

Energieffektivisering av provplats CHP på Tetra Pak Processing Components AB Lund i, samarbete med Lunds Energi.

Daniel Berndtsson, Michael Thornqvist

Thesis for the Degree of Master of Science

Division of Efficient Energy Systems
Department of Energy Sciences
Faculty of Engineering
Lund University



Tack till

Detta examensarbete om 30 högskolepoäng har utförts vid Tetra Paks drifanläggningar på Öresundsvägen i Lund.

Vi vill rikta ett stort tack till:

Jörgen Mattsson, driftsingenjör Tetra Pak AB, för knytandet av nya kontakter samt frambringande av bakgrundsinformation.

Lennart Thörnqvist, professor i energihushållning vid Lunds universitet, för utmärkt handledning.

Hans Kjellvander, projektingenjör Lunds Energi, för goda idéer och värdefull data som har legat till grund för många utav beräkningarna.

Nils Wendestam, Technical Manager Tetra Pak AB. Som driftansvarig för provplatsen har han bidragit med värdefull information om effekter och flöden som möjliggjort beräkningar.

Göran Larsson. Anl. Maskinist Tetra Pak AB. Som djupt insatt i uppbyggnad och drift av energisystemen på Tetra Pak Öresundsvägen har han varit till oumbärlig hjälp med alla frågor och funderingar under arbetets gång.

Sammanfattning

Energi kostar idag mycket och därför behöver energianvändningen effektiviseras i de flesta företag. För att effektivisera energianvändningen på en industri behöver energiflöden kartläggas, undersökas och kontinuerligt mätas och bevakas. Vid genomförandet av detta examensarbete har en översiktlig energikartläggning över potentiella spillvärmekällor gjorts. Huvuddelen av arbetet handlar om att ta tillvara på den värmeenergi som produceras vid provkörning av homogenisatorer. De första lösningsförslagen handlar om att koppla in provplatsen till fjärrvärmenätets retur- respektive framledning. Detta skulle ske med två olika tekniker; med värmepump, eller med ClimateWell-moduler. Då vinsten per megawattimme är tre gånger så stor vid egen användning av energin, blir inkoppling på fjärrvärmenätet inte lönsamt. Det blir dyra investeringskostnader i förhållande till vinsten för såld energi till Lunds Energi, i synnerhet för ett ClimateWell-system.

Efter att ha mätt energiflöden i samma byggnad som provplatsen befinner sig, sågs att den största användningen av fjärrvärme är för uppvärmning av lokalerna. Två nya lösningsförslag togs fram. ”Alternativ 1”, går ut på att koppla in spillvattnet från provplatsen till den interna värmeslingans returledning. På så vis blir temperaturdifferensen mellan fram- och returledning på den interna värmeslingan litet, vilket leder till att inköpt värme från Lunds Energi skulle kunna minimeras under provkörningstillfällena på CHP. En vidareutveckling av ”alternativ 1”, kallar vi ”alternativ 2”. Lösningen är i grunden den samma, med skillnaden att spillvattnet inte bara ska kunna användas till uppvärmning av den interna värmeslingan, utan även av slingan för tappvarmvatten. Detta sistnämnda alternativ gör också att rördragningen från provplatsen blir längre, då inkoppling sker till fjärrvärmecentralen istället för på den förbipasserande interna uppvärmningsslingan. Fjärrvärmecentralen fungerar då som en samlingspunkt för energiflöden in och ut ur byggnaden. Detta ökar möjligheten, att genom inkoppling av framtida eventuella energianvändande processer, öka utbytet av effektiviseringsförslaget.

För att förutspå hur mycket av energin från CHP som kan levereras skapades två modeller. Den ena modellen skapades med Matlab r2008a, den andra med OpenOffice.org Calc. Matlab-modellen tar hänsyn till tre parametrar; förra årets energianvändning i byggnaden där provplatsen befinner sig, egna mätningar av uppvärmningsbehovets dygnsvariation, samt under vilka tider och med vilka effekter provkörning på CHP sker. I modellen som skapades med OpenOffice.org Calc tas ingen hänsyn till den dygnsvisa variationen i uppvärmningsbehovet. Enligt de båda modellerna som skapades, får vi avsättning för cirka 60 % av den producerade värmeenergin från CHP.

Utifrån dessa båda alternativ har en kostnadskalkyl gjorts med hjälp av berörda entreprenörer, vilket resulterat i en pay back-tid under 2 år för båda alternativen.

Abstract

Energy prices today are high, and because of that, many companies are interested in making their processes more energy efficient. To make an industry more energy efficient, it's necessary to map, investigate, and continuously measure and monitor energy flows in and out of the processes. An overall energy mapping of potential waste heat sources has been made on the premises at Tetra Pak. The main topic of this thesis is to take advantage of the thermal energy produced when testing homogenization modules. The first solution proposed is to connect the test site to the district heating grid. This would be done with two different technologies; with a heat pump and with so called ClimateWell modules. Earnings per megawatt-hour are however three times greater when using the energy for internal purposes, compared to selling it to Lunds Energi. The investment costs are high in comparison to the earnings gained when selling the energy, especially regarding the so called ClimateWell system.

By measuring the energy flows in the building where the test site is located, we found out that heating up the building stands for a substantial part of the district heating consumption. Two new solutions were developed. In alternative 1, the waste water from the test site should be connected to the return line of the internal heating grid passing by the test site. This leads to a decreased temperature difference between the forward and return line, resulting in lower energy demand. A further development of alternative 1 is called alternative 2. The solution is basically the same; instead of using the waste water only for internal heating, it's also used to heat tap water. This difference leads to additional pipings, since the test site has to be connected to the heat distribution central of the building. In that case the heat distribution center will act as an hub for energy flows in the building. This solution increases future opportunities in getting a good benefit when connecting other energy producing processes

In an effort to predict how much of the energy produced at the test site that can be taken care of for internal use, two mathematical models were used. The first model was created using Matlab R2008a, and the second one using OpenOffice.org Calc. The Matlab model takes three parameters into consideration; last years energy use in the building where the test site is located, the variation of heat demand during each day's 24-hour period, and the actual time that the test site is up and running and at which power. The model made with OpenOffice.org Calc is not taking the 24-hour period variation of heat demand into account. According to our two calculation models, 60 % of the produced heat energy from the test site can be used.

For these two alternatives cost calculation has been made with the assistance of concerned entrepreneurs, resulting in a pay-back time less than 2 years for both alternatives.

Innehållsförteckning

Tack till.....	i
Sammanfattning.....	ii
Abstract.....	iii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Mål och syfte.....	1
1.3 Frågeställningar – exempel.....	2
1.4 Avgränsningar.....	2
1.5 Historia och verksamhetsbeskrivning.....	2
2 Intressanta spillvärmekällor på Tetra Pak.....	3
2.1 Processbeskrivning Tetra Recart.....	3
2.2 Processbeskrivning Tetra Pak Dairy&Beverage Systems AB.....	4
2.3 Processbeskrivning, CHP.....	5
2.3.1 Homogenisatorn.....	6
2.3.2 Testsida 1.....	7
2.3.3 Testsida 2.....	8
2.3.4 Mätpunkter.....	9
2.3.5 Vätskekylare.....	9
3 Bakgrundsberäkningar.....	11
3.1 Beläggning.....	11
3.2 Faktor för värmeöverföring till vattnet.....	11
3.3 Energi som överförs till vattnet.....	12
3.4 Beräkning av dimensionerande effekt.....	12
3.5 Kylbehov CHP.....	13
3.6 Beräkning av vattenförbrukning.....	13
3.7 Beräkning av kylkostnad.....	14
3.8 Simulering av vätskekylarens kapacitet.....	14
4 Lösningförslag.....	16
4.1 Inkoppling på fjärrvärmenätet.....	16
4.1.1 Inkoppling till returledningen.....	17
4.1.2 Inkoppling till framledningen med värmepump.....	18
4.1.3 Inkoppling till framledningen med ClimateWell.....	19
4.2 Egen användning av värmeenergin.....	21
4.2.1 Alternativ 1.....	22
4.2.2 Alternativ 2.....	23
4.2.3 Summering av alternativ 1 och 2.....	25
5 Beräkningar för egen användning av värmeenergin.....	26
5.1 Flödesmätning av sekundärkretsen.....	26
5.2 Flödesmätning av tappvarmvattenkretsen.....	27
5.3 Modellering av täckningsgrad med Matlab R2008a.....	28
5.4 Modellering av täckningsgrad med elektroniskt kalkylark.....	30
5.5 Sammanfattning av de båda modellerna.....	33
6 Lönsamhetsberäkningar.....	34
6.1 Inkoppling på fjärrvärmenätet.....	34
6.2 Egen användning av den producerade värmen.....	35
7 Sidoaspekter.....	36
7.1 Ånga.....	36
7.2 Avlopp.....	36

8 Diskussion/Slutsats.....	37
9 Referenser.....	38
Appendix 1 – Karta över Tetra Pak på Bryggaregatan.....	40
Appendix 2 – Fjärrvärmeledningskarta, öresundsområdet.....	41
Appendix 3 – Karta över uppvärmningssystemet i hall ÖB.....	42
Appendix 4 – Varför dubbla pumpar?.....	43
Appendix 5 – Matlabkod.....	44
Appendix 6 – Förklaring kalkylark.....	45
Appendix 7 – Fjärrvärmeförbrukning i hall ÖB (Värmeväxlaren).....	47

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Detta examensarbete skall handla om energieffektivisering av Tetra Paks anläggning på Öresundsvägen i Lund. Vi kommer att studera olika alternativ att ta tillvara spillvärmen från diverse processer. Fokus kommer först och främst att läggas på Components High Pressure Pumpings (hädanefter refererat till som CHP) provplatser. CHP är en avdelning under Tetra Pak Processing Components AB (TPPC). Idag är provplatsen indelad i två delar med tre testplatser i varje del. Här provkors homogenisatorer för att säkerställa kvalitén före levererans till kund. För att kunna bibehålla en arbetstemperatur på vattnet som krävs för att simulera produkten genom homogenisatorn används två kylsystem; ett 'feed and bleed'-system och ett system med en vätskekylare på taket. Till 'feed and bleed'-systemet används vanligt färskvatten för att bibehålla en konstant temperatur i vattentanken som förses homogenisatorerna med 60-gradigt vatten. Vattnet som i och med detta släpps ut, måste kylas ytterligare till 45 °C för att kunna sändas ut i avloppssystemet [27]. Nedkylningen erfordras också för att förhindra korrosion på avloppsledningarna. Energispillet i denna process är stort och det finns stor potential att i enlighet med Tetra Paks miljöpolicy effektivisera och tillvarata den energi som annars går förlorad.

Tetra Pak har ett globalt ”climate program” som innebär att från baseline 2005 fram till 2010 ska minska de energirelaterade CO₂ utsläppen med 10% i absoluta tal[1].

Tetra Paks miljöpolicy är omfattande och innehåller allt från fastigheter till återanvändning av förbrukade förpackningar. Tetra Pak strävar efter att hålla en mycket hög miljöprofil i tillverkning och drift.

”Vi åtar oss därför att utveckla, utforma och utföra vår verksamhet för att:

- Minimera miljöpåverkan.
- Åtgärda tidigare föroreningar.
- Främja effektiv resursanvändning.
- Minska vårt bidrag till klimatförändringar.
- Hantera avfall på lämpligt sätt, till exempel genom att maximera återvinningen av fabriksavfall” [7]

Alla Tetra Paks fabriker ska ha ett miljöledningssystem som är certifierat enligt ISO 14001[1]. Det är bland annat denna policy som ligger till grund för vårt examensarbete.

1.2 Mål och syfte

Målet med energieffektiviseringen är att tillvarata överskottsenergi och varmvatten som går till spillo vid testkörningar på CHP:s provplats. Problemställningen är hur detta kan genomföras på ett så energi- och kostnadseffektivt sätt som möjligt. Ett första steg är att utvärdera möjligheten att ansluta provplatsen till Lunds Energis fjärrvärmenät och lönsamheten däri. Samtidigt studeras alternativa lösningar för att utnyttja värmen inom den befintliga anläggningen på ett effektivare sätt, eller i andra avdelningar som ligger i samma byggnad som provplats CHP. Vidare skall effekt- och energibehov på provplatsen vid olika driftfall utredas, liksom hur vattenförbrukningen i anläggningen ska kunna minskas och hur framtida energieffektiviseringar kan genomföras. Slutligen sammanställs investerings- och driftskostnader.

1.3 Frågeställningar – exempel

Exempel på frågor som behandlas i detta arbete kan vara:

- På vilket sätt kan tillgängliga data och mätvärden användas för att komma fram till energiförlusterna på de två provplatserna på CHP?
- Kan dessa förluster användas för inkoppling på Lunds Energis fjärrvärmenät?
- Var är fjärrvärmeledningen lokaliserad i förhållande till provplatsen?
- Vilka temperaturer handlar det om, matarledning, returledning?
- Kan vi på annat sätt sluta processen på provplatsen, ta tillvara på energin inom befintliga anläggningar?

1.4 Avgränsningar

För att arbetet inte skall bli för komplext har vi i samförstånd med Nils Wendestam som är avdelningschef på CHP och professor Lennart Thörnqvist från LTH, avgränsat projektet till att i första hand innefatta de två system som idag finns på CHP:s provplats för att kyla vatten och dess till-och frånflöden.

1.5 Historia och verksamhetsbeskrivning

AB Tetra Pak bildades i Lund av Ruben Rausing och Erik Wallenberg 1951 som ett dotterbolag till Åkerlund & Rausing. Idén om ett förpackningssystem kom till under 1920-talet då Ruben Rausing studerade i USA och för första gången kom i kontakt med ”snabbköpen” och de förpackade livsmedlen. Denna idé tog han med sig till Europa och 1929 grundade han tillsammans med Erik Åkerlund den första specialiserade förpackningsfabriken i Skandinavien, Åkerlund & Rausing. Tetra Pak utvecklar, tillverkar och marknadsför kompletta process-, förpacknings- och distributionssystem för livsmedel. Idag omfattar Tetra Paks verksamhet mer än bara flytande livsmedel. Ost, glass, frukt, grönsaker samt hund- och kattmat är några exempel på produkter utöver de flytande livsmedlen som kan packas i Tetra Paks förpackningar. Företaget kan erbjuda sina kunder processbehandling av de produkter som ska förpackas. Exempel på sådan utrustning är separatorer, homogenisatorer och värmewäxlare. Vidare finns tio olika förpackningssystem att erbjuda för olika marknadens behov. Tetra Pak erbjuder också en mängd olika transportbanor och dessutom mjukvaruservice som bl.a omfattar projektering, styrning och övervakning av anläggningar. Även utbildning, service och hjälp med marknadsföring är något företaget ställer upp med. Tetra Pak erbjuder sina kunder ett djupt kunnande och ett totalt ansvar för hela produktionslinjen. [2]

2 Intressanta spillvärmekällor på Tetra Pak

I Tetra Paks anläggning vid Öresundsvägen i Lund tillverkas och provkörs processutrustning för bland annat bearbetning av mejeriprodukter. För att skaffa sig en uppfattning om i vilka processer spillvärme potentiellt kan förekomma kan man mäta effekter, flöden, temperaturer och så vidare. Men först och främst måste man skaffa sig lite kunskap om vilka av processerna som verkar generera spillvärme. I vårt fall är det verksamheterna i byggnaderna ÖB och ÖCD (se *Appendix 1* för områdeskarta) där både montering och provkörning av processutrustning genomförs. I ÖB monteras och provkörs homogenisatorer. Tetra Pak Dairy & Beverage Systems AB (TPD&B) monterar och provkör även en del av sina anläggningar här. Dairy & Beverage finns även i byggnad ÖCD där också Tetra Recart finns. Samtliga processer använder sig av ånga för att hetta upp produkten till önskad temperatur vid simulering av aseptisk drift. Då ånga används på testplatserna är det ett rimligt antagande att processerna lämnar ifrån sig potentiellt stora mängder spillvärme, eftersom det enbart vid vattnets fasövergång från ånga till vätska frigörs stora mängder energi.

2.1 Processbeskrivning Tetra Recart

Tetra Recart är världens första kartongbaserade förpackning som är speciellt framtagen för att innehålla livsmedelsprodukter som traditionellt sett förpackas i konservburkar och glasburkar. Ett specialutvecklat förpackningsmaterial som tål höga temperaturer behövs, då förpackningen genomgår ett autoklaveringssteg som gör att produkten steriliseras i förpackningen. Detta medför lång hållbarhet utan konserveringsmedel och så länge förpackningen är öppen behövs ingen kylförvaring.[22] I Tetra Recarts testhall (ÖCD) finns en autoklaveringsanläggning som används för att testa kundernas produkt. Detta görs i pilotskala för att se hur produkten beter sig i Tetra-recartförpackningen.

Autoklav är en form av tryckkokare där allt från metall till kemikalier och livsmedel kan steriliseras. Processen sker i ett slutet kärl som innehåller vatten som hettas upp till önskad temperatur. Den höga temperaturen bibehålls från några minuter upp till timmar beroende på vilken egenskap som produkten eller materialet i autoklaven skall få. Efter upphettning av vattnet, och när hålltiderna är avklarade, kyls vattnet ner till ca 20 grader. Energianvändningen för processvatten per förpackning är 50-60 kJ vilket ger en effekt per förpackning på cirka 15 Watt[26]. Volymerna som processas i autoklaven är förhållandevis små och kommer därför att i detta skede inte vidare utforskas.

Inne i Tetra Recarts testhall finns även två fyllnadsmaskiner TP R1 och TP R2. Dessa maskiner används då livsmedel skall förpackas. Produktionskapacitet för TP R1 är upp till 24 000, och för TP R2 upp till 6 000 Tetra Recart förpackningar per timme. Förpackningarnas storlek är 340, 390 och 500 ml. Vid provkörning av maskinerna går de vattenfyllda förpackningarna ner i en kross där de skiljs från vattnet, varefter förpackningarna tas om hand och vattnet kyls ned till 40°C för att sedan släppas ut i avloppet. Då det körs materialprover blir det inget spill då dessa förpackningar tas om hand och förs till autoklaven för vidare värmebehandling.[24]

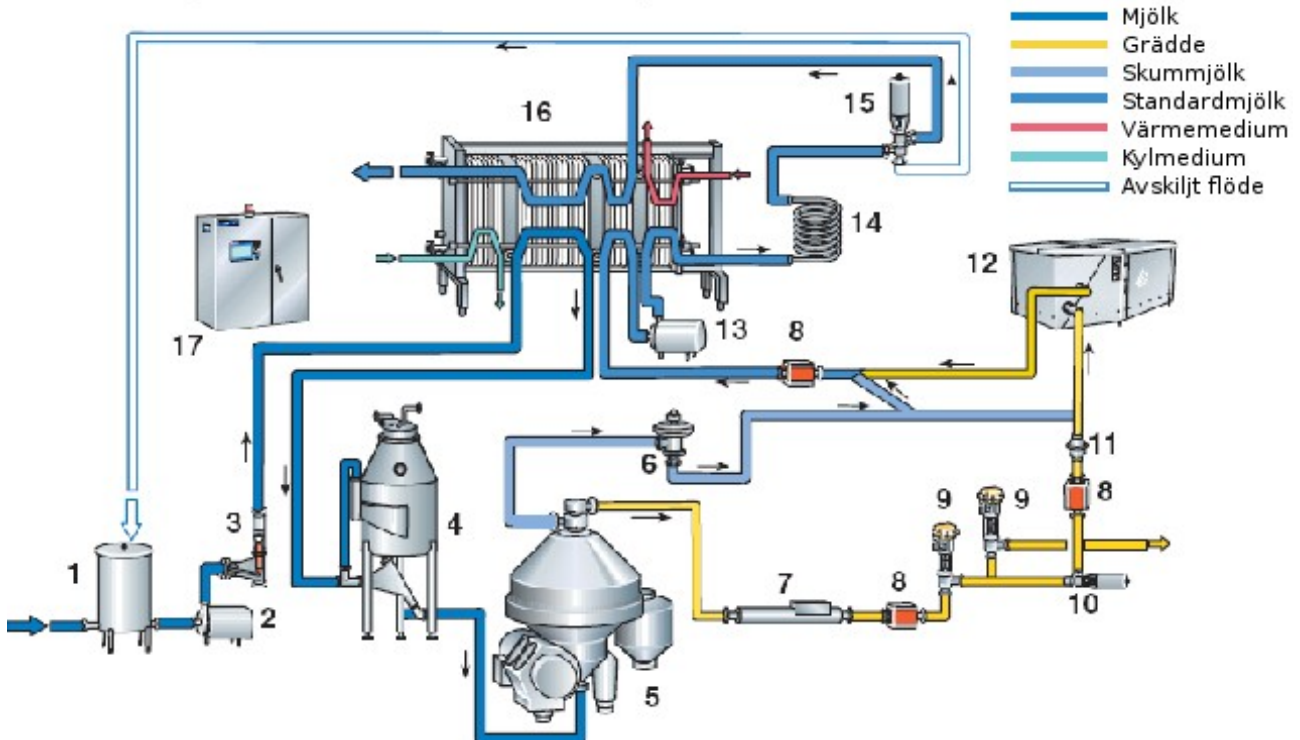
Fyllnadsmaskinerna körs i stort sett varje dag. De körs väldigt sällan på full effekt och tiden de körs på varierar från minuter till hela dagar. Temperaturerna maskinerna körs på varierar från 10-gradigt vatten upp till 100-gradigt vatten.[25] Mängden vatten som släpps ut varierar utifrån vilken typ av förpackning som testas. Potentiellt finns det energi att ta tillvara på i dessa processer men det krävs en längre uppföljning av hur ofta och hur mycket Tetra Recart kör sina anläggningar.

Detta har bedömts falla utanför ramarna för vårt examensarbete och denna tråden kommer därför att

släppas här med rekommendation om att någon i framtiden kommer att ta upp den.

2.2 Processbeskrivning Tetra Pak Dairy&Beverage Systems AB

D&B monterar ihop olika komponenter som kommer från Tetra Paks egen tillverkning eller inköpts av underleverantörer för att skapa en fungerande produktionslinje bestående av bland annat värmeväxlare och separatorer, se *figur 1* nedan.



Figur 1: Principschema över en pastöriseringsprocess[19]

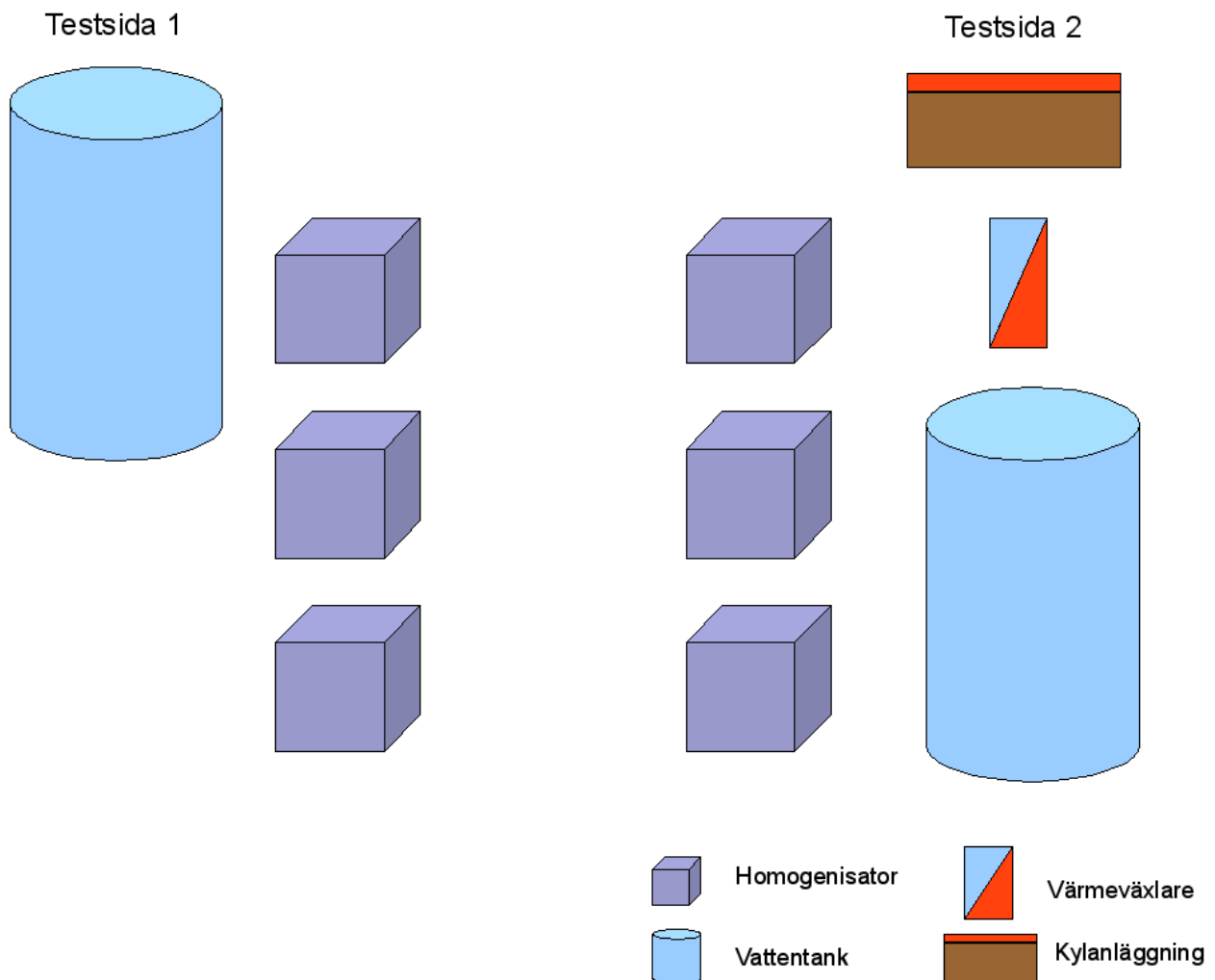
- | | |
|--------------------|------------------------|
| 1. Balanstank | 10. Avstängningsventil |
| 2. Matarpump | 11. Flödesriktare |
| 3. Flödeskontroll | 12. Homogenisator |
| 4. Avluftare | 13. Tryckpump |
| 5. Separator | 14. Hållarcell |
| 6. Tryckventil | 15. Flödesdivergering |
| 7. Densitetsmätare | 16. Värmeväxlare |
| 8. Flödesmätare | 17. Styrenhet |
| 9. Reglerventiler | |

Figuren visar hela processen från det att mjölken leds in i systemet via balanstanken (1). Balanstanken är till för att förse processen med ett jämnt flöde. Härifrån pumpas mjölken till plattvärmeväxlaren (16) där den förvärms innan den skickas till avluftaren (4) och separatoren (5). Från separatoren fås skum mjölk och grädde. Gräddens önskade fetthalt ställs in och hålls konstant med hjälp av densitetsmätaren (7), flödesmätaren (8) och reglerventilerna (9). Via flödesriktaren (11) sänds grädden till homogenisatorn (12) där fettpartiklarna finfördelas. Skum mjölken passerar en tryckventil (6) innan inblandning av den homogeniserade grädden sker. Standardmjölken går igenom flödesmätaren (8) innan pastöriseringen påbörjas (16). Tryckpumpen (13) leder mjölken den sista biten genom plattvärmeväxlaren innan mjölken når fram till hållarcellen (14). Hållarcellens uppgift är att förlänga sträckan som mjölken färdas, för att på så vis förlänga uppehållstiden innan nästa steg. Flödesdivergeringen (15) fungerar som en trevägsventil där man

kan välja att sluta kretsen, till exempel vid rengöring av systemet. Efter flödesdivergeringen leds mjölken tillbaka genom plattvärmväxlaren (16) där den kyls av. Mjölken är nu färdig att förpackas. Vid D&B:s testplatser provkörs dessa system. Homogenisatorn (12) är dock inte med vid testkörning eftersom den provkörs separat på CHP:s provplats. En sådan anläggning som illustreras i *figur 1* kan köras på ett flöde upp till 40 000 liter i timmen [16]. Vid testkörning värms vatten som simulerar produkten upp med hjälp av ånga. Ångan kondenseras och återvinns i en separat process som inte illustreras i figuren. Vattnet cirkulerar tillbaka till värmväxlaren för att förvärma inkommande vatten och kyls sedan ytterligare för att släppas ut i avloppet. I avloppet skulle man kunna ta tillvara på den värmeenergi som kommer från provplatsen, för användning till andra ändamål. Vid en optimering av provkörningsprocessen som bland annat skulle kunna innebära en kortare körtid av kylsteget, erhålls en högre temperatur på det vatten som simulerar produkten.

2.3 Processbeskrivning, CHP

På provplats CHP, belägen ungefär mitt i byggnad ÖB (se *Appendix 1*) finns det två testsidor med vardera tre provplatser där homogenisatorer provkörs och testas för leverans till kund, samt för framtagning av nya komponenter i maskinerna. När homogenisatorerna testkörs genereras spillvärme och testtiderna varierar från 6 timmar upp till flera dygn [6]. I takt med att produktionen och effekterna på maskinerna genom åren har ökat, får kylsystemen svårt att hålla nere temperaturerna på vattnet och man får använda sig av allt större inblandning av kallt färskvatten.



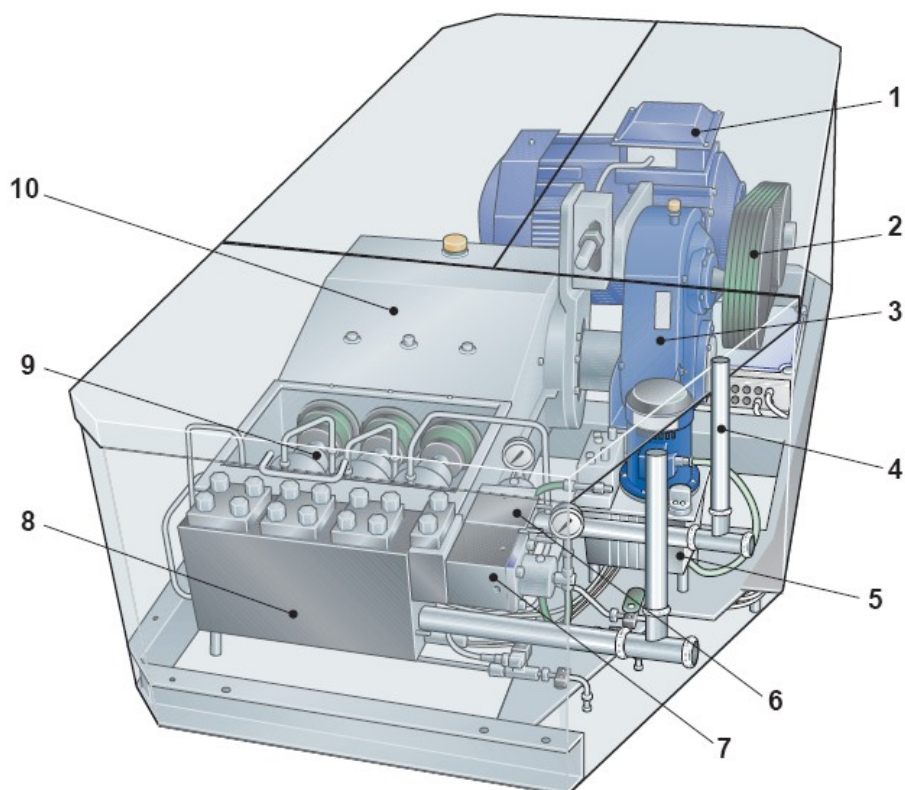
Figur 2: Översiktskarta över provplats CHP

2.3.1 Homogenisatorn

Fettpartiklarna i råmjölken har från början inte har samma storlek och de kommer därför att skikta sig. Efter homogenisering får de samma storlek [4], mellan 0.1-2 μm [3]. I och med detta blir fett i mjölken homogent fördelat vilket ger en jämn smak utan alltför påtagliga skiktningar.

Homogeniseringseffekten gynnas av lägre viskositet vilket man får vid ökad temperatur. Detta innebär att ju högre temperatur homogeniseringen utförs vid desto bättre blir sönderdelningen av fett dropparna. Homogeniseringen bör ske vid en temperatur över 37°C [8], eftersom allt fett i mjölken då har smält. Samtidigt så finns det en övre gräns på hur mycket man kan värma mjölken för att få optimal effekt. Höjer vi temperaturen till mer än 70°C får vi åter en ökning av viskositeten till följd av att mjölkproteinerna börjar denatureras [3]. Placeringen av homogenisatorn är i de flesta fall efter pastöriseringen och avluftningen vilket betyder att temperaturen på produkten som når homogenisatorn ligger runt 60-65 °C [15].

Tetra Pak erbjuder åtta olika modeller av homogenisatorer. Storlekarna varierar från små pilotskalor upp till maskiner med ett flöde på 45 800 liter per timme vid ett homogeniseringstryck på 160 bar. Arbetstrycket för varje modell kan varieras upp till 400 bar. [29] Huvudkomponenterna i en homogenisator är de eldrivna hydrauliska pumparna som trycksätter lösningen som skall processas. Ökat tryck tvingar lösningen genom en spalt. Beroende på hur stort avståndet i spalten är kommer trycket och själva homogeniseringen att variera därefter. När vätskan har tvingats genom spalten har homogeniseringen skett och den leds bort i ett utgående flöde. Flödet bestäms av trycket som pumparna utövar på den ingående vätskan och av trycket i hålrummet direkt efter spalten.[3]



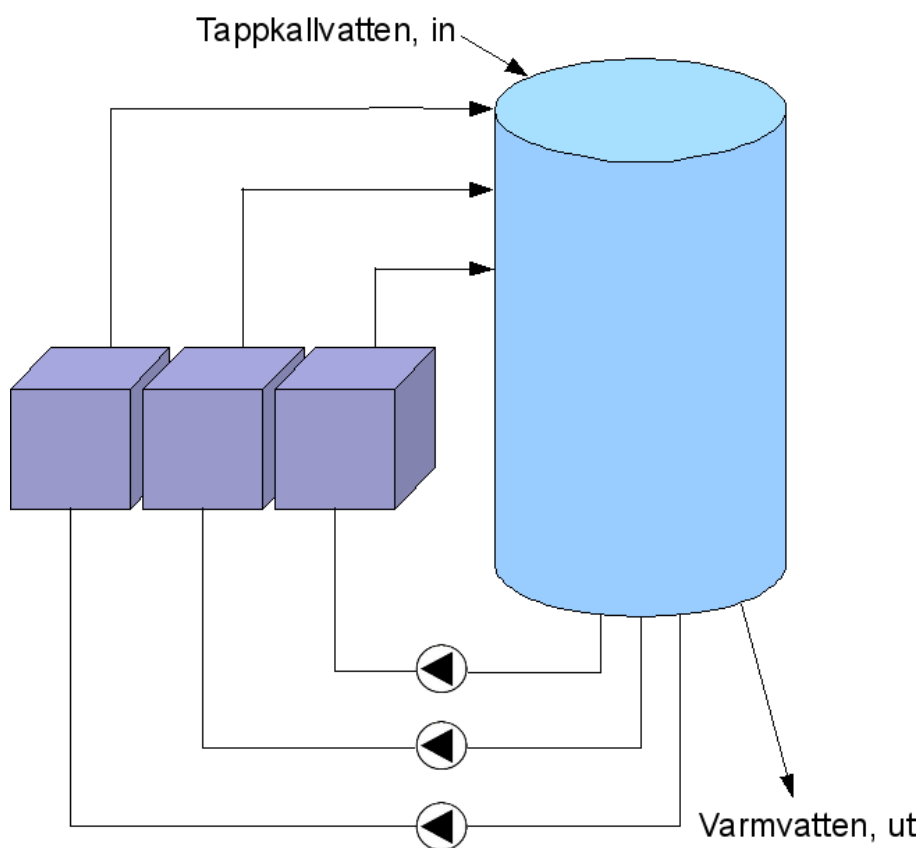
Figur 3: Sprängskiss av Tetra Alex 25

I figur 3 ovan illustreras en genomskärning av Tetra Alex 25 där följande komponenter åskådliggörs:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1. Elmotor | 6. Homogeniseringsmodul, andra steget |
| 2. Kraftöverföring, drivrem | 7. Homogeniseringsmodul, första steget |
| 3. Växellåda | 8. Pumpblock |
| 4. Dämpare | 9. Kolvstång |
| 5. Hydrauliskt trycksättningssystem | 10. Vevhus |

Kolvpumpen är en av homogenisatorns största och viktigaste beståndsdelar. I *figur 3* är det den stora enheten hitom elmotorn. Denna pumpen har tre kolvar som drivs av en krafing elmotor (1), via drivremmen (2), trissor och växellåda (3), till vevaxeln (10), för att konvertera den roterande rörelsen till en rörelse som går fram och tillbaka. En kolvpumps kapacitet kan endast ändras genom att variera varvtalet på motorn, eller utväxlingen. För att klara av högre tryck, byts kolvarna ut mot sådana med mindre diameter. Detta reducerar homogenisatorns kapacitet eftersom varje maskin har ett maximalt vevaxelsvarvtal. En större maskin har längre slaglängd och/eller fler kolvar. I många fall har också kolvarna en större diameter. En högtryckspump har normalt tre till fem stycken kolvar (9) som rör sig inuti pumpblocket (8). Maskinerna är utrustade med dubbla kolvtätningar. Mellan tätningarna flödar vatten för att smörja kolvarna. Vid aseptisk körning används istället varmt kondensat och ånga. En kolvpump genererar alltid ett pulserande flöde och för att undvika kavitation i pumpen används en dämpare (4) på sugsidan av homogeniseringsmodulerna (6,7). För att minska vibrationer och oväsen används även dämpare efter homogeniseringsmodulerna. [19]

2.3.2 Testsida 1

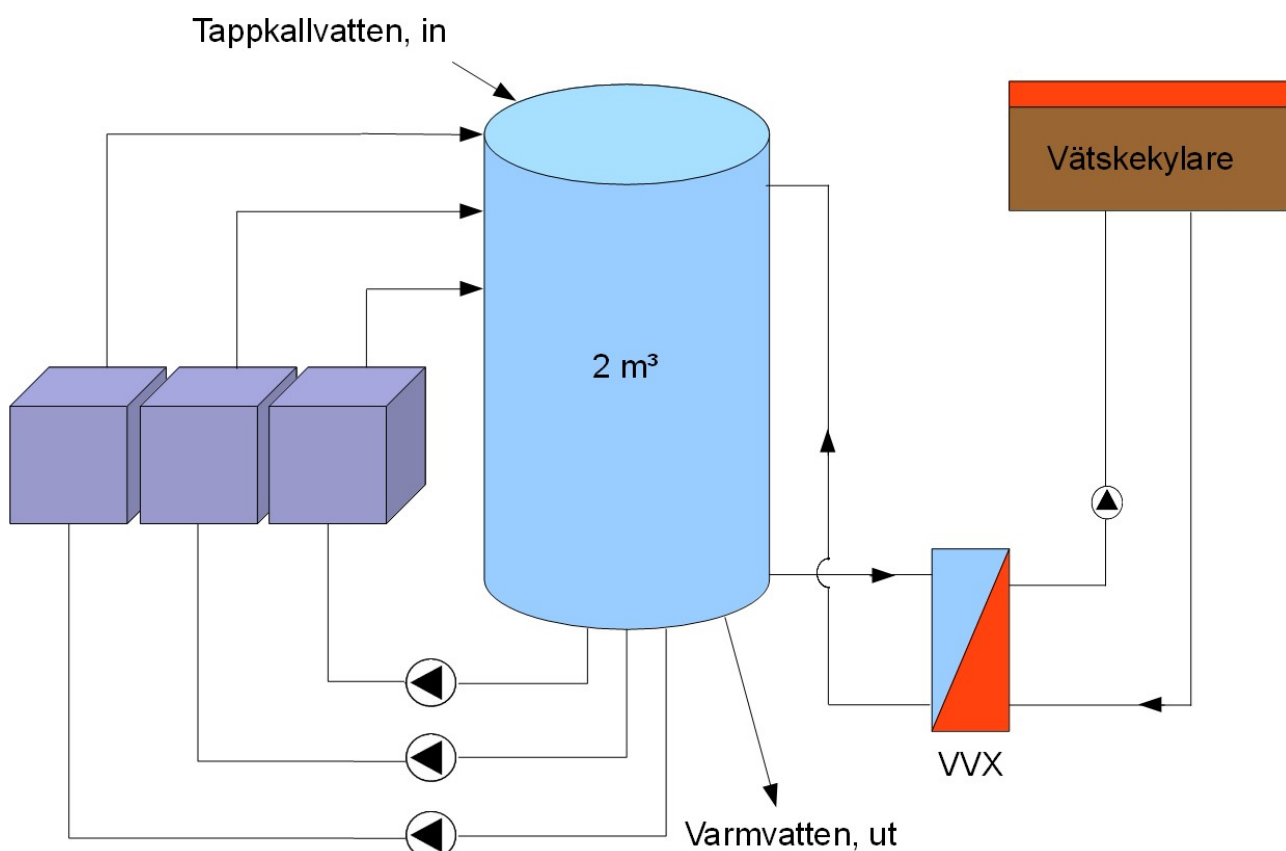


Figur 4: Principskiss över kylsystemet på testplats 1.

CHP:s provplats har två separata kylsystem med plats för att provköra tre homogenisatorer var. Ett system kyls med hjälp av en vätskekylare och det andra genom inblandning av färskvatten, så kallat 'feed and bleed' och det är det sistnämnda som tillämpas på testsida 1, se *figur 4*. Testsidan har en tank på 3,5 m³. Denna tank fylls med färskvatten som simulerar produkten, och pumpas med hjälp av tre cirkulationspumpar ut till respektive homogenisator. När vattnet passerar genom homogenisatorn sker en temperaturökning på 5-9 °C på grund av friktionsvärmens som uppkommer när vattnet trycks genom den smala spalten. Vattnet med den förhöjda temperaturen återförs sedan till tanken. När temperaturen i tanken blir för hög, mellan 67-70 °C, släpps en del vatten ut och nytt kallt färskvatten fylls på för att sänka temperaturen till cirka 60-65 °C. Nackdelen med detta system är att det går åt stora mängder färskvatten för att hålla temperaturen och volymen i tanken på rätt nivå. Dessutom måste detta vatten för att få släppas ut i avloppet spädas ytterligare till 45 °C, vilket är ett krav baserat på ett tillstånd enligt miljöskyddslagen, beslut 1988-10-04. (av länsstyrelsen Malmöhus län, Miljövårdsenheten) [27].

2.3.3 Testsida 2

Testsida 2 fungerar nästan med samma princip som för testsida 1. Skillnaden är att man använder en mindre vattentank på 2 m³. För att kompensera detta, så har man kopplat på ett system med en värmväxlare som är kopplad till en vätskekylare på taket, se *figur 5* nedan. Det är detta system, som idag med hjälp av en varvvalsreglerad pump håller temperaturen i tanken på ca 65 °C. Fördelen med detta system är att nästan ingen inblandning av färskvatten behövs. Nackdelarna är att värmeenergin kyls av utan att den tas tillvara. Kylanläggningen på taket är underdimensionerad vilket medför att vid varma dagar räcker inte kyleffekten till för att hålla temperaturen i tanken på rätt nivå utan hjälp av inblandning av färskvatten, så kallad 'feed and bleed'.



Figur 5: Principskiss över testsida 1.

2.3.4 Mätpunkter

Mätpunkter som finns på CHP:s båda testplatser är:

- Homogenisatorernas inbyggda, som mäter temperaturer i vevhus och växellåda.
- Vattenflödet in till provplatsen från det kommunala nätet.
- Temperaturer och vattenflöden till och från homogenisatorerna.
- Tanktemperatur.
- Flöde och temperatur till och från kylanläggningen på taket

Motoreffekterna som används vid de olika provkörningarna och vilka tryck som genereras registreras kontinuerligt. Vi behöver alltså inte tillsätta ytterligare mätpunkter för att få fram användbara data som vidare kan ge oss en förståelse för vilka energimängder som tillförs vattnet då det passerar homogenisatorerna.

2.3.5 Vätskekylare

För att minska kylvattenförbrukningen inne på CHP:s provplats har en vätskekylare från Coiltech (se *figur 6*) installerats på taket, rakt ovanför provplatsen. Kylaren är specialbeställd för ett antal år sedan och produktspecifikationen finns inte tillgänglig längre, varken hos leverantören eller hos Tetra Pak. Kapaciteten kan dock modelleras fram med hjälp av ett simuleringsprogram hos Luvata Söderköping AB (tidigare Coiltech), med hjälp av modellbeteckningen som finns instansad på vätskekylaren.



Figur 6: Vätskekylaren på taket.

Vätskekylaren är idag inkopplad på kylsystemet för testsida 2, se *figur 5*. Flödet till och från kylaren styrs med hjälp av en varvtalsreglerad pump, temperaturgivare på tanken och ledningarna

till och från vätskekylaren. Vätskekylaren fungerar bra och klarar för det mesta av att hålla rätt temperatur i tanken. Dock uppstår problem vid höga belastningar framförallt under de varmaste månaderna, då även 'feed and bleed' behöver användas för att säkerställa önskad temperatur i tanken. [6]

3 Bakgrundsberäkningar

3.1 Beläggning

Beläggningen på de två testsidorna beror på flera olika parametrar. Effekt, flöde och drifttider har tagits fram med hjälp av historiska data, tillsammans med CHP:s provplats tekniska chef.

På testsida 1 bestämdes en sammanlagd märkeffekt på homogenisatorerna till 369 kW, med ett totalt flöde på 29 m³/h under 2250 timmar per år. Den levererade värmeenergin varierar mer på testsida 2 jämfört med testsida 1. Märkeffekten på testsida 2 bestämdes till 148 kW med ett medelflöde på cirka 11 m³/h under 1202 timmar per år. Det totala flödet från provplatsen blir cirka 40 m³/h. [15]



Figur 7: En Tetra Alex med skyddsplåtar [23]

3.2 Faktor för värmeöverföring till vattnet

För att räkna ut hur stor andel, ϕ , av motoreffekten som överförs i form av värme till vattnet görs på följande vis:

Empiriska data har visat att en tryckhöjning i homogenisatorn på 40 bar, leder till en temperaturökning på det genomgående vattnet av 1°C:

$$\Delta T = \frac{P}{40 \cdot 10^5} \quad (1)$$

Nästa steg är att härleda ett uttryck för att räkna ut motoreffekten, P_m , hos en motor med en verkningsgrad, η , som behövs för att åstadkomma ett visst tryck:

$$P_m = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t \cdot \eta} = \frac{\frac{F}{A} \cdot s \cdot A}{t \cdot \eta} = \frac{P \cdot V}{t \cdot \eta} = \frac{P \cdot Q}{\eta} \quad (2)$$

För att räkna ut den överförda energimängden till vattnet, P_v , för ett visst flöde och temperaturhöjning, ΔT , utgås från:

$$q = V \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow \frac{q}{t} = \frac{V}{t} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow P_v = Q \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

$$C_p = 4,181 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} = 4,181 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}, \text{ efter approximationen att densiteten för vatten är } 1000 \text{kg/m}^3.$$

Värmeöverföringskvoten räknas slutligen ut genom att kombinera (1), (2) och (3):

$$\varphi = \frac{P_v}{P_m} = \frac{Q \cdot C_p \cdot \frac{P}{40 \cdot 10^5}}{\frac{P \cdot Q}{\eta}} = \frac{C_p \cdot \eta}{40 \cdot 10^5}$$

$$C_p = 4,181 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} = 4,181 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}$$

$$\eta = 0,85$$

$$\varphi = \frac{C_p \cdot \eta}{40 \cdot 10^5} = \frac{4,181 \cdot 10^6 \cdot 0,85}{40 \cdot 10^5} \approx 0,89$$

3.3 Energi som överförs till vattnet

Med hjälp av ovanstående data och uträkningar kan den totala mängden energi som överförs till vattnet i form av värme räknas ut.

$$\text{Testsida 1: } P_v = P_m \cdot x \cdot \varphi \cdot t = 369 \cdot 0,8 \cdot 0,89 \cdot 2250 = 591 \text{ MWh/år}$$

$$\text{Testsida 2: } P_v = P_m \cdot x \cdot \varphi \cdot t = 148 \cdot 0,8 \cdot 0,89 \cdot 1202 = 126,7 \text{ MWh/år}$$

Där:

P_v = Överförd energimängd till vattnet

P_m = Homogenisatorns märkeffekt

x = Andel av maxeffekt som maskinen körs på i medeltal

φ = Andel av märkeffekt som överförs till värmeenergi till vattnet

t = tid i timmar som maskinen körs per år

Den sammanlagda energin som tillfördes vattnet i form av värme från CHP förra året blir enligt dessa uträkningar **718 MWh** eller **59,83 MWh/mån**. Det är dessa siffror som ligger till grund för fortsatta uträkningar.

3.4 Beräkning av dimensionerande effekt

För att kunna dimensionera apparatur som ska ta hand om spillvärmens måste storleken på denna apparatur dimensioneras för en specifik effekt som homogenisatorerna tillför vattnet. Denna effekt varierar över tid, beroende på provplatsens beläggning. Ju högre denna effekt är, desto dyrare blir apparaturen generellt.

Först beräknas den sammanlagda motoreffekten. Homogenisatorerna på provplatsen antas i medeltal köras på 80% av maxeffekt :

$$P_m = 0,8 \cdot (369 + 148) = 414 \text{ kW}$$

Detta värde multipliceras med φ , enligt resonemanget i 3.2, för att se hur stor effekt som värmer upp vattnet:

$$P_v = P_m \cdot \varphi = 414 \cdot 0.89 \approx 370 \text{ kW}$$

3.5 Kylbehov CHP

För att kunna bibehålla temperaturen i tanken på testsida 1, används som tidigare nämnts vatten. Det används även vatten för att kyla motor och växellåda på homogenisatorerna, men detta flöde är förhållandevis litet och kommer därför inte att vidare behandlas. Kylkostnaden idag utgörs av den mängd vatten som testsida 1 använder för att bibehålla temperaturen i tanken samt elanvändningen av vätskekylaren på testsida 2.

3.6 Beräkning av vattenförbrukning

Den allra största vattenförbrukningen på provplats CHP är när man i 'feed and bleed'-systemet på testsida 1, blandar in kallt färskvatten i tanken för att sänka temperaturen. Varje maskin antas köras lika lång tid vilket ger ett sammanlagt vattenflöde på 29 m³/h. För att beräkna hur mycket vatten som blandas i tanken, måste först ett medeltryck räknas ut för att få det ΔT som maskinerna tillför systemet. De olika maskinernas tryck kommer att ha olika inflytande på medeltrycket (och även ΔT), eftersom varje maskin har olika flöde. Utifrån denna teori och med tillgång till historiska data, räknas medeltrycket ut till 359 bar, vilket ger ett ΔT på 9 °C, enligt ekv. 1, kap 3.2.

Till slut räknas det ut hur mycket vatten som bör iblandas av en viss temperatur, för att kyla en viss mängd vatten av en annan temperatur, till en tredje önskad temperatur. Detta görs med hjälp av ekv. 3, kap 3.2 och teorin att vätska 1 blandas med vätska 2. Båda dessa vätskor har en viss volym, värmekapacitet och temperatur, alltså olika energiinnehåll. När vätskorna blandas kommer de bådas energi att sträva mot att utjämnas gentemot varandra. Eftersom båda vätskorna är vatten, har de samma värmekapacitet. Det som skiljer dem åt är volymen och temperaturen. Det varma vattnet som ska kylas i tanken kommer att kylas från sin höga temperatur till den önskade temperaturen, samtidigt som färskvattnet värms upp från sin låga temperatur till samma önskade temperatur. Vätskorna har efter blandning samma energiinnehåll:

$$Q_F \cdot C_p \cdot \Delta T_F = Q_t \cdot C_p \cdot \Delta T_t \rightarrow Q_F = \frac{Q_t \cdot C_p \cdot \Delta T_t}{C_p \cdot \Delta T_F} = \frac{Q_t \cdot \Delta T_t}{\Delta T_F} = \frac{Q_t \cdot (T_H - T_{\ddot{O}})}{(T_{\ddot{O}} - T_L)}$$

F = Färskvatten

f = Färskvatten (andra inblandningen)

T = Temperatur

t = Tank

H = Hög

L = Låg

Ö = Önskad

Med ett flöde ut från maskinerna på sammanlagt 29 m³/h, och ett antagande att maskinerna körs 2250 timmar per år, fås ett årsflöde på 65 250 m³ [15]. Enligt ovanstående resonemang, behövs det

$$Q_F = \frac{Q_t \cdot (T_H - T_{\ddot{O}})}{(T_{\ddot{O}} - T_L)} = \frac{65250 \cdot (69 - 60)}{(60 - 10)} = 11\,745 \text{ m}^3/\text{år}$$

om tanken antas ska hålla 60 °C, tappkallvattnet är 10 °C och att homogenisatorerna bidrar med ett

ΔT på 9 °C.

Vattnet som spolat ut på detta vis håller alltså 60 °C, men enligt tillståndet från miljöskyddslagen får inte temperaturen på vattnet som släpps ut i avloppet vara varmare än 45 °C[27]. Detta kräver ytterligare inblandning av färskvatten till det 60-gradiga vattnet som lämnar tanken:

$$Q_f = \frac{Q_F \cdot (T_H - T_O)}{(T_O - T_L)} = \frac{11745 \cdot (60 - 45)}{(45 - 10)} = 5\,033 \text{ m}^3/\text{år}.$$

Den sammanlagda färskvattenförbrukningen blir **16 778 m³/år**.

3.7 Beräkning av kylkostnad

För att göra en jämförelse mellan de två kylsystemen på CHP, det vill säga 'feed and bleed' och vätskekylning på testsida 2, med avseende på den ekonomiska aspekten, så räknas kostnaden för att kyla en kilowattimme ut för respektive system.

Testsida 1:

Först räknas ut hur stor volym 1 kWh räcker till, för att värma vatten med 9 °C, enligt ekv. 3 kap 3.2:

$$V = \frac{q}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{1000 \text{ Wh} \cdot 3600 \text{ s}}{4.181 \cdot 10^6 \text{ J}/(\text{m}^3 \text{ K}) \cdot 9^\circ \text{C}} = 0,09567 \text{ m}^3.$$

Genom att på samma vis som i föregående kapitel räkna ut hur stor volym färskvatten som går åt för att kyla dessa 0,09567 m³ i två steg från 69 °C först till 60 °C, sedan till 45 °C, fås 0,0246 m³ tiogradigt färskvatten. Med ett pris på 7,25 kr/m³ färskvatten, kostar det alltså

$$0,0246 \text{ m}^3/\text{kWh} \cdot 7,25 \text{ kr}/\text{m}^3 = 0,178 \text{ kr}/\text{kWh}.$$

Enligt uträkningar i kap 3.3, tillför testsida 1 på provplats CHP 591000 kWh/år, vilket leder till en årlig kylkostnad på 591000 kWh/år · 0,178 kr/kWh = 105 198 kr/år.

Testsida 2:

På testsidan kyls vattnet som värms upp av homogenisatorerna med en vätskekylare på taket.

Enligt uträkningar i kap 3.3, tillför testsida 2 på CHP: provplats 126700 kWh/år. Vi antar att all producerad värmeenergi från denna sida kyls bort av vätskekylaren på taket. Detta antas ske under 1800 timmar/år. Motoreffekten på varje utav de tre fläktarna på vätskekylaren är 120 W, vilket ger en årlig energianvändning på 120 · 3 · 1800 = 648 kWh/år.

Elpriset är 0,66 kr/kWh och den årliga kylkostnaden för produktionssidan blir 648 · 0,66 = 428 kr/år.

Den totala årliga kylkostnaden för CHP blir 105 198 + 428 = **105 626 kr/år**.

3.8 Simulering av vätskekylarens kapacitet

Det totala vätskeflödet från provplatsen är 40 m³/h. Vattnet beräknas hålla en temperatur på 69 °C efter passage genom homogenisatorerna och det ska kylas till 60 °C. Vattnet genom vätskekylaren är separerat från processvattnet från provplatsen med en värmväxlare.

Kapaciteten på vätskekylaren bestäms av vilka driftförhållanden som råder vid en viss tidpunkt och är beroende av utomhustemperaturen, vätsketemperatur samt luft och vätskeflöden. För att få en

simulering av prestandan på vätskekylaren vid våra driftförhållanden, kontaktades Luvata Söderköping AB. Den totala effekten som avges iform av värme till vattnet på provplatsen är 370 kW se *kap 3.4*. Enligt en första simulering utifrån dessa värden, skulle ett flöde på 40 m³/h genom kylaren leda till ett tryckfall över kylaren på 305 kPa. Detta skulle ställa extrema krav på cirkulationspumpen och överskrider rekommendationerna på cirka 50 kPa. Därför halverades flödet och temperaturdifferensen mellan in- och utgående vatten från kylaren fördubblades. Detta skulle innebära 5.55 l/s vatten som ska kylas från 69 °C till 51 °C, istället för 60 °C. Utifrån dessa värden gjordes en andra simulering. Den visade på att för att kyla det 69-gradiga vattnet till 51 °C, krävdes en utomhustemperatur på under 21 °C. Denna utomhustemperatur är inte rimlig, behovet av vätskekylaren är som störst på sommaren då även utomhustemperaturen är som högst. Dessutom står den på ett underlag av svart tjärpapp, vilket bidrar till ytterligare temperaturökning. Rekommenderat värde enligt Jörgen Philipsson på Luvata AB är mellan 27-28 °C. Den tredje och slutgiltiga simuleringen som gjordes finns i *figur 8* nedan.

LIQUID AIR BLAST COOLER			
	CAPACITY	<kW>	330.0
LIQUID	FLOW RATE	<l/s>	5.55
	TEMP IN	<°C>	69.0
	TEMP OUT	<°C>	53.6
	VELOCITY	<m/s>	1.5
	PRESS. DROP	<kPa>	84.1
AIR	FLOW RATE	<m3/s>	8.60
	TEMP IN	<°C>	27.3
	TEMP OUT	<°C>	63.5
	SOUND LEVEL at 10 m	<dB>	45
	SHAFT POWER / FAN	<kW>	0.12
COOLER			RKGN-10-16-08-1

1) greater than max

Figur 8: Simuleringsresultat för vätskekylaren på taket. [31]

Med ett acceptabelt tryckfall över kylaren och rimlig utomhustemperatur går det inte att få en temperaturdifferens på de 18 °C som önskas. Istället fås en temperaturdifferens på 15.4 °C, vilket gör att kylarens effekt från simuleringen på 330 kW, istället uppskattas till 300 kW.

Detta medför att cirkulationspumpen som används till vätskekylaren måste bytas ut då den endast har ett maxflöde på cirka 9 m³/h. Den nya pumpen behöver ha ett maxflöde på 20 m³/h vid en tryckhöjd på cirka 10 m.

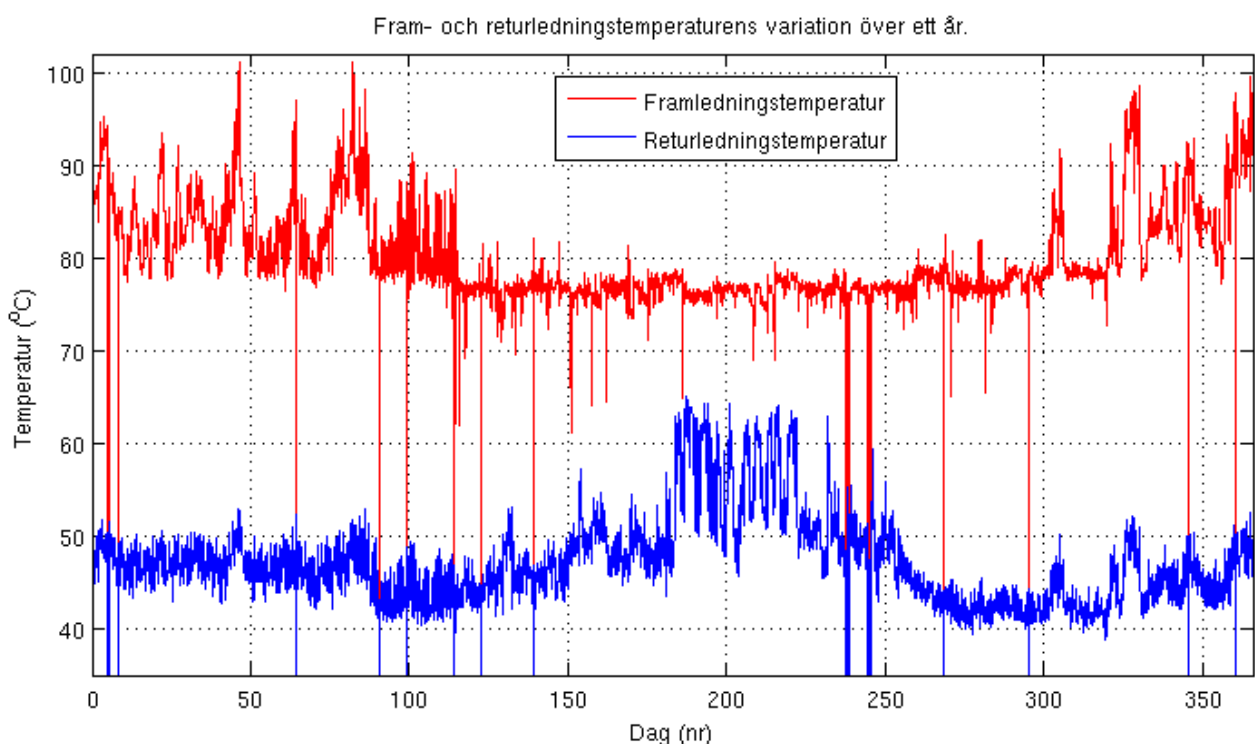
För varma sommarkvar dagar behöver lufttemperaturen genom kylaren hållas så låg som möjligt, gärna under de 27,3 °C i simuleringen. Därför kommer vätskekylaren att kompletteras med en bestrilare. Bestrilaren sprider kallt vatten över kylarens kylflänsar och ökar på så sätt kyleffekten då temperaturen på kylflänsarna sjunker med 3-4 °C.

Fördelen med att använda vätskekylaren för att kyla bort värme från provplats CHP är att det är en billig metod, jämfört med att använda 'feed and bleed'. Under tiden kylaren körs, är den enda kostnaden elektricitet till vätskekylarens fläkt och cirkulationspumpen. Nackdelen är att värdefull energi går till spillo.

4 Lösningsförslag

4.1 Inkoppling på fjärrvärmennätet

Inom flertalet industriella processer finns ett överskott på värme. Denna spillvärme är en resurs som går förlorad om man inte tar tillvara på den. Om spillvärmen har tillräckligt hög temperatur kan den matas ut direkt i fjärrvärmennätet. Vid en lägre temperatur kan den användas som värmekälla till en värmepump, vilket kan ge en produktion av fjärrvärme om el tillförs. Så länge som den industriella processen körs för att göra det den är till för, och inte att producera så mycket spillvärme som möjligt, är överskottsvärmen spillvärme. [13] Hur mycket spillvärme som kan transporteras bort till fjärrvärmennätet styrs av bland annat temperaturerna på fram- och returledningen, samt flödet i dessa. Med data från Lunds Energi, se figur 9, syns hur temperaturen i fjärrvärmennätets fram- och returledning varierar över året.



Figur 9: Fjärrvärmennätets variation i temperatur över året i fram- och returledning. [20]

Medeltemperaturen för framledningen är 80,3 °C och för returledningen 47,3 °C. Framledningens temperatur är cirka 90 °C på vintern och cirka 78 °C på sommaren.

Miljövinsten av spillvärme är hög eftersom miljöbelastningen anses tillhöra den produktion som värmen ursprungligen kommer ifrån. Det innebär att en mindre mängd växthusgaser släpps ut vilket är positivt för miljön.[13] Det faktum att spillvärmen inte ger något upphov till ytterligare utsläpp är ett starkt argument för att öka användningen av spillvärme[14].

Viktiga faktorer i spillvärmesamarbetet är bland annat:

- Ta fram energifakta
- Tillåt båda parter att tjäna pengar
- Utforma stabila värmeavtal

Vad som menas med ett stabilt värmeavtal är att parterna skall kunna överblicka en längre tidsperiod och förstå den ekonomiska modellen som ligger till grund för bland annat vinstberäkningar och regelbundna korrigeringar under avtalets löptid.[14]

Lunds Energis koldioxidutsläpp för förra årets bränslemix uppgick till 75 kg CO₂/MWh [20].

4.1.1 Inkoppling till returledningen

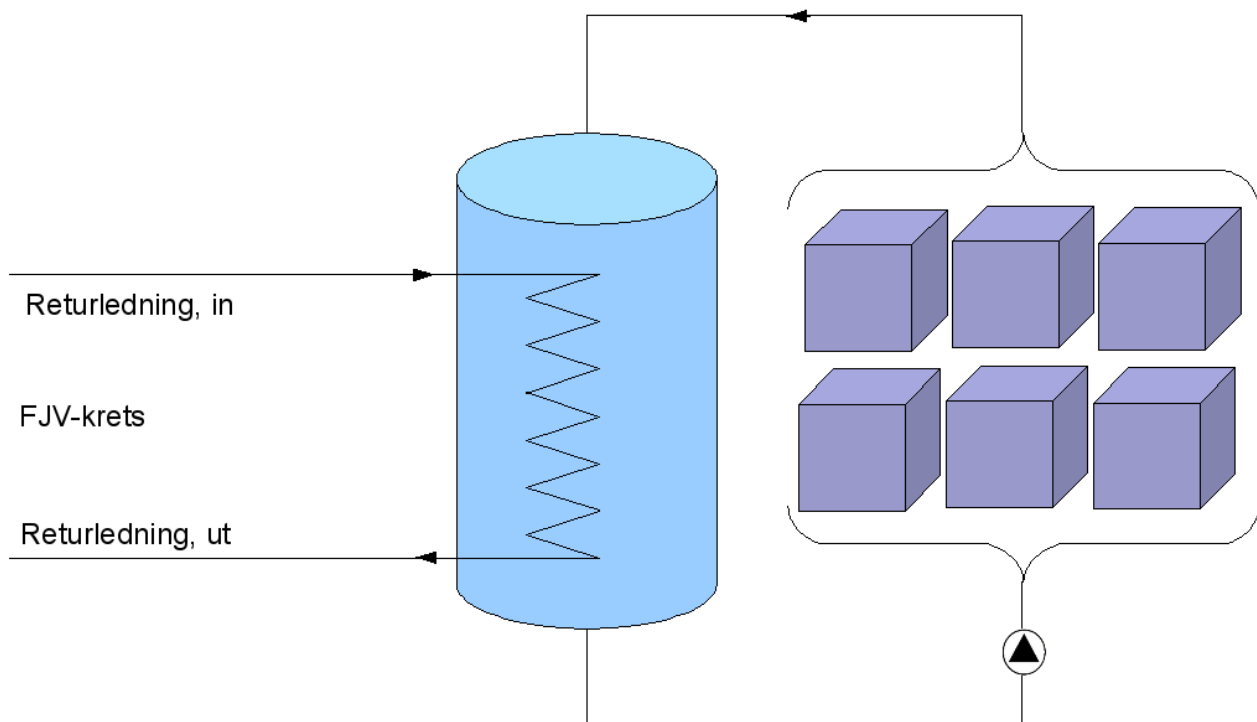
Inkoppling av vattentanken till fjärrvärmenätets returledning är förhållandevis enkelt och investeringskostnaderna blir låga. En möjlig inkoppling syns nedan i *figur 10*. Lunds Energi är naturligt nog dock inte intresserade av detta förslag, då verkningsgraden i deras värmepannor sjunker.

W = Utvunnet arbete

Q = Tillförd värmemängd $\eta = \frac{W}{Q}$

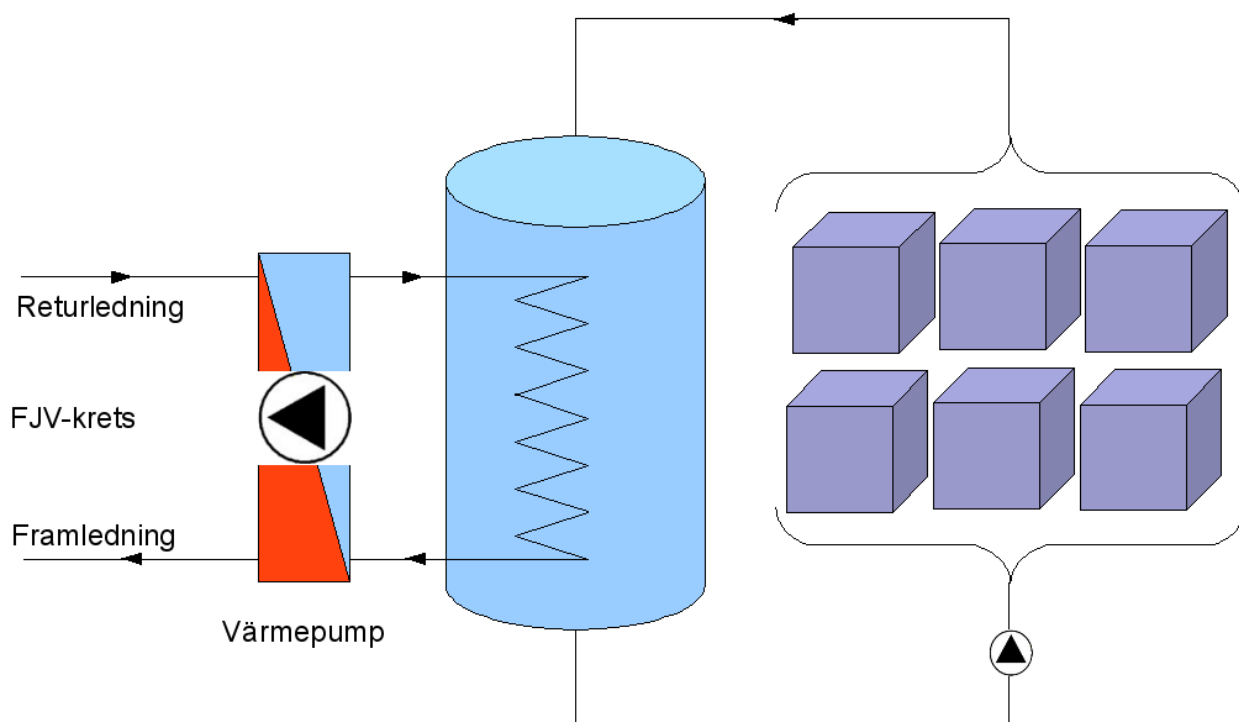
η = Verkningsgrad

Ökar vi den tillförda mängden värmeenergi på fjärrvärmenätets returledning kommer verkningsgraden att minska.



Figur 10: Möjlig inkoppling vid anslutning till fjärrvärmenätets returledning.

4.1.2 Inkoppling till framledningen med värmepump



Figur 11: Möjlig koppling vid anslutning till fjärrvärmenätet.

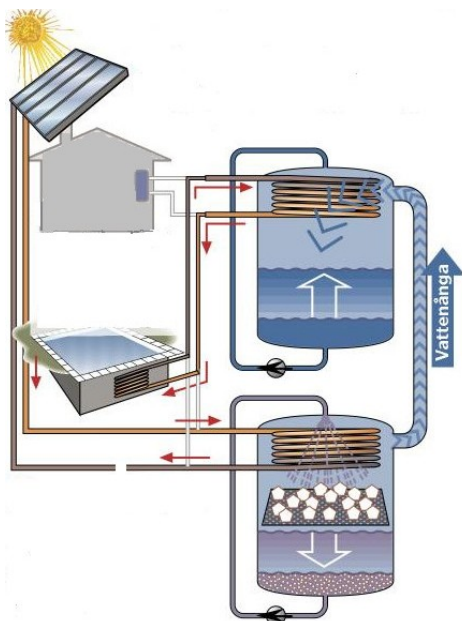
Ett möjligt sätt att koppla in provplatsen på fjärrvärmenätets framledning är som syns i figur 11.

Detta görs med hjälp av en värmepump som lyfter temperaturen på vattnet från cirka 65 grader till cirka 95 grader. Vattnet tas från samma tank som cirkuleras i det slutna systemet med homogenisatorerna. Energi tillförs kontinuerligt tanken när homogenisatorerna körs, och för att bibehålla 60 grader i tanken varieras flödet genom värmepumpen.

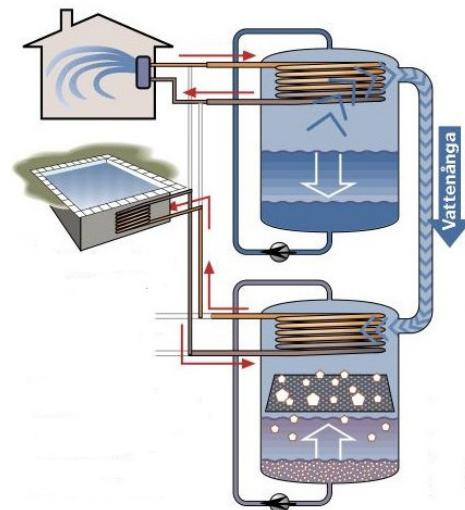
Problemet med denna lösningen är att temperaturen på det ingående vattnet till värmepumpen redan är relativt hög. Detta ställer speciella krav på mekanisk utrustning, samt särskilda köldmedier som kan arbeta med de tryck som erfordras utan att värmepumpen blir överhettad. [30] Fördelen med detta förslaget är att i princip all energi kan tillvaratas, dock till en lägre förtjänst per megawattimme än om man hade använt energin för att ersätta inköpt energi. Lunds Energi betalar cirka 200 kr/MWh levererad energi på framledningen. Om spillenergin istället används för att ersätta inköpt fjärrvärme, blir förtjänsten cirka 640 kr/MWh. I och med detta kommer detta förslag att få lägre prioritet i förhållande till förslag där man använder värmen internt och till egna ändamål.

4.1.3 Inkoppling till framledningen med ClimateWell

Climatewell är ett företag beläget i Hägersten utanför Stockholm. Målgruppen riktar sig främst till hotell, mindre kontor och villor i framförallt södra Europa. Produkten som Climatewell utvecklar baserar sig på att man använder värmen från solfångare för att förse lokaler med värme och kyla.[9] Tekniken intresserar oss och vi har därför valt att se om ett ClimateWell-system skulle kunna vara tänkbart i energieffektiviserings syfte på CHP. Detta trots att man vid en första anblick inser att ett sådant system, som ska vara avsett för att ta hand om så pass stor energimängd som produceras på CHP, skulle medföra alldeles för stora kostnader.



Figur 12: Principskiss på laddning av systemet[9]

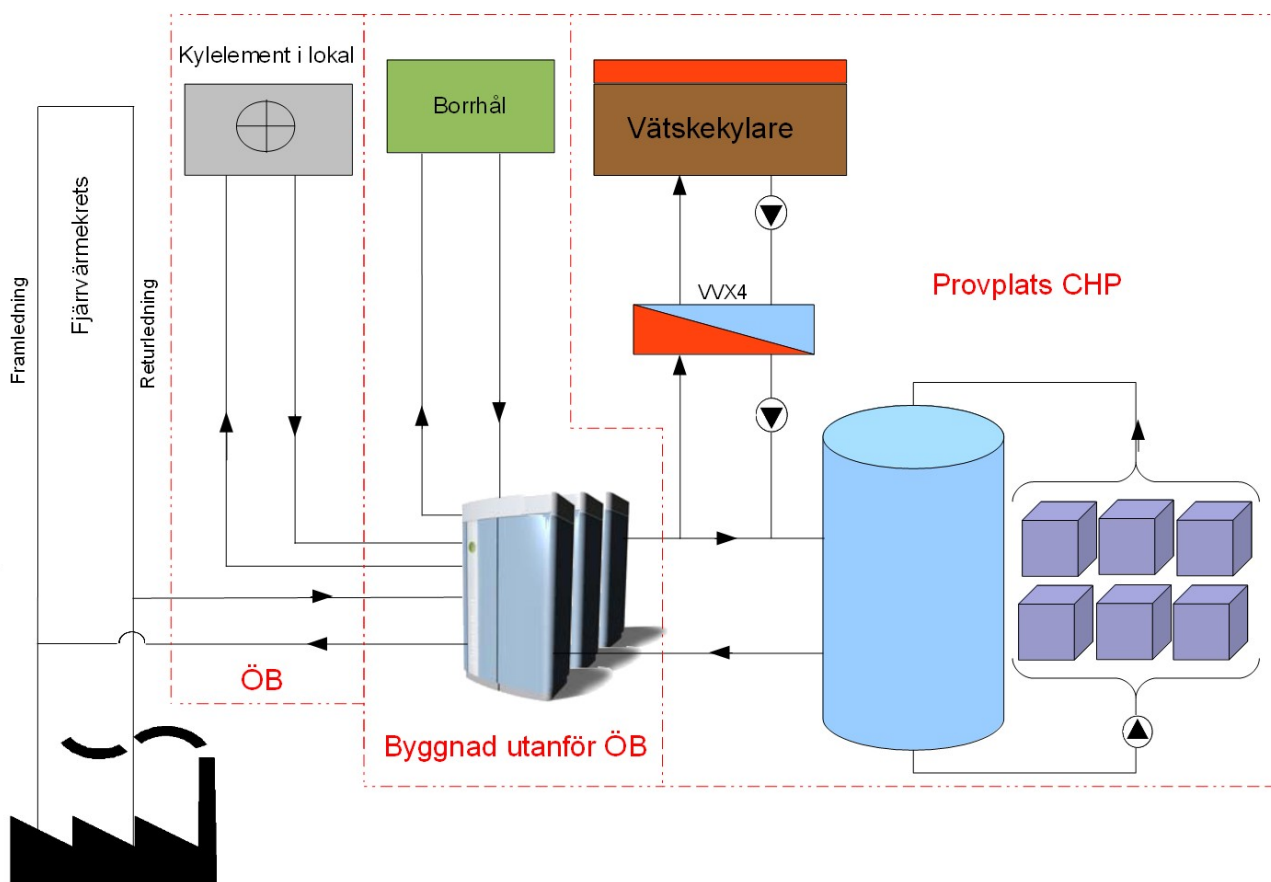


Figur 13: Principskiss vid användandet av den lagrade energin[9]

I figur 12 och figur 13 illustreras hur systemet laddas respektive urladdas med hjälp av solpaneler som värmekälla och en pool som kylsänka. I figur 12 laddas systemet med hjälp av det varma vattnet som kommer från solfångaren och torkar saltet. Vattnet blir till ånga och leds till det övre kärlet där den kondenseras med hjälp av kylsänkan. För att systemet ska fungera optimalt krävs en kylsänka som är cirka 50 °C lägre än värmekällan. Systemet är nu laddat. När man vill använda sig av den lagrade energin ser det ut som i figur 13; värmen från utrymmet som ska kylas ned förångar vattnet som sprayas över kondensorn i det övre kärlet. På grund av skillnaden i ångtryck mellan det övre (vattnet) och undre kärlet (saltet) leds ångan ned till det undre kärlet, där den med hjälp av kylsänkan kondenseras.

ClimateWells idé bygger på att solen enligt ovanstående beskrivning skall stå för den tillförda energin, men så behöver det inte vara. I ett samarbete mellan Climatewell, SSAB och Ecostorage skall man använda sig av spillvärme från stålindustrin för att skapa fjärrvärme till Borlänge. Det varma kylvattnet från tunnplåtverket i Borlänge används redan i dag för att värma upp bostäder i kommunen, men en del av kylvattnet är inte tillräckligt varmt (55 °C) för att skickas ut i fjärrvärmenätet. Temperaturen på detta vatten ska man, med hjälp av utrustning från ClimateWell, höja upp till en användbar temperatur, cirka 100 °C. [11] Projektet påstås vara igång och beräknas vara klart för utvärdering innan årsskiftet [34].

I vårt fall är det möjligt att använda oss av Climatewells teknik för att dels kyla temperaturen i kylvattentankarna på provplats CHP och samtidigt höja temperaturen på Lunds Energis fjärrvärmereturvatten, för leverans på framledningen. Det går även att producera kyla istället för värme, dock med en lägre verkningsgrad, för att kyla närliggande lokaler på sommaren.



Figur 14: Illustration över möjlig inkoppling av ClimateWell på Lunds Energis fjärrvärmenät.

Effekten på en CW20-modul beror dels av temperaturen på det ingående vattnet från processen och dels på kylsänkans temperatur. Enligt modell för just detta fallet som har blivit utförd av ClimateWell, så kommer en CW20-modul att kunna transportera bort 27 kW värme, från kyltanken på CHP, per modul. Detta gäller ifall man väljer att endast producera värme. Med den uppskattade värmeeffekten som ska kylas bort från CHP på 370 kW (se kap. 3.4) behövs 14 st CW20-moduler. I SSAB:s fall finns Dalälven som en naturlig kylsänka, vilket är en klar fördel om man arbetar med ett system i denna storleken. Det går dock att ordna med hjälp av borrhål som kan förse systemet med tillräckligt kallt vatten. Enligt ClimateWells skräddarsydda modell som har tagit hänsyn till bergart och normala vattentemperaturer i området, behövs två borrhål á 150 meter per CW20-modul. Totalt för detta systemet blir det 28 borrhål.

Ifall man istället väljer att producera kyla med ClimateWell, kan endast 13 kW värme transporteras bort från kyltanken. Utefter den dimensionerande effekten i kap 3.4, skulle det behövas 29 CW20-moduler och 58 borrhål. Man har emellertid endast behov av kyla under uppskattningsvis 3 månader per år, så en dimensionering bör inte ske efter produktion av kyla.

Då systemet är dimensionerat efter en uträknad medeleffekt, så kommer det tidpunkter då den levererade effekten från CHP är högre än vad som kan tas omhand. För dessa tillfällena behövs ett

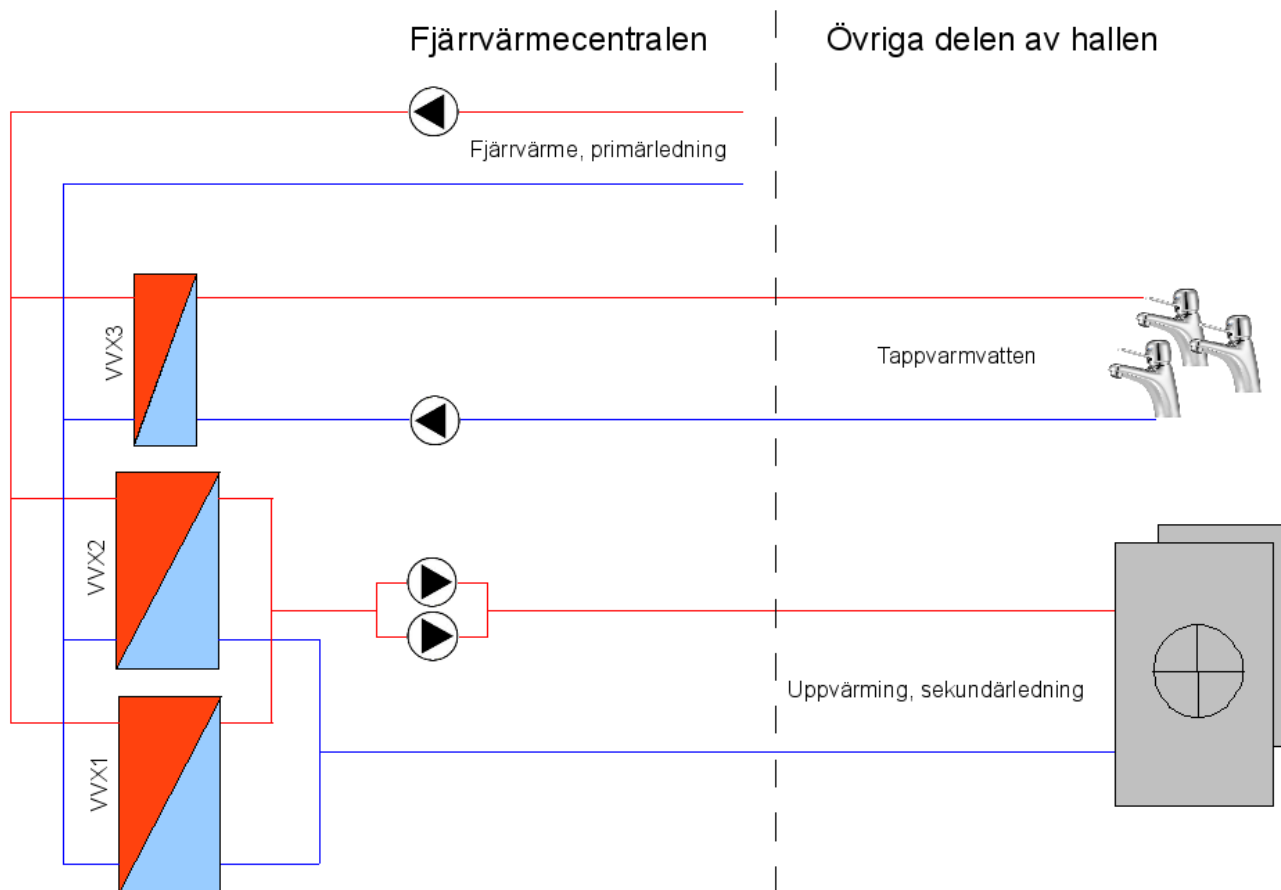
reservkylsystem för att kunna bibehålla temperaturen i homogenisatorernas kyltank. Som reservkylsystem behålls befintlig vätskekylare, samt 'feed and bleed'-möjlighet. Fördelen med detta system är att det är flexibelt; på vintern levereras värmen till fjärrvärmenätet, medan man på sommaren istället kan välja att producera kyla till närliggande lokaler. Väljer man att plocka ut kyla, får man under de aktuella sommarmånaderna högre belastning på reservkylsystemen. En annan fördel är att utgiften för färskvatten minimeras eller försvinner helt.

Nackdelarna med detta systemet är först och främst den förhållandevis höga investeringskostnaden, mer om detta i kap 6.1. Ytan som modulerna kommer att ta upp, gör en installation inne på provplats CHP omöjlig, så en tillbyggnad kommer behövas. Systemet är dessutom oprövat i stor skala, vilket talar emot en investering då det inte finns några säkra belegg för att det verkligen kommer att fungera som tänkt. Nackdelarna med detta system gör att ett genomförande i nuläget bedöms orimligt. Tekniken skulle lämpat sig bättre för kylning av homogenisatorernas växellådor då kylningsbehovet där är lägre.

4.2 Egen användning av värmeenergin

Ett alternativ att ta tillvara på den energi som i form av värme går förlorad i processerna på CHP:s provplats är att värma upp byggnader inom anläggningen på Öresundsvägen. Uppvärmningen i ÖB sker idag med hjälp av fjärrvärme som kommer in i det sydöstra hörnet av byggnaden och distribueras i lokalen med hjälp av 14 stycken konvektorer placerade i taket, se *appendix 3*. Dessa konvektorer är flödesstyrda vilket innebär att flödet varieras med hjälp av tvåvägsventiler som regleras utifrån temperaturgivare och inställda börvärden i lokalerna. Det finns även ett antal roterande frånluftvärmeväxlare som tar till vara på värmeenergin i luften som ventileras ut.

Det finns tre stycken ledningar som är av intresse för uppvärmning av ÖB. Fjärrvärmenätets ledning (primärledning), interna värmeledningen i ÖB (sekundärledning) och tappvarmvattenledningen. Dessa värmeledningar är indelade i fram-, respektive returledning, där framledningen håller en högre temperatur och avger värmeenergi. Efter värmeenergin har avgetts, leds det kallare vattnet tillbaka i returledningen.



Figur 15: Principskiss över fjärrvärmecentralen i hall ÖB. Röd ledning symboliserar framledning och blå ledning symboliserar returledning.

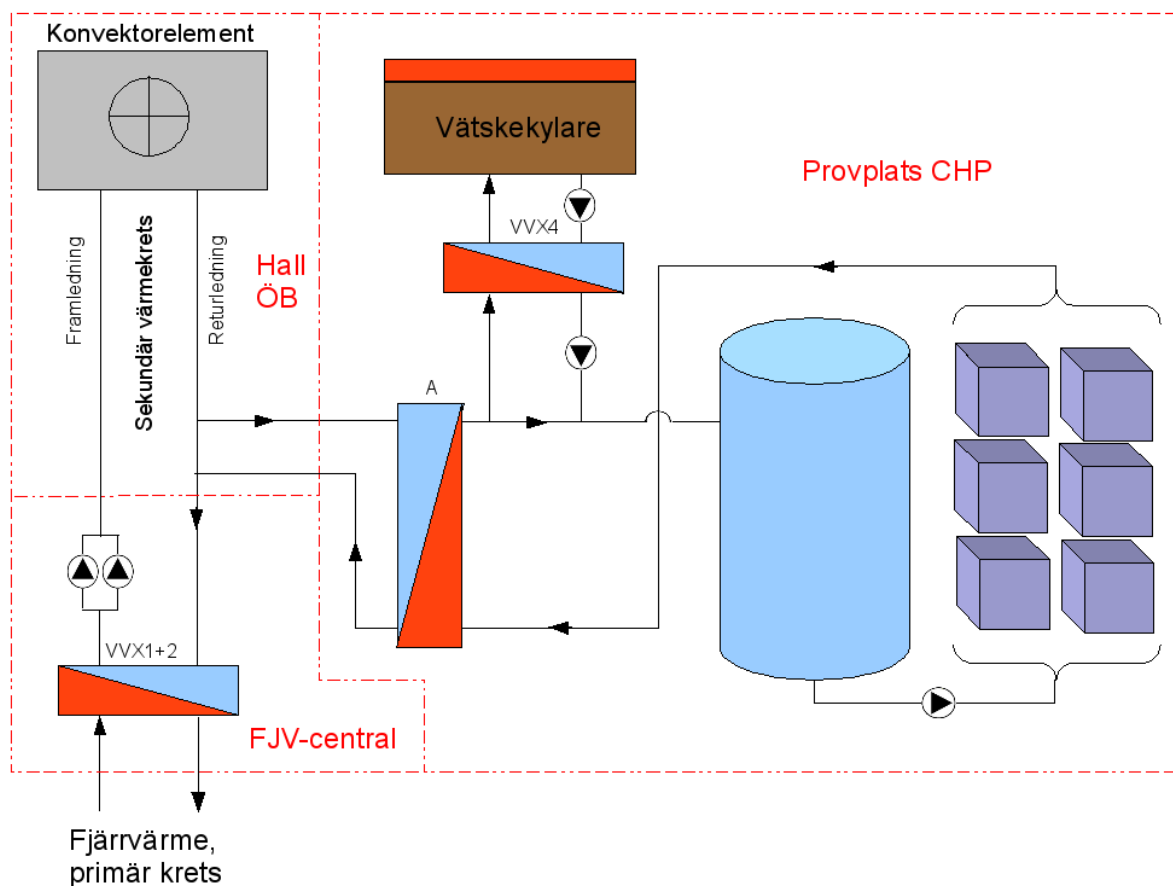
Fjärrvärmens primära framledningsflöde delas upp till tre olika värmeväxlare, se figur 15. Den lilla (V VX3) levererar tappvarmvatten, medan de två större (V VX1, V VX2) parallellkopplade värmeväxlarna står för byggnadens uppvärmning. I fortsatta figurer kommer V VX1 och V VX2 förenklas till en värmeväxlare.

Det finns två varvtalsreglerade pumpar som styr sekundärledningens flöde. Dessa båda pumpar kan styras från en dator placerad hos driftoperatören. Den enda parametern som kan varieras här är tryckets börvärde på sekundärkretsens framledning. För att få tag i driftdata påbörjades loggning av pumparnas frekvens, fram- och returledningens temperaturer samt temperaturen utomhus.

4.2.1 Alternativ 1

Tanken är att spillvärmens från CHP skall kopplas in på sekundärsidans returledning (se figur 16), med hjälp av en plattvärmväxlare (A) för att där öka temperaturen på det cirkulerande vattnet innan det når fram till värmeväxlaren vid primärkretsen (V VX 1+2) för att återigen höja sin temperatur. Då avsättningen för energin som alstras vid provkörningen på CHP beror på den momentana fjärrvärmeanvändningen i hall ÖB, kommer man vid vissa tider inte kunna göra sig av med all spillvärme. Tanken som förser homogenisatorerna behöver dock fortfarande hållas vid en temperatur på cirka 60 °C. Ifall vattnet som kommer tillbaka från (A) håller en temperatur över 60 °C så leds vattnet upp till vätskekylaren på taket via V VX4. Vätskekylaren och V VX4 är redan befintlig utrustning. Vid extremfall då processvattnet från CHP inte kan kylas varken genom att värma sekundärledningen, eller med vätskekylaren, ska det fortfarande vara möjligt att använda sig

av 'feed-and-bleed'.



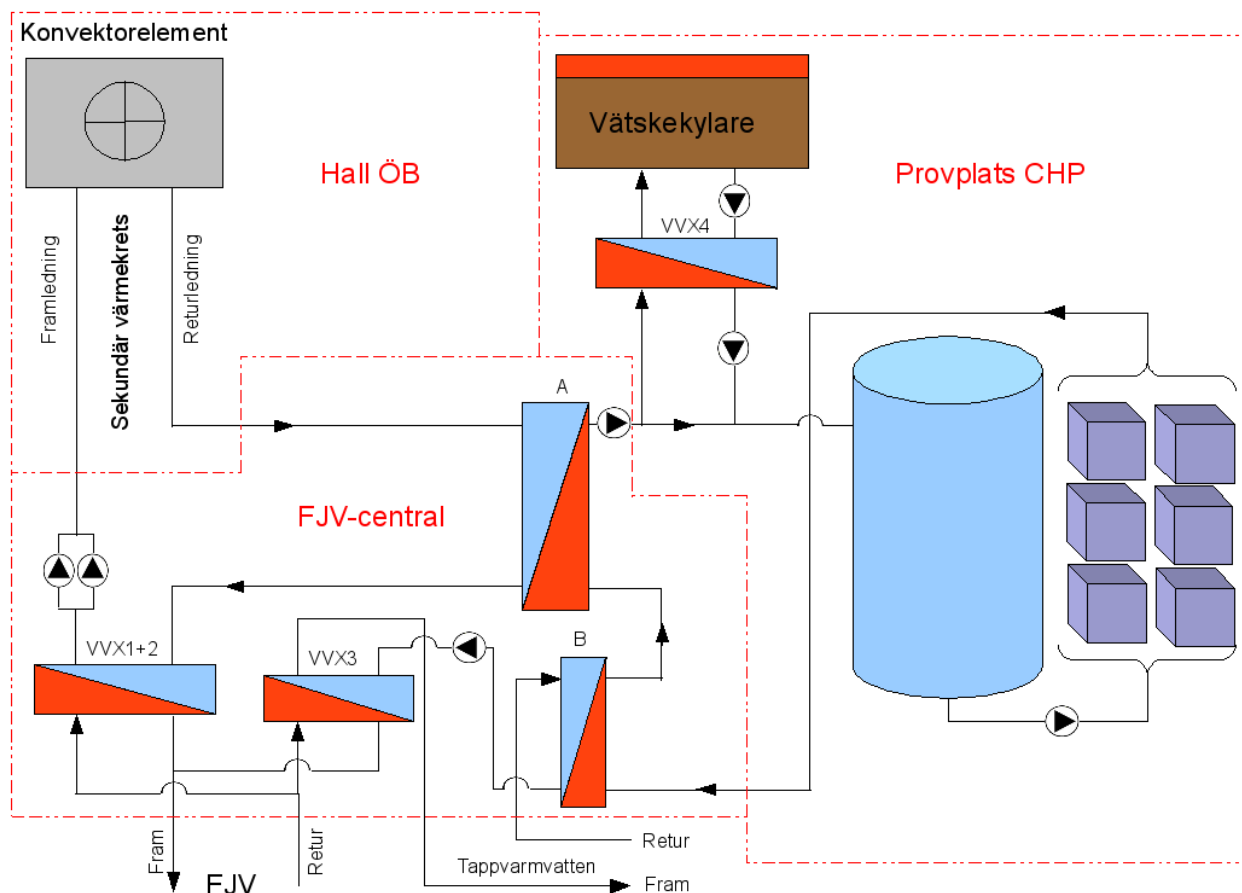
Figur 16: Första alternativets möjliga inkoppling på den sekundära värmekretsens returledning.

Eftersom man kopplar in sig på ett redan befintligt system kommer utgifter för process och kringutrustning att minimeras vilket gör det till en kostnadseffektiv lösning. Temperatur och flöde på sekundärledningens retursida bestämmer hur mycket fjärrvärme som skall användas. Ökar returtemperaturen kommer fjärrvärmeanvändningen att minska.

Fördelarna med lösningen är att den är kostnadseffektiv och att ingreppen i ÖB, vilka främst innefattar montering av rör, hålls på ett minimum. Nackdelarna är att installationen kommer att ta upp ytterligare plats i det redan begränsade utrymmet på provplatsen. Energin i detta alternativ kan endast användas för uppvärmning av byggnaden, alltså ej för tappvarmvatten, då den kopplas på sekundärledningen innan fjärrvärmecentralen. I och med detta, kan man inte på ett enkelt sätt i framtiden få en högre avsättning för energin från CHP om man exempelvis börjar använda betydligt mer tappvarmvatten.

4.2.2 Alternativ 2

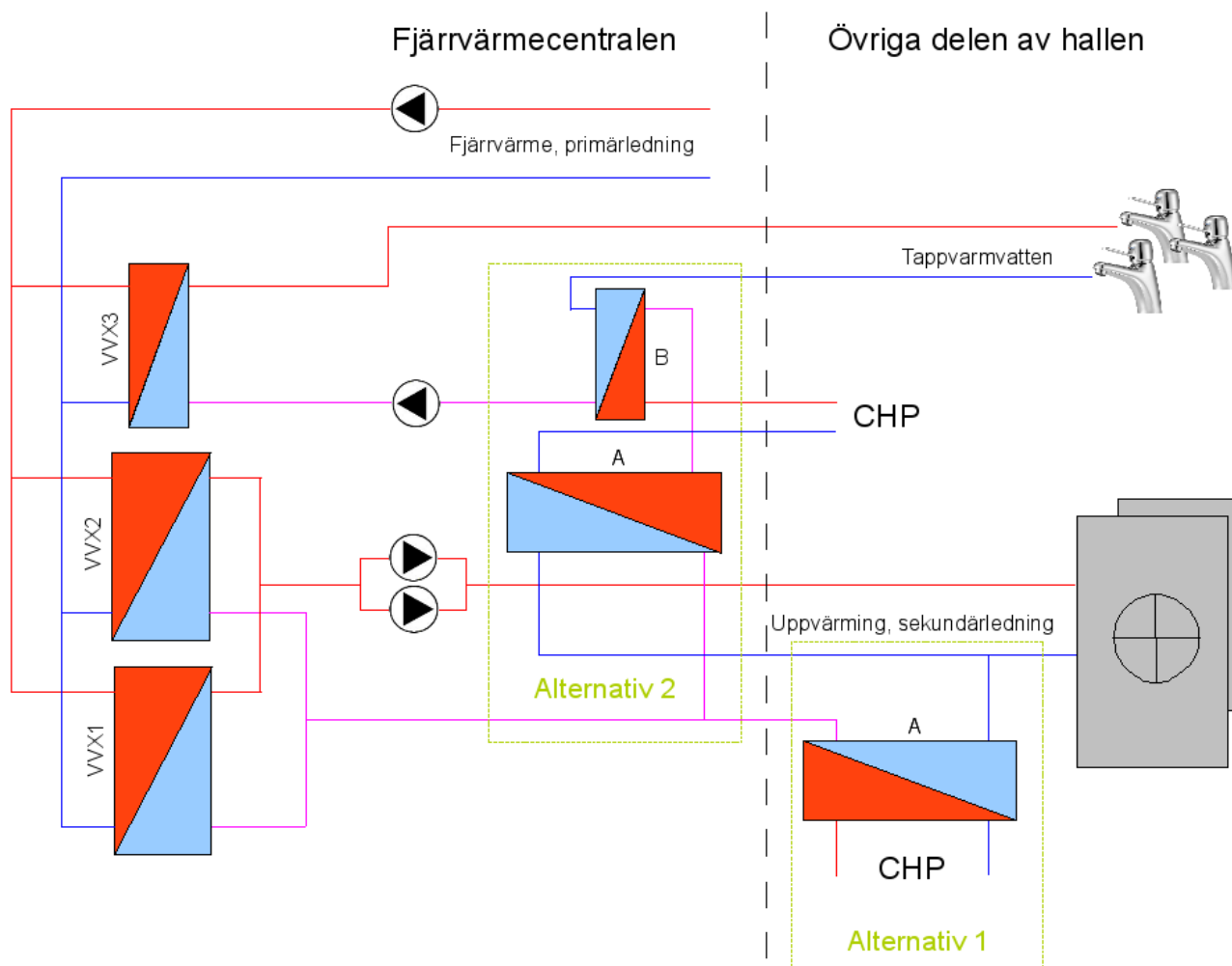
För att kunna få ut så mycket som möjligt av den värmeenergi som CHP:s provplats levererar är tanken att koppla in sig i fjärrvärmecentralen se *figur 17* istället för att koppla in sig på sekundärsidans returledning som i alternativ 1. Detta är för att man ska kunna få större avsättning för den producerade värmeenergin från CHP:s provplats, genom att man även kan använda den till uppvärmning av tappvarmvatten.



Figur 17: Andra alternativets möjliga inkoppling till tappvarmvattnet och den sekundära värmekretsens returledning.

Denna lösning är något mer omfattande då den innebär två extra värmeväxlare (A, B) och styrutrustning därtill. Framför allt tillkommer en lång sträcka extra rördragning, då man måste dra rören hela sträckan från provplats CHP in till fjärrvärmecentralen, istället för att, som i alternativ 1, koppla in sig direkt på förbigående returledning. Fördelen med detta alternativ är att även tappvarmvattnet kopplas in på systemet, vilket hjälper till att hålla temperaturen i CHP:s tank på rätt värde då uppvärmningsbehovet i ÖB är litet. En annan fördel är att systemet blir mer flexibelt vid eventuella framtida installationer. Nackdelen förutom kraftigt ökade kostnader i och med den extra rördragningen, är att det tar något längre tid för provplatsens vattentank att uppnå önskad temperatur, på grund av ökad volym i systemet.

4.2.3 Summering av alternativ 1 och 2



Figur 18: Översiktsskiss för de båda alternativens inkopplingar av spillvärmefrån CHP till värmesystemet.

I figur 18 åskådliggörs de båda alternativens tillkopplingar av provplats CHP till värmesystemet. De blå strecken symboliserar returledning medan de röda betyder framledning. De lila ledningarna symboliserar antingen varmt framledningsvatten som delvis har kylts, eller kallt returledningsvatten som delvis har värmts upp.

De viktigaste skillnaderna är att CHP i alternativ 1 kopplas direkt på uppvärmningssystemets returledning och inga installationer krävs inne i fjärrvärmecentralen utan istället endast på provplatsen, medan all installation av alternativ 2 sker inne i fjärrvärmecentralen. En annan viktig skillnad är att man även kan värma tappvarmvatten med alternativ 2, till skillnad från alternativ 1.

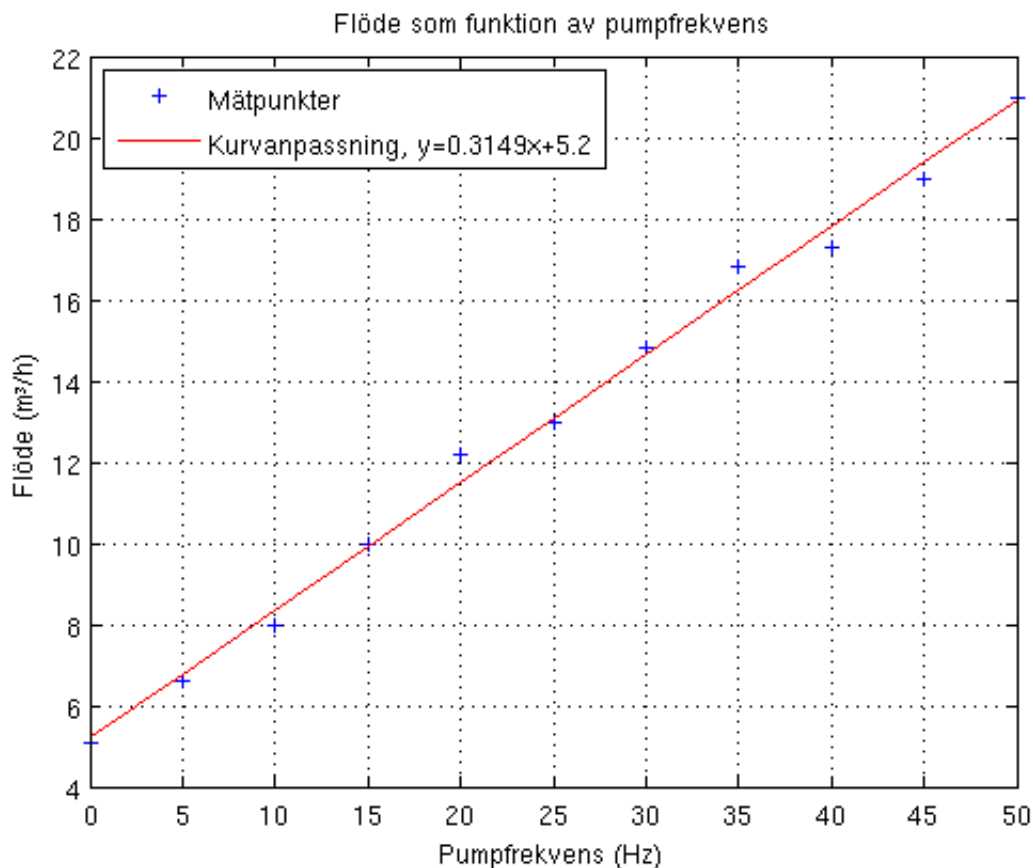
5 Beräkningar för egen användning av värmeenergin

5.1 Flödesmätning av sekundärkretsen

De två pumparna i fjärrvärmecentralen är placerade parallellt vilket gör det svårt att utläsa det totala flödet bara med hjälp av vilken frekvens pumparna körs på utan tillgång till rörledningssystemets systemkurva. Rörledningens systemkurva bestäms av en mängd olika parametrar, såsom hur rördragningen ser ut, rörens kondition, antalet böjar, ventiler och så vidare.

För att lösa detta genomförde vi en serie mätningar på pumparnas inkommande vattenledning. Vi varierade frekvensen på pumparna för att sedan läsa av flödet. Detta gav oss en relation mellan frekvensen och det faktiska flödet i den sekundära ledningen, vilket illustreras i *figur 19*. De båda pumparna körs på samma frekvens.

Mätningen gjordes med hjälp av en ultraljudsmätare som monterades på den inkommande vattenledningen. Positionen av ultraljudsmätarens mätklampor på röret är avgörande för vilken noggrannhet mätningarna får. Det krävs en raksträcka, där vätskan i röret kan flöda utan påverkan av exempelvis böjar, ventiler eller diverse mätutrustning. I vårt fall visade det sig vara svårt att hitta en sådan raksträcka, då det inne i ÖB:s fjärrvärmecentral är ganska trångt. Ifall en raksträcka hittades, fanns det temperaturgivare eller ventiler monterade där och detta är en av felkällorna för mätningen. En annan felkälla, vars omfattning är okänd, är att flödet i den sekundära värmeslingan inte enbart varierar med pumparnas varvtal, utan även genom att tvåvägsventilerna vid varje konvektor stängs och öppnas med värmebehovet. Mätningen är ändå nödvändig, då ett flöde behövs för dimensionering av komponenter i systemet, framför allt värmeväxlarna.



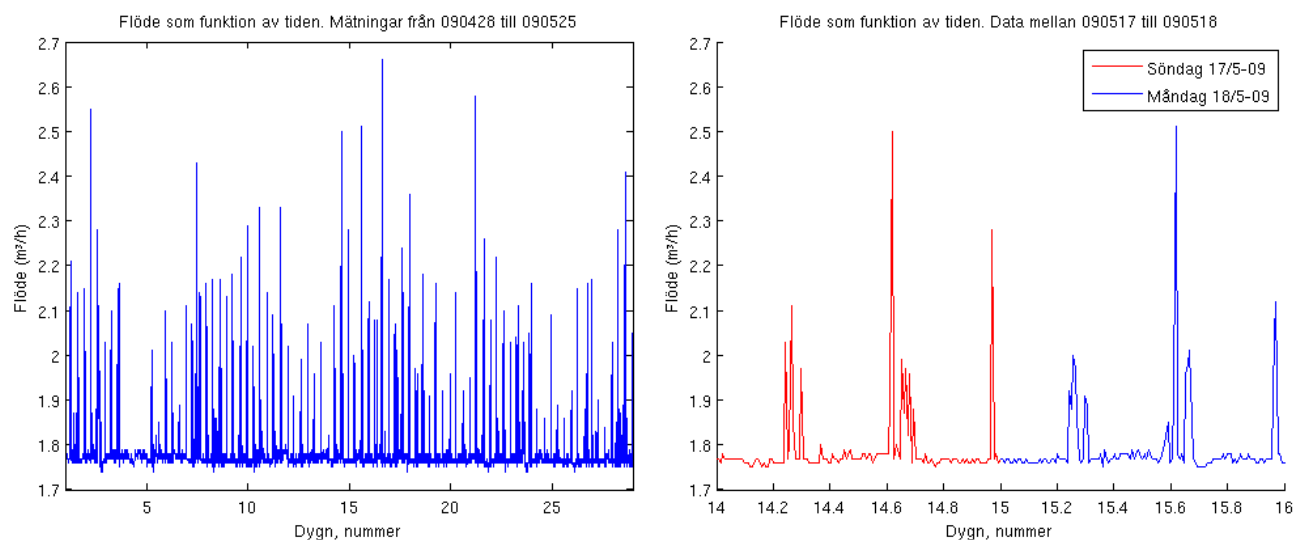
Figur 19: Flöde som funktion av pumpfrekvens.

Utifrån den röda linjäranpassningen till mätpunkterna som utfördes i Matlab, fås en ekvation som ger möjligheten att utifrån lagrade frekvensdata på de båda pumparna bestämma det totala flödet i den sekundära ledningen. Linjäranpassningen börjar inte i origo, då det finns självcirkulation i systemet på 5,2 m³/h.

För att få fram ett medelvärde på sekundärslingans flöde för dimensionering av värmeväxlare, sattes dataloggning igång för pumparnas frekvens. Med hjälp av ekvationen i *figur 19* översätts frekvenserna till flöden. Under första hälften av april månad var medelflödet enligt de uppmätta värdena 16,2 m³/h.

5.2 Flödesmätning av tappvarmvattenkretsen

För att ta reda på hur stor del av fjärrvärmeanvändningen som används till att värma upp tappvarmvatten, monterades ultraljudsmätaren upp på tappvarmvattenledningen och värden för knappt en månad loggades. Under samma tidsperiod, men med värden från endast fem dagar extraherades data på tappvarmvattnets fram- och returledning från det nya kontrollskåpet i fjärrvärmecentralen. Anledningen till att det bara blev fem dagar uppsamlade data, är en kombination av att minneskapaciteten i kontrollskåpet är liten, och att data loggades med för täta intervaller, var tionde sekund. Med dessa data uppskattas den månadsvisa tappvarmvattenanvändningen till cirka 6 MWh/månad. Vid peakar i temperaturdifferensen, syns en likadan flödes-peak i vattenslingan. Därför kan vi använda flödet till att kartlägga hur tappvarmvattenanvändningen varierar under månaden och under dygnet. I *figur 20* nedan syns, att under mätperioden är varmvattenuttaget ganska jämnt fördelat under den knappa månaden. Ett undantag är dygn 3, där den låga tappvarmvattenanvändningen kan förklaras med att det då var 1 Maj. I den högra figuren i *figur 20* åskådliggörs att det inte är någon betydande skillnad i tappvarmvattenförbrukning mellan helgdagar och vardagar, ej heller över dygnet. Detta gör att vi i våra modeller nedan antar att de 6 MWh tappvarmvatten antas vara jämnt fördelade under månaden, i likhet med uppvärmningsbehovet.



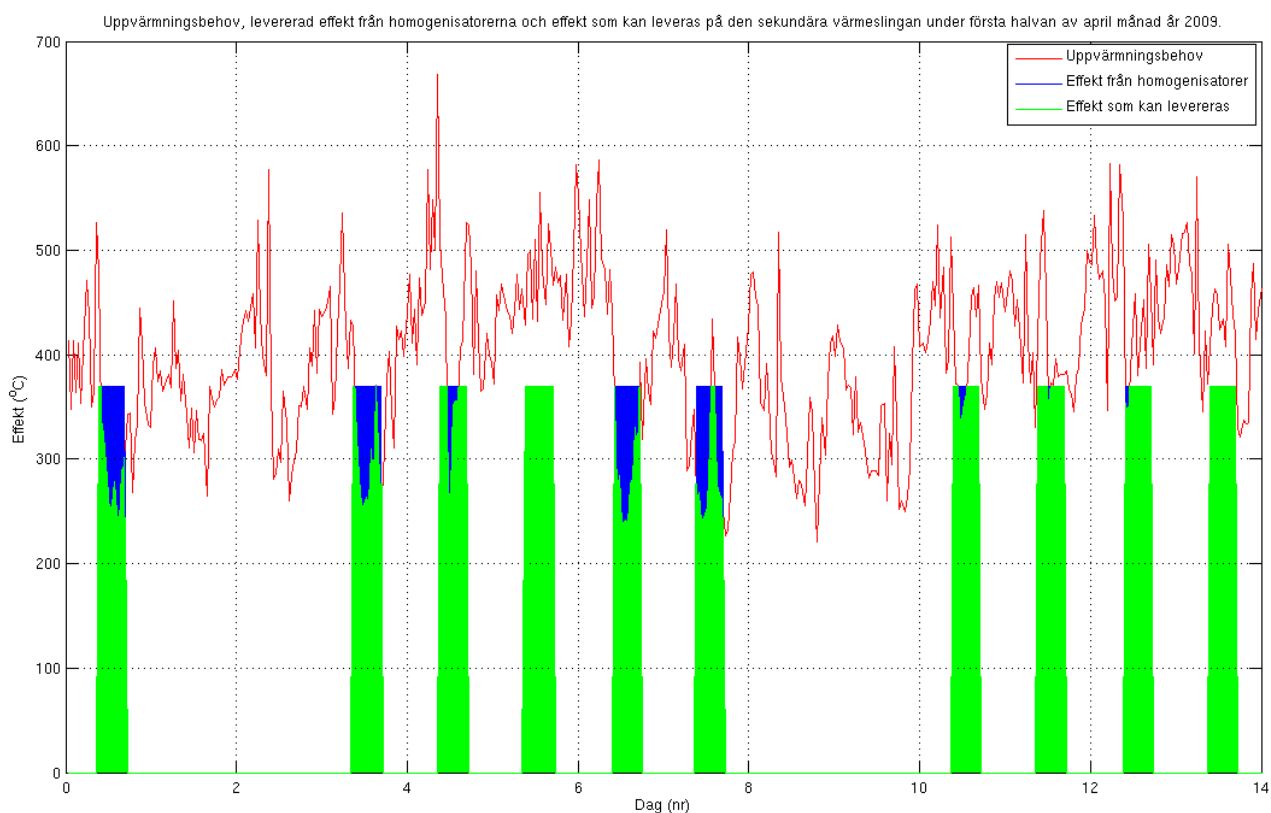
Figur 20: Tappvarmvattenflöde plottat som funktion av tiden. Diagrammet till höger är en variant av det till vänster, med högre upplösning under en helgdag och en vardag.

Tappvarmvattenbehovet är i dessa sammanhang inte så stort i förhållande till uppvärmningsbehovet. I *appendix 7* ser man att 2008 års fjärrvärmeanvändning var 800 MWh

mindre än vad den var 2007. Anledningen till denna relativt stora minskning antas främst vara att Alfa Laval, som också bedriver verksamhet i ÖB, har flyttat sin rengöring av plattor till plattvärmväxlare, från Öresundsvägen. Detta var en process som krävde stora mängder tappvarmvatten. Omklädningsrummen på Öresundsvägen är placerade i källaren under byggnad ÖC se *appendix 1* vilket innebär att tappvarmvattnet till omklädningsrummen hämtas från inkommande fjärrvärmeledning i ÖC, se *appendix 2* (inkoppling separatorn), och därför inte påverkar tappvarmvattenförbrukningen i ÖB.

5.3 Modellering av täckningsgrad med Matlab R2008a

Med hjälp av loggade värden på pumpfrekvenserna, kunde de olika flödena räknas ut med hjälp av relationen $Q = 0,3149 \cdot f + 5,2$, se *figur 19* i föregående kapitel. Detta flöde användes tillsammans med temperaturdifferenserna under de första två veckorna av april månad och på så vis kunde effektbehovet räknas ut för varje tidsintervall som mätdata var tillgängliga.



Figur 21: Figuren illustrerar uppvärmningsbehov, levererbar effekt, samt kylbehov. Detta effektbehov från fjärrvärmeanvändningen plottades för en period av 14 dagar (röd kurva, se *Figur 21*). Anledningen till att mätperioden endast blev 14 dagar är att under arbetets gång har förutsättningarna ändrats för hur styrningen av bland annat flödet i sekundärledningen görs. När vi började vårt examensarbete styrdes flödet av ett inställt börvärde på sekundärkretsens framledningstryck. Utifrån detta sättet att styra flödet har vi gjort mätningar som vi baserat våra beräkningar på.

I slutet av april infördes ett system där pumparnas frekvens istället styrs genom ett börvärde på tryckskillnad mellan fram- och returledning. Detta differentialtryck ska vara konstant, 0,5 bar. När detta nya system infördes, avbröts våra loggningar av värden då styrsystemet också programmerades om. På grund av detta är vår datainsamlingsperiod inte så lång som vi hade önskat. Vi insåg också att det vore meningslöst att fortsätta dataloggning eftersom värdet vid denna tidpunkt

slog om till väldigt varmt, vilket resulterade i att värmebehovet i lokalen var minimalt och därmed även flödet i sekundärslingan. I och med omläggningen installerades dock utrustning som gör det lättare för framtida mätningar av energianvändning.

För att illustrera och beräkna hur stor del av den värmeenergi som produceras under provkörningstillfällena på CHP kompletteras grafen med gröna staplar för den levererbara värmeenergin. Bredden på staplarna är cirka 8 timmar per styck, och höjden på samtliga är den beräknade medeleffekten, enligt *kap 3.4*, på 370 kW. Området som är fyllt med grönt symboliserar den energi som är möjlig att leverera, då homogenisator-effekten är lägre än den röda uppvärmningsbehovskurvan. De blåmarkerade områdena däremot, symboliserar energi som vi inte har någon avsättning för då värmebehovet i ÖB är mindre vid dessa tillfällen än vad som produceras. Man behöver alltså använda sig av vätskekylaren för att bibehålla rätt temperatur i tanken. Matlabkoden redovisas i *Appendix 5* och outputen när programmet körs blir:

```
> energi_levererad = 54.0260
> chp_kapacitet = 59.7590
> tackngrad = 0.9041
> kortid = 8.0755
```

Variabeln 'energi_levererad' motsvarar det dubbla värdet av arean på det gröna området, för att få ett månadsvärde på möjlig levererad energi. Variabeln 'chp_kapacitet' är staplarnas totala area av både de gröna och blå områdena. Den är till för att kontrollera uträkningarna eftersom den totala årliga producerade energin från homogenisatorprovkörningarna inte får överstiga 718 MWh/år (59,83 MWh/mån, se *kap 3.3*). Variabeln 'tackngrad' redovisar täckningsgraden, det vill säga hur stor andel den gröna färgen på staplarna är. Variabeln 'kortid' är också för kontroll av inmatade värden. Då det går att ändra i programmet för olika körtider och medeleffekter är kontrollvariablerna nödvändiga för att veta att Matlab har räknat med rätt värden.

Poängteras bör att vid dessa beräkningar är provtiden endast 8 timmar/dygn vilket inte stämmer helt överens med verkligheten då framför allt testsida 1 ofta körs vid avsevärt längre tidsperioder. Detta medför att i praktiken kommer provplatsen att kunna leverera värmeenergi under fler timmar utslaget över dygnet vilket skulle ge en bättre täckningsgrad totalt sett. Detta kan man få en uppfattning om med *figur 21* om man tänker sig att "homogenisatorstaplarna" då blir lägre men bredare, och därför lättare ryms under den röda uppvärmningsbehovskurvan.

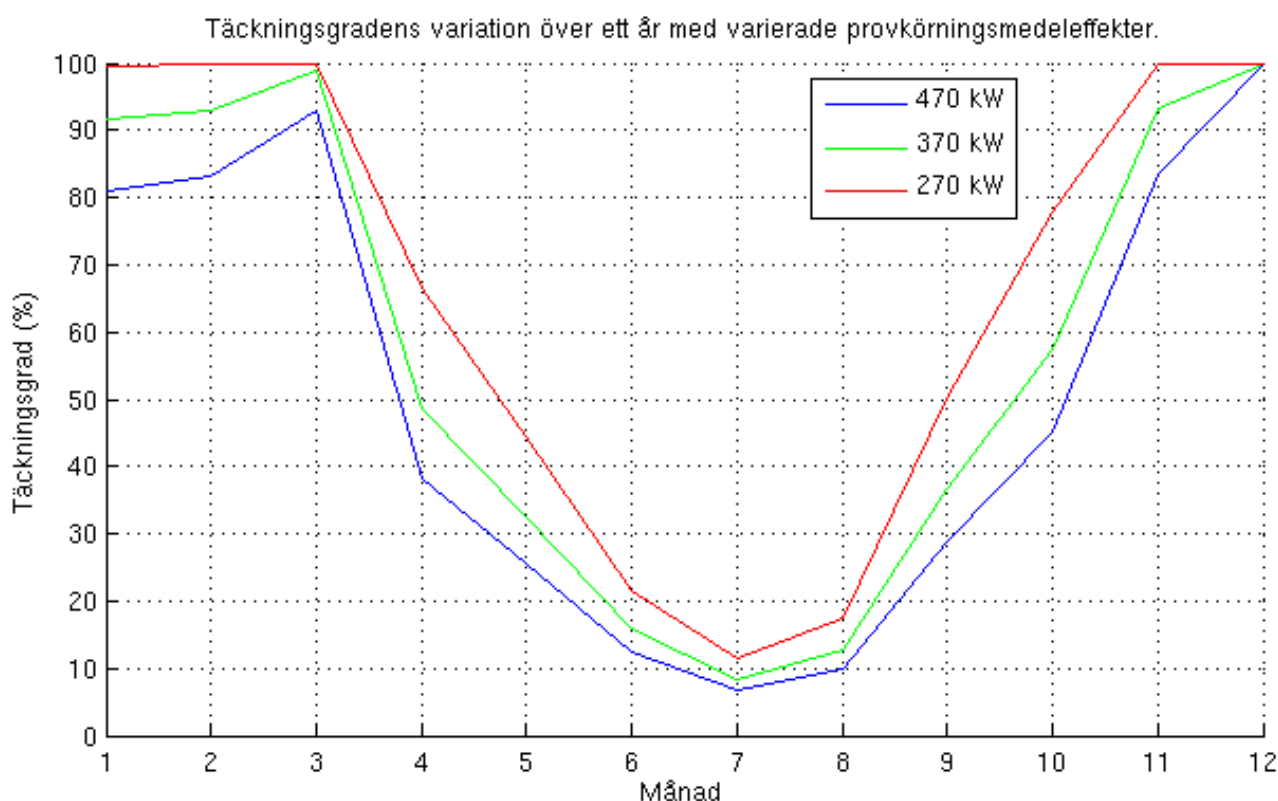
En modifikation av Matlabprogrammet som har använts för ovanstående uträkningar har gjorts, där programkoden loopades 12 gånger, en för varje månad, och där uppvärmningseffektskurvan varierar proportionellt mot de månadsvisa data från Lunds Energi på fjärrvärmeanvändningen förra året. För varje loop har den röda kurvan i *figur 21* flyttats ned eller upp för att justera så att medeleffekten motsvarar data på fjärrvärmeanvändningen. Detta görs genom att multiplicera varje mätvärde på uppvärmningseffekten (mätdata från flödes- och temperaturdifferensmätningarna) med kvoten mellan data på uppvärmningsbehovets medeleffekt (erhållna från Lunds Energi) och medelvärdet på uppvärmningseffekten. På så sätt ändras medeleffekten för varje månad, men dygnsvariationerna är desamma. På så sätt kan den totala levererade energin på ett år från CHP räknas fram. Den lades i en variabel som kallades 'totenergi'. Eftersom vi i denna modellen använder siffror från den månadsvisa fjärrvärmeanvändningen från Lunds Energi, så är även tappvarmvattenbehovet medräknat, det vill säga som i *Alternativ 2*. Output från Matlab blir:

```
> totenergi = 411.5198
```

Med en liten ändring, där en tappvarmvattenförbrukning på 6 Mwh/mån dras av från de månadsvisa värdena från fjärrvärmevärdena från Lunds Energi, fås ett svar enligt *alternativ 1*. Output från matlab blir då:

```
> totenergi = 401.4376
```

En ytterligare modifikation gjordes, då istället täckningsgraden lagras efter varje loop. På så sätt fås en figur där täckningsgraden varierar över året. Detta gjordes för tre olika medeleffekter på homogenisatorer och alla plottades i samma figur, se *figur 22*.



Figur 22: Täckningsgradens variation över året med varierande medeleffekt på CHP:s provplats.

Noteras bör; att om homogenisatorerna körs på en medeleffekt över 370 kW under hela året, kommer den totala levererade energin överskrida våra uträknade 718 MWh/år och vice versa. Figuren är endast till för att illustrera vilka månader det gör minst skillnad i täckningsgraden, ifall man avviker från vår beräknade medeleffekt. Dessa månader förra året var mars och december som var så pass kalla och/eller blåsiga att man skulle haft stor potential för avsättning av värmen oavsett homogenisatoreffekt. Även under juli månad är det inte så stor skillnad. Då är behovet av värme är så litet att en sänkning i homogenisatoreffekt inte skulle resulterat i någon nämnvärt högre täckningsgrad.

5.4 Modellering av täckningsgrad med elektroniskt kalkylark

Ett annat sätt att komma fram till en täckningsgrad, är att använda ett kalkylark, i detta fallet OpenOffice.org Calc. Likt Matlabmodelleringen i föregående kapitel, har historiska data baserade på 2008 års fjärrvärmeanvändning från Lunds Energi (se *appendix 7*) använts. Den största skillnaden är att vi, med denna förenklade uträkningen, inte har tagit hänsyn till

uppvärmningseffektens dygnsvariation. *Tabell 1* representerar inkoppling enligt alternativ 1, se *fig 16*. *Tabell 2* representerar inkoppling enligt alternativ 2, se *fig 17*. En utförligare förklaring på hur kalkylarket är programmerat finns i *appendix 6*.

Månad	Uppvärmning ÖB (MWh)	Uppv.effekt- behov (kW)	Täcknings- grad	Möjl. lev energi (MWh)	Feed&bleed (m ³)
Januari	293,6	402,2	1	59,8	0
Februari	305,8	419,0	1	59,8	0
Mars	388,3	531,9	1	59,8	0
April	132,3	181,2	0,49	29,3	0
Maj	86,6	118,6	0,32	19,2	0
Juni	38,9	53,3	0,14	8,6	66
Juli	18,0	24,6	0,07	4,0	181
Augusti	30,3	41,6	0,11	6,7	113
September	98,5	134,9	0,36	21,8	0
Oktober	157,4	215,6	0,58	34,9	0
November	307,2	420,8	1	59,8	0
December	676,9	927,3	1	59,8	0
			Summa:	423,6	

Variabler

Avdrag, tappvarmvatten:	6	MWh/mån
Medeleffekt CHP:	370	kW
Effekt vätskekylare:	300	kW
Provkörningstid/dag:	8,1	timmar
Provkörningsdagar/mån:	20	dagar

Tabell 1: Kalkylark över möjlig levererad effekt, baserat på 2008 års månadsvisa fjärrvärmeanvändning i ÖB exkl. uppvärmning av tappvarmvattnet.

Energimängden som har potential att bytas ut vid inkoppling av CHP till fjärrvärmecentralen räknas för *alternativ 1* ut genom att subtrahera tappvarmvattenbehovet från den totala fjärrvärmeanvändningen (se *appendix 7*) per månad:

$$\text{Uppvärmning ÖB (MWh)} = \text{Fjärrvärmeanvändning} - \text{Tappvarmvattenanvändning}$$

Det momentana medeleffektbehovet av fjärrvärmeanvändningen räknas ut:

$$\text{Effektbehov av uppvärmning (kW)} = \frac{\text{Månadsvis uppvärmning ÖB (MWh)} \cdot 1000}{\text{Antalet timmar / mån}}$$

Detta för att man skall kunna jämföra detta effektbehov med den levererbara effekten från CHP. Man får således täckningsgraden som räknas ut på följande sätt:

$$\text{Täckningsgrad} = \frac{\text{Effektbehov av uppvärmning ÖB}}{\text{Medeleffekt CHP}}$$

Täckningsgraden tolkas så, att varje månad den är större eller lika med 1 kan man få avsättning för all producerad värmeenergi från provplatsen, utan att behöva använda vare sig vätskekylaren eller 'feed & bleed'.

Möjlig levererbar energi blir täckningsgraden multiplicerat med den maximala möjliga levererbara energin per månad:

Möjlig levererbar energi (MWh) = Täckningsgrad · Medeleffekt CHP · Provkörningstimmar / mån
 Antalet provkörningstimmar i kalkylarket har valts till 8,08 timmar/dag, eftersom detta ger en maximal möjlig levererad energi på 59,83 MWh/mån (se kap. 3.3).

Den månatliga mängden kylvatten som behövs för 'feed and bleed', vid de tidpunkterna då uppvärmningsbehovet är så litet att vätskekylaren på taket inte klarar av att kyla bort all överskottsenergi, räknas ut:

$$\text{Effekt som ska kylas bort} = \text{Medeleffekt CHP} - \text{Uppvärmningseffekt ÖB} - \text{Effekt vätskekylare}$$

$$\text{Kylvattenmängd (m}^3\text{)} = \text{Effekt som ska kylas bort} \cdot \text{Antalet timmar/månad} \cdot 0,0246 \text{ (m}^3\text{/kWh)}$$

Volymen vatten som behövs för att kyla 1 kWh på CHP tas från uträkningarna i kap 3.7. Variabeln 'Effekt vätskekylare' i kalkylarket kan justeras och utifrån detta dimensionera vätskekylaren för att minimera användning av 'feed and bleed'.

Det visar sig att vätskekylaren måste ha en kyleffekt på minst 345,5 kW för att inte behöva använda 'feed and bleed'.

Månad	Uppvärmning ÖB (MWh)	Uppv.effekt- behov (kW)	Täcknings- grad	Möjl. lev energi (MWh)	Feed&bleed (m ³)
Januari	299,6	410,4	1	59,8	0
Februari	311,8	427,2	1	59,8	0
Mars	394,3	540,1	1	59,8	0
April	138,3	189,5	0,51	30,6	0
Maj	92,6	126,9	0,34	20,5	0
Juni	44,9	61,5	0,17	10,0	34
Juli	24,0	32,8	0,09	5,3	148
Augusti	36,3	49,8	0,13	8,0	80
September	104,5	143,1	0,39	23,1	0
Oktober	163,4	223,8	0,6	36,2	0
November	313,2	429,0	1	59,8	0
December	682,9	935,5	1	59,8	0
			Summa:	432,9	

Variabler

Avdrag, tappvarmvatten:	0	MWh/mån
Medeleffekt CHP:	370	kW
Effekt vätskekylare:	300	kW
Provkörningstid/dag:	8,1	timmar
Provkörningsdagar/mån:	20	dagar

Tabell 2: Kalkylark över möjlig levererad effekt, baserat på 2008 års månadsvisa fjärrvärmeanvändning i ÖB inkl. uppvärmning av tappvarmvattnet.

Vid beräkningar i tabell 2 använder vi värmeenergin som produceras på CHP:s provplats för att även värma upp tappvarmvattnet. Enda skillnaden från kalkylarket i tabell 1 är att avdraget för tappvarmvatten i kolumnen 'Uppvärmning ÖB' är 0.

I detta fallet visar det sig att vätskekylaren måste ha en kyleffekt på minst 337,2 kW för att 'feed and bleed' inte ska behöva användas.

Genom att summera samtliga månader över året fås den totala möjliga levererbara energin. Skillnaden mellan de två alternativen är cirka 10 MWh per år vilket i dessa sammanhang inte är speciellt mycket.

5.5 Sammanfattning av de båda modellerna

Anledningen till att vi har valt att göra två modeller över hur stor del av energin från CHP som kan levereras på den sekundära värmeslingan, är att de har olika styrkor och svagheter. Matlabmodellens styrka är att den är flexibel och att programkoden kan användas för att räkna ut många andra parametrar. En annan styrka är att den tar hänsyn till variationerna i fjärrvärmebehovet över dygnet; under de tidpunkterna som homogenisatorerna provkörs är generellt dygnstemperaturen som högst. Poängteras bör, att metoden för att mäta effektbehovet under de två veckorna, som ligger till grund för modellen, kan ha stora felkällor. Detta i och med att det inte har tagits hänsyn till inverkan av konvektorernas ventiler för flödet i ledningen. Logiskt sett så borde ventilerna öppnas mer vid ett högre uppvärmningsbehov, och vice versa. Ifall flödesmätningarna gjordes på en medeldag för året, i avseende på uppvärmningsbehov, skulle det innebära att topparna på den faktiska effektbehovskurvan (röd, *figur 21*) skulle bli högre och dalarna skulle bli lägre. Dessutom skulle *figur 19* med största sannolikhet också få ett annat utseende. Som exempel så borde man få ett högre flöde vid maxfrekvens på pumparna. Detta skulle innebära att, de provkörningsdagar då effektbehovet är lägre under provkörningstillfället än resten av dygnet, blir avsättningen mindre. Å andra sidan blir avsättningen högre vid de tillfällena då provkörningstillfället hamnar under en uppvärmningseffekttopp. Över året anses det jämnas ut sig. En svaghet med modellen är att dygnsvariationen grundas på mätdata som är insamlade under endast två veckor. Dessa dygnsvariationer används som en mall för hela årets dygnsvariation. Proportionerna mellan dag och natt antas vara de samma över hela året när det gäller uppvärmningsbehovet i ÖB. Dessutom används även de månadsvisa fjärrvärmeanvändningsuppgifterna från Lunds Energi från förra året. Troligtvis med en variation mellan månaderna som är annorlunda än vad den kommer att vara i år.

Kalkylarkmodellens främsta styrka är att den är översiktlig och att den är oberoende av flödesmätningar. Kalkylarket är dessutom betydligt mer lättanvänt än Matlabprogrammet för personer med mindre datorvana. Nackdelen gentemot Matlabmodelleringen är att man här bortser från den dygnsvisa variationen med avseende på uppvärmningsbehovet och antar att man kör en medeleffekt över månaden som endast grundar sig på fjärrvärmeanvändningsdata från Lunds Energi.

Enligt de båda modellerna syns att mängden energi som kan tas tillvara bara blir 10 MWh mer på ett helt år med alternativ 2, istället för alternativ 1. Detta trots att man använder 6 MWh/månad. Detta beror på att den lilla extra effekttoppen i värmebehov, bara gör att man får avsättning för mer energi från provplatsen, under några månader. Under dessa månader är 6 MWh en relativt liten del av hela månadens fjärrvärmeanvändning.

6 Lönsamhetsberäkningar

6.1 Inkoppling på fjärrvärmenätet

Inkoppling på fjärrvärmenätet är något som under arbetets gång har förkastats. Detta på grund av att investeringarna som krävs för att lyfta temperaturen från 60-70 C° till 90-100 C° i förhållande till vad Lundsenergi betalar för en levererad Mwh visar sig vara ekonomiskt olönsamma. Intäkten för varje levererad MWh på fjärrvärmenätet är 200 kr. Förtjänsten i att inte köpa in en MWh fjärrvärme är 640 kr.

ClimateWell:

Den mängd energi som uppskattningsvis kan tas tillvara på per år vid värmeproduktion:

$$718 * 0.75 (\text{ibland över, ibland underdim}) * 0.85 (\text{verkningsrad}) = 458 \text{ MWh}$$

En CW 20 modul kan leverera en effekt på 27 kW då man utnyttjar modulen för värmeproduktion. Effekten som CHP behöver bli av med är 370 kW.

$$370 / 27 = 14 \text{ st}$$

Vi behöver 14 stycken CW 20 moduler för att kunna ta hand om de 370 kW.

Kostnaden för en CW 20 modul är 244 000 kr inkl. borrhål och installation.

$$244\,000 * 14 = 3\,416\,000 \text{ kr}$$

Lundsenergi betalar 200 kr för varje levererad Mwh högvärdig värmeenergi (90-100 C°).

$$200 * 458 = 91\,600 \text{ kr/år}$$

Vi har också en besparing på minskad kylvattenförbrukning på 0.178 kr/kWh.

$$0.178 * 458\,000 = 81\,524 \text{ kr/år}$$

Den totala förtjänsten blir intäkterna för såld värmeenergi och besparingen av minskat kylvattenbehov.

$$91\,600 + 81\,524 = 173\,124 \text{ kr/år}$$

Investeringskostnaden inkl. borrhål och installation på 3,4 milj.kr skall jämföras med den förtjänst vi inbringar i detta fall 173 124 kr/år

$$\text{Paybacktiden} = 3\,416\,000 / 173\,124 = 20 \text{ år}$$

6.2 Egen användning av den producerade värmen

I tabell 3 räknas pay back-tiden ut för alternativ 1 (inkoppling som i *fig 16*) samt alternativ 2 (inkoppling som i *fig 17*).

	<u>Alternativ 1</u>	<u>Alternativ 2</u>
Investeringskostnader (kr)		
Plattvärmväxlare	25000	50000
Rördragning	50000	212000
Cirkulationspump	18600	18600
Bestrlningsanordning	10000	10000
Tank	100000	100000
Installation styrutrustning	300000	300000
Kylkostnad	2600	1900
Tot Investeringskostnad kr	506200	692500
Intäkter		
Minskat kylbehov	102739	103451
Minskad fjärrvärmeanvändning.	269900	275800
Tot Intäkter kr	372639	379251
CO ₂ reducering kg	31770	32470
Pay back-tid (år)	1,4	1,8

Tabell 3: Uträkning av pay back-tid för alternativ 1 och 2

I dessa båda alternativ är det i investeringskostnaden endast kostnader för rördragning samt en extra plattvärmväxlare som skiljer dem åt. Denna skillnad på 186 000 kr skall bäras upp av den ökade intäkten för alternativ 2 som är 7074 kr/år. Därav skillnaden i pay back-tid. Prisuppgifter och kostnadsberäkningar har framtagits med hjälp av berörda installatörer och försäljare.

Rördragning: 1000 kr/m inklusive installation och isolering[10].

Plattvärmväxlare Tetra Plex M10 B (70 plattor, 1,2 bar) 25 000 kr.[32]

Tank 5 m³: 100 000 kr [13]

Bestrlningsanordning: 10 000 kr [31]

Cirkulationspump Grundfos TPE 50180 20m³/h med en tryckhöjd på 10 m 13 600 kr plus uppskattad installationskostnad på 5000 kr .[33]

CO₂ 75kg/MWh [20]

Automationskostnader har uppskattats av Automationsgruppen AB till 300 000 kr.

7 Sidoaspekter

7.1 Ånga

Vid Tetra Paks provplatser används ånga för att höja temperaturen på vattnet i processen. Att man använder ånga är för att komma upp i temperaturer över hundra grader vilket behövs för att patogenerna i mediet skall försvinna. Höga temperaturer används även vid ”diskning” av systemen. På CHP:s provplats används en förhållandevis liten mängd ånga när det provkörs aseptiskt, till skillnad från på Tetra Pak Dairy and Beverage Systems AB (TPD&B) där stora komplexa system med tubvärmeväxlare provkörs med flöde upp till 40 000 liter i timmen[16]. Även Tetra Pak Recart förbrukar ånga, vilken kommer från samma ångpanna som förser de två andra bolagen.

Ångan produceras centralt för att sedan ledas ut till de olika avdelningarna runt om i anläggningen. Efter att ångan använts för att värma upp vattnet leds den genom en kondensor och kyls ned till en temperatur mellan 50-100 °C, för att sedan ledas tillbaka till ångpannan. Ångan avger stora mängder energi när den värmer upp vattnet som simulerar produkten. Det är denna överförda energi som efter det att vattnet gått igenom processen släpps ut som spillvärme. [17]

7.2 Avlopp

Samtidigt som projektet på CHP börjar ta form, kommer det hela tiden upp nya idéer på hur man skulle kunna ta tillvara spillvärmens inom anläggningarna på Öresundsvägen. Ett sådant sidoprojekt som ligger utanför ramarna för vårt examensarbete är att försöka kartlägga avloppssystemet för att få en uppfattning om vilka flöden och temperaturer som lämnar fabriken. Tanken med detta är att i slutändan kunna samla ihop alla flöden och växla upp temperaturen för att kunna sända ut värmen på fjärrvärmenätet. De områden som är intressanta för vår del är ÖB och ÖC, specifikt ÖCD, vilket är en del av ÖC. I dessa byggnader testkör TPD&B sina anläggningar med flöden upp till 40 m³/h. I ÖB finns även CHP:s provplats som eventuellt skulle kunna bidra. I ÖCD finns förutom TPD&B:s testplatser även Tetra Recart vilka också bidrar med spillvärme.

Vårt tillvägagångssätt styrs av tillgängligheten på avloppsledningar. För att få tag i användbara data måste vi isolera tillflödena till avloppet där temperaturen mäts, samtidigt som vi mäter flöde på inkommande vattenledning. Anledningen till att flödet inte mäts i avloppet är att den tillgängliga mätutrustningen mäter med hjälp av ultraljud. Detta kräver att rören är helt fyllda med vatten och att data på rörens dimensioner och material finns. Problemet med att flödet mäts på inkommande vattenledning och temperaturen i avloppet, är att vi inte vet om det är samma vatten på de båda ställena. Detta är en stor felkälla.

Vid samtal med driftpersonal på TPD&B:s provplatser visar det sig finnas stor potential för ökat spillvärmeutsläpp då det idag körs ett kylsteg i processen åtskilliga timmar för att bland annat sänka temperaturen på det utgående vattnet. Temperaturen på vattnet som går ut i avloppsledningen får inte överskrida 45 °C [21]. Temperaturen mäts ute vid Måsvägen. Detta innebär att en optimering av kylstegen vid testkörningarna skulle generera en avsevärt högre temperatur på vattnet som lämnar processerna. Detta vatten skulle exempelvis kunna växlas upp med hjälp av en värmepump och levereras på fjärrvärmenätet innan det kommer fram till Måsvägen.

8 Diskussion/Slutsats

Då examensarbetet på Tetra Pak utlystes av Lunds Energi, påbörjades det med ambitionen att leverera all producerad värmeenergi från provplats CHP till fjärrvärmenätet. Då temperaturen på fjärrvärmeledningens returledning ligger i rätt temperatur för att kunna kyla kylvattentanken på CHP utan några större insatser, var detta vårt givna förstaförslag till lösning. Naturligt nog är dock inte Lunds Energi intresserade av att höja temperaturen på sin returledning då det försämrar verkningsgraden i deras värmeproduktion. Vårt andraförslag blev således att leverera värmen till fjärrvärmenätets framledning. Detta skulle innebära att temperaturen på processvattnet från CHP behöver höjas i temperatur till cirka 100 °C. De två sätten att höja temperaturen på processvattnet som vi tittade närmare på, är med hjälp av ClimateWells system och med en specialvärmepump. I detta skedet insåg vi att Tetra Pak tjänar över tre gånger mer per MWh genom att själv använda den producerade energin från CHP, istället för att sälja den till Lunds Energi. Detta medförde att vi började ändra fokus till att hitta interna användningsområden på Tetra Pak, i närheten av provplatsen.

Genom att utföra mätningar, samt att studera och kartlägga energiflödena för hall ÖB, uppdagades att uppvärmning av lokaler står för en stor del av fjärrvärmeanvändningen. Närmast till hands var då lösningen som i detta examensarbete kallas Alternativ 1, där samma princip som vid inkoppling på fjärrvärmenätets returledning skulle tillämpas, med skillnaden att inkoppling istället skulle ske på Tetra Paks interna värmeledningsretur i ÖB. I och med detta insåg vi att man förmodligen inte skulle få avsättning för all värmeenergi som produceras på CHP, då uppvärmningsbehovet under sommarmånaderna, i detta sammanhanget, i princip är obefintligt. För att komma fram till lönsamheten med denna typen av inkoppling, jämfört med försäljning till Lunds Energi, behövde vi ta reda på hur stor del av den producerade värmeenergin som vi skulle få avsättning för vid intern användning.

Med olika beräkningsmodeller kom vi fram till att avsättningen på årsbas blev ca 60%. Även fast vi med detta lösningsförslaget bara kan använda 60% av den producerade värmeenergin, så är ändå vinsten per producerad MWh på provplatsen nästan dubbelt så hög, jämfört med om 100% av samma energi skulle säljas till Lunds Energi.

Det slutliga förslaget till lösning är det som vi kallar Alternativ 2. Tanken är att det skall fungera på samma sätt i ÖB, som i ÖC, där panncentralen är en samlingspunkt för värmeenergi till och från lokalerna. Alternativ 2 bygger på alternativ 1, men genom att inte bara koppla in CHP till uppvärmningsslingan, utan även till tappvarmvattnet, kan avsättningen ökas ytterligare. I och med att både alternativ 1 och 2 är väldigt billiga och enkla lösningar då ingen dyr utrustning behöver köpas in, blir pay back-tiden kort oavsett vilket av alternativen man väljer att använda sig av. Men med tanke på att alternativ 2 är mer framtidssäkert i och med sin flexibilitet, anser vi att detta är det förslag som bör genomföras.

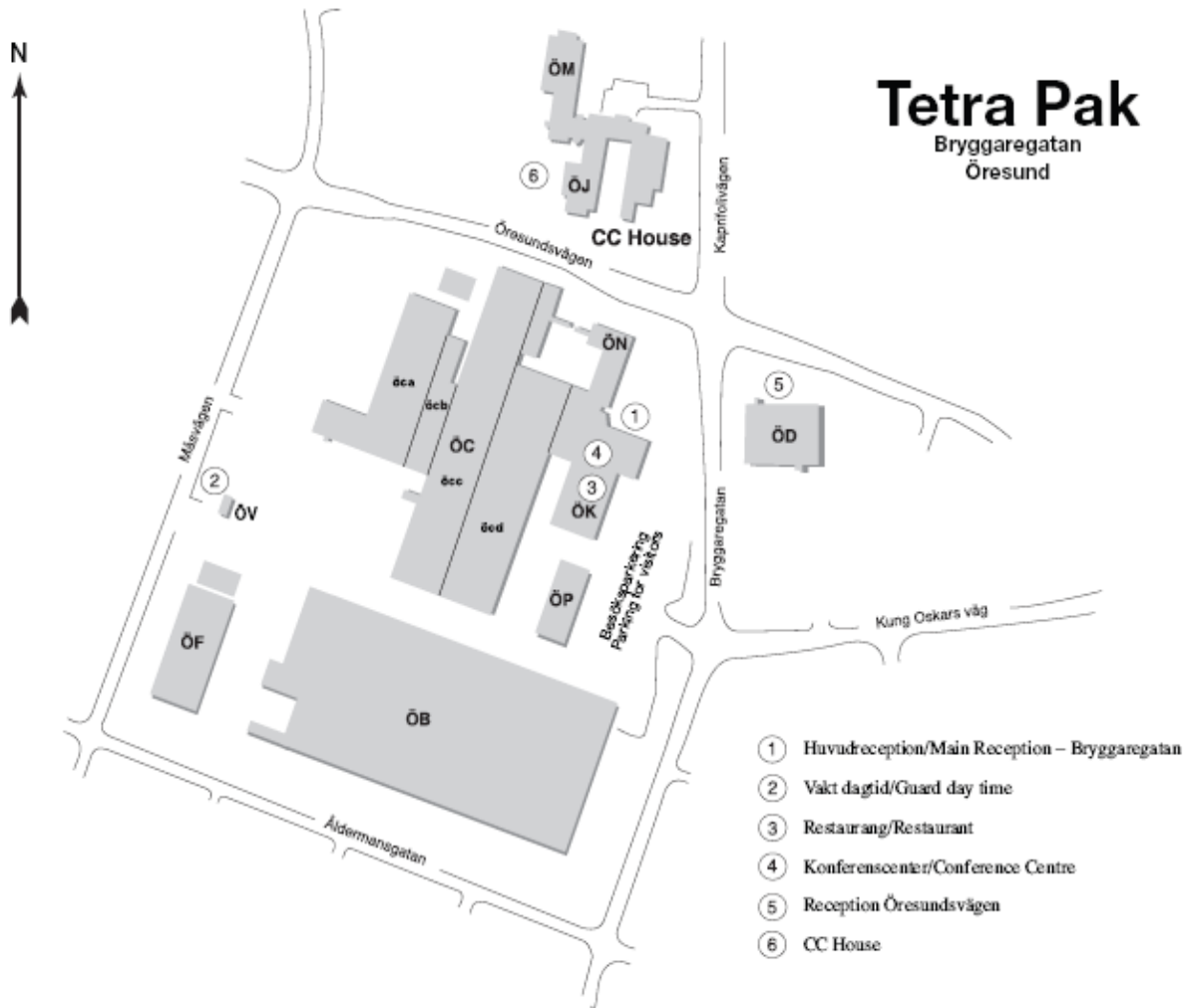
Det finns andra intressanta möjligheter att ta tillvara på värmeenergi som går förlorad på Tetra Pak Öresundsvägen. En av idéerna är att ta tillvara på spillvärmen från andra processer, som idag rinner ut i avloppen. Ett exempel är provkörning hos TPD&B där provvattnet kyls ned till en temperatur på 45 °C innan det släpps ut i avloppet. Tanken är att man i den mån det är möjligt optimera processerna, för att på så sätt minska kylbehovet och höja temperaturen på vattnet som ska tas tillvara på. Till exempel med hjälp av en värmepump som lyfter vattentemperaturen för eventuell leverans till fjärrvärmenätet. Vattenflödena är stora och potentialen för att kunna kartlägga och utreda om någon spillvärme kan omhändertags är goda. Bristfälliga ritningar på avloppssystemen samt väldigt liten beläggning på provplatserna har hindrat oss från att påbörja detta projekt.

9 Referenser

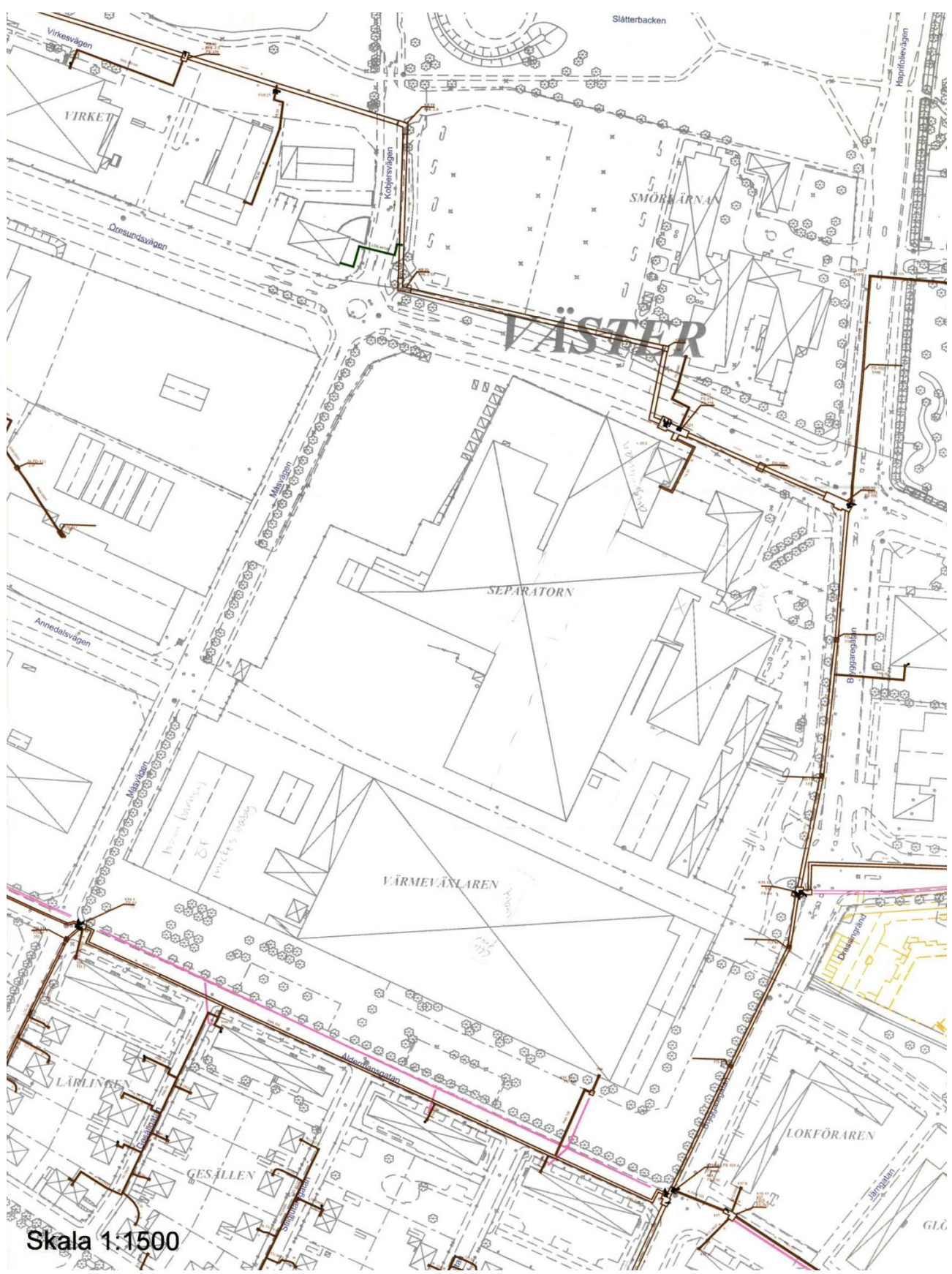
- [1] Victoria Johansson. Miljöadministratör. Tetra Pak Business Support AB.
- [2] http://www.tetrapak.com/sweden/docs/9704sv_1low.pdf. Tetra Pak - utveckling i korthet. 2009-01-22.
- [3] Andersson, Jonas & Gashi, Behxhet & Karlsson, Anna & Petersson, Linn (2006). *Högtryckshomogenisering*. Projektarbete. Institutionen för livsmedelsteknik, Lunds tekniska högskola.
- [4] <http://www.milko.se/templates/Page.aspx?id=713>. Homogenisering. 2009-02-02.
- [6] Henrik Persson. Elektriker. Tetra Pak Processing Components AB.
- [7] <http://www.tetrapak.com/se/Documents/milj%C3%B6policy%20svensk.pdf>. Miljöpolicy. 2009-01-25.
- [8] <http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/chem.html>. Dairy Chemistry and Physics 2009-02-17.
- [9] Berglund, Magnus & Skogfält, Martin & Tengné, Tomas (2008) *Saltlagring ger kyla*. Projektarbete. Tillämpad fysik och elektronik, Umeå universitet.
- [10] Stefan Lantz. Teknisk chef. AB Lunds Rörmontering.
- [11] http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/energi/article435750.ece# . Spillvärme hett igen. 2009-02-09.
- [13] Bengt Mårtensson. Production manager. Tetra Pak Processing Components AB.
- [14] http://www.svenskfjarrvarme.se/download_biblo/1199/Spillv%C3%A4rme_industrin_rapport.pdf. Spillvärme från industri till fjärrvärmenät. 2009-02-17
- [15] Nils Wendestam. Technical Manager. Tetra Pak Processing Components AB.
- [16] Håkan Leonardsson. Operatör. Tetra Pak Dairy & Beverage Systems AB.
- [17] Göran Larsson. Anläggningsmaskinist. AB Tetra Pak Building Support.
- [18] Jacob Forssman. ClimateWell AB.
- [19] *Dairy processing handbook*. Tetra Pak. 2009-03-02.
- [20] Hans Kjellvander. Projektingenjör. Krafringen Produktion AB.
- [21] Jörgen Mattsson. Driftsingenjör. Tetra Pak Business Support AB.
- [22] http://www.tetrapak.com/se/products_and_services/packages/tetra_recart/pages/default.aspx. Tetra Recart. 2009-03-16.
- [23] http://www.tetrapak.com/se/products_and_services/processing_equipment/beverage_equipment/homogenisation/tetra_alex/pages/default.aspx. Tetra Alex. 2009-03-16
- [24] Philippa Salomonsson. Laboratory Engineer. Tetra Recart AB.
- [25] Christer Nilsson. Senior Test Engineer. Tetra Recart AB.
- [26] Helene Berg. Environmental officer. Tetra Recart AB.
- [27] *Kontrollprogram för Tetra Paks anläggning inom kvarteren Värmeväxlaren och Separatoren*. AB Tetra Pak Öresundsvägen Lund. Reviderad 2005, Tommy Collin
- [29] http://www.tetrapak.com/products_and_services/processing_equipment/dairy_equipment/homogenisation/pages/default.aspx. Homogenisation. 2009-04-16.
- [30] Björn Sollie. Rådgivande ingenjör, kylteknik. Björn Sollie AB.
- [31] Jörgen Philipsson. Säljstöd. Luvata i Söderköping AB.

- [32] Inge Kristensson. Calculation Engineer. Tetra Pak Processing Components AB.
- [33] Oskar Wiberg. Säljtekniker. Grundfos AB.
- [34] Olof Hallström. Projektingenjör. ClimateWell AB.

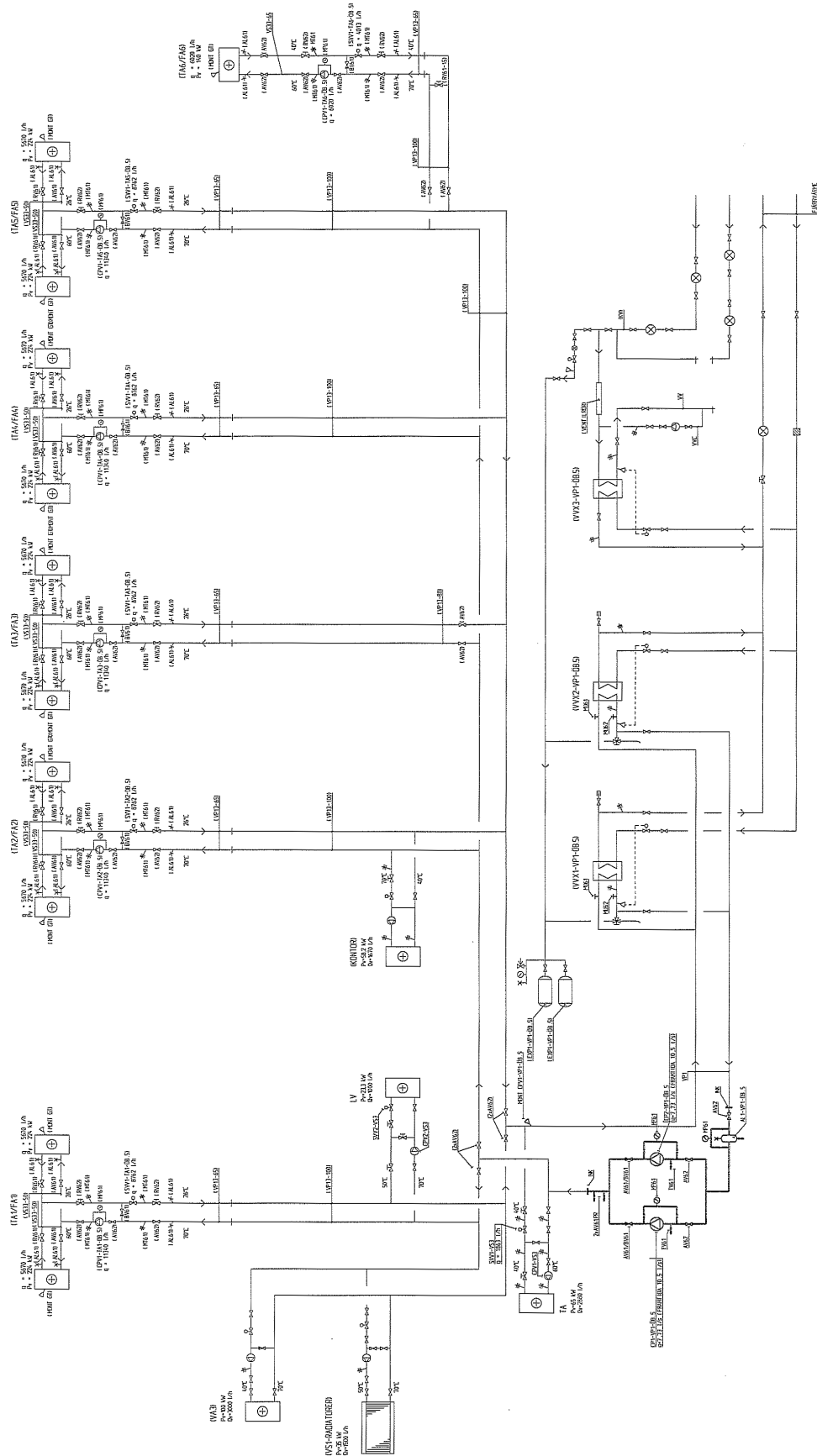
Appendix 1 – Karta över Tetra Pak på Bryggaregatan



Appendix 2 – Fjärrvärmeledningskarta, öresundsområdet

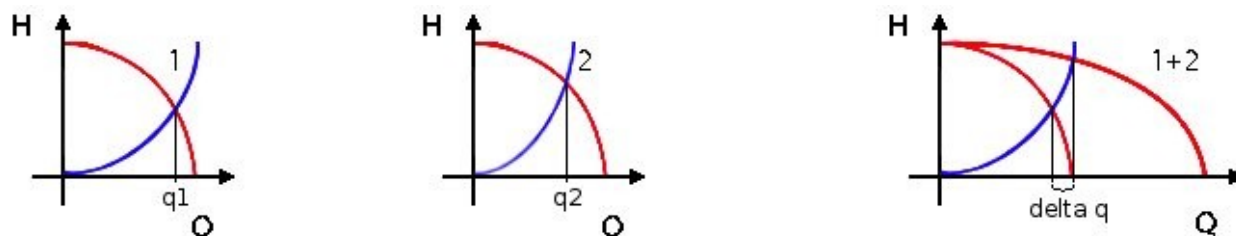


Appendix 3 – Karta över uppvärmningssystemet i hall ÖB



Appendix 4 – Varför dubbla pumpar?

Parallellkopplade pumpar används för att öka flödet medan seriekopplade pumpar används för att öka tryckhöjden. I ÖB:s fjärrvärmecentral sitter två parallellkopplade pumpar se figur 18 som arbetar på samma frekvens för att tillgodose flödet på sekundärledningen i byggnaden. I figur 23 illustreras påverkan av flödet vid inkopplandet av parallella pumpar.



Figur 23: visar hur flödet och tryckhöjden varierar vid parallellkopplade pumpar.

Systemkurvan (blå kurva) är helt avgörande för vilken typ av pump som skall användas. Den karakteriseras av längd och höjd på rörledningen, antalet böjar och andra motstånd. Andra motstånd kan vara ventiler, temperatur- och tryckgivare som är placerade längs rörledningen. På grund av detta fördubblas inte flödet om man kopplar in en extra pump parallellt. Pumparna som används i fjärrvärmecentralen har ett maxflöde på 46 m³/h per styck, vid en tryckhöjd på 7,5m. Tidigare mätningar visar att flödet under första hälften av april månad var 16,2 m³/h vilket innebär att pumpen levererar en tredjedel av sin maxkapacitet. Vid praktiska försök har vi stängt av den ena pumpen för att se hur flödet påverkas vid olika pumpfrekvenser. Flödet påverkades inte nämnvärt, vilket tyder på att systemkurvan är brant (motståndet i ledningen är stort).

Pumpen har en effekt på 1.5 kW, vi antar att den går på två tredjedelar av sin maxeffekt. Det skulle innebära en årlig energianvändning på 8760 kWh/år. Med ett elpris på 0.66 kr/kWh blir driftkostnaden och således besparingen 5780 kr/år

Appendix 5 – Matlabkod

```
clear all
close all
clc

x=370; %Sammanlagda maxeffekten på homogenisatorerna i modelleringen.
matdata %Laddar extern m-fil som innehåller data i två olika vektorer:
%Vektorn 'chp' innehåller variabeln 'x' på de positioner i motsvarande
%tidvektor som homogenisatorerna körs.
%Vektorn 'fjv' innehåller data för fjärrvärmeanvändning under samma
%tidsperiod.

dag=14/length(fjv):14/length(fjv):14; %Genererar en vektor med antalet kördagar
%uppdelat i lika många gånger som antalet mätvärden per kördag.
tid=dag.*24; %Skapar en tidsvektor 'tid' med upplösning i timmar, baserat på vektorn
'dag'.

%Skapar vektorn 'lev' och lagrar värdet från 'fjv' i motsvarande position,
%om det är lägre än 'chp'. Om värdet i 'fjv' är högre än 'chp', så lagras
%värdet från 'chp' direkt i 'lev'.
for i=1:1:length(chp)
    if chp(i)==0
        lev(i)=0;
    else
        if chp(i)-fjv(i)>0
            lev(i)=fjv(i);
        else
            lev(i)=chp(i);
        end
    end
end

%Skapar vektorn 'energi' där effekten från 'lev' multipliceras med
%differensen mellan värdet på motsvarande position i vektorn 'tid' och
%värdet i föregående position för att få fram energimängden i den aktuella
%mätpunkten.
%För att kontrollera algoritmen skapas vektorn 'chpenergi' på samma sätt,
%saamt en vektor med total körtid för maskinerna.
for j=1+1:1:length(chp)
    energi(j)=lev(j)*(tid(j)-tid(j-1));
    chpenergi(j)=chp(j)*(tid(j)-tid(j-1));

    if chp(j)~=0
        tottid(j)=(tid(j)-tid(j-1));
    else
        tottid(j)=0;
    end
end

energi_levererad=sum(energi(1:length(chp)))/1000*2 %Summerar levererade energin och slår
ut ett månadssnitt.
chp_kapacitet=sum(chpenergi(1:length(chp)))/1000*2 %P.s.s. med potentiellt maximala
energin från CHP.
tackngrad=energi_levererad/chp_kapacitet %Beräknar och redovisar täckningsgraden.
kortid= sum(tottid(1:length(chp)))/10 %Beräknar och redovisar snittkörtiden per dag.

%Ritar upp figuren.
plot(dag,fjv,'r',dag,chp,'b',dag,lev,'g');
axis([0 14 0 700])
xlabel('Dag (nr)')
ylabel('Effekt (^oC)')
legend('Uppvärmningsbehov','Effekt från homogenisatorer','Effekt som kan levereras');
grid
title('Uppvärmningsbehov, levererad effekt från homogenisatorerna och effekt som kan
leveras på den sekundära värmeslingan under första halvan av april månad år 2009.')
```

Appendix 6 – Förklaring kalkylark

	A	B	C	D	E	F	G
1	Månad	Uppvärmning	Uppv.effekt-	Täcknings-	Möjl. lev energi	Feed&bleed	
2		ÖB (MWh)	behov (kW)	grad	(MWh)	(m ³)	
3	Januari	299.6	410.41	1	59.83	0	
4	Februari	311.84	427.18	1	59.83	0	
5	Mars	=B3*1000/(365/12)/24		1	59.83	0	
6	April			0.51	30.64	0	
7	Maj	=299.6-B17	92.61			0	
8	Juni	44.93	61.55	0.17	9.95	33.62	
9	Juli	23.95	=IF(C3/B18>1;1;C3/B18)		5.31	147.94	
10	Augusti	36.34	49.78	0.13	8.05	30.43	
11	September	104.47	143.11	0.39	23.14	0	
12	Oktober						
13	November	=IF((B18-C3-B19)*B20*B21*0.0246>0;(B18-C3-B19)*B20*B21*0.0246;0)					
14	December	682.94	935.53	1	59.83	0	
15				Summa:	432.94		
16	Variabler						
17	Avdrag, tappvarmvatten:	0	MWh/mån	=SUM(E3:E14)			
18	Medeleffekt CHP:	370	kW				
19	Effekt vätskekylare:	300	kW				
20	Provkörningstid/dag:	8.09	timmar				
21	Provkörningsdagar/mån:	20	dagar				

I det gula rektangelformade området knappas variablerna in och utefter detta räknas alla siffror ut automatiskt i kalkylarket. I de röda ringarna syns koden för de celler som pekas på. Alla celler längs rad 3 följer samma princip för alla 12 månader, ned till rad 14. Nedan följer en förklaring i klartext på de olika cellerna:

B3-B14: Tappvarmvattenanvändningen subtraheras med den månadsvisa fjärrvärmeanvändningssiffran som erhållits från Lunds Energi. Genom att ha '0' som värde på tappvarmvattenanvändningen räknar man på *alternativ 2* eftersom man med det inkopplingsalternativet kan värma upp även tappvarmvatten. Alla andra positiva värden i B17 resulterar i att de månadsvisa siffrorna i B-kolumnen blir mindre eftersom man i *alternativ 1* inte kan värma upp tappvarmvatten.

C3-C14: Här räknas medeleffekten ut för uppvärmningen varje månad. Detta är för att ta hänsyn till att energin som används för uppvärmning är igång dygnet runt, medan CHP endast levererar delar av dygnet. Det skulle alltså vara missvisande att bara jämföra siffran för månadsanvändning av energi för uppvärmning mot den månatliga producerade energin från CHP, för att ta reda på hur stor avsättning man kan få.

D3-D14: Medeltäckningsgraden för varje månad räknas ut genom att dividera det månatliga medelvärdet för uppvärmning med medeleffekten på homogenisatorerna som provkörs. På så vis fås en siffra på hur stor andel av den producerade energin från CHP som kan tas tillvara på varje månad. Om denna kvot skulle bli större än 1, så antar cellen värdet "1".

E3-E14: Den energin från CHP som blir möjlig att leverera på den interna värmeslingan i hall ÖB per månad, fås genom att multiplicera kvoten som representerar täckningsgraden med den teoretiskt maximala mängden energi som kan levereras från CHP på en månad. Denna teoretiskt maximala mängd energi räknas ut genom att multiplicera medeleffekten från CHP (B18) med antalet dagar per

vecka homogenisatorerna körs (B21) och hur många timmar per dag de körs (B20).

F3-F14: Här räknas ut hur många kubikmeter vatten som behövs varje månad för att kyla CHP med 'feed and bleed'. I första hand ska CHP kylas genom att värmen levereras för uppvärmning av hall ÖB, i andra hand med vätskekylaren på taket. Effekten som ska kylas med 'feed and bleed' blir alltså det som blir kvar om man drar bort effekten som behövs för uppvärmning (C3) och effekten som kan kylas bort med vätskekylaren (B19) från effekten som levereras från CHP (B18). Denna kvarvarande effekt multipliceras med antalet kördagar per månad och antalet körtimmar per dag (B21 & B20) för att få den totala energin som behöver kylas bort per månad. Enligt uträkningar i *kap. 3.7* behövs 0.0246 m³ 10-gradigt färskvatten för att kyla bort 1 kWh från provplatsen. Därför multipliceras den totala energin som behöver kylas bort med 'feed and bleed' per månad med 0.0246. Om svaret blir negativt, fylls cellen med "0", vilket det blir i alla de fall då 'feed and bleed' inte behöver användas.

Appendix 7 – Fjärrvärmeförbrukning i hall ÖB (Värmeväxlaren)

Förbrukningshistorik

Debatt LUNDS ENERGI AB-FJV

Anläggning: 123800

Nyttighet: FV
 Kund: Tetra Pak Business Support AB
 Anläggningsadress: Bryggareg 23, 1466, 10-5822
 Fastighetsbeteckning: Värmeväxlaren 1

Anläggningen startad: 1966-10-12
 Beräknad årsförbrukning: 3110,000 MWh
 Bottenförbrukning: 1225,000 MWh

Taxehistorik

Ar	Debiteringseffekt	Taxa
2009	592,0	34
2008	791	34
2007	697	34
2006	616	34

Förbrukningshistorik

Månad	Energi MWh	Flöde m ³	Delta T	Månad	Energi MWh	Flöde m ³	Delta T	Månad	Energi MWh	Flöde m ³	Delta T
200901	332,410	6629,3	43,1	200801	299,600	5283,8	48,8	200701	508,170	9515,2	45,9
200902	531,510	9688,5	47,2	200802	311,840	5710,7	47,0	200702	499,350	8568,4	50,1
Summa	863,920	16317,8	45,5	200803	394,270	6868,2	49,4	200703	388,180	7454,5	44,8
				200804	138,310	2576,5	46,2	200704	301,220	5683,9	45,6
				200805	92,610	1998,5	39,9	200705	265,230	5081,8	44,9
				200806	44,930	1099,9	35,1	200706	93,650	2288,2	35,2
				200807	23,950	540,8	38,1	200707	73,820	1395,8	45,5
				200808	36,340	788,4	39,6	200708	154,140	3025,5	43,8
				200809	104,470	2144,5	41,9	200709	190,310	3531,7	46,3
				200810	163,390	3184,1	44,1	200710	224,660	3900,6	49,5
				200811	313,200	5548,5	48,5	200711	343,780	6318,1	46,8
				200812	682,940	14497,5	40,5	200712	373,530	6475,2	49,6
				Summa	2605,850	50241,4	44,6	Summa	3416,040	63238,9	46,5
								Summa	3699,540	65719,1	48,4

Utskrift beställd av: Igm (Ver: 3.07)

Utskriftsdatum: 2009-03-11