



Resurseffektiva kyl- och värmepumpssystem

Koncept och kompetensuppbyggnad för systematisk användning av högtemperatur-värmepumpar inom mejeriindustrin

Lars Hamberg, Pernilla Gervind, Roger Nordman och Jeanette Lindau

juni 2014

Förord

Det projekt som denna rapport beskriver har i första hand sitt ursprung i, och viljan att svara på frågan: **Var, När och Hur bör man använda värmepumpar i mejeriindustrin**. Svaret är förstås lite olika beroende på exakt hur varje mejeri ser ut men här gör vi en ansats till att undersöka en lösning på modulnivå, det vill säga en som passar på nästan alla mejerier världen över.

Projektet har varit ett samarbete mellan SIK-SP-Tetra Pak och dessa har tillsammans bidragit med intern kunskap om värmepumpsteknik livsmedel och livsmedelsprocesser. Denna stora bakgrundserfarenhet, som har varit projektets främsta och viktigaste tillgång till kunskap, har gjort att projektet har fungerat som **ett syntesprojekt snarare än som ett renodlat forskningsprojekt**.

Sammanfattning

Svensk industri är tack vare sin betydande tillverkning och export en av de stora aktörerna på utrustning och system till mejerier världen över, följaktligen har en införd energibesparingslösning här en stor möjlighet att snabbt komma många till nytta.

Om man utgår ifrån de energiåtervinningsmöjligheter som finns i den vanligast förekommande direktverkande processmodulen för värmebehandling av flytande livsmedel finner man (i Sverige eller i energimässigt jämförbara länder) en betydande ekonomisk besparingspotential i storleksordningen 50 kEUR/år

Om man realiserar den energibesparande potentialen med hjälp av tänkbara värmepumpslösningar ger detta i storleksordningarna ett minskat behov ånga på 15000 ton/år, ett ökat elbehov på 2500 MWh/år och ett minskat behov av kylvatten på 8000 MWh/år, allt räknat per modul.

För att realisera potentialen ställs framför allt krav på att värmepumpslösningen skall ha en möjlig uttemperatur på 170C (ånga) och att den har förmåga att hantera livsmedel inklusive följa de livsmedelskrav som detta innebär.

Resultatet av en marknadsöversikt på värmepumpar ger att: tekniskt sett, finns det minst en lösning på marknaden som säger sig ungefär uppfylla kraven när det gäller temperaturnivåer, men att en individuell anpassning till livsmedelskrav är nödvändig.

Marknadsmässiga krav, här tolkat som en maximal återbetalningstid av investeringen på två år ger att en värmepumpslösning för att uppfylla detta kan kosta upp till 100 kEUR. Ingen sådan anläggning till detta pris finns idag på marknaden enligt marknadsöversikten.

Ett intressant och mer flexibelt alternativ till värmepumpen fås genom att kombinera ett system av värmepump med en ångkompressor. Detta möjliggör framförallt en högre uttemperatur på ångan, men även om denna lösning redan finns tillgänglig idag (som system eller som enskilda komponenter) saknas en helt livsmedelsgodkänd typlösning.

Summary

Swedish industry is due to its significant production and exports one of the major players of equipment- and system-supply to the dairy world, and consequently an introduced energy saving solution as standard in such equipment has a great opportunity to quickly be put to use around the globe.

Assuming the energy recovery opportunities available in the most common direct-acting process-module for the heat-treatment of liquid-foods one finds (in Sweden or energetically comparable countries) a significant financial savings in the order of 50 kEUR / year

If one exploit the energy-saving potential by means of possible heat-pump-solutions, this gives the orders of magnitude reduced need for steam of 15,000 tons / year, increasing electricity demand of 2,500 MWh / year and a reduced need for cooling water of 8,000 MWh / year, all numbers based per module.

To utilize the potential is primarily a requirement that: a) a heat-pump solution shall have a possible delivery-temperature of 170C (steam) and b) it has an ability to handle food including follow the requirements that entails for machinery and materials that come in contact with food.

The result of a market survey on heat-pumps provide that: technically speaking, there is at least one solution on the market that claim to roughly follow to the requirements in terms of temperature levels, but that an individual adaptation to the food requirement is necessary.

Market requirements, here interpreted as a maximum payback-time of the investment over two years, to provide a heat pump solution for meeting this can cost up to 100 EUR thousand. No such solution at this price is available today on the market according to the market survey.

An interesting and more flexible alternative to the heat pump is obtained by combining a system of heat pump with a vapour compressor. This enables in particular a higher delivery-temperature the vapour, but even if that solution is already available today (as a system and/or as single components) it is still missing a food approved standard solution.

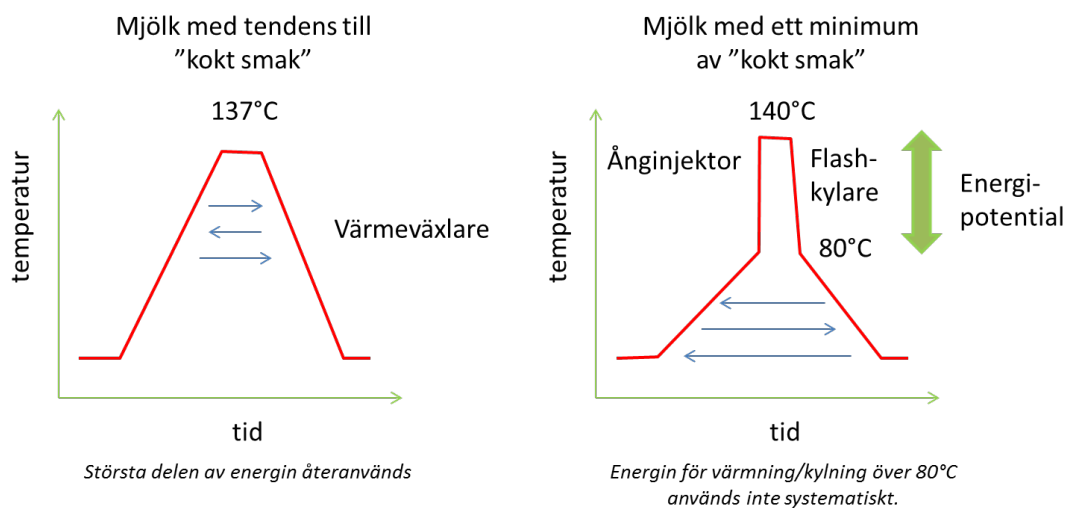
Innehåll

1	Behovet av ny teknik för energibesparing.....	5
1.1	Syfte, Mål och Genomförande.....	6
1.2	Deltagare	7
2	Konceptsystem	9
2.1	Val av konceptsystem	9
2.2	Funktionsbeskrivning	10
2.3	Analys av energibesparingspotentialen.....	11
2.4	Uppskattning av kostnad- och energibesparingspotential	12
3	Högtemperaturvärmepumpar - marknadsöversikt.....	13
4	Framtagande och utvärdering av lämplig konceptlösning.....	15
4.1	Utvidgning av konceptet.....	15
4.2	Befintliga system på marknaden	16
5	Sammanfattning och slutsatser.....	17
6	Projektets populärvetenskapliga publikationer och presentationer	18

1 Behovet av ny teknik för energibesparing

Att producera livsmedel mer energieffektivt och därmed uppnå lägre driftskostnader har stort fokus inom livsmedelssektorn. De flesta större livsmedelstillverkare har idag ambitiösa klimatmål vilka ska nås genom att minska energianvändning i storleksordningen 2-3% per år under de närmsta åren. Tyvärr ser man hitintills väldigt begränsade resultat av energibesparingarna, så behovet av kunskap och trovärdiga teknislösningar som ökar energieffektiviteten är därför stort just nu.

Sverige och svensk industri är stora och framgångsrika aktörer när det gäller att leverera processlösningar för livsmedel värden över, speciellt för värmebehandlade flytande livsmedel med hög kvalitet. För att även i fortsättningen behålla tätpositionen, och inte tappa mark, är det viktigt med en innovativ tekniktradition som ständigt är nyfiken och utvärderar och skapar koncept kring områden med tekniker på frammarsch, ett sådant område är värmepumpar.



Figur 1 Figuren visar produktens tid/temperatur-kurva tillsammans med potentialen för ökad energiåtervinning för ett Indirekt (vänster) och ett Direkt-system höger.

Vikten av att leverera värme vid höga temperaturer beror på att snabb värmning och kylning (80-140-80 °C) figur 1, är viktigt för kvalitén och smaken hos många livsmedel. Värmning upp till 80 °C, ett temperaturområde som inte påverkar smaken särskilt mycket, görs idag med värmväxlare med energieffektiva regenerativ. Men vid höga

temperaturnivåer när värmningen och kylning måste gå fort är tekniken, om man vill uppnå högsta möjliga livsmedelskvalitet, baserad på direktverkande ånginjektion följt av s.k. "flushkylning" och. I dessa fall är alltså inte en regenerativ möjlig teknisk lösning men energibesparingspotentialen stor, troligen i storleksordningen 30-50 %.

Ansatsen i detta projekt var att värmepumpar kunde vara en sådan möjlig teknisk lösning. Dagens värmepumpar som verkar i området upp till 80 °C gör det svårt att systematiskt införa energieffektiva processlösningar och stora mängder energi går till spillo. De nya typer av värmepumpar som verkar vid höga temperaturer skulle därför vara av stort intresse för att öka energieffektiviteten och minska produktionskostnaderna.

Värmepumpar är inget nytt inom livsmedelsbranschen, och flera processintegrationsstudier har gjorts bl.a. inom mejeriindustrin. Men de processlösningar som idag förekommer med värmepumpar är baserade på specifika lösningar och har ofta tillkommit som ad hoc vid enskilda tillfällen och på enskilda initiativ. Då processerna i mejerierna till stor del är uppbyggda av s.k. processmoduler skulle ett koncept med värmepumpar i en modul ha stor möjlighet att på ett mer systematiskt sätt än tidigare dra nytta av energieffektiviseringen. Projektet valde därför att fokusera kring en vanligt förekommande mejerimodul istället för ett enskilt unikt mejeri.

1.1 Syfte, Mål och Genomförande

1.1.1 Syfte

Syftet med detta projekt var att ta fram generella lösningar och fakta för de konceptprocesslösningar för högkvalitativa livsmedel som förekommer inom mejeribranschen, för att på så sätt skapa trovärdiga argument för en ökad användning av värmepumpar. Speciell vikt skall läggas vid de energieffektiva- och kostnadssänkande lösningar som kan uppnås med nya typer av värmepumpar som är verksamma vid höga temperaturer.

1.1.2 Mål

Målet var att fastställa koncept för energieffektiv snabb värmning och kylning av flytande livsmedel med hjälp av värmepumpsteknik. Konceptet skall utvärderas ur perspektiven energianvändning, produktionskostnad investeringskostnad och produktkvalitet.

Sprida den framtagna kunskapen till nyckelpersoner inom svensk och internationell livsmedelsindustri genom konceptmodeller, och seminarier samt artiklar i branschtidsskrifter.

1.1.3 Genomförande

Projektet är ett kunskapsökandeprojekt med och har genomförts tillsammans, av SIK, SP och Tetra Pak, där alla sitter på unik kunskap som har behövts sammanfogas. En hel del företagsintern data har gjorts tillgänglig av Tetra Pak och andra företag under projektet och av hänsyn till detta har data i denna rapport summerats ihop och presenteras på mer indikativa nivåer. Det är författarens mening att detta inte på något sätt har påverkat slutsatserna.

1.2 Deltagare

Projektgruppen är i detta fall bestått av två institutverksamheter (SIK- institutet för Livsmedel och Bioteknik och SP-Energiteknik) och ett processleverantörsbolag Tetra Pak Processing Systems AB. Denna fram till i detta projekt oprövade konstellation, SIK-SP-Tetra Pak, har tillsammans haft både kunskap om värmepumpsteknik livsmedel och livsmedelsprocesser vilket har gjort att detta implementerings och spridnings projekt möjligt och snarare fungerat som ett syntesprojekt än ett renodlat forskningsprojekt.

1.2.1 SIK

SIK har ett brett kontaktnät inom svensk och internationell livsmedelsindustri och har regelbundet seminarier kring nya teknologier ämnat för livsmedelsindustrin. Dessutom har SIK möjligheter och vana av att utvärdera livsmedelskvalitet och livsmedelsprocesser både teoretiskt och experimentellt. SIKs roll i projektet har främst varit att koordinera och sprida framtagen kunskap.

1.2.2 SP Energiteknik

SP Energiteknik har stor erfarenhet av värmepumpslösningar och energieffektiviseringar i industrin. SP Energiteknik har lång erfarenhet av värmepumpsteknik och har breda internationellt kontakter med värmepumpstillverkare med spjutspetskompetens och driver IEAs Heat Pump Centre. SP har också Europas första ackrediterade provningslaboratorium och har en unik databas av prestanda för olika typer av värmepumpar. SP Energitekniks roll i projektet är att på ett neutralt sätt stå för värmepumps-kompetensen, dvs. utan att på förhand låsa in projektet till en specifik värmepumpsleverantör.

1.2.3 Tetra Pak

Tetra Pak är en ledande processleverantör till internationell livsmedelsindustri och har 120 års erfarenhet av mejeriindustrin. De har ingående processkunskap och många av deras systemlösningar fungerar som branschstandard inom flytande livsmedel. En välgrundad konceptlösning som är energibesparande har stor möjlighet att ge värmepumpar ett rejält genomslag inom livsmedelsindustrin genom Tetra Pak.

2 Konceptsystem

2.1 Val av konceptsystem

Processerna i mejerierna i Sverige och världen över är idag till stor del uppbyggda av processenheter s.k. processmoduler som till stor del är standardiserade, när det gäller utrustning och utförande. Skall man alltså lyfta besparingsmöjligheterna från enstaka individuella lösningar, och få ett stort genomslag är det i första hand inom dessa moduler det är viktigt att hitta lösningar, då detta på kort tid kan få genomslag världen över.

När det gäller värmebehandling av lågviskösa flytande mejeriprodukter, eg. mjölk, kan man i huvudsak hävda att det finns två typer av processer: Direkta och In-direkta. Direkta och In-direkt syftar på hur värmemediet kommer i kontakt med livsmedlet och i det In-direkta fallet är sker ingen direkt kontakt utan värmet överförs via ledning i exempelvis en värmeväxlare. I det direkta fallet kommer däremot produkten i kontakt med mediet, och vanligaste typen av denna lösning är att spruta in ånga direkt i mjölken.

Produktkvalitetsmässigt utmärker sig de olika lösningarna genom att den långsamma upphettningen med värmeväxlare (IN-Direkt-system) ger en sötare och något mer "kokt" smak som inte det snabba direkta systemet ger. Det är företrädesvis snabbheten i upp- och ned-värmning i kombination av temperaturen som sätter smaken på mjölk.

Energimässigt är idag fördelarna omvända med dagens lösning. Det Indirekta systemets bas i värmeväxlare lämpar sig ytterligt för en regenerativlösning se figur 1 med hög återvinningsgrad medan energin idag inte tas tillvara och återanvänds i det direkta systemet vid temperaturer över 80C.

Kostnadsmässigt är det Direkta systemet dyrare i drift varvid de oftast används för dyrare produkter och produkter med högre marknadsvärde. Antalet Direkta system i Sverige idag kan uppskattas till i storleksordningen 20-30 st. men antalet i Sverige årligen tillverkade sådana system är betydligt större då svensk export av dessa system är mångdubbelt större.

Sammanfattningsvis valde projektet att studera en: idag befintlig; "state of the art" processmodul; med Direkt värmning. med följande motiv:

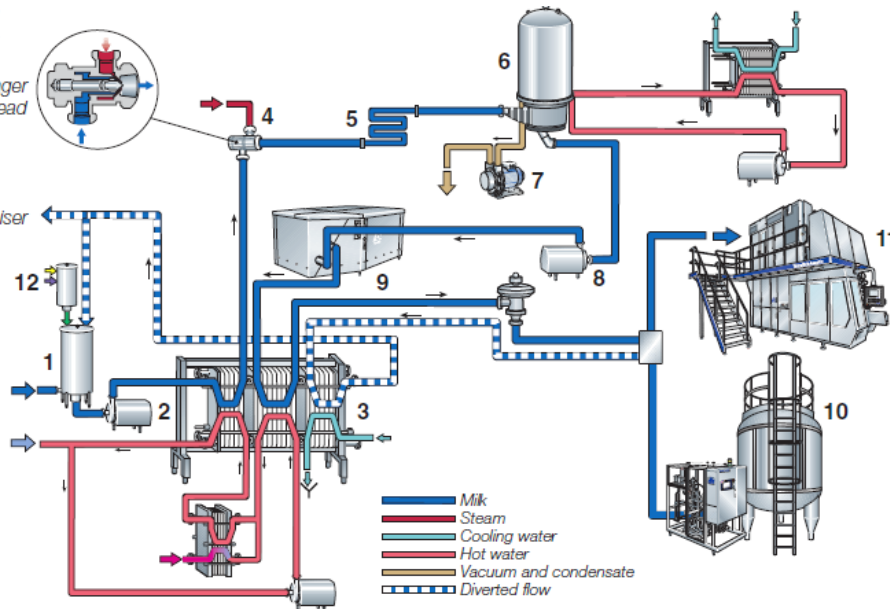
1. Välja en modul istället för ett helt mejeri ökar användbarheten av resultatet, även om det minskar antalet tekniska lösningar till att tillvarata energin.

2. Välja en direktverkande istället för en indirekt då energibesparingspotentialen är större för det direktverkande.
3. Välja en normalstor modul (16000 l/h) för kommersiell sterilisering av mjölk då detta är det mest förekommande produkt-modulkombinationen.

2.2 Funktionsbeskrivning

plate heat exchanger.

- 1 Balance tank milk
- 2 Feed pump
- 3 Plate heat exchanger
- 4 Steam injection head
- 5 Holding tube
- 6 Vacuum vessel
- 7 Vacuum pump
- 8 Centrifugal pump
- 9 Aseptic homogeniser
- 10 Aseptic tank
- 11 Aseptic filling
- 12 CIP



Figur 2 Schematisk beskrivning av ett system för värmebehandling av mejeribaserade livsmedel med Direktverkande värme.

Det valda konceptsystemet ser i princip ut som i figur 2, vid produktion. Produkten, här mjölk, kommer in till systemet via en balanstank (1) med en temperatur av ca 5 C, och går vidare via pumpen (2) in till värmeväxelpaket (3) där temperaturen höjs till ca 80-85 C. Mjölken går vidare till injektorn (4) där het ånga sprutas in och höjer temperaturen inom någon sekund upp till ca 140 grader. Det är sedan hållarcellens (5) längd som bestämmer hur lång tid mjölken skall hållas för att uppnå kommersiell sterilitet. I sprejtorntet (6) kyls (kondenseras) sedan mjölken snabbt ner till samma temperatur som efter förvärmaren och därmed säkerställs att lika stor vattenmängd som tillfördes via ångan tas bort igen ifrån produkten. Trycket och därmed mjölkens kondensationstemperatur styrs via vakuumpumpen (7). Mjölken pumpas (8) vidare via en homogenisator (9) till slutkylaren (3) innan den förpackas (11) eller lagras (10) för att användas senare. Ur energisynpunkt är det också värt att lägga märke till den gula strömmen på bilden (Kondensatet) som tas ut från spraytorntet (6) via Vakuumpumpen

(7), och den röda slingan av kondensatvatten, längst upp till höger, som går ut från spraytornet (6).

2.3 Analys av energibesparingspotentialen

För att se möjligheter till värmepumpning har en källa/sänka analys gjorts tillsammans med en deltaT-profil (ej redovisad här). Observera att enbart produktionen har tagits med. Beräkningar och analys gäller en direktverkande enhet med en produktion på 16 000 l/h. Produktionstiden har uppskattats till 20 h/dygn vilket motsvarar 7300 h/år.

Som produkt har mjölk används och på media-sidan är det vatten. Cp för vatten och mjölk antas vara konstanta i hela temperaturintervallet. 4,2 kJ/kg, K resp. 3,9 kJ/kg, K. Densiteten antas vara konstant 1 kg/l.

Raderna visar var värmeöverskottet i produktionen finns och kolumnerna presenterar värmebehoven. Varje cell matchar sedan behovet mot överskottet. Raden mjölkkyllning i värmeväxlarpaketet (3) är markerat i grått eftersom denna ström redan värmeväxlar mot inkommande mjölk och därför tas denna inte med i vidare beräkningar.

Tabell 1. Källa/Sänka analys över storleksordningarna av energierna i konceptsystemet. Tabellen visar var och hur stort värme och kylbehovet är i produktionen idag. Det har antagits att det finns energi direkt när produktionen startas. F1 – F4 identifierar de olika fallen i texten nedan.

Källa/Sänka (kW)	Mjölkvärmning	Ånginjektor
Kondensat spraytorn	100/100 (F1)	100/1000 (F3)
Cirkulerande kondensatvatten	1000/100(F2)	1000/1000 (F4)
Mjölkkylning	1000/100	1000/1000

Kondensatet från spray tornet lämnar modulen som ett restflöde med temperatur 70 °C. Värmen dumpas vid 70 °C men det skulle vara möjligt att ta tillvara värmen ner till minst 30 °C. Flödet kan innehålla mjölkrester och det är därför svårare att utnyttja värmen.

Från tabellen ges att störst energibesparingspotential finns om kondensvattnet används för att tillverka ånga till ånginjektorn (F4). Vid tillverkningen av ånga krävs då att temperaturen lyfts till minst 170 °C.

Andra alternativ är att kondensatvattnet används för att ersätta det varmvatten som idag förvärmer mjölken från (F1). Energibesparingspotentialen i detta fall är dock betydligt lägre.

2.4 Uppskattning av kostnad- och energibesparingspotential

Besparingspotentialen beror på vilka strömmar som anses mest lämpliga att värmepumpa. Störst besparingspotential finns om det cirkulerande kondensvattnet används som källa för att förse spraytornet med ånga. Men även kostnaderna för olika energislag i olika regioner värden över har stor påverkan. En grov uppskattning av besparingspotentialen har gjorts. Det antas då att en eventuell värmepumpa har COP =3. Det antagna COP kan skilja sig mycket från vad en eventuell verklig värmepumpa har för verkningsgrad. För de mest intressanta fallen (F1 och F4) rör sig besparingarna i storleksordningen 2 kEUR/år respektive 50 kEUR/år. Dessa beräknade siffror varierar stort framförallt med tillgången och kostnaden på respektive ställe, men är här baserade på typiska förhållanden och kostnader i Sverige och jämförbar närhet.

Energimässigt, och även till grund för kostnaderna, har energiåtgången delats upp i olika energislag med minskad respektive ökad behov, se indikativa nivåer i tabellen nedan.

Tabell 2 Skattade förändringar av energiutnyttjandet för respektive fall F1- F4.

	F1	F2	F3	F4
Minskat behov ånga (ton/år)	1200	1500	1200	15000
Ökat elbehov (MWh/år)	200	500	200	2500
Minskat behov kyl vatten (MWh/år)	-	1500	-	8000

3 Högtemperaturvärmepumpar - marknadsöversikt

Tanken är att ge översikt över utbudet av kommersiella värmepumpar idag samt i viss mån tekniska detaljer så som utloppstemperaturer. Värdena i tabellen är företagens egna uppskattningar som de har uppgett efter förfrågan. Undersökningen kan på intet sätt hävdas vara helt komplett utan skall ses som just en översikt.

Tabell 3 Översikt över prestanda hos idag förekommande relevanta kommersiella värmepumpar.

Storhet/Företag	Företag 1	Företag 2	Företag 3	Företag 4	Företag 5	Företag 6
Effekt ut, max	500 kW	712 kW	50-1000 kW	200 kW	i.e.	370 kW
T varmvatten flöde	Tin(70 °C) - Tut 170 °C	Tut 90	Design Tin 50 °C- Tut 80 °C	Tut 70	Tin 70 Tut 90	Tin 70 Tut 120(Ånga)
T värmekälla	Tin 70 – Tut 55 °C		Tin Max 40 °C		Tin 70	Tin 65
Köldmedia	Helium (R704)	Ammoniak	Koldioxid	R134a	R134a	i.e.
COP	2,1	3	3,6-4	3,9		3,5

Utöver de storheter som redovisas i tabellen fördes omfattande diskussioner om installationspris/service/levererade enheter m.m. Att sätta jämförbara gränser eller att i detalj specificera de olika värmepumparnas egenheter kräver ett jobb som är bortom scoopet för detta arbete. Vidare ställdes inledande frågor kring en rad specifika livsmedelsmedels effekter:

Tabell 4 Livsmedelsaspekter och krav på värmepumpar

Aspekt	Krav
Leverera Ånga	uttemperatur 170 C
Ångkvalitet	"Culinarisk ånga"
Vattenkvalitet	"Dricksvattenkvalitet"
Diskbarhet	Rent senast efter Standard disk för tänkt produkt,
Steriliserbarhet	Sterilt senast efter Standard sterilisering för tänkt process
Driftstabilitet	Bevarad sterilitet i processen
Materialval	Diskbarhet + Godkända material för kontakt med livsmedel (på ångsidan)
Storlek/utförande	Placering i hygienzon
Livsmedelssäkerhet	Ingen möjligt läckage mellan köldmedia och produkt

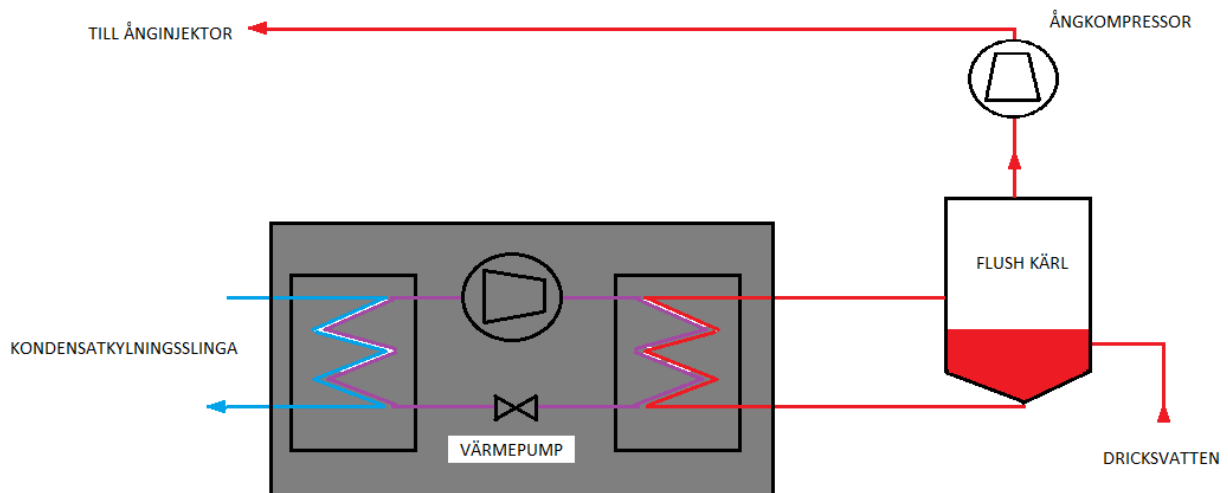
Gemensamt för alla tillfrågade var att de inte hade någon specifik "livsmedelsmodell" där det på förhand gick att bocka av livsmedelskraven, men att "nuvarande grundmodeller borde kunna åtgärdas eller modifieras för att uppfylla kraven". Det är ur utförarnas synvinkel svårt att överblicka sanningen i ett sådant påstående. Här gäller precis som ovan att en rättvisande jämförelse mellan de aktuella värmepumparna, likt den i tabell 3 ovan, ej kan göras inom detta projekt.

4 Framtagande och utvärdering av lämplig konceptlösning

Baserat på de uppgifter och den information som framkom under arbetet med funktionsbeskrivningen och marknadsöversikten (se styckena ovan) startades en dialog kring framtagandet av ett gemensamt lämpligt koncept enligt den ursprungliga idén. Baserat på energibesparingspotentialen valdes fall 4, dvs. att använda ett värmepumpssystem som tar tillvara på den energibesparingspotential som finns om kondensvattnet används för att tillverka ånga till ånginjektorn. Ingen av de i marknadsöversikten funna befintliga systemen matchade helt alla krav, och då den tekniskt mest godtagbara hade en prisnivå som inte bedömdes som acceptabel för marknaden förkastades färdiga lösningar som koncept. Även om prisnivåer ej är redovisade i denna rapport, kan en ungefärlig tolererad nivå på priset skattas med hjälp av antagandet om 2 års återbetalningstid vid miljörelaterade investeringar vilket ger en ungefärlig tolererad kostnad runt 100 KEUR.

4.1 Utvidgning av konceptet

Baserat på ovan beslöts att **utvidga konceptet från att bara inkludera värmepumpar till att omfatta även kombinationen Värmepump + Ångkompressor**. En sådan principiell lösning skulle se ut som:



Figur 3 Detalj på framtagen konceptlösning för fall F4, här med ångkompressor.

Vid en initial utvärdering av lösningen framkom att: Fördelen med denna lösning borde vara att den framförallt klarar av att leverera rätt sorts ånga vid rätt temperatur. Andra

fördelar är att i och med att man frikopplar värmepumpens uttemperatur från den i processen behövda ångtemperaturen kommer fler typer av värmepumpar i fråga för användning och/eller möjligheten till prestandaoptimering ökar. Möjligheterna till diskbarhet och materialval skiljer sig inte från ett rent värmepumpsystem och borde kunna klaras.

Den stora nackdelen är livsmedelssäkerhet d.v.s. den samma som för enbart värmepumpar och då framför allt risken för möjligt läckage mellan köldmedia och produkt, varvid det i princip behöver införas läckage övervakning eller på annat sätt riskminimeras. Dessutom ställer steriliseringsbarheten till problem då man innan livsmedelsproduktionen behöver ha upp temperaturen i kondensator kylningsslingan till över 121 grader. Vidare krävs en bibehållen extern ångkapacitet motsvarande behovet vid uppstart och försterilisering. Ingen av dessa nackdelar är oövervinnerliga men kräver fortsatta utvecklingsinsatser.

4.2 Befintliga system på marknaden

Någon komplett marknadsöversikt gjordes inte av det nya kombinerade systemet men vid en kortare inventering hittades en lämplig modell med värmepump och ångkompressor med följande prestanda:

Tabell 5. Motsvarande data som i tabell 3 för en kombinerad värmepump ångkompressor.

Storhet/Företag	Företag
Effekt ut, max	660 kW
T varmvatten flöde	T _{in} * 20 T _{ut} 165 (Ånga)
T värmekälla	T _{in} 70
köldmedia	i.e.
COP	2,5

Ingen specifik uppföljning gjordes inom projektet mot denna modell.

5 Sammanfattning och slutsatser

Svensk industri är tack vare sin betydande tillverkning och export en av de stora aktörerna på utrustning och system till mejerier världen över, följaktligen har en införd energibesparingslösning här en stor möjlighet att snabbt komma många till nytta.

Om man utgår ifrån de energiåtervinningsmöjligheter som finns i den vanligast förekommande direktverkande processmodulen för värmebehandling av flytande livsmedel finner man (i Sverige eller i energimässigt jämförbara länder) en betydande ekonomisk besparingspotential i storleksordningen 50 kEUR/år

Om man realiserar den energibesparande potentialen med hjälp av tänkbara värmepumpslösningar ger detta i storleksordningarna ett minskat behov ånga på 15000 ton/år, ett ökat elbehov på 2500 MWh/år och ett minskat behov av kylvatten på 8000 MWh/år, allt räknat per modul.

För att realisera potentialen ställs framför allt krav på att värmepumpslösningen skall ha en möjlig uttemperatur på 170C (ånga) och att den har förmåga att hantera livsmedel inklusive följa de livsmedelskrav som detta innebär.

Resultatet av en marknadsöversikt på värmepumpar ger att: tekniskt sett, finns det minst en lösning på marknaden som säger sig ungefär uppfylla kraven när det gäller temperaturnivåer, men att en individuell anpassning till livsmedelskrav är nödvändig.

Marknadsmässiga krav, här tolkat som en maximal återbetalningstid av investeringen på två år ger att en värmepumpslösning för att uppfylla detta kan kosta upp till 100 kEUR. Ingen sådan anläggning till detta pris finns idag på marknaden enligt marknadsöversikten.

Ett intressant alternativ till värmepumpen fås genom att kombinera ett system av värmepump med en ångkompressor. Detta möjliggör framförallt en högre uttemperatur på ångan, men även om denna lösning redan finns tillgänglig idag (som system eller som enskilda komponenter) saknas en helt livsmedelsgodkänd typlösning.

6 Projektets populärvetenskapliga publikationer och presentationer

Projektet och dess resultat har presenterats och väckt nyfikenhet framförallt för livsmedelsindustrin vid ett flertal tillfällen tillgängliga för alla intresserade se lista nedan. Det huvudsakliga och mest omfattande tillfället för resultatspridning var vid en specialordnad workshop kring temat Industriell energieffektivisering med ca 60 deltagare. De mest publika arrangemangen var KV-dagen och SIKs medlemsdag med uppskattningsvis ungefär det dubbla antalet åhörare. Förutom regelrätta presentationer har små sammanfattningar även förekommit i diverse epostbaserade utskick från SP och SIK vilket har nått över 80 % av svensk Livsmedelsindustri.

Raaholt B & Hamberg L, Energieffektiva processer för livsmedelsindustrin *Föredrag på Livsmedelsproduktion 2013 Sverige/Danmark* 18 april 2013, Malmö, Industrimässa.

Hamberg L, Högtemperaturvärmepumpar inom livsmedelsindustrin- Var? När? Hur? *Föredrag på KV-dagen 2013*, 18 Oktober 2013, Göteborg, Branschdagar.

Lindau J., & Hamberg L, Värmepumpar – i industriella applikationer Var? När? Hur? *Föredrag på Industriell energieffektivisering*, 4 februari 2014, Göteborg, Workshop.

Hamberg L, & Raaholt B, Energibesparing – ny teknik och beprövade sätt, *Föredrag på SIKs medlemsdag*, 6 Mars 2014, Göteborg, Branschdag