



Forskning och
Utveckling

FOU 1996:5

EFFEKTIVISERING AV KONVENTIO- NELLA FJÄRRVÄRMECENTRALER (ABONNENTCENTRALER)

*Lena Råberger, Chalmers Tekniska Högskola
Håkan Walletun, ZW Energiteknik AB*



EFFEKTIVISERING AV KONVENTIONELLA FJÄRRVÄRMECENTRALER (ABONNENTCENTRALER)

*Lena Råberger, Chalmers Tekniska Högskola
Håkan Walletun, ZW Energiteknik AB*

SAMMANFATTNING

Syftet med detta projekt har varit att finna orsakerna till nedsatt avkylningsförmåga hos abonnentcentraler (AC) i drift i svenska fjärrvärmenät. Avsikten har också varit att kunna värdera vad olika förslag till förbättrande åtgärder har för ekonomiskt värde för värmeleverantören.

Arbetet har bestått av *två huvuddelar* som redovisas under olika avsnitt i föreliggande rapport. Den *första delen* har gällt en undersökning av abonnentcentraler i Göteborg och Stockholm. Ca 150 abonnentcentraler har besiktigats av vilka drygt 30 *abbonentcentraler har detaljstuderats med mätningar och simuleringar*. AC har analyserats med datamodeller och förslag till prestandahöjande åtgärder har framtagits.

AC som detaljstuderats har i huvudsak varit konventionella 2-steps-kopplade centraler. Grundkriterierna för utvalet av dessa var:

- Storlek, i intervallet 50 kW - 1 MW
- Abonnentkategori, bostäder och flerfamiljshus
- Installationsår, senare än 1980
- Avkylningsstatistik, i intervallet 10-50°C, dock inga AC med "grova fel"
- Varierande kombinationer av utrustning, men endast "kända" fabrikat.

Med varierande har vi avsett att, vid studier av avkylningen respektive kombinationer av utrustning, upprätta ett underlag som är giltigt för så många olika variationer som möjligt.

Den *andra delen* av arbetet har gällt en utveckling av en arbetsmetodik för effektivisering av konventionella AC i drift. Analysen av de i fält undersökta abonnentcentralerna samt *ett stort antal årssimuleringar av generella AC med beräkning av prestandamått* har lett till ett förslag av en arbetsmetodik. Vidare har simuleringsresultaten kunnat visa vad olika effektiviseringsåtgärder innebär i förbättrad returtemperatur och ekonomisk besparing för energiföretaget.

I samband med projektets genomförande har dessutom ett antal erfarenhetsbaserade slutsatser kunnat dras:

- Extremt förhöjd returtemperatur beror i de flesta fall på ställdon/ventiler som låst sig i öppet läge.
- Högre returtemperatur än idealt, men ändå inte extremt hög, visade sig främst bero på radiatorsystemets returtemperatur och alltså i val av injusteringsmetod för radiatorsystemet.
- En normal AC förvandlas i många fall till en AC med dålig prestanda genom att fastighetsskötaren ändrar på börvärdeskurvornas inställning.
- I en AC där värmeväxlare som antogs vara försmutsade sågades itu, visade sig tuberna vara helt ihoptryckta i de lager som låg närmast fyllkroppen. Detta medför en minskning av värmeöverförande yta med dålig prestanda som följd.

- För de shuntgrupper som studerats, kan vi konstatera att om samtliga sekundärsystem injusteras till att arbeta vid den temperatur som erhålles efter VVX, istället för att blandas till en lägre temperatur, utnyttjas värmeväxlaren effektivare. Detta ger avsevärt lägre returtemperatur.
- Försmutsning och förkalkning har i detta projekt funnits vara av mindre betydelse än radiatorsystemets injustering. Studier av orter med hårt vatten och där vikt lagts på injustering av radiatorsystemet, ger sannolikt ett annat resultat.
- I de fall radiatorväxlaren är så förkalkad att kapacitetsproblem uppstår, skulle en injustering till en lågflödesmetod för radiatorsystemet kunna förbättra situationen.
- Förhöjda börvärdesinställningar för oblandat tappvarmvatten ger försämrad prestanda, speciellt sommartid. I vissa fall av de undersökta AC har det till och med förekommit att börvärdet varit högre än den primära framledningstemperaturen.
- För en stabil tappvarmvattenreglering och minimering av temperatursvängningar skall vvc-flödet shuntas huvudsakligen genom port 1 - vvc1, dvs genom eftervärmaren. Port 2 - vvc2 skall dras genom blandningsventilens kalla port och inte nedströms blandningsventilen.
- Ställdonets gångtid är av avgörande betydelse för tappvarmvattenregleringen. Problem inträffar då värmeväxlaren är snabb och ställdonet långsamt även om regulatorparametrarna är korrekt inställda och vvc-flödet riktigt shuntat.
- Inställningen av regulatorparametrar visade sig ofta vara slumpmässigt vald, alternativt att fabriksinställningen kvarstod.
- En överdimensionerad reglerventil kan i praktiken används för att minska gångtiden hos ett långsamt don, genom att ventilen då arbetar på ett mindre område av sin slaglängd. I det fall där donets gångtid inte är problemet, kommer istället överdimensioneringen att medföra ett känsligare system. En riktig inställning av regulatorparametrarna är av största betydelse för en god funktion.
- Temperaturgivare skall placeras så att inga onödigt långa transporttidsfördröjningar förekommer. Installationen skall göras strax efter utloppet från eftervärmaren och strax efter blandningsventilen om en sådan används.
- Den 3-stegskoppladeabonnentcentralen bör förses med 2 temperaturgivare, både för oblandat och blandat tappvarmvatten, för att minska transporttidsfördröjningen mellan VVX-utlopp och givare sommartid då regleringen sköts med den s k "sommarventilen".

Nyckelord: Abonnentcentral, Effektivitet, Prestanda, Fjärrvärme

SUMMARY

The purpose of this project was to find out the reasons to reduced cooling ability of primary water of working consumer substations (AC) in Swedish district heating systems. Our intention have also been to find out how to estimate the economic value of a specified improvement in a substation.

The project consists of *two main parts* which are described in different sections of this report. The *first part* is an investigation of consumer substations in Gothenburg and Stockholm. Surveys were made at about 150 consumer substations. About 30 of these consumer substations have been *examined and analysed with detailed measurements and simulations*. The investigation have led to suggestions for improvements of the analysed consumer substations.

Most of the analysed substations have been conventional 2-stage coupled consumer substations. The substations were chosen for the reason of offering as many different combinations of equipment as possible. They were also chosen taking into consideration:

- size of heating power, (interval 50 kW - 1 MW)
- consumer cathegory, (only common residential blocks, no offices or factories)
- age, installed after 1980
- cooling ability, (interval 10-50°C)
- equipment, but only the most common products in Sweden.

The *second part* of the project has been to *develop a method* for increasing the cooling ability and to specify improvements of working consumer substations. The previous investigation and *a large number of computer simulations for general consumer substations behaviour during a year* have led to a proposed method. We have also shown, out of the results from the simulations of the general consumer substations, the number of improved primary return water temperature and the savings for a specified improvement.

The major conclusions of the project are the following:

- Extremely high return temperature mostly depends on actuators and control valves locked in open position.
- High return temperature, but not extremely high, were shown to be the result of a disadvantageous adjustment method for the radiator system return temperature.
- The cooling of primary water of a normal consumer substation was in some cases reduced significantly by modifications of the setpoint values of the radiator system made by the house caretaker.
- In the case where the heat exchanger for the radiator system is scaled, in a way that a capacity problem occurs, an adjustment of the radiator system to a low flow method might solve the problem.

- Fouling and scaling have, in this work, been shown to be of less importance for the return temperature than the adjustment method of the radiator system. A study in an area where scaling of the heat exchangers is a problem will possibly lead to another conclusion.
- In a consumer substation where the heat exchangers were assumed to be fouled (or scaled) and therefore were sawn into pieces to be examined, the inner tubes were shown to be completely compressed. This leads to a decrease in heat transfer area and thus in performance.
- Increased setpoint values for unmixed domestic hot water leads to a lower performance, especially in the summertime. Some observations were made where the setpoint value exceeded the primary forward temperature.
- Concerning substations which support a number of smaller substations with hot water, the most efficient improvement would be to adjust the secondary systems to the highest needed forward temperature, which is the temperature after the heat exchanger, instead of adjusting the temperature levels by mixing the forward temperature with the return temperature.
- For a stable control of the domestic hot water and for minimizing the oscillations in tap water temperature, the hot water circulation flow should mainly be adjusted through the afterheater and not downstream of the 3-way valve.
- The actuator speed is of great importance for the control of the domestic hot water. Problems might occur when the heat exchanger is fast and the actuator is slow, even if the regulator parameters and the hot water circuit flow are correctly adjusted.
- The adjustment of the regulator parameters was often shown to be arbitrarily chosen. Or in many cases, the parameters set at the manufacturing of the regulator remained unchanged.
- An oversized control valve is often useful for increasing the actuator speed, as the valve works at a smaller part of its stroke. In cases where the actuator speed is not the problem, oversizing the control valve will lead to a sensitive system which is difficult to control.
- Temperature sensors should be installed so that delay times will be as small as possible.
- The 3-stage coupled consumer substation should, if used, be equipped with 2 temperature sensors for the tap water control, (unmixed and mixed tap water) in order to reduce the delay time between the heat exchanger outlet and the sensor at low radiator loads when tap water control is performed with the "summer valve".

Key words: Consumer substation, Efficiency, Performance, District heating system,

INNEHÅLL

	<u>Sid</u>
SAMMANFATTNING	2
1 INLEDNING	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Problembeskrivning	8
1.3 Syfte och mål	9
2 UPPLÄGGNING AV ARBETET	10
2.1 Urval av AC	10
2.2 Besiktning av utvalda AC	11
2.3 Mätningar avsedda för statusbestämningar	12
2.4 Analys av mätdata	14
2.4.1 Validering och identifiering	14
2.4.2 Bedömning av försmutningsgrad, alternativ metod	17
2.5 Simuleringar	18
2.6 Abonnentcentralens prestanda	20
2.6.1 Prestandamått	20
2.6.2 Uttagen energi vid årssimuleringarna	22
2.7 Exempel på prestandahöjande åtgärder	23
3 METOD FÖR EFFEKTIVISERING AV AC	25
3.1 Arbetsgång vid användning av metodiken	25
3.1.1 Diagnostisering av abonnentcentral	26
3.1.2 Ekonomisk analys	29
3.2 Resultat från årssimuleringar	32
3.2.1 Förbättringar av AC	32
3.2.2 Försmutsning av radiatorsidans VVX och byte av kopplingsprincip	33
4 SLUTSATSER OCH DISKUSSION	35
4.1 Prestanda	35
4.1.1 Injusteringsmetoder för radiatorsystemet	36
4.1.2 Höga börvärden för tappvarmvattentemperatur	36
4.1.3 Felaktigheter i abonnentcentralen	38
4.1.4 Undercentraler med shuntgrupper	38
4.2 Reglering	39
4.3 Komponenter	40
Referensförteckning	42
Bilagor 1-7	

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Sveriges fjärrvärmenät består av mer än 9 200 km nedlagd kulvert. Till näten är ca 100 000 kundanläggningar/abonnentcentraler anslutna i olika fastigheter och småhus för leverans av värme och tappvarmvatten. Även om utbyggnadstakten och antalet nya installationer har minskat under senare år, kommer det den närmaste tiden och en bra bit in på 2000-talet att finnas stora underhållsbehov av de befintliga kundanläggningarna.

Då allt fler företag dessutom ges möjlighet att konkurrera om en avreglerad el- och värmemarknad, kommer det för fjärrvärmeföretagen att bli nödvändigt att hålla distributionsnäten i gott skick. Likaväl kommer det att vara angeläget att hålla både gamla och nya abonnentanläggningars funktion och avkylningskapacitet så god som möjligt. För att klara detta kommer det att krävas en genomtänkt strategi för att kunna hantera det stora antalet abonnentcentraler.

Genom att förbättra abonnentcentralernas (AC) förmåga att kyla hetvattnet i fjärrvärmenätet, kommer returtemperaturen att bli lägre. Vid de flesta av landets fjärrvärmeföretag får då detta fördelen att framledningstemperaturen kan sänkas och/eller flödet minskas. Därför är alla kundanläggningars sammanvägda beteende av stor betydelse när det gäller att skapa bästa möjliga förutsättningar för en effektiv drift av ett fjärrvärmesystem.

Av olika undersökningar som gjorts tidigare [t ex ref 1 och 2], har det framgått att returtemperaturerna från AC ofta är betydligt högre än vad teoretiska beräkningar visar. Många energiverk har en returtemperatur vars årsmedelvärde är avsevärt högre än 50°C, medan beräkningarna t ex visar att returtemperaturer över 50°C egentligen bara skall behöva förekomma vid ett fåtal timmar under året.

I ett annat projekt [ref 3] lät vi jämföra mätningar på nya prefabricerade AC i laboratoriemiljö med simuleringar i dator. Slutsatserna dragna från detta projekt var att nyttillverkade, men ännu ej idriftstagna system, uppvisade en prestanda, som stämde väl överens med prestandan hos den ideala abonnentcentralen.

Man kan således inse att från och med installationen av en ny AC kommer utrustningen att genomgå ett antal stadier som medför nedsatt prestanda, t ex försmutsning av VVX, bristande reglering etc. Eller också förändras förutsättningarna jämfört med de som gällde vid dimensionering av anläggningen. Slutsatsen blir att det finns en rejäl *förbättringspotential* inom detta område, *effektivisering av abonnentcentraler (EAC)*, vid många av landets energiföretag.

1.2 Problembeskrivning

Med hänvisning till vad som nämnts i avsnitt 1.1, borde det därför finnas ett stort intresse vid energiföretagen för insatser som effektiviserar AC. Men trots de uppenbara möjligheterna till ekonomiska besparingar, så har inte så många större effektiviseringsprogram genomförts. Det kan tyckas förvånande då alla brukar hylla ideér och program som leder till "lägre returtemperaturer", men det finns *två betydande svårigheter* som bromsar upp effektiviserande underhållsaktiviteter:

- * Kunden saknar incitament för att förbättra sin anläggning. De flesta åtgärderna som krävs innebär ingen omedelbar kostnadsminskning för kunden/abonnenten.
- * Det är svårt för fjärrvärmeföretaget, både tekniskt och administrativt, att på ett strukturerat sätt förbättra/effektivisera tusentals AC. Det saknas ofta resurser och i många fall en tillämpbar metodik.

Traditionellt äger kunden anläggningen i sin fastighet. Det är endast på ett fåtal platser i Sverige där fjärrvärmeföretaget äger hela eller delar av utrustningen i AC. Detta medför ibland svårigheter för värmeproducenten att kunna motivera kunden, till att utföra större och långsiktiga renoveringsinsatser. Konkret innebär det att drivkraften och motivationen för effektivisering normalt inte är så stor hos kunden. Motivationen kan däremot bli större där någon form av sk effekt- eller flödestaxa tillämpas. Där känner kunden att det går att påverka sin energikostnad om man har en effektiv abonnentcentral. Exempel på flödestaxor finns idag på minst 30 olika platser i Sverige och är ett sätt att öka kundens engagemang i abonnentcentralens funktion.

Det finns dock både för- och nackdelar med flödestaxor. Många fjärrvärmeföretag tycker att taxorna är för utmanande och kan på grund av den rådande konkurrensen inte utan vidare införa taxeförändringar. Där har man istället valt att arbeta nära sina kunder med information och i en ständig dialog där långsiktiga serviceinsatser planeras gemensamt.

I Göteborg äger fjärrvärmeföretaget abonnentanläggningarna men tillämpar idag ingen flödestaxa. Detta innebär något annorlunda förutsättningar jämfört med övriga landet när diskussioner om utbyte, renovering eller effektivisering skall genomföras. I Göteborg blir det ofta de stora kundernas krav som avgör vilka åtgärder som prioriteras. I Göteborg, med ca 5 400 AC anslutna, är dessutom problemet med att administrera underhållet i ett stort antal AC uppenbart.

Göteborgs Energi AB har på grund av ägarförhållandet av AC, tidigt insett behovet och därför haft större anledning än många andra energiföretag att utveckla rutiner avseende drift och underhåll, statistik, ombyggnadsprinciper mm. Av denna anledning valde vi att genomföra projektets tillämpade delar hos Göteborgs Energi AB.

1.3 Syfte och mål

Syftet med detta projekt har varit att finna orsakerna till nedsatt avkylningsförmåga hos abonnentcentraler i drift i svenska fjärrvärmenät. Vi har också avsett att lyfta fram vilka ekonomiska värden som finns i och med att olika underhållsinsatser genomförs.

Det har funnits *två övergripande mål* med detta projekt:

- * Dels skall det utvecklas en arbetsmetodik för effektivisering av konventionella AC i drift. Avsikten med den föreslagna metodiken är att den skall vara generellt tillämpbar i hela Sverige och fungera som ett verktyg och arbetssätt.
- * Dels skall det i projektet studeras om det förekommer kombinationer av produkter och komponenter som fungerar bra respektive mindre bra tillsammans.

Projektgruppen har bestått av:

Peter Gummérus, Chalmers Tekniska Högskola
Stellan Hjelmér, Göteborg Energi AB
Ulf Jansson, Fjärrvärmeutveckling FVU AB
Gunnar Nilsson, Göteborg Energi AB
Lena Råberger, Chalmers Tekniska Högskola
Håkan Walletun, ZW Energiteknik AB

Övriga som har bidragit med värdefulla synpunkter och information har varit:

Curt Dävermo, Familjebostäder i Göteborg AB
Göran Fermbäck, Stockholm Energi AB
Hans Lund, Stockholm Energi AB
Arne Lundell, Malmö Energi AB
Sven Werner, Borås Energi

Ett stort tack till *alla* som på något sätt bidragit till att projektet har kunnat genomföras.

Projektet har finansierats av Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning tillsammans med Forskningsstiftelsen i Göteborg, Göteborg Energi AB och Stockholm Energi AB.

2 UPPLÄGGNING AV ARBETET

Projektarbetet har genomförts i ett antal olika steg enligt den ursprungliga projektplanen:

- 1 Urval av AC utifrån befintlig statistik
- 2 Visuellt besiktning av utvalda AC
- 3 Mätning och statusbestämning av AC utvalda utifrån besiktningar
- 4 Analys av mätdata för uppmätta AC (Validering och identifiering av modeller)
- 5 Simuleringar av AC för ett driftår
- 6 Optimering av AC i modeller
- 7 Förslag på prestandahöjande åtgärder i AC
- 8 Genomförande av förslag till förbättringar i AC
- 9 Uppföljningsmätningar av gjorda insatser.

Utöver detta har ytterligare några moment införts i det genomförda projektet. Orsaken är att de frågeställningar som studerats extra har varit av viss betydelse för att kunna presentera en användbar metodik. De extra momenten har varit:

- 10 Komplettering av mätmetodik
- 11 Injustering av radiatorsystem med två olika metoder
- 12 Hur olika värme- och tappvarmvattensystem påverkas av försmutsade VVX
- 13 Komplettering av modellbibliotek.

2.1 Urval av AC

Projektets första del bestod i att välja ut de abonnentcentraler som skulle undersökas i detalj. Dessa valdes ut ifrån Göteborgs Energi AB:s register över alla AC. (Några centraler har också valts ut ifrån Stockholm Energi AB:s register.) Vi valde att dela in anläggningarna och dess fel i tre kategorier/nivåer:

- Nivå 1: omfattar *grova fel* i AC. Dessa AC bör utan större svårighet kunna identifieras med hjälp av kontinuerlig uppföljning av de avläsningar som redan idag görs. Det är mest frågan om att bearbeta sitt statistiska underlag på ett rationellt sätt. Dessa kan definieras som AC med ett årsmedelvärde på *avkylningen* $\Delta T < 25^\circ\text{C}$.
- Nivå 2: omfattar "*halvbra AC*" och det är denna grupp som detta projekt egentligen berör, dvs den grupp av AC där det inte är uppenbart vad som skall göras. Detta är den till antalet största gruppen och kan definieras som AC med ett årsmedelvärde på *avkylningen* $25 \leq \Delta T \leq 40^\circ\text{C}$. Det gäller då att dels identifiera objekten och dels att finna metoderna för vad som skall göras i effektiviseringssyfte.

- Nivå 3: omfattar AC som har ett accepterbart beteende (ett årsmedelvärde på *avkylningen* $\Delta T > 40^{\circ}\text{C}$), men som ändå inte fungerar optimalt. För dessa AC är traditionella åtgärder ibland inte tillräckliga för att uppnå en önskad avkylning. Det kan då bli aktuellt med andra kopplingsprinciper än de traditionella, som t ex att ackumulatorer och/eller direktkopplade radiatorsystem tillämpas för att man skall kunna nå lägre temperaturnivåer. Det kan t ex vara aktuellt i ett helt område i vilket man avser att sänka temperaturnivåerna. En sådan problemställning resulterar då i en helt annan uppläggning av insatser än vad som normalt är fallet i ett effektiviserings- och underhållsprogram för AC.

De *grundkriterier* som styrde urvalet av abonnentcentraler var:

- Storlek, i intervallet 50 kW - 1 MW
- Abonnentkategori, bostäder och flerfamiljshus
- Installationsår, senare än 1980
- Utrustning, endast "kända" fabrikat
- Avkylningsstatistik, i intervallet 10-50°C.

Dessa kriterier ledde till ett stort antal AC, på vilka vi sedan lade ytterligare krav för att i så stor utsträckning som möjligt kunna formulera en metodik som skall vara tillämpbar för den vanligaste typen av abonnentcentraler. De *slutliga selekteringskraven* var:

- Inga torkanläggningar eller ventilationssystem skulle vara anslutna i de valda objekten
- Ej ombyggda eller installerade efter 1992
- Ej enbart uppvärmning
- Ej datorstyrd reglering (DUC).

Utifrån de återstående objekten har sedan abonnentcentraler slutligen valts ut beroende på:

- *Varierande statistik* för avkylning, d v s hela intervallet 10-50°C skall täckas, men det stora flertalet är valda enligt definition på nivå 2.
- *Varierande kombinationer* av utrustning.

Med varierande har vi avsett att, vid studier av avkylningen respektive kombinationer av utrustning, upprätta ett underlag med så många olika variationer som möjligt.

2.2 Besiktning av utvalda AC

Den i 2.1 beskrivna urvalmetodiken resulterade i att ca 150 adresser med olika AC har besiktigats i detta projekt. Vid besiktningarna kontrollerades

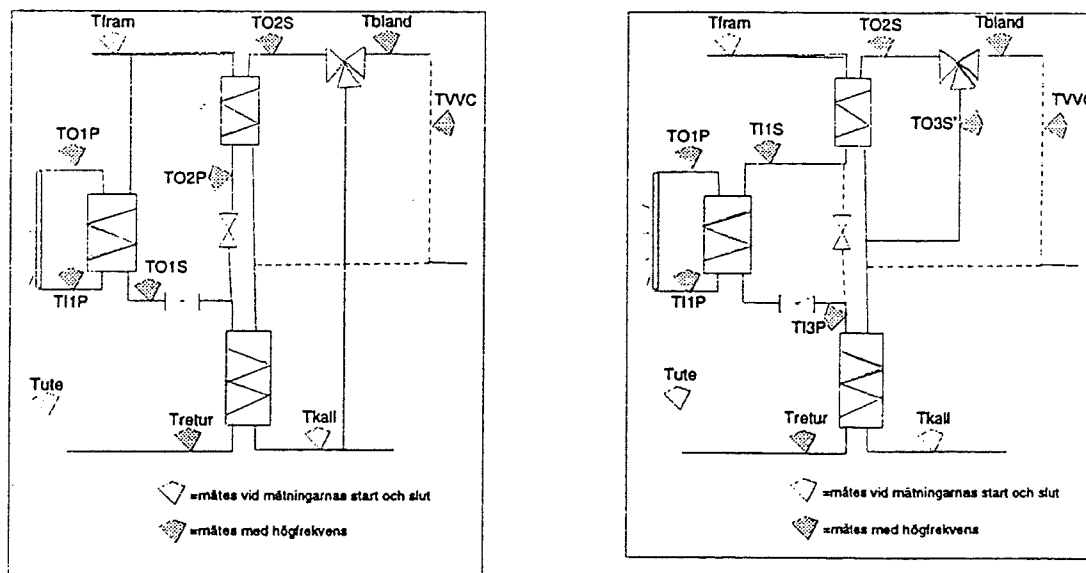
- *drifttemperaturer* på befintlig utrustning, d v s avläsning på befintliga termometrar för Tfram, Tretur, TO1S, TO1P, TI1P, TO2S, Tbland, TVVC samt Dpac (beteckningar förklaras i bilaga 1).
- att utrustningen i AC stämde med uppgifterna i energiverkets register.

- *avståndet* mellan VVX och temperaturgivare för tappvarmvattenregleringen. Denna parameter är viktig eftersom den enskilt kan vara orsak till dålig reglering.
- att alla *komponenter fungerade* och att inga uppenbara fel förelåg. Som tidigare nämnts så har "grova fel" ej varit av intresse för detta projekt.

Exempel på ett besiktningsprotokoll visas i bilaga 2. Efter besiktningarna har lämpliga AC valts ut där mätningar senare genomförts. De valda objekten finns redovisade i bilaga 3 och [ref 6]. Totalt har mätningar utförts i 32 olika anläggningar. I de två anläggningarna på Ärlegatan (Nr 40 - 41) har mätningar endast gjorts i syfte att studera och följa de olika metoderna för injustering av radiatorsystemen. Anläggningen på Tideräkningsgatan (Nr 29) bestod av fem olika AC i form av en huvudcentral och fyra sekundära undercentraler.

2.3 Mätningar avsedda för statusbestämningar

Vid mätningarna har åtta temperaturer och två flöden kunnat registrerats kontinuerligt. I figur 1 visas placeringen av temperaturgivare för den 2-stegskopplade respektive 3-stegskopplade abonnentcentralen. Temperaturgivarna som användes var av typ utanpåliggande Pt-100 (4-trådsmätning). Flödet mättes på två kanaler, primärt fjärrvärme flöde och tappvarmvattenflöde, med en så kallad 'clamp on'-mätare av ultraljudstyp. Flödesmätaren arbetar enligt den s k löptidsmetoden. Samtliga givare har således varit utanpåliggande och inga ingrepp har behövt göras i rörsystemen.



Figur 1:

Placering av temperaturgivare vid mätning av 2-stegskopplad abonnentcentral (till vänster) och 3-stegskopplad abonnentcentral (till höger).

Figure 1: Installation of temperature sensors at a 2 stage consumer substation (left) and a 3-stage consumer substation (right).

På grund av det begränsade antalet mätkanaler för temperaturer, har givarna omplacerats under mätningarna av den 3-stegskopplade abonnentcentralen och i vissa fall även för den 2-stegskopplade abonnentcentralen. T ex då noggrannare och mer detaljerade mätningar gjorts av värmeväxlarnas funktion eller temperaturfördelningen i tappvarmvattensystemet och vvc-slingor.

Temperaturgivarna placerades på rörledningens utsida, vilket medfört en tidskonstant på mellan 8 och 20 sekunder för de uppmätta temperaturerna. Denna beror bl a på rörledningens material, godstjocklek, givarnas termiska kontakt med röret samt givarens egen tidskonstant. Den termiska kontakten mellan rör och givare har vid varje installation maximerats med hjälp av termisk kontaktpasta och en i övrigt robust installation, men kommer ändå i praktiken att variera något mellan varje gjord installation. Vid den efterföljande valideringen av simuleringsmodellerna har hänsyn tagits till temperaturmätningens sammanlagda tidskonstant.

Flödesmätaren har en ställbar tidskonstant och en funktion som 'stänger' av tidskonstanten vid stora flödesökningar. För att inte filtrera bort dynamisk information i form av snabba laständringar, har inställningen av dessa två parametrar varierats beroende på tillgängliga raksträckor i den aktuella abonnentcentralen och eventuell förekomst av luft i ledningarna.

Givarna var anslutna till en portabel PC-baserad mätutrustning, en sk mätväska, där alla uppmätta parametrar presenterades "on-line". Detta har möjliggjort att dynamiska förlopp har kunnat följas direkt på plats vid mättillfället. Alla mätvärden lagrades i PC med frekvensen ett mätvärde per sekund. Temperaturer av mera stationär karaktär, såsom utomhustemperatur och kallvattentemperatur uppmättes före de övriga vid mätningarnas start.

Vår ursprungliga ambition var att i möjligaste mån använda information från den befintliga energimätaren beträffande registrering av AC:s flöden. I de fall då denna flödesmätare är rätt dimensionerad, kan den vanligtvis användas för analys av värmesystemets funktion. Detta gäller åtminstone om den aktuella värmelasten inte är för liten. För att i detta projekt även kunna bedömma tappvarmvattensystemets funktion, dess dynamik samt fjärrvärmeflödets variation, krävdes därför en separat flödesmätare. Inom projektet har därför en separat mätutrustning införskaffats, en 2-kanalig flödesmätare av fabrikat Controlotron, se bilaga 4.

En konsekvens av den förändrade mätmetodiken har blivit att varje mätinsats per AC har krävt avsevärt mer tid än vad som ursprungligen planerades. I praktiken har detta inneburit att med de upparbetade rutinerna klarar två personer av att mäta högst två AC per dag, mot ursprungligen planerade tre-fyra per dag. Detta har då resulterat i att färre objekt har kunnat detaljstuderas än vad som ursprungligen avsågs. I gengäld har de undersökta objekten blivit mycket detaljerat uppmätta, vilket i sin tur medfört att modellerna blivit noggrannare och ännu bättre beskriver respektive AC. Vi bedömer att vi med det uppnådda antalet AC som har detaljstuderats, har undersökt en rimlig och tillräcklig mängd objekt för att utifrån resultaten kunna dra generella slutsatser och utarbeta en metodik.

För att kunna särskilja och identifiera abonnentcentralens olika delar krävs minst *fyra olika mätningar*. Dessa är mätning av:

1. Hela abonnentcentralen
2. Endast radiatorsystem, normallast
3. Endast radiatorsystem, maxlast
4. Endast tappvarmvattensystem

Vid *mätning 1* registreras det aktuella driftfallet i AC under ca 10 minuter. Tappvarmvattensystemet belastas, utöver fastighetens egna tappningar, med några extra tappningar av "slumpmässig" storlek och varaktighet.

Vid *mätning 2 och 3* är tappvarmvattensystemet helt avstängt, både vad gäller tappningar och VVC-cirkulation. Under mätning 2 registreras det aktuella lastfallet för radiatorsystemet, medan mätning 3 registrerar det lastfall som uppstår då styrventil SV1 ställs helt öppen. Momentant kan då ett betydande effektuttag registreras över värmeväxlaren om framledningstemperaturen är tillräckligt hög ($> 80^{\circ}\text{C}$).

För att få kunna analysera tappvarmvattensystemet i detalj delas *mätning 4* upp i följande *tre delmätningar*, med beteckningar enligt figur i bilaga 1:

- 4a. Börvärdet på RC3 $>>$ TO2S, vilket innebär att allt flöde går genom blandningsventilens varma port. Shuntningen av vvc-flödet kan härvid beräknas.
- 4b. Börvärdet på RC2 $>>$ RC3, eventuellt flöde 'bakvägen' genom vvc2-ledning kan konstateras.
- 4c. Börvärden återställda till normalt driftsläge.

2.4 Analys av mätdata

2.4.1 Validering och identifiering

I nästa moment jämfördes mätningarna med simuleringar av den ideala modellerade abonnentcentralen. Detta har gett möjlighet att identifiera respektive AC:s delar och egenskaper.

Simuleringsmodeller som beskriver de komponenter som ingår i abonnentcentralerna har tidigare framtagits av Gummérus [ref 5]. Beträffande arbetsgången vid modellframtagande hänvisas till detta arbete. Analysverktyg i form av godhetstal samt en ingående diskussion avseende viktning av dessa finns sedan tidigare redovisade i arbeten av Råberger m fl samt Gummérus [ref 3 och 5].

Validering och identifiering av systemmodeller: Insamlade mätvärden från varje abonnentcentral jämfördes med simuleringar. Utifrån dessa kunde respektive AC:s egenskaper bestämmas. Tabell 1 beskriver valideringsförfarandet och hur de olika mätningarna används vid identifieringen av modeller.

Tabell 1:

Arbetsgång vid validering och identifiering av modeller.

<u>Mätning</u>	<u>Identifiering av</u>
2	Ger flödet i radiatorkretsen samt eventuellt läckage genom SV2.
3	Ger en approximation av försmutsningsgrad i radiator-VVX.
4 a-c	Vvc-flödets storlek, kylningen genom cirkulation i huset samt shuntningen mellan vvc1- och vvc2-porten kan bestämmas. En grov approximation av för- och eftervärmarnas försmutsning kan göras.
1	Valideringen av hela AC med de ur mätning 2-4 framtagna sekundärsystemen och egenskaperna. T ex försmutsning, läckage i ventiler, transporttids-fördröjningar mm.

Noggrannhetskrav vid identifiering: Den största skillnaden mellan uppmätta och simulerade värden som accepterades var som mest 5 %. Detta avser de stationära nivåerna.

I de fall där skillnaden mellan de uppmätta och simulerade uttemperaturerna var större än 5 % undersöktes orsaken. Shuntning av vvc-flöde, försmutsning av värmeväxlare och läckage i reglerventiler söktes och varierades tills skillnaden mellan de uppmätta och simulerade temperaturerna låg på en acceptabel nivå och det dynamiska beteendet fortfarande var likartat för systemet.

Då överensstämmelsen mellan uppmätta och simulerade temperaturer var dålig, *både* med avseende på dynamiken och de stationära nivåerna, har en beläggning i värmeväxlarna modellerats. En jämförelse av simuleringar och mätningar både med avseende på dynamik och stationära nivåer, ger en ledtråd om prestandaförsämringen av VVX samt i viss mån även på vilken sida i VVX den är placerad.

En speciell undersökning har dessutom gjorts på en av de uppmätta AC:s värmeväxlare av tub-modell [ref 8]. Utifrån mätresultat och validering föreföll VVX kraftigt försmutsad och vi rekommenderade utbyte. VVX undersöktes därefter i lab. och skars upp för en okulär besiktning. Resultatet visade att i detta fallet var prestandaförsämringen mindre beroende på försmutsning och mer på att värmeväxlarnas tuber var helt ihoptryckta närmast fyllkroppen. Resultatet var anmärkningsvärt eftersom ihoptryckta tuber är ett tillverkningsfel som förhoppningsvis är ovanligt bland installerade VVX.

I samband med identifieringen konstaterades felfunktioner, brister eller saker som kunde förbättras i de undersökta AC. Felen listas i tabell 2, tillsammans med en beteckning som sedan skrivits ut i tabell 3, då respektive fel har förekommit i någon av de undersökta AC. Beteckningarna R3 och R4 kan i vissa fall förväxlas, då det har inträffat att fastighetsskötare ställt om kurvorna för värmesystemet då abonnenterna klagat då uttemperaturen sjunkit. Vi har i några fall upptäckt detta då fastighetsskötaren återkommit före mätningens slut. Detta är ett exempel på att önskemål om komfort och effektivitet inte alltid sammanfaller.

Tabell 2:

Beteckningar av fel som konstaterats i samband med identifieringen.

Beteckning	Observation
R1	SV1 låst i öppet läge
R2	Försmutsning av radiatorvärmesväxlare
R3	Radiatorsystemet kunde injusteras bättre
R4	Kurva modifierad RC1 (börvärde för TO1P)
T1	SV2 låst i öppet läge
T2	Försmutsning av tappsidans värmesväxlare
T3	Felinställning av regulatorparametrar
T4	Kombination av snabb värmesväxlare/långsamt ställdon
T5	Litet, okylt vvc-flöde
T6	Vvc-flöde felaktigt shuntat
T7	Backflöde genom vvc2-ledning
T8	Tillverkningsfel hos värmesväxlaren (sammanpressade rör)
T9	Vvc-pumpen stillastående
T10	Börvärde RC2 för högt
T11	GT2 bortflyttad från vvx-utloppet
T12	Börvärde RC2>Börvärde RC3
K1	Någon komponent felaktig

Tabell 3:

Sammanställning av resultat från identifieringen och analys av mätdata.

MÄT	RAD	TAPP	övrigt
DA99	R2	T2 ev T7	R3,T1,T3,T6,T12
EK11	<5	T2 el T8	R1,R3,T1,T6,T12
EK48	<5	<5	R3,T3,T4,T5,T6,T12
EK62	R2	T2	R3,T3,T6,T7,T10,T12
ED23	<5	<5	R3,K1(RC2),T3,T4,T6,T12
FG4	<5	T2	T4,T5,T6,T12
FG11	R2	T2	R3,K1(RC2),T1,T2,T6,T12
FG26	R2	T2	T6,T12
GI42	<5	<5	R3,T6,T11
KAG27	<5	kommunikationsfel till datorn - filer raderade	
KGG23	<5	<5	R3
KJ58	Vvx ej modellerad		
KJ63	R2	<5	R3,T4,T6
KJ64	Vvx ej modellerad		
KO20	<5	<5	R3,T1,T6
LG62	<5	<5	R3,T6,T11
MG21	R2	T2	R3,T1,T3
NOG23	<5	<5	R3
NG13	<5	<5	R3,R4?,T6,T10,T12
RI2	<5	<5	R3
SPT4	<5	<5	R3,T1,T6
SÖ28	R2	T2,T8	T7,T9
TID6	<5, Dåliga sekundärsystem ger mycket hög retur		
TI20	<5	<5	R1
UG24	<5	<5	R3,T6,T12
VK18	<5	T2?	R3,T6
SVV86	>5	T2?	3-STEG(T11)
VG49	<5	<5	3-STEG(T11)

I kolumnerna RAD och TAPP anges om överensstämmelsen mellan uppmätta och simulerade värden är mindre än 5 % eller om några andra noteringar finns.

Det har vid identifieringsarbetet blivit uppenbart att en modell som på ett bra sätt kunnat beskriva Parcas spiralvärmeväxlare saknades. De AC som undersökts med Parca-värmeväxlare (KJ58 och KJ64) kunde därför ej detaljstuderas på samma sätt som de övriga objekten.

Då Parcas VVX fortfarande förekommer i ett stort antal i de svenska fjärrvärmecentraler, bedömdes det angeläget att en godtagbar modell kunde utarbetas och läggas till det övriga modellbiblioteket med olika VVX-fabrikat. Av denna anledning initierades ett examensarbete vars uppgift var att karakterisera en värmeväxlare Parca RQ 21. Arbetet kunde genomföras tack vare att ett fabriksnytt exemplar av VVX fanns vid Göteborg Energi AB och mätningar kunde göras på denna. Som ett resultat av detta examensarbete finns nu en modell som beskriver Parca RQ värmeväxlare i storlek 19-28. För att man skall kunna utarbeta modeller som beskriver övriga Parca-VVX, krävs det att motsvarande VVX finns i nyskick samt att tekniska data och specifikationer kan uppbringas. Examensarbetet finns redovisat i [ref 7].

Sammanfattningsvis konstaterar vi att valideringen, identifieringen och analysen av mätdata för de undersökta AC, har gett oss en god uppfattning om vilka *konkreta felfunktioner* man kan förvänta sig i konventionella abonnentcentraler. Dessa har redovisats i tabell 2. Förslag till åtgärder och förbättringar för de undersökta AC har under den pågående analysfasen lämnats till Göteborg Energi AB. Åtgärderna har därefter genomförts i fält.

I nästa moment har *generella slutsatser* dragits om vilka problem med avseende på prestandaförsämring och reglering som förekommer i AC i drift. Slutsatserna är dels grundade på simuleringsresultat och dels på undersökningarna i alla AC. De är därför giltiga för ett stort antal komponentkombinationer. Slutsatserna redovisas i kapitel 4.

2.4.2 Bedömning av VVX försmutningsgrad, alternativ metod

Parallellt med den tidigare beskrivna identifieringen gjordes en alternativ undersökning av försmutningsgraden för fem av de uppmätta CTC/Cetetherm tub-VVX i radiatorsystemen. Vi ville med denna analys visa att man även kan utnyttja tillverkarens egna dimensioneringsprogram för bestämning av en VVX försmutningsgrad. För CTC:s SKR-värmeväxlare användes programversion ed. 88-07-1 och för Cetetherms CETETUBE-värmeväxlare användes programversion 93.03-S.

Genom att utnyttja mätvärden från mätning 3, maximalt effektuttag, kunde en prestandabedömning göras av VVX med hjälp av dimensioneringsprogrammen. Detta kräver dock två förutsättningar (som i det här fallet var uppfyllda):

- Att tillverkarens dimensioneringsprogram är tillförlitligt. I de fall programmet har testats i Fjärrvärmeföreningens VVX-prov, bedöms programmet vara OK.
- Att det aktuella driftfallet innebär minst 60-70% belastning jämfört med dimensionerad effekt för VVX. Vid mindre lastuttag kommer temperaturskillnaderna i VVX "kalla ände" att bli för små, vilket innebär att mätonoggrannheten får en så stor betydelse att några relevanta slutsatser ej kan dras.

Följande resultat erhöles:

<u>MÄTNING</u>	<u>FÖRSMUTSAD</u>
FG11	Ja
GI42	Ja
MG21	Ja
SPT4	Nej
TI20	Nej

Överensstämmelsen var god utom för GI42, jfr tabell 3. Detta sätt att bedömma försmutsning i en VVX är till viss del subjektivt, men vi anser att metoden kan användas som ett alternativt sätt att bedömma en värmeväxlares effektivitet om förutsättningarna ovan är uppfyllda, samt att mätningarna görs med en hög noggrannhet.

2.5 Simuleringar

Med kunskap om felfunktionerna och hur dessa enskilt respektive i kombination med varandra skall modelleras, har fortsättningen av arbetet genomförts i syfte att uppfylla projektets mål att utarbeta en *generell arbetsmetodik*. Vi har därför genomfört systematiska undersökningar med årssimuleringar för ett stort antal abonnentcentraler där prestandamått beräknats. En definition av prestandamått görs i avsnitt 2.6 och resultat från årssimuleringarna redovisas i avsnitt 3.2.

I tabell 4 visas exempel på data som använts vid årssimuleringarna. Det bör noteras att *simuleringarna har genomförts för två generella bostadsstorlekar med 10 respektive 30 lägenheter*. Vidare att kopplingsprinciperna har varierats mellan parallell-, 2-stegs- och 3-stegskoppling samt att radiatorsystemet har kunnat vara injusterat enligt temperaturprogram "80/60", "65/45" eller "75/35".

Vår avsikt har varit att efter genomförda simuleringar kunna ge svar på de frågeställningar som mätningarna och analysen av mätdata visat vara intressanta, dvs:

- *Hur skall högsta möjliga prestanda erhållas för abonnentcentralen?*
- *Om abonnentcentralens prestanda är sämre än idealet, är det ekonomiskt motiverat att genomföra förbättringar?*
- *Hur skall så stabil reglering som möjligt kunna erhållas?*

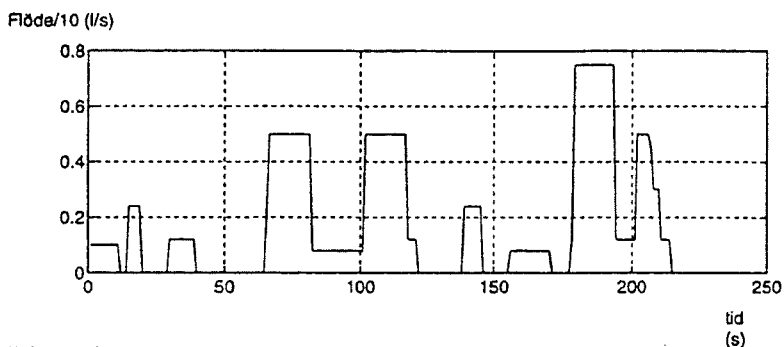
Tabell 4:

Exempel på indata som använts vid årssimuleringar.

VVX	Focus
Reglerutrustning	Landis & Gyr (RCE 61.11 KP=10, TI=10 SKD62/82)
Bostadssorlek	10/30 lägenheter, välisolerad byggnad
Kopplingsprincip	Parallell, 2-steg och 3-steg
Injusteringsmetod radiatorsystem	80/60, 65/45 samt 75/35
Kallvattentemperatur	5°C
Börvärde BV2/BV3	55/60°C
Differenstryck	4 bar (DUT=4°C) och 2 bar (4°C-30°C)
vvc-parametrar	vvc-flöde: 0.11/0.21 l/s, vvc2=5%, kylning i vvc-slinga=10%
Framledningstemperaturprogram	100°C vid DUT=-16.5°C, linjärt fallande till 65°C vid 4°C. Därefter konstant 65°C vid varmare utetemperatur.

I [ref 5, avsnitt 6.2.5] har Gummérus tidigare visat att en AC:s reglering av tappvarmvattnet har en *försumbar inverkan på prestandan*. Oavsett om regulatorinställningen är över- eller underkompenserad blir den resulterande temperaturverkningsgraden och returtemperaturen, sett över en längre period, nära nog densamma. För enkelt uttryckt kan man säga att positiva och negativa pendlingar kring ett inställt börvärde kompenserar ut varandra.

En stationär avvikelse från ett inställt börvärde eller ett felaktigt inställt börvärde (av temperaturnivån) har naturligtvis däremot en stor inverkan på prestandan. Vid en utvärdering av regleregenskaper behöver därför inga hela årssimuleringar göras, utan en speciell last har framtagits för att stressa och aktivera reglersystemet maximalt under en kortare tid, se figur 2.



Figur 2:

Tappvarmvattenlast framtagen för simuleringar avseende bedömning av abonnentcentralens regleregenskaper.

Figure 2:

The tap water load used to analyze the control of the consumer substation.

Den använda tappvarmvattenlasten är en dygnslast, som är statistiskt framtagen, utifrån samma underlag som i [ref 3 och 5]. Den valda lasten är relativt tappintensiv och utgör 40% av den totala lasten under ett år.

I de fall en prestandaförsämring av värmeväxlarna har simulerats är denna modellerad som en beläggning (försmutsnings). Beläggningen antas bestå av förkalkning av de delar som har kontakt med stadsvattnen, d v s tappvärmeväxlarnas sekundärsida, samt den del av radiatorväxlaren som värmekretsen ingår i eftersom påfyllning av denna görs med detta vatten. Därtill antages en försmutning (magnetitbeläggning) av värmeväxlarnas primärsidor om inget annat anges.

2.6 Abonnentcentralens prestanda

2.6.1 Prestandamått

Då man avser att göra en status-, funktionskontroll eller att bestämma total prestanda för en AC menas egentligen *två olika saker*. En fullständig kontroll brukar formellt uttryckt innebära en undersökning av både funktion och lastföljsamhet samt *termodynamiska och hydrauliska prestanda*.

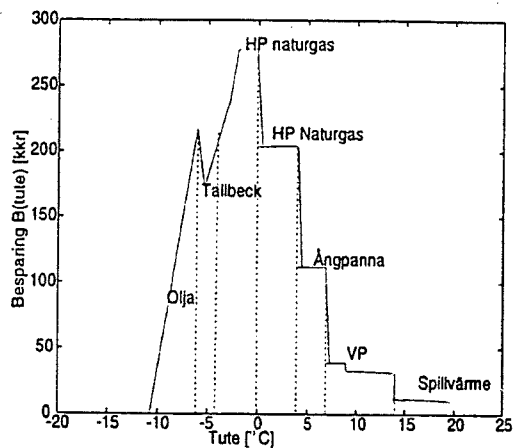
- Med funktion och lastföljsamhet avses anläggningens förmåga att tillhandahålla värme och varmvatten för alla lastsituationer som abonnentcentralen är dimensionerad för. Man kan även tala om *komfort för abonnenten*.
- Med termodynamiska prestanda avses att göra en bedömning av hur effektivt abonnentcentralen levererar värme och varmvatten vid varierande lastsituationer. D v s *AC:s avkylningsförmåga eller effektivitet* utifrån värmeleverantörens synvinkel. Med hydraulisk prestanda avses AC:s förmåga att fungera vid ett accepterbart differenstryck.

För att kunna bedöma den totala prestandan behöver ett antal mått beräknas. Vi har i detta arbete valt:

- Ett flödesviktat prestandamedelvärde för varje utetemperatur
- Ett prestandamedelvärde över året som är viktat med utetemperaturens varaktighet eller ekonomin
- Ett årsmedelvärde på abonnentcentralens lastföljsamhet.

För teorin bakom viktning av prestandamått hänvisas till [ref 3].

Enligt beräkningar gjorda av Göteborg Energi AB kommer en viss besparing att kunna göras då returtemperaturen i nätet sänkes med 1°C jämfört med dagens (1995 års) nivå. Denna besparing visas i figur 3 och är kopplad till utetemperaturens varaktighet som visas i figur 4.

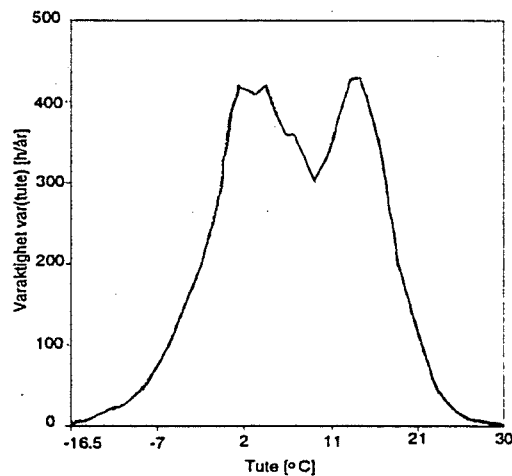


Figur 3:

Ungefärlig besparing, $B(tute)$, för 1°C sänkning av returtemperaturen i Göteborgs fjärrvärmenät.

Figure 3:

Estimated saving, $B(tute)$, with 1°C lower return temperature in the district heating network of Gothenburg.



Figur 4:

Utetemperaturens varaktighet, $var(tute)$, för Göteborg.

Figure 4:

The duration of the outdoor temperature, $var(tute)$, in Gothenburg.

Som mått för att kunna värdera en utförd förändring (förbättring) i en AC, har vi valt *ändringen av den primära returtemperaturen* dT_{re} . Beräkningsgången vid framtagandet av dT_{re} visas i ekvation (1) och (2).

Beräkning av flödesviktad returtemperatur visas i ekvation (1). Först beräknas med ekvation (1) returtemperaturen för simuleringarna T_{ret1} och T_{ret2} vid varje utetemperatur. (T_{ret1} och T_{ret2} utgör returtemperaturerna *före* respektive *efter* en genomförd förändring). Skillnaden mellan returtemperaturerna viktas sedan med besparingen $B(tute)$ för varje utetemperatur, enligt figur 3. Då erhålles ett årsmedelvärde dT_{re} enligt ekvation (2).

Vikningen av returtemperaturen syftar till att på ett rättvist sätt påtala förbättringar som leder till större besparingar. En avsevärd förbättring vid en temperatur då besparingen är mycket liten är kanske inte värd sitt pris. Eventuellt kan då istället en mindre förbättring göras vid utetemperaturer där besparingen är stor. Besparingen vid en ändring i en specifik abonnentcentral blir enligt ekvation (3).

$$T_{ret} = \frac{\int_{t=0}^{t_{max}} T_{retur} * V_p dt}{\int_{t=0}^{t_{max}} V_p dt} \quad (1)$$

$$dT_{re} = \frac{\int_t (T_{ret1}(tute) - T_{ret2}(tute)) * B(tute) dt}{\int_t B(tute) dt} \quad (2)$$

$$B_{csp} = \int_t (T_{ret1}(tute) - T_{ret2}(tute)) * B(tute) * \frac{VP_{ac}}{VP_{net}} dt \quad (3)$$

Förbättringen i reglerprestanda för oblandat tappvarmvatten bestäms med hjälp av prestandamåttet IAE enligt [ref 5]. Detta är årsmedelvärdet på en abonnentcentralers lastföljsamhet. Beräkningen av IAE_t (regleravvikelsen) för varje tidssteg, samt IAE_{tute} för varje utetemperatur, visas i ekvation (4). IAE_{tute} viktas sedan med varje utetemperaturers varaktighet, enligt figur 4, och summeras slutligen över året i ekvation (5).

$$IAE_t = |TO2S - BV2| \quad (4)$$

$$IAE_{tute} = \frac{\int_{t=0}^{t_{max}} IAE_t * V2S dt}{\int_{t=0}^{t_{max}} V2S dt}$$

$$IAE = \frac{\int_{t=0}^{t_{max}} IAE_{tute}(tute) * var(tute) dt}{\int_{t=0}^{t_{max}} var(tute) dt} \quad (5)$$

2.6.2 Uttagen energi vid årssimuleringarna

Uttagen energi för abonnentcentralen skall mellan de olika jämförelsefallen vara lika vid utvärderingen av prestanda. Detta åstadkommes för tappvarmvattnet genom att en viktad blandad respektive oblandad tappvarmvattentemperatur beräknas enligt ekvation (6) och (7). Vid samtliga årssimuleringar jämförs sedan $STO2S$ och ST_{bland} med kravet att avvikelsen mellan simuleringarna skall ligga inom $1^\circ C$. På radiatorsidan simuleras en byggnad, med en inomhustemperatur vars högsta tillåtna avvikelse från börvärdet ($20^\circ C$) är $\pm 0.5^\circ C$.

$$STO2S = \frac{\int_{t=0}^{t=t_{\max}} TO2S * V2S dt}{\int_{t=0}^{t=t_{\max}} V2S dt} \quad (6)$$

$$ST_{\text{bland}} = \frac{\int_{t=0}^{t=t_{\max}} T_{\text{bland}} * (V2S + V_{\text{kall}}) dt}{\int_{t=0}^{t=t_{\max}} (V2S + V_{\text{kall}}) dt} \quad (7)$$

2.7 Exempel på prestandahöjande åtgärder

För de undersökta abonnentcentralerna har olika åtgärder föreslagits. Åtgärderna har föreslagits utifrån vad som framkommit vid besiktning och mätning, men framförallt vid identifiering och optimering av AC. I tabell 5 visas ett exempel på analys och förslag till förbättringar.

Temperaturverkningsgraden ε definieras (med beteckningar enligt figur 1) som:

$$\varepsilon = (T_{\text{fram}} - T_{\text{retur}}) / (T_{\text{fram}} - T_{\text{kall}})$$

Förbättringarna som sedan genomfördes i denna AC och som även verifierats med uppföljningsmätningar var:

- Byte av tappvarmvatten regulator
- Injustering av vvc-flöde
- Injusterat temperaturbörvärden för tappvarmvatten

Tabell 5:

Analys och åtgärdsförslag för en undersökt AC.

Eklandagat 48

radiator sida	hela ac/ end tapp	reglering RC2/RC3	förbättringar
ϵ : norm/max 0.45/0.42 årssim skall göras	ϵ ac/tapp 0.5/0.67 (50/60)	MYCKET dåligt inställd ger hög returtemp	1. Vvc-shuntning 2. RC-inställning (om möjligt: Danfoss)
vvx: ren	vvx: ren		

På samma sätt har analysen resulterat i åtgärdsförslag som kunnat ges för flertalet av de undersökta abonnentcentralerna. Som *generella åtgärdsförslag och kommentarer* kan följande nämnas (se även tabell 3):

- Beträffande *tappvarmvattensystemen* förkommer en viss försmutsning i VVX, men Göteborgs goda vattenkvalitet medför att problemet inte är så stort. Det kan däremot vara avsevärt större på andra platser i landet med t ex kalkhaltigt färskvatten. Vi har däremot funnit i flera av de undersökta AC problem med att tappvarmvattenflödet går "bakvägen" i den sk vvc2-ledningen. Analysen har i många fall visat på betydelsen av att vvc-kretsen är injusterad på godtagbart sätt. I de fall man ej har justerat in vvc-kretsen på riktigt sätt, kommer de tillgängliga värmeväxlarytorna att utnyttjas sämre. Vi har fått intrycket att vvc-kretsen ofta är "bortglömd" och att dess betydelse för AC:s prestanda hittills har underskattats.
- I ett flertal fall har också börvärden för RC2 (tappvarmvatten ut från VVX) och RC3 (blandningsventil) behövts justeras till korrekta värden. Det har förekommit att börvärdet på RC2 varit högre än på RC3, vilket direkt leder till försämrad prestanda för AC och en onödig exergi-förlust.
- I några fall har byte av reglerventil och ställdon föreslagits och genomförts för att förbättra lastföljsamhet. Detta då det befintliga ställdonet inte har fungerat tillräckligt bra tillsammans med den installerade, "snabba" värmeväxlaren med små vattenvolymer.
- Beträffande *radiatorsystemen* har två problem tydligt kunnat fastställas generellt. Dels att värmesystemen ofta är dåligt injusterade, vilket kraftigt påverkar abonnentcentralens totala prestanda. Dels att en viss försmutsning av VVX förekommer. Båda dessa faktorer är välkända sedan tidigare och denna analys kan ytterligare bekräfta dess betydelse.
- Av de AC som uppvisat bäst prestanda har radiatorsystemen genomgående fungerat på ett godtagbart sätt, med rätt temperaturnivå och med ett injusterat och/eller differstryckreglerat flöde.

Då flera problem med bristande avkylning i AC har kunnat relateras till radiatorsystemet, har detta därför ägnats extra uppmärksamhet inom ytterligare ett "projekt" som genomförts. Två större likadana fastigheter valdes ut på Ärlegatan 7 och 9 för en undersökning där radiatorsystemen injusterades enligt två olika metoder. Dels en lågflödesmetod (Klimat Teknologi) [ref 9] och dels en mellanflödesmetod (Familjebostäders metod). Båda metoderna avser att förbättra fastigheternas avkylning (=effektivitet) och komfort (=lastföljsamhet). Injusteringen genomfördes under kvartal 1-1995 och kommer preliminärt att följas upp under våren 1996 av Göteborg Energi AB och Familjebostäder i Göteborg AB. Detta görs med en analys av avkylningsdata och enkätförfrågan hos de boende för att jämföra situationen före/efter injustering av radiatorsystemen.

3 METOD FÖR EFFEKTIVISERING AV AC

Analysen av det genomförda arbetet har resulterat i en generell metod som möjliggör effektivisering av abonnentcentraler i drift. Att utarbeta en metodik (metod+verktyg) har varit ett av projektets huvudmål. Metoden och dess bakomliggande analys, finns ingående beskrivna i [ref 4]. Beteckningar som används redovisas i bilaga 1.

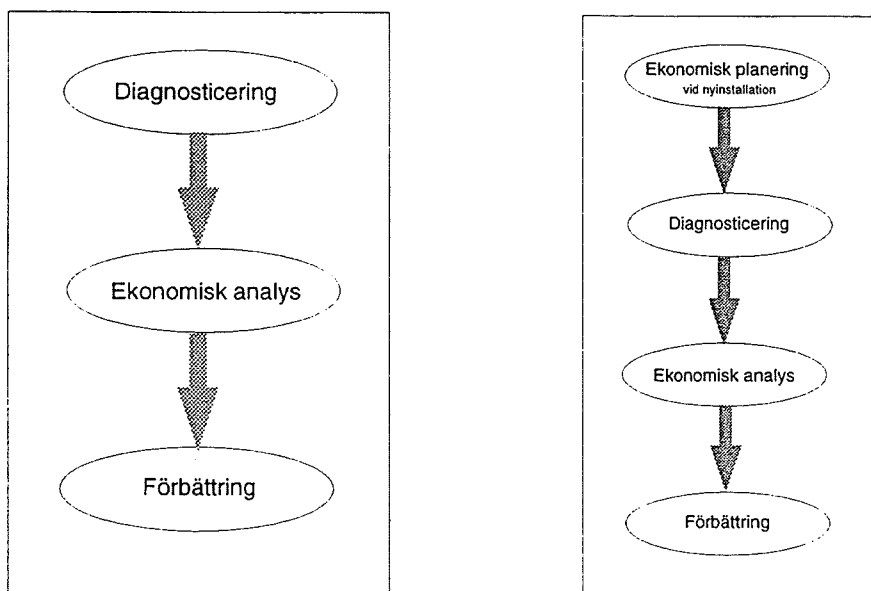
Det är även möjligt för andra energiföretag än Göteborgs att tillämpa denna metodik. Det viktade nyckeltalet dT_{re} kommer alltid att kunna ge en vägledning om vilket resultat en förändring i AC kommer att leda till. Den absoluta besparingen Besp, kommer däremot att behöva uppdateras efter hand då kostnader och andra faktorer av betydelse ändras, som t ex sammansättningen av produktionskällor. I bilaga 5 som är ett utdrag ur [ref 4] redovisas generaliseringen av metodiken.

3.1 Arbetsgång vid användning av metodiken

Metoden för förbättring av abonnentcentralens prestanda kan uppdelas i två separata tillämpningsområden:

- Förbättring av befintliga abonnentcentraler
- Planering av underhållsverksamhet vid nyinstallation.

Den tänkta användaren av metodiken är *energiverk med målsättningen att sänka temperaturnivån i nätet*. Arbetsgången visas nedan i figur 5.



Figur 5:

Arbetsgång vid förbättring av befintliga abonnentcentraler (till vänster) och vid nyinstallation av abonnentcentraler (till höger).

Figure 5:

Planning of the work at improvement of existing consumer substations (left) and of new consumer substations (right).

3.1.1 Diagnostisering av abonnentcentral

För abonnentcentraler i drift i fjärrvärmenät skall en diagnos göras i anläggningen för att bestämma dess skick och behov av injusteringar. Diagnostiseringen skall resultera i följande:

- Inga felaktigheter i utrustningen föreligger
- Börvärden och vvc-flöde riktigt inställda och shuntade
- Kännedom om eventuell försmutsning av tappsidans växlare
- Kännedom om eventuell försmutsning av radiatorväxlare
- Injusteringsmetod för värmesystem känd

Diagnosen kräver att utetemperaturen är lägre än $+4^{\circ}\text{C}$ för att en korrekt bedömning av radiatorsystemet skall kunna göras, vilken grundar sig på mätning av temperaturerna i VVX s k "kalla ände". Denna temperaturdifferens är ofta omöjlig att mäta vid för låga effektuttag. Att vi valt $+4^{\circ}\text{C}$ som gränsvärde beror på, dels att det är vid denna utetemperatur en ungefärlig 50% belastning av värmesystemet (vilket vi anser vara ett minimum). Dels att det är vid ungefär denna utetemperatur som många energiverk i södra delen av Sverige har sin brytpunkt i framledningstemperaturen, se figur 7). Generellt gäller ju dock att *ju lägre utetemperaturen är, desto bättre blir approximationen av radiatorsidans försmutsning.*

Diagnosen förutsätter också att VVX är korrekt dimensionerade samt att inga felaktigheter, såsom tillverkningsfel föreligger. Före diagnostiseringen utförs en justering av börvärdena för tappvarmvattnet och en injustering av vvc-flödet för att erhålla bästa möjliga prestanda. Den befintliga utrustningen kontrolleras för att eliminera risken för felaktig diagnos. Arbetsgången vid diagnostiseringen beskrivs i figur 6 och ett tillämpat exempel redovisas i bilaga 6.

Då värmeväxlarnas skick (försmutsning) skall fastställas används figur 8. De båda sidorna (värme respektive tappvarmvatten) av abonnentcentralen bedöms var och en för sig, med den motsatta sidan avstängd.

På *tappvarmvattensidan* ger en stationär tappning som motsvarar det dimensionerande tappflödet och med den aktuella framledningstemperaturen, en temperaturdifferens i värmeväxlarens 'kalla ände'. Ur figur 8:1 fås en beteckning, *pfa eller pfb, som motsvarar försmutsningen*. Värden som är mindre än pfa motsvarar *normal (dvs ingen försmutsning)*. För AC där uppvärmningen av tappvarmvatten är uppdelad i två värmeväxlarsteg skall temperaturdifferensen avläsas som skillnaden mellan primära uttemperaturen ur förvärmaren och inkommande kallvattentemperatur, dvs $T_{\text{O3P}} - T_{\text{kall}}$ ($=T_{\text{retur}} - T_{\text{kall}}$ i figur 1).

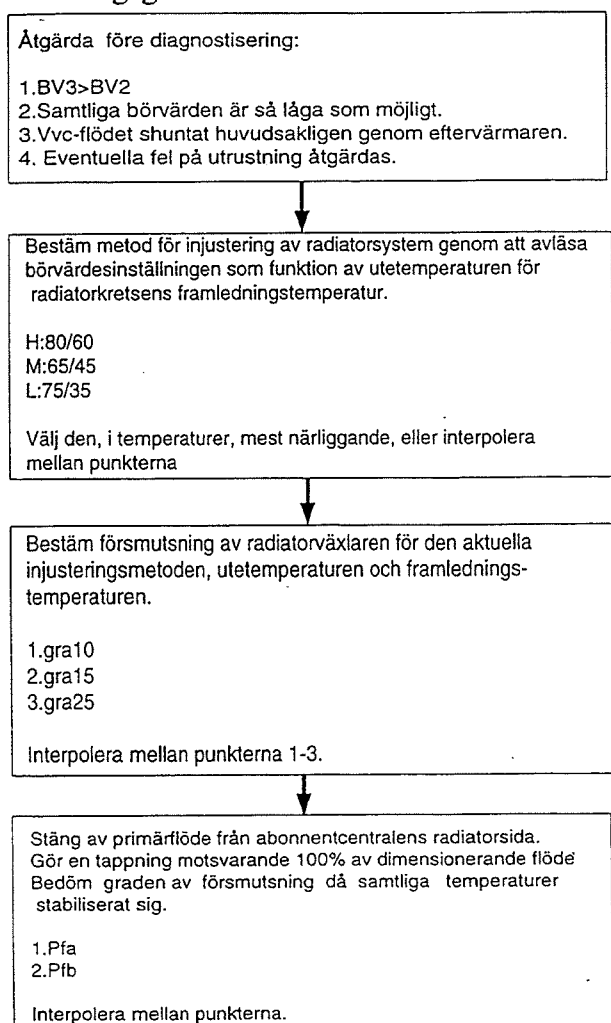
Tillvägagångssättet för *radiatorsidan* är likartat men något mer komplicerat. Bestäm först vilken injusteringsmetod av radiatorsystemet som är mest tillämplig (80/60, 65/45 eller 75/35). Mät sedan temperaturdifferensen i värmeväxlarens 'kalla ände', dvs $T_{\text{O1S}} - T_{\text{I1P}}$ i figur 1. Notera samtidigt den aktuella inkommande fjärrvärmetemperaturen ($= T_{\text{framdiag}}$).

För bestämning av *radiatorsidans försmutsning* beräknas sedan temperaturdifferensen *gra* (= "grädigheit") enligt ekvation (8). Konstanten, *komp*, i ekvation (8) fås också ur figur 8:2 och varierar endast med injusteringsmetoden av radiatorsystemet.

Temperaturdifferensen, *gra*, är avkylningen i värmeväxlarens 'kalla ände' kompenserad för att framledningstemperaturen vid diagnostillfället $T_{\text{fram}_{\text{diag}}}$ ofta kommer att skilja sig från den framledningstemperatur (se figur 7) som legat till grund för simuleringar och utarbetandet av figur 8. Kompensationen för framledningstemperaturen är nödvändig eftersom olika temperaturprogram ger olika $T_{\text{OIS}}-T_{\text{IIP}}$ för samma beläggning och injusteringsmetod.

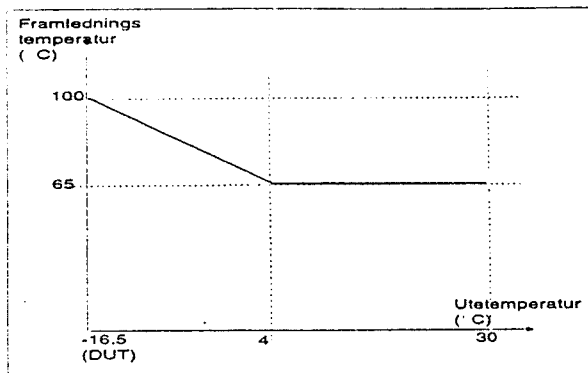
$$\text{gra} = (T_{\text{OIS}} - T_{\text{IIP}}) * (1 + \text{komp} * (T_{\text{fram}_{\text{diag}}} - T_{\text{fram}_{\text{figur7}}})) \quad (8)$$

Temperaturdifferensen, *gra*, tillsammans med den aktuella utetemperaturen ger slutligen en beteckning ur figur 8:2, *gra10*, *gra15* eller *gra25*, som anger försmutsningsgraden för radiatorsidans VVX.



Figur 6:
Arbetsgång vid diagnostisering av abonnentcentralen.

Figure 6:
Planning of the work at the diagnose of the consumer substation.

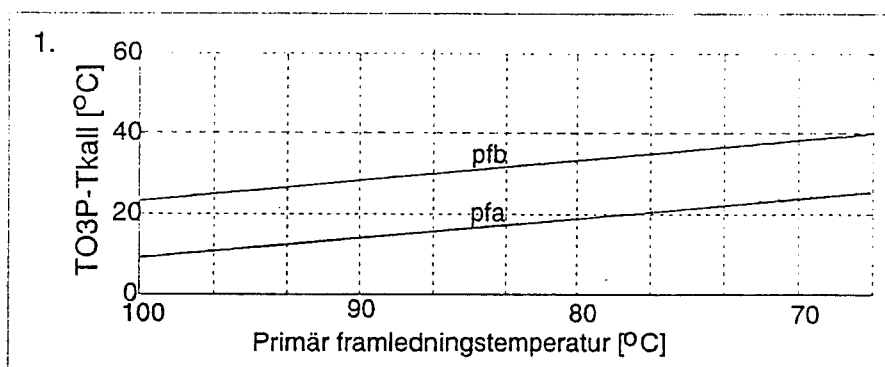


Figur 7:

Framledningstemperatur som funktion av utetemperatur, använd vid årssimuleringar.

Figure 7:

Forward temperature at the district heating network as a function of the outdoor temperature, used at the one-year simulations.

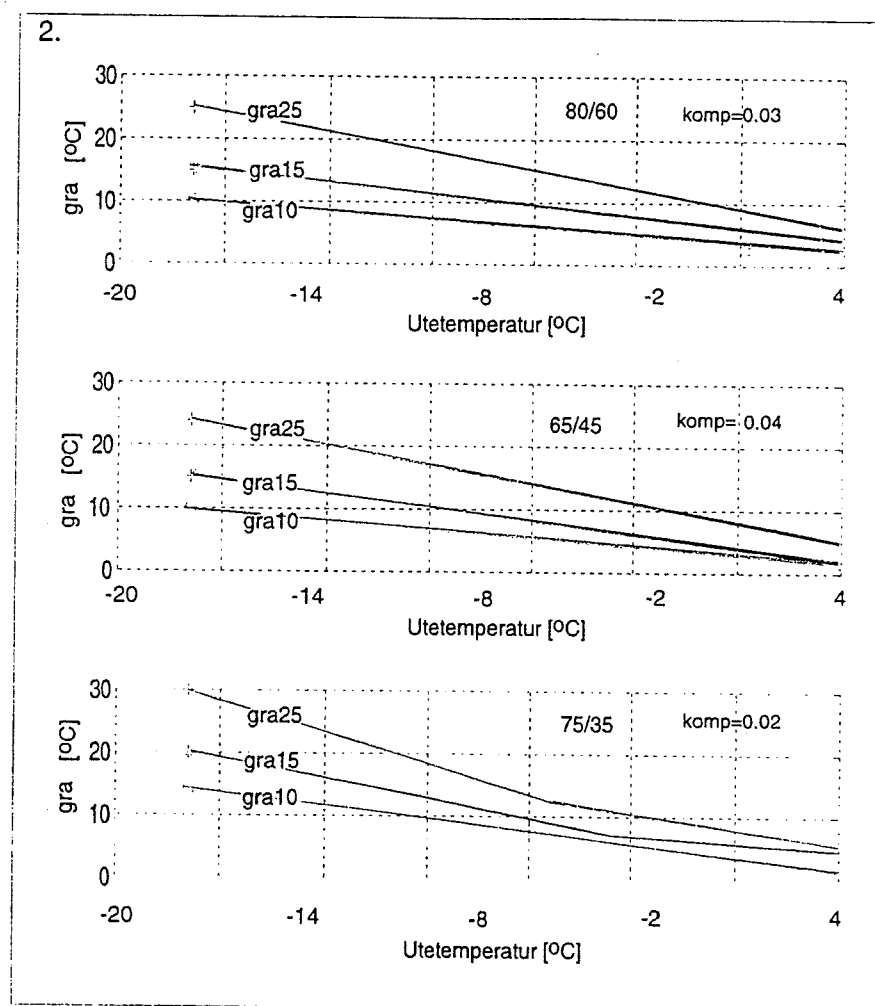


Figur 8.1:

Temperaturskillnad vid försmutsning av abonnentcentralens VVX. Bestämning av försmutsningsgrad för tappsidans VVX, temperaturskillnad TO3P-Tkall.

Figure 8.1:

Variation of the temperature difference at the heat exchangers "cold end" at different rates of fouling. Determination of fouling for the heat exchanger for domestic hot water.



Figur 8.2:

Temperaturskillnad vid försmutsning av abonnentcentralens VVX. Temperaturdifferens ΔT ur ekvation (8) s f a utetemperatur, vid varierande grad av försmutsning och injusteringsmetoder för radiatorsystemet.

Figure 8.2:

Variation of the temperature difference at the heat exchangers "cold end" at different rates of fouling. Determination of fouling for the heat exchanger for room heating.

3.1.2 Ekonomisk analys

En viktig del i effektiviseringsarbetet av abonnentcentraler är att på ett rationellt sätt kunna hantera det stora antalet objekt. Det är som tidigare nämnts, både tekniskt och administrativt komplicerat, att övervaka och tillsammans med fastighetsägaren underhålla flera hundra och ibland tusentals AC. När man då arbetar med underhållsinsatser i AC gäller det därför att lägga resurserna där de ger störst utbyte, både i form av *förbättrad avkylning och ekonomisk besparing*. Arbetet måste hela tiden ske på ett systematiskt sätt. Dvs att man löser de tekniska bristerna i de AC som har störst påverkan på den totala avkylningen i distributionsnätet. Vi har i de tidigare avsnittet visat hur man med olika nyckeltal och med en diagnosticering gör de nödvändiga tekniska bedömningarna. På motsvarande sätt skall även nödvändiga ekonomiska

bedömningar göras. Det är av största vikt att på ett rättvist sätt lyfta fram förslag till förbättringar som leder till större besparingar.

Investeringskalkyl

En enkel form av investeringskalkyl, pay off-metoden, användes här för att förutsäga när investeringen, dvs förbättringen av abonnentcentralen, är lönsam. Man beräknar efter hur lång tid det investerade beloppet tjänats in. Den framräknade tiden jämförs sedan med den maximala återbetalningstid som man på energiföretaget kan acceptera, alternativt utgår man ifrån den maximala återbetalningstiden och utifrån detta räknas fram efter hur många år som investeringen bör göras. Återbetalningstiden beräknas enligt ekvation (9).

$$t_p = \frac{G}{\sum_t v_t} \quad (9)$$

där:

t_p	återbetalningstid
G	grundinvestering
v_t	vinst år t på grund av den gjorda investeringen
t	antal år kalkylen görs över

Kalkylmetoden är förenklad i de avseenden att:

- De data som används i kalkylerna antar vi vara säkra. Med tanke på att en del av dem rör sig över 5-10 år framåt i tiden är detta naturligtvis en förenkling.
- Ett stabilt penningvärde förutsätts för hela investeringsperioden.
- Alla betalningar och förändringar antas ske vid årsskiftet.
- För enkelhetens skull bortses även från spekulationer beträffande ränta.

Kostnader

Enligt uppgift från bostadsbolaget Familjebostäder i Göteborg, kan priset för injustering av värmesystem uppskattas till 150-200 kr/radiatorventil. En trerumslägenhet antas innehålla 5 ventiler och i trappuppgång och tvättstuga är dessutom ytterligare ett antal ventiler placerade. Kostnaden för injusteringen beror även på, enligt Familjebostäder, om justeringar av radiatorkretsen är nödvändiga eller om nya radiatorer måste installeras samt om huvudnycklar finns. Vi har i våra simuleringar genomgående valt kostnaden till 200 kr/ventil.

Enligt uppgift från värmeväxlartillverkaren Alfa-Laval Industri AB, kan priset för rengöring av försmutsade värmeväxlare uppskattas till ca 2 500 kr per sida i värmeväxlaren. I tabell 5 har kostnaderna sammanställts för olika åtgärder vid två olika fastighetsstorlekar.

Tabell 5:

Kostnad för underhåll av abonnentcentral.

Åtgärd	Kostnad 10 lgh [kkr]	Kostnad 30 lgh [kkr]
Injustering av värmesystem	11	31
Rengöring av värmeväxlare	ca 2.5 (per sida i vvx)	
Utbyte av värmeväxlare	tapp: 18 rad: 14	tapp: 24 rad: 18

Besparing

Från tabell 7 och 8 hämtas resultat från simuleringarna av AC. Utgående från dessa data, dvs *värden på besparing och returtemperaturförbättring* vid en gjord förändring, kan en investeringskalkyl göras för att uppskatta när, eller om, det är ekonomiskt fördelaktigt att göra förbättringar i fält.

Skalning av besparingen med byggnadens storlek

I tabell 7 och 8 redovisas besparingen i samband med genomförda åtgärder för 30 lägenheter bostadsstorlek (2-stegskopplad AC). Genom jämförelser av simuleringar gjorda på 10 lägenheters byggnader med simuleringar gjorda på 30 lägenheters byggnader, har vi funnit att besparingen för 10 lägenheter är i genomsnitt mellan 2 och 3 gånger mindre än för 30 lägenheter.

I tabell 6 visas att prestandan är i stort sett oförändrad vid ökad storlek för byggnaden. Tabellen visar årsmedelvärden för *returtemperaturen* då injustering av värmesystemet gjorts med högflödesmetoden *och procentuell förändring i returtemperatur* då injusteringsmetoden ändras.

Tabell 6:

Prestandaförändring av returtemperatur vid varierande byggnadsstorlek och med varierande injusteringsmetoder av värmesystemet.

Antal lgh	Parallellkoppling			2-stegskoppling			3-stegskoppling		
	80/60 [° C]	65/45 [%]	80/30 [%]	80/60 [° C]	65/45 [%]	80/30 [%]	80/60 [° C]	65/45 [%]	80/30 [%]
10	41.1	92	86	39.4	92	86	34.3	85	99
30	40.5	92	86	38.7	92	85	34.3	86	99
90	41.1	91	84	38.7	91	83	33.8	85	97

Då besparingen för 10 och 30 lägenheters byggnader nu är känd, kan vi approximera besparingen för större byggnader genom att extrapolera resultaten. Om det 'försiktiga' antagandet görs att besparingen för 30 lägenheter i samtliga fall är 2 gånger större än för 10 lägenheter kan skalning till en byggnad som består av N stycken lägenheter göras enligt ekvation (10):

$$\text{Besp}_N = \text{Besp}_{30} * (1 + 0.025 * (N - 30)) \quad (10)$$

Ekvation (10) grundar sig på ett, vad vi tycker, rimligt antagande utifrån de i projektet erhållna simuleringsresultaten. Det är dock alltid osäkert att extrapolera resultat, varför en utvärdering av besparingen Besp för större fastigheter bör göras av det verkliga utfallet i samband med genomförda underhållsinsatser.

3.2 Resultat från årssimuleringar

Metoden är utarbetad utifrån följande simuleringsantaganden:

- Två olika lägenhetsstorlekar, 10 respektive 30 lgh,
- Tre olika kopplingsprinciper, parallell-, 2-steps- och 3-steps-koppling,
- Tre olika injusteringsmetoder av värmesystem, 80/60, 65/45 och 75/35,
- Värdet av en returtemperaturförändring, enligt figur 3,
- Utetemperaturens varaktighet, enligt figur 4.

3.2.1 Förbättringar av AC

Årssimuleringar har gjorts för ett stort antal olika förutsättningar. I tabell 7.1-7.3 visas vad olika åtgärder i en fastighet med 30 lägenheter innebär i besparing. Det framgår tydligt hur stor spridning de olika åtgärderna har både vad gäller returtemperaturpåverkan som besparing i tusentals kronor (kkkr) per år. Besparingen är avrundad till närmaste tusentalstal kronor och är uträknad på första året efter genomförd åtgärd.

Olika åtgärder är också additiva. Till exempel kan besparingen då en låg-flödesinjusterad centrals tappvarmvatten-VVX rengörs, uträknas genom att rutorna PfaL->NH samt NH->NL adderas.

Tabell 7.1:

Ekonomiskt viktad returtemperatur samt besparing i kkr som resultat av årssimuleringar (30 lägenheter, parallellkoppling).

1. Modifikation	Förklaring	dT _{re} [°C]	Besp [kkkr]
NH->NM	Injustering av radiatorsystemet från 80/60 till 65/45, rena växlare	7	10
NH->NL	Injustering av radiatorsystemet från 80/60 till 75/35, rena växlare	11	15
NM->NL	Injustering av radiatorsystemet från 65/45 till 75/35, rena växlare	4	5
PfaH->NH	rengöring av växlare (pfa till normal), abonnentcentralen injusterad för 80/60	1	2
PfaM->NH	Injustering av radiatorsystemet från 65/45 till 80/60, rengöring av växlare (pfa till normal)	-6	-7
PfaL->NH	Injustering av radiatorsystemet från 75/35 till 80/60, rengöring av växlare (pfa till normal)	-10	-11
PfbH->NH	rengöring av växlare (pfb till normal), abonnentcentralen injusterad för 80/60	8	12
PfbM->NH	Injustering av radiatorsystemet från 65/45 till 80/60, rengöring av växlare (pfb till normal)	1	2
PfbL->NH	Injustering av radiatorsystemet från 75/35 till 80/60, rengöring av växlare (pfb till normal)	-3	-3

Tabell 7.2 - 7.3:

Ekonomiskt viktad returtemperatur samt besparing i kkr som resultat av årssimuleringar (30 lägenheter, 2-stegs- och 3-stegskoppling).

2. Modifikation	Förklaring	dT _{re} [°C]	Besp [kkr]
NH->NM	Injustering av radiatorsystemet från 80/60 till 65/45, rena växlare.	6	7
NH->NL	Injustering av radiatorsystemet från 80/60 till 75/35, rena växlare.	9	10
NM->NL	Injustering av radiatorsystemet från 65/45 till 75/35, rena växlare.	3	3
PfaH->NH	Rengöring av växlare (pfa till normal).	1	1
PfaM->NH	Injustering av radiatorsystemet från 65/45 till 80/60, rengöring av växlare (pfa till normal).	-5	-5
PfaL->NH	Injustering av radiatorsystemet från 75/35 till 80/60, rengöring av växlare (pfa till normal).	-8	-7
PfbH->NH	Rengöring av växlare (pfb till normal).	9	10
PfbM->NH	Injustering av radiatorsystemet från 65/45 till 80/60, rengöring av växlare (pfb till normal).	4	5
Pbfl->NH	Injustering av radiatorsystemet från 75/35 till 80/60, rengöring av växlare (pfb till normal).	1	1

3. Modifikation	Förklaring	dT _{re} [°C]	Besp [kkr]
NH->NM	Injustering av radiatorsystemet från 80/60 till 65/45.	3	4
NH->NL	Injustering av radiatorsystemet från 80/60 till 75/35.	6	6
NM->NL	Injustering av radiatorsystemet från 65/45 till 75/35.	3	2
PfaH->NH	Rengöring av växlare (pfa till normal), abonnentcentralen injusterad för 80/60.	3	4
PfaM->NH	Injustering av radiatorsystemet från 65/45 till 80/60, rengöring av växlare.	-1	-1
PfaL->NH	Injustering av radiatorsystemet från 75/35 till 80/60, rengöring av växlare.	-3	-2
PfbH->NH	Rengöring av växlare (pfb till normal), abonnentcentralen injusterad för 80/60.	9	10
PfbM->NH	Injustering av radiatorsystemet från 65/45 till 80/60, rengöring av växlare (pfb till normal).	6	6
Pbfl->NH	Injustering av radiatorsystemet från 75/35 till 80/60, rengöring av växlare (pfb till normal).	3	3

3.2.2 Försmutsning av radiatorsidans VVX och byte av kopplingsprincip

Resultat från simuleringar på endast radiatorsystemet, med varierande injusteringsmetod och en prestandaförsämring visas i tabell 8. Försmutsningen är framtagen genom att en 80/60-injusterad radiatorkrets simulerats vid DUT. Försämringen i värmeövergångstal har sedan ändrats till temperaturdifferensen i VVX "kalla ände" (TI1P-TO1S) har nått 10, 15 respektive 25°C. Med samma försmutsning har därefter de övriga injusteringsmetoderna simulerats. För var och en av de övriga injusteringsmetoderna innebär denna försmutsning en temperaturdifferens i VVX "kalla ände" enligt figur 8.2.

Resultat från simuleringar som visar värdet av en förändrad kopplingsprincip visas i tabell 9. Man skall dock ha i åtanke att förändringen i prestanda vid byte av kopplingsprincip är i hög grad beroende av tappintensiteten i byggnaden. Dvs att om tappvarmvattenlasten skiljer sig markant från den i simuleringarna använda lasten (se figur 2) blir prestandaförändringen anorlunda.

Tabell 8:

Prestandaförbättring för radiatorsystemet vid rengöring av försmutsad VVX.

Modifikation	Förklaring	dT _{re} [° C]	Besp 30 lgh [kkv]
gra10H->NH	Rengöring av radiatorsidans värmeväxlare (gra10 till normal). Abonnentcentralen injusterad för 80/60.	2	2
gra15H->NH	Rengöring av radiatorsidans värmeväxlare (gra15 till normal). Abonnentcentralen injusterad för 80/60.	5	6
gra25H->NH	Rengöring av radiatorsidans värmeväxlare (gra25 till normal). Abonnentcentralen injusterad för 80/60.	10	14
gra10M->NM	Rengöring av radiatorsidans värmeväxlare (gra10 till normal). Abonnentcentralen injusterad för 65/45.	3	2
gra15M->NM	Rengöring av radiatorsidans värmeväxlare (gra15 till normal). Abonnentcentralen injusterad för 65/45.	5	4
gra25M->NM	Rengöring av radiatorsidans värmeväxlare (gra25 till normal). Abonnentcentralen injusterad för 65/45.	9	14
gra10L->NL	Rengöring av radiatorsidans värmeväxlare (gra10 till normal). Abonnentcentralen injusterad för 75/35.	4	3
gra15L->NL	Rengöring av radiatorsidans värmeväxlare (gra15 till normal). Abonnentcentralen injusterad för 75/35.	6	4
gra25L->NL	Rengöring av radiatorsidans värmeväxlare (gra25 till normal). Abonnentcentralen injusterad för 75/35.	10	8

Tabell 9:

Skillnad i ekonomiskt viktad returtemperatur vid byte av kopplingsprincip.

Abonnentcentralens skick och injustering		Parallell-> 2-steg		Parallell-> 3-steg		3-steg-> 2-steg	
		dT _{re} [°C]	Besp 30 lgh [kkv]	dT _{re} [°C]	Besp 30 lgh [kkv]	dT _{re} [°C]	Besp 30 lgh [kkv]
NH	Rena växlare, injustering 80/60.	2	2	3	4	-1	-2
NM	Rena växlare, injustering 65/45.	2	2	2	2	0	0
NL	Rena växlare, injustering 75/35.	1	1	0	0	-1	-1
PfaH	Något försmutsade växlare, injustering 80/60.	2	1	3	3	-1	-2
PfaM	Något försmutsade växlare, Injustering 65/45.	1	1	1	1	0	0
PfaL	Något försmutsade växlare, Injustering 75/35.	0	0	1	1	-1	-1
PfbH	Försmutsade växlare, injustering 80/60.	0	0	2	2	-2	-2
PfbM	Försmutsade växlare, injustering 65/45	0	0	1	1	-1	-1
PfbL	Försmutsade växlare, injustering 75/35.	-1	-1	0	0	-1	-1

4 SLUTSATSER OCH DISKUSSION

Projektets syfte har varit att finna orsaker till nedsatt avkylningsförmåga i konventionella abonnentcentraler samt att värdera vad olika underhållsinsatser har för ekonomiska värden för ett energiföretag.

Ett flertal slutsatser har kunnat dras utgående från alla de mätningar, besiktningar och simuleringar som gjorts i detta projekt. Slutsatser som är kopplade till *avkylningsegenskaper redovisas i avsnitt 4.1*, medan slutsatser som är kopplade till *komfort och regleregenskaper redovisas i avsnitt 4.2*. Slutsatser rörande *ekonomiska värden och besparingar har ingående redovisats tidigare avsnitt 3.2* och diskuteras ej ytterligare.

Beträffande *mätmetodik* har den beskrivna mätutrustningen erbjudit stora möjligheter vad gäller mätnoggrannhet och dynamik och samtidigt en oförstörande metod utan ingrepp i rörsystem. Till dess nackdel hör ett omfattande installationsarbete vilket är mycket tidsödande. En prestandamätning eller diagnosticering enligt den i rapporten beskrivna metodiken bedöms ta ca 4 timmar med en mätutrustning som innehåller givare för både temperatur och flöde. Använder man endast de befintliga termometrarna i AC uppskattas insatsen kräva ca 1 timma. Det är således en avvägning mellan tid och mätnoggrannhet som måste göras inför en undersökning.

Inom projektet har en *generell arbetsmetodik* utvecklats för effektivisering av konventionella AC i drift, avsnitt 3. Med det underlag som framtagits ur omfattande simuleringar kan även en värdering göras av vad olika förslag till förbättrande åtgärder har för ekonomiskt värde för värmeleverantören. Metodiken är tillämpbar i hela Sverige och fungerar både som ett verktyg och som ett arbetssätt.

4.1 Prestanda

Extremt förhöjd returtemperatur beror i de flesta fall på ställdon/ventiler som låst sig i öppet läge.

Högre returtemperatur än idealt, men ändå inte extremt hög, visade sig främst bero på radiatorsystemets returtemperatur och alltså i val av injusteringsmetod för radiatorsystemet.

Försmutsning och förkalkning har i detta projekt funnits vara av mindre betydelse än radiatorsystemets injustering. Studier av orter med hårt vatten, där vikt lagts på injustering av radiatorsystemet, ger ett annat resultat.

I de fall då radiatorväxlaren är så förkalkad att *kapacitetsproblem* uppstår, skulle en injustering till en lågflödesmetod för radiatorsystemet förbättra situationen.

I en abonnentcentral där värmeväxlare som antogs vara försmutsade sågades itu, visade sig tuberna vara helt ihoptryckta i de lager som låg närmast fyllkroppen [ref 8]. Detta medförde en minskning av värmeöverförande yta med dålig prestanda som följd.

Förhöjda börvärdesinställningar för oblandat tappvarmvatten ger försämrad prestanda, speciellt sommartid. I vissa fall i de undersökta AC har det till och med förekommit att börvärdet varit högre än den primära framledningstemperaturen.

För de *shuntgrupper* som studerats, kan vi konstatera att om samtliga sekundärssystem injusteras för att arbeta vid den temperatur som erhålles efter värmeväxlaren, istället för att blandas till en lägre temperatur, utnyttjas värmeväxlaren effektivare.

4.1.1 Injusteringsmetoder för radiatorsystemet

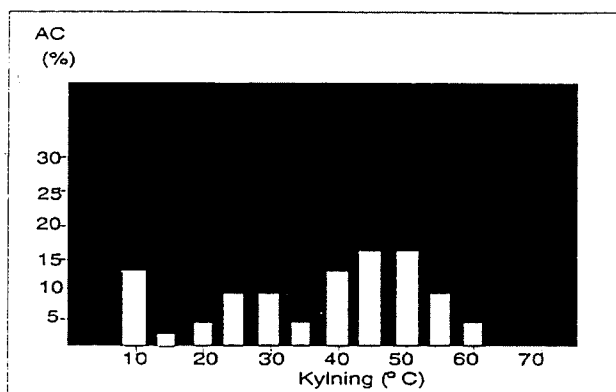
Då abonnentcentralens returtemperatur under en stor del av året domineras av radiatorsystemets returtemperatur, kommer *radiatorsystemets injusteringsmetod att få en avgörande betydelse för abonnentcentralens årsprestanda*. Simuleringar visar att injustering enligt lågflödesmetoden ger en avsevärd förbättring av returtemperaturen. Simuleringar visar dessutom på ytterligare en fördel med låg- och mellanflödesinjusterade radiatorsystem. Då värmeväxlaren försmutsats så kraftigt att primärventilens kapacitet inte längre räcker till vid låga utetemperaturer för ett högflödesinjusterat system, kan ett lågflödesinjusterat system däremot ha tillräcklig kapacitet. En lösning av problemet med försmutsade radiatorvärmeväxlare skulle alltså kunna vara att injustera radiatorsystemet, om rengöring av växlarna inte är aktuell.

I ett flertal fall har fastighetsskötare, tillfälligt eller permanent, ändrat på de inställda börvärdeskurvorna i centralen beroende på att någon av de boende har klagat. AC har vid inspektionen då uppvisat en avsevärt förhöjd returtemperatur, vilket i bästa fall endast pågått under något dygn. I sämsta fall görs ingen återställning av börvärdeskurvan till den ursprungliga, vilket får till följd att centralen lämnar en onödigt hög returtemperatur.

Det är således av mycket stor betydelse för att energiföretaget skall kunna få en form av *kvalitetssäkring och varaktighet av gjorda effektiviseringsinsatser*, att fastighetsskötare och annan berörd personal får *råd, information och anvisningar* om varför olika åtgärder genomförs. Det är annars en uppenbar risk att t ex inställningar av reglerkurvor återgår till ursprungliga värden.

4.1.2 Höga börvärden för tappvarmvattentemperatur

För högt satta börvärden av tappvarmvattentemperaturen medför ofta problem vid driftsfall då framledningstemperaturen är låg. Vid ett flertal tillfällen har vi funnit börvärdesinställningar som överstiger eller tangerar framledningstemperaturen vid höga utetemperaturer. Om börvärdet inte var "enkelt" ställbart, utan att t ex bortmontering av reglercentralens framsida krävdes, skulle troligen de flesta av dessa fall elimineras. Vid slumpmässigt gjorda besiktningar av ett 50-tal abonnentcentraler sommartid uppvisade dessa en kylning enligt figur 9:



Figur 9:

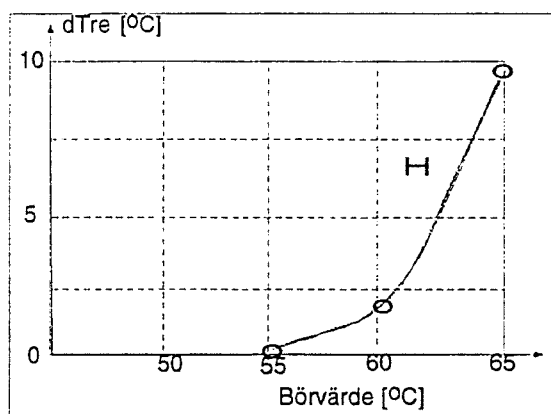
Kylning av primärvatten hos centraler besiktigade sommartid.

Figure 9:

The cooling of primary water of surveid consumer substations, summer 1995.

I flertalet av centralerna med dålig kylning var börvärdet för oblandat tappvarmvatten för högt. I ytterligare ett antal läckte primärventilen SV1. Kylningen skulle dessutom blivit betydligt sämre om inte framledningstemperaturen varit högre än normalt (80°C vid Tute=30°C). Orsaken till den höga framledningstemperaturen var att en absorbtionsvärmepump nyligen anslutits till denna del av nätet i Göteborg.

Simuleringar gjordes över ett år med varierande börvärdesinställningar för oblandat tappvarmvatten. Börvärdet sattes till 55, 60 respektive 65°C. Resultatet visas i figur 10 som dT_{re} jämfört med börvärdet inställt på 55°C. Den avsevärda försämringen för börvärdet 65°C beror på att börvärdet tangerar framledningstemperaturen vid utetemperaturer över primära framledningstemperaturprogrammets brytpunkt. Primärventilen SV2 kommer då öppna fullt, med en mycket dålig avkylning som följd.



Figur 10:

Årssimuleringar gjorda vid tappvarmvattenbörvärde 55, 60 och 65°C , 2-steps-koppling samt injusterings 80/60.

Figure 10:

Variation of the setpoint values for unmixed domestic hot water used at simulations over one year . Increased setpoint values leads to a higher return temperature.

Att börvärdesinställningar med $BV3 < BV2$ innebär ett ineffektivare system är välkänt sedan tidigare. Trots detta är fortfarande många AC inställda på detta vis. I några fall kunde vi konstatera att förhöjda börvärdesinställningar för RC2 med låga för RC3 resulterade i att trevägsventilens varma port till stor del var stängd, se figur 1, bilaga 1. Flödet kunde då i vissa fall gå bakvägen genom vvc2-porten direkt från förvärmaren. Detta troligen på grund av en backventil som hängt sig i öppet läge. Resultatet blir ett sämre utnyttjande av värmeväxlarytorna och förhöjd returtemperatur från AC.

4.1.3 Felaktigheter i abonnentcentralen

Vi har kunnat konstatera att extremt förhöjd returtemperatur berodde i de flesta fall på att *ställdon fastnat i öppet läge*. I 70 % av de centraler som hade detta fel var orsaken att donet fastnat i manuellt läge. Donet var i samtliga fall av samma fabrikat.

Andra fel som föranlett extremt hög returtemperatur var t ex att en *trasig vvc-pump* innebar att GT2 svalnar då inget flöde går i ledningen och att SV2 därmed öppnar fullt. Samma problem uppstod i ett fall av en *igensatt vvc1-ledning*. Hela vvc-flödet shuntas då genom vvc2-porten och GT2 svalnar då inga tappningar sker.

En försmutsning av abonnentcentralens värmeväxlare är oundviklig i längden och rengöring av VVX kommer vara ekonomisk efter ett antal år. Försämring av värmeväxlarnas prestanda på grund av tillverkningsfel upptäcktes då tubvärmeväxlare som antogs försmutsade efter identifieringen sågades itu. I minst ett fall ytterligare kan detta vara hela eller en del av förklaringen till den försämrade prestanda, så som identifieringen av en uppmätt, relativt nyinstallerad, abonnentcentral påvisar.

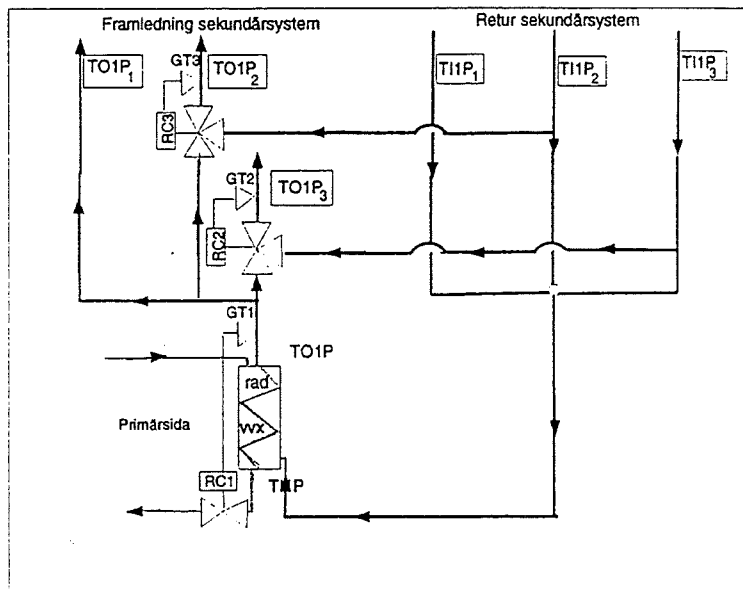
4.1.4 Undercentraler med shuntgrupper

Ett antal shuntgrupper har besiktigats och uppmätts. Dessa undercentraler består vanligen av ett antal värmeväxlare som i sin tur försörjer flera sekundära AC med hetvatten. I sekundärsystemen kommer växling att ske för uppvärmning av tappvarmvatten, medan radiatorkretsen är direktkopplad till undercentralens framledning.

Principen för undercentralen är enligt figur 11, att sekundärvattnet värms till den högsta temperatur som krävs av undersystemen. För de undersystem som inte kräver denna höga temperatur blandas framledningstvattnet med returvatten till önskad temperatur. Detta innebär en exergi-förlust eftersom VVX värmer ett onödigt högt flöde till en hög temperatur. Resultatet blir att VVX arbetar närmare sin maximala kapacitet med lägre verkningsgrad och högre returtemperatur än nödvändigt som följd. Genom att *injusera sekundärsystemen* till den högre temperaturen kan returtemperaturen och flödet genom värmeväxlaren sänkas.

Vid inspektion av de till shuntgrupperna anslutna abonnentcentralerna visade sig dessutom börvärdesinställningen i några fall överskrida framledningstemperaturen, vilket innebar att primärsidans ventiler därför stod helt öppna. Då börvärdet sänktes till en nivå något under framledningstemperaturen i en sekundär abonnentcentral, sjönk

returtemperaturen från undercentralen med 10°C och primärflödet genom centralen minskade med ca 20%. Börvärdesinställningen är av mycket stor betydelse för shuntgrupper returtemperatur.



Figur 11:

Shuntgrupp - En undercentral som försörjer tre sekundärsystem med hetvatten.

Figure 11:

A consumer substation which support three smaller substations with hot water.

4.2 Reglering

De generella slutsatser, avseende en abonnentcentrals reglering, som kan dragas med de gjorda simuleringarna, mätningarna och besiktningarna som grund är:

Inställningen av regulatorparametrar visade sig ofta vara slumpmässigt vald, alternativt att fabriksinställningen kvarstod. Simuleringar gjordes för att ta fram bästa inställning för de VVX där inställningen påverkade reglerprestandan. Ändringar gjordes sedan i fält. Vi har konstaterat att bristande funktion förorsakat av felaktigt inställda regulatorparametrar är det absolut vanligaste felet.

För stabil tappvarmvattenreglering och minimering av temperatursvängningar skall vvc-flödet shuntas huvudsakligen genom port 1 - vvc1, dvs genom eftervärmaren. Port 2 - vvc2 skall dras genom blandningsventilens kalla port och inte som fallet t ex är i Göteborg nu - nedströms blandningsventilen. Då regleringen är riktig och varmvatten tas från den varma sidan kommer shuntningen av vvc:n att ske genom port1 och vid övertemperaturer i TO2S (t ex vid läckage i SV2) kommer inte vvc-flödet strypas då blandningsventilens varma port stänger. Det är viktigt att börvärdet för blandat tappvarmvatten är högre än för oblandat för att hela vvc-flödet verkligen skall gå genom eftervärmaren.

Ställdonets gångtid har naturligtvis en avgörande betydelse för tappvarmvattenregleringen. Känt sedan tidigare är att kombinationer som skall undvikas är "snabba" system med långsamma ställdon. Med system menas här VVX tillsammans med reglerutrustning och är-värdesgivare samt dess placering. Problem inträffar då värmeväxlaren är snabb och ställdonet långsamt även om reglerparametrarna är korrekt inställda och vvc-flödet riktigt shuntat. Vid kombinationer av olika fabrikat rekommenderas att "snabba" och små värmeväxlare förses med snabba ställdon.

En *överdimensionerad reglerventil* kan i praktiken användas för att minska gångtiden hos ett långsamt don, genom att ventilen då arbetar på ett mindre område av sin slaglängd. I det fall där donets gångtid inte är problemet, kommer istället överdimensioneringen att medföra ett känsligare system. En riktig inställning av regulatorparametrarna är av största betydelse för en god funktion.

Temperaturgivare skall vara placerade så att inga onödigt långa transporttidsfördröjningar förekommer. Installationen skall göras strax efter utloppet från eftervärmaren och strax efter blandningsventilen.

Den *3-stegskopplade abonnentcentralen* bör förses med 2 temperaturgivare, oblandat (TO2S) och blandat (Tbland) tappvarmvatten, för att minska transporttidsfördröjningen mellan VVX-utlopp och givare sommartid då regleringen sköts med den s k "sommarventilen".

4.3 Komponenter

Vi har tidigare i rapporten påtalat betydelsen av en lämplig kombination mellan ställdon, placering av temperaturgivare och snabba värmeväxlare. Utöver detta har ytterligare några konstateranden vid simuleringarna, mätningarna och besiktningarna kunnat göras:

- I de undersökta AC har tub-VVX av fabrikat Cetetube, CTC, ELGE, Focus, Parca och AJEWEX förekommit. Vi har i samband med identifieringen kunnat konstatera att värmeväxlarna Cetetube och Parca är mycket långsamma och att värmeväxlaren Focus är mycket snabb. Beteendet för VVX är i huvudsak beroende på vilka vattenolymer primär- och sekundärsidan innehåller, samt förhållandet mellan dessa.
- Plattlödda VVX av fabrikat Cetepac och Alfa-Laval är mycket snabba. För att lättare uppnå en god reglering av snabba VVX, är det nödvändigt att vvc-shuntningen till större delen går genom värmeväxlaren.
- Det är svårt att uppnå en bra tappvarmvattenreglering med TA:s äldre långsamma ställdon i kombination med snabba VVX. Med TA:s nya snabbare ställdon, samt med Danfoss och Landis & Gyr's ställdon kan en god reglering uppnås med riktigt inställda parametrar.
- Med TA:s nya snabbare ställdon M500 och M750 (gångtid 15-20 s) har gångtiden förkortats avsevärt jämfört med de äldre ställdonen EM5 (gångtid 60-80 s). Man bör

dock vara observant på att gångtiden påverkas av inställningar *både* i regulator och i ställdon. Orsaken är att ställdonet kan styras med en öka/minska-signal alternativt med en modulerande styrsignal. Beroende på vilket alternativ som valts, kommer gångtiderna att bli olika. Det är därför viktigt att i samband med installationen kontrollera att man har valt rätt styrsignal.

- Landis & Gyrs äldre ställdon har haft en benägenhet att fastna i manuellt läge. Det får då till följd att ventilen släpper igenom primärvatten som inte kyls. Enligt uppgift från tillverkaren finns inte detta fel på nyare ställdon.
- Några av Danfoss reglerutrustningar levereras med temperaturgivare av anläggningstyp för montage utanpå rören (ESMA och ESMC). Man måste vara observant och noggrann vid monteringen av dessa, så att inte temperaturgivaren får en extra tidsfördröjning inbyggd förorsakad av bristfällig installation. Detta kan vara avgörande för reglerfunktionen i samband med en snabb VVX.
- Vi har funnit att AC med differenstrycksstyrda cirkulationspumpar för radiatorsystemet, genomgående har en bättre avkylning än system med pumpar som har ett fast varvtal. Det är ett naturligt resultat av att cirkulationsflödet i värmesystemet vid varje driftsituation, inte är högre än nödvändigt.

Referensförteckning

- 1 GUMMÉRUS, P och WERNER, S
Låg temperaturnivå ger effektiv fjärrvärme.
VVF-nytt, 1994:6, p 14-20.
- 2 WINBERG, A och WERNER, S
Avkylning av fjärrvärmevatten i befintliga abonnent centraler.
Hetvattenteknik 272, Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning, Stockholm, 1987.
- 3 RÅBERGER, L, GUMMÉRUS, P och WALLETUN, H
Prestandabestämning och förbättring av abonnentcentraler < 50kW.
Hetvattenteknik 505, Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning, Stockholm, 1994.
- 4 RÅBERGER, L
Effektivisering av abonnentcentraler i fjärrvärmenät.
Licentiatuppsats, Inst. f. Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, ISBN-91-7197-229-3, 1995.
- 5 GUMMÉRUS, P
Analys av konventionella abonnentcentraler i fjärrvärmesystem.
Doktorsavhandling, Inst. f. Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, ISBN-91-7032-467-0, 1989.
- 6 RÅBERGER, L
Undersökta abonnentcentraler i EAC - Projektdagbok förd vid besiktningar, mätningar och simuleringar.
Inst. f. Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1995.
- 7 LUNDMARK, L
Identifiering av värmeväxlare för karaktärisering av termiska egenskaper.
Examensarbete T95-210, Inst. f. Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1995.
- 8 BLOMQUIST, J, JANSSON, A och ÖSTBERG, R
Diagnostisering av nedsatt prestanda hos värmeväxlare med hjälp av dynamisk simulering.
Examensarbete T95-208, Inst. f. Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1995.
- 9 ANDERSSON, T
Konsten att styra radiatorsystem.
VVS-Forum, nr 10 och 11, 1993.

BILAGOR

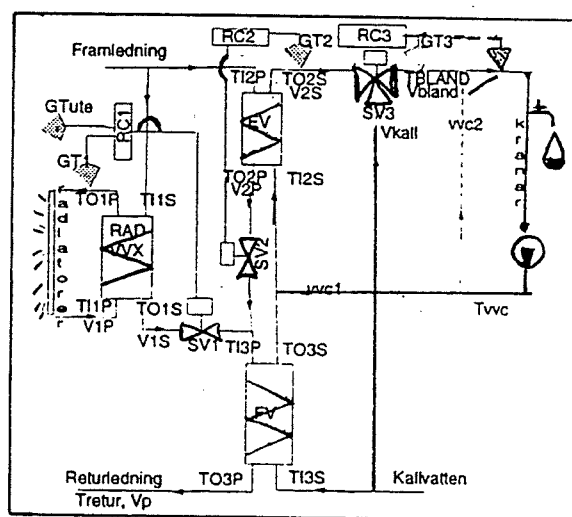
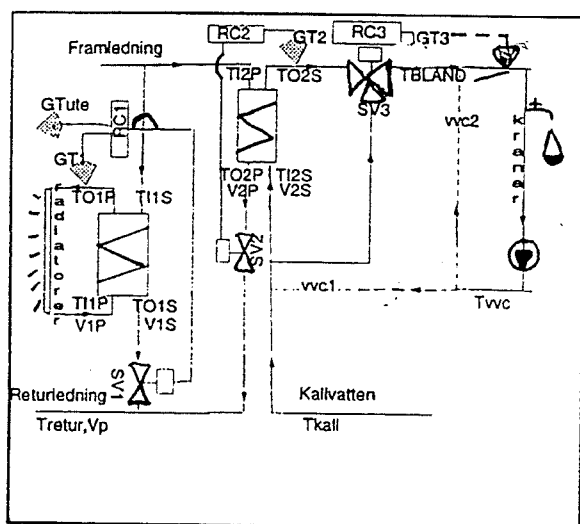
1. Abonnentcentralen och dess arbetsområde.
Beteckningar.
2. 38 Västra Andersgårdsgatan 18.
3. AC-adresser i EAC-projektet.
4. Inköp av ultraljudsflödesmätare.
5. Generalisering av metodik.
6. Exempel på användning av metodik.
7. Undersökta abonnentcentraler i EAC.

Abonnentcentralen och dess arbetsområde

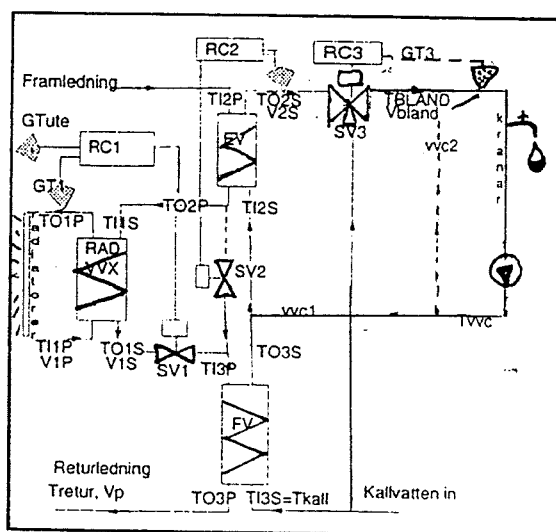
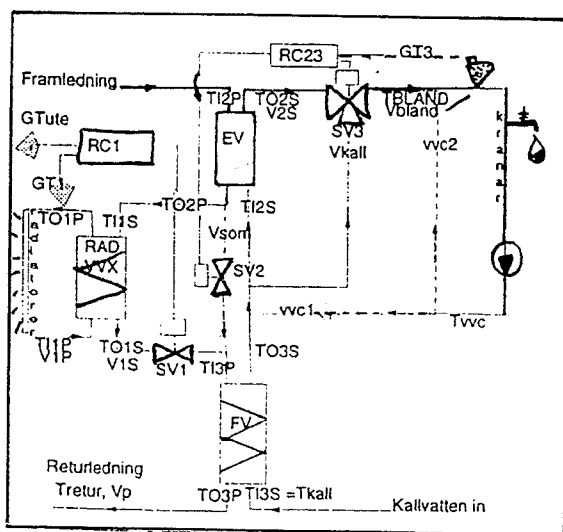
I detta projekt har 3 kopplingsprinciper undersökts:

1. Parallellkoppling
2. 2-stegskoppling
3. 3-stegskoppling

I Figur 1 och 2 visas de olika kopplingsprinciperna tillsammans med de beteckningar som användes genomgående i rapporten för temperaturer, flöden och abonnentcentralens komponenter.



Figur 1. 1. Parallellkoppling
2. 2-stegskoppling (Göteborg)



Figur 2. 1. 3-stegskoppling (Göteborg)
2. 3-stegskoppling (Stockholm)

Beteckningar

Temperaturer:

TI1P	Intemperatur radiatorsida radiatorväxlare [°C]
TI1S	Intemperatur nätsida radiatorväxlare [°C]
TO1P	Uttemperatur radiatorsida radiatorväxlare [°C]
TO1S	Uttemperatur nätsida radiatorväxlare [°C]
TI2P	Intemperatur nätsida eftervärmare [°C]
TI2S	Intemperatur tappside eftervärmare [°C]
TO2P	Uttemperatur nätsida eftervärmare [°C]
TO2S	Uttemperatur tappside eftervärmare [°C]
TO3P	Uttemperatur nätsida förvärmare [°C]
TO3S	Uttemperatur tappside förvärmare [°C]
TI3P	Intemperatur nätsida förvärmare [°C]
TI3S	Intemperatur tappside förvärmare [°C]
Tbland	Temperatur på blandat tappvarmvatten [°C]
Tvvc	Returtemperatur från varmvattencirkulationskretsen [°C]
Tfram	Primär framledningstemperatur [°C]

Flöden, tryck:

V1P	Cirkulationsflöde i radiatorkretsen [m ³ /s]
V1S	Primärflöde genom radiatorväxlaren [m ³ /s]
V2P	Primärflöde genom eftervärmaren [m ³ /s]
V2S	Oblandat tappvarmvattenflöde [m ³ /s]
V3P	Primärflöde genom förvärmaren [m ³ /s]
V3S	Sekundärflöde genom förvärmaren [m ³ /s]
Vp	Totala primärflödet genom centralen [m ³ /s]
vvc1	Del av vvc-flödet shuntat genom port vvc1 [m ³ /s]
vvc2	Del av vvc-flödet shuntat genom port vvc2 [m ³ /s]
Dpac	Differenstryck över abonnentcentral [bar]

Komponenter och inställningar:

RADVXX	Radiatorväxlare
EV	Eftervärmare
FV	Förvärmare
SV1	Styrventil reglerkrets 1
SV2	Styrventil reglerkrets 2
SV3	Styrventil reglerkrets 3
RC1	Reglercentral reglerande på värmekretsens framledningstemperatur
RC2	Reglercentral reglerande på oblandat tappvarmvatten TO2S
RC3	Reglercentral reglerande på blandat tappvarmvatten Tbland
GT1	Temperaturgivare för värmekretsens framledningstemperatur, TO1P
GT2	Temperaturgivare för oblandat tappvarmvatten, TO2S
GT3	Temperaturgivare för blandat tappvarmvatten, Tbland
BV1	Börvärde för värmekretsens framledningstemperatur, TO1P
BV2	Börvärde för oblandat tappvarmvattentemperatur, TO2S
BV3	Börvärde för blandat tappvarmvattentemperatur, Tbland
KP1	P-verkan inställd på RC1
KP2	P-verkan inställd på RC2
KP3	P-verkan inställd på RC3
TI2	I-verkan (integrationstid) inställd på RC2
TI3	I-verkan (integrationstid) inställd på RC3