-programmet, 2015).

Sveriges totala areal exklusive sjöar och vattendrag är cirka 410 000 kvadratkilometer. Solenergin som träffar denna yta under 20 minuter, skulle täcka hela Sveriges årsförbrukning 2012 (SCB, 2016).

Detta visar att det rör sig om väldigt stora mängder energi som solen ger, problemet är att lyckas ta till vara på den energin. Solceller och solfångare är två aktuella tekniska lösningar för detta.

3.1 Funktion solceller

Solcellen är en kiselplatta, en del n-dopad andra delen p-dopad, kvadratisk utformad med rundade hörn med en brygga av ledande material som förbinder transporten av den uppkomna laddningen. Solens strålar träffar ytan och genom termiskt exciterade elektroner skapas ett under respektive överskott och elektronerna driver över till n-sidan. En positiv spänning på 0,5 V uppstår. Så länge cellen belyses med solens strålar uppstår denna positiva laddning, när skuggning uppstår över cellen jämnas laddningen ut och differensen av laddningarna mellan skikten minskar successivt (NE, 2016b).

Dopning av Kisel innebär att man tillsätter ytterst små mängder av bland annat bor, fosfor och arsenik vilket leder till en ökad ledningsförmåga. Det som ger halvledarnas dess förmåga att transportera ström är antalet fria laddningsbärare, elektroner. N-dopat kisel leder ström genom elektroner, en donator. P-dopat innebär att man dopar med en så kallad acceptor. Dessa två alternativ kallas grunda donationer respektive grunda acceptorer (NE, 2016a).

3.1.1 Olika typer av solceller

Inom begreppet solceller återfinns huvudsakligen två kategorier: kristallina och tunnfilms-celler. Vanligast förekommande på marknaden är kristallina celler, dessa förekommer som poly eller mono-kristallina (Solcellsforum, 2016).

Kristallina celler har en högre verkningsgrad och ett högre pris per producerad effekt än vad tunnfilms-celler har. Kristallina celler tappar i effekt vid ökad temperatur. För att förebygga systemets temperaturkänslighet är det viktigt att anlägga en luftspalt mellan solpanelen och den applicerade ytan (Solcellsforum, 2016).

Tunnfilm celler är mindre temperaturkänsliga än kristallina celler, och kräver större yta för motsvarande effekt hos kristallina celler. Tunnfilmsceller är mindre känsliga mot ljusreflekterande fenomen så som tunna moln. Kostnaden är något mindre än motsvarande effekt kostar med kristallina celler (Solcellsforum, 2016).

3.2 Funktion Solpaneler

Solpanel kallar man ett flertal solceller som seriekopplas till önskad storlek och effekt. En serie ihopkopplade solpaneler utgör en anläggning. Vanligtvis täcks cellerna av ett miljöskyddande lager och ramas in med aluminiumlister (NE, 2016b). Solpanelens storlek varierar efter ändamålet. Solpanelerna kan i sin tur också seriekopplas, där storleken på den totala ytan av solpaneler anpassas efter önskat effektbehov (Solcellsforum, 2016).

3.3 Partiell skuggning

Solceller ligger i serie, man kan se det som seriekopplade lampor i ett klassiskt format som alla känner till, julgransbelysning. Om en lampa skruvas ut eller går sönder slocknar alla lampor i serien. Denna jämförelse är en sanning med modifikation. Solcellen består till stor del av kisel, kiselns ledningsförmåga korrelerar med ljusstyrkan den utsätts för. Cellen går från att vara fullt belyst ($1000\text{W}/\text{m}^2$) till att bli skuggad, då minskar kisel sin ledningsförmåga med mer än 1000 gånger. Variabler som påverkar hur mycket en cell stryper strömmen vid skuggning är bland annat cellens temperatur, andelen skuggad, intensitet på skuggningen så som partiklar i luften och densitet på molnen.¹

Solceller behöver exponeras för solens strålar för att generera ström. Infallsvinkel mot solen och grad av belysning är direkt proportionell mot producerad ström. Från våren fram till sensommar kan solstyrkan uppgå till $1000\text{ W}/\text{m}^2$.

3.4 Funktion solfångare

Solfångare är ett redskap för att omvandla solenergi till värme, till skillnad från solceller som omvandlar solenergi till elektricitet.

Solfångare träffas av solstrålningen och via en mattsvart yta genereras värme, ökad entalpinivå för i solfångarens valda medium ökar då, exempelvis luft, vatten eller glykol. Glykol väljs för att mediet inte ska frysa vid låga temperaturer. När ett flytande medium fryser ökar volymen och kan i förlängningen orsaka skador på ledningar. Luft används då det handlar om en installationsteknik lösning för att öka luftens temperatur till exempelvis en värmeväxlare eller som energibärande medium till ett termiskt energilagringssystem.

Solfångare kan ha en betydligt högre verkningsgrad än solceller, och kan vara så hög som över 85%. Hur hög verkningsgrad en solfångare har beror på en del faktorer. Den största faktorn är hur väl värmen i systemet isoleras. Skillnaden mellan det uppvärmda mediet i systemet och utomhusluften spelar också en stor roll. Desto lägre utomhustemperatur desto svårare blir det att stoppa värmeförlusterna i mediet (Svensk Solenergi, 2015). Utöver skillnad i verkningsgrad så är den uppenbara skillnaden mot solceller att energin där fås i form av el som kan nyttjas till mer användningsområden.

¹ Personlig kommunikation med Amir Baranzahi (2016-03-05).

Partiell skuggning. Undervisningsmaterial i solcellsteknik vid Linköpingsuniversitet

4 Möjligheter att lagra solenergi

Tekniken att ta till vara på solens energi med hjälp av solceller och solfångare är en etablerad teknik, men det finns fortfarande begränsningar som försvårar tillvaratagandet av solenergi.

På en given punkt är strålningen från solen ej konstant, för att kunna nyttja solenergi även när solen inte skiner behöver man på något sätt lagra den. Som tidigare förklarats så alstrar solceller el, och ett vanligt sätt att lagra el är med hjälp av batterier. Solpaneler däremot binder energin i form av varmvatten. Det varmvattnet kan man lagra i en ackumulatortank eller i ett annat termiskt energilagringssystem.

4.1 Batterier som lagringskälla för el

Att kunna lagra den el som utvinns från solceller är en ekonomisk lönsamhet jämfört med att sälja elen till elnätet. En lösning som kan vara aktuell är storskaliga batterier. Ett företag vi har varit i kontakt med och som jobbar med den tekniken är Box of Energy. Med den teknikern kan man helt enkelt lagra den el som produceras utöver ens förbrukning och nyttja senare när solen inte skiner. Systemet kan också agera smart på olika sätt och hjälpa till att optimera lönsamheten. Mjukvaran behandlar data över aktuella elpriser och nyttjar det så att enheten lagrar el när försäljningspriset är lågt och säljer när det är högt (Box of Energy, 2015a).

4.2 Fasändringsmaterial som lagringskälla för värme

PCM (Phase Change Material) System för termisk energilagring med hög densitet är en typ av TES och står för *thermal energy storage*. Man använder fasändringsmaterial som lagringsmedia, där värmeenergi huvudsakligen lagras i form av latent värme och benämns LTES *Latent Thermal Energy Storage*, till skillnad från sensibelt som i en vattentank. Vid LTES utnyttjas en fasändring i PCM:et vid en viss temperatur. Vid ändrat tillstånd på PCM:et lagras eller avges termisk energi. Användningsområden kan vara många. Bland annat livsmedelshantering, utjämna behov av kylning eller uppvärmning av diverse faciliteter mellan dag och natt eller över en längre tid.

De fasändringsmaterial som används idag består i huvudsak av fast-flytande utförande. Intervallet på temperaturområden på PCM ligger i allt från -80 och över 1000 °C. Intervallet av temperaturer ger god möjligheten till att hitta ett fasändringsmaterial som överensstämmer med önskat tillämpningsområde. Vanligast förekommande form av PCM idag är paraffiner, salhydrater och vatten (Sundberg, P. 2006).

Principen bakom fasändringsmaterial är värmeöverföring, att en värmekälla överför sin termiska energi med en temperatur som är högre än PCM:ets.

Detta kan ske genom olika värmekällor, exempelvis en människokropp som är i kontakt med ett PCM eller vatten uppvärmt med solpaneler, spillvärme från industrin och så vidare. Temperaturen i källan kommer således att sjunka. Den termiska energin i källan minskar och energiinnehållet (entalpin) i PCM:et ökar. En fasändring sker i materialet fast-flytande form och värmeenergin lagras som latent värme. Denna energi är lagrad och möjlig att frigöra (Sundberg, P. 2006).

Det den allmänna gaslagen säger gäller även här. Omvänd ordning för fasändringsmaterialet ovan nämnt. Principen för lagring av värmeenergi gäller även för lagring av kyla.

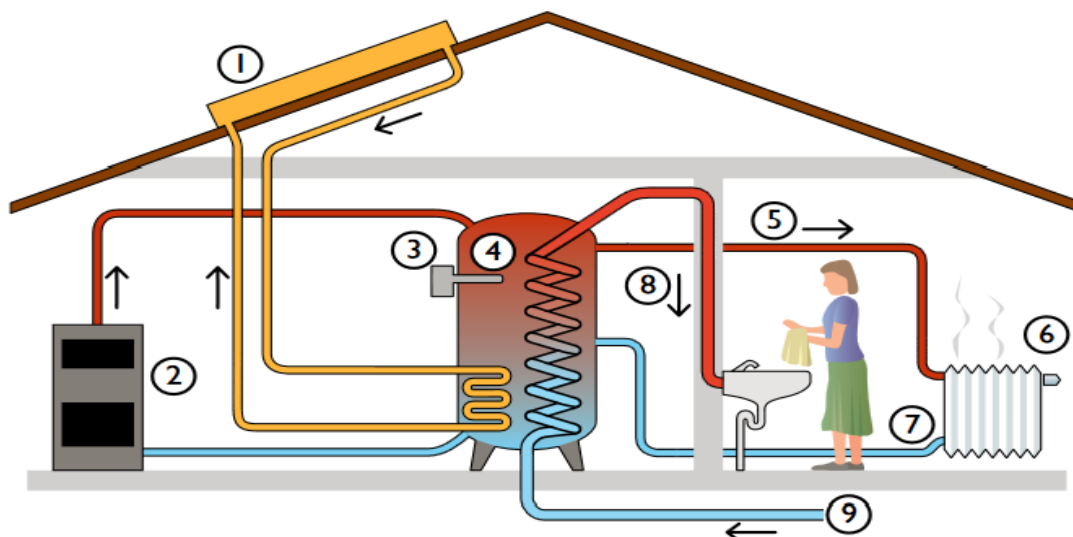
Omvänd ordning gäller när energin frigörs från PCM:et. Omgivande temperatur understiger fasändringsmaterialets temperatur. En fasändring sker åter i materialet, flytande-fast (Sundberg, P. 2006).

4.3 Ackumulatortank som lagringskälla för värme

Om man använder solfångare för att ta upp solenergin så behöver man på något sätt lagra energin som finns i det uppvärmda vattnet. Det kan göras med en ackumulatortank.

En ackumulator är en vattenbehållare med bra isoleringsförmåga. Den lagrar varmvatten som fungerar som värmebuffert för vattenburna värmesystem. Ackumulatortankar används vanligtvis vid vedeldning eller när man har solfångare installerat, men kan även kopplas till ett pellets- eller värmepumpsystem. Om man lagrar värmen så behöver inte de värmesystemen starta upp lika ofta och man kan då minska på slitage (Statens energimyndighet, 2011).

Tankarna kommer i flertalet storlekar, storleken bestäms utifrån behovet. Behovet av uppvärmt vatten varierar stort beroende på önskad temperatur, användningsområde det vill säga varmvattenbehov (Energimyndigheten, 2011a).



En ackumulatortank kan kopplas in i systemet på många olika sätt beroende på vilken värmekälla du valt och hur värmesystemet ser ut. Figuren visar schematiskt en biobränsleanläggning som är kompletterad med en solfångare. 1. Solfångare 2. Panna; pellets eller ved 3. Elpatron 4. Ackumulatortank 5. Varmvatten ut till radiator 6. Radiator 7. Returvatten från radiator (värmes är avgiven till rummet) 8. Tappvarmvatten till tvätt och disk 9. Kallvatten in

Figur 9: Schematisk bild, Ackumulatortanksystem (Energimyndigheten, 2011)

4.3.1 Stilleståndsförluster

Ackumulatortankens stilleståndsförlust mäts i Watt. Mätningar gör genom att ha 55-gradigt vatten i en behållare och mäta temperaturen över tid. Temperatursänkningen ger ett värde på tanken, hur mycket energi som gått förlorat över en given tid enligt termodynamikens andra huvudsats. På detta sätt får man fram ackumulatortankarnas värmeförlust för varje temperatur. Men detta är inget man redovisar, istället fås tabellvärden för respektive modell. Dessa tabellvärden av värmeförluster är framtagna av energimyndighetens testavdelning och redovisas som tidigare nämnt i Watt men även som kWh/år. För att minska värmeförlusterna är täta och välisolerade tankar en förutsättning. Uppenbart men värt att nämna är att bruka noggrannhet vid anslutningarna, då dessa oftast är av material med god ledningsförmåga. Sambandet mellan höga temperaturer och stora förluster är en avvägning brukaren får avgöra. Mellan 55-85°C. Vid höga temperaturer i tanken kan en större volym tas ut, för en given temperatur. Temperaturen man utgår ifrån är 50-60°C. Temperaturen är även ett riktvärde för att förebygga legionella. (Energimyndigheten, (2011b)).

5 Förutsättningar och energiberäkningar

Samtlig information nedan har erhållits från besöket på gården i Kode samt information från Hugo Westlin från Hushållningssällskapet.

Ekvationer benämns som (eq.) och återfinns under 7. Bilaga för ekvationer

Geografisk placering: Gården vi utfört beräkningar för ligger i Kode, norr om Göteborg.



Figur 10: Fotografi på gården i Kode, Google maps samt Google street view 2016.

Förutsättningar för solcellsinstallation:

Mått på ladugård: 40 meter lång och 9,6 meter bred

Taklutning: 45°

Takyta: 324 m² (eq.10)

Taket är vänt från syd 40 grader mot öst.

Vikt för solceller: 10-12 kg/m²

Spannmål:

350 ton/år att torka

Skall torkas från 18 → 13 % vatteninnehåll

Torkningstemperatur för spannmål 70 °C

Entalpi vatten 4180 $\frac{J}{kg \cdot K}$ entalpiförändringen beror av fukthalt i luften.

Torkning spannmål 5-6 MJ/kg vatten.

Effekt på tork: 151,19 kW

Tabell 2: Effekt, flöde, modell. Tork på den aktuella gården.

Modell	Uteffekt brutto (kW)	Luftflöde (m ³ /h)	Fläktmotor (kW)
HMV 100	151,19	11000	3,0

Mjölkkylning:

850 ton/år

18 kWh/ton

$\rho_{mjolk} = 1030 \text{ (kg/m}^3\text{)}, \quad cp_{mjolk} = 3900 \frac{J}{kg \cdot K}$ (C.E. Danielsson, 1998)

Vakuumpumpar:

4 kW per pump

Är igång totalt 9 h/dag

5 h av dem är en pump igång

2 h av dem båda pumparna igång

Tot: 36 kWh

Total energiförbrukning:

96000 kWh/år

5.1 Soltimmar och solstrålning

Energi från solen, ca 900 kWh per kvadratmeter per år.

SMHI tillhandahåller en databas över meteorologiska observationer. Väderstationen sammanställer data varje timma. Tiden observerat mäts i sekunder under en timma.

Mellan perioden 2013-01-01 till 2016-04-01 stations namn Göteborg sol återfinns 28471 mätpunkter. Medeltalet soltimmar under denna period är 4,893 timmar sol per dag mätt över hela året.

(SMHI, Öppen data, 2016).

5.2 Fukthalt

Fukthalt i luften under torkningsprocessen avser från augusti t.o.m. september månad.

Fukthalten i uteluften anses vara 70-75 % under tidsintervallet (Warfinge, 2010)

AF runt 10 g/kg (Data från Harderup 1995)

5.3 Temperatur

SMHI tillhandahåller en databas över meteorologiska observationer. Väderstationen sammanställer medelvärden över ett dygn.

Vald period: 2006-08-01 till och med 2015-09-30. Stations namn: Göteborg A,

Parameternamn: lufttemperatur, Antalet mätpunkter under angiven period 578.

Medeltemperatur under period: 16,8 °C per dygn (SMHI, Öppen data, 2016).

5.4 Energiberäkningar för pumpar

Förutsättning för mjölkning och rengöring av mjölksystemet.

Två stycken pumpar finns i systemet.

Pump (1) går under 2.5 h för mjölkning två gånger per dag.

Pump (1) och (2) går under rengöring av systemet en timma två gånger per dag.

Pumpspecifik: Delaval VP (3hp) 2,2 kW



Figur 11: .Direktdriven vacuum pump. Delaval VP 3hp. (Delaval).

Antal timmar i bruk per dag, för pump (1) = sju timmar

Antal timmar i bruk per dag för pump (2) = två timmar

Pumpar 7230 kWh/år. (eq.2)

5.5 Energiberäkning för kylning av mjölk

Mjölk att kyla under ett kalenderår är 850 ton eller 825242 liter.

Temperaturer, kyla mjölk som har en temperatur på 35 °C (t_1) till måltemperaturen 4 °C (t_2). Nödvändig effekt är 124,53 kW per tusen liter mjölk eller 120,9 kW per tusen kilo. (eq.3)

Den teoretiska maximala energi som går att återvinna tillbaka in i systemet är 34,6kWh per tusen liter mjölk (eq.4). Användnings område är exempelvis att värma dricksvatten för boskapen, eller att lagra för vidare användning.

Kylning av den uppsamlade mjölken i tanken sker under tre timmar.

Medräknad omblandare och fläkarbete i kylningsprocessen är 18-20 kWh inom branschen en vedertagen mängd energi per ton kyld mjölk. Mängden mjölk per ko vid ett mjölkningstillfälle är femton liter. Kon mjölkas två gånger per dag, detta ger 30 liter mjölk om dagen. Anläggningen hyser 75 kossor, detta ger 2250 liter om dagen. På ett år blir detta ca. 822 000 liter mjölk. Omräknat blir detta 850 ton mjölk (eq.1).

850 ton mjölk multiplicerat med mängden energi per ton kyld mjölk. Vi använder oss av den vedertagna mängden 18 kWh per ton kyld mjölk. Den totala energin för kylning av mjölk under ett år blir således 15300 kWh/år (eq.6)

Om temperaturen runt kylanläggning skulle vara högre än den genomsnittliga anläggningen kan data på erforderlig energi korrigeras uppåt, 18-20 kWh/ton. Mängden energi för att kyla 1000 kg mjölk baseras på mätningar gjorda på diverse anläggningar (Westlin, 2016).

Inkluderat i den mängden energi är: fläktarbete, omrörning i mjölk tanken, kylning av mjölk och underhållande kylarbete för att bibehålla önskad temperatur (Herolf, 2016).

Beräknad tid för kylning mjölk, 3 h kylning.

18 Wh per liter mjölk, 31 grader kylning.

Ger 12,66 kWh/m³(eq.5) (Herolf, 2016)

Det erhållna värdet avser enbart kylningen, adderas det mekaniska arbetet så slutar det på ungefär 18-20 kWh/m³ kyld mjölk, vilket är det värde som ofta används vid dimensioneringsberäkningar av mjölkkylsystem (Herolf, 2016).

5.6 Energiberäkningar för inkommande solenergi

På gården finns ett ladugårdstak vänt från syd 40 grader mot öst. Ladan är 40 meter lång och 9,6 meter bred. Taket är 6,5 meter högt, med en lutning på 45 grader. Detta ger en tillgänglig takyta på ungefär 324 m² (eq.10).

Solstrålning i Kode ligger på ungefär 900 kWh/m²/år.
Vilket ger: 291600 kWh/år (eq.11)

Solceller:

Verkningsgrad för solceller ligger på ungefär 15%
Vilket ger: 43740 kWh/år (eq.12).

Total elenergiförbrukning på den aktuella gården för ett år är ungefär 96000 kWh, enligt elnätsmätning gjord för perioden 201502-201602.
46 % (eq.13) av elförbrukningen kan täckas med hjälp av solceller.

5.7 Energiberäkningar för spannmålstorkning

På gården finns en oljeeldad varmluftspanna modell Haga 100, 130 000 kcal/h. Pannan har producerat varmluft med en temperatur av 70 grader. Totalt förbrukades 2960 liter olja under 2015. Uppskattningsvis torkades 350 – 400 ton spannmål med en ingångsvattenhalt av ca 18 %. Spannmålen torkades till 13 % vattenhalt. Anläggningen kan antas ha stora förluster genom gammal panna och oisolerade varmluftskanaler som löper en längre sträcka.

Erforderlig energi för att torka bort vatten är 5-6 MJ/kg. Valde 6 MJ/kg vatten på grund av gammal anläggning. Åtgång blir: 105000 MJ (eq.14) för att torka spannmålet. Enl. (eq.15) Ger eldningsoljan 29896 kWh.

5.8 Beräkningar för förvärmning med värmebatteri till spannmålstorken.

Förvärmning, $\Delta t = 2,62$ grader Celsius (eq.16) d.v.s. bidragande temperaturökning från värmebatteriet till inkommande luft i pannan.

5.9 Sammanställning av energiberäkningar

Solenergi från solceller 43740 kWh/år (eq.12)
Pumpar 7230 kWh/år. (eq.2)
Kylning mjölk 15300 kWh/år (eq.6)
Spannmålstork 29896 kWh/år (eq.15)

6 Diskussion och slutsatser

Som vi tidigare tagit upp så är det svårt att generalisera lantbruk eftersom de varierar så mycket beroende vad för typ av gård det är, vart den är lokaliserad och så vidare. Med hjälp av den genomförda fältstudien, göra det möjligt att räkna på ett riktigt fall istället för att göra en generalisering med uppskattade värden, som egentligen inte kommer säga någonting. Fältstudien vi gjort gick ut på att åka till ett lantbruk och samla in data och se vilka befintliga installationer som fanns där. Därefter så har vi undersökt vilka tekniska lösningar som kan vara tillämpbara för att både nyttja och lagra solenergi.

Huruvida man kan energieffektivisera genom att implementera förnyelsebar energi, närmare bestämt solenergi med hjälp av solceller eller solpaneler. Kolla på energilagringssystem med batteri som lagringskälla eller värmelagring med ackumulatortank alternativt fasändringsmaterial som termisk lagringskälla. Hur kan man få ner energianvändningen från icke förnyelsebara källor i detta fall eldningsolja som används vid spannmålstorkning.

Under arbetets gång har vi sett hur mycket man faktiskt kan göra för att effektivisera energiåtgången för en gård. Installation av solfångare eller solceller är såklart gynnsamt ur ett energiperspektiv, men för att en lantbrukare ska vara intresserad av det så gäller det att installationen tillslut blir lönsam. För att bestämma det så får man granska den aktuella gården beräkna det specifika fallet. Det finns dock annat en lantbrukare kan göra. Även om man tycker att solenergi inte känns aktuellt så bör man i största möjliga mån energieffektivisera de installationer man redan har.

6.1 Slutsatser

6.1.1 Batteri torkning spannmål

Problemet vid torkning av spannmål är att effekten ut ur batteriet är begränsad och inte i närheten av effekten hos en oljeladdad varmluftspanna. Den oljepannan som finns på lantbruket i Kode har en effekt på 151,19 kW, medan effekten ur det största batteriet (tabell. 3) ligger på 9,6 kW (Box of Energy, 2015b). Med dessa värden kan man beräkna att man kan förvärma luften med 2,6 grader med ett elektriskt värmebatteri (eq. 15).

6.1.2 Batteri kylning mjölk

Effekten som krävs för kylning av mjölk är drygt 17kW (tabell.1) med kompressor MTZ 50.

Energibehovet för kylning per mjölkkningsomgång är cirka 20kWh

Batteriet ger maximalt 9,6 kW och har en kapacitet på 120-144 kWh (tabell. 3). Att enbart använda sig av batteri är uteslutet för att tillgodose behovet inom mjölkkyllningen.

Om man delar upp processen i mindre beståndsdelar så har pumparna (8.1 Energiberäkning Pumpar) en effekt på 4,4 kW samt en förbrukning av energi på 19,8 kWh per dag (eq.2)
En del av kylanläggningen (tabell.1, kraft) har en effekt på 2,2 kW och en förbrukning på 13,2 kWh per dag (eq.7)
Summerat 33 kWh med förutsättningarna att pump går 9 timmar per dag och kylning 6 timmar per dag.
Batteriet kommer inte till sin rätt, nyttjandegraden av energimängd per dag är 27,5% medans nyttjandegraden av uteffekten är 68,75%(eq.8).

Batteriet kan driva pumparna helt och hållet, samt täcka 32,5% av elförbrukningen i mjölkkyllanläggningen.
Under dagar med få soltimmar täcker batteriet den ovan nämnda driften i 3,6 dagar (eq.9)

6.1.3 Ackumulatortank torkning spannmål

En teknik man skulle kunna nyttja är att förvärma torkluften med ett varmvattenbatteri. Detta har vi själva inte beräknat på grund av bristande data, men vi har fått tillgång till en förstudie som skrevs i samarbete mellan Akron och SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
Där kom de fram till att endast installation av solfångare för att förvärma torkluften inte är intressant, men kan man nyttja systemet till annat utanför torkperioden, så kan det vara lönsamt men bör utförligare undersökas (Nordman & Ollas, 2014).

6.1.4 Ackumulatortank kylning mjölk

Teoretisk mängd energi från mjölken vid kylning är 34,6 kWh per tillfälle (eq.4)
Tänkt användningsområde, förvärmning diskvatten till mjölksystemet eller värma dricksvattnet till boskapen.
Energin från mjölken kan teoretiskt förvärma 1 m³ vatten med 9,1 °C (eq.17)

6.1.5 Fasändringsmaterial torkning spannmål

Principen är den samma som för ackumulatortanken. Lagra energi i form av värme och återföra in i tänkt system. Vi har inte undersökt detta vidare men kan med samma premisser som för (10.2.1 Ackumulatortank torkning- spannmål) anta att man skulle då också behöva nyttja systemet utanför torktiden för att det ska vara lönsamt.

6.2 Frågeställningar

Kan el-behovet delvis eller helt och hållet täckas med hjälp av solenergi?

Elbehovet kan delvis täckas med hjälp av solenergi, enligt beräkningar så kan 46% av den totala elanvändningen under ett år täckas av den elen som går att generera under ett års tid, utifrån de solceller som kan installeras. (eq10)

Hur lagras el från solen mellan dygn med god elproduktion till dygn med sämre elproduktion?

En teknik som vi granskat och diskuterat i kapitel 5.1 är storskaliga batterier. Då kan man lagra den el som produceras utöver ens förbrukning och nyttja senare när solen inte skiner.

En aspekt som man kan diskutera är hur miljövänlig en sådan solenergilösning egentligen blir med storskaliga batterier om man tar hänsyn till deras livscykel.

Hur mycket kan man förvärma torkningsluften för att på så vis kunna minska eldningen av olja?

Vi har granskat att förvärma torkluften med både ett värmebatteri och med en varmvattenkrets men har beräknat fallet med ett värmebatteri och kommer då fram till att man kan förvärma luften med ungefär 2,6 grader.

Går det optimera temperatur och luftflöde för att minska energianvändningen?

Att höja temperaturen på tilluften i torken från 65 C till 85 C vid torkning av foderspannmål kan en ökning på kapaciteten med 75 % uppnås, samtidigt sker en sänkning på energiförbrukning med 20 %. Som en direkt följd av den ökade omsättning på spannmål i torken.

Är det mest effektivt att framställa el eller värme från solen?

solceller har i bästa fall en verkningsgrad på 16-17% och behovet av el i vårt fall är i stort sett konstant över året. Verkningsgraden på solfångare för att producera varmvatten ligger någonstans runt 60%. Problemet ligger inte endast i verkningsgraden utan effekt man kan få ut från lagringsenheten för att täcka behovet. Batterilagring för el är i princip den enda reella lösningen, medans lagring av termisk energi har flera lösningar. Samma problem är dock återkommande. Effektbehovet är svårt att tillgodose

7 Referenser

Akron, (2016). *Akron Svegma RC kontinuerlig återvinningstork med aktiv partikelavskiljning*

Hämtad från <http://www.akron.se/Uploads/Products/akron-svegma-rc.pdf>

Bioenergiportalen. (2011). *Spara energi vid mjölkning och mjölkkyllning*

Hämtad från <http://www.bioenergiportalen.se/?p=5723>

Bioenergiportalen. (2014). *Spara energi vid spannmålshantering* Hämtad från

<http://www.bioenergiportalen.se/?p=5828&m=1490&page=spannmalshantering>

Box of Energy. (2015a). Produktöversikt

Hämtad från <http://www.boxofenergy.se/products>

Box of Energy. (2015b). Teknologi

Hämtad från <http://www.boxofenergy.se/#technology>

Dahlberg, M. (2011). *Konvertering av mjölk tankars kylsystem för värmeåtervinning: En studie med syftet att effektivisera kylsystem och reducera energianvändningen vid mjölkkyllning*

Hämtad från http://www.ekanalys.se/assets/rapport_vav-mjolkkyllning-2012.pdf

Danielsson, C.E. (1988). Livsmedel, (vol 1), sid 186-187

Data från Harderup. (1995). Föreläsningsanteckning Ingemar Segerholm, Byggnadsmaterial, Fukt i luft. 2015 CTH.

Delaval. (2011) *Vakumpump DVP* Hämtad från <http://www.delaval.se/-/Produkt-Information/Mjolkning/Produkt/Transport/Vacuum-pump/DVP/>

Energimyndigheten, (2011). Faktabasen: *Solfångare*. Hämtad från

<http://www.energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Vad-ar-energi/Energibarare/Fornybar-energi/Sol/Solfangare/>

Energimyndigheten. (2011a). Ackumulatortankar: *Får värmen att räcka längre*.

Hämtad från <http://www.linkoping.se/globalassets/bygga-bo-och-miljo/energiradgivning/solenergi/energimyndigheten---acumulatortankar.pdf>

Energimyndigheten. (2011b). *Tester: ackumulatortankar*.

Hämtad från <http://www.linkoping.se/globalassets/bygga-bo-och-miljo/energiradgivning/solenergi/energimyndigheten---acumulatortankar.pdf>

Herolf, A. (2016). Wedholms AB, Teknisk chef. (Kontakt via mail)

- Johansson, A. (2015). *Energieffektivisering av lantbruk* Länsstyrelsen skåne. Hämtad från <http://www.lansstyrelsen.se/skane/SiteCollectionDocuments/Sv/publikationer/2015/Rapport%20Energieffektivisering%20av%20lantbruk.pdf>
- Jonsson, N. (2006). *Uppdatering av gårdens spannmålstork*. JTI. Hämtad från http://www.sla-arbetsgivarna.org/arbetsmiljo_4/jti/jti-rapporter/uppdatering_av_gardens_spannmalstork
- Jordbruksverket. (1999). *Vatten till husdjur* Hämtad från http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo99_13.pdf
- Lundin, G. (2015). *Värmeåtervinning: Innovativ värmeväxlarteknik för lantbruk, inriktning spannmålstorkning* JTI. Hämtad från <http://www.bioenergiportalen.se/attachments/42/773.pdf>
- NE. (2016a). Nationalencyklopedin, Dopning Hämtad 2016-04-15, från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/dopning-%282%29>
- NE. (2016b). Nationalencyklopedin, Solcell Hämtad 2016-04-15, från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/solcell>
- Ning-Wei Chiu, J. (2013). *Latent Heat Thermal Energy Storage for Indoor Comfort Control* (Doktorsavhandling, KTH School of Industrial Engineering and Management Division of Heat and Power Technology). Hämtad från <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:610403/FULLTEXT01.pdf>
- Nordman, R. Ollas, P. (2014). *Utvärdering av systemlösningar för energieffektiv torkning av spannmål*
- NyTeknik. (2016). solceller sprider sig över världen. Hämtad från <http://www.nyteknik.se/nyheter/solceller-sprider-sig-over-varlden-6343581>
- OK-Q8. (2010). Eldningsolja. Hämtad från http://energipartnerab.se/Eldningsolja%201%20_%20PDB.pdf
- SMHI. (2016). Öppen data, Meteorologiska observationer. Lufttemperatur, dygnsvärde. <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/?parameter=8#>
- SMHI. (2016). Öppen data, Meteorologiska observationer. Soltimmar <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/?parameter=8#>
- Solcellsforum. (2016). *Lite fakta om solceller och solcellssystem* Hämtad från <http://www.solcellforum.se/tekniken.html>
- SolEl-programmet. (2015). *Energiberäkningar* <http://www.solelprogrammet.se/projekteringsverktyg/energiberakningar/>

Sundberg, P. (2006). *Termisk energilagring genom fasändringsprocesser: En studie av systemlösningar och produkter med fasändringsmaterial* (Examensarbete, Luleå tekniska universitet, institution samhällsbyggnad, avdelning för förnyelsebar energi). Hämtad från <http://epubl.ltu.se/1402-1617/2006/020/LTU-EX-06020-SE.pdf>

Statens energimyndighet. (2011). *Akkumulatortankar: Får värmen att räcka längre*
Hämtad från
<http://www.vargarda.se/download/18.5559e4dd148d420be91ed53/1413357842513/akkumulatortank.PDF>

Statistiska Centralbyrån. (2016). *Statistikdatabasen: Miljö, Land och vattenarier*
Hämtad från
http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0802/Areal2012/?rxid=67403c92-85f0-4336-915b-958bd4d047b3

Svensk Energi. (2016). *Energieffektivisering*
Hämtad från <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Energieffektivisering/>

Svensk Solenergi. (2015). *Frågor och svar om solenergi*
Hämtad från <http://www.svensksolenergi.se/fakta-om-solenergi/fragor-och-svar>

Warfvinge, C. Dahlblom, M. (2010). Projektering av VVS-installationer: *Relativa fuktighetens (RF) under året* (s. 1:20, fig 1.16). Studentlitteratur AB Lund

Westlin, H. (2016). Hushållningssällskapet, Teknik- och energirådgivare

Appendix 1: Bilaga för ekvationer

Nedan följer de ekvationer som använts vid beräkningar.

Mjölk

(eq.1) $822 \text{ m}^3 / 1030 \text{ kg/m}^3 = 850 * 10^3 \text{ kg}$

Pumpar

(eq.2) 3 pumpar, effekt 2,2 kW, summa aktiva: 9 timmar per dag

$$2,2 * 9 = 19,8 \text{ kWh per dag.}$$

$$19,8 \text{ kWh} * 365 \text{ dagar} = 7230 \text{ kWh per år}$$

Kylning mjölk

$$\rho_{mjölk} = 1030 \text{ (kg/m}^3\text{)}, \quad cp_{mjölk} = 3900 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}} \quad (\text{C.E. Danielsson, 1998})$$

$$t_1 = 35 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_2 = 4, \quad \Delta t = t_1 - t_2, \quad \Delta t = 31 \text{ }^\circ\text{C}$$

Flödet ($\dot{V}$) är lite drygt 1100 liter per mjölkning, som kyla under 3 timmar.

Omräknat flöde då kylprocessen är 3 timmar, $\frac{1,1 \text{ m}^3}{3 \text{ h}}$ ger 0,1019 l/s (eq.3)

850 ton mjölk att kyla, 18 kWh per ton kyld mjölk (eq.6)

Erforderlig kyleffekt för att kyla mjölken

(eq.3) $\dot{Q} = \dot{V} * \rho * cp * \Delta t, \quad \dot{Q} = \frac{1,1}{3} * 1030 * 3,9 * 31 \rightarrow \dot{Q} = 12,68 \text{ kW}$

Teoretisk mängd energi i mjölken vid ett mjölkningstillfälle

(eq.4) $E = \dot{Q} * h, \quad 12,68 * 3 = 38 \text{ kWh}$

Vedertaget beräkningssätt i branschen

(eq.5) $E = (1050 * 4,2 * 31) / (3600 * 3) = 12,66 \text{ kWh/m}^3$

Kylning mjölk under ett år

(eq.6) $E = 850 * 18 = 15300 \text{ kWh/år}$

Beräkning kraft tabell 1

2,2 kW 6 timmar om dagen

(eq.7) $2,2 * 6 = 13,2 \text{ kWh}$

Nyttjandegrad Batteri vid pumpdrift och kraft i kondensator

Energimängd i batteri, 120 kWh uteffekt 9,6 kW

Energimängd pump och kraft per dag 33 kWh, effektbehov 4,4 kW pump, 2,2 kW kondensator Effekt 6,6 kW

(eq.8) Nyttjandegrad Energimängd $\frac{33}{120} = 27,5\%$, Nyttjandegrad effekt $\frac{9,6}{6,6} = 68,75\%$

Batteri för att täcka delar av energibehovet över tid

Del av kondensator (tabell.1, kraft) 13,2 kWh per dag, Pump (8.1 Energiberäkning Pumpar) 19,8 kWh per dag (eq.2)

Batteriets lagringskapacitet 120 kWh

(eq.9) $\frac{120}{13,2+19,8} = 3,6$ dagar

Solenergi

(eq.10) $8,1 \text{ m} * 40 \text{ m} = 324 \text{ m}^2$

(eq.11) $900 \text{ kWh/m}^2/\text{år} * 324 \text{ m}^2 = 291600 \text{ kWh/år}$

(eq.12) $15 \% * 291600 \text{ kWh/år} = 43740 \text{ kWh/år}$

(eq.13) $43740 \text{ kWh/år} / 96000 \text{ kWh} = 46 \%$

Spannmålstorkning

Effekt på tork: $130\,000 \text{ kcal/h} = 151,19 \text{ kW}$

Eldningsolja förbrukad: 2960 liter 2015

Spannmål att torka: 350 ton/år

Skall torkas från 18 → 13 % slutvattenhalt

5 % skall torkas bort

5 % av 350 000 kg spannmål ger 17500 kg vatten att torka bort

(eq.14) $6 \text{ MJ/kg vatten} * 17500 \text{ kg vatten} = 105000 \text{ MJ}$

(eq.15) Eldningsolja: $\rho = 840 \text{ kg/m}^3$, 43 MJ/kg, 10,1 kWh/liter (OK-Q8, 2010)

$$\frac{2960}{1000} * 840 \rightarrow 2486,4 \text{ kg olja}$$

$$2486,4 * 43 \rightarrow 106915,2 \text{ MJ}$$

$$10,1 \text{ kWh/liter ger } 29896 \text{ kWh}$$

$$2960 \text{ liter olja ger } 29896 \text{ kWh}$$

Förvärmning värmebatteri till spannmålstorken

(eq.16) Haga 100 har ett luftflöde på $11000 \text{ m}^3/\text{h}$ vilket är lika med $3,056 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$\dot{Q} = \dot{V} * \rho * c_p * \Delta t \quad \rightarrow \quad \Delta t = \frac{\dot{Q}}{\dot{V} * \rho * c_p}$$

Maximal uteffekt från Box of Energy

$$\dot{Q} = 9,6 \text{ kW}$$

Flödet in i torkanläggningen

$$\dot{V} = 3,056 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 1,0 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

$$\Delta t = 2,62 \text{ }^\circ\text{C}$$

Akkumulatortank

(eq.17) Energi från mjölkkyllning 38 kWh

1 m³ vatten

$$\Delta t = \frac{\dot{Q}}{\rho \cdot c_p} \rightarrow \frac{38}{4.2 \cdot 1} = 9,1^\circ\text{C}$$

Fasändringsmaterial

(eq.18) $\Delta h_{fas\ddot{a}ndring} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$, $Q = m \cdot \Delta h_{fas\ddot{a}ndring}$,

Erforderlig kyleffekt för att kyla mjölken

$$\text{(eq.19)} \quad \dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t, \quad \dot{Q} = \frac{1,1}{3} \cdot 1030 \cdot 3,9 \cdot 31 \rightarrow \dot{Q} = 12,68 \text{ kW}$$

Energimängd för kylning av mjölk (vedertaget beräkningssätt i branschen)

$$\text{(eq.20)} \quad E = (1050 \cdot 4,2 \cdot 31) / (3600 \cdot 3) = 12,66 \text{ kWh/ m}^3$$

$$Q = 12,66 \text{ kWh}$$

$$m = \frac{Q}{\Delta h_{fas\ddot{a}ndring}}$$