



AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ
Avdelningen för bygg- energi- och miljöteknik

Sänkning av Returtemperatur

Identifiering av kundanläggningar som
påverkar returtemperaturen negativt

Joel Pettersson

2014

Examensarbete, Grundnivå (kandidatexamen), 15 hp
Energisystem
Energisystemingenjör, Co-op

Handledare: Hans Wigö
Examinator: Ulf Larsson

Sammanfattning

Sandviken Energi producerar ungefär 220 GWh fjärrvärme och 20 GWh el varje år vid sin produktionsanläggning i Björksätra Sandviken. För att effektivisera denna produktion är en av de bättre lösningarna en sänkning av returtemperaturen.

En sänkt returtemperatur innebär effektivare rökgaskondensering, mindre förluster till mark, sänkt pumpdrift och ökad leveranskapacitet.

På uppdrag av Sandviken Energi så har denna utredning gjorts med syftet att påvisa hur mätvärden kan användas till mer än debitering och framförallt hur mätvärden kan användas för att identifiera anläggningar som påverkar returtemperaturen negativt.

Anläggningar har identifierats beroende av returtemperatur, avkyllning och storlek. Dessa faktorer har valts för att bäst identifiera de anläggningar som påverkar kollektivets returtemperatur på negativast sätt.

En granskning har gjorts av de fem värst anläggningarna för att få en uppfattning om vilken typ av anläggningar som påverkar returtemperaturen negativt. Ytterligare en analys har sedan gjorts där en sänkning av returtemperaturen på 10°C beräknas på de 50 första identifierade anläggningarna. Denna sänkning innebär att kollektivets returtemperatur sänks med ungefär 2,4°C.

En LAVA-kalkyl har sedan använts för att beräkna hur denna sänkning på 2,4°C påverkar produktionen och distributionen av fjärrvärme i Sandviken. Resultatet blir en vinst med 1 498 754 kr/år vilket ger ett investeringspotential på ungefär 11 miljoner kronor.

En rad åtgärdsförslag som kan användas för att genomföra en sänkning av returtemperaturen på kundernas anläggningar presenteras.

Abstract

Sandviken Energi produces around 220 GWh district heating and 20 GWh electricity every year at their production facility in Björksätra Sandviken. To make this production more efficient one of the best solutions is a lowering of the return temperature.

A lowering of the return temperature means a more efficient flue-gas condensation, less heat loss to ground, lowered pump activity and increased delivery capacity.

On behalf of Sandviken Energi this investigation has been seen through with the purpose of demonstrating how measured values can be used for more than billing and foremost how measured values can be used to identify facilities that negatively affect the return temperature.

Facilities have been identified based on their return temperature, cooling, and size. These factors have been chosen to best identify the facilities that affect the collective return temperature in the most negative way.

A study has been done of the five worst facilities to get an idea of what kind of facility that negatively affects the return temperature. Another analysis was then done where a lowering of the return temperature by 10 °C was calculated on the first 50 facilities identified. This drop resulted in a lowered collective return temperature by 2,4 °C.

A LAVA-calculation was then used to calculate how this lowering of 2,4 °C affects the production and distribution of district heat in Sandviken. The result was an increased profit of 1 498 754 kr/year which gives an investment potential of about 11 million Swedish kronor.

A set of proposed measures that can be used to lower the return temperature of the customer's facility is presented.

Förord

Denna utredning har utförts som examensarbete, 15 hp vid Högskolan i Gävle för kandidatexamen i energisystem. Utredning har utförts på uppdrag av Sandviken Energi.

Först och främst vill jag tacka min handledare på Sandviken Energi, Thomas Nygren, som hjälpt och stöttat mig under hela vägen till ett färdigt examensarbete samt under den tid som jag spenderat som praktikant på Sandviken Energi. Tack även till Göran Panth, Christer Edorsson, Peter Markstedt och övrig personal på Sandviken Energi som hjälpt och besvarat frågor om allt möjligt!

Jag vill också tacka min handledare på Högskolan i Gävle, Hans Wigö, för den hjälp jag fått under den här tiden.

Gävle 2014-06-14

Joel Pettersson

Innehåll

.....	1
Sammanfattning.....	2
Abstract.....	3
Förord	4
Innehåll	1
1 Inledning	1
1.1 Sandviken Energi	2
1.2 Syfte och Målsättning	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Tidigare utförda rapporter vad gäller returtemperatur	2
1.4.1 Fel hos kund som skapar hög returtemperatur.....	3
1.5 Anläggningsbeskrivning.....	4
2 Teori.....	6
2.1 Effektivitet på kundanläggning	6
2.2 Returtemperaturens påverkan	7
2.2.1 Rök-gaskondensering.....	7
2.2.2 Pumpdrift.....	8
2.2.3 Förluster till mark.....	9
2.2.4 Leveranskapacitet	9
2.3 Produktion	9
3 Metod.....	10
3.1 Hantering och beräkning i excel-kalkyl	11
3.2 LAVA-kalkyl	14
4 Resultat.....	16
4.1 De värsta fem	16
4.1.1 Anläggning 1	17
4.1.2 Anläggning 2	17
4.1.3 Anläggning 3	18
4.1.4 Anläggning 4	18
4.1.5 Anläggning 5	18
4.2 10 °C sänkning på de 50 första.....	19
4.3 Åtgärdsalternativ.....	20
4.3.1 Införd flödesfäxa.....	20
4.3.2 Olika leveranspaket.....	20
4.3.3 Besök och förbättring av anläggning	21
5 Diskussion	22
6 Slutsats	23
7 Referensförteckning.....	24
LAVA-kalkyl:.....	28

1 Inledning

Principen av fjärrvärme introducerades redan under antiken då det heta vattnet användes för att värme upp t ex badhus. Ur merkantilt perspektiv så introducerades dock inte fjärrvärme före senare delen av 1800-talet då staden Lockport i USA fick ett ångbaserat fjärrvärmenät, samma typ av nät som sedan installerades i New York 1842 och som fortfarande är i drift(Sahlin 2013). Trots denna relativt tidiga etablering av kommersiella fjärrvärmenät så fick Sverige vänta ytterligare dryga hundra år (till 1948) för att det första svenska nätet skulle byggas. Sedan dess har fjärrvärme byggts ut och utvecklats till där det nu är, som Sveriges ledande uppvärmningsform (Sjöström 2014). Att fjärrvärmen är så grundad beror på bland annat det sätt som branschen har lyckats informera landet och dess invånare i det faktum att uppvärmning nästan alltid fungerar bättre, är säkrare och effektivare om ett samarbete äger rum(Pusat, Erdem 2013). Verkningsgraden på produktionen på ett fjärrvärmeverk kan nå så högt som 90%(Wojdyga et al 2014) vilket långt överstiger det på individuella anläggningar. Ett etablerat kontaktnät finns alltså redan och olika energibolag runtom i Sverige förvaltar alltså mer än hälften av landets energibehov. Alla dessa energibolag har någon form av produktion och distribution som når kundernas egna anläggningar. I de flesta fall så äger kunden sin egen anläggning, i andra fall så ägs anläggningen av energibolaget eller tredje part. Trots att kundens egen anläggning och energibehov är grunden till varför fjärrvärme fungerar så ligger fokus på effektiviseringar ofta på produktion och distribution. Det framgångsrika samarbete som skulle kunna finnas begränsas till en faktura och kunders anläggningar ses ofta som belastningar istället för förbättringsmöjligheter.

Varje anläggning som ett fjärrvärmenät levererar energi till har krav på en viss mån av mätning. Mätvärden måste finnas för att stödja en debitering på ett ansvarsfullt sätt. Just nu så finns inga lagkrav på att ett mätt värde måste finnas för att debitera men i stort sätt alla fjärrvärmebolag går efter den standarden. Nya lagkrav som kräver ett avläst värde kommer att införas inom en snar framtid och ytterligare krav som t ex avläsning en gång om dagen håller på att byggas upp. Alla dessa mätvärden används idag inte för mycket mer än debitering men skulle kunna användas för att skapa bättre förhållanden och kundrelationer för de flesta energibolag.

Sandviken Energi AB är ett av dessa energibolag som har avlästa månadsvärden för tio av tolv månader på alla sina anläggningar. De filer som används för debitering innehåller inte bara mätarställningar för energi utan även mätarställningar för flöde och momentanvärden för primärtemperatur in och ut. Dessa mätvärden kan användas till så mycket mer än debitering t ex identifiering av anläggningar med dålig avkylning som om åtgärdade kan sänka Sandvikens Energis returtemperatur.

1.1 Sandviken Energi

Sandviken Energi AB (SEAB) är ett helägt dotterföretag till Sandvikens Stadshus AB: Sandvikens kommun och är dessutom moderbolag i en koncern som innehåller de helägda dotterföretagen Marknad Energi Klimatkontroll MEKKAB AB, Sandviken Energi Elnät AB, Sandviken Energi Vatten AB och Bångbro Kraft AB.

Sandviken Energi-koncernens verksamhet består av produktion och distribution av el och fjärrvärme samt drift av optiskt fibernät, skötsel och underhåll av gator och till slut vattenförsörjning och avloppshantering. Sedan 2011 är SEAB även delägare i elhandelsföretaget Bixia AB. Sandviken Energi erbjuder också energieffektivisering via dotterbolaget MEKKAB.

1.2 Syfte och Målsättning

Syftet med utredningen är att påvisa hur mätvärden kan nyttjas på fler sätt än debitering och hur detta i sin tur hjälper både kund och leverantör.

Målet med projektet är att identifiera och förhoppningsvis åtgärda de anläggningar som har brister i dels funktion men även användning av fjärrvärme.

Identifieringen av dessa anläggningar kan sedan användas till att hjälpa kunden med drift men även eventuell investering i en bättre anläggning som då inte bara gynnar kunden utan även Sandviken Energi i form av t ex en sänkt returtemperatur.

1.3 Avgränsningar

Sandviken Energi har tre olika fjärrvärmenät, Sandviken, Storvik och Järbo, och av dessa tre så är det bara nätet i Sandviken som påverkas av en sänkt returtemperatur i form av bättre rökgaskondensering vilket delvis begränsar projektet.

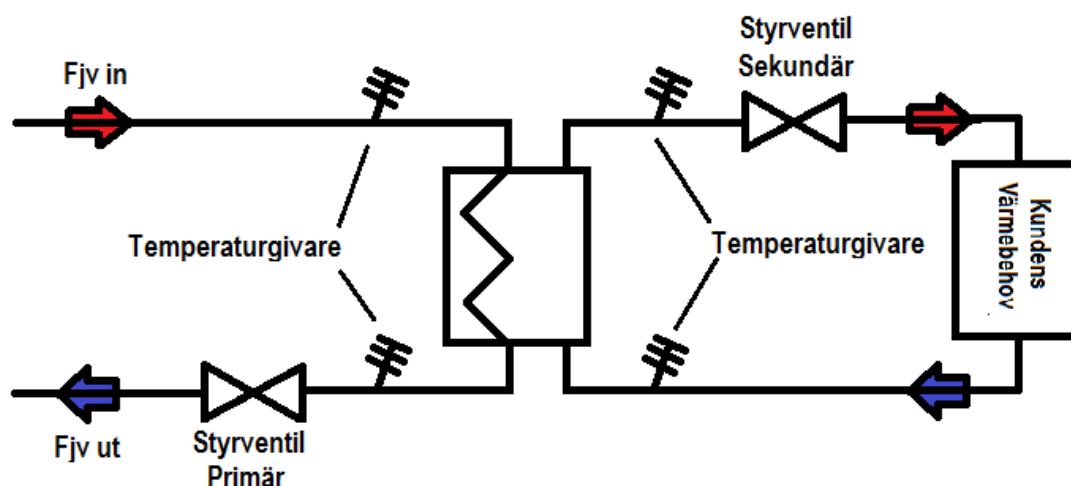
1.4 Tidigare utförda rapporter vad gäller returtemperatur

Svenske Fjärrvärme tillsatte våren 1999 en projektgrupp med uppdraget att hjälpa fjärrvärmebolag med en sänkning av returtemperaturen. Denna projektgrupp har gjort en rad utredningar som kommer att användas som stöd vid det här projektet (Forsslund et al 2000). Under dessa utredningar så kom man bland annat fram till att fjärrvärmebranschen kan tjäna ungefär 600 miljoner kr/år på en sänkt returtemperatur. Det blir en snittsänkning på 1,3 öre/kWh, men sänkningen på ett individuellt bolag kan gå då högt som 3 öre/kWh (Forsslund et al 2000). En undersökning av fjärrvärmebyrån gjordes på just effekten av en sänkt returtemperatur på Sandvikens nät under 2011. Denna undersökning kom fram till att en sänkt returtemperatur på en grad skulle spara ungefär 500 000 kr/år åt företaget (LAVA-kalkyl, se sektion 3.2). I svensk fjärrvärmes artikel "Avkylning i ett fjärrvärmesystem" så används en sänkning på 5°C ofta som ett exempel och rimligt mål att använda för att nå bra resultat (Forsslund et al 2000). En sådan sänkning av returtemperaturen skulle alltså spara omkring 2,5 miljoner kr/år åt Sandviken Energi. Sådant resultat frigör mycket stora medel för investering.

Enligt en undersökning som gjordes på Umeå Energi 2007 (Ödin 2007) så påverkas rökgaskondensering mest av en sänkt returtemperatur. Men även elproduktionen och förluster i fjärrvärmenätet påverkas positivt. Samma rapport beskriver även hur en ren sänkning av framledningstemperaturen inte är någon kostnadseffektiv metod för att sänka returtemperaturen då bland annat ökade kostnader för pumpdrift överstiger fördelar. (Ödin 2007) Så istället för att sänka framledningstemperaturen så kan returtemperaturen sänkas genom att förbättra kundernas anläggningar vilket stöds av undersökningar som (Pirouti et al 2013)

1.4.1 Fel hos kund som skapar hög returtemperatur

Returtemperaturen kan sänkas på de flesta av anläggningar som finns ute på nätet och en hög returtemperatur kan skapas av lite olika förhållanden. En enkel sketch av de komponenter som är relevanta i detta avsnitt visas i Figur 1 nedan.



Figur 1: Enkel sketch värmväxlare med komponenter

1.4.1.1 Reglerventiler

En mycket hög returtemperatur med ett dåligt ΔT uppstår ofta då en reglerventil på primärsidan fastnat och står helt öppen. Det här problemet kan vara svårt att hitta då det inte vanligtvis påverkar kundens användning (Forslund et al 2000). Under sommarhalvåret kan dock detta problem skapa farliga förhållanden där varmvatten nästan når kokpunkt så problemet borde åtgärdas omgående av andra skäl än returtemperatur.

1.4.1.2 Reglerfel och igensatta filter primärsida

Dessa fel påverkar kundens komfort och borde alltså hittas och rapporteras av kunden relativt omgående. Alltså är dessa fel ganska ointressanta då det gäller att hitta fel på kundens anläggning.

1.4.1.3 Reglerfel sekundärsida

Hos de flesta kunder så saknas kompetens att reglera och köra en anläggning på bästa sätt (Forslund et al 2000). Dessa fel påverkar vanligtvis fjärrvärmebolagen mer än kunden, speciellt om flödestaxa ej införts. Det är i största grad i fjärrvärmebolagens intresse att utbilda, hjälpa och

kanske till och med investera i kundens anläggning för att den ska köras på rätt sätt. Då en anläggning styrs på rätt sätt så höjs avkylningen på värmeväxlaren(Gustafsson et al 2009) vilket är åtrovärt för både kund och leverantör.

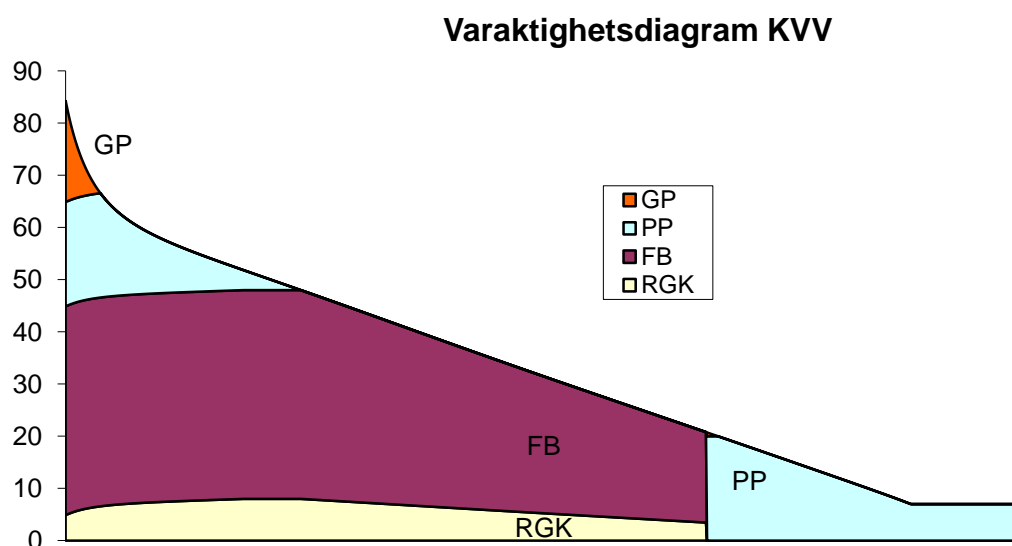
1.4.1.4 Fel vid installation

Då en kund kopplas på fjärrvärmenätet så skapar det ofta precis som i alla andra arbeten problem. Dessa problem löses inte alltid på rätt sätt och små misstag ligger kvar i bakgrunden, det kan vara t ex en felplacerad givare till varmvatten. Även om en installation har gjorts helt rätt tekniskt så kan problem som överdimensionering komma tillbaka och påverka returtemperaturen på ett negativt sätt under senare år då regleringen inte funkar som den ska p.g.a. just denna överdimensionering.

1.5 Anläggningsbeskrivning

För att få en uppfattning om hur denna analys har gjorts så måste en nuläges beskrivning av Sandviken Energi och deras produktionsanläggningar göras. Denna nulägesrapport kommer att fokusera på nätet i Sandviken och produktion vid deras kraftvärmeverksanläggning i Björksätra Sandviken.

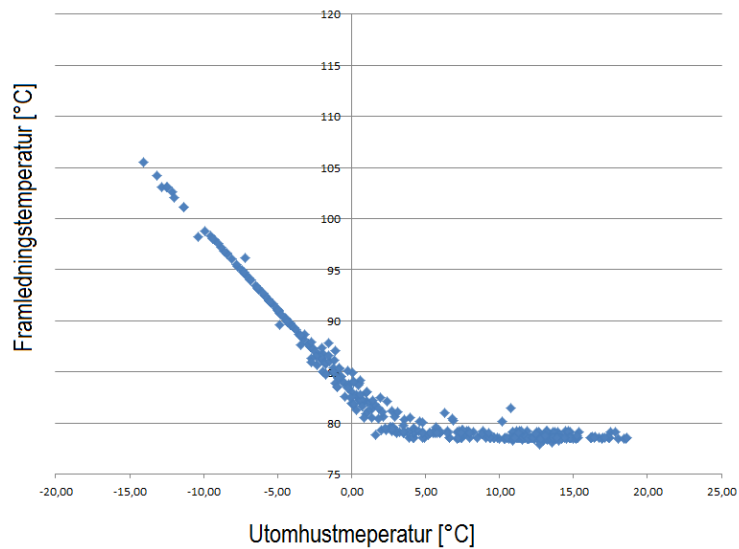
Björksätra kraftvärmeverk producerar ungefär 220 GWh fjärrvärme och 20 GWh el varje år. Anläggningen eldar torv, pellets, bark, spån och flis men även olja och gasol framförallt under kallare perioder. Effekten på anläggningen är cirka 100 MW och är dimensionerad för ett tryck på 20 bar och 450°C. Turbinen som producerar el på kraftvärmeverket har en effekt på 5 MW. Anläggningen består av två fastbränslepannor(FB1 och FB2) på 20 MW, två pellets pannor(PP1 och PP2) på 10 MW, två olja/gaspannor(GP 4 och GP5) på 25 MW och en ren oljepanna(OP3) på 25 MW. I Figur 2 nedan visas ett grundläggande diagram som visar ungefär hur kraftvärmeverket i Björksätra kör sin produktion från högsta last(till vänster) till min minsta last(till höger).



Figur 2: Varaktighetsdiagram Kraftvärmeverk Björksätra

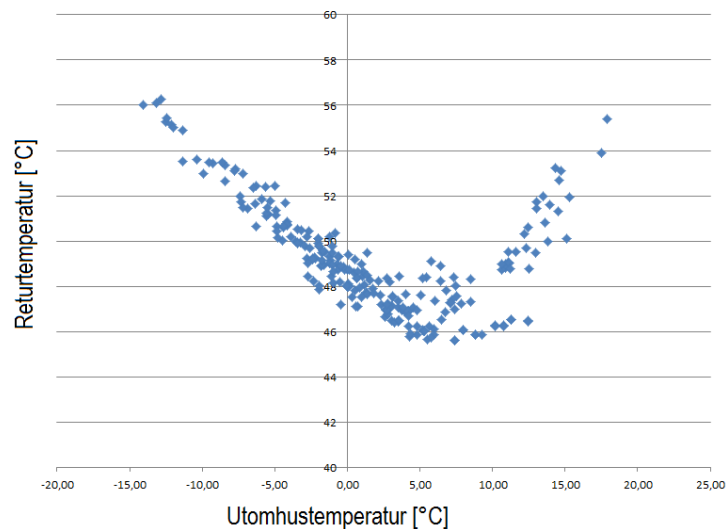
Det är FB1 och FB2 som producerar all energi som används för elproduktion samt det mesta av fjärrvärmen vilket kan observeras i Figur 2. Energi frigörs från bränslet då det förbränns i kombination med en fluidiserad sandbädd som håller en temperatur på 850° C. Den energi som frigörs används för att värma upp vatten som cirkulerar igenom pannan.

Fjärrvärmenätet i Sandviken opererar på en framledningstemperatur mellan 120°C och 80°C beroende på utetemperatur. I Figur 3 nedan så visas förhållandet mellan framledningstemperatur och utetemperatur.



Figur 3: Dygnsmedelvärden utomhustemperatur mot framledningstemperatur i Sandviken

Returtemperaturen är mycket mer beroende av hur nätet är uppbyggt och kundernas behov samt fjärrvärmecentral och sekundärsystem (Sandström 2013). Det är inte något linjärt eller simpelt förhållande som med framledningstemperatur, istället så ser förhållandet ut som Figur 4 nedan.



Figur 4: Dygnsmedel utomhustemperatur mot returtemperatur i Sandvikens kommun

Fjärrvärmenätet i Sandviken har även ett antal anläggningar som är påkopplade på returledning istället för framledning. De flesta av dessa anläggningar är markvärmeanläggningar. En påkoppling på returen görs alla gånger det finns möjlighet till detta eftersom det är en väldigt bra metod för sänkning av returtemperatur.

Enligt Andersson och Winestedt (Andersson, Winstedt 2011) så vill kunderna ha mer möjlighet att påverka sitt fjärrvärmepris. Sandviken Energi har lyssnat på marknaden och nyss infört en ny prismodell. Den nya prismodellen gäller för abonnenter som är så kallade juridisk person och använder avlästa timvärden för att sedan beräkna ett timmedelvärde för effekt över ett dygn. Mätvärden som skapas mellan första oktober och sista april används sedan för att skapa ett diagram med effekter mot utetemperatur. Sedan beräknas en linjär ekvation baserat på detta diagram och en effekt bestäms vid -16°C . Effekten används sedan tillsammans med abonnentens energianvändning för debitering. Resterande abonnenter som inte har fått den nya prismodellen debiteras baserat på en bestämd effekt vid påkopplingstillfället och deras uppmätta energianvändning. Något som inte ingår i någon av dessa debiteringsmetoder är en flödestaxa. Flödestaxa är en taxa som används för att debitera även flödet som går igenom kundanläggningen. Taxan brukar användas för att främja en energianvändning med en effektiv avkyllning d.v.s. mindre flöde. För mer information om Sandviken Energis prismodell besök sandvikenenergi.se.

2 Teori

I den här delen presenteras olika beräkningsmetoder, ekvationer och teorier som använts eller stödjer antaganden gjorda i detta arbete.

2.1 Effektivitet på kundanläggning

Enligt Ottosson och Wollerstrand m.fl så är det som kommer definiera nästa generations fjärrvärme "lägre energianvändning från byggnader, låga temperturnivåer (ner mot 60°C eller lägre) i fjärrvärmenäten och flexibel tillförsel av värme till fjärrvärmenäten"(Ottosson et al 2012). För att dessa mål ska kunna nås så måste bland annat temperturnivåer på kundens sekundäranläggning sänkas.

För att få en uppfattning om vilka sänkningar som är teoretiskt möjliga så är det bra att börja med termodynamikens huvudsats, värmeenergi överförs spontant ifrån högtemperatur till lågttemperatur, alltså måste vattnet i radiatorkretsen vara minst 20°C (medeltemperaturen i hemmet) för att det inte ska fungera som kylning(Averfalk 2014). Så låga framledningstemperaturer som 40°C har testats på sekundärsidan och fungerar på en villa i Danmark (Brand, Svendsen 2013). Under sådana förhållanden så behövs bara en framledningstemp på ungefär 50°C med bästa möjliga utfall. Detta gäller dock bara för uppvärmning, det är ett annat fall med varmvatten.

Varmvatten har risk för bakterien legionella som trivs bäst vid ungefär 32°C. Legionella bakterien slutar sin tillväxt någon grad under 50°C så varmvattnets lägsta temperatur borde inte underskrida 50°C. Detta ökar kravet på fjärrvärmedistributören till ungefär 55°C (Averfalk 2014).

Av en utredning som gjordes av Peterson (Peterson 1984) så framgår det att radiatorsystem historiskt sett varit väldigt överdimensionerad. Orsakerna till detta varierade men berodde ofta på ofullständiga meteorologiska underlag samt en mänsklig faktor som gjorde att påslag och ökade radiatoreffekter mer än nödvändigt blev vanligt.

För att åstadkomma en sänkning av temperaturen på sekundärkretsen kan system som NODA användas. NODA analyserar bland annat byggnadens tröghet för att på ett bättre sätt reglera värmebehovet istället för att gå strikt på utetemperatur(Myrendal, Olgemar 2010). Om injusteringar som NODA genomförs så kommer säkerligen avkylningen i anläggningen påverkas positivt, det finns många exempel som stödjer det.

En injustering av radiatorsystemet utfördes på två fastigheter i Borås och det ökade årsmedelavkylningen med 2,4°C (Pettersson 2000) och en injustering gjordes på tre olika fastigheter i Göteborg där en av fastigheterna sänkte energianvändningen med 15 %, den andra fastigheten ökade årsmedelavkylningen med 5°C och på den tredje fastigheten så slutade klagomål om bristande komfort helt(Trüschel 2005).

Den tidigare nämnda Wollerstrand utförde ytterligare ett arbete(Wollerstrand et al 2007), denna gång i samarbete med Ljunggren och Johansson, där de använde teoretisk härledning av styrkurvor för optimal reglering för att få fram en regleralgorithm. Regleralgorithmen styr varvtalsregleringen på cirkulationspumpen för att kombinera varierande temperatur och flöde som funktion av lasten. Med denna metod tillämpad kan årsmedelavkylningen i växlaren sänkas med 5°C. Denna metod precis som NODA påverkar alltså bara anläggningen positivt. Detta stöds ytterligare av undersökningar som (Gabrielaitiene et al 2006), (Gustafsson et al 2011) och (Wollerstrand, Lauenburg 2014) som fokuserar på lägsta möjliga temperatur i såväl sekundärnätet hos kund som fjärrvärmeleverantörens primärnät.

2.2 Returtemperaturens påverkan

Här beskrivs teori och ekvationer för de olika delar av fjärrvärmenätet som påverkas av en sänkt returtemperatur

2.2.1 Rök-gaskondensering

Under rök-gaskondensering så frigörs energi från rökgaser genom en kylning där fjärrvärmevatten används som kylmedel(Gustavsson 2013). Rök-gaserna kyls till daggpunkt och kondenserar för att sedan släppas ut i avlopp. En anläggning som kraftvärmeverket i Björksåtra är perfekt för rök-gaskondensering eftersom mycket torv eldas vilket ger rökgaserna relativt hög vatten- samt vätehalt (Gustavsson 2013). Rök-gaskondensering höjer en produktionsanläggning totala

effektivitet då den på ett bra sätt tar vara på mer energi från bränslen som eldas men kan även ses som en miljökomponent eftersom den även sänker utsläpp. (Hebenstreit et al 2014)

I de flesta kraftvärmeanläggningar så är returtemperaturen den lägsta temperaturen tillgänglig, därför är den perfekt för att använda vid kylning för de 3-8% av bränslets energi som finns i rökgaserna (Xu et al 2013). Effektiviteten på rökgaskondenseringen påverkas framförallt av, som nämnt ovan, bränslets fukthalt och temperaturen på returvattnet. För att en effektiv kylning ska ta plats så borde returtemperaturen vara ungefär 50°C eller lägre. Bränslet påverkar effektiviteten på rökgaskondenseringen på ytterligare ett plan och det är genom den vattenånga som bildas vid oxidation av väte. Mängden väte i bränslet påverkar alltså hur mycket vattenånga som frigörs vilket påverkar värmeväxlingen på samma sätt som fukthalten (Wester 2001).

Sandström (Sandström 2013) beskriver effekttaget P_{rgk} från rökgaskondensering som kan värmväxlas med fjärrvärme som

$$P_{rgk} = \dot{m}_{rgk} \times C_p \times \Delta T_{rgk} \quad [6]$$

$$\Delta T_{rgk} = T_{fjv,efter} - T_{retur} \quad [7]$$

där \dot{m}_{rgk} är massflödet [kg/s] på fjärrvärmereturen genom värmväxlaren, C_p står för specifik värmekapacitet [kJ/kg°C] och som beskrivit i ekvation 7 så står ΔT_{rgk} [°C] för temperturskillnaden på fjärrvärmereturen före och efter värmväxlaren. Som tydligt beskrivit i ekvation 7 så påverkas effekttaget i rökgaskondenseringen av temperaturen på fjärrvärmereturen. En lägre returtemperatur innebär högre ΔT_{rgk} vilket i sin tur resulterar i högre P_{rgk} som gör hela produktionen märkbart effektivare (Sandström 2013).

Ekvation 6 kan användas för att beräkna konsekvenserna av en sänkt returtemperatur genom att göra om ekvation 7 till ekvation 8 nedan.

$$\Delta T_{rgk} = T_{fjv,efter} - (T_{retur} - T_{sänkt}) \quad [8]$$

där $T_{sänkt}$ står för hur mycket returtemperaturen sänks. Detta skulle ge ett nytt lägre värde för P_{rgk} och skillnaden mellan det nya och gamla P_{rgk} skulle kunna användas för att få en uppfattning om hur mycket annat bränsle den nya effektivare rökgaskondensorn skulle kunna ersätta. Ett antagande att fjärrvärmereturen tar upp all den energi som frigörs då rökgaserna kondenseras måste också göras för att ekvationen ska stämma (Sandström 2013).

2.2.2 Pumpdrift

Effekttag för kraftvärmeverket kan beräknas med ekvation 9 nedan.

$$P_{fjv} = \dot{m}_{fjv} \times C_p \times \Delta T \quad [9]$$

$$\Delta T = T_{fram} - T_{retur} \quad [10]$$

där C_p är specifik värmekapacitet [kJ/kgK], \dot{m}_{fjv} är flödet genom fjärrvärmenätet [kg/s] och ΔT [°C] är temperturskillnaden mellan framledning och retur som beskrivit i ekvation 10 ovan. Om

T_{retur} sänks så kommer ΔT att öka och därmed kommer P_{fjv} att öka så länge \dot{m}_{fjv} inte sänks. Det är rimligt att anta att fjärrvärmenätet i Sandviken inte kräver mer effekt om bara T_{retur} sänks så därför antas P_{fjv} vara konstant. Om P_{fjv} är konstant så måste \dot{m}_{fjv} sänkas vilket också är fallet. En sänkning av flödet genom fjärrvärmenätet kommer att kräva mindre drift av pumpar både från kraftvärmeverket och pumpstationer.

2.2.3 Förluster till mark

Ett fjärrvärmenät är ingen perfekt värmeväxling med kundens anläggning, det finns mycket förluster under leveransen som fjärrvärmeleverantören inte får betalt för. Förluster beror framförallt på fyra faktorer, rörens dimension, rörens isolering, framlednings och returtemperatur samt hur nätet är uppbyggt (Frederiksen, Werner 1993). Utan en ombyggnation så kan varken rörens dimension, rörens isolering eller nätets uppbyggnad ändras. Det enda som finns kvar är alltså framledningstemperatur och returtemperatur. Ekvation 11 nedan beskriver de kulvertförluster som finns i fjärrvärmenät (Cengel 2006).

$$P_{förluster} = \left(\frac{T_{fram} - T_{retur}}{2} - T_{mark} \right) \times U \times A \quad [11]$$

där T_{fram} är framledningstemperatur [$^{\circ}\text{C}$], T_{retur} är returtemperatur [$^{\circ}\text{C}$], T_{mark} [$^{\circ}\text{C}$] är marktemperatur, U är värmeövergångskoefficient [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] och A [m^2] är rörens area mot mark. Precis som beskrivit ovan så är de enda faktorerna som kan ändras (utan stor investering) i ekvation 11 T_{fram} och T_{retur} vilket ger dessa en stor roll i sänkningen av förluster till mark.

2.2.4 Leveranskapacitet

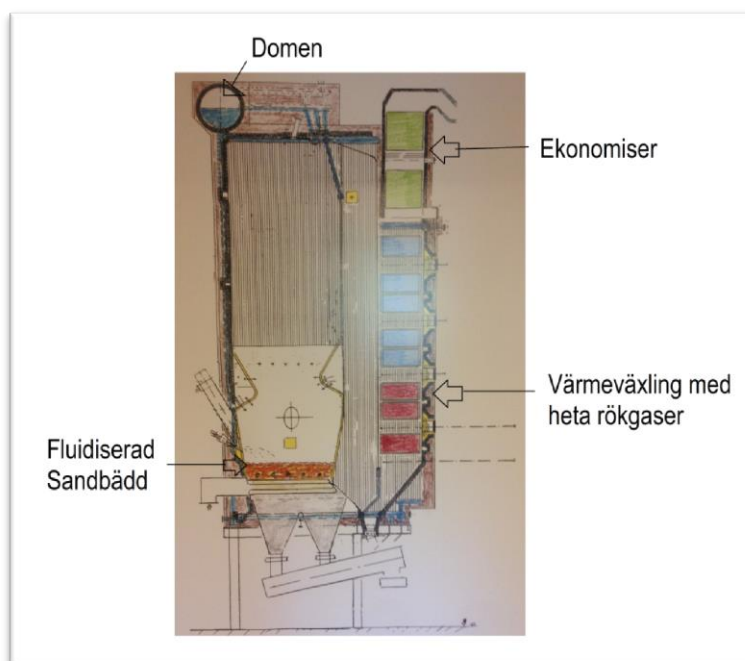
Ekvation 9 kan användas för att påvisa hur P_{fjv} ökar om \dot{m}_{fjv} är lika och T_{retur} sänks. Detta betyder att en sänkt returtemperatur ökar kraftvärmeverkets effektkapacitet. Den ökade effektkapaciteten kan användas för att förhindra användning eller åtminstone minska användningen av olja och gas som är väldigt dyra att använda.

2.3 Produktion

Här beskrivs produktionen i FB1 och FB2 samt den rökgaskondensering som körs för att maximera effektiviteten på produktionen.

Uppvärmningsprocessen börjar vi det som kallas mavatanken. Mavatanken används för att både tillföra nytt vatten (förluster och ånga som använts i produktionssyften måste kompenseras) och behandla vatten som är i cirkulation. Vattnet skickas sedan vidare från mavatanken till det som kallas ekonomisern. Vid ekonomisern förväms vattnet till pannan av rökgaser som redan kylts av andra processdelar. Efter ekonomisern så skickas vattnet vidare till domen. Domen innehåller både det förvärmade vattnet och torr mättad ånga från senare processer. Domen fungerar ungefär som en buffert som kan användas för att hålla processen igång om något går lite fel. Från domen så skickas sedan vattnet ner i falltuber på utsidan av pannorna. Vattnet går in i fördelningslådor

som sedan skickar vidare vattnet upp genom pannan i det som kallas stigartuber. Det är dessa stigartuber som förser den tidigare nämnda domen med torr mättad ånga. Ångan skickas sedan från domen ner till värmewäxling med heta rökgaser där ångan blir överhettad ånga. Ångturbinen använder sedan den här överhettade ångan till att producera så mycket el som den kan och efter den processen är klar så skickas ångan vidare till kondensorn. I kondensorn så används returvattnet från fjärrvärmens för att kyla och kondensera den ånga som blir kvar efter elproduktion. Vattnet skickas sedan tillbaka till mavatanken för behandling så att processen kan påbörjas igen. I och med den här raden av processer så används alla tre former av energiöverföring, strålning, ledning och konvektion. Figur 5 nedan visar några av de processdelar som nämnts ovan samt ger en enkel bild av hur FB1 och FB2 är uppbyggda.



Figur 5: Enkel beskrivning FB1 och FB2

De rökgaser som har passerat ekonomisern har fortfarande användbar energi och den här energin tas vara på vid rökgaskondenseringen. Rökgaskondenseringen är i princip tuber som fylls med rökgaser och omges av returvattnet från fjärrvärmens. Rökgaserna kondenserar och bildar skikt i tuberna så att vattnet i botten kan tappas ur ner i det som kallas slutneutraliseringstank. Där behandlas och neutraliseras rökgaskondensat så att det sedan kan släppas ut i avlopp. Rökgaser som inte kondenserat släpps ut i skorsten. Rökgaskondensering körs i stort sätt alltid när någon av fastbränslepannorna går. Det är endast vid unika drifttillfällen som rökgaskondenseringen måste slås av p.g.a. att ackumulatortanken håller på att fyllas.

3 Metod

Här beskrivs de steg som tagits och de verktyg som använts för att kunna utföra denna utredning.

3.1 Hantering och beräkning i excel-kalkyl

Sandviken Energi debiterar sina fjärrvärmeabonnenter tio gånger om året. Debitering görs alla månader förutom Juni, Juli och Augusti som körs som en debitering p.g.a. den låga energianvändningen under sommaren. Då en debitering genomförs så måste månadsvärden samlas in via radio som körs runt med bil. Sandviken är uppdelat i olika distrikt som körs och läses av var och en för sig. Totalt så finns det 21 distrikt men två av dessa är Storvik och Järbo. Det finns alltså 19 distrikt i Sandviken. Då ett distrikt läses in så skapas två olika sorters filer som innehåller avläsningsinformation. Det som skiljer dessa två avläsningsfiler är protokollet som används vid radioavläsning och det protokoll som används bestäms av typen av integreringsverk som sitter hos abonnenten. De två olika protokollen kallas för 531-protokoll och 539-protokoll. För att få hanterbar information ur dessa filer, som i sitt original format är xml-dokument(rena datafiler), så måste de konverteras till rlv-filer som kan öppnas av bland annat Microsoft Excel. I Excel så har sedan samtliga 531-protokoll sammanställs i en flik och samtliga 539-protokoll sammanställs i en flik(19 olika rlv-filer sammanställs i varje flik). Ytterligare en handpåläggning har sedan gjorts för att sammanfoga 531-fliken med 539-fliken så att en flik representerar alla avläsningsfiler under en avläsning. Denna process har upprepats för samtliga avläsningar från 2012-01-01 till 2014-01-01. Det blir totalt 760 avläsningsfiler i 20 flikar som är organiserade månadsvis. För att få information som går att hantera på ett bättre sätt så har sedan varje flik igen hanterats för att hämta den information som är användbar i det syfte som denna undersökning har. Den information som valts som väsentlig är abonnentnumret(används för att identifiera anläggningen), energimätarställningen, flödesmätarställningen, momentan temperatur in och momentan temperatur ut. Formatet på varje månadaavläsning ser nu ut som Tabell 1 som visas nedan.

Tabell 1: Format Excel-flik

Abonnr	Mätarställning Energi	Mätarställning Volym	Temp in	Temp ut
225	100	110	70.5	40.4
986	200	120	87.1	31.0
1266	300	130	45.0	35.6
1567	400	140	55.2	33.6
1839	500	150	87.3	35.8

För att ytterligare förenkla hanteringen och användningen så har sedan alla 20 flikar slagits ihop till en enda flik som nu alltså innehåller information för hela spannet 2012-01-01 till 2014-01-01. Denna flik innehåller nu all användbar information från 760 avläsningsfiler och totalt ungefär 200 000 celler med information. För att säkerställa att mätdata är rätt placerat, är i korrekt format och innehåller korrekt information så används en rad olika ekvationer. Dessa ekvationer innebär ett tillägg på ungefär 80 000 celler så filen innehåller nu cirka 280 000 celler. En del av informationen har dock nu identifierats som felaktig och kommer att uteslutas i nästa del av analysen. Exempel på fel som stoppas är negativa värden, mätarställningar som är lägre än föregående månad, och orimligt höga mätarställningar eller momentanvärden för temperatur in och ut.

För att sedan få ut användbar information som kan ställas mot jämförelsebara värden så har månadsanvändningen för både energi och flöde samt ett värde för temperaturskillnad(ΔT) räknats ut. Månadsanvändningen räknades helt enkelt ut genom att ta det senare värdet minus det tidigare värdet, se exempel i Tabell 2 nedan. Eftersom felvärden redan har tagits bort i det tidigare steget så är det enda kravet för att den här beräkningen ska fungera att det finns värden för både månad 1 och 2.

Tabell 2: Exempel beräkning månadsanvändning

Abonnr	Mätarställning 1	Mätarställning 2	Månadsanvändning = Mätarställning 2 - Mätarställning 1
123	1937	4151	2214

Beräkningen av ΔT gjordes på ett lite mer komplicerat men fortfarande relativt enkelt sätt. För att få ett värde på ΔT som representerar månaden så har ekvation 1 nedan använts.

$$E = m \times \Delta T \quad [1]$$

där E står för energianvändning[kWh], m står för flöde [$m^3/månad$] och ΔT står för temperaturskillnad mellan framledning och retur[$^{\circ}C$]. Eftersom månadsanvändningen kan beräknas för både energi och flöde så är det bara ΔT som är okänt. Ekvation 1 kan alltså göras om till ekvation 2 nedan.

$$\Delta T = \frac{E}{m} \quad [2]$$

där E står för energianvändning[kWh], m står för flöde [$m^3/månad$] och ΔT [$^{\circ}C$] står för temperaturskillnad mellan framledning och retur. Ekvationen ovan samt beräkningen som visas i Tabell 2 används sedan för att få fram de värden som behövs för att analysen ska kunna fortsätta.

De värden som finns tillgängliga nu är månadsanvändning för energi och flöde, en beräknad temperaturskillnad samt momentanvärden för temperatur in och ut. Månadsanvändningen för flöde beräknades enbart för att ett ΔT skulle kunna beräknas och det värdet har nu inte längre något syfte för analysen så det utesluts. Temperatur in hämtades för att på ett enkelt sätt kunna beräkna ΔT men en bättre metod hittades så därför är även det värden nu ointressant för den här analysen och kan uteslutas.

Nästa steg är att identifiera de anläggningar som har ett högt värde för temperatur ut. En konstant skulle kunna sättas och användas till att identifiera anläggningar med möjliga t ex konstant sätts till $50^{\circ}C$ och om värden är över $50^{\circ}C$ så identifieras de som dåliga. Men precis som Figur 3 och Figur 4 visar att olika temperaturer är acceptabla vid olika driftförhållanden så kommer inte en konstant att funka på ett bra sätt. Istället beräknas medelvärden för temperatur ut på hela kollektivet. Medelvärdet är ett ganska bra värde att använda då det representerar vilken temperatur som är rimlig för en kundanläggning att skicka tillbaka under en viss period. Nu måste fel utskiljas från fel. Analysen kan inte visa samma sak för en anläggning som har temperatur på fem grader över medel som en anläggning som har en temperatur på trettio grader över medel.

Istället beräknas skillnaden mellan kollektivets medeltemperatur och kundens temperatur, se ekvation 3 nedan.

$$(Temp_{ut\ medel} - Temp_{ut}) = Temp_{över} \quad [3]$$

$Temp_{över}$ som beräknas ovan kan nu användas för att vika vilka anläggningar som ska identifieras med hjälp av $Temp_{ut}$. Det finns två till faktorer som är viktiga att inkludera för att ytterligare zooma in på rätt typ av anläggning, dessa faktorer är storlek och ΔT .

Storleken på anläggningen kan undersökas med hjälp av bland annat energianvändningen. Energianvändningen under en månad kan även användas för att vika ett fel en månad mot ett annat fel en annan månad, se exempel nedan.

Månad 1.

$$Temp_{över} = 40 \text{ °C} \quad \text{Energianvändning} = E = 10 \text{ MWh}$$

Månad 2.

$$Temp_{över} = 20 \text{ °C} \quad \text{Energianvändning} = E = 100 \text{ MWh}$$

Även om Månad 1 har ett mycket högre $Temp_{över}$ så borde fokus ligga på Månad 2 p.g.a. att den har mycket högre effekt på nätet i och med att den har tio gånger så stor energianvändning som Månad 1. För att ta hänsyn till detta så används ekvation 4.

$$(Temp_{över}) \times E \quad [4]$$

där $Temp_{över} [^{\circ}\text{C}]$ är definierat av ekvation 3 och $E [\text{kWh}]$ står för energianvändningen. Ekvation 4 ovan tar nu hänsyn till både temperatur ut från anläggningen och energianvändningen. Den faktor som saknas nu är ΔT . Eftersom en anläggning med högt ΔT är bättre än en anläggning med lågt ΔT så kan inte multiplikation användas som ovan. Istället för multiplikation så kan division användas på följande vis:

$$\frac{(Temp_{över}) \times E}{\Delta T} \quad [5]$$

där $Temp_{över} [^{\circ}\text{C}]$ är definierat av ekvation 3, $E [\text{kWh}]$ står för energianvändningen och $\Delta T [^{\circ}\text{C}]$ står för temperaturskillnaden som definierats i ekvation 2. Ekvation 5 tar hänsyn till alla tillgängliga faktorer för identifiering av anläggningar med kylningsproblem som påverkar nätet på ett avsevärt sätt.

En beräkning på samtliga anläggningar i Sandvikens fjärrvärmenät har sedan gjorts med den framtagna ekvationen (ekvation 5). Varje anläggning har en separat beräkning för varje månadsavläsning alltså maximalt 20 värden. Det kan vara färre än 20 värden p.g.a. tidigare

felvärden, och därför beräknas ett medel av alla tillgängliga värden som används för att bestämma vilka anläggningar som ska fokuseras. Beräkningen av medeltalet är den sista beräkning som behövs och en lista på vilka anläggningar som ska åtgärdas finns nu tillgänglig med bästa prioriteringsordning som är åtkomlig med beräkning.

Efter beräkningen så har en genomgång av de första 50 anläggningarna på listan gjorts för att manuellt kunna utesluta t ex markvärmeanläggningar som inte är lämpliga för sänkning av returtemperatur då de i sig många gånger används som medel för att sänka returtemperatur.

3.2 LAVA-kalkyl

2011 så gjorde Fjärrvärmebyrån en så kallad LAVA-kalkyl av Kraftvärmeverket i Sandviken. Lava-kalkylen är ett verktyg som togs fram av Svensk Fjärrvärme för att förenkla beräkningen av vilka kostnadsbesparingar och utsläppsänkningar som kan göras i ett fjärrvärmenät då temperaturnivåerna förändras. Temperaturförändringar innefattar både sänkning av returtemperatur och framledningstemperatur (Selinder, Walletun 2011). En sänkning av returtemperaturen är dock det enda som kommer att användas i denna rapport.

Kalkylen hanterar allt relevant som förändras av en sänkt returtemperatur. Det innefattar:

- Maximalt effektuttag för produktionsanläggningen (ökad leveranskapacitet)
- Rörliga produktionskostnader
- Rök-gaskondensering
- Elproduktion
- Pumpkostnader
- Förluster till mark

Kalkylen tittar även på de nackdelar, som är få, t ex låga tappvarmvattentemperaturer under sommarhalvåret som kan uppstå i fjärrvärmenätets ytterområden p.g.a. för låga flöden.

Det första som görs i kalkylen är en ordentlig nulägesbeskrivning. Nulägesbeskrivningen beskriver produktionsanläggningen i detalj med körschema och prioriterade produktionsenheter, bränslekostnader, framlednings- och returtemperatur, elproduktion och en rad andra indata som är relevanta för beräkningar.

Efter att nulägesbeskrivningen gjorts så hanteras indata och vissa beräkningar görs för att verifiera att indata korrekt representerar produktionsanläggningen och dess fjärrvärmenät.

Önskade förändringar i systemet matas sedan in och kalkylen gör sitt. Förändringarna som hanterats i detta arbete är endast en sänkt returtemperatur och beräkningar i kalkylen har gjorts vid sänkt returtemperatur -1 °C till -5 °C . I Tabell 3 nedan visas nya intäkter efter sänkt returtemperatur under olika perioder under året.

Tabell 3: Nya intäkter efter sänkt returtemperatur

	Fr.o.m.	T.o.m.	-1	-2	-3	-4	-5
Period 1 :	2010-01-01	2010-01-31	189 660	377 811	564 851	750 889	933 626
Period 2 :	2010-02-01	2010-02-28	136 694	279 948	411 852	541 275	656 624
Period 3 :	2010-03-01	2010-03-31	49 288	101 646	153 246	204 982	245 295
Period 4 :	2010-04-01	2010-04-30	31 336	62 746	91 269	112 093	141 246
Period 5 :	2010-05-01	2010-05-31	21 963	43 577	62 717	76 916	97 972
Period 6 :	2010-06-01	2010-06-30	3 937	7 873	11 808	15 743	19 677
Period 7 :	2010-07-01	2010-07-31	6 497	6 046	12 091	18 383	24 038
Period 8 :	2010-08-01	2010-08-31	4 651	9 301	13 684	18 005	22 325
Period 9 :	2010-09-01	2010-09-30	7 594	15 188	22 780	30 372	37 616
Period 10 :	2010-10-01	2010-10-31	17 856	43 018	58 311	76 643	100 259
Period 11 :	2010-11-01	2010-11-30	83 190	152 108	234 716	302 751	378 324
Period 12 :	2010-12-01	2010-12-31	199 362	393 948	578 414	744 299	899 264
		Summa:	752 028	1 493 210	2 215 740	2 892 351	3 556 265

Summan som visas längst ner i varje kolumn representerar de nya intäkter som den sänkta returtemperaturen ger. Denna siffra representerar dock inte det som företaget tjänar på en sänkt returtemperatur eftersom inga tillkomna kostnader i produktion inkluderas i siffran. En uträkning har även gjorts som inkluderar även ytterligare kostnader och det är den siffran som är viktigt inför ett investeringsbeslut. Dessa siffror finns tillgängliga i Tabell 4 nedan. De beskrivs i tabellen som vinst men inkluderar ingen investeringskostnad, de kan dock användas för att skapa sig en uppfattning av hur mycket som kan investeras.

Tabell 4: Vinst efter sänkt returtemperatur

Sänkt Retur	-1	-2	-3	-4	-5
Vinst	630 920	1 252 112	1 855 206	2 413 435	2 959 740

Vinsten stiger kontinuerligt men stigningen avtar med varje sänkt grad, därför är det fel att tänka att man tjänar 630 920 kr för varje sänkt grad för så är inte fallet. Det är bara den första sänkta graden som ger en vinst på 630 920, om ytterligare en grad sänks så ger den gradsänkningen en vinst på 621 192, se mer värden i Tabell 5 där ökning representerar den vinst som genereras av just den sänkningen.

Tabell 5: Ökning av vinst efter sänkt returtemperatur

	0 till -1	-1 till -2	-2 till -3	-3 till -4	-4 till -5
Ökning	630 920	621 192	603 095	558 229	546 305

Eftersom dessa siffror endast är beräknade och inte kommer att stämma helt med verkligheten så är det onödigt att lägga ner mycket tid på att analysera tusenlappar men en uppskattning på hur mycket Sandviken Energi tjänar per sänkt grad kan ändå vara användbart. Utav informationen som finns i Tabell 5 så kan en uppskattning göras på att Sandviken Energi kommer tjäna ungefär 500 000 kr per sänkt grad i returtemperaturen. Detta kan uppfattas som lite av ett underslag mot

de siffror som presenteras i Tabell 5 men man måste komma ihåg att de värden som presenteras inte är fakta och kommer kunna både stiga och sjunka vid en verklig förändring.

Tidigare introducerades användningen av Tabell 4 som en bas till ett investeringspotential. Investeringspotentialen kan användas för att uppskatta hur mycket den här förändringen av returtemperatur är värd över en längre tid vilket skulle ge en grund för hur mycket en investering får kosta utan att överstiga vinster. I Tabell 6 nedan så har investeringspotential beräknats med hjälp av den så kallade nuvärdesmetoden. De värden som beräknats för användning i Tabell 6 baseras på en kalkylränta på 5 % och ett antagande att returtemperatursänkningen kommer att hålla i 10 år vilket ger ett nuvärde på 7,72. Detta multipliceras med värden i Tabell 4 för att få de värden som presenteras i Tabell 6.

Tabell 6: Investeringspotential efter sänkt returtemperatur

	-1	-2	-3	-4	-5
Investeringspotential	4 870 703	9 666 302	14 322 193	18 631 722	22 849 193

Vid en returtemperatursänkning på 5 °C så skulle alltså Sandviken Energi kunna investera ungefär 20 miljoner kronor och fortfarande gå med vinst. Det ger ett stort utrymme för investering och ett ännu större potential till att öka vinster.

Precis som förväntat så ger en effektivare rökgaskondensering störst vinst enligt beräkningar i LAVA-modellen vilket stöds ytterligare av undersökningar som (Kylén, Hejde 2010) där det beskrivs hur en effektivare rökgaskondensering är nyckeln till effektivisering av ett modernt kraftvärmeverk.

4 Resultat

I den här delen av rapporten presenteras de identifierade anläggningarna och de åtgärdsförslag som är passande. Ingen information som kan användas för att identifiera kunden presenteras i detta kapitel, istället har numrering angetts till varje anläggning beroende på vart de hamnat i prioriteringen.

4.1 De värsta fem

Här presenteras information om de anläggningar som placerats på top 5 i listan att åtgärdas. I Tabell 7 nedan så hittas årsmedelavkylningar, medelreturtemperaturer samt storlek på dessa fem anläggningar.

Tabell 7: Storlek, årsmedelavkylning och medelreturtemperatur för de värsta fem anläggningarna

	Anl. 1	Anl. 2	Anl. 3	Anl. 4	Anl. 5	Kollektivets
Ungefärlig storlek	5000 MWh	500 MWh	250 MWh	350 MWh	450 MWh	220 000 MWh
Årsmedelavkylning 2012	35,94	8,83	4,96	7,08	26,57	43,16
Årsmedelavkylning 2013	26,63	8,78	4,31	6,80	37,11	42,80
Medelreturtemperaturen 2012	52,44	77,64	79,37	78,03	58,55	38,82
Medelreturtemperaturen 2013	59,97	75,20	75,76	74,93	44,82	38,20

Årsmedelavkylningen är medelvärde på de 10 värden som beräknas varje år med hjälp av ekvation 2 som nämns i sektion 3.1 av denna rapport. Medelreturtemperaturen är helt enkelt ett medel av de 10 returtemperaturvärden som finns tillgängliga under ett år. Storleken uppskattas med hjälp av ett program som heter Measurement for Utilities (MFU) och används för att samla in och validera mätvärden för Sandviken Energi.

4.1.1 Anläggning 1

Anläggning 1 är en väldigt stor anläggning med en årsenergianvändning på ungefär 5 GWh. Det är en av de största anläggningarna som är anslutna på Sandviken Energis fjärrvärmenät. Under 2012 hade anläggningen ingen bra avkylning, medelavkylningen låg då på 35,93 °C jämfört med kollektivets medelavkylning som samma år var 43,15 °C. En medelavkylning på 35,93 °C är som sagt inte bra men det är inte heller jättedåligt, men under slutet av 2012 så hände någonting på anläggningen och avkylning blev helt plötsligt mycket sämre. Medelavkylningen under 2013 gick ner till 26,63 °C jämfört med kollektivets då 42,79 °C. Den här försämrade avkylningen skulle kunna bero på t ex en ändring i anläggningens regleringssystem. Medelreturtemperaturen ligger på 52,44 °C under 2012 och 59,97 °C under 2013 vilket är ganska högt jämfört med kollektivets 38,82 °C och 38,20 °C. Det är ingenting förutom returtemperaturen som har märkbart ändrats under den här mätperioden. Den här anläggningen har inga jätteproblem med avkylning men dess storlek gör att de problem som finns slår hårt mot kollektivet.

Den här anläggningen kommer antagligen vara relativt enkel att åtgärda då den höga returtemperaturen antagligen orsakas av ett reglerfel. För att få en bättre uppfattning om vad som orsakar den dåliga avkylningen så måste ett platsbesök göras. Vid platsbesöket så kan också en uppskattning göras på hur mycket returtemperaturen kan sänkas på denna anläggning. Eftersom inget platsbesök har gjorts så antas att en sänkning på 10 °C kan göras vilket inte är orimligt då medelreturtemperaturen 2012 bara var lite högre än så.

4.1.2 Anläggning 2

Anläggning 2 är en stor anläggning med en årsenergianvändning på ungefär 500 MWh. Den här anläggningen är 10 gånger mindre än anläggning 1 men ändå en stor anläggning. Anläggning 2 har identifierats p.g.a. den extremt höga returtemperaturen och den väldigt dåliga avkylning som finns på anläggningen. 2012 hade anläggningen en så hög medelreturtemperatur som 77,64 °C och enskilda månadsmedelvärden så höga som 82,26 °C. Årsmedelavkylningen var så låg som

8,83°C. 2013 följde mer eller mindre samma spår med en medelreturtemperatur på 75,20°C och en årsmedelavkylning på 8,78°C.

Den här anläggningen behöver antagligen mer än en injustering för att den ska funka som den ska. Det går inte att veta vad som är fel på anläggningen utan ett platsbesök. Efter att ett platsbesök gjorts så kan en uppskattning på vad en rimlig sänkning av returtemperaturen är på denna anläggning. Även utan platsbesöket så kan en sänkning på 10°C räknas med utan att några gränser pressas. En sänkning på 10°C placerar ändå anläggningen med en retur på ungefär 65°C vilket fortfarande är mer än 25°C över kollektivets medelreturtemperatur.

4.1.3 Anläggning 3

Anläggning 3 är en stor anläggning med en årsenergianvändning på ungefär 250 MWh. Den här anläggningen är hälften så stor som anläggning 2 och 20 gånger så liten som anläggningen 1. Anläggningen är med på top fem av samma anledning som anläggning 2, extremt dålig avkylning och hög medelreturtemperatur. 2012 hade anläggning 3 en årsmedelavkylning på 4,96°C och 2013 var den så låg som 4,31°C vilket är den lägsta årsmedelavkylning som stötts på under hela analysen. Returtemperaturer som uppmäts är konstant höga och ger medelreturtemperaturer på 79,37°C och 75,76°C för 2012 respektive 2013. Årsmedelavkylningen har bara varit lägre än denna i de anläggningar som utesluts p.g.a. att de är påkopplade direkt på returen. Första intrycket av anläggning var att det är en anläggning som värms upp med returledningen men den teorin slogs ur luften då de höga medelreturtemperaturerna hittades.

En sänkning på 10°C uppfattas som rimligt även på denna anläggning vilket inte borde vara svårt att uppnå oberoende av vad som hittas vid platsbesök p.g.a. de uppenbara brister som kan identifieras redan i denna analys.

4.1.4 Anläggning 4

Anläggning 4 är även den en stor anläggning med en årsenergianvändning på ungefär 350 MWh. Precis som anläggning 2 och 3 så ligger den här anläggningen med på listan p.g.a. sin dåliga avkylning och höga medelreturtemperatur. Anläggningens årsmedelavkylning var 7,08°C under 2012 och 6,80°C under 2013 vilket är riktigt lågt jämfört med kollektivets 43,16°C och 42,80°C. Samma situation med medelreturtemperaturen som var 78,03°C under 2012 och 74,03°C under 2013 vilket igen är väldigt högt jämfört med kollektivets 38,82°C och 38,20°C.

En sänkning på minst 10°C är rimlig att anta möjlig även på denna anläggning men precis som med de tidigare anläggningarna så måste ett platsbesök göras där möjlig ökad avkylning undersöks närmre.

4.1.5 Anläggning 5

Anläggning 5 är den sista anläggning som identifierats som top 5. Anläggningen är, precis som anläggning 2,3 och 4, en stor anläggning och har en årsenergianvändning på cirka 450 MWh.

Förhållanden med avkylning och returtemperatur för den här anläggningen är ungefär lika som anläggning 1 d.v.s. ingen jättedålig avkylning eller returtemperatur men anläggningen borde ändå åtgärdas p.g.a. sin stora energianvändning. Under 2013 hade anläggningen en årsmedelavkylning på 26,57 °C och en medelreturtemperatur på 58,55 °C. Dessa förbättrades under 2013 då anläggningen hade en årsmedelavkylning på 37,11 °C och en medelreturtemperatur på 44,82 °C. Något som observerades med denna anläggning är den stora skillnaden avkylning som kan observeras från månad till månad. Anläggningen har månadsvärden för returtemperatur som är neråt 25°C och bara någon månad efter det så ligger returen på 70°C.

De svängningar i temperaturen som uppenbart existerar på anläggning 5 beror mest troligt på ett problem i styrningen vilket troligtvis skulle vara relativt billigt att åtgärda. Ytterligare information om detta problem och uppskattning av kostnader för åtgärder måste införskaffas under platsbesök.

4.2 10 °C sänkning på de 50 första

Ett antagande görs att en sänkning av returtemperaturen på 10°C kan göras på de första 50 anläggningar som identifierats. Som kan observeras i Tabell 8 nedan så har de 50 första anläggningarna hade en medelreturtemperatur på 57,84°C under 2012 och 57,40°C under 2013. Dessa siffror stödjer antagandet att en sänkning på 10 °C är möjlig då kollektivets medelreturtemperatur under 2012 och 2013 var 38,82°C och 38,20°C vilket är mycket mer än 10°C lägre än 57,84°C och 57,40°C. Denna sänkning av returtemperaturen kommer vara betydande men exakt hur mycket den kommer att påverka kollektivet måste fortfarande undersökas. För att undersöka detta så har kan flödet genom de 50 identifierade anläggningarna undersökas.

Tabell 8: Flöde, årsmedelavkylning och medelreturtemperatur för de 50 identifierade samt kollektivet

	50 identifierade	Kollektivets
Ungefärligt Flöde	24 %	100 %
Årsmedelavkylning 2012	26,04	43,16
Årsmedelavkylning 2013	25,30	42,80
Medelreturtemperaturen 2012	57,84	38,82
Medelreturtemperaturen 2013	57,40	38,20

Flödet har beräknats genom en summering av flödet igenom de 50 anläggningarna under 2013 som sedan delats med hela kollektivets flöde för att beräkna procent. De värden som använts kommer från excel-kalkylen som beskrivs i sektion 3.1. De 50 identifierade anläggningarna står alltså för cirka 24 % av flödet för hela fjärrvärmenätet. Med lite enkel matematik så kan det då räknas ut att om 24 % av flödet sänker temperaturen med 10°C så står det för en sänkning på ungefär 2,4°C på hela kollektivet.

Genom att mata in en sänkning på 2,4°C i LAVA-kalkylen (diskuteras i sektion 3.2) så beräknas en höjd vinst på 1 498 754 kr/år. Den siffran kan användas för att beräkna investeringspotential på samma sätt som Tabell 6 i sektion 3.2 beräknades. Det ger ett investeringspotential på 11 570 381 kr vilket borde räcka mer än väl för en sänkning på 10°C för dessa 50 anläggningar. Mer än 200 000 kr kan investeras i varje anläggning vilket borde vara mer än tillräckligt för att sänka returtemperaturen.

4.3 Åtgärdsalternativ

Det finns en rad olika vägar att gå för att åstadkomma bättre avkylning på de ovan identifierade anläggningarna. Nedan följer ett antal åtgärder eller upplägg som kan hjälpa kunden direkt genom en förbättring av anläggningen eller ge incitament för att kunden ska ta steget och börja en involverat samarbete med sitt energibolag.

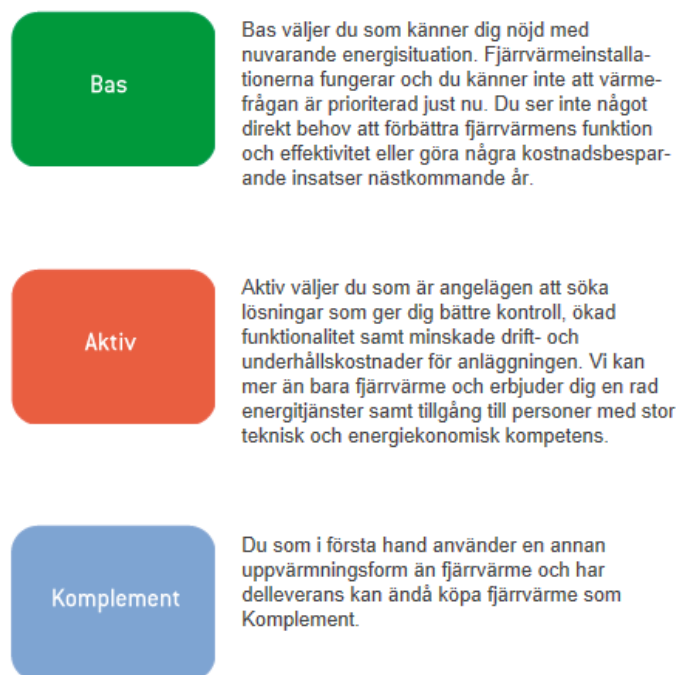
4.3.1 Införd flödesfata

Trots att större delen av svenska energibolag idag har flödestaxa för sina kunder (Difs, Trygg 2008) så har Sandviken Energi inte flödestaxa för någon av sina kunder. När den nya prismodellen infördes så var därför införandet av flödestaxa under diskussion men Sandviken Energi valde att inte införa någon flödestaxa för att hålla prissättningen så enkel som möjligt då ett antal nya parametrar redan införts. Ytterligare diskussioner om införande av flödestaxa har börjats i och med detta samt ett antal andra projekt angående sänkt returtemperatur.

En flödestaxa som är uppbyggd på rätt sätt borde täcka kostnader som tillkommer i och med en sämre avkylning på växlare. En del av den här rapporten kan användas som grund för att bestämma vilken prisklass de olika anläggningarna skulle kunna ligga på i en flödestaxa. Då syftet med denna rapport är att identifiera anläggningar som påverkar returtemperaturen på ett negativt sätt så är det rimligt att säga att dessa beräkningar även identifierar de anläggningar som kommer påverkas tyngst av en införd flödestaxa.

4.3.2 Olika leveranspaket

Sandviken Energi har idag tre olika leveranspaket för de kunder som har fått den nya prismodellen. Dessa tre leveranspaket är bas, aktiv och komplement. Baspaketet ska väljas om du är trygg med din nuvarande energisituation, energifrågan är inte prioriterad och du ser inget behov av att förbättra din energianvändning. Aktivpaketet ska väljas om du är intresserad och har vilja att förbättra din energianvändning. Vid val av aktiv så erbjuder Sandviken Energi en rad energitjänster som kan hjälpa dig som kund. Komplement väljs egentligen inte utan består av de kunder som huvudsakligen använder en annan uppvärmningsform och endast komplimenterar med fjärrvärme. Nedan i Figur 6 visas de tre olika leveranspaket som erbjuds hos Sandviken Energi.



Figur 6: Leveranspaket Sandviken Energi

Dessa leveranspaket skulle på ett mer engagerat sätt kunna användas som en ingång till att prata med kunder som identifierats ovan. Sandviken Energi skulle kunna ta kontakt med kunden och igen erbjuda paketet aktiv eller om de redan har paketet aktiv då inleda ett samarbete som förhindrar ytterligare kostnader för kunden i framtiden i form av t ex en flödestaxa.

Leveranspaketet har tidigare utvecklats och använts på bra sätt för att förbättra energisituationen för både energibolag och kund. Ett bra exempel på det är Ehn och Schultz (Ehn, Schultz 2008) som under 2008 gjorde ett arbete som fokuserade på affärsutveckling och energieffektivisering genom bland annat leveranspaketet.

4.3.3 Besök och förbättring av anläggning

Under 2013 så driftsattes en ny värmepump på en anläggning som Arvidsjaurs Energi förser med fjärrvärme (Gustavsson 2013). Anläggningen kallas i rapporten för K4 och värmepumpen driftsattes 2013-02-15. Dygnsvärden hämtades sedan ut för effekt och returtemperatur från 2013-01-12 till 2013-03-19. Dessa värden analyserades för att se vad resultatet av bytet av värmepump blivit. Det som hittades var väldigt positivt. En medelsänkning på 10°C blev resultatet och anläggningen K4 var så stor att enbart den sänkningen resulterade i en totalsänkning på returtemperaturen med 1°C. Det var en åtgärd som kommer att fortsätta återbetala i minst 10 år. Liknande åtgärder kan och borde göras på Sandviken Energi.

Ett byte av värmepump varierar självklart i kostnad men då kostnaden går upp så är ofta återbetalningen också större. För ett få en bra och användbar uppfattning för vilka anläggningar som borde investera i nya värmepumpar så måste självklart platsbesök göras och varje anläggning måste tittas på individuellt då kostnaderna för sänkt returtemperatur kan ligga mellan 1000 och 100 000 kr. De lösningar på de problem som beskrivs i sektion 2.1 av denna rapport är alla användbara för anläggningar som kräver sänkt returtemperatur. Under de platsbesök som tar

plats så måste mer information införskaffas om den anläggningen som besöks och efter det kan ett mer informerat beslut fattas om vilken lösning som är lämpligast. Det kan vara allt från ett nytt styrsystem till rengöring av värmeväxlare eller helt enkelt byte av värmeväxlare och med beslutet om vilken åtgärd som är passande så bestäms även kostnaden.

5 Diskussion

Många av de beräkningar som gjorts och används i detta arbete är baserade på den excel-kalkyl som beskrivs i sektion 2. Excel-kalkyl är helt baserad på de värden som hämtats och sammanställts från avläsningar gjorda med radio. Dessa värden har använts och litats på efter en väldigt enkel validering. Det finns brister i de mätvärden som använts både p.g.a. fel på mätutrustningar och den mänskliga faktorn. Då så mycket som 280 000 värden hanteras så begås misstag och ibland är det väldigt svårt att hitta dessa misstag. En lång tid spenderades på att säkerställa att mätinformationen var rätt igenom olika kontroller men även dessa kontroller har brister. Det finns inte en ekvation som kan sortera bort alla felvärden. Första valideringen är lätt, värden som har backats kan uteslutas och värden som är negativa kan uteslutas. Men efter det så blir det avancerat. Till en början så gjordes flera valideringar av värden där en annan excel-kalkyl beräknade vilka värden som är rimliga för anläggningen under just den månad som valideras. Denna validering var dock alldeles för tidskrävande och togs därför bort helt. En enkel regel sattes istället, om värdet finns och är högre än förra månadens värde så är det accepterat. Bara denna enkla validering utesluter ungefär var 10 värde. Detta beror mycket på t ex mätarbyten.

Då ett mätarbyte sker så behåller ofta kunden sitt abonnentnummer men mätarställningen ändras till 0. Mätarbytet är väldigt svårt att hitta i bara inläsningsfilerna så istället för att registrera mätarbytet så utesluts värdet. Ytterligare ett problem skapas av mätarbyten då abonnentnumret ibland ändras och i och med det så förloras kopplingen till abonnentens gamla värden. Förutom att anläggningen nu bara har ett fåtal värden så kan även anläggningen finnas med i analysen på två ställen. En längre tid spenderades på att identifiera dessa dubletter och förhoppningsvis så är dessa inte inkluderade i undersökningen men som sagt innan, vid hantering av nästan 300 000 värden så begås misstag då den mänskliga faktorn är involverad.

Ett annat problem med de värden som använts är de olika integreringsverken som skapat filerna. Varje typ av integreringsverk har olika säkerhet på sina mätvärden vilket betyder att de värden som används kan variera i kvalitet även om de lästs in helt rätt.

Mycket av de beräkningar som hanteras i teori delen är ej utförda under denna utredning. Istället så är de värden som skulle ha beräknats med ekvationerna tagna direkt från den så kallade LAVA-kalkylen som gjorts av Svensk Fjärrvärme. Denna kalkyl har studerats och analyserats men exakt vad som är inkluderat i denna kalkyl är fortfarande inte helt klart. Kalkylen har använts eftersom de beräkningar som är utförda är mer exakta och inkluderar bättre bakgrundsinformation än skulle vara möjligt att göra under denna undersökning. Att de värden som presenteras av kalkylen stämmer har dock inte verifierats på något sätt mer än överslagsmässigt.

I sektion 5 och 6 görs vissa antaganden som att returtemperaturen går att sänka minst 10 °C på varje anläggning. Detta stämmer bra på de top 5 som beskrivs i sektion 5 men behöver inte stämma på alla de 50 anläggningar som diskuteras senare i samma sektion. Att en sänkning på 10 °C är rimlig bestäms baserat på årsmedelavkylningen och medelreturtemperaturen. Det betyder att om en anläggning plockas ur mängden så kan den ha möjlighet till allt från 2 °C ytterligare avkylning till 40 °C ytterligare avkylning så just den delen stämmer inte på anläggningsnivå. Men om det ses som ett kollektiv så kommer påverkan på nätet vara densamma, avkylningen kommer antagligen att göras ännu bättre än beräknat då en medelsänkning på 10 °C fortfarande är lite på just dessa 50 anläggningar.

Anläggningars avkylning användes som en viktig del av identifieringen som gjorts under denna utredning. Avkylning användes som en så pass viktig faktor eftersom det är den komponent som rättar de fel som kan uppstå om bara returtemperatur används. Eftersom olika framledningstemperaturer levereras till olika anläggningar (beroende på vart de befinner sig i fjärrvärmenätet) så är även olika returtemperaturer accepterade i olika delar av nätet. Det är väldigt svårt att hantera det problemet då ett helt kollektiv med över 2500 anläggningar hanteras. Då avkylningen används i kombination med returtemperatur så elimineras större delen av dessa problem vilket inte nämnts tidigare i rapporten men är värt att nämna.

6 Slutsats

Slutsatser som kan dras av denna utredning är att mätvärden kan användas till mycket än debitering och det finns ett enormt potential för effektivisering genom en sänkt returtemperatur. Mätvärden har lyckats användas på ett mycket effektivt sätt och allt tyder på att rätt typ av anläggningar har identifierats. En besparingspotential på ungefär 500 000kr/år och sänkt grad finns. Om en sänkning av returtemperaturen på 10 °C görs på de 50 sämsta anläggningarna så kan upp till ungefär 11 miljoner kronor investeras i denna sänkning utan förlust.

Ett avkylningsprojekt bör startas omgående för att på ett relativt enkelt sätt effektivisera produktionsanläggningen med upp till 3 öre/kWh.

7 Referensförteckning

1.

Sahlin T.(2013) *Historien om fjärrvärmens – en historia om affärsmodellutveckling*, Fjärrvärmens Affärsmodeller

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.fjarrvarmensaffarsmodeller.se/pdf/historien.pdf>

2.

Sjöström A.(2014) *Om Fjärrvärme*, Svensk Fjärrvärme

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.svenskfjarrvarme.se/fjarrvarme/>

3.

Pusat S, Erdem H(2013) *Techno-economic model for district heating systems*, Energy and Buildings, Volume 72, p 177-185

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.sciencedirect.com.webproxy.student.hig.se:2048/science/article/pii/S0378778813008682>

4.

Wojdyga K, Chorzelski M, Rozycka-Wronska E(2014) *Emission of pollutants in flue gases from Polish district heating sources*, Journal of Cleaner Production, Volume 75, p157-165

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.sciencedirect.com.webproxy.student.hig.se:2048/science/article/pii/S0959652614003023>

5.

Forslund C, Fransson B, Klingman M et al((2000) *Avkylning i ett fjärrvärmesystem*, Svensk Fjärrvärme

Senast hittad 2014-06-05:

http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%C3%A4rrsyn/Ovriga_rapporter/Kundanlaggningar/Avkylningen_i_ett_fjarrvarmesystem_2000-3.pdf

6.

Ödin C(2007) *Driftekonomiska vinster med en sänkning av fjärrvärmemetemperaturen*, Examensarbete för civilingenjörsexamen, Umeå Universitets Tekniska Högskola

Senast hittad 2014-06-05:

http://www8.tfe.umu.se/courses/energi/ExjobbCivIngET/Rapporter/Caroline_O_2007.pdf

7.

Piroutu M, Bagdanavicius A, Ekanayake J et al(2013) *Energy consumption and economic analysis of a district heating network*, Energy, Volume 57, p149-159

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.sciencedirect.com.webproxy.student.hig.se:2048/science/article/pii/S0360544213000984>

8.

Gustafsson J, Delsing J, Van Deventer J (2009) *Improved district heating substation efficiency with a new control strategy*, Applied Energy, Volume 87, p1996-2004

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.sciencedirect.com.webproxy.student.hig.se:2048/science/article/pii/S03606261909005388>

9.

Sandström E (2013) *Värdet av ökad avkyllning i Örnsköldsviks fjärrvärmenät*, Examensarbete för civilingenjörsexamen, Umeå Universitets Tekniska Högskola

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:627556/FULLTEXT01.pdf>

10.

Andersson D, Winestedt N (2011) *Individuell mätning och debitering – Vad anser marknaden?*, Examensarbete kandidatnivå, Högskolan i Gävle

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:516294/FULLTEXT01.pdf>

11.

Ottosson U, Wollerstrand J, Lauenburg P et al(2012) *Nästa Generations Fjärrvärme*, Svensk Fjärrvärme, Rapport 2013:1

Senast hittad 2014-06-05:

http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/FJ%C3%84RRSYN/Rapporter%20och%20resultatblad/Rapporter%20teknik/2013/2013_1%20Nasta%20generations%20fjarrvarme/N%C3%A4sta%20generations%20fj%C3%A4rrv%C3%A4rme.pdf

12.

Averfalk H (2014) *Morgondagens effektiva fjärrvärme: En beskrivande litteraturstudie*, Examensarbete för Magisterexamen, Högskolan i Halmstad

Senast hittad 2014-06-05:

<http://hh.diva-portal.org/smash/get/diva2:715833/FULLTEXT01.pdf>

13.

Brand M, Svendsen S (2013) *Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment*, Energy, Volume 62, p311-319

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.sciencedirect.com.webproxy.student.hig.se:2048/science/article/pii/S0360544213007780?np=y>

14.
Peterson F (1984) *Värmesystem (konventionella och lågtemperatur) Kompendium*, Stockholm: Uppvärmnings- och ventilationsteknik, Kungliga Tekniska Högskolan
15.
Myrendal P, Olgemar J (2010) *Fjärrstyrning av fjärrvärmeventiler: analys och utvärdering*, Examensarbete för civilingenjörsexamen, Linköpings Universitet
Senast hittad 2014-06-05:
<http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:320898/FULLTEXT01.pdf>
16.
Pettersson S (2000) *Metoder att nå lägre returtemperatur med värmeväxlardimensionering och injusteringsmetoder - Tillämpning på två fastigheter i Borås*, Stockholm: Svenska Fjärrvärmeföreningen
17.
Trüschel A (2005) Värde av injustering: För tre fastigheter i Göteborg, Svensk Fjärrvärme, Rapport 2005:134
Senast hittad 2014-06-05:
http://www.energy-management.se/attachments/documents/32/v_rdet_av_injustering.pdf
18.
Wollerstrand J, Ljunggren P, Johansson P (2007) *Optimal Reglering av Radiatorsystem*, Svensk Fjärrvärme, Rapport 2007:6
Senast hittad 2014-06-05:
<http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/FJ%C3%84RRSYN/Rapporter%20och%20resultatblad/Rapporter%20teknik/2007/Optimal%20reglering%20av%20radiatorsystem.pdf>
19.
Gabrielaitiene I, Bøhm B, Sunden B (2006) *Modelling temperature dynamics of a district heating system in Naestved, Denmark—A case study*, *Energy Conversion and Management*, Volume 48, p78-86
Senast hittad 2014-06-05:
<http://www.sciencedirect.com.webproxy.student.hig.se:2048/science/article/pii/S0196890406001725?np=y>
20.
Gustafsson J, Delsing J, Van Deventer J (2011) *Experimental evaluation of radiator control based on primary supply temperature for district heating substations*, *Applied Energy*, Volume 88, p4945-4951
Senast hittad 2014-06-05:
<http://www.sciencedirect.com.webproxy.student.hig.se:2048/science/article/pii/S0306261911004405>
21.
Wollerstrand J, Lauenburg P (2014) *Adaptive control of radiator systems for a lowest possible district heating return temperature*, *Energy and Buildings*, Volume 72, p132-140
Senast hittad 2014-06-05:
<http://www.sciencedirect.com.webproxy.student.hig.se:2048/science/article/pii/S0378778813008268?np=y>

22.

Gustavsson E(2013) *Optimeringsförslag Arvidsjaurs Energi – genom bränslesammansättning och sänkt returtemperatur*, Examensarbete för civilingenjörsexamen, Umeå Universitets Tekniska Högskola

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:654062/FULLTEXT01.pdf>

23.

Hebenstreit B, Schnetzinger R, Ohnmacht R et al (2014) *Techno-economic study of a heat pump enhanced flue gas heat recovery for biomass boilers*, Biomass and Bioenergy

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.sciencedirect.com.webproxy.student.hig.se:2048/science/article/pii/S0961953414000580>

24.

Xu G, Huang S, Yang Y et al (2013) *Techno-economic analysis and optimization of the heat recovery of utility boiler flue gas*, Applied Energy, Volume 112, p907-917

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.sciencedirect.com.webproxy.student.hig.se:2048/science/article/pii/S0306261913003449>

25.

Lars Wester(2001) *Förbränning och rökgasrening*, Kurspärm Kraftvärmesystem, Umeå Universitets Tekniska Högskola

26.

Frederiksen S och Werner S(1993) *Fjärrvärme Teori, teknik och funktion*, Studentlitteratur Lunds Universitet

27.

Cengel Y(2006) *Heat and mass transfer: A practical Approach*, ISBN-10: 007125739X

28.

Selinder P, Walletun H (2011) *Modell för värdering av ändrade driftförutsättningar i fjärrvärmenät*, Svensk Fjärrvärme

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Kundanlaggningar/Ber%c3%a4kningsprogram/LAVA-kalkylen/Modell%20f%c3%b6r%20v%c3%a4rdering%20av%20%c3%a4ndrade%20driftf%c3%b6ruts%c3%a4ttning>

29.

Difs K, Trygg L (2009) *Pricing district heating by marginal cost*, Energy Policy, Volume 37, p606-616

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.sciencedirect.com.webproxy.student.hig.se:2048/science/article/pii/S0301421508005715>

30.

Ehn M, Schultz M (2008) *En lösning för fjärrvärm* - En uppsats om affärsutveckling och energieffektivisering, Examensarbete för Industriel Ekonomi, Lunds Tekniska Högskola
Senast hittad 2014-06-05:

http://www.lth.se/fileadmin/pm/Exjobb/Exjobb_2008/EhnSchultz.pdf

LAVA-kalkyl:

Svensk Fjärrvärme AB

Senast hittad 2014-06-05:

<http://www.svenskfjarvarme.se/medlem/fokusomraden-/kundanlaggningar/berakningsprogram/>